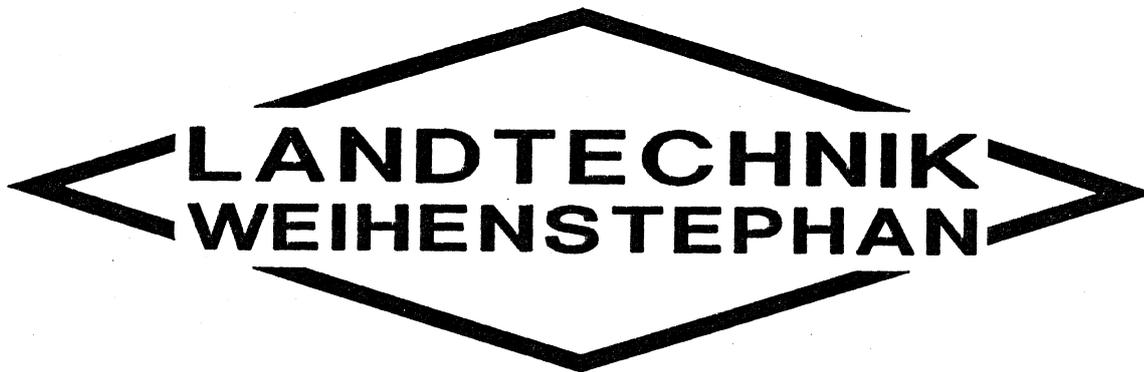


Dr. H. Auernhammer



**Lokale Ertragsermittlung beim Mähdrusch
in den Erntejahren 1990 - 1992**

Endbericht

Durchgeführt innerhalb des

Forschungsverbundes Agrarökosysteme München (FAM)

vom

Institut für Landtechnik der Technischen Universität München

Abteilung Arbeitslehre und Prozeßtechnik

Leiter: PD Dr. H. Auernhammer

Mitarbeiter: M. Demmel, T. Muhr, P. v. Perger, J. Rottmeier, K. Wild

Vorwort

Im Jahre 1987 nahmen wir erstmals Kontakte zu Herstellern von GPS-Empfängern auf. Noch vage waren die Vorstellungen über die Ortung in der Landwirtschaft. An eine neue Schlüsseltechnologie für die rechnergestützte, vor allem aber für die umweltschonende Pflanzenproduktion glaubte noch niemand.

Heute hat sich die Situation geändert. GPS wird nicht nur akzeptiert, sondern man erkennt allmählich die neuen Möglichkeiten. Schon verlangt man mehr, als derzeit damit machbar ist.

Einen wesentlichen Beitrag zu dieser Entwicklung kann dem abgeschlossenen Forschungsvorhaben dabei nicht abgestritten werden. Es zeigte erstmal in einem Großversuch die Anwendung des einfachen GPS, des differentiellen GPS mit Positionskorrektur und des differentiellen GPS mit Entfernungskorrektur. Vor allem aber verband es die Ertragsermittlung im Mähdrescher mit der Ortung und schuf so eine neue technische Verfahrenslösung als Vorstufe für stärker umweltorientierte Düngungssysteme.

Nach Abschluß der Versuche möchten wir uns bei allen beteiligten Firmen bedanken. Es fällt nicht leicht, dabei eine - wissenschaftlich nicht absicherbare - Reihenfolge zu finden. Deshalb möchten wir alphabetisch die einzelnen Firmen nennen:

CASE überraschte uns mit der kostenlosen Nutzungsmöglichkeit ihres ersten, in Deutschland eingesetzten, Mähdreschers mit Ertragsmeßeinrichtung DANIA D 8900 und stellte dafür sogar den Fahrer zur Verfügung.

Die Fa. CLAAS überließ uns für zwei Ernten unentgeltlich einen Mähdrescher DOMINATOR 118 MAXI mit YIELD-O-METER einschließlich der erforderlichen Serviceleistungen zur Inbetriebnahme und zur Wartung.

DAIMLER-BENZ beteiligte sich mit einem UNIMOG U 1400 am Vorhaben, der sowohl für die Vorversuche zur Ortung, wie auch als Versorgungsfahrzeug während der "hitzen" Erntetage eingesetzt wurde.

DRONNINGBORG (Dänemark) ließ es sich nicht nehmen, zur Ernte 1991 und 1992 jeweils eine fabrikneue Maschine zur Verfügung zu stellen. Vorbildlich war nicht nur die "menschliche" Betreuung, sondern auch die absolute Termintreue für zugesagte Leistungen.

Als exklusiver Vertriebspartner von DRONNINGBORG für Europa übernahm MASSEY FERGUSON die Bereitstellung und Betreuung der beiden Mähdrescher.

MESTEC war der Partner bei der online-Datenerfassung mit Robust-PS's und half in beiden Hauptversuchsjahren jeweils mit einem zusätzlichen Erfassungssystem aus.

MÜLLER Elektronik erfüllte die speziellen Wünsche hinsichtlich einer besonderen Schnittstelle zum YIELD-O-METER im CLAAS Mähdrescher.

THOUSTRUP und OVERGAARD (Dänemark) steuerten - sogar über Modemeinsatz - die jeweils neuesten Softwareversionen zur Ertragsmessung und Ortung in den DRONNINGBORG-Maschinen bei.

Schließlich darf aber SEL nicht unerwähnt bleiben. Sie stellten, erstmals für die Landwirtschaft überhaupt, ein online-fähiges DGPS unmittelbar vor der Ernte 1991 "auf die Beine" und eröffneten damit vermutlich ein neues technisches Zeitalter in der Landwirtschaft.

Alle diese Technik wäre jedoch nutzlos gewesen, wenn nicht die Mitarbeiter am Versuch stets ihr Bestes gegeben hätten. Allen voran soll dabei Herr DIa Josef Rottmeier genannt werden. Als einer der Mähdrescherfahrer scheute er weder Überstunden noch Wochenenden, um mit "seiner Maschine" immer das Optimum zu erreichen.

Herr DIa Muhr war der "Ortungsspezialist". Mit seiner großen praktischen Erfahrung kümmerte er sich zudem um die Grundeinstellung der Mähdrescher, stand als Ersatzmähdrescherfahrer zur Verfügung und ermöglichte außerdem ausgedehnte Vorversuche auf seinen Betriebsflächen. Darüber hinaus stellte er SPANS für die Ertragskartierung zur Verfügung.

DiA. Wild, die techn. Mitarbeiter Hemmen und Mittermeier, sowie die studentischen Hilfskräfte Auernhammer jun., Meier und Todt unterstützten die oft bis spät in die Nacht andauernden Druscharbeiten mit nicht nachlassendem Engagement.

Die sichtbaren Ergebnisse in Form von Ertragskarten entstanden in langen, oft von herben Mißerfolgen begleiteten Sitzungen am Rechner unter den "computergewandten" Händen von cand.agr. Paul v. Perger.

Ihnen allen, aber auch allen ungenannten, die zum Gelingen der Arbeiten beigetragen haben, sei an dieser Stelle noch einmal besonders gedankt.

Weihenstephan im April 1993

DiA Markus Demmel
(Projektdurchführung und
1. Mähdrescherfahrer)

PD Dr. Hermann Auernhammer
(Projektleiter)

Inhaltsverzeichnis:	Seite
1. Einleitung und Fragestellung	2
2. Material und Methoden	3
2.1 Ertragsermittlung und Ortung	3
2.2 Druschversuche	7
2.2.1 Tast- und Vorversuche 1990	7
2.2.2 Vor- und Hauptversuche 1991	8
2.2.3 Vor- und Hauptversuche 1992	10
3. Ergebnisse und Diskussion	12
3.1 Ertragsermittlung	13
3.1.1 Hektolitergewicht und Feuchte	14
3.1.1.1 Erntejahr 1991	14
3.1.1.2 Erntejahr 1992	18
3.1.2 Meßgenauigkeit	22
3.1.2.1 Erntejahr 1991	24
3.1.2.2 Erntejahr 1992	27
3.1.2.3 Tageszeit	30
3.1.2.4 Schlagwechsel	32
3.1.3 Korrelative Zusammenhänge	33
3.1.3.1 Erntejahr 1991	34
3.1.3.2 Erntejahr 1992	38
3.1.3.3 Beide Erntejahre	43
3.2 Ortung	49
3.2.1 Ernte 1991	49
3.2.2 Ernte 1992	51
3.3 Wegstreckenabhängige Ertragsaufzeichnung	54
3.4 Lokale Ertragsermittlung	56
3.4.1 Vorversuche Ernte 1990	57
3.4.1.1 Scheyern Flachfeld	57
3.4.1.2 Freising Schlüterfeld	59
3.4.1.3 Hardegg Foersterwiese	61
3.4.2 Ernte 1991 Scheyern	62
3.4.3 Ernte 1992 Scheyern	70
4. Schlußfolgerungen und Ausblick	74
5. Publikationen	75

1. Einleitung und Fragestellung

Für den Pflanzenbau stellt der Ertrag nach wie vor die zentrale Größe dar. Auf ihn sind, unabhängig von der jeweiligen Zielrichtung, alle Maßnahmen gerichtet und nur über ihn kann schließlich die ökonomische Einordnung vorgenommen werden. Insgesamt ist er ein Maß für die Wirkung der verschiedenen ertragsrelevanten Faktoren (Boden, Klima, Bewirtschaftung) auf das Pflanzenwachstum.

Eine wirklich umweltschonende Pflanzenproduktion kann nur durch die Abkehr von der uniformen Behandlung (Saatstärke, Düngung, Pflanzenschutz) je Betrieb oder Schlag erreicht werden. Als Schlagwort für die hierauf abzielenden Bemühungen hat sich der Begriff der "Teilschlagbewirtschaftung" herausgebildet. Die Düngungsmaßnahmen in einem derartigen System müssen einen Regelkreis bilden, der das Ziel einer optimalen ausgeglichenen Nährstoffversorgung mit minimalen Nährstoffausträgen verfolgt (Abb. 1).

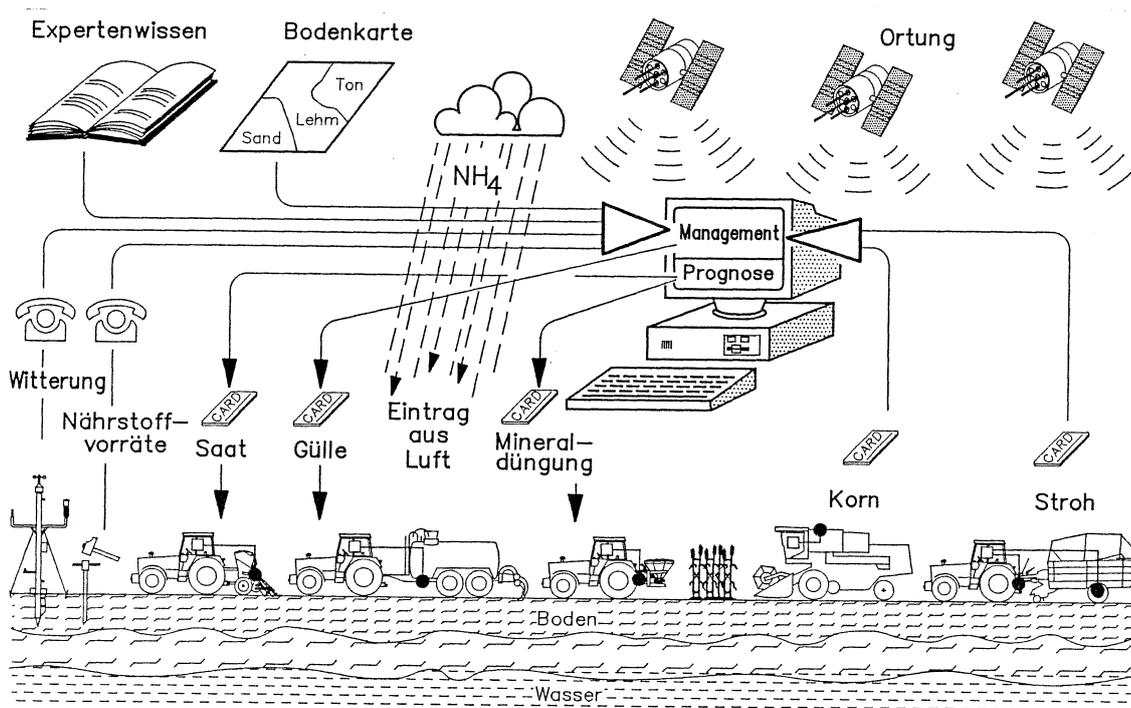


Abbildung 1: Elektronik im technischen Regelkreis "Umweltorientierte Düngung".

Einen ersten Einstieg in diesen Regelkreis der teilschlagorientierten Düngung bildet als notwendige Ausgangsgröße die lokale Ertragsermittlung.

Als Technik für die flächendeckende Ertragsermittlung steht bisher nur der Parzellenmähdrescher für die Beerntung von Versuchsflächen zu Verfügung. Um Informationen über die Ertragsverteilung auf größeren Flächen zu gewinnen, wird damit auf zufällig ausgewählte Testflächen zurückgegriffen und deren Ertrag mit der genannten Technik bestimmt. Kritisch ist hierbei nicht nur die Verteilung der Meßflächen. Die Dichte des Meßnetzes wird durch die verfügbaren Ressourcen an Arbeitskräften und Finanzmitteln bestimmt. Auf die Praxis sind derartige Verfahren nicht übertragbar.

Ziel des, vom Bundesministerium für Forschung und Technologie innerhalb des "Forschungsverbundes Agrarökosysteme München FAM" finanzierten Forschungsvorhabens war es deshalb, geeignete Techniken für die lokale Ertragsermittlung beim Mähdrusch mit Großmähdreschern zu erstellen und im Hinblick auf ihre Funktionsfähigkeit und -sicherheit, sowie auf die Meßgenauigkeit zu untersuchen. Zudem galt es zu analysieren, in welcher Häufigkeit und Dichte georeferenzierte Ertragsdaten erhoben werden müssen, damit eine aussagefähige Auswertung möglich ist. Hierzu waren geeignete Auswerteprogramme zu erstellen. Die Übergabe der Ertragsdaten an die FAM-Datenbank, der Vergleich dieser Daten mit der Exaktertragsermittlung an ausgewählten Rasterpunkten aus einem anderen Teilprojekt des FAM, sowie die Erstellung von Ertragskarten bildeten den Abschluß der Arbeiten.

2. Material und Methoden

2.1 Ertragsermittlung und Ortung

Die lokale Ertragsermittlung kann nur direkt in der Erntemaschine, bei Getreide im Mähdrescher, durchgeführt werden. Sie erfordert Meßtechniken für den Ertrag und die Ortung, beide müssen online miteinander verbunden sein. Für die Ertragsmessung bietet der Markt zwei Systeme an. Beide Systeme kamen bei den Versuchen zum Einsatz (Abb. 2).

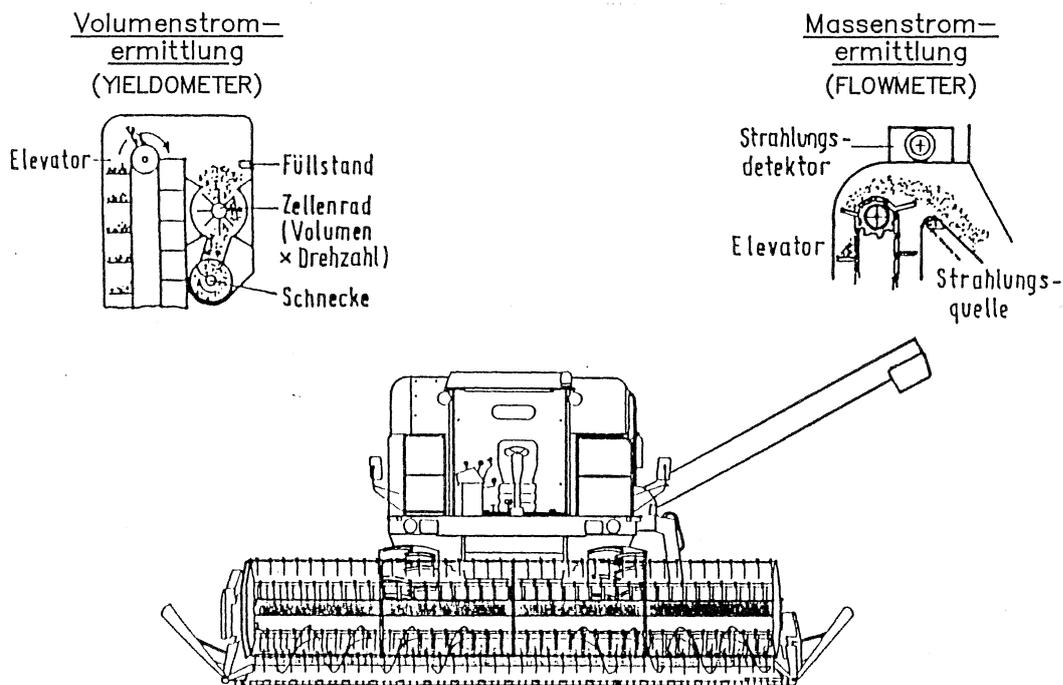


Abbildung 2: Verfügbare Ertragsermittlungssysteme für Mähdrescher.

Das Meßprinzip nach dem Volumenstrom ist immer abhängig vom spezifischen Gewicht, also vom Hektolitergewicht. Nur eine exakte Kalibrierung und entsprechende Nachkalibrierungen bei sich ändernden Bedingungen ermöglichen damit ausreichend exakte Meßergebnisse.

Das Massestrommeßprinzip ist dagegen unabhängig von diesen Einflüssen. Allerdings können auch bei diesem Meßprinzip durch Abweichungen der geforderten konstanten Durchflußgeschwindigkeit aufgrund unterschiedlicher Feuchtegehalte Fehler auftreten.

Für die Ortsbestimmung können fahrzeugautonome Systeme und Sender-/ Empfängersysteme verwendet werden (Abb. 3). Nach umfangreichen Versuchen zur Eignung unterschiedlicher Ortungsverfahren für den landwirtschaftlichen Einsatz, hat sich gezeigt, daß die Satellitenortung über das NAVSTAR Global Positioning System GPS für die Positionsbestimmung landwirtschaftlicher Fahrzeuge vor-

züglich geeignet ist. Dieses vom US-Verteidigungsministerium aufgebaute Sender- / Empfänger - System ist unabhängig von schlag- bzw. betriebspezifischen Infrastrukturmaßnahmen (Abb. 4).

Ortungstechniken für landwirtschaftliche Fahrzeuge

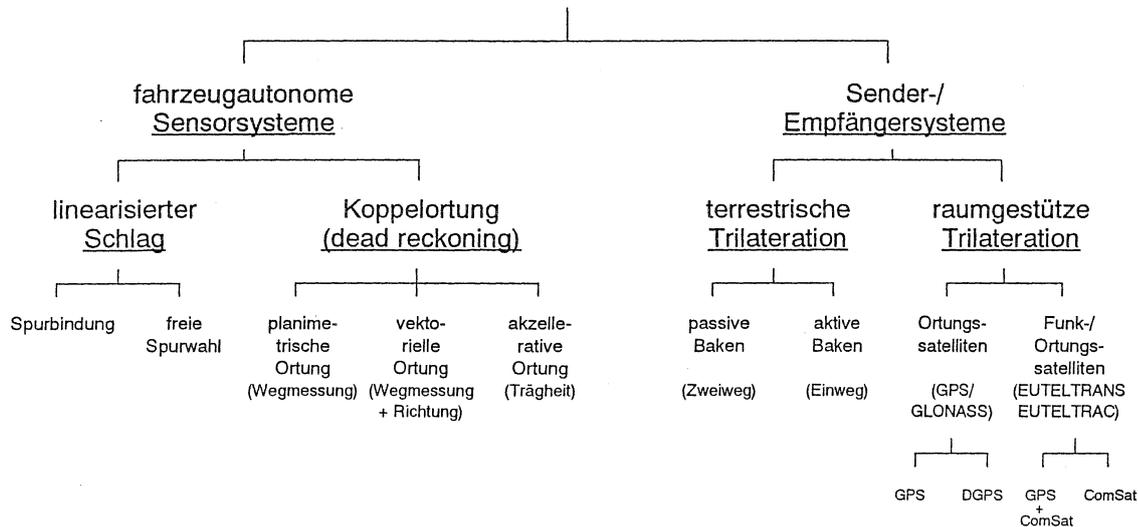


Abbildung 3: Systematik der Ortung landwirtschaftlicher Fahrzeuge.

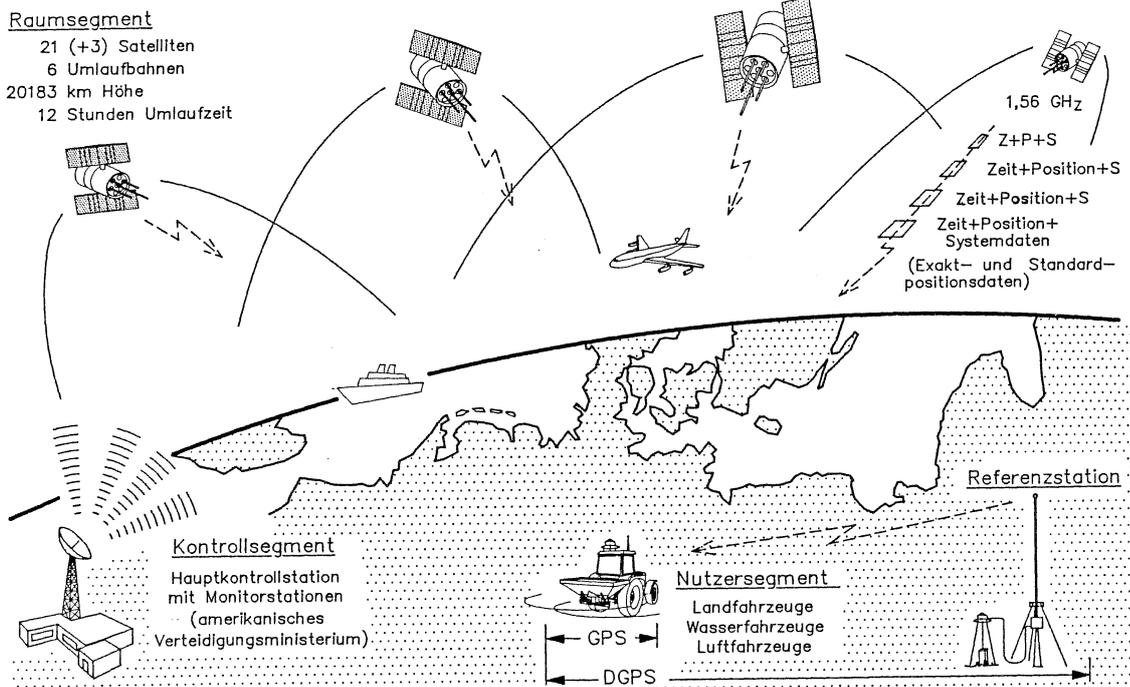


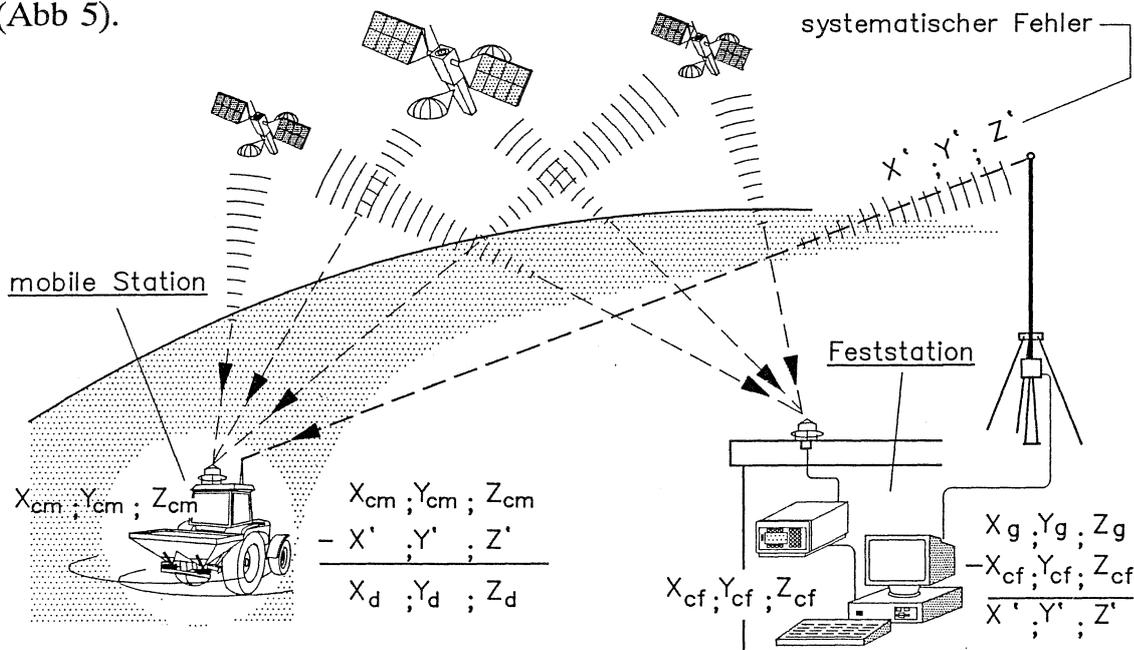
Abbildung 4: Aufbau des NAVSTAR "Global Positioning Systems" (GPS).

Das System besteht aus einem Raumsegment (21 + 3 Satelliten), dem Kontrollsegment mit Hauptkontroll- und Monitorstationen und dem Nutzersegment mit den GPS- Empfängern. GPS-Empfänger stehen von verschiedenen Herstellern zur Verfügung. Mit derzeit 22 verfügbaren Satelliten (Stand 22.02.1993) ist es nahezu vollständig einsatzfähig.

Die Positionsbestimmung des GPS-Empfängers erfolgt durch Laufzeitmessung des Signals zwischen Satellit und Empfänger. Zusammen mit den fortlaufend aktualisierten Informationen über die Satellitenpositionen ist eine Bestimmung der Position gemäß der geometrischen Gesetze möglich. Das NAVSTAR GPS stellt Ortungsinformatinen in unterschiedlicher Güte zu Verfügung. Die hochgenaue Ortung mit den Signalen im P-Code ist ausschließlich dem Militär vorbehalten. Standardortungsinformationen im C-Code sind dagegen allen Nutzern zugänglich. Der Betreiber garantiert dafür neben einem maximalen Fehler von ± 180 m eine kostenfreie Verfügbarkeit von mindestens 10 Jahren.

Um die, für die zivilen Nutzer nur ungenügende Genauigkeit der Positionsbestimmung zu verbessern, kann das GPS auch differentiell betrieben werden

(Abb 5).



(g = geodätisch; cf = kalkuliert fest; cm = kalkuliert mobil; d = differentiell)

Abbildung 5: Differentielles NAVSTAR GPS (DGPS).

Dabei wird mit einer, an einem bekannten Punkt aufgestellten GPS-Feststation eine Fehlerberechnung durchgeführt, indem die errechneten Positionen mit der bekannten Standortposition verglichen werden. Die Korrekturinformationen können per Funk an die umliegenden Mobilstationen gesendet werden. Jene korrigieren mit dieser Information ihre eigene Positionsberechnung. Für diese Korrektur existieren unterschiedliche, teilweise standardisierte Verfahren.

Ertrags- und Ortungsdaten, verbunden mit der Uhrzeit und eventuellen weiteren Maschinenzustandsgrößen, bilden die Ausgangsbasis für alle Schritte der Datenverarbeitung bis hin zu geographisch dargestellten Ertragskartierungen. Da kein Hersteller Mähdrescher mit beiden Teilsystemen (Ertragsermittlung und Ortung) liefern konnte (erst seit Herbst 1992 bietet ein Hersteller ein vollständiges System an) mußten für die Versuchsdurchführung entsprechende Umrüstungen und Ergänzungen vorgenommen werden. Um Ausfälle in der Hauptphase weitgehend zu vermeiden, wurden umfangreiche Vorversuche vorgeschaltet.

2.2 Druschversuche

2.2.1 Tast- und Vorversuche 1990

Bei den Vorversuchen wurden mit einem Mähdrescher CASE JUMBO 8900 (Massefluß-Ertragsmeßsystem FLOWMETER) etwa 30 Hektar Winterweizen und mit einem Mähdrescher CLAAS DOMINATOR 108 (Volumenstrom-Meßsystem YIELD-O-METER) etwa 10 Hektar Körnermais beerntet. Die Ortung erfolgte mit einem einfachen GPS-Satellitenortungssystem GLOBOS LN 2000 von SEL. Die Datenaufzeichnung wurde mit Laptop's über einen Datalogger vorgenommen.

Alle auf Diskette verfügbaren Daten wurden nach Versuchsende im Winter 1990/1991 ausgewertet. zum Einsatz kam die PC-Version des geographischen Informationssystem ARC/INFO mit speziell hierfür entwickelter Datenaufbereitungssoftware. Sie ermöglichte erstmals eine Ertragskartierung in verschiedenen Rastergrößen in Anlehnung an vorgegebene Fahrspuren. Bedingt durch nicht andauern-

de Satellitenverfügbarkeit und Schwierigkeiten bei der Datenaufzeichnung konnten bei der Auswertung nur bei einer Rastergröße 50 mal 50 Meter flächendeckende Ertragskarten erstellt werden.

2.2.2 Vor- und Hauptversuche 1991

Um für die lokale Ertragsermittlung beim Mähdrusch 1991 eine höhere Ortungsgenauigkeit zu erreichen, kam in der Ernte 1991 ein "Differentielles GPS" (DGPS) zum Einsatz. Die verwendete Prototypenversion arbeitete nach dem "Reverse Position-Correction"-Verfahren. Dabei wird die Ortung des Fahrzeuges durch eine Feststation, welche die Abweichung zwischen der errechneten Position und dem bekannten Standort als Ortungsfehler mitregistriert, korrigiert. Für die Ernte konnte auf zwei fabrikneue Mähdrescher uneingeschränkt zurückgegriffen werden (CLAAS DOMINATOR 108 MAXI und MASSEY FERGUSON MF 34RS). Wiederum wurde eine umfangreiche Meßtechnik für die versuchsdurchführung installiert (Abb 6).

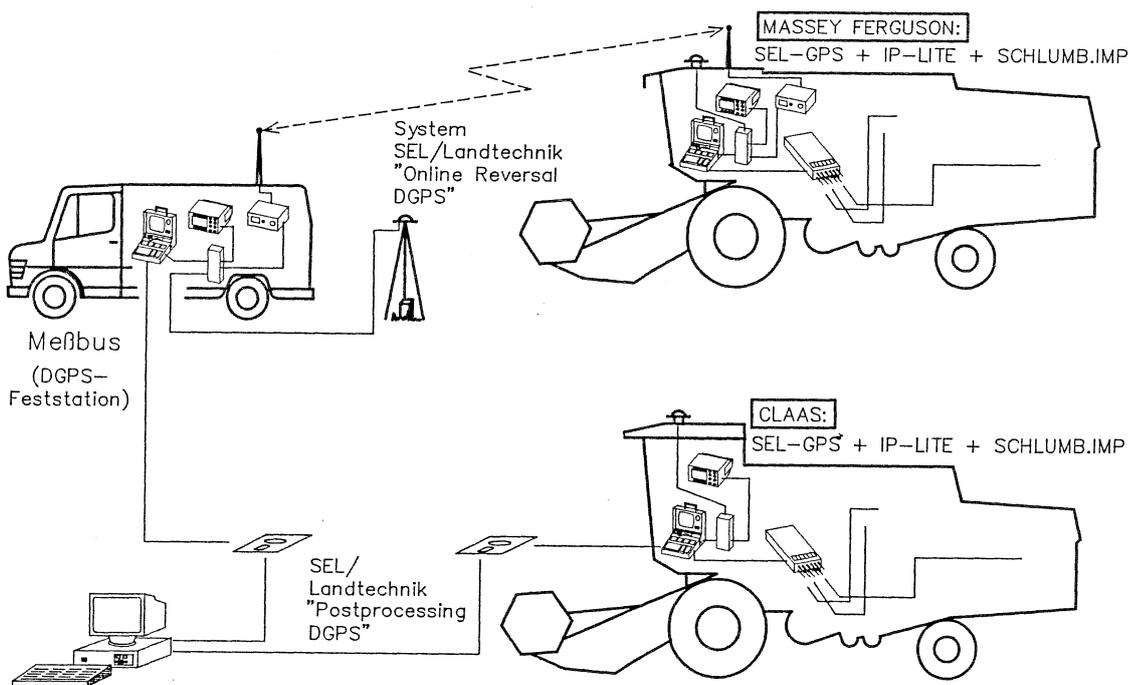


Abbildung 6: Ortung und Datenerfassung für die Ertragsermittlung 1991.

Zwei Industrie-PCs der Firma KONTRON zeichneten direkt die Positions- und Ertragsdaten neben weiteren Mähdrescherfunktionen auf.

Tabelle 1: Sensorausstattung der Mähdrescher in der Ernte 1991.

Ausstattung	CLAAS DOMINATOR 108 MAXI	MASSEY FERGUSON MF 34 RS
elektr. Ertragsmeßeinheit	YIELD-O-METER	DATAVISION FLOWCONTROL
Datendisplay	MUELLER UNICONTROL	DATAVISION
Datenspeicherung	Robust-PC: Kontron IP-LITE (2x RS f. Ortung und Ertrag) (S-Net + DATALOGGER für Sensoren)	Robust-PC: KONTRON IP-Lite (2x RS f. Ortung und Ertrag) (S-Net + DATALOGGER für Sensoren)
Positionsbestimmung	SEL DGPS GLOBOS LN 2000	SEL DGPS GLOBOS LN 2000
Sensoren für:		
Schneidwerk Arbeitsstellung	Zugschalter	Induktivsensor
Schnittanfangserfassung	Lichtschranke	Lichtschranke
Wegstreckenmessung	Induktivsensoren an beiden Antriebsrädern	Induktivsensoren an beiden Antriebsrädern
Zellenradrehzahl	Induktivsensor	———
Dreschwerk ein/aus	———	DATAVISION
Schneidwerk ein/aus	———	DATAVISION
Schneidwerk reversieren	———	DATAVISION

Die erfaßten Daten wurden im Abstand von sieben Sekunden registriert. Durch die Verfügbarkeit von 16 Satelliten existierten täglich nur mehr kurze Zeitabschnitte ohne GPS-Positionsbestimmung. Da diese jedoch während der Druschzeit auftraten, kam es dennoch zu kleineren Datenlücken. Für die Kalibrierung und Überprüfung der Ertragsmessung wurden alle Korntankinhalte einzeln auf einer geeichten Brückenwaage verwogen und deren Feuchtegehalte und Hektolitergewichte bestimmt.

Neben den Ertrags- und Positionsdaten wurden noch Informationen über die Arbeitsstellung, den Getreidefluß am Schneidisch und die Mähdrescheraggregate Dreschwerk, Einzug und Korntankentleerung aufgezeichnet.

Zusammen mit den umfangreichen Vorversuchen wurden von beiden Mähdreschern in der Ernte 1991 über 200 ha Getreide zur lokalen Ertragsermittlung gedroschen (Tab. 2).

Tabelle 2: Erntekennndaten für den Mähdreschereinsatz 1991.

	CLAAS DOMINATOR 108 MAXI		MASSEY FERGUSON MF 34 RS	
	Vorversuch	Hauptversuch	Vorversuch	Hauptversuch
Einsatzzeit (h)	20	40	35	55
Einsatzfläche (ha)				
W-Gerste	30	-	30	-
W-Roggen	-	-	20	-
W-Weizen	-	50	-	70
Mittlerer Ertrag (dt/ha)				
W-Gerste	82	-	80	-
W-Roggen	-	-	88	-
W-Weizen	-	64	-	55
Mittlere Kornfeuchte (%)	14,5	15,0	14,5	15,0
Gesamtdruschfläche (ha)	30	50	50	70
Gesamtdruschmenge (t)	246	320	416	375

2.2.3 Vor- und Hauptversuche 1992

In der Ernte 1992 wurden für die Versuche zur lokalen Ertragsermittlung wiederum zwei Großmähdrescher eingesetzt (CLAAS DOMINATOR 108 MAXI und MASSEY FERGUSON MF 40 RS). Da das US-Verteidigungsministerium als Betreiber des Satelliten-Ortungssystems GPS im Jahr 1992 eine künstliche Verschlechterung der Ortungsinformation auf das System aufgeschaltet hat (S/A Degradation), war für den differentiellen GPS-Betrieb ein leistungsfähigeres Korrekturverfahren notwendig. Die hierfür infragekommende und ausgewählte "Pseudorange-Correction" ermittelt auf der Feststationsseite eine Entfernungskorrektur zu jedem einzelnen zu empfangenden Ortungssatelliten. Damit können die Mobilstationen entsprechend ihre Empfangsbedingungen die entsprechenden Korrekturwerte auswählen. Eine Feststation kann dadurch Mobilstationen in einem Umkreis mit einem Radius bis zu 150 km bedienen.

Zusammen mit den Systemen aus der Ernte 1991 wurden deshalb während der Ernte 1992 vier DGPS-Systeme parallel zueinander untersucht. Neben dem SEL

Online-DGPS (Position-Correction) wurde auf dem CLASS Mähdrescher noch ein, auf ASHTECH - M XII GPS-Empfängern basierendes "Pseudorange-Correction" DGPS betrieben. Die DGPS-Korrektur erfolgte dabei im Postprocessing. Auf dem MF Mähdrescher waren zwei Online-DGPS Systeme installiert. MASSEY FERGUSON stellte dafür ein in die Bordelektronik DATAVISION integriertes System mit Datenaufbereitung (Verknüpfung Position und Ertrag) und Datenspeicherung zur Verfügung. Dieses im Prototypenstadium befindliche System basierte auf einem TRIMBLE GPS-Empfänger. Zusätzlich wurde ein ASHTECH "GPS-Sensor" eingesetzt. Beide GPS Empfänger erhielten die Korrekturinformationen für das Pseudorange Verfahren von der oben erwähnten ASHTECH - M XII Feststation über Funk (Abb.7).

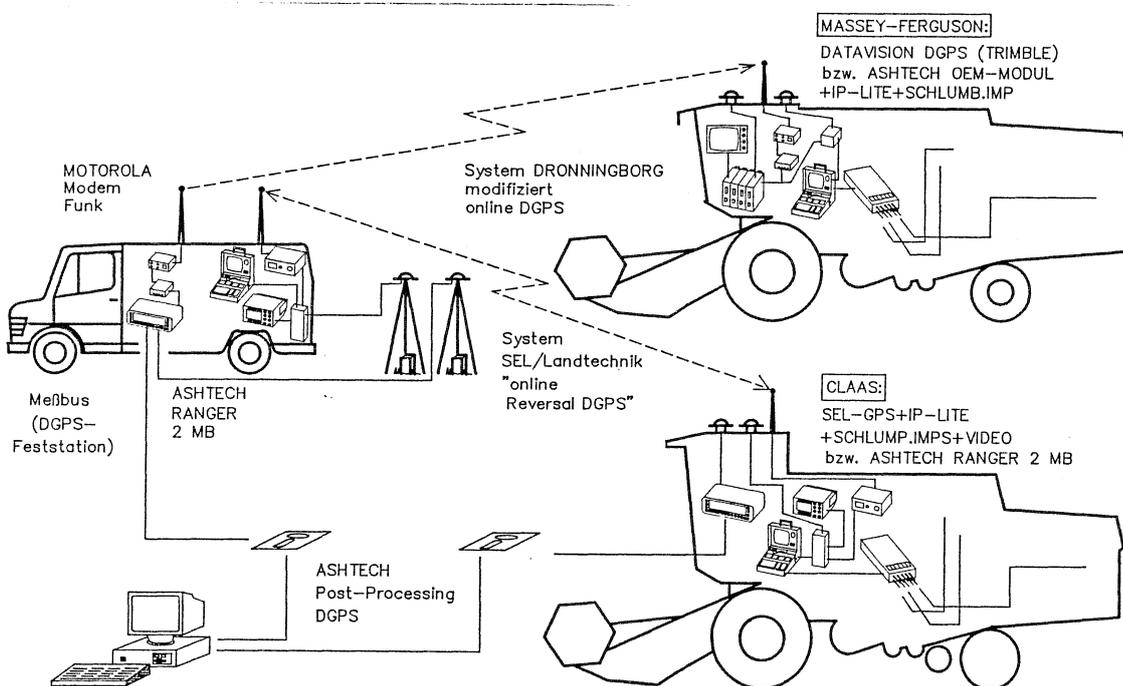


Abbildung 7: Ortung und Datenerfassung für die Ertragsermittlung 1992.

Die detaillierte Zusammenstellung der Sensorausstattung der beiden Mähdrescher in der Ernte 1992 ist in Tabelle 3 aufgeführt.

Die Gesamtdruschfläche für die lokale Ertragsermittlung in der Ernte 1992 betrug etwa 150 ha. Gegenüber 1991 wurde die Verringerung der Erntefläche vor allem durch die Erfahrungen aus dem Vorjahr erreicht.

Tabelle 3: Sensorausstattung der Mähdrescher für die Ernte 1992.

Ausstattung	CLAAS DOMINATOR 108 MAXI	MASSEY FERGUSON MF 40 RS
elektr. Ertragsmeßeinheit	YIELD-O-METER	DATAVISION FLOWCONTROL
Datendisplay	MUELLER UNICONTROL	DATAVISION
Datenspeicherung	Robust-PC: Kontron IP-LITE (2x RS f. Ortung und Ertrag) (S-Net + DATALOGGER für Sensoren)	DATAVISION + CHIPKARTE Robust-PC: KONTRON IP-Lite (2x RS f. Ortung und Ertrag) (S-Net + DATALOGGER für Sensoren)
Positionsbestimmung	SEL DGPS GLOBOS LN 2000 (ONLINE) ASHTECH M XII DGPS (POSTPROCESSING)	MF-DATAVISION DGPS ASHTEC M XII + OEM MODUL DGPS (ONLINE)
Sensoren für:		
Schneidwerk Arbeitsstellung	Zugschalter	Induktivsensor
Schnittanfangserfassung	Lichtschranke	—
Wegstreckenmessung	Induktivsensoren an beiden Antriebsrädern	—
Zellenradrehzahl	Induktivsensor	—
Dreschwerk ein/aus	Bordelektrik	DATAVISION
Schneidwerk ein/aus	Bordelektrik	DATAVISION
Schneidwerk reversieren	Bordelektrik	DATAVISION
Schnittbreite	Taster	—
	Ultraschall	—
Kornfeuchte	Kapazitiver Sensor	—

3. Ergebnisse und Diskussion

Entsprechend den beiden eingesetzten Techniken für die Ertragsmessung auf der einen und für die Ortung auf der anderen Seite werden die Ergebnisse gesondert für beide Bereiche dargestellt und in einem besondern Kapitel über die Ertragskartierung zusammengeführt.

3.1 Ertragsermittlung

Für die Ertragsermittlung beschränken sich die direkt vergleichbaren Ergebnisse auf die Ernten 1991 und 1992. Die Gegenüberstellung je Korntankfüllung mit den zugehörigen Kenngrößen wurde nur bei den Hauptversuchen durchgeführt. Dabei ist die unterschiedliche Vorgehensweise bei der Kalibrierung der Systeme zu beachten. Sie erfolgte 1991 ausschließlich nach Angaben der Hersteller. In der Regel wurde sie für jedes der beiden System jeweils zum Schlagwechsel durchgeführt. Dagegen wurde 1992 anders verfahren. Beim Volumenstrommeßprinzip wurde zu jeder Tankfüllung neu kalibriert, zusätzlich bei jedem Schlagwechsel. Beim Massestrommeßprinzip wurde dagegen weiter nach Angabe des Herstellers jeweils nur zum Schlagwechsel neu kalibriert.

Die Überprüfung der beiden Ertragsmeßsysteme ergab bei unterschiedlicher Zahl der Korntankfüllungen je Jahr und ungleicher Verteilung je Jahr für die Ernten 1991 und 1992 unterschiedliche Ergebnisse (Tab. 4).

Tabelle 4: Genauigkeiten der Ertragsermittlung in der Ernte 1991 und 1992.

Statistische Kenngrößen	CLAAS DOMINATOR 108 MAXI YIELD-O-METER (Volumenstrom)		MASSEY FERGUSON MF 34/40 RS DATAVISION FLOWCONTROL (Massestrom)	
	1991	1992	1991	1992
Anzahl der Tankfüllungen	72	39	109	60
mittleres Korntankgewicht	4,06 t	3,67 t	3,40 t	4,00 t
mittlerer Fehler der Meßeinrichtung	-1,33 %	- 0,05 %	-0,36 %	-1,24 %
Standardabweichung	4,39 %	2,23 %	3,78 %	4,05 %
95 % Vertrauensbereich	8,61 %	4,37 %	7,42 %	7,95 %
mittleres Hektolitergewicht	70,4 kg/hl	64,1 kg/hl	70,6 kg/hl	64,4 kg/hl
Standardabweichung Hektolitergewicht	3,63 kg/hl	1,30 kg/hl	1,95 kg/hl	2,39 kg/hl
mittlere Kornfeuchte	15,1 %	13,4 %	15,1 %	13,9 %
Standardabweichung Kornfeuchte	1,3 %	1,3 %	1,3 %	1,7%
Genauigkeitsprüfung erfolgte über Gegenwiegung der einzelnen Tankinhalte !				

Während das Volumenstrommeßgerät beim Winterweizendrusch 1991 den größten Fehler aller Untersuchungen aufwies, erreichte es 1992 bei Sommergerste das beste Ergebnis. Hingegen verschlechterte sich das Massestrommeßgerät von 1991 auf 1992 geringfügig, bei der wichtigeren Kenngröße "Streuung" blieb es nahezu konstant.

Als wesentliche Ursache kann neben der schon erwähnten veränderten Kalibrierung bei nahezu gleichen mittleren Hektolitergewichten der jeweiligen Jahre deren große Streuung ausgemacht werden. Dabei ergaben sich für das Volumenmeßgerät bei der Ernte 1992 ungleich günstigere Bedingungen als beim Massestromgerät. Deshalb scheint vor der vertieften Darstellung der Ergebnisse zur Meßgenauigkeit die Diskussion der jeweiligen Bedingungen bei den Hektolitergewichten und Feuchtegehalten unumgänglich zu sein.

3.1.1 Hektolitergewicht und Feuchte

Aufgrund der unterschiedlichen Getreidearten in den beiden Erntejahren werden diese gesondert dargestellt.

3.1.1.1 Erntejahr 1991

Werden in einer ersten Analyse Hektolitergewicht und Feuchte über dem Tagesablauf dargestellt, dann zeigt sich dabei die große Spannweite der erfaßten Werte (Abb. 8).

Die Hektolitergewichte bewegen sich gleichmäßig verteilt über den Tagesablauf zwischen 65 und 75 kg. Abweichend davon treten nur zwei Werte um 15.00 und um 21.00 Uhr auf. Beide Werte könnten demnach mit Meßfehlern behaftet sein.

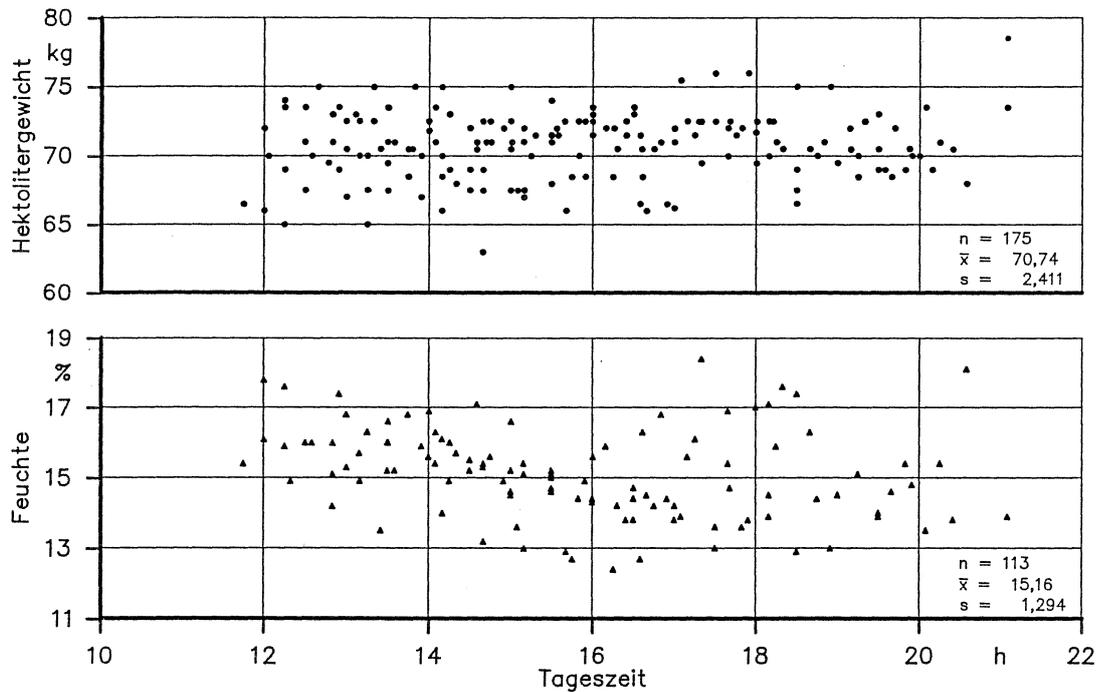


Abbildung 8: Hektolitergewichte und Feuchtehalte bei Winterweizen während der Ernte in Scheyern 1991 über dem Tagesverlauf (Sorte ORESTIS; Erntezeit 12.8. - 22.8.91; Erntefläche 120 ha; mittlerer Ertrag 58,8 dt/ha).

Bei den Feuchtegehalten zeigt sich dagegen über den Tagesablauf insgesamt eine Abnahme. Sie führt andererseits aber zu einer vergrößerten Streuung. Diese verwischt die klare Tendenz zwischen 16.00 und 19.00.

Zur Verdeutlichung mittlerer Tendenzen wurden im nachfolgenden Schritt allgemeingültige Stundenmittelwerte errechnet und in die Meßwertverteilung eingetragen (Abb. 9).

Danach führt der Rückgang der Feuchtehalte über dem Tagesverlauf nur zu einer geringfügigen Erhöhung der Hektolitergewichte. Diese ist über die Korrelationsanalyse statistisch mit einem Bestimmtheitsmaß von 3,6 % abzusichern und beträgt je Stunde 0,2141 kg.

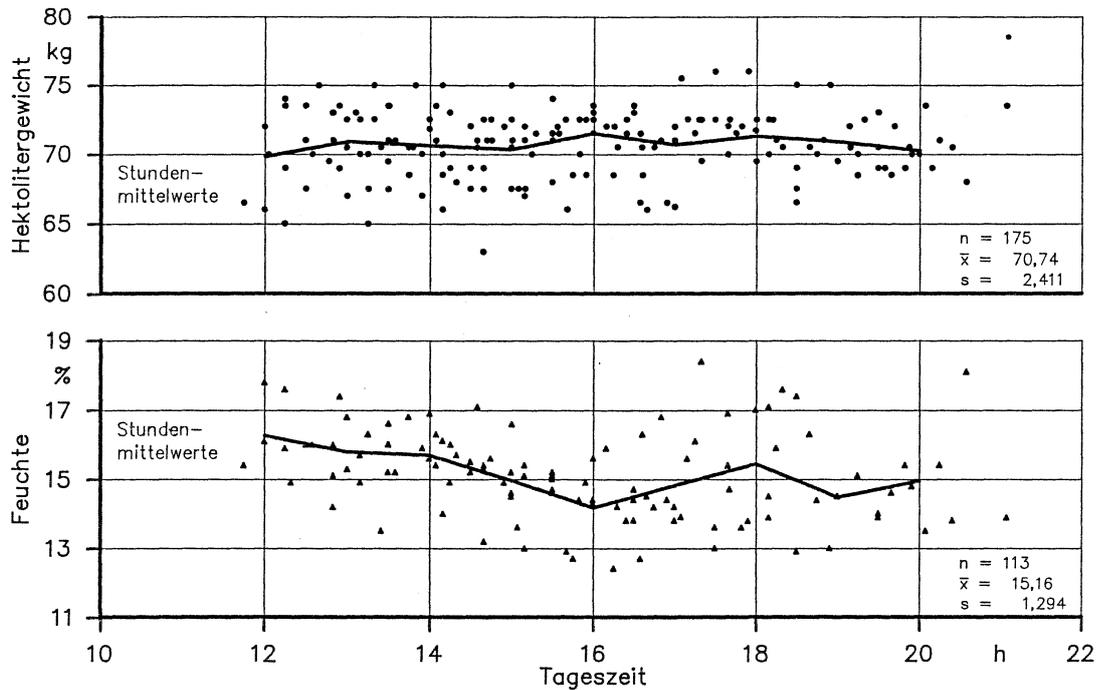


Abbildung 8: Einzel- und Stundenmittelwerte der Hektolitergewichte und Feuchtehalte bei Winterweizen während der Ernte in Scheyern 1991 im Tagesverlauf (Sorte ORESTIS; Erntezeit 12.8.-22.8.91; Erntefläche 120 ha; mittlerer Ertrag 58,8 dt/ha)

Die über dem Tagesverlauf dargestellten Meßwerte können durch die Dauer der Ernte von insgesamt 10 Tagen beeinflusst sein. Deshalb muß auch deren Zuordnung nach den einzelnen Druschtagen getrennt nach den beiden Meßsystemen erfolgen.

Volumenmeßgerät

Beim Erntegut des Mähddreschers mit dem Volumenstrommeßgerät lag sowohl bei der Kornfeuchte, wie auch bei den Hektolitergewichten eine sehr große Streubreite vor, wenn die einzelnen Korntankentleerung zeitgerecht je Tag zwischen 10.00 und 24.00 aufgetragen werden (Abb. 10).

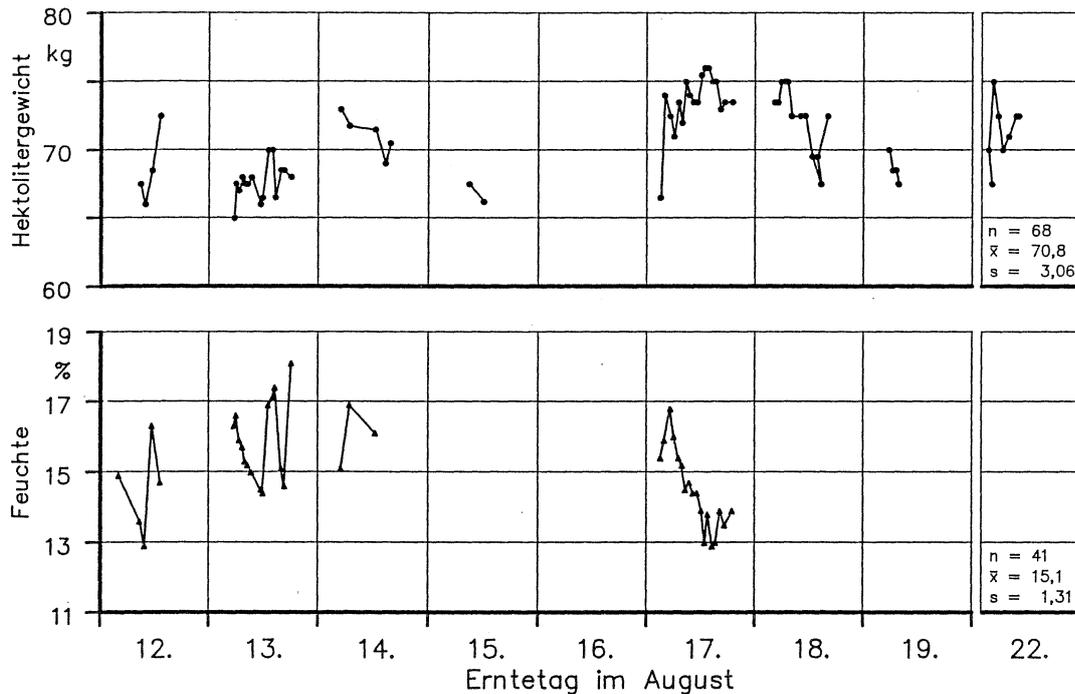


Abbildung 10: Hektolitergewichte und Feuchtehalte bei Winterweizen während der Ernte in Scheyern 1991 mit der Ertragsmessung durch das Volumenstrommeßgerät (Sorte ORESTIS; Erntezeit 12.8. - 22.8.91; Erntefläche 50 ha; mittlerer Ertrag 64 dt/ha).

An keinem der Erntetage wurde danach in sich homogenes Gut geerntet (entspricht damit den praktischen Verhältnissen sehr gut !). Die für das Meßgerät kritische Größe "Hektolitergewicht" ist nur in Ausnahmefällen von Korntankfüllung zu Korntankfüllung gleich oder ähnlich.

Massestrommeßgerät

Demgegenüber stellt sich die Situation bei den Meßwerten aus dem Einsatz des Massestrommeßgerätes anders dar (Abb. 11).

Die großen Sprünge bei den Feuchtegehalten sind dort nicht gegeben. Vielmehr ergaben die Verhältnisse in sich stetige Änderungen durch Zu- oder Abnahme.

Auch beim Hektolitergewicht ist diese Tendenz erkennbar. Die Veränderungen von Korntankfüllung zu Korntankfüllung sind dort nahezu immer in einem Bereich von 1 bis 2 kg/hl.

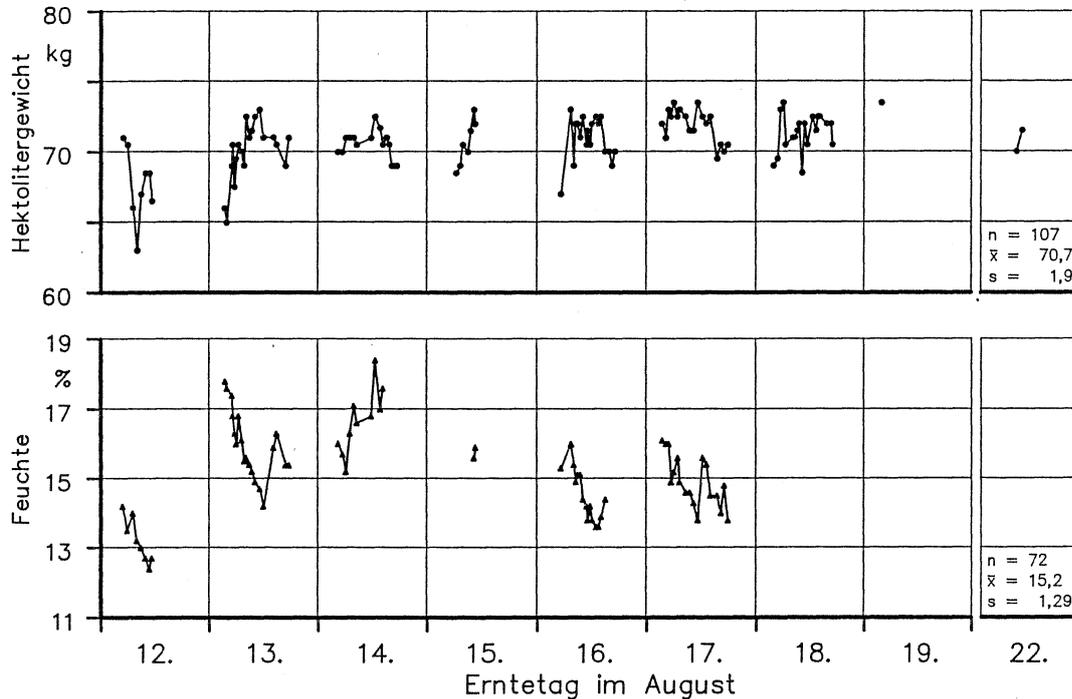


Abbildung 10: Hektolitergewichte und Feuchtehalte bei Winterweizen während der Ernte in Scheyern 1991 mit der Ertragsmessung durch das Massestrommeßgerät (Sorte ORESTIS; Erntezeit 12.8. - 22.8.91; Erntefläche 70 ha; mittlerer Ertrag 55 dt/ha).

3.1.1.2 Erntejahr 1992

Gegenüber der Ernte 1991 zeigte die Sommergerste der Ernte 1992 als Mittel über dem Tagesverlauf eine abweichende Charakteristik (Abb. 11).

Deutlich ist nun eine Abnahme der Hektolitergewichte über dem Tagesverlauf zu erkennen. Stärker abweichende Werte finden sich nur nach 21.00 Uhr.

Die Feuchtegehalte pendeln sich nach 15.00 in einen konstanten Wertebereich zwischen 11 und 13 % ein. Abweichungen sind sowohl zwischen 13.00 und 15.00 Uhr, wie auch zwischen 18.00 und 19.00 gegeben.

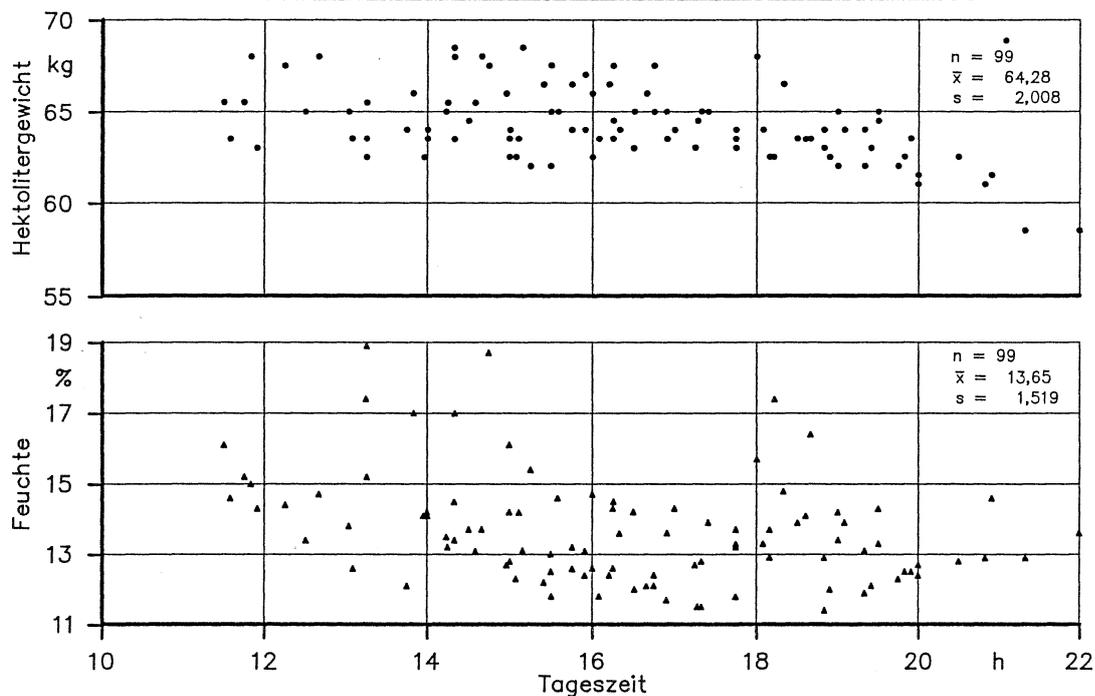


Abbildung 11: Hektolitergewichte und Feuchtehalte bei Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1992 über dem Tagesverlauf (Sorte SISSI; Erntezeit 30.7. - 7.8.92; Erntefläche 110 ha; mittlerer Ertrag 38,4 dt/ha).

Diese Verhältnisse spiegeln sich in den errechneten Stundenmittelwerten wider (Abb. 12).

Zwischen 11.00 und 17.00 liegen nahezu gleichbleibende Hektolitergewichte vor, danach nehmen sie deutlich ab. Bei den Feuchtegehalten wiederholt sich bei abnehmender Feuchte bis 17.00 der auch schon in der Ernte 1991 beobachtete Zwischenanstieg zwischen 18.00 und 19.00. Wie im Jahr zuvor nimmt die Gutsfeuchte ab 20.00 wieder zu.

Bezogen auf die beiden eingesetzten Mähdrescher und den damit geernteten Körnern soll auch hier eine Analyse nach Einzeltagen die Zusammenhänge transparenter gestalten.

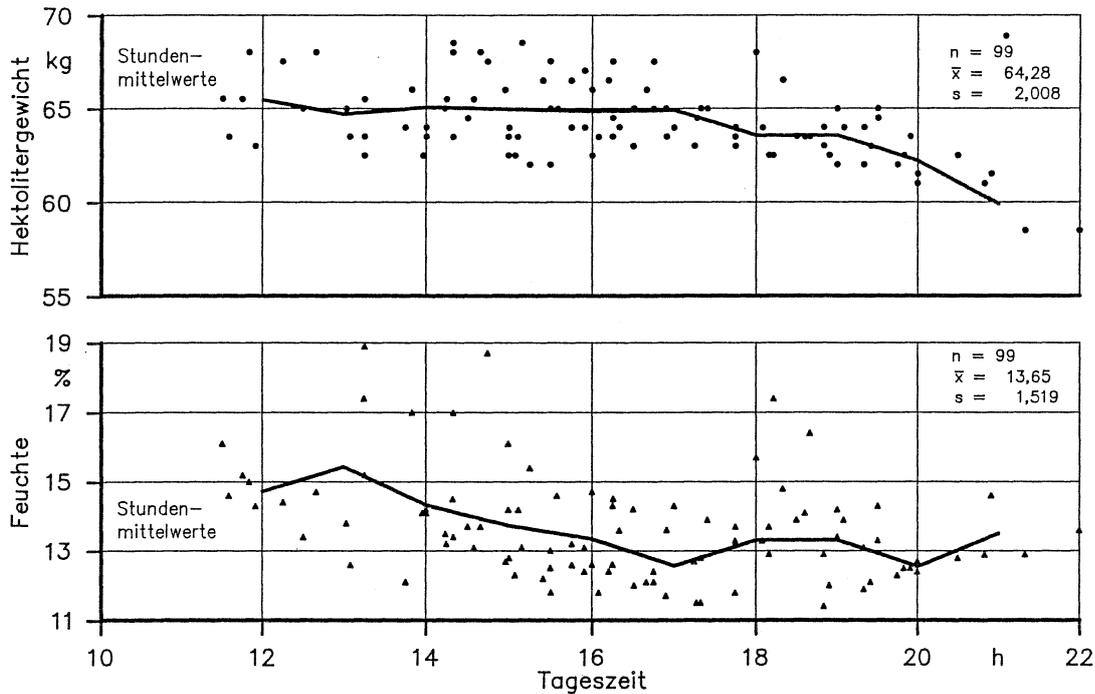


Abbildung 12: Mittlere Stundenwerte der Hektolitergewichte und Feuchtegehalte bei Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1992 über dem Tagesverlauf (Sorte SISSI; Erntezeit 30.7. - 7.8.92; Erntefläche 110 ha; mittlerer Ertrag 38,4 dt/ha).

Volumenmeßgerät

Nunmehr sind die Verhältnisse für das Volumenmeßgerät bei den Hektolitergewichten wesentlich günstiger (Abb. 13).

Die Differenzen von Korntankfüllung zu Korntankfüllung sind gering, insgesamt ist der Streubereich sehr stark eingengt. Dagegen streuen - in sich allerdings weitgehend stetig - die Feuchtegehalte in einem sehr großen Bereich. Erst gegen Ende der Druschperiode lag Erntegut mit weitgehend gleichem Feuchtegehalt vor.

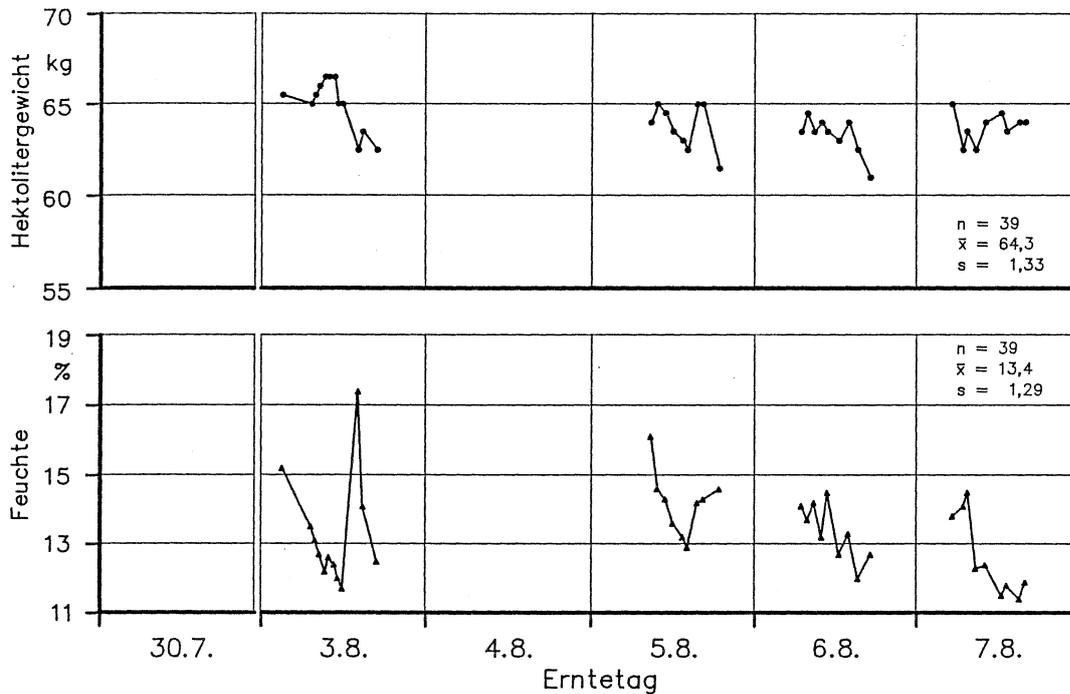


Abbildung 13: Hektolitergewichte und Feuchtehalte bei Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1992 mit der Ertragsmessung durch das Volumenstrommeßgerät (Sorte SISSI; Erntezeit 30.7. - 7.8.92; Erntefläche 40 ha; mittlerer Ertrag 39 dt/ha).

Massestrommeßgerät

Der Mähdrescher mit dem Massestrommeßgerät erntete dagegen Gut mit zwei unterschiedlichen Hektolitergewichten (Abb. 14).

Bis zum 3.8., 19.00 wurde mit einer Ausnahme Gerste mit einem Hektolitergewicht ≥ 65 kg geerntet. Danach bewegte sich das Gut im Bereich zwischen 63 und 65 kg. Sehr deutlich ist auch die Abnahme des Feuchtegehaltes der Körner während der ersten beiden Druschtage. Danach entspricht das geerntete Gut jenem der Vergleichsmaschine.

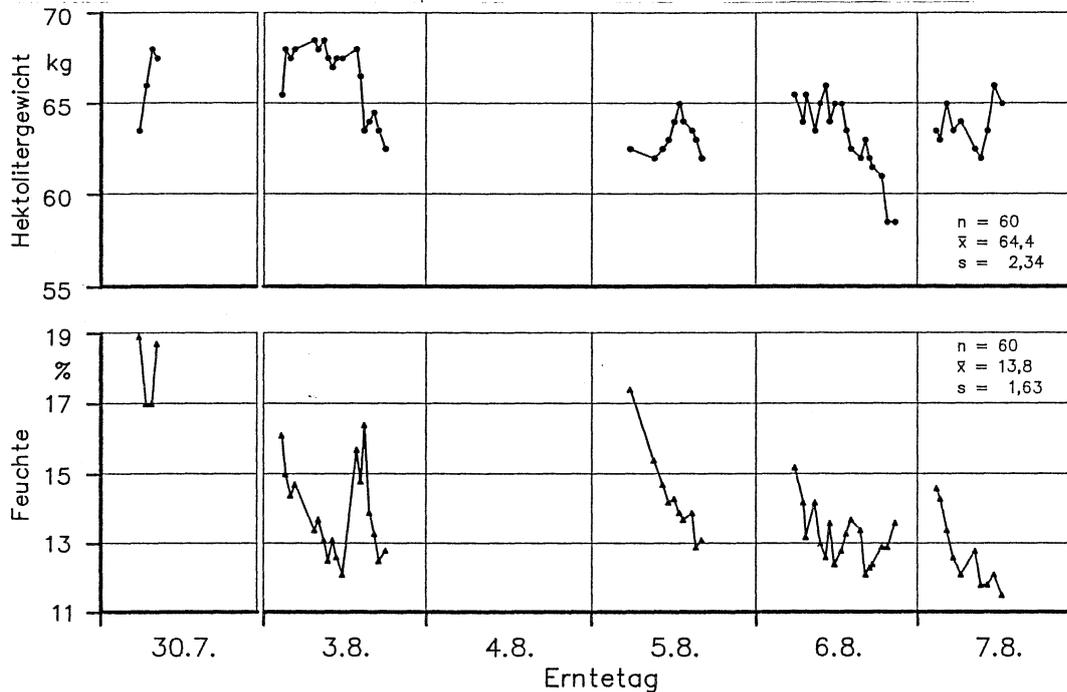


Abbildung 14: Hektolitergewichte und Feuchtehalte bei Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1992 mit der Ertragsmessung durch das Massestrommeßgerät (Sorte SISSI; Erntezeit 30.7. - 7.8.92; Erntefläche 70 ha; mittlerer Ertrag 38 dt/ha).

3.1.2 Meßgenauigkeit

Auf diese Gegebenheiten aufbauend können nun die Meßgenauigkeiten der beiden eingesetzten Systeme untersucht werden. Dabei soll wiederum zuerst eine Gegenüberstellung aller im Mittel erreichten Ergebnisse vorgenommen werden. Zu unterscheiden ist dabei hinsichtlich des Kalibrierfehlers und der Streuung der Meßergebnisse (Abb. 15).

Der mittlere Meßfehler stellt den eigentlichen Kalibrierfehler dar. Er lag im Mittel aller Untersuchungen nahezu immer im negativen Bereich, d.h. die eingesetzten Meßgeräte zeigten immer zu geringe Erträge an.

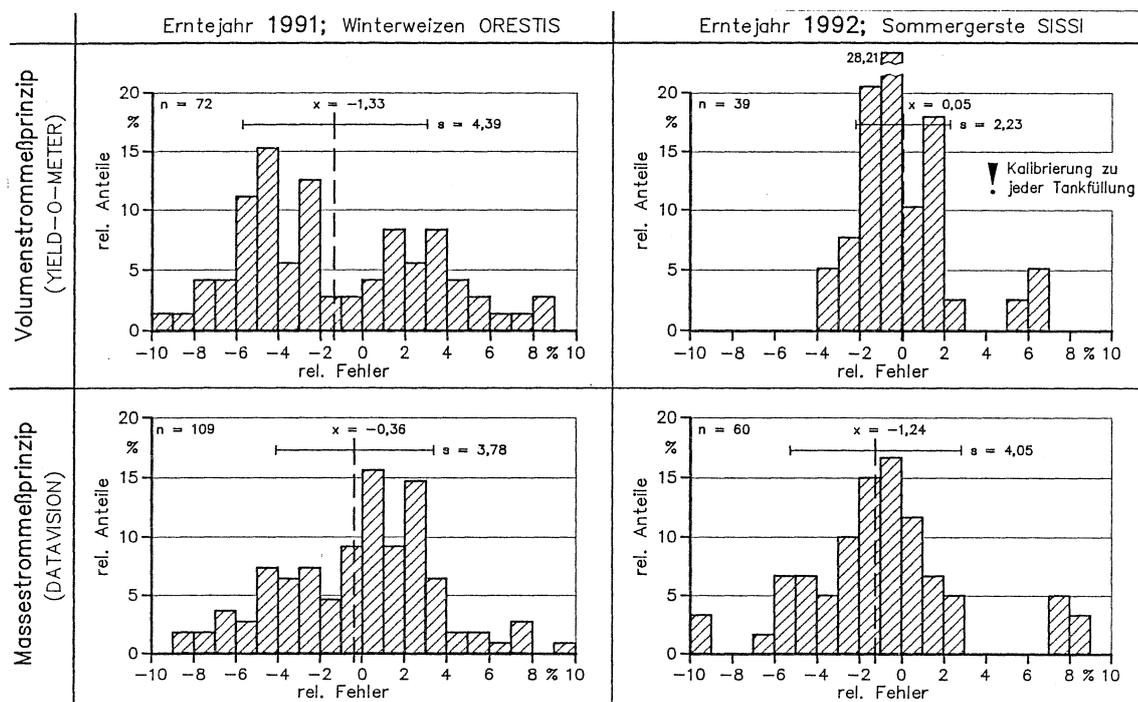


Abbildung 15: Häufigkeiten der relativen Meßfehler bei der Ernte 1991 und 1992 in Scheyern mit Volumen- und Massestrommeßeinrichtungen.

Deutliche Unterschiede sind für das YIELD-O-METER erkennbar. Es erreichte bei der Ernte 1991 einen Fehler von -1,33 %. Bedingt durch das häufige Kalibrieren bei der Ernte 1992 konnte dieser Fehler nahezu gegen Null gebracht werden. Im Gegensatz dazu vergrößerte sich der mittlere Meßfehler beim Massestrommeßgerät von 1991 auf 1992 um nahezu einen Prozentpunkt.

Eine ähnliche Tendenz ist bei der Streuung der Meßergebnisse, also dem eigentlichen Meßfehler zu beobachten. Sie verringerte sich beim YIELD-O-METER auf nahezu die Hälfte und erreichte mit ihrem 95 %-Vertrauensbereich (etwa 2 s) $\pm 4,5$ %. Bezogen auf die 1-Sigmagrenze liegen demnach etwa 70 % der Meßfehler in einem Bereich von $\pm 2,4$ %. Beim DATAVISION hingegen wurde in der Ernte 1991 das günstigere Ergebnis mit $\pm 7,5$ % (95 %iger Vertrauensbereich) erreicht. Der Meßfehler erhöhte sich 1992 auf etwa 8 %.

3.1.2.1 Erntejahr 1991

Aufgrund dieser unterschiedlichen Ergebnisse sind die beiden Untersuchungsjahre gesondert weiter zu analysieren.

Volumenmeßgerät

Abhängig vom jeweiligen Drushtag ergeben sich sehr unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der absoluten und der relativen Fehler, wenn jede Korntankentleerung zeitgerecht je Tag zwischen 10.00 und 24.00 aufgetragen wird (Abb. 16)

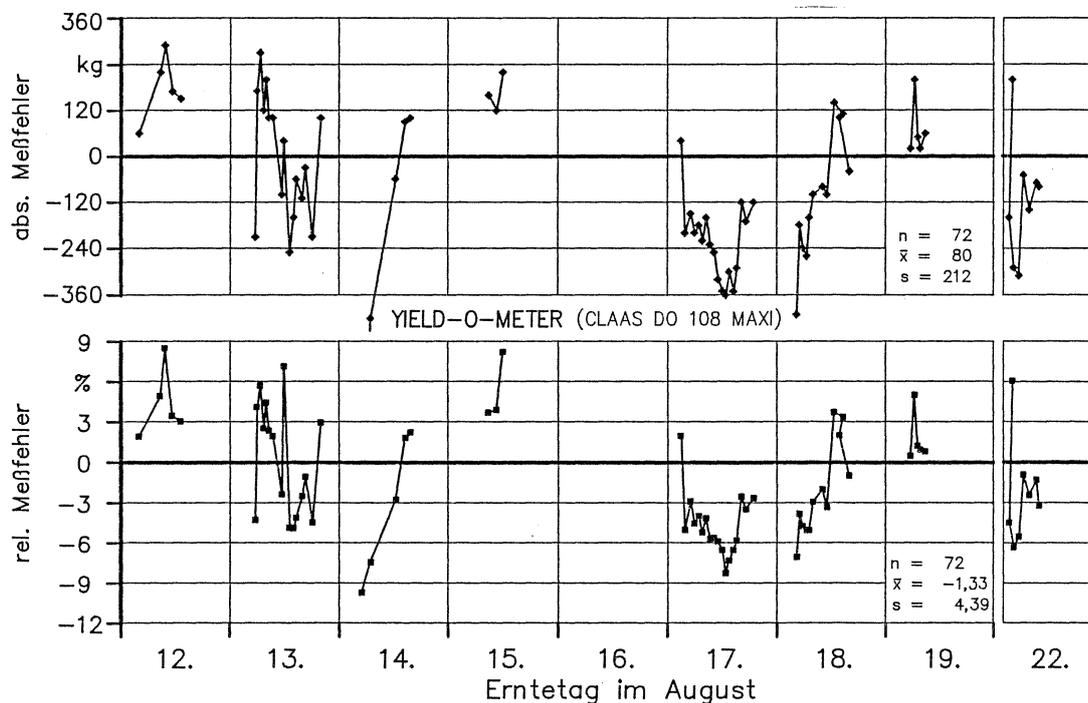


Abbildung 16: Absolute und relative Meßfehler für das Volumenstrommeßgerät bei Winterweizen während der Ernte in Scheyern 1991 (Sorte ORESTIS; Erntezeit 12.8.-22.8.91; Erntefläche 50 ha; mittlerer Ertrag 64 dt/ha).

Generell zeigen absolute und relative Meßfehler die gleiche Tendenz, wenngleich die absoluten Fehler stärkere Schankungen aufweisen. Über den jeweiligen Tagesverlauf ändern sich die Fehler z.T. sehr stark. Auffällig ist der starke Wechsel vor allem zwischen der ersten und zweiten Korntankfüllung am 13., 17. und 22. August. Nur positive oder nur negative Abweichungen treten nur an Tagen mit geringer Korntanzahl auf.

Massestrommeßgerät

Bei wesentlich größerem Einsatzumfang zeigt das Massestrommeßgerät eine ähnliche Tendenz (Abb. 17).

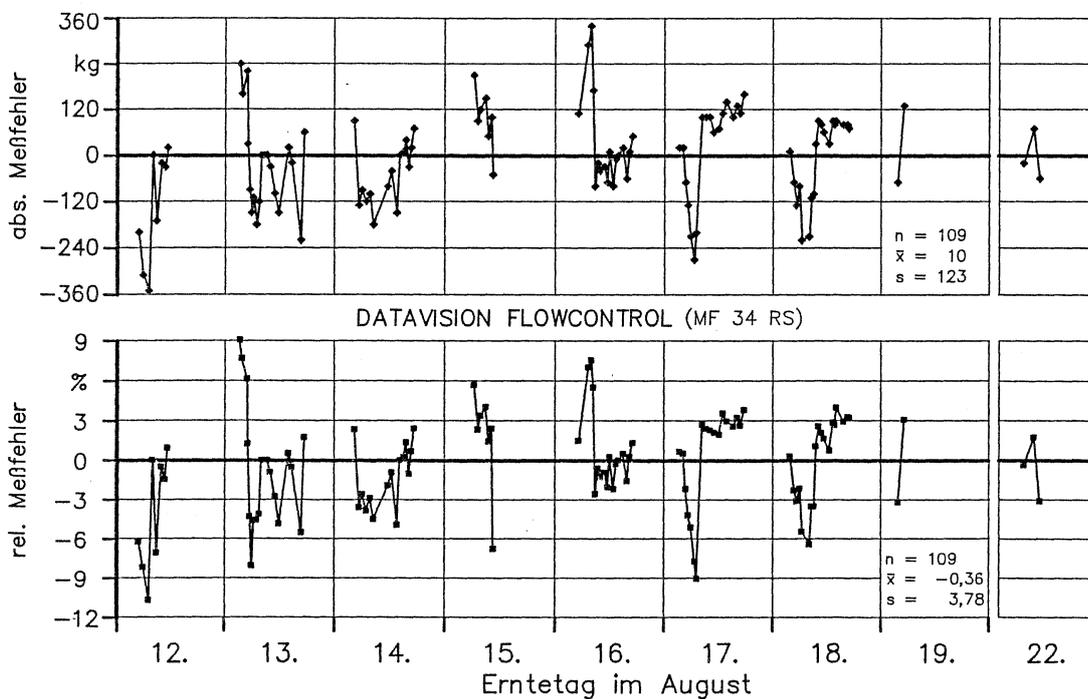


Abbildung 17: Absolute und relative Meßfehler für das Massestrommeßgerät bei Winterweizen während der Ernte in Scheyern 1991 (Sorte ORESTIS; Erntezeit 12.8. - 22.8.91; Erntefläche 70 ha; mittlerer Ertrag 55 dt/ha).

Allerdings sind nun die absoluten und die relativen Fehler nahezu identisch. Dies deutet auf eine weitgehend gleichmäßige Füllung der jeweiligen Tankinhalte hin. Unterschiedlich ist auch der Verlauf der Meßwertfehler je Tag. Nunmehr verändert sich der Meßwertfehler nach der zweiten oder dritten Korntankfüllung (Ausnahme nur der 19.8. mit insgesamt nur 2 Tankfüllungen).

Volumen- und Massetrommeßgerät

Ähnlichkeiten und Unterschiede können in der direkten Gegenüberstellung erkannt werden (Abb. 18).

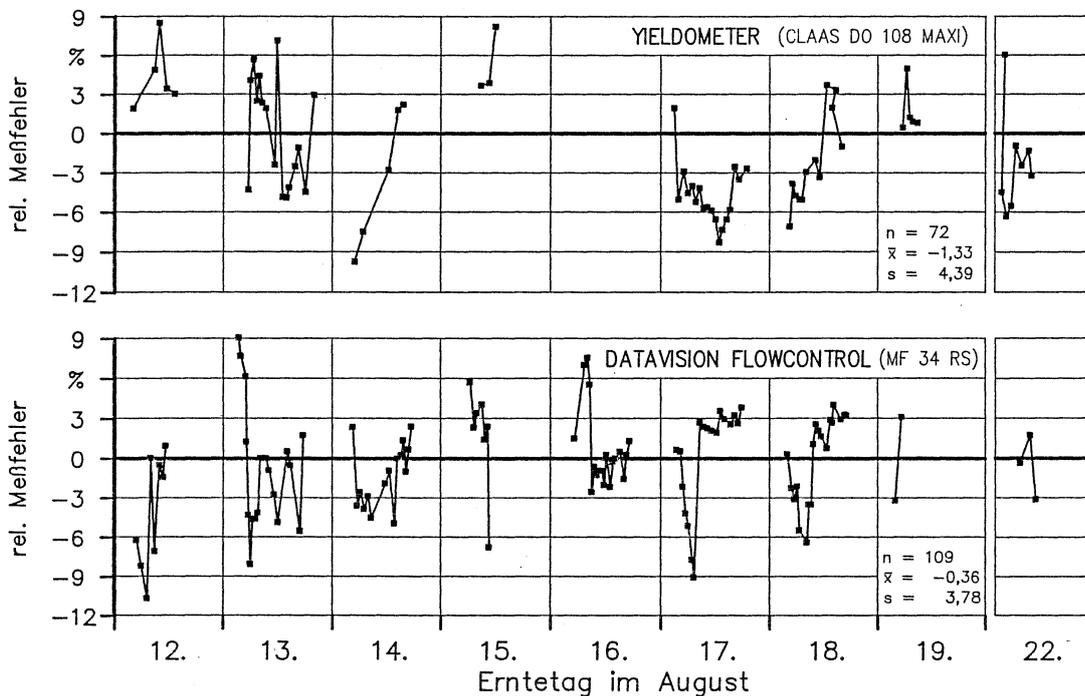


Abbildung 18: Relative Meßfehler von Ertragsmeßgeräten bei Winterweizen während der Ernte in Scheyern 1991 (Sorte ORESTIS; Erntezeit 12.8. - 22.8.91; Erntefläche 120 ha; mittlerer Ertrag 58,5 dt/ha).

Trotz gleicher Sorte und gleicher Reifegrade zeigen die beiden Meßsysteme an gleichen Tagen vollständig unterschiedliche Verläufe und Werte. Nur am 13.8. kann eine gewisse Ähnlichkeit festgestellt werden. Nahezu immer ist jedoch der Meßwertfehler innerhalb eines Tages beim Massestrommeßprinzip in sich konstanter mit Ausnahme der schon erwähnten Änderungen nach der ersten oder der zweiten bzw. dritten Tankfüllung.

3.1.2.2 Erntejahr 1992

Auch für die Ernte 1992 sollen die beiden Meßsysteme getrennt und anschließend direkt vergleichend dargestellt werden.

Volumenmeßgerät

Ausgehend von der veränderten Kalibrierweise und von einem in sich homogeneren Erntegut bezüglich der Streuung der Hektolitergewichte erreichte das Volumenmeßgerät geradezu optimale Ergebnisse (Abb. 19).

Absolute und relative Fehler tendieren weitgehend identisch. Auch die starken Veränderungen der Meßwertfehler nach der 1. Korntankfüllung sind nahezu nicht mehr erkennbar. Neu ist nun jedoch der wesentlich größere Fehler jeweils der letzten Tankfüllung eines Druschtages (5.8. und 6.8.).

Massestrommeßgerät

Demgegenüber behält das Massestrommeßgerät seine Grundtendenz bei (Abb. 20).

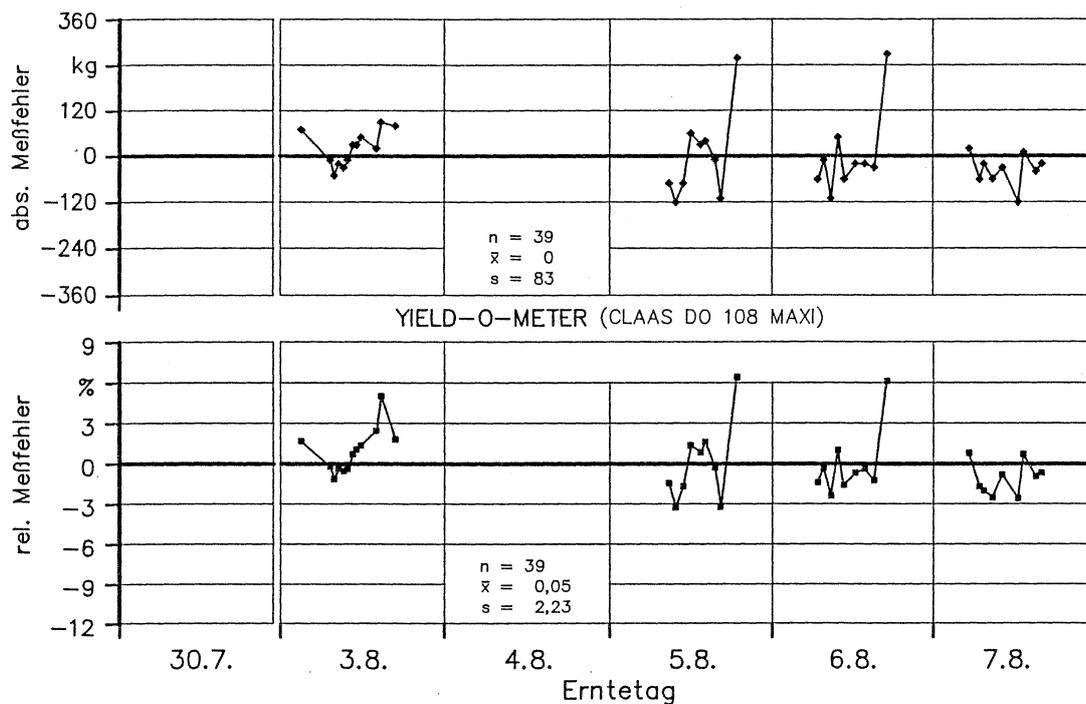


Abbildung 19: Absolute und relative Meßfehler für das Volumenstrommeßgerät bei Sommergerste während der Ernte in Scheuern 1992 (Sorte SISSI; Erntezeit 30.7. - 7.8.92; Erntefläche 40 ha; mittlerer Ertrag 39 dt/ha)

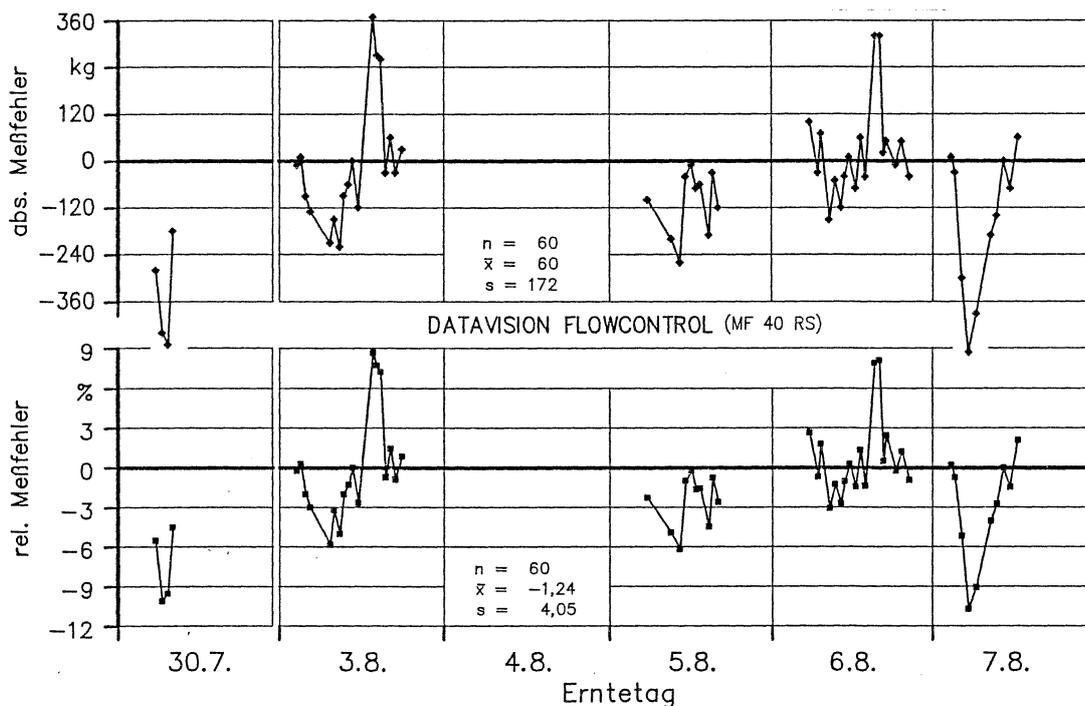


Abbildung 20: Absolute und relative Meßfehler für das Massestrommeßgerät bei Sommergerste während der Ernte in Scheuern 1992 (Sorte SISSI; Erntezeit 30.7. - 7.8.92; Erntefläche 70 ha; mittlerer Ertrag 38 dt/ha).

Zum insgesamt schlechteren Ergebnis tragen dabei vor allem die Korntankfüllungen am Spätnachmittag des 3.8. und 6.8. und die großen Meßfehler am letzten Drushtag (Drusch von zwei kleineren Einzelschlägen mit stark abweichenden Kornfeuchten ohne Möglichkeit der Nachkalibrierung) bei. Wiederum sind die Abweichungen innerhalb der Tage in sich relativ konstant.

Volumen- und Massstrommeßgerät

Im direkten Vergleich beider Meßsysteme zeigen sich an einigen Druschtagen gleichgerichtete Fehler (Abb. 21).

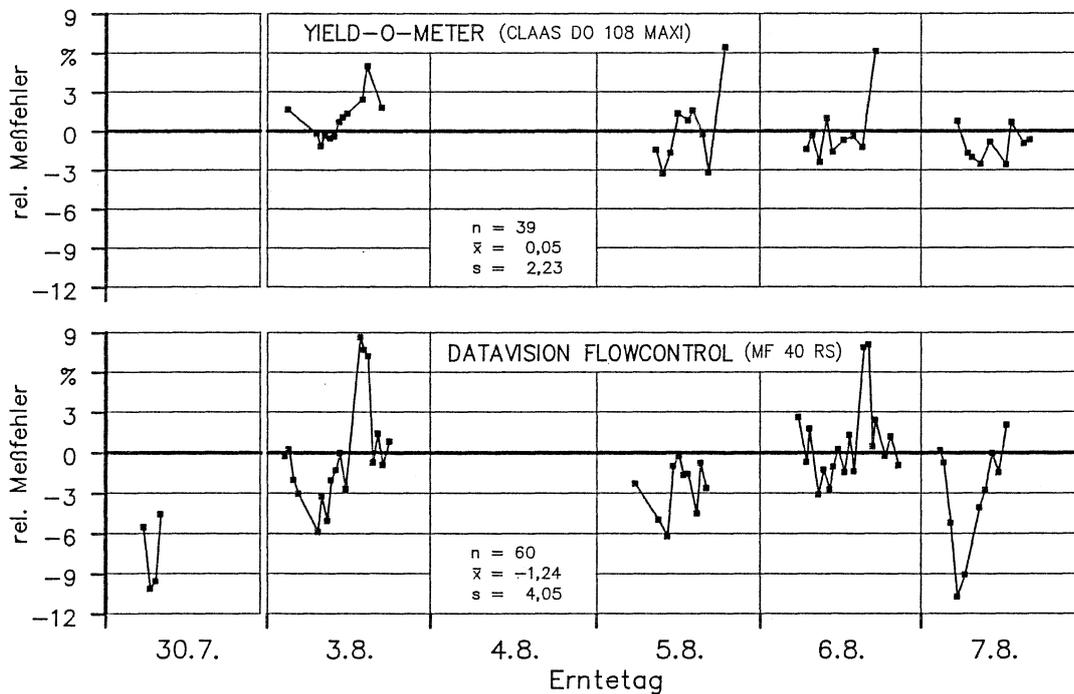


Abbildung 21: Absolute und relative Meßfehler für das Volumen- und Massstrommeßgerät bei Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1992 (Sorte SISSI; Erntezeit 30.7. - 7.8.92; Erntefläche 110 ha; mittlerer Ertrag 38 dt/ha).

Deutlich stechen die gleichgerichteten Abweichungen am Spätnachmittag des 3.8. und 6.8. hervor, während am letzten Druschtag die starken Abweichungen des DATAVISION-Gerätes vom YIELD-O-METER nur bedingt nachvollzogen werden.

3.1.2.3 Tageszeit

Nach den Anlaysen im Kapitel 3.1.2 findet über dem Tagesverlauf eine deutliche Veränderung der Gutsfeuchte statt. Inwieweit darauf die Meßgeräte reagieren läßt sich durch eine Zuordnung aller verfügbaren Meßwerte zur Tageszeit je Meßsystem und Erntejahr ableiten.

Volumenmeßgerät

Das Volumenmeßgerät zeigt danach keine grundlegende Beeinflussung (Abb. 22).

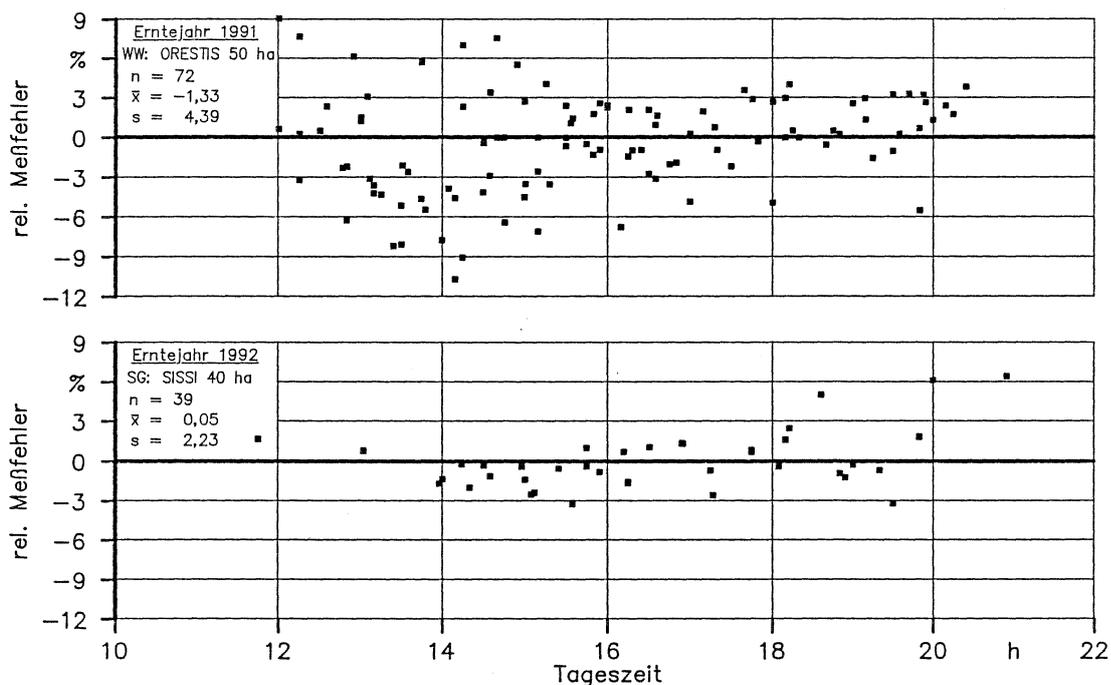


Abbildung 22: Relative Meßfehler beim Volumenstrommeßgerät "YIELD-O-METER" während der Ernte in Scheyern 1991 und 1992

Allerdings ist im Erntejahr 1991 eine deutliche Einengung der Streuung der Meßwertfehler zu erkennen. Sie findet vor allem zwischen 12.00 und 15.30 statt. Hingegen verläuft die Streuung der Meßwerte im Erntejahr 1992 weitgehend gleichmäßig um den Wert Null. Größere Abweichungen zeigen sich jedoch ab 18.00.

Massestrommeßgerät

Insgesamt zeigte das Massestrommeßgerät in beiden Versuchsjahren eine annähernd gleiche Verteilung. Über dem Tagesverlauf werden allerdings sehr starke Unterschiede zwischen den beiden Erntejahren erkennbar (Abb. 23).

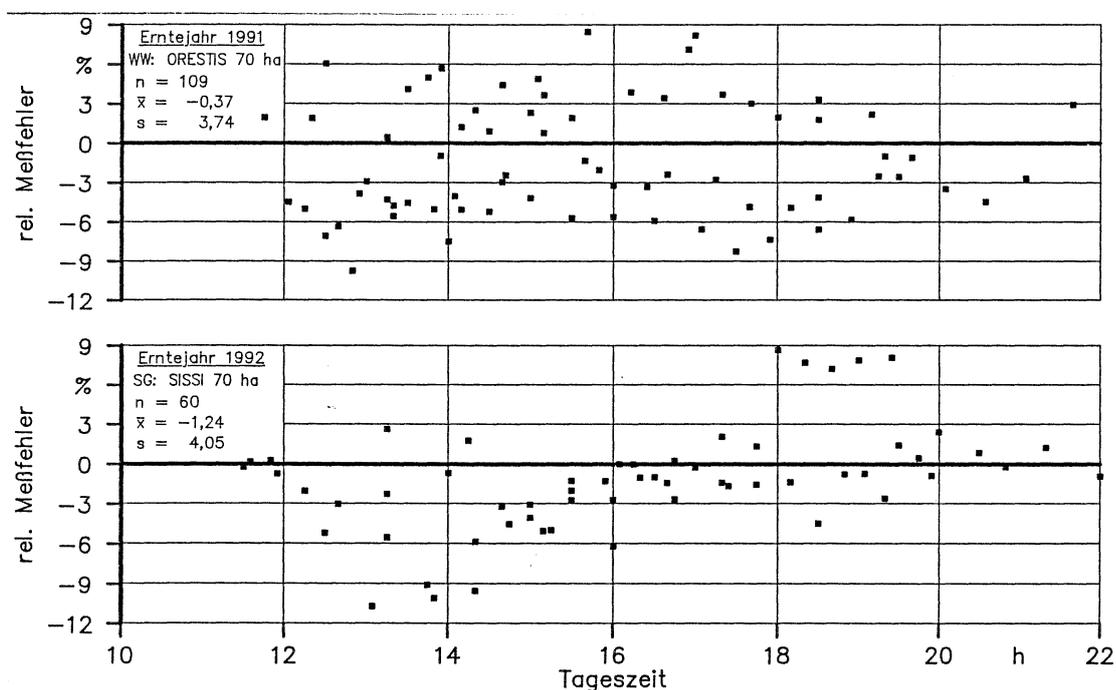


Abbildung 23: Realtive Meßfehler beim Massestrommeßgerät "DATAVISION" während der Ernte in Scheyern 1991 und 1992.

Absolut unbeeinflußt von der Tageszeit zeigen sich die Meßwertfehler im Erntejahr 1991. Erst ab 19.00 wird eine gewisse Einengung sichtbar. Demgegenüber

gleicht sich dieses Meßprinzip im Erntejahr 1992 ab etwa 15.00 dem Volumenstrommeßgerät sehr stark an. Ausnahmen sind dabei, wie bei jenem auch, wenige größere Abweichungen während der Abendstunden.

Daraus ist zu folgern, daß die wesentlichen Unterschiede zwischen beiden Erntejahren vor allem auf das Erntegut zurückzuführen sind. Die stärker abgereifte Sommergerste, vielleicht auch mit dem geringeren Ertrag verbunden, erbrachte bessere Voraussetzungen für eine exakte Ertragsermittlung.

3.1.2.4 Schlagwechsel

Verständlicherweise kann ein Schlagwechsel verbunden mit einer wahrscheinlichen Änderung der Erntegutsbedingungen zu einer Veränderung der Meßgenauigkeit führen. Die Hersteller beugen dem vor, indem sie eine Neukalibrierung zu jedem Schlagwechsel empfehlen. Insofern ist nun die Frage zu beantworten, ob diese Maßnahmen ausreichend sind. Dabei zeigt sich ein überraschendes Ergebnis (Abb. 24).



Abbildung 24: Mittlere Meßfehler je Korntankfüllung für die untersuchten Meßsysteme während der Ernte in Scheyern 1991 und 1992

Im Durchschnitt aller erfaßten Tankfüllungen liegen die Meßfehler zwischen der ersten und neunten Korntankentleerung immer im negativen Bereich. Bei der 10. Korntankfüllung verändert sich der mittlere Meßfehler um nahezu 2 % und liegt dann im positiven Bereich.

Der mittlere Meßfehler des Volumenmeßgerätes aus beiden Erntejahren liegt nahezu immer unterhalb dem mittleren Meßfehler aller Daten. Dagegen findet sich der mittlere Meßfehler des Massestrommeßgerätes häufiger oberhalb des mittleren Meßfehlers beider Geräte.

Wird der Meßfehler des Volumenmeßgerätes nach den beiden Erntejahren getrennt, dann wird der unterschiedliche Kalibriereinfluß sichtbar. Im Erntejahr 1991 beginnt dieses Gerät mit -4 % Meßfehler bei der ersten Korntankfüllung und wandert nach der Kalibrierung zum Schlagwechsel (wird bei der 3. Korntankfüllung wirksam) auf über 1 % Meßfehler in den positiven Bereich. Von dort pendelt er bei der 5. Korntankfüllung je Schlag wieder zurück, wandert erneut in den positiven Bereich und sinkt schließlich wieder auf den Ausgangswert ab. Im Erntejahr 1992 pendelt der relative Meßfehler dagegen aus dem positiven Bereich kommend um den Nullpunkt und kehrt ab der 6. Korntankfüllung wieder in den Ausgangsbereich zurück.

Nicht erklärbar ist das Zusammentreffen nahezu aller Meßfehler bei der 2. und wiederkehrend bei der 5. Korntankfüllung. Denkbar mögliche Einflüsse könnten die beim Schlagwechsel durchgeführten Kalibrierungen sein. Sie würden allerdings nur die Veränderung von der 2. zur 3. Tankfüllung betreffen. Insofern scheint an dieser Stelle ein weiterer Untersuchungsbedarf zu bestehen.

3.1.3 Korrelative Zusammenhänge

Über die große Zahl an Meßwerten können Korrelations- und Regressionsrechnungen die Meßgenauigkeit der untersuchten Meßgerätetypen nach ihren Abhängigkeiten analysieren. Auch dabei werden die beiden Erntejahre getrennt betrachtet, um zum einen die unterschiedlichen Getreidearten und zum anderen das ver-

schiedene Vorgehen bei der Kalibrierung des Volumenmeßgerätes gezielt ansprechen zu können.

Als Zielgröße wird jeweils der absolute Meßfehler angesetzt, um Nichtlinearitäten durch die Umrechnung zum relativen Meßfehler auszuschließen. Einflußgrößen sind in einfachen Korrelations- und Regressionsanalysen die Tageszeit, das Gewicht der Tankfüllung (Brückenwaage), das Hektolitergewicht, die Feuchte und die lfd. Nr. der Tankfüllung je Schlag. In multiplen Ansätzen werden alle genannten Einflußgrößen in die Analyse einbezogen und dabei zuerst der absolute Meßfehler und danach - mehr informativ - der relative Meßfehler als Zielgröße verwendet.

Die Signifikanz einer oder mehrerer Einflußgrößen wird anhand des t-Wertes der jeweiligen Einflußgröße getestet. Liegt dieser - vereinfachend - über 2.0, dann besteht ein signifikanter Einfluß, ansonsten nicht. Für den jeweiligen Korrelations- und Regressionsansatz dient das Bestimmtheitsmaß als Kenngröße dafür, zu wieviel % der Meßfehler durch die entsprechende Einflußgröße(n) zu erklären ist.

3.1.3.1 Erntejahr 1991

Für das Erntejahr 1991 stehen 112 vollständige Datensätze zu Verfügung. Die einfachen Korrelationen mit dem Mittelwert der betreffenden Einflußgröße (x), dem Korrelationskoeffizienten (r), dem t-Wert und die errechneten Regressionsgleichungen mit dem Achsenabschnitt (a), dem Regressionskoeffizienten (b) und dem Bestimmtheitsmaß (B) sind in Tabelle 5 zusammengefaßt.

Insgesamt besteht danach ein gesicherter Zusammenhang zwischen absolutem Meßfehler und Korntankfüllung, sowie zwischen abs. Meßfehler und Hektolitergewicht. Nimmt die Korntankfüllung um 1 t zu, dann verringert nach der gefundenen Gleichung der absolute Meßfehler um 0,0499 t oder um 49,9 kg. Bei einer Zunahme des Hektolitergewichtes um 1 kg verringert sich dagegen der absolute Meßfehler um 2,67 kg. Ein geringer, aber nicht signifikanter Einfluß besteht zur lfd. Nr. der Korntankfüllung je Schlag.

Tabelle 5: Einfache Korrelationen und Regressionen zwischen dem absoluten Meßfehler und den erfaßten Einflußgrößen bei Winterweizen während der Ernte in Scheyern 1991.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Tageszeit	15,83	0,011	0,12	*		
Gewicht/Tank	3,77	-0,322	-3,56	0,134	-0,0499	10,4
hl-Gewicht	70,67	-0,381	-4,33	1,850	-0,0269	14,5
Feuchte	15,16	0,082	0,87			
Tanknummer	6,82	-0,111	-1,17			

* wenn der t-Test keine Signifikanz der Einflußgröße bestätigt wird keine Regressionsgleichung genannt (nicht zulässig)

Im multiplen Ansatz wirken die Einflußgrößen der einfachen Korrelation zusammen. Gleichzeitig kommen jedoch die Interkorrelationen zwischen den wirksamen Einflußgrößen zum tragen, weshalb sich deren Einzelkorrelationen nicht einfach zum insgesamt gültigen Bestimmtheitsmaß addieren lassen (Tab. 6).

Tabelle 6: Multiple Korrelationen und Regressionen zwischen absolutem Meßfehler, Hektolitergewicht und Feuchte bei Winterweizen während der Ernte in Scheyern 1991.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Gewicht/Tank	3,77	0,322	-2,80	1,707 *	-0,0382	
hl-Gewicht	70,71	-0,381	-3,68		-0,0229	20,3

* Vereinfachend wird in diesem Tabellentyp für die Gesamtgleichung das Absolutglied der ersten und das Bestimmtheitsmaß der letzten Einflußgröße zugeordnet!

Insgesamt erreichen beide Einflußgrößen zusammen ein Bestimmtheitsmaß von 20,3 %. Aufgrund des höheren t-Wertes ist der Einfluß des Hektolitergewichtes mit 14,5 % weitaus stärker als jener aus dem Gewicht der Korntankfüllung mit nur noch 5,7 %. Dieser wiederum deutet auf nicht unerhebliche Meßfehler bei kleineren Chargen hin, weshalb Gewichtsangaben bei nur z.T. gefülltem Korntank sehr bedenklich sind.

Beim relativen Meßfehler führen noch höhere Interkorrelationen zur alleinigen Signifikanz der Einflußgröße Hektolitergewicht mit einem Bestimmtheitsmaß von 13,7 %.

Volumenmeßgerät

Die Analysen für das Volumenstrommeßgerät können mit 40 vollständigen Datensätzen durchgeführt werden (Tab. 7).

Tabelle 7: Einfache Korrelationen und Regressionen zwischen dem absoluten Meßfehler und den erfaßten Einflußgrößen beim Volumenmeßgerät bei Winterweizen während der Ernte in Scheyern 1991.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Tageszeit	16,23	-0,042	-0,26			
Gewicht/Tank	4,38	-0,549	-4,05	0,230	0,0907	30,2
hl-Gewicht	70,71	-0,615	-4,81	2,969	-0,0436	37,8
Feuchte	15,11	0,054	0,34			
Tanknummer	5,76	-0,151	-0,94			

Danach verringert sich der abs. Meßfehler mit zunehmender Korntankfüllung. Etwa 30 % des Fehlers sind alleine durch diese Einflußgröße zu beschreiben. Noch drastischer - und damit wird die eigentliche Schwäche des Volumenstrom-

meßprinzips angesprochen - wird jedoch die Genauigkeit vom Hektolitergewicht des Gutes bestimmt. Nahezu 40 % des Fehlers beruhen ausschließlich auf dieser Einflußgröße.

Diese beiden Einflußgrößen erreichen auch im multiplen Ansatz die Signifikanzschranken (Tab. 8).

Tabelle 8: Multiple Korrelationen und Regressionen zwischen absolutem Meßfehler, Gewicht der Korntankfüllung und Hektolitergewicht beim Volumenmeßgerät bei Winterweizen während der Ernte in Scheyern 1991.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Gewicht/Tank	4,38	-0,549	-3,14	2,591	-0,0635	
hl-Gewicht	70,71	-0,615	-3,95		-0,0344	50,9

Sie erklären den absoluten Meßfehler zu mehr als 50 %. Dabei überwiegt der Einfluß des Hektolitergewichtes aufgrund des höheren t-Wertes mit nahezu 38 % gegenüber dem Gewicht je Korntankfüllung mit etwa 12 %.

Wird dagegen der relative Meßfehler als Zielgröße gesetzt, dann erhöht sich in diesem Falle das Bestimmtheitsmaß weiter. Das Hektolitergewicht erreicht dabei alleine schon 47,6 % und Kornfeuchte weitere 10 %. Zusammen ergibt das für beide Einflußgrößen ein B von 58,2 %.

Massestrommeßgerät

Für das Massestrommeßgerät stehen aus der Ernte 1991 aufgrund der größeren abgeernteten Fläche 72 vollständige Datensätze zur Verfügung. Sie führen bei den Einzelkorrelationen zu den Zusammenhängen nach Tabelle 9.

Tabelle 9: Einfache Korrelationen und Regressionen zwischen dem absoluten Meßfehler und den erfaßten Einflußgrößen beim Massestrommeßgerät bei Winterweizen während der Ernte in Scheyern 1991.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Tageszeit	15,62	0,146	1,23			
Gewicht/Tank	3,43	0,246	2,12	-0,151	0,0387	6,0
hl-Gewicht	70,66	-0,048	-0,40			
Feuchte	15,19	0,106	0,89			
Tanknummer	7,40	-0,180	-1,53			

Bei diesem Meßprinzip wird die Genauigkeit ausschließlich von der Korntankfüllung beeinflusst. Mit einer Korrelation von 0,24 führt dies jedoch nur zu einem Bestimmtheitsmaß von 6 % und wird dadurch nahezu vernachlässigbar klein. Einflüsse durch die Tageszeit und durch die lfd. Nummer der Tankfüllung je Schlag sind gegeben, aber nicht absicherbar.

Auch im multiplen Ansatz erreicht nur das Gewicht der Korntankfüllungen die Signifikanzschranke. Das Bestimmtheitsmaß entspricht dem der einfachen Korrelation von 6 %. Für den relativen Meßfehler treffen die gleichen Zusammenhänge zu. Dort steigt allerdings das Bestimmtheitsmaß auf 8,2 % an.

3.1.3.2 Erntejahr 1992

Im Erntejahr 1992 wurde Sommergerste gedroschen. Neben einer etwas verringerten Erntefläche ist dabei die niedrigere Feuchte des Erntegutes und die geänderte Kalibrierung von Bedeutung. Insgesamt standen für diese Analyse 99 Datensätze zur Verfügung (Tab. 10).

Danach ergibt sich ein gesicherter Zusammenhang zum absoluten Meßfehler durch die Tageszeit und die Korntankfüllung, während das Hektolitergewicht

unmittelbar unter der Signifikanzschranke bleibt. Allerdings ist zu beachten, daß das Hektolitergewicht signifikant mit der Tageszeit korreliert ist (die Korrelation von $r = -0,497$ führt zu einem Bestimmtheitsmaß $B = 24,7 \%$ und reduziert das Hektolitergewicht je Stunde um $0,4036 \text{ kg}$).

Tabelle 10: Einfache Korrelationen und Regressionen zwischen dem absoluten Meßfehler und den erfaßten Einflußgrößen bei Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1992.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Tageszeit	16,41	0,439	4,81	-0,464	0,0260	19,2
Gewicht/Tank	4,02	-0,275	-2,82	0,151	-0,0471	7,6
hl-Gewicht	64,28	-0,193	-1,94	0,867*	-0,0141	3,7
Feuchte	13,65	-0,154	-1,53			
Tanknummer	5,48	0,044	0,44			

* Einflußgröße liegt unmittelbar unterhalb der Signifikanzschranke

Im Vergleich mit dem Vorjahr ergeben sich aus diesen Ergebnissen äußerst interessante Hinweise:

- So wurde im Mittel 1992 um etwa 1 Stunde später gedroschen. Die Wiederanfeuchtung des Gutes in den späten Abendstunden muß sich deshalb zwangsläufig in den Korrelationen bei der Tageszeit und bei der Feuchte niederschlagen.
- Der Einfluß des Gewichtes der Korntankfüllung muß zurückgehen, weil 1992 Maschinen mit etwa gleichem Korntankinhalt eingesetzt wurden.
- Das mittlere Hektolitergewicht und die mittlere Kornfeuchte sind wesentlich niedriger als in der Ernte 1991. Damit verbunden sind geringere Streuungen dieser beiden Einflußgrößen mit daraus resultierenden geringeren Korrelationen.

- Nicht zuletzt wurden aufgrund des geringeren Ertrages weniger Korntankfüllungen je Schlag erreicht und zudem wurde das Volumenmeßgerät anders kalibriert. Beides zusammen schlägt sich in einer abnehmenden Korrelation nieder.

Volumenmeßgerät

Für das Volumenmeßgerät können 39 vollständige Datensätze aus der Ernte 1992 ausgewertet werden (Tab. 11).

Tabelle 11: Einfache Korrelationen und Regressionen zwischen dem absoluten Meßfehler und den erfaßten Einflußgrößen beim Volumenmeßgerät bei Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1992.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Tageszeit	16,60	0,369	2,62	-0,257	0,0154	15,7
Gewicht/Tank	3,69	-0,046	-0,28			
hl-Gewicht	64,03	-0,404	-2,69	1,606	-0,0251	16,3
Feuchte	13,37	-0,018	0,11			
Tanknummer	3,18	0,067	0,41			

Bedingt durch das veränderte Vorgehen beim Kalibrieren des Meßgerätes sinkt nun der Einfluß des Hektolitergewichtes auf etwa 16 % gegenüber 38 % im Vorjahr ab. Allerdings gehen dabei Anteile in die Tageszeit ein, welche im einfachen Korrelationsansatz ebenfalls die Signifikanzschanke überschreitet und nahezu die gleiche Korrelation aufweist.

Im multiplen Ansatz (Tab. 12) reduzieren die Interekorrelationen zwischen der Tageszeit und der Kornfeuchte ($r = -0,215$) und zwischen der Tageszeit und dem Hektolitergewicht ($r = -0,465$) die jeweiligen partiellen Korrelationen sehr stark.

Dadurch ergibt sich bei nicht gesicherten Einflüssen ein Bestimmtheitsmaß für die Gesamtgleichung von 24,5 %. Die multiple Erklärung des relativen Meßfehlers führt bei ebenfalls nicht abzusichernden Einflüssen der beiden genannten Faktoren zu einem Bestimmtheitsmaß von 24,3 %.

Tabelle 12: Multiple Korrelationen und Regressionen zwischen dem absoluten Meßfehler, der Tageszeit und dem Hektolitergewicht beim Volumenmeßgerät bei Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1992.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Tageszeit	16,60	0,413	1,76	17,230	0,3373	
hl-Gewicht	64,03	-0,371	-1,28		-0,4103	24,3

Massestrommeßgerät

Die Ernte 1992 ergab beim Einsatz des Mähdreschers mit dem Massestrommeßgerät 60 vollständige Datensätze. Sie erbrachten folgende Einzelkorrelationen und -regressionen (Tab. 13).

Tabelle 13: Einfache Korrelationen und Regressionen zwischen dem absoluten Meßfehler und den erfaßten Einflußgrößen beim Massestrommeßgerät bei Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1992.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Tageszeit	16,28	0,456	3,91	-0,539	0,0293	20,8
Gewicht/Tank	4,22	-0,410	-3,42	0,441	-0,1191	16,8
hl-Gewicht	64,44	-0,137	-1,05			
Feuchte	13,83	-0,158	-1,22			
Tanknummer	6,98	0,140	1,08			

Tageszeit und Korntankfüllung werden damit zu den Haupteinflußfaktoren. Sie erklären den absoluten Meßfehler in der Summe zu nahezu 30 %. Wiederum bestehen jedoch zwischen Tageszeit und Gewicht/Tankfüllung ($r = -0,347$), Tageszeit und Hektolitergewicht ($r = -0,508$), sowie Tageszeit und Kornfeuchte ($r = -0,391$) sehr hohe Interkorrelationen. Sie führen im multiplen Ansatz zur Gesamtfunktion nach Tabelle 14.

Tabelle 14: Multiple Korrelationen und Regressionen zwischen dem absoluten Meßfehler, der Tageszeit und dem Gewicht/Tankfüllung beim Massestrommeßgerät bei Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1992.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Tageszeit	16,28	0,456	2,90	0,089	0,0227	
Gewicht/Tank	4,22	-0,410	-2,29		-0,0808	27,5

Danach erreichen die in der Tageszeit vereinigten Einflüsse die höhere Korrelation und prägen das Bestimmtheitsmaß von insgesamt 27,5 % stärker, als dies die Korntankfüllung vermag. Insgesamt bedeutet dies aber, daß auch das Massestrommeßgerät nicht ganz frei ist von Einflüssen durch Hektolitergewicht und Feuchte. Es ist anzunehmen, daß die Ursachen in der nicht immer einzuhaltenden Konstanz der Durchflußgeschwindigkeit am Meßwertgeber durch wechselnde Drehzahlen der Gesamtmaschine bzw. durch wechselnde Guteigenschaften zu suchen sind.

Für die Betrachtung des relativen Meßfehlers ergibt sich ein nahezu identisches Ergebnis. Dort erreicht der Einfluß der Tageszeit und des Gewichtes der Korntankfüllung ein Bestimmtheitsmaß von 26,0 %.

3.1.3.3 Beide Erntejahre

Analysen über beide Erntejahre können zum Abschluß die Abhängigkeiten bei beiden Meßsystemen als mittlere Ergebnisse stärker verallgemeinern. Dazu wird eine zusätzliche Binärvariable eingeführt. Für das Volumemeßsystem erhält sie den Namen "Einzeltank-Kalibrierung (ET-Kalibrierung)" mit den Werten "0 = nein" zur Ernte 1991 und "1 = ja" zur Ernte 1992. Für das Massestrommeßsystem dient eine Binärvariable als Kennung der Getreideart mit "0 = Winterweizen" zur Ernte 1991 und "1 = Sommergerste" zur Ernte 1992.

Volumenmeßgerät

Aus beiden Versuchsjahren können für das Volumenstrommeßgerät 79 Datensätze zur Analyse herangezogen werden. Wie rein theoretisch zu erwarten, zeigt nun die Art der Kalibrierung einen signifikanten Einfluß (Tab. 15).

Tabelle 15: Einfache Korrelationen und Regressionen zwischen dem absoluten Meßfehler und den erfaßten Einflußgrößen beim Volumenstrommeßgerät in Winterweizen und Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1991 und 1992.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Tageszeit	16,41	0,076	0,67			
Gewicht/Tank	4,04	-0,473	-4,71	0,212	-0,0674	22,4
hl-Gewicht	67,41	-0,587	-6,36	1,696	-0,0261	34,4
Feuchte	14,25	-0,148	-1,32			
Tanknummer	4,49	-0,210	-1,88			
ET-Kalibrie- rung	0,49	0,312	2,89	-0,118	0,1162	9,8

Allerdings verläuft dieser bei der Einzelkorrelation entgegen der Erwartung. Die errechnete Funktion sagt nämlich aus, daß bei Kalibrierung nach Herstellerangabe

ein Meßfehler von -0,118 t oder 118 kg vorgegeben ist. Wird hingegen bei jeder Tankfüllung kalibriert, dann addiert sich daraus ein absoluter Fehler von -0,0018 t oder von 1,8 kg je Korntankfüllung. Der Einfluß der ET-Kalibrierung beträgt danach etwa 10 %. Hinzu kommen, wie schon in den Analysen der beiden Untersuchungsjahre aufgezeigt, absolute Meßfehler durch das Hektolitergewicht mit etwa 35 % und durch das Gewicht der Korntankfüllung mit etwa 22 %.

Die multiple Korrelation und Regression daraus führt zu einer Gesamtfunktion aus diesen 3 Einflußgrößen, wobei sich die Kornfeuchte nahe an der Signifikanzschanke bewegt. Deshalb wird diese als zusätzliche Einflußgröße in die Gesamtfunktion aufgenommen (Tab. 16).

Tabelle 16: Multiple Korrelationen und Regressionen zwischen dem absoluten Meßfehler und Gewicht je Korntankfüllung, Hektolitergewicht, Kornfeuchte und Form der Kalibrierung beim Volumenstrommeßgerät in Winterweizen und Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1991 und 1992.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Gewicht/Tank	4,04	-0,473	-2,93	3,155	-0,0378	
hl-Gewicht	67,41	-0,587	-5,79		-0,0389	
Kornfeuchte	14,25	-0,148	-1,88		-0,0236	
ET-Kalibrier.	0,49	0,312	-3,39		-0,2107	49,2

Danach nimmt das Hektolitergewicht nach wie vor die dominierende Stellung ein (B = 34,4 %). Ihm folgt die Korntankfüllung als weitere wesentliche Einflußgröße mit einem Erklärungsbeitrag zum Gesamtbestimmtheitsmaß von 6,9 %. Sie läßt derzeit noch unzureichende Algorithmen bei der internen Verrechnung der Ertragssignale aus dem Ertragsmeßgerät vermuten. Weitere 5 % trägt die Form der Kalibrierung zum Gesamt-B bei und schließlich erbringt die knapp unter der Signifikanzschanke liegende Kornfeuchte weitere 2,5 %.

Insgesamt verlangen alle diese Faktoren geradezu nach einer automatischen Kalibrierung beim Einsatz dieses Meßsystemes in der Praxis. Würden dadurch die aufgezeigten Unzulänglichkeiten im Hinblick auf das Hektolitergewicht und die Einzeltankkalibrierung beseitigt, dann könnte damit auch der Einfluß der Kornfeuchte nahezu gegen Null geführt werden, da diese in hohem Maße Interkorrelationen zu den genannten Einflußgrößen besitzt. Insgesamt würde dieses Meßsystem dann nur noch einen Restfehler von etwa $\pm 1 - 2 \%$ besitzen und somit den Anforderungen im Hinblick auf die Umsetzung der ermittelten Daten in der Praxis mehr als genügen.

Bei der Analyse nach dem relativen Fehler erreichen das Hektolitergewicht (35,9 %) und die ET-Kalibrierung zusammen ein Bestimmtheitsmaß von 45,7 %. Dabei liegen das Gewicht der Korntankfüllung und die Kornfeuchte sehr nahe an der Signifikanzschränke. Werden beide einbezogen, dann steigt das Gesamt-B auf 50,5 % an, wobei in diesem linearen Modell schließlich nur noch das Gewicht der Korntankfüllung unterhalb der Signifikanzschränke bleibt. Somit untermauert diese Funktion ebenfalls die zuvor getroffenen Aussagen nochmals sehr deutlich.

Massestrommeßgerät

Für das Massestrommeßgerät kann dagegen die Binärvariable "Getreideart" eine erste Aussage über die Unabhängigkeit dieses Meßsystemes beim Einsatz in unterschiedlichen Getreidearten geben (Tab. 17).

Die Analysen bestätigen die erwartete weitgehende Unabhängigkeit dieses Meßsystemes. Wie bei den Untersuchungen der einzelnen Jahre erreicht auch in der Gesamtschau die Tageszeit die Signifikanzschränke. Unter dieser, ihr aber am nächsten, liegt die Getreideart. Wiederum kann nur eine multiple Betrachtung die wirksamen Interaktionen aufdecken und den allgemeingültigen Ansatz ermitteln (Tab. 18).

Tabelle 17: Einfache Korrelationen und Regressionen zwischen dem absoluten Meßfehler und den erfaßten Einflußgrößen beim Massestrommeßgerät in Winterweizen und Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1991 und 1992.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Tageszeit	15,92	0,297	3,54	0,336	0,0187	8,8
Gewicht/Tank	3,79	-0,093	-1,07			
hl-Gewicht	67,83	0,059	0,67			
Feuchte	14,57	0,014	0,21			
Tanknummer	7,21	-0,010	-0,11			
Getreideart	0,45	-0,139	-1,60			

Tabelle 18: Multiple Korrelationen und Regressionen zwischen dem absoluten Meßfehler und Gewicht je Korntankfüllung, Hektolitergewicht, Kornfeuchte und Form der Kalibrierung beim Massestrommeßgerät in Winterweizen und Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1991 und 1992.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Tageszeit	15,99	0,297	3,86	-0,335	0,0203	
Getreideart	0,45	-0,139	-2,19		-0,0562	12,1

Beide Einflußgrößen erreichen zusammen nur ein Bestimmtheitsmaß von etwa 12 %. Sie verdeutlichen damit den engen Spielraum hinsichtlich möglicher Verbesserungen. Sie sind aus den Interkorrelationen der beiden Einflußgrößen abzuleiten (Tab. 19).

Die Tageszeit besitzt eine hohe Korrelation zur Kornfeuchte mit einem $r = 0,368$. Das Korntankgewicht korreliert sehr stark mit dem Hektolitergewicht und der Getreideart. Noch größer ist die Korrelation zwischen Hektolitergewicht und Getrei-

deart und schließlich korreliert auch die Kornfeuchte nicht unbeträchtlich mit der Getreideart.

Tabelle 19: Interkorrelationen zwischen allen erfaßten Einflußgrößen beim Massestrommeßgerät in Winterweizen (Getreideart = 0) und Sommergerste (Getreideart = 1) während der Ernte in Scheyern 1991 und 1992

Einflußgrößen	Tageszeit	Gewicht/ Korntank	hl- Gewicht	Korn- feuchte	Tank- Nr.	Getrei- deart
Tageszeit	+1,000					
Gewicht/Tank	+0,030	+1,000				
hl-Gewicht	-0,215	-0,327	+1,000			
Kornfeuchte	-0,368	-0,181	+0,410	+1,000		
lfd. Tank-Nr.	-0,008	-0,178	+0,095	-0,080	+1,000	
Getreideart	+0,135	+0,469	-0,816	-0,423	-0,037	+1,000

Wird die Kornfeuchte zusätzlich in ein multiples lineares Modell aufgenommen, dann können daraus weiterführende Hinweise abgeleitet werden (Tab. 20).

Tabelle 20: Multiple Korrelationen und Regressionen zwischen dem absoluten Meßfehler und Tageszeit, Kornfeuchte und Getreideart beim Massestrommeßgerät in Winterweizen und Sommergerste während der Ernte in Scheyern 1991 und 1992.

Einflußgrößen	Korrelation			Regression		
	\bar{x}	r	t-Wert	a	b	B
Tageszeit	15,92	0,297	3,91	-0,480	0,0219	
Kornfeuchte	14,57	0,018	0,84		0,0079	
Getreideart	0,45	-0,139	-1,66		-0,0467	12,6

Obwohl sich das Gesamtbestimmtheitsmaß nur unwesentlich erhöht, zeigt die starke Reaktion der Binärvariablen "Getreideart", daß der ihr zugeschriebene

Einfluß im verhergehenden Modellansatz überschätzt wurde. Andererseits bringt die zusätzliche Aufnahme des Gewichtes der Korntankfüllung nahezu keinen Informationsgewinn, während zugleich dessen t-Wert nahezu 0,0 ist. Daraus resultiert folgende Gesamtbeurteilung für das eingesetzte Massestrommeßgerät:

- Für eine Verbesserung der Meßgenauigkeit aus Sicht der Einflußgrößen bestehen nur sehr wenig Möglichkeiten.
- Der tageszeitliche Einfluß deutet darauf hin, daß auch an diesem Meßgerädetyp Mindestanforderungen im Hinblick auf die erforderlichen Kalibrierungen zu stellen sind. Mit Sicherheit sollte die Abtrocknung des Erntegutes im Tagesablauf berücksichtigt werden und ebenso die Wiederanfeuchtung in den Abendstunden.
- Schließlich kann der Einfluß der Kornfeuchte auf die Meßgenauigkeit nicht vollständig ausgeschlossen werden. Schwankungen der Kornfeuchte könnten eine Variation der Gutsgeschwindigkeit am Meßwertgeber bewirken. Deshalb müßte auch die unbedingte Einhaltung einer konstanten Durchflußgeschwindigkeit des Gutstromes durch das Meßgerät gewährleistet werden bzw. eine Geschwindigkeitsveränderung sensiert und in die Massenstromberechnung aufgenommen werden.
- Nicht zuletzt ist der derzeit angewandte Kalibrieralgorithmus infrage zu stellen. Es kann nicht sein, daß bei Einhaltung der vom Hersteller empfohlenen Kalibrierung im Mittel ein Meßfehler von etwa 150 kg je Korntankfüllung entsteht. Dies scheint somit das schwerwiegendste Manko überhaupt zu sein.

Daß alle diese Annahmen begründet sind, ergibt sich aus der multiplen Analyse des relativen Meßfehlers. Dabei erreichen die zuletzt genannten 3 Einflußgrößen zusammen einen Gesamteinfluß von 9.6 %, wobei die Gewichte aus der Tageszeit und der Kornfeuchte noch höher sind.

2.2 Ortung

Die kontinuierlich durchgeführten Analysen der Ortungsgenauigkeit übertrafen innerhalb der drei Versuchsjahre selbst die hoch gesteckten eigenen Erwartungen. Sie zeigten aber auch deutlich den Einfluß der seit Frühjahr 1992 aufgeschalteten S/A-Degradation.

2.2.1 Ernte 1991

In der Ernteperiode 1991 konnte mit einem unbeeinflussten GPS-Signal gearbeitet werden. Die Standardabweichungen der Ortungsfehler ohne Positionskorrekturen betragen für die nördliche Breite (x) 14,6 m, für die östliche Länge (y) 12,7 m und für die Höhe über NN (z) 27,5 m. Danach waren 95 % der Abweichungen für die x-Richtung geringer als 27,5 m, für die y-Richtung geringer als 23,6 m und für die Höhe niedriger als 45,2 m (Abb. 25). Allerdings zeigten sich durch die noch nicht vollständige Satellitendeckung über den Tagesverlauf deutliche Genauigkeitsunterschiede.

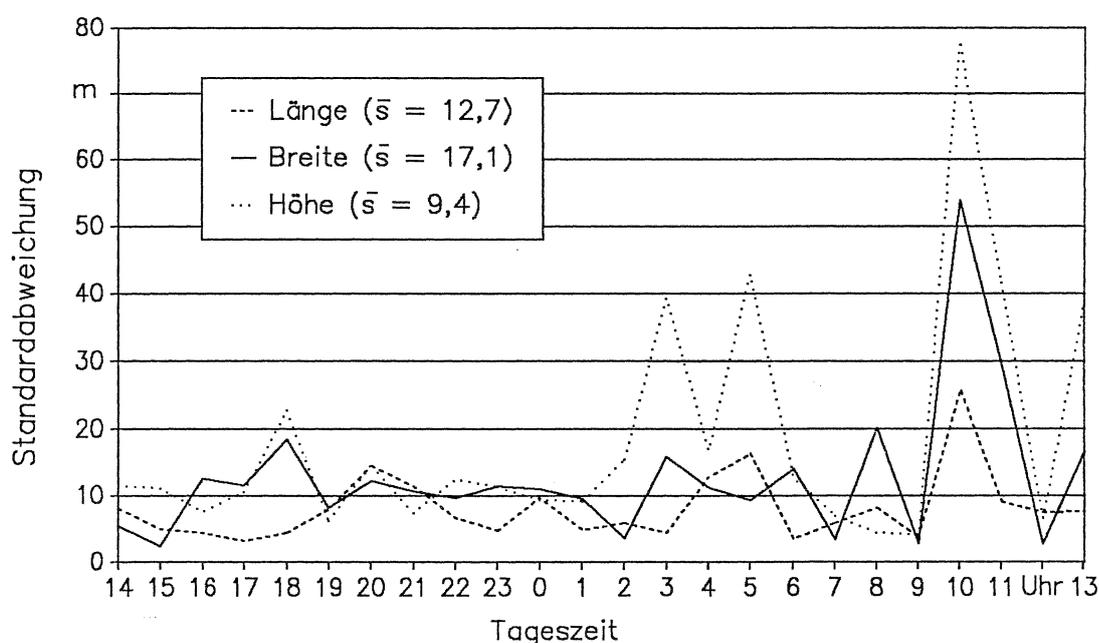


Abbildung 25: Standardabweichungen von Stundenmittelwerten für das GPS (Gut Wittenfeld; 30./31.7.1991; SEL-GLOBOS LN 2000)

Mit Hilfe der installierten Telemetrieanlage wurden diese GPS-Grundfehler im 7-Sekundenabstand zur Positionskorrektur auf die Mähdrescher übertragen und dort zur Verbesserung der aktuellen Position verrechnet. Analysen für einen ganzen Tag zeigen verbleibende Restfehler von ± 14 bis 15 cm. Sie gehen jedoch einher mit Standardabweichungen zwischen 4 und 8 Metern und führen mit dem 95 %-Vertrauensbereich zu Abweichungen zwischen 8 und 19 Metern. Darüberhinaus liegen etwa 5 % der Ortungsfehler mit Maximalwerten von -259 m bis +237 m für Länge und Breite und von -361 m bis +343 m bei der Höhe über NN (Abb. 26).

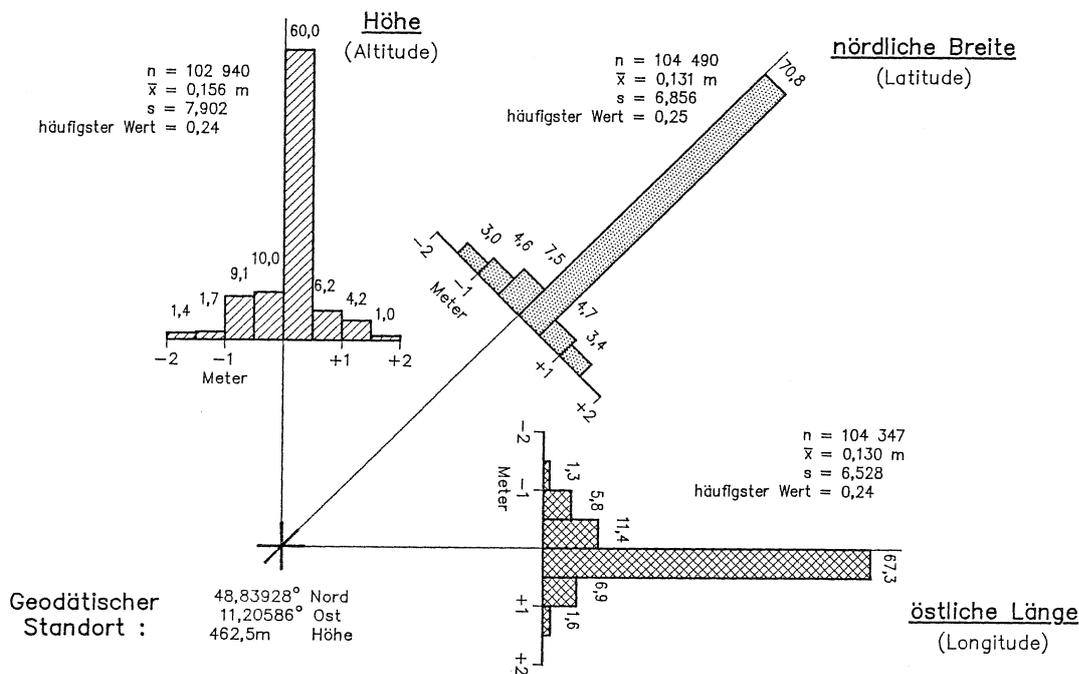


Abbildung 26: Ortungsfehler im DGPS bei 7-Sekunden Updateraten (Gut Wittenfeld; 30./31.7.1991; SEL-GLOBOS LN 2000).

Die durch die Positionskorrekturen erreichten Genauigkeiten lassen sich über die Darstellung als Fahrwege der Mähdrescher auf dem bearbeiteten Schlag sehr gut visualisieren. Je nach Tageszeit - sprich Verfügbarkeit und Stellung der Satelliten - sind nahezu lineare Druschwege erkennbar. Deutlich sichtbar werden jedoch auch größere Ortungsfehler als gekreuzte Fahrspuren und echte Ausreißer mit weit abseits liegenden Positionen (Abb. 27).

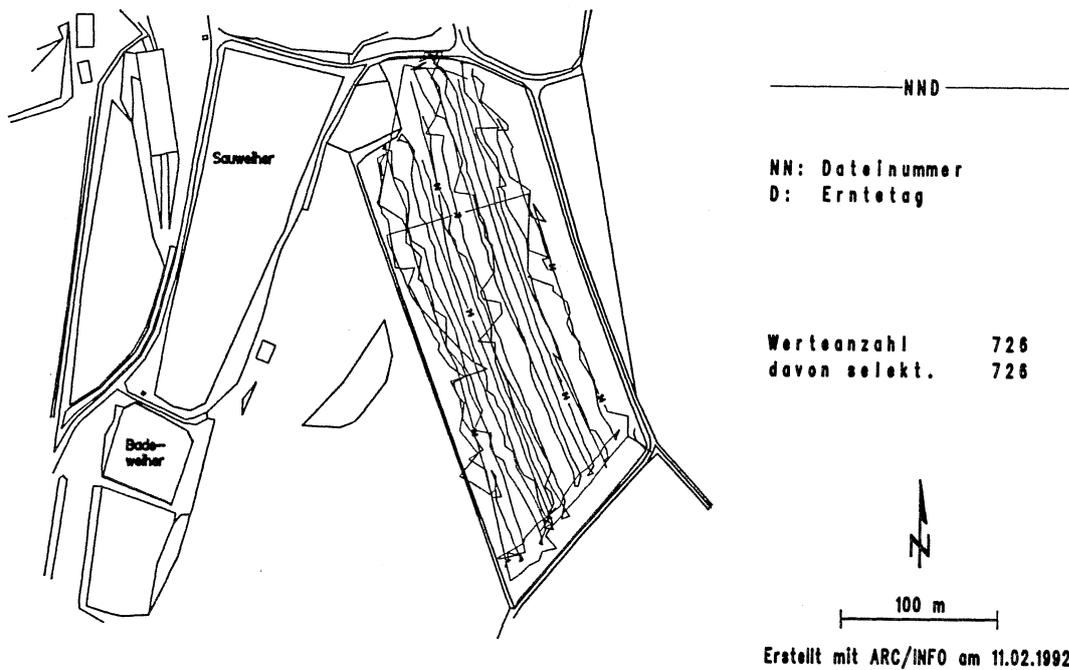


Abbildung 27: Fahrweg "Unteres Geiswegfeld", Scheyern 1991 (3,4 ha, Erntetag 15.8.1991, SEL-DGPS).

3.2.2 Ernte 1992

Zur Ernte 1992 verschlechterte sich aufgrund der aufgeschalteten S/A-Degradation der GPS-Ortungsfehler um den Faktor 3. Das 95 %-Vertauensintervall der Abweichungen stieg dadurch für die nördliche Breite (x) auf etwa 35 m, für die östliche Länge (y) auf etwa 45 m und für die Höhe über NN (z) auf nahezu 80 m an. Dadurch nahmen auch die Positionsfehler nach der Korrektur durch die Feststation erheblich zu und zeigten als Häufigkeitsverteilung nunmehr eine wesentlich flachere Form. Die maximalen Fehler stiegen auf -447 m bis +494 m bei Breite und Länge und auf -347 bis +280 m bei der Höhe über NN (Abb. 28).

Die stärkere Abflachung der Restfehlerverteilung deutet auf eine nicht eindeutige Konzentration der GPS-Abweichungen im Tagesverlauf hin (Abb. 29)

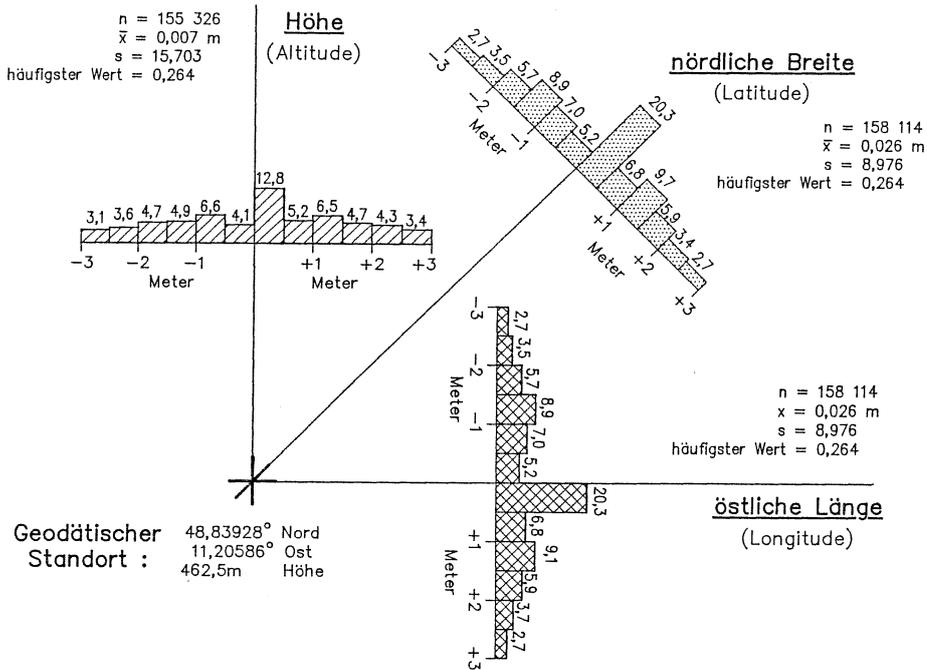
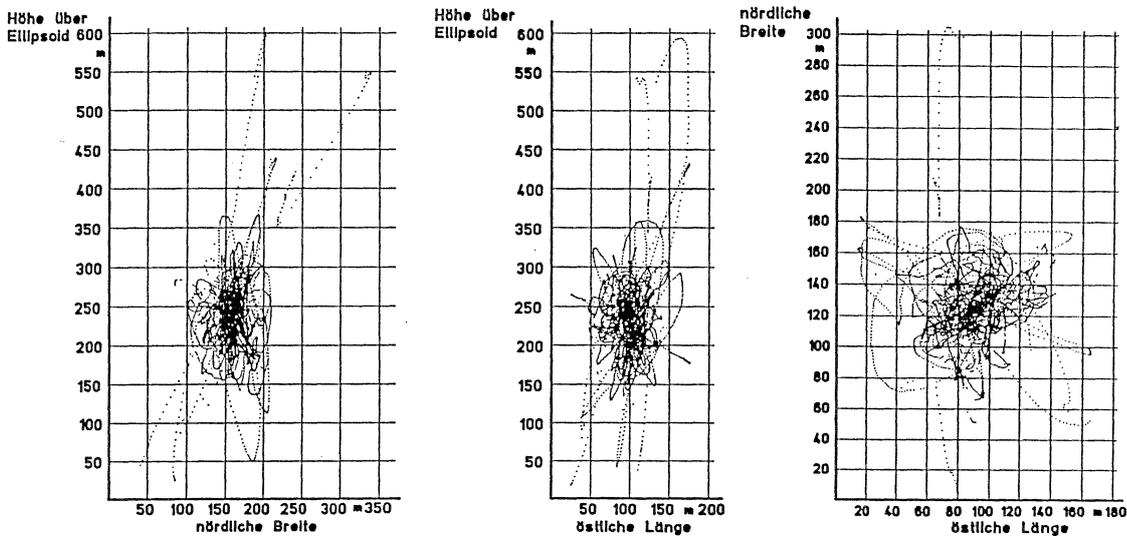


Abbildung 28: Ortungsfehler im DGPS bei 7-Sekunden Updateraten (GutWittenfeld; 22./23.1.1992; SEL-GLOBOS LN 2000).



Punktbeobachtung über 8.00 h mit 7200 Einzelmessungen
 18.12.1992, Gut Wittenfeld, Empfänger ASHTECH M-XII

Abbildung 29: GPS-Abweichungen für nördliche Breite, östliche Länge und Höhe über NN im Ellipsoid (Gut Wittenfeld; 18.12.1992; ASHTECH M-XII).

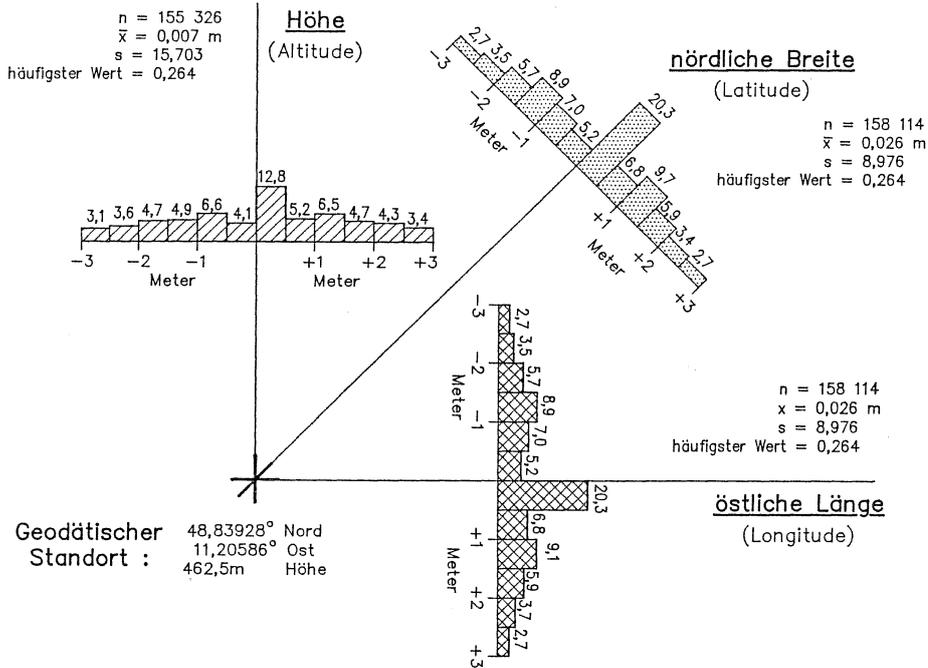
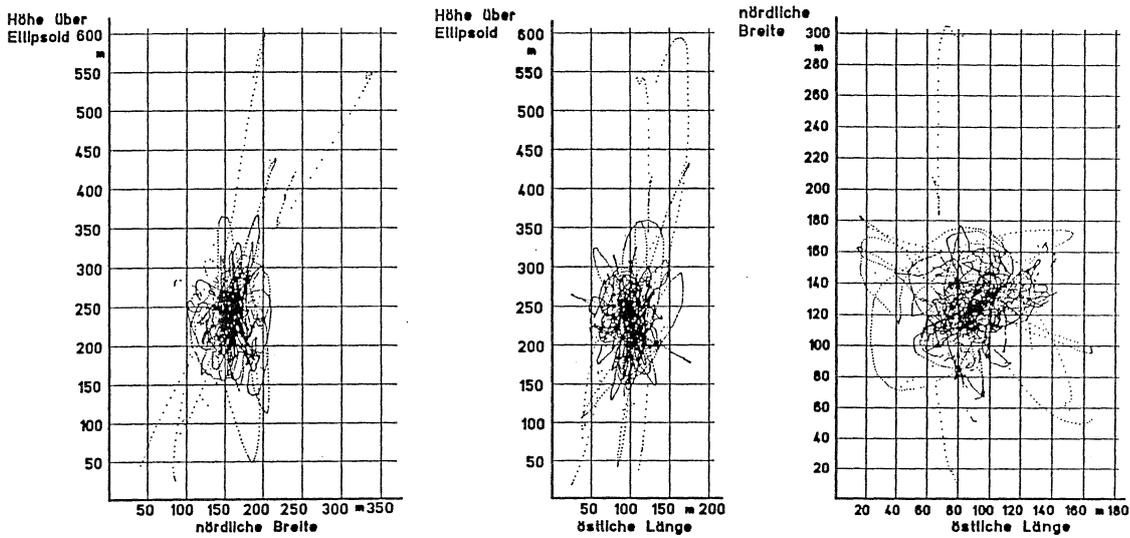


Abbildung 28: Ortungsfehler im DGPS bei 7-Sekunden Updateraten (GutWittenfeld; 22./23.1.1992; SEL-GLOBOS LN 2000).



Punktbeobachtung über 8.00 h mit 7200 Einzelmessungen
 18.12.1992, Gut Wittenfeld, Empfänger ASHTECH M-XII

Abbildung 29: GPS-Abweichungen für nördliche Breite, östliche Länge und Höhe über NN im Ellipsoid (Gut Wittenfeld; 18.12.1992; ASHTECH M-XII).

Sie zeigt sich insbesondere für die nördliche Breite und für die östliche Länge, weniger dagegen für die Höhe über NN (beachte gänderten Maßstab und die o.g. maximalen Abweichungen).

Über der Zeit zeigen die durch die S/A-Degradation hervorgerufenen Positionsfehler sinusartige Schwingungen (Abb. 30).

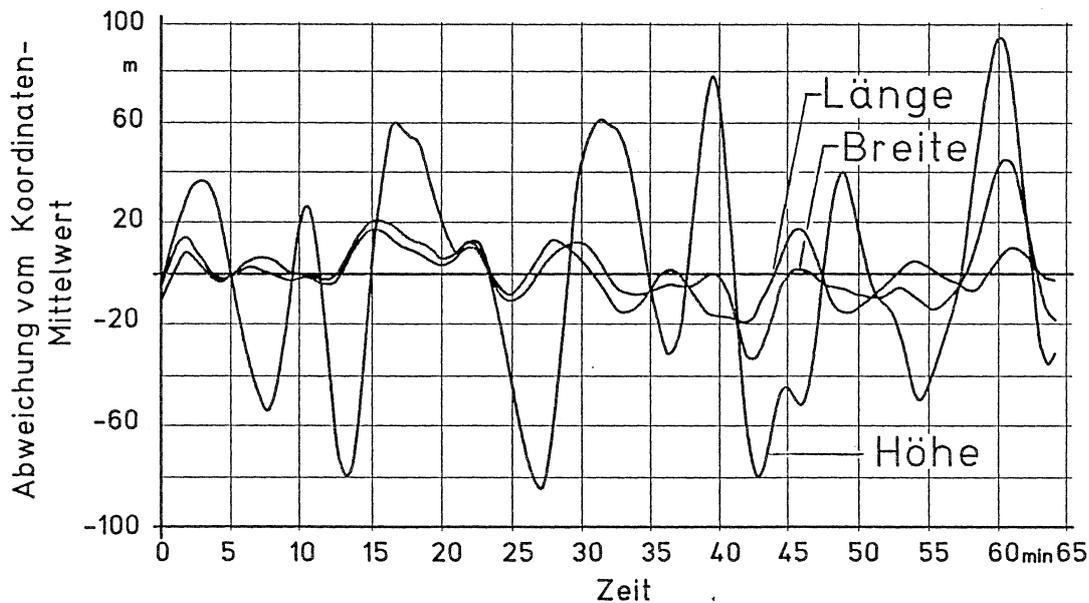


Abbildung 30: Abweichungen der GPS-Positionen vom Koordinatenmittelwert mit S/A-Degradation über der Zeit (Gut Wittenfeld; 18.12.1992; ASHTECH M-XII)

Eine rechnerische Korrektur der Ortungsfehler ohne den Einsatz einer Feststation mit Hilfe der Kenntnisse über den Verlauf dieser Positionsfehler ist jedoch nicht möglich, da weder die Periodendauer noch die Amplitudenhöhe der Positionsfehler einem regelmäßigen, sich zeitlich wiederholenden Verlauf gehorchen.

Die detaillierte Überprüfung der Genauigkeiten der mit dem "Pseudorange-Korrekturverfahren" arbeitenden DGPS-Systeme unter dynamischen Einsatzbedingungen ist noch nicht abgeschlossen. Die Visualisierung der Positionsaufzeichnungen läßt jedoch auf eine extrem hohe Genauigkeit mit Abweichungen kleiner $\pm 2,5$ m schließen (Abb. 31).

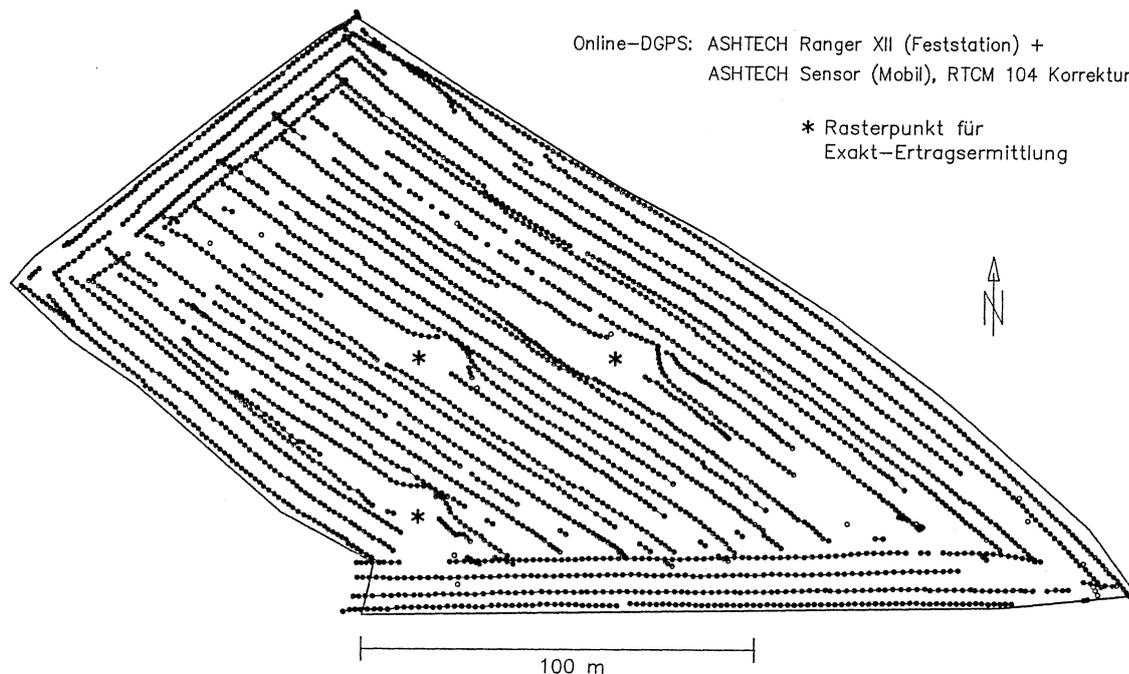


Abbildung 31: Fahrweg Oberes Geiswegfeld 1992 (3,4 ha, ASHTECH XII + ASHTECH Sensor, Online DGPS)

Diese Aussage ist damit zu begründen, daß sich keine der Fahrspuren des Mähdreschers (5,5 m breites Schneidwerk) mit einer andere Fahrspur kreuzt. Die drei ungewöhnlich umfahrenen weißen Flecken entstanden beim Aussparen von Bereichen für die Exaktertragsermittlung mit dem Parzellenmähdrescher.

3.3 Wegstreckenabhängige Ertragsaufzeichnung

Die kontinuierliche Aufzeichnung des Ernteertrages entlang der Druschstrecke eines Mähdreschers ist die Vorstufe der Ertragskartierung (Abb. 32 und Abb. 33).

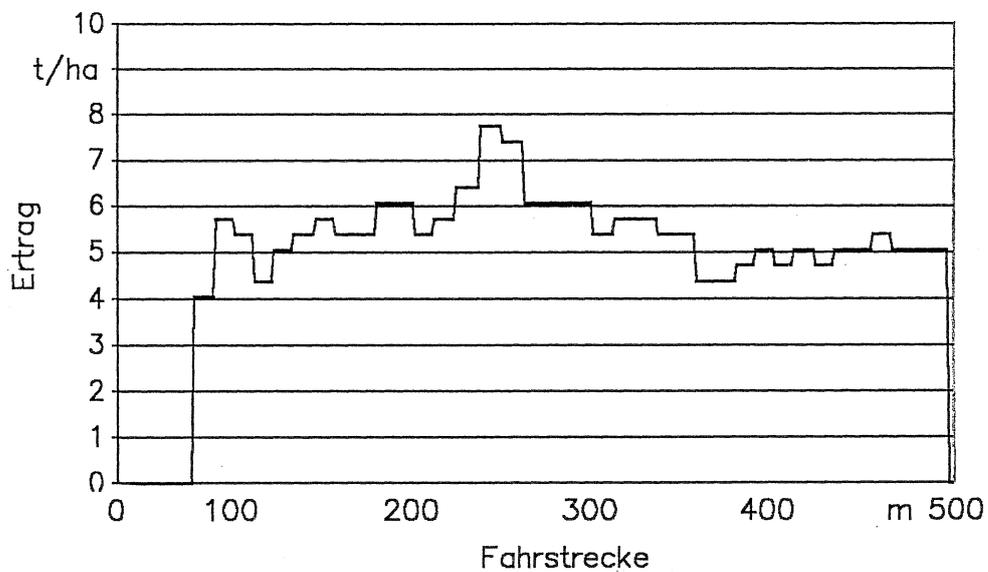


Abbildung 32: Ertragsaufzeichnung über eine Schlaglänge (Volumenstrommeßsystem YIELD-O-METER; Ernte 1991).

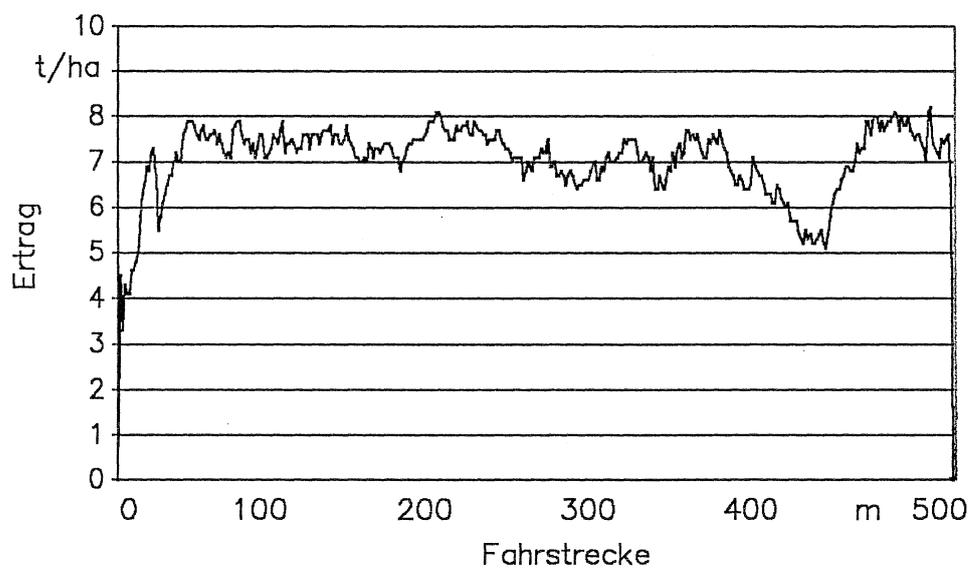


Abbildung 33: Ertragsaufzeichnung über eine Schlaglänge (Massestrommeßsystem DATAVISION; Ernte 1991).

Die beiden Darstellungen lassen drei Dinge sehr deutlich erkennen:

- Innerhalb einer Schlaglänge von 500 Metern treten Ertragsschwankungen von nahezu 100 % (40 dt/ha bis 80 dt/ha) auf.
- Beide Meßsysteme zeigen den zeitlichen Versatz zwischen dem Schnittbeginn am Bestandsanfang und der Registrierung eines plausiblen Ertrages nach etwa 30 - 60 Metern. Diese Strecke ist ein Maß für den zeitlichen und räumlichen Versatz zwischen dem Zeitpunkt und Ort an dem der entsprechende Ertrag auftritt und dem Zeitpunkt und Ort an dem er registriert wird. Für eine exakte Kartierung ist dieser Versatz zu berücksichtigen und zu korrigieren.
- Während das eingesetzte Massestrommeßsystem einen kontinuierlichen Verlauf der Ertragswerte aufweist ist dieser beim angewandten Volumenstrommeßsystem diskret. Dieses Verhalten des Volumenstrommeßsystems kann dazu führen, daß bei Fruchtarten und Bedingungen (Trockenjahre) mit niedrigen Ertragsniveaus die Ertragsunterschiede nicht mehr registriert werden.

Als Konsequenz aus dieser Beobachtungen wurden bei der Datenaufbereitung zu den folgenden Ertragskartierungen die Ertragswerte vereinfachend konstant um 20 Sekunden zeitverschoben. Dieser Zeitversatz entspricht einem Wegstreckenversatz von 30 - 40 Metern bei einer Druschgeschwindigkeit von 1,5 - 2,0 m/s.

3.4 Lokale Ertragsermittlung

Die kontinuierliche Ertragsmessung und die exakte Positionsbestimmung erlauben eine lokale Ertragsermittlung mit anschließender Ertragskartierung. Dazu mußten die Rohdaten zunächst aufbereitet und vielfältigen Plausibilitätskontrollen unterworfen werden. Für diese Aufgabe wurden eigene Programme entwickelt. Ausgehend von den verschiedenen Arbeitsbreiten landwirtschaftlicher Geräte wurden die Flächenerträge als Mittelwerte für Raster mit einer Kantenlänge von 5, 12, 24

und 50 m ermittelt. Sie bildeten die Datenbasis zur Eingabe in das Geographische Informationssystem (GIS) ARC/INFO der Firma ESRI.

3.4.1 Vorversuche Ernte 1990

Die Arbeiten in der Erntesaison 1990 waren vom Einmarsch des Iraks in Kuwait am 3. August begleitet, dessen weltpolitische Folgen auch die Vorversuche beeinflussten. Durch das Engagement der USA begann das US-Verteidigungsministerium ab dem 3. August damit, die GPS-Satelliten abzuschalten und auf Umlaufbahnen über dem Nahen Osten zu positionieren. Damit nahm die Verfügbarkeit der Satelliten über Deutschland von Anfang August bis in den Herbst hinein stark ab.

Dennoch konnten erste wichtige Erkenntnisse und Erfahrungen mit den beiden unterschiedlichen Ertragsermittlungssystemen, dem GPS-Ortungssystem und vor allem mit der Datenaufzeichnung gewonnen werden. Die anschließenden Arbeiten zur Datenauswertung erbrachten erste Ertragskarten. Auf Grund der Vorversuche 1990 konnten wichtige Verbesserungen im Versuchsaufbau für die Ernten 1991 und 1992 vorgenommen werden.

3.4.1.1 Scheyern Flachfeld

Obwohl das FAM Versuchsgut zur Ernte 1990 noch vom Benediktiner Orden bewirtschaftet wurde war es möglich, auf einem Feld erstmals lokale Ertragsermittlungen und Ertragskartierungen durchzuführen. Die Ertragskartierung wurde in den Rastergrößen mit 24 m Kantenlänge (Abb. 34) und 50 m Kantenlänge (Abb. 35) vorgenommen.

Die weißen Flächen bezeichnen jene Bereiche, für die zwar Ertragsdaten, aber keine Positionsdaten vorliegen. Die Ertragsklassierung erfolgte in 20 dt/ha Stufen. Der registrierte Ertrag variiert von unter 40 dt/ha bis über 60 dt/ha. Als Maximalertrag für eine 24 x 24 m Rasterfläche wurden 86 dt/ha, festgestellt. Der Höchstertrag einer 50 x 50 m Rasterfläche betrug 79 dt/ha.

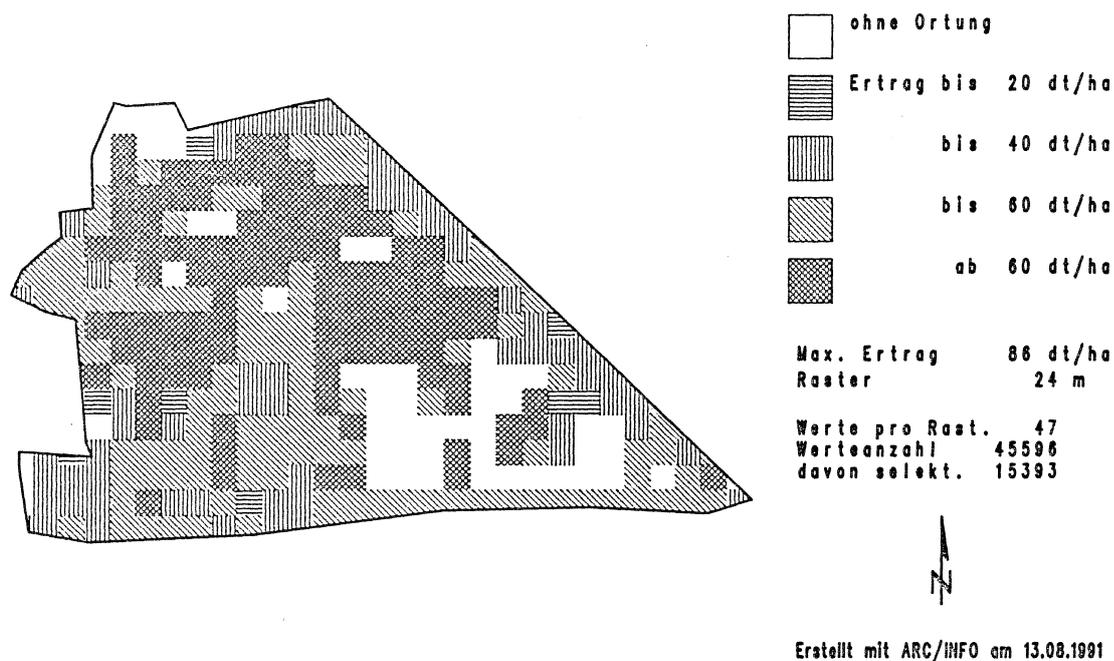


Abbildung 34: Ertragskartierung Scheyern Flachfeld (16,6 ha)
(SEL-GPS, DATAVISION-FLOWCONTROL, ARC-INFO,
24 x 24 m Raster).

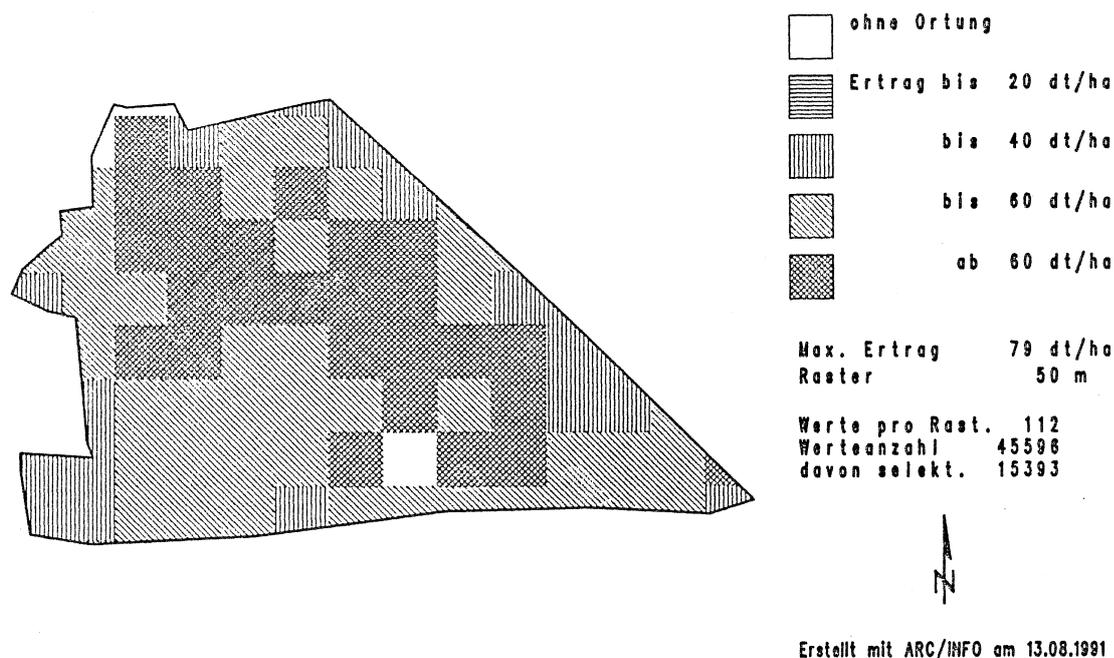


Abbildung 35: Ertragskartierung Scheyern Flachfeld (16,6 ha)
(SEL-GPS, DATAVISION-FLOWCONTROL, ARC-INFO,
50 x 50 m Raster).

Die Vergrößerung der Rasterflächen bewirkt eine höhere Flächendeckung der Ertragskartierung und teilweise veränderte Ertragsstrukturen. Daß diese Veränderungen durch die unzureichende Verfügbarkeit des GPS-Systems und damit durch eine Ungleichverteilung der Ortungs-/Ertragspunkte verursacht wird, zeigen die Ertragskartierungen der Ernten 1991 und 1992, bei denen günstigere Ortungsverhältnisse vorlagen.

3.4.1.2 Freising Schlüterfeld

Beim Drusch eines Winterweizenfeldes am Schlüterhof in Freising nur knapp zehn Tage später konnte bereits eine deutliche Verschlechterung der Verfügbarkeit operationeller Ortungssatelliten festgestellt werden.

Besonders die Ertragskartierung im 12 x 12 m Raster zeigt große Bereiche ohne Ortung. Sie machen nahezu die Hälfte des 7,2 ha großen Schlags aus (Abb. 36).

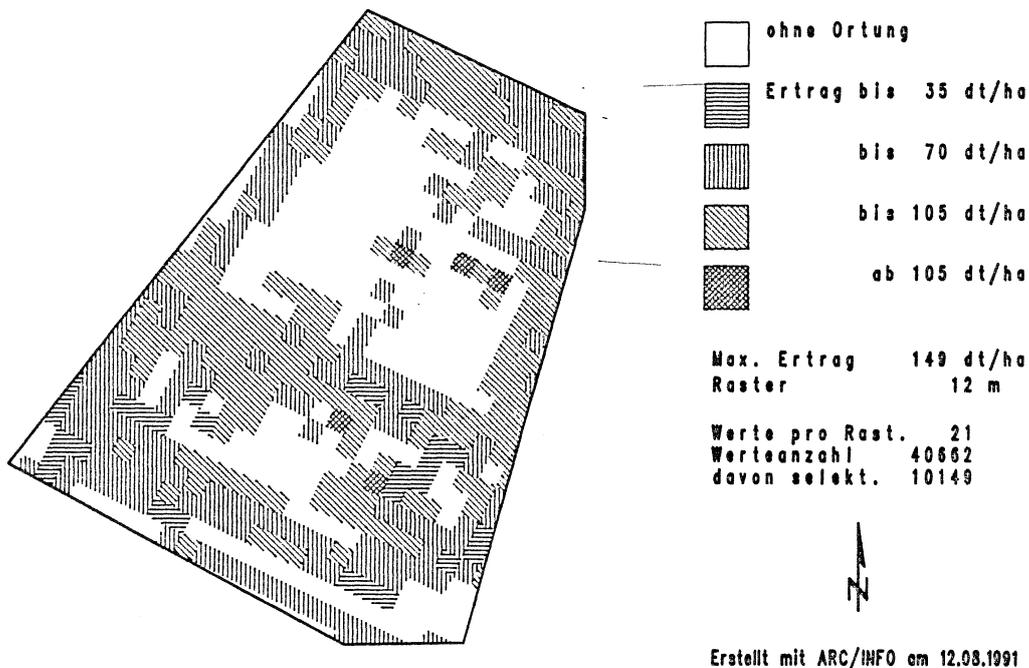


Abbildung 36: Ertragskartierung "Schlüterfeld" (7,2 ha)
(SEL-GPS, DATAVISION-FLOWCONTROL, ARC-INFO, 12 x 12 m Raster).

Extreme Ertragsunterschiede von über 400 % (von unter 35 dt/ha bis zu 150 dt/ha) lassen auf eine starke Inhomogenität des Standortes schließen.

Durch die Vergrößerung der Raster auf 24 x 24 m ergibt sich ein geschlosseneres Ertragsmuster (Abb. 37).

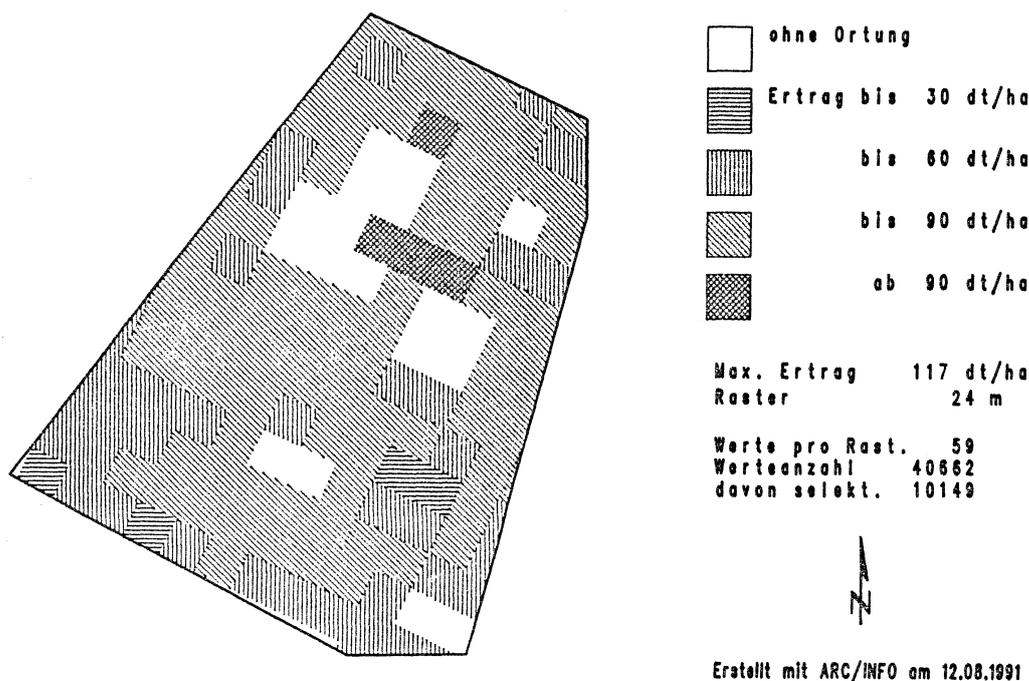


Abbildung 37: Ertragskartierung "Schlüterfeld" (7,2 ha)
(SEL-GPS, DATAVISION-FLOWCONTROL, ARC-INFO,
24 x 24 m Raster).

Durch die benutzte Autoskalierung der Ertragsklassen im Geographischen Informationssystem haben sich diese im Vergleich zur vorhergehenden Kartierung leicht verändert.

Die beiden Ertragsklassen 30 - 60 dt/ha und 60 - 90 dt/ha überwiegen bei etwa gleichen Flächenanteilen. Höhere und niedrigere Erträge sind vorhanden, ihr Anteil ist jedoch sehr gering.

Dies wird in der Kartierung mit der Rastergröße 50 x 50 m durch die Zusammenfassung von jeweils vier 24 m Rastern zu einem 50 m Raster nochmals verstärkt (Abb. 38).

Nurmehr je ein Rasterfeld weist einen Ertrag unter 30 dt/ha bzw. über 90 dt/ha auf. Ein Rasterfeld verbleibt ohne Ortung.

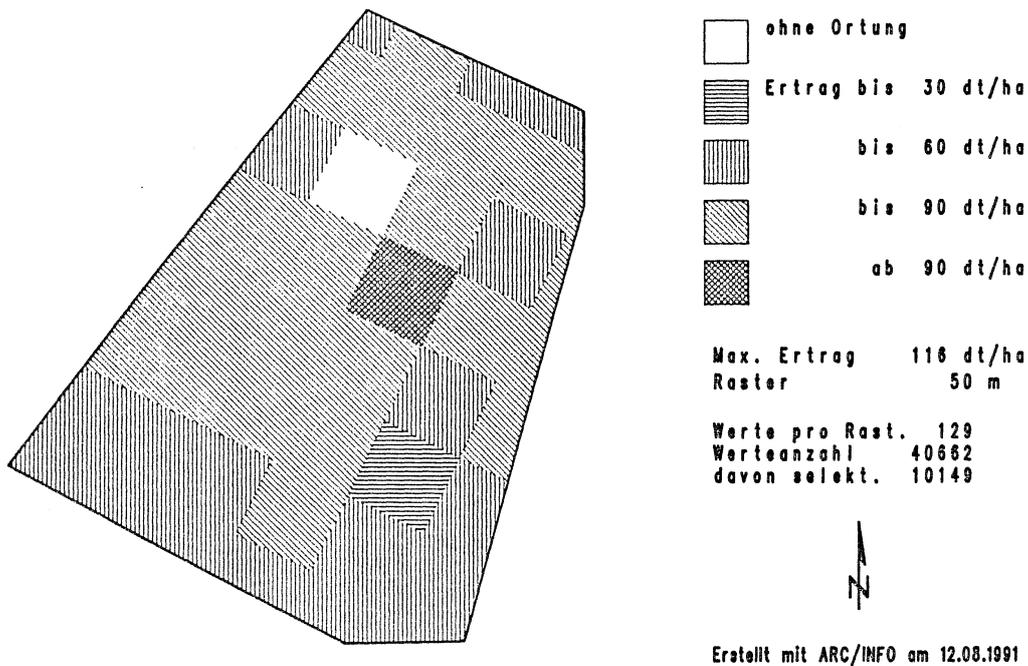


Abbildung 38: Ertragskartierung "Schlüterfeld" (7,2 ha) (SEL-GPS, DATAVISION-FLOWCONTROL, ARC-INFO, 50 x 50 m Raster).

3.4.1.3 Hardegg Foersterwiese

Im Spätherbst ermöglichte die von Hardegg'sche Gutsverwaltung im österreichischen Seefeld-Kadolz Druschversuche zur lokalen Ertragskartierung mit einem Volumenstrommeßsystem bei Körnermais.

Auf Grund der extrem eingeschränkten Satellitenverfügbarkeit zur Untersuchungszeit Anfang Oktober ergibt nur die Wahl des 50 x 50 m Rasters eine zufriedenstellende Flächendeckung bei der Ertragskartierung (Abb. 39).

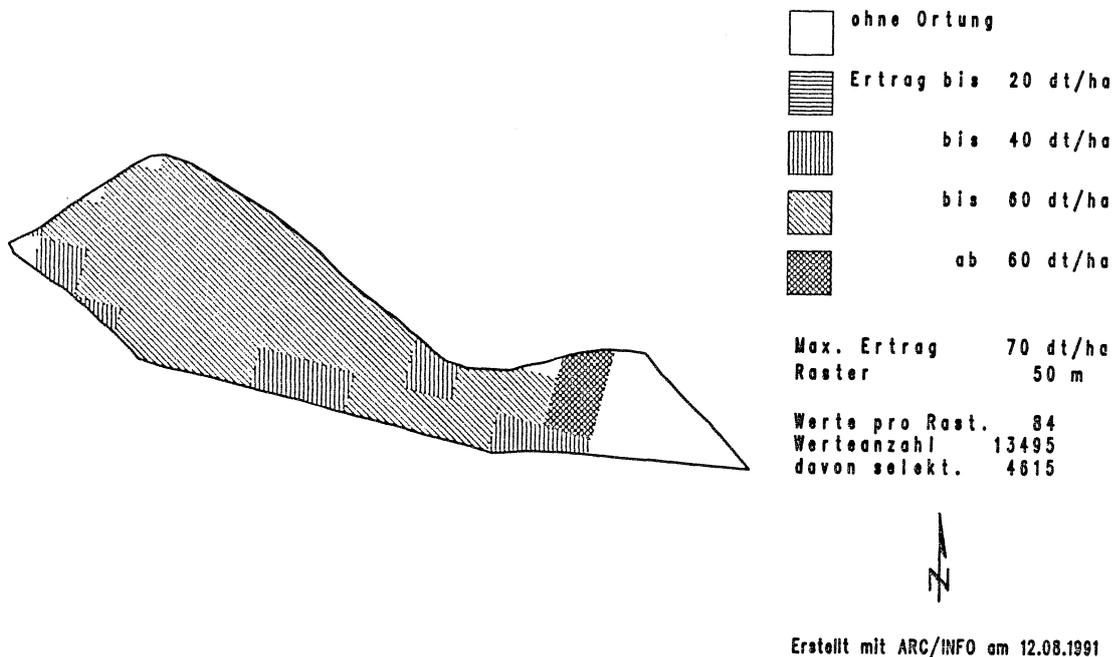


Abbildung 39: Ertragskartierung v. Hardegg Försterwiese (SEL-GPS, CLAYDON YIELD-O-METER, ARC-INFO, 50 x 50 m Raster).

Der durch starke Trockenheit beeinträchtigte Körnermaisenertrag schwankt überwiegend zwischen 40 dt/ha und 60 dt/ha. Während beim Flachfeld durchschnittlich noch knapp 120 Einzelmeßwerte pro 50 m Rasterfeld aufgenommen wurden, standen für die Försterwiese im Mittel nur 84 Einzelmeßwerte zur Verfügung.

3.4.2 Ernte 1991 Scheyern

Für die Ernte 1991 auf dem FAM Versuchsgut Scheyern konnte erstmals auf Exaktdruschergebnisse (FAM Teilprojekt 10, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Bearbeitung: Dr. F.X. Maidl, R. Sippl) zurückgegriffen werden.

Abbildung 40 zeigt die mittleren Erträge der 50 x 50 m Rasterflächen des 16,6 ha Schlages "Flachfeld". Ergänzend sind die Exaktdruschergebnisse an ausgewählten Rasterpunkten aufgetragen.

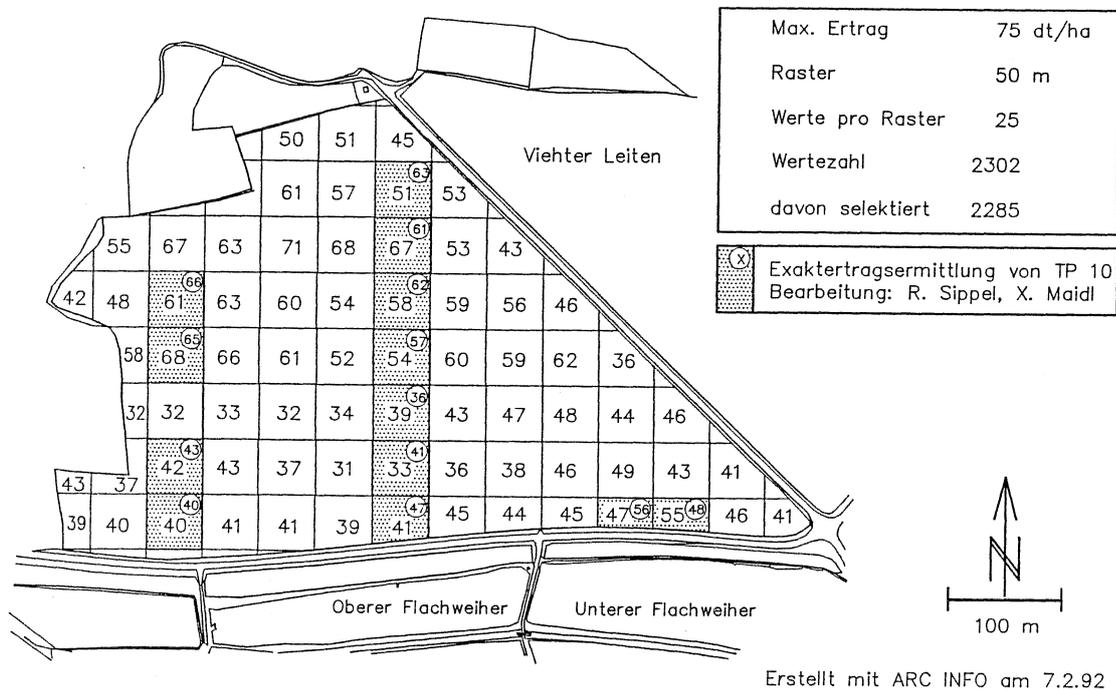


Abbildung 40: Mittlere Rasterflächenerträge (dt/ha) und Exaktertragsermittlung Flachfeld 1991 (Winterweizen, SEL-DGPS, DATAVISION FLOWCONTROL, 50 x 50 m Raster).

Die Ergebnisse der Exaktertragsermittlung liegen beim Flachfeld im Mittel 4 % über den jeweiligen mittleren Rastererträgen, die Abweichungen reichen von -15 % bis +19,5 %. Als Grund für die mittlere Abweichung von +4 % kommt in Betracht, daß die 1,25 m x 8,00 m umfassenden Exaktdruschflächen an Stellen des Bestandes gelegt wurden, die weder durch Fahrgassen und Lager noch durch Vorbeeteinflüsse beeinträchtigt waren. Zudem arbeitet der Parzellenmähdrescher vollkommen ohne Körnerverluste (Körnerverluste des Standardmähdrescher im hängigen Gelände 1 - 2 %). Die Ursachen für die große Spannweite der Abweichungen dürften sowohl starke lokale Variationen des Ertrages als auch die Einflüsse der Vorbeete und Schlagränder auf die mittleren Rastererträge sein.

Anschließend an die Vergleiche, welche die eigenen Ergebnisse der lokalen Ertragsermittlung bestätigten, wurden im GIS die Erträge klassifiziert, die Raster gleichen Ertrages zusammengelegt und die Karten mit den Schlaggrenzen verschnitten. Die Wahl unterschiedlicher Rastergrößen, wie auch die Gegenüberstellung zweier Vegetationsperioden ermöglichen erstmalig die vergleichende Analyse von lokal variierenden Getreideerträgen (Abb. 41).

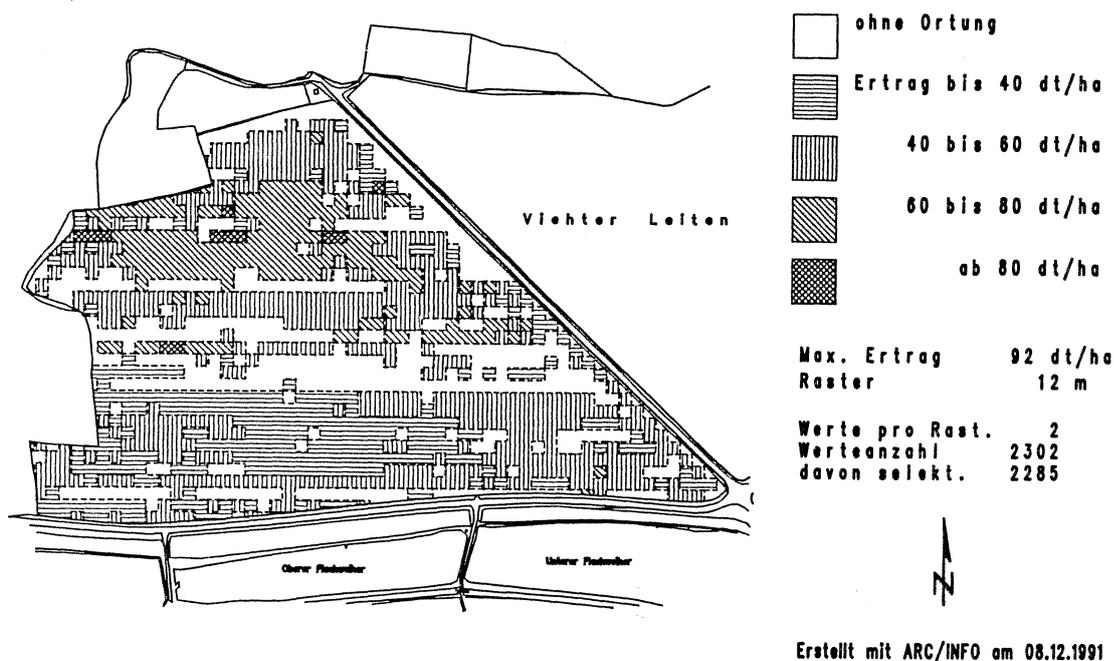


Abbildung 41: Ertragskartierung Scheyern Flachfeld 1991 (16,6 ha, SEL-GPS/DGPS, DATAVISION-FLOWCONTROL, ARC-INFO, 12 x 12 m Raster).

Die Kartierung weist im nördlichen und südlichen Bereich des Flachfeldes Flächen mit einer relativ geschlossenen Ertragskartierung auf. Durch weniger als drei verfügbare Satelliten während zweier Stunden entstand der breite Streifen ohne Ortungsinformation in der Mitte des Feldes.

Die Ertragsunterschiede sind ähnlich groß wie im Vorjahr. Während in der Ernte 1990 mit GPS noch 15.000 Ortungspunkte (selektiert aus 45.000) mit Ertrags-

informationen in die Ertragskartierung eingingen, reduzierte sich diese Zahl mit DGPS im Jahr 1991 auf 2.285 (selektiert aus 2.302).

Die Wahl des 24 x 24 m Rasters führt wie im Vorjahr zu geschlosseneren Flächen gleicher Ertragsklassen (Abb. 42)

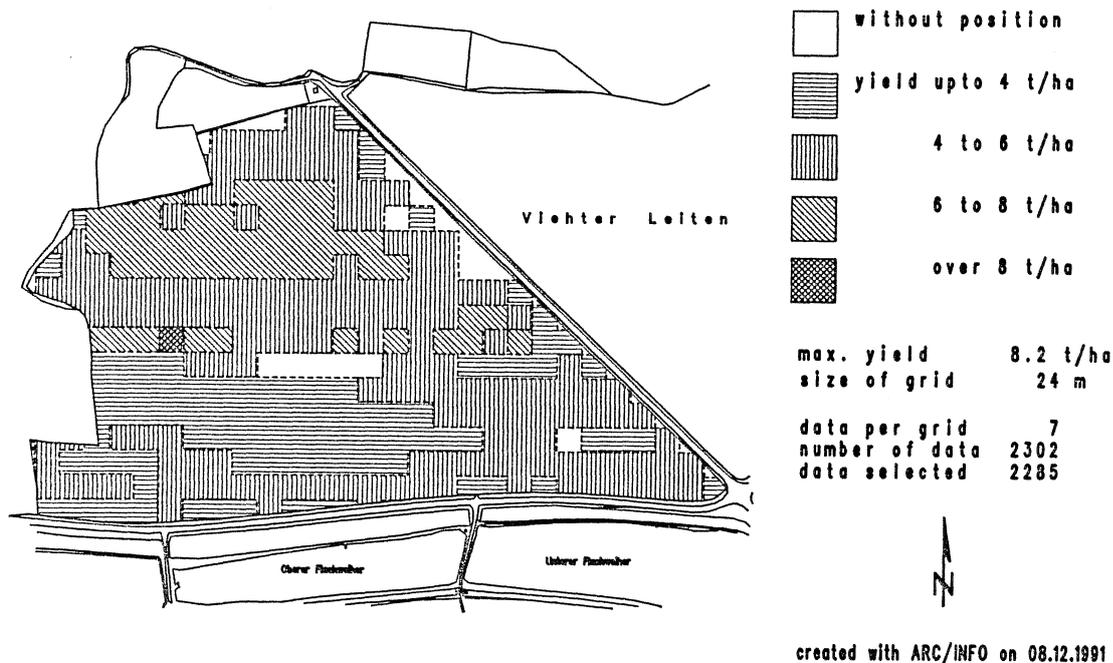


Abbildung 42: Ertragskartierung Scheyern Flachfeld 1991 (16,6 ha, SEL-GPS/DGPS, DATAVISION-FLOWCONTROL, ARC-INFO, 24 x 24 m Raster).

Ein Großteil des Schlages weist einen Winterweizenertrag zwischen 40 dt/ha und 60 dt/ha auf. Im nördliche Teil des Feldes existiert ein Bereich mit einem höheren Ertragsniveau über 60 dt/ha. Er befindet sich in einer Senke mit tiefergründigem Boden. Die ertragsschwache Fläche (< 40 dt/ha) im Süden erstreckt sich über eine steile, erodierte Kuppe.

Im Gegensatz zur Ertragskartierung des Vorjahres ändert sich bei der Vergrößerung der Raster auf 50 x 50 m das festgestellte Ertragsmuster nicht (Abb. 43).

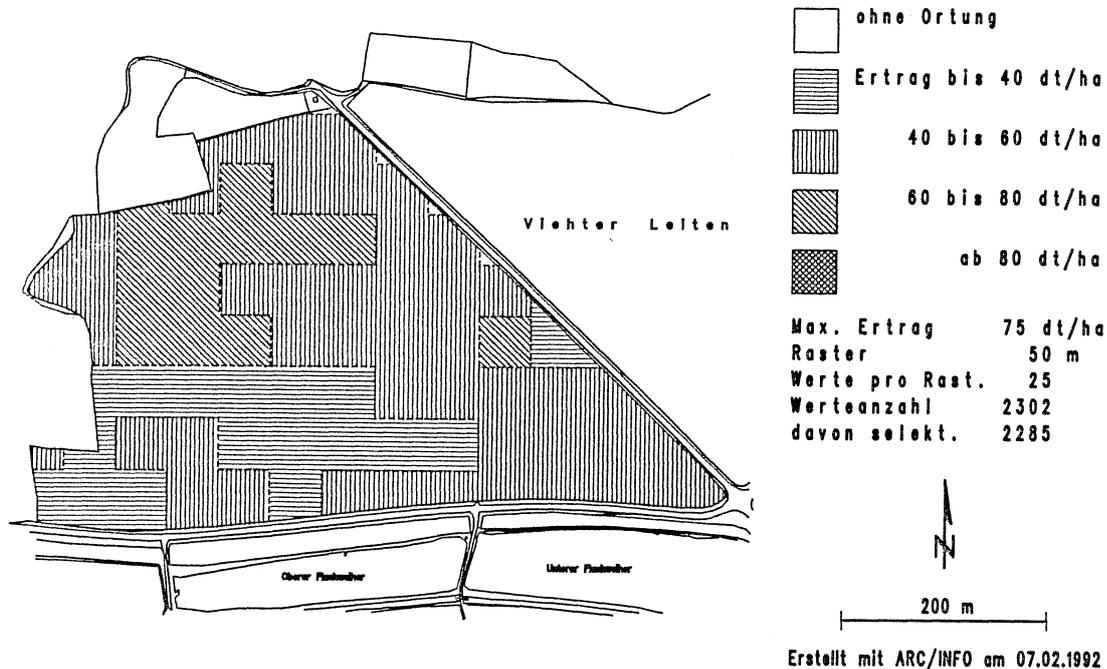


Abbildung 43: Ertragskartierung Scheyern Flachfeld 1991 (16,6 ha, SEL-GPS/DGPS, DATAVISION-FLOWCONTROL, ARC-INFO, 50 x 50 m Raster).

In gleicher Weise wie für das Flachfeld wurden von allen 18 Schlägen Ertragskartierungen in den unterschiedlichen Rastergrößen erstellt. Abschließend wurden alle Einzelkartierungen der Ernte 1991 zu einer Gesamtertragskarte des Versuchsgutes Scheyern im 50 x 50 m Raster zusammengefaßt. Die von der Ertragskartierung erfaßte Ackerfläche betrug 107 ha. Sie war komplett mit Winterweizen bestellt und mit einheitlichen Mineraldüngermengen versorgt (Abb. 44).

Neben Schlägen mit sehr inhomogenen Ertragsmustern, wie das beschriebene Flachfeld (linkes der beiden nördlichen Felder), existieren auch auf dem FAM Versuchsgut Scheyern Felder mit geringeren Variationen im Ertrag.



Abbildung 43: Ertragskartierung des Versuchsgutes Scheyern 1991 (SEL-DGPS, ARC/INFO, 50 x 50 m Raster).

Neben der Wahl der geeigneten Rastergröße stellt sich auch die Frage, ob die gewählte Ertragsklassenbreite von 20 dt/ha bei kleineren Ertragsschwankungen nicht zu groß ist.

Durch den Einsatz des GIS SPANS von TYDEC konnte auch diese Fragestellung bearbeitet werden. Da das Programm eine vorzügliche Datenschnittstelle zur Verfügung stellt, mußten die Rohdaten nur wenig aufbereitet werden. Durch Nachbarschaftsanalyse wurden mit dem Programm Isoertragsflächen mit unterschiedlichen Ertragsklassenbreiten gebildet (Abb. 44).

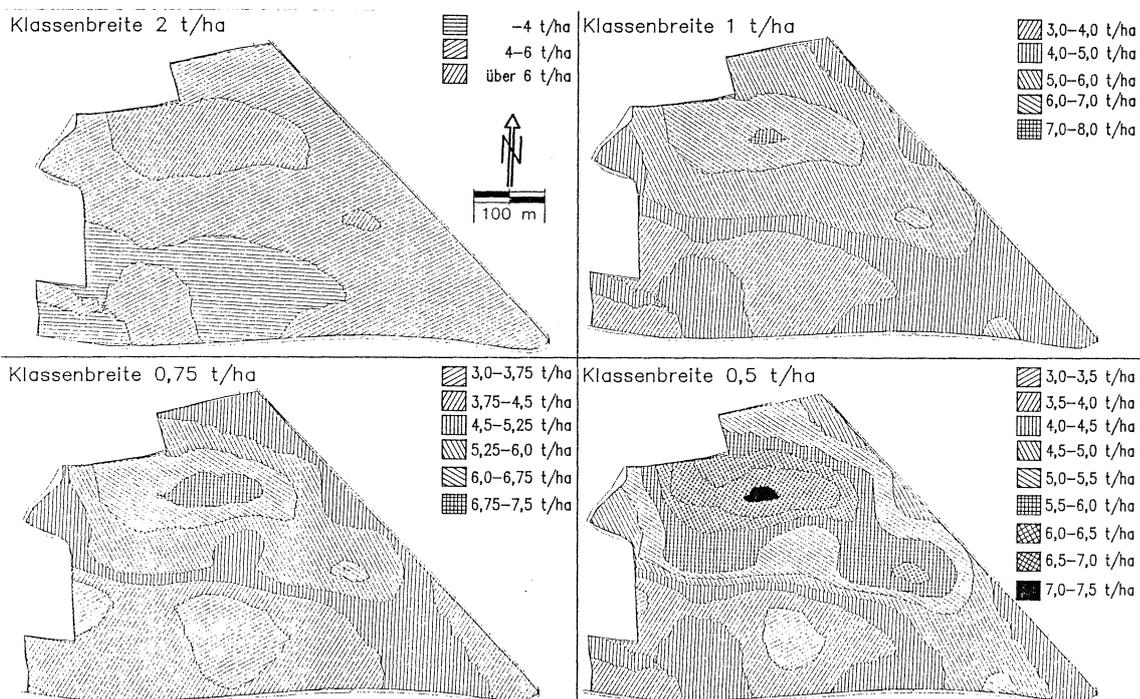


Abbildung 44: Ertragskartierungen mit unterschiedlichen Ertragsklassen, Scheyern, Flachfeld 1991 (SEL-DGPS, DATAVISION-FLOWCONTROL, SPANS).

Die Verringerung der Ertragsklassenbreite von 2,0 t/ha über 1,0 t/ha und 0,75 t/ha bis auf 0,5 t/ha ergibt eine deutliche Differenzierung der Isoertragsflächen.

Inwieweit diese einen zusätzlichen und notwendigen Informationszuwachs bewirkt und bis zu welcher Grenze die Reduzierung der Klassenbreite aufgrund der Ortungs- und Ertragsmeßfehler zulässig ist, muß noch abgeklärt werden.

Die Abbildung 45 zeigt einen Ausschnitt des ganzen FAM-Versuchsgutes Scheyern. Die Kartierung wurde nach Isoertragsflächen mit einer Klassenbreite von 1,0 Tonnen vorgenommen. Das oben wiederholte gezeigte Flachfeld befindet sich im nördlichen Teil des Betriebes. Deutlich zeigt sich, daß sich die Isoertragsklassen, obwohl die Auswertungen, unabhängig voneinander, schlagweise vorgenommen wurden, über Schlaggrenzen und Wege hinweg erstrecken.

ERTRÄGE

	30-40 dt/ha
	40-50 dt/ha
	50-60 dt/ha
	60-70 dt/ha
	70-80 dt/ha
	80-90 dt/ha
	keine Auswertung

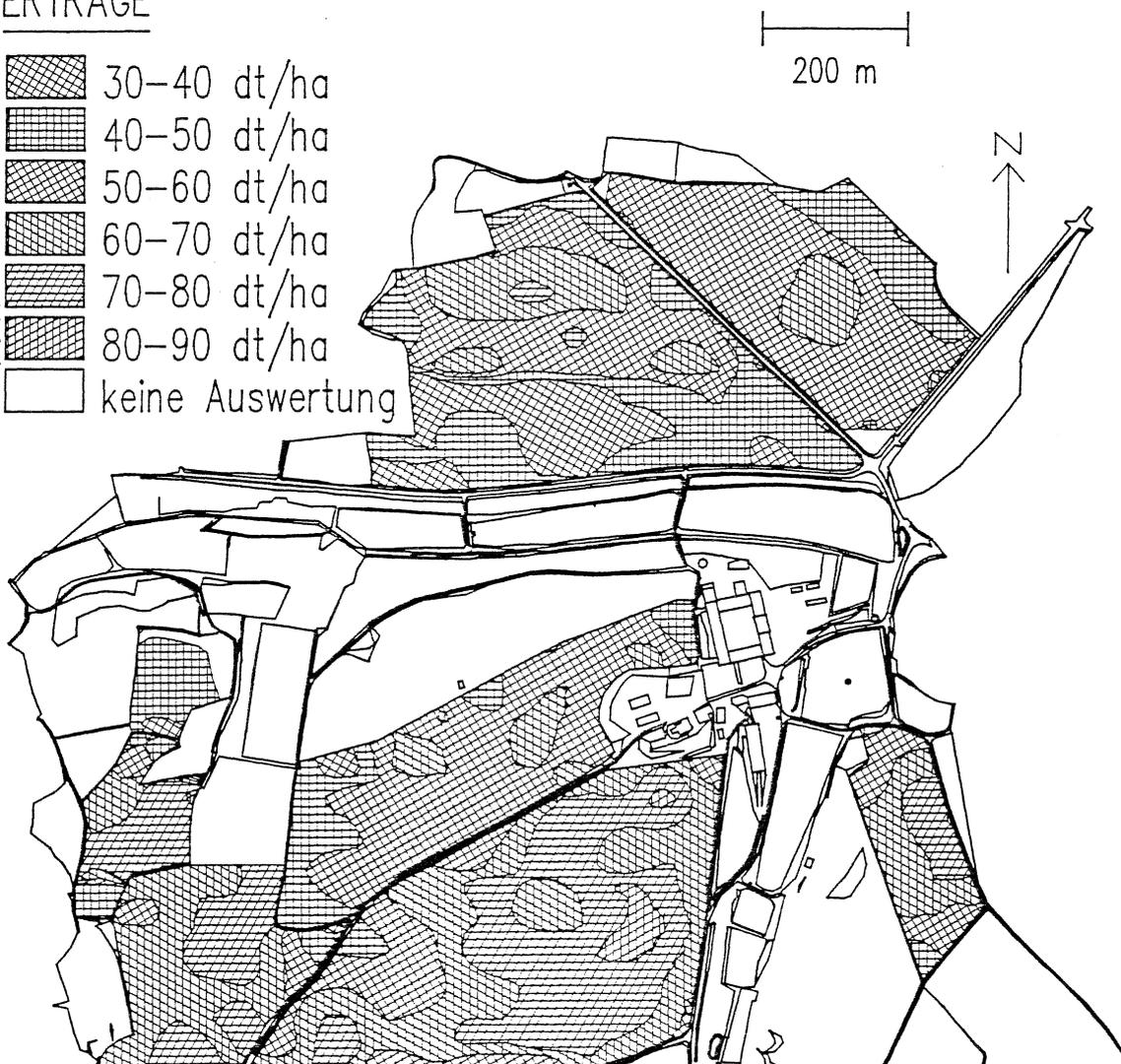


Abbildung 45: Ertragskarte FAM-Versuchsgut Scheyern 1991 (SEL-DGPS, SPANS).

3.4.3 Ernte 1992 Scheyern

Die Versuche zur lokalen Ertragsermittlung in der Ernte 1992 waren geprägt von der ständigen Verfügbarkeit der GPS-Satelliten und der hohen Qualität der eingesetzten GPS-Empfänger. Eine Folge war die bereits bei der Behandlung der Ortungsergebnisse angesprochene hohe Genauigkeit der Ortung. Außerdem erfolgte die Datenaufzeichnung in der Ernte 1992 vollkommen ohne Datenverluste.

Wie bereits in den vorangegangenen zwei Ernten sollen die Ertragskartierungen zur lokalen Ertragsermittlung exemplarisch am Flachfeld vorgenommen werden. Es wurden jedoch die Kartierungen aller Schläge in den unterschiedlichen Rastergrößen und in Form der Isoertragsflächen durchgeführt.

Im Gegensatz zu den Vorjahren führt bereits die Auswertung im 12 x 12 m Raster zu einer flächendeckenden Ertragskartierung (Abb. 46).

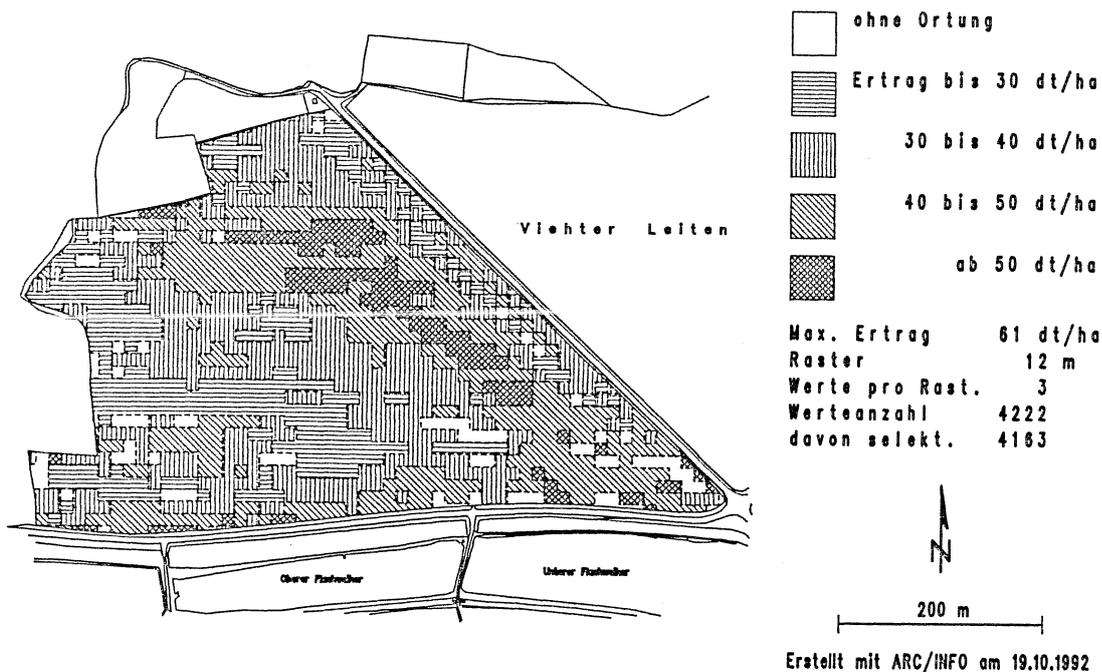


Abbildung 46: Ertragskartierung Scheyern Flachfeld 1992 (16,6 ha, ASHTECH/TRIMBLE DGPS, DATAVISION-FLOWCONTROL, ARC-INFO, 12 x 12 m Raster).

Durch das niedrigere Ertragsniveau der Fruchtart Sommergerste wurden für die Ertragsklassierung 10 dt/ha Stufen gewählt. Die Ertragsschwankungen auf dem Flachfeld betragen im Jahr 1992 wiederum bis über 300 % (20 dt/ha bis über 60 dt /ha).

Die Anzahl der in die Ertragskartierung eingegangenen Ortungspunkte mit Ertragsinformation erhöhte sich auf 4.163 (selektiert aus 4.222), im Vorjahr waren es nur 2.285 Punkte. Damit liegen in der Auswertung 1992 jeder 12 x 12 m Rasterfläche durchschnittlich drei Ortungspunkte zugrunde (1990 nur 1 Punkt).

Diese höhere Informationsdichte verbunden mit der hohen Qualität der Information (Ortungsgüte) ist Ursache für die Flächendeckung schon bei beim 12 x 12 m Raster und für die Stabilität des Ertragsmusters für den Schlag beim Übergang zur Auswertung im 24 x 24 m und 50 x 50 m Raster (Abb. 47, Abb. 48).

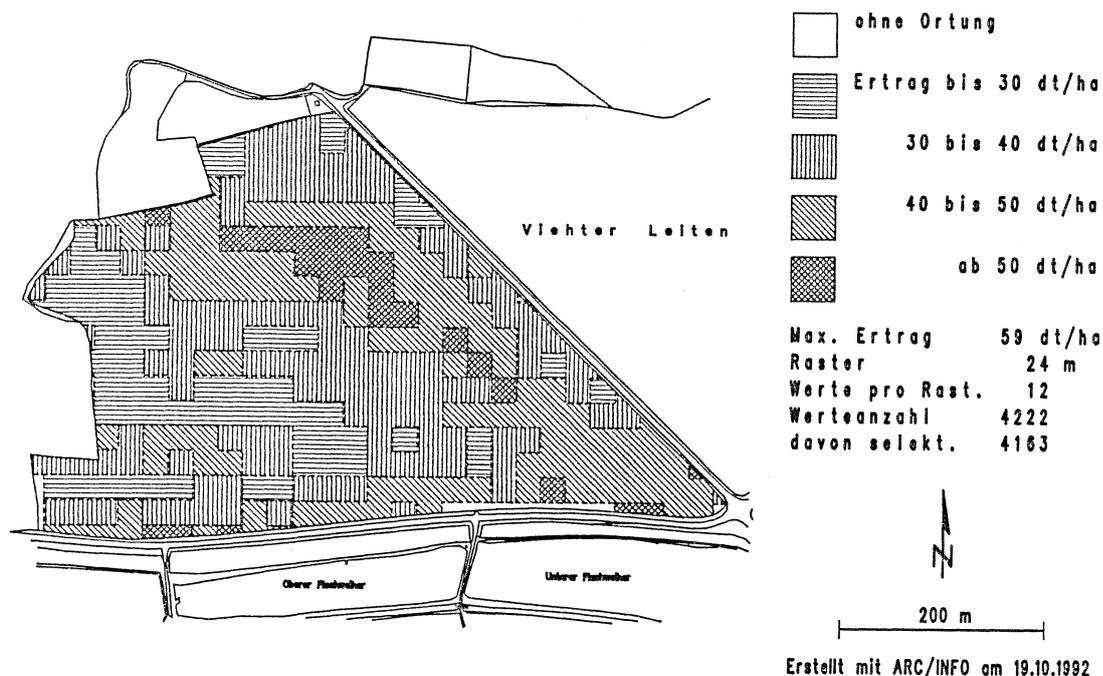


Abbildung 46: Ertragskartierung Scheyern Flachfeld 1992 (16,6 ha, ASHTECH/TRIMBLE DGPS, DATAVISION-FLOWCONTROL, ARC-INFO, 24 x 24 m Raster).

Weder die Ertragskartierung im 24 m Raster, noch die im 50 m Raster weisen Rasterflächen ohne Ortungs- und Ertragsinformation auf. Die mittlere Anzahl der Ortungs-/Ertragswerte pro Rasterfläche steigt vom 12 m Raster (3 Werte) über das 24 m Raster (12 Werte) zum 50 m Raster (44 Werte) annähernd entsprechend dem Flächenzuwachs der Rasterflächen an. Dies spricht für eine annähernde Gleichverteilung der Ortungspunkte über den gesamten Schlag.

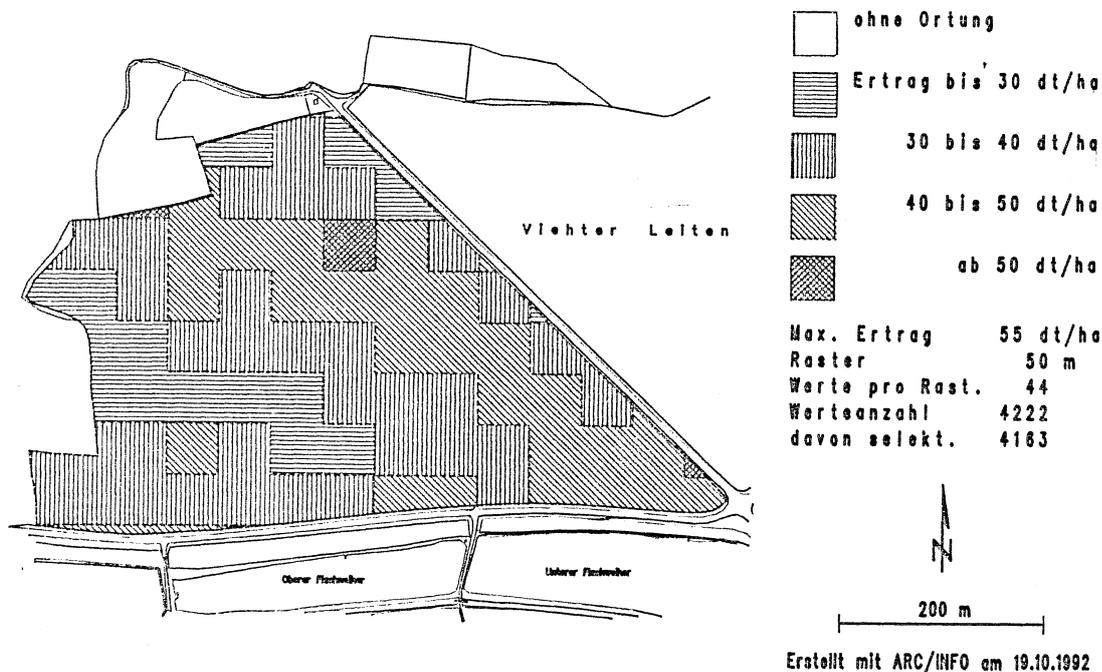


Abbildung 47: Ertragskartierung Scheyern Flachfeld 1992 (16,6 ha, ASHTECH/TRIMBLE DGPS, DATAVISION-FLOWCONTROL, ARC-INFO, 50 x 50 m Raster).

Das Vorhandensein von Ertragskartierungen für das Flachfeld über drei Anbaujahre und die Ergänzung um produktionstechnische Daten, wie Düngung und Witterungsverlauf, sind Voraussetzung für erste Versuche der Interpretation der, sich nicht jährlich gleich ausbildenden Ertragsstruktur (Abb. 48).

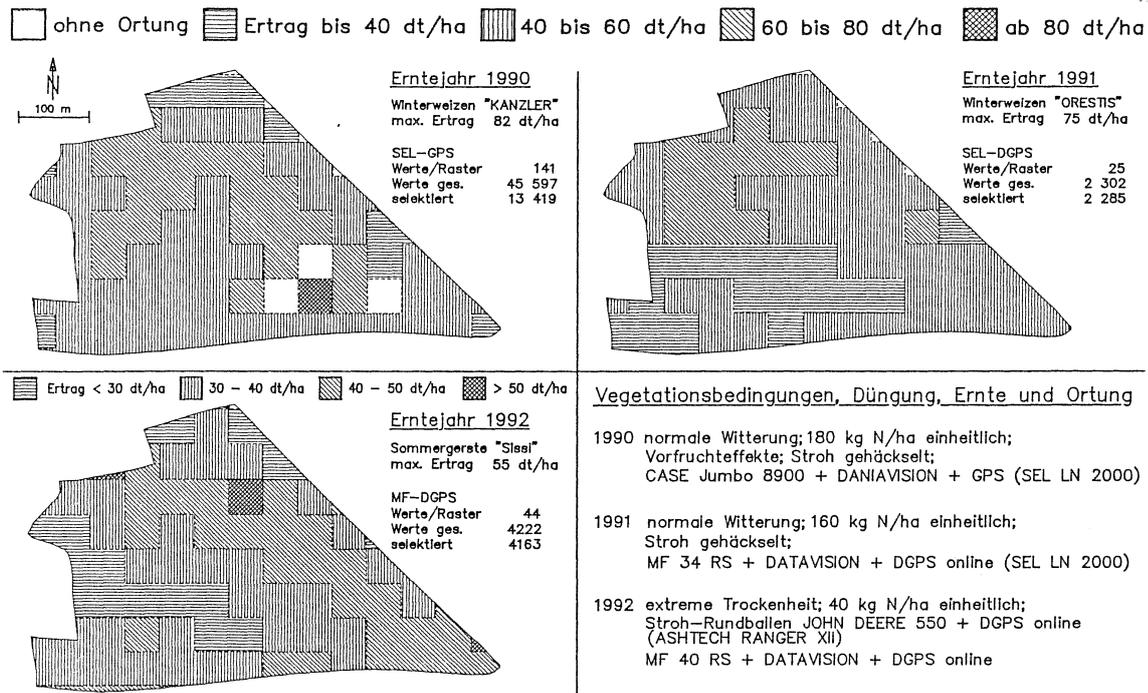


Abbildung 48: Ertragskartierungen Scheyern Flachfeld (16,6 ha; Erntejahre 1990 -1992; Rastergröße 50 x 50 m).

Im ersten Winterweizen (1990) haben sich bei normaler Witterung, nach der Vorfrucht Körnerraps, nur die Teilflächen mit hohen Erträgen teilweise in den selben Bereichen wie in den Folgejahren ausgebildet.

Die im zweiten Winterweizen (1991) aufgetretene Zone mit extrem niedrigem Ertragsniveau blieb in Teilen auch im Trockenjahr 1992 erhalten. Nur am südlichen Hangfuß war sie 1992 nicht so stark ausgeprägt.

4. Schlußfolgerungen und Ausblick

Beginnend mit der Ernte 1990 wurden vom Institut für Landtechnik Tast- und Vorversuche zur lokalen Ertragsermittlung beim Mähdrusch eingeleitet. Sie wurden in den Untersuchungsjahren 1991 und 1992 im Rahmen des "Forschungsbundes Agrarökosysteme München" einschließlich der erforderlichen Vorversuche auf jeweils etwa 200 ha Druschfläche ausgedehnt. Die zwei eingesetzten Mähdrescher waren mit Ertragsmeßsystemen nach dem Masse- und Volumenstrommeßprinzip ausgestattet. Die Positionsbestimmung erfolgte großflächig erstmalig bei einem landwirtschaftlichen Einsatz über differentielles GPS.

Sowohl die Ertragsmeßgeräte als auch die Ortungssysteme zeigten eine hervorragende Funktionssicherheit. Die mit dem differentiellen GPS erreichbare Ortungsgenauigkeit mit Positionsfehlern kleiner $\pm 2,5$ m ist ausreichend. Ebenso genügt die Genauigkeit der beiden Ertragsermittlungssysteme bei gewissenhafter Anwendung den zu stellenden Anforderungen. Bei mehr als 400 ha Druschfläche traten keine gravierenden Probleme auf.

Die damit gewonnenen Ertrags- und Positionsdaten wurden mit Hilfe eigener Auswertprogramme und geographischer Informationssysteme in Ertragskarten unterschiedlicher Rastergrößen, Isoertragsflächen und Ertragsklassierungen überführt.

Der Vergleich der mittleren Rastererträge und der Exaktertragsermittlung an ausgewählten Rasterpunkten ergab Abweichungen, die von lokalen Ertragschwankungen, Druschverlusten und Vorbeet-, Rand- und Lagereinflüssen herrühren dürften. Die Umsetzung erster N-Entzugsgleichungen für einzelne Schläge in Entzugskartierungen, basierend auf Ertragskartierungen, wurde zum Jahreswechsel in Angriff genommen.

Es konnte gezeigt werden, daß es mit der lokalen Ertragsermittlung möglich ist, den Ertrag und, bei vorrangegangener einheitlicher Düngung, auch das Ertragspotential großer Flächen ganzflächig ohne zusätzlichen Arbeitsaufwand beim

Mähdrusch festzustellen und damit einen Ausgangspunkt für einen Regelkreis zur umweltorientierten Düngung zu erhalten.

Die lokale Ertragsermittlung beim Mähdrusch erstreckte sich, auf Grund der speziellen Anbauverhältnisse in der Inventurphase, auf alle Ackerflächen des Versuchsgutes Scheyern. Da jedoch in der 1993 anlaufenden Hauptphase vielgliedrigere Fruchtfolgen mit einem hohen Anteil von "Nicht-Mähdruschfrüchten" etabliert werden, ist es erforderlich, die lokale Ertragsermittlung auch auf die Ernte-techniken dieser Früchte auszudehnen. Darauf aufbauend muß dann die Applikationstechnik von mineralischem und organischem Dünger so modifiziert und ergänzt werden, daß damit, entsprechend den neuen Vorgaben in Form von Düngerkarten die Düngung teilschlagbezogen, lokal variiert ausgebracht werden kann. Die Voraussetzung hierfür ist aber auch, daß Bodenkunde, Pflanzenernährung und Pflanzenbau Algorithmen zur Erstellung differenzierter, teilschlagbezogener Düngepläne entwickeln.

5. Publikationen

Auernhammer, H.:

Landtechnische Entwicklungen für eine umwelt- und ertragsorientierte Düngung. Landtechnik 45 (1990), Heft 7/8, S. 272 - 278.

Auernhammer, H., M. Demmel, T. Muhr, J. Rottmeier:

Future developments for fertilizing in Germany.

St. Joseph, ASAE Paper Nr. 91-1040.

Auernhammer, H., T. Muhr:

GPS in a basic rule for environment protection in agriculture.

In: Proceedings of the Automated Agriculture for the 21st Century, 16./17. Dezember 1992, Chicago, Illinois, Hrsg.: ASAE, St. Joseph, 1991.

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.

Buschmeier, R.:

CAF with the Satellite Navigation System GPS.

In: Technical Papers and Posters Abstracts on "International Conference on Agricultural Engineering (AG ENG '90)" Berlin, VDI-AGR/MEG 1990, S.88 - 89.

Kloepfer, F., D. Murphy und E. Schnug:

Ertragskartierung zur gezielten Düngung.

Landtechnik 47 (1992), Heft 4, S. 177 - 178.

Kutzbach, H. D. und P. Wacker:

Getreideernte noch schneller und komfortabler - Mähdrescher auf der Agritechnika 1989.

Landtechnik 45 (1990), Heft 1, S. 22 - 29.

Kutzbach, H. D. und P. Wacker:

Mähdrescher - Technischer Stand und Trends.

Landtechnik 47 (1992), Heft 6, S. 264 - 267.

Muhr, T., M. Demmel und H. Auernhammer:

Positionsbestimmung von Fahrzeugen im Feld.

In: Wiegemöglichkeiten im Schlepperkraftheber und in Transportfahrzeugen, Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan 1991, Heft 2, S. 72 - 84.

Petersen, C.:

Precision GPS Navigation for Improving Agricultural Productivity.

GPS World 1991, Nr. 1, S. 38 - 43.

Schnug, E., S. Haneklaus und J. Lamp:

Economic and Ecological Optimization of Farm Chemical Applikation by "Computer Aided Farming" (CAF).

In: Technical Papers and Posters Abstracts on "International Conference on Agricultural Engineering (AG ENG '90)" Berlin, VDI-AGR/MEG 1990, S. 162 - 163.

Schueller, J.K. et al.:

Determination of Spatially Variability Yield Maps.

St. Joseph, ASAE Paper Nr. 87-1533.

Searcy, S.W. and J.W. Tevis:

Generation and Digitization of Management Zone Maps.

St. Joseph, ASAE-Paper Nr. 91-3528.

Wild, K. und H. Auernhammer:

Ortung und Navigation in der Landwirtschaft.

In: SPN - Zeitung für Satellitengestützte Positionierung, Navigation und Kommunikation, 1 (1992), Nr. 2, S.72.

Am 5./6. März 1992 fand ein Kolloquium zum Thema "Ortung und Navigation landwirtschaftlicher Fahrzeuge" als gemeinsame Veranstaltung der VDI-Gesellschaft Agartechnik (VDI-AGR), der Max-Eyth-Gesellschaft für Agrartechnik (MEG), des Forschungsverbundes Agrarökosysteme München (FAM) und der Landtechnik Weihenstephan statt. Die folgenden, auf der Tagung gehaltenen Vorträge sind alle im Tagungsband "VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik, Heft 14 (1992)" veröffentlicht (Landtechnik Weihenstephan, 212 S., 25,- DM).

Auernhammer, H.:

Rechnergestützter Pflanzenbau am Beispiel der umweltorientierten Düngung.

Kögel, H. und G. Jahns:

Nutzung der Ortung und Navigation landwirtschaftlicher Fahrzeuge zur Reduzierung des Betriebsmitteleinsatzes - wirtschaftliche Grundsätze und praktische Anwendungen.

Winter, R. und K. Baganz:

Bornimmer Arbeiten, die Ansätze zur Entwicklung teilstückgerechter Feldwirtschaft bieten.

Muhr, T. und H. Auernhammer:

Technische Möglichkeiten zur Ortung landwirtschaftlicher Fahrzeuge im Feld.

Bernhardt, G. und W. Damm:

Lösungsansätze zur Positionsbestimmung mobiler Landmaschinen mittels eines Trägheitsnavigationssystems.

Lechner, W.:

Grundlagen und Anwendung von GPS und DGPS - Stand der Entwicklung, Arbeiten der DGON -.

Hoßfeld, B.:

Absehbare Entwicklungen bei GPS und rechtliche Voraussetzungen.

Straub, J.:

Differentielles GPS, der Schlüssel zur hochgenauen Positionsbestimmung.

Hartl, P.:

Möglichkeiten der Kooperation Raumfahrt/Landwirtschaft.

Reitz, P., H.D. Kutzbach:

Technische Komponenten für die Erstellung von Ertragskarten während der Getreideernte mit dem Mähdrescher.

*Demmel M., T. Muhr, J. Rottmeier, P. v. Perger und H. Auernhammer:
Ortung und Ertragsermittlung beim Mähdrusch in den Erntejahren 1990 und
1991.*

*Kollar, L.:
Theoretische und technische Ansätze für die Spurführung mobiler Aggregate.*

*Van Zuydam, R.P.:
Automatische Steuerung von landwirtschaftlichen Geräten.*

*Jürschik, P. und H. Beuche:
Anschlußfahren von Feldmaschinen mit Differential - GPS.*

*Georg, H. und F.-J. Bokisch:
Entwicklung eines Pflanzenunterscheidungssystems auf bildanalytischer Basis zur
Bonitierung und zukünftig zur direkten Steuerung der Unkrautbekämpfung.*

*Schueller, J.K., S. Borgelt und K. Wild:
Ortung und Navigation in der Landwirtschaft der USA - Stand und Ausblick.*

*Delcourt, H., J. de Baerdemacker und J. Deckers:
Lokale Unterschiede von Wachstum und Ertrag bei Winterweizen anhand von
Boden- und Bodennährstoffkarten.*

*Begemann, J.:
Schlagkartei und Ortung - Voraussetzungen und Lösungen.*