

Technische Universität München  
Department für Biogene Rohstoffe und  
Technologie der Landnutzung  
Fachgebiet Technik im Pflanzenbau

**Fehleranalyse und Fehlerkorrektur bei der  
lokalen Ertragsermittlung im Mähdrescher zur  
Ableitung eines standardisierten Algorithmus  
für die Ertragskartierung**

Thomas Steinmayr

Vollständiger Abdruck der von der  
Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan  
für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der  
Technischen Universität München  
zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktors der Naturwissenschaften**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. sc. techn. (ETH Zürich) U.  
Schmidhalter  
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. agr. Dr. agr. habil. H.  
Auernhammer  
2. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. O. Baume, Ludwig-  
Maximilians-Universität München  
3. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. W. Huber

Die Dissertation wurde am 26.06.2002 bei der Technischen Universität München eingereicht  
und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung  
und Umwelt am 18.10.2002 angenommen.



## **Danksagung**

Ich möchte hiermit allen danken, die unmittelbar und mittelbar zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Besonders gilt mein Dank Herrn Prof. Auernhammer für die Überlassung des Themas und die Betreuung und Korrektur der Arbeit.

Herrn Prof. Baume (LMU) und Herrn Prof. Huber (TUM) danke ich für die Übernahme des Coreferates und den damit verbundenen Aufwand.

Herrn Dr. Markus Demmel bin ich für die fachliche Beratung und Unterstützung der dieser Arbeit zugrundeliegenden Untersuchungen und Auswertungen zu Dank verpflichtet.

Mein aufrichtiger Dank geht darüberhinaus an folgende Personen:

Herrn Dr. Tiemo Schwenke und Herrn Dipl.-Inf. Achim Spangler für die Bereitschaft, mir jederzeit in Fragen der EDV-Technik Hilfe zu leisten.

Herrn Dr. Martin Bachmaier für die Beratung in statistischen Fragen.

Den Mitarbeitern und Kollegen am Lehrstuhl für Landtechnik Frau Gabriele Schneider, Frau Herta Vogt, Frau Monika Vogl u.a. für die Unterstützung in verwaltungstechnischen Belangen, Herrn Hans Brunnhuber, Herrn Martin Berchtold, Herrn Stefan Kolbinger, Herrn Josef Böck, Herrn Michael Brandstetter, Herrn Dr. Stanzel und Herrn Josef Dallinger für die Unterstützung in jeglicher technischer Hinsicht.

Den Mitarbeitern im Projekt IKB für die gute Zusammenarbeit.

Den Mitarbeitern der Versuchsgüter Dürnast und Scheyern für die Unterstützung bei der Ermittlung der lokalen Ertragsdaten während der Ernteperioden.

Besonders gebührt mein Dank den Institutionen, die durch ihre finanzielle Hilfe die Durchführung der Arbeiten überhaupt erst möglich gemacht haben:

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die dreijährige Förderung meines Teilprojektes im Rahmen der Forschergruppe IKB.

Meinem Arbeitgeber Münchener Rückversicherungs-AG für das Stipendium im September und Oktober 2001, das es mir ermöglicht hat, die Dissertation im gegebenen Zeitraum fertigzustellen, besonders meinem Vorgesetzten Herrn Karl Murr, dessen persönlichen Einsatz ich das Stipendium zu verdanken habe.

Nicht zuletzt möchte ich auch den Personen besonderen Dank aussprechen, deren moralische Unterstützung während der vier Jahre mein Durchhaltevermögen gestärkt hat: meinen Eltern, meinem Großvater und meinen Geschwistern sowie sämtlichen Freunden und Bekannten.

Freising, den 24.06.02

Thomas Steinmayr



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Problemstellung</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Stand des Wissens und der Technik</b> .....	<b>8</b>
<b>3.1</b>	<b>Prinzipien der lokalen Ertragsermittlung und Fehlerquellen</b> .....	<b>8</b>
3.1.1	Transport des Ernteguts zum Sensor und Messversatz.....	9
3.1.2	Durchsatzmessung.....	10
3.1.3	Bestimmung der Trockenmasse.....	15
3.1.4	Umrechnung in Flächenerträge.....	16
3.1.5	Fremdmaterial im Druschgut.....	18
3.1.6	Fehler durch das Verhalten der Kornstroms im Elevator.....	19
3.1.7	Ortung.....	20
<b>3.2</b>	<b>Datennachbearbeitung</b> .....	<b>24</b>
<b>3.3</b>	<b>Methoden der Ertragskartierung</b> .....	<b>27</b>
3.3.1	Rasterbasierte Polygone.....	28
3.3.2	Konturkarten.....	29
3.3.2.1	<i>Inverse-Distanz-Verfahren</i> .....	29
3.3.2.2	<i>Kriging-Verfahren</i> .....	30
3.3.3	Ertragsklassen.....	33
3.3.4	Darstellung mehrjähriger Trends der räumlichen Ertragsverteilung.....	33
<b>4</b>	<b>Ziele der Arbeit</b> .....	<b>35</b>

---

<b>5</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	36
<b>5.1</b>	<b>Datenquellen</b> .....	36
<b>5.2</b>	<b>Arbeitsschritte</b> .....	38
5.2.1	Methoden zur experimentellen Quantifizierung der Fehler.....	38
5.2.1.1	<i>Durchsatzmessung</i> .....	38
5.2.1.2	<i>Ortung</i> .....	39
5.2.2	Methoden der Rohdatenanalyse und –bereinigung.....	41
<b>6</b>	<b>Experimentelle Fehleranalyse für die lokale Ertragsermittlung</b> .....	47
<b>6.1</b>	<b>Fehler bei der Durchsatzmessung</b> .....	47
6.1.1	Durchführung und Auswertung der Prüfstandsversuche.....	47
6.1.2	Ergebnisse.....	51
6.1.2.1	<i>Gemessene Kornmengen bei konstanten Durchsätzen</i> .....	52
6.1.2.1.1	<i>Radiometrische Durchsatzmessung</i> .....	52
6.1.2.1.2	<i>Massestrommessung mit Prallplatte</i> .....	54
6.1.2.1.3	<i>Volumenstrommessung mit Lichtschranke</i> .....	59
6.1.2.2	<i>Gemessene Kornmengen bei variierenden Durchsätzen</i> .....	63
6.1.2.3	<i>X-T-Diagramme der Durchsätze</i> .....	67
6.1.2.3.1	<i>Messrauschen bei konstanten Durchsätzen</i> .....	67
6.1.2.3.2	<i>Untersuchungen bei variablen Durchsätzen</i> .....	69
<b>6.2</b>	<b>Fehler bei der Ortung</b> .....	72
6.2.1	Datenaufzeichnung und –auswertung.....	72
6.2.2	Ergebnisse.....	73

---

<b>7</b>	<b>Analyse und Bereinigung der Ertragsdaten</b>	80
<b>7.1</b>	<b>Unbereinigte Ertragsdaten</b>	80
7.1.1	Positionskorrektur und Zuordnung zu Fahrgassen bzw. Segmenten	80
7.1.2	Statistische Eigenschaften der unbereinigten Ertragsdaten	85
7.1.3	Analyse der Daten bezüglich wichtiger Fehlergrößen	92
7.1.3.1	<i>Effektive Schnittbreite</i>	92
7.1.3.2	<i>Maschinenfüll- und Maschinenentleerphasen</i>	96
7.1.3.3	<i>Messversatz</i>	100
7.1.3.4	<i>Starke Beschleunigungen und Geschwindigkeitsmessfehler</i>	102
7.1.3.5	<i>Feuchte</i>	105
7.1.4	Vergleichbarkeit der Daten unterschiedlicher Messsysteme	107
7.1.5	Geostatistische Analyse der Ertragswerte	109
<b>7.2</b>	<b>Bereinigung der Ertragsdaten</b>	113
7.2.1	Vorgehen	114
7.2.2	Ergebnisse	116
<b>8</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen</b>	125
<b>8.1</b>	<b>Bewertung und Einordnung der Ergebnisse</b>	125
8.1.1	Mögliche Fehlerquellen bei den Untersuchungen	125
8.1.2	Interpretation und Vergleich mit anderen Untersuchungen	130
8.1.3	Geschätzter Restfehler in den bereinigten Ertragsdaten	140

---

<b>8.2 Umsetzung der Ertragspunktdaten in Teilflächeninformationen.....</b>	<b>142</b>
8.2.1 Rastergrößen und Interpolationsreichweiten.....	142
8.2.2 Ertragsklassenanzahl und Ertragsklassenbreiten.....	144
<b>8.3 Schlussfolgerungen.....</b>	<b>149</b>
<b>9 Weiterführende Arbeiten.....</b>	<b>151</b>
<b>10 Zusammenfassung.....</b>	<b>153</b>
<b>11 Summary.....</b>	<b>156</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>159</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>166</b>

## Abbildungsverzeichnis

Hauptteil:	S.
1 Ertragsrohdaten.....	4
2 Ertragskonturkarte der Winterweizenernte von Dürnast Schlag D08 1999 erstellt mit KEMIRA-LORIS (Rastergröße 10 m, Inverse-Distanz-Interpolation, Power 2, Glättung 0, Anisotropie 1) ..	4
3 klassierte mittlere Rastererträge der Winterweizenernte auf Schlag D08 1999 (Rastergröße 12 m * 12 m) (erstellt mit ArcView auf Basis von ARC/INFO-Coverages).....	5
4 Ertragskarten der Erntefahrt Scheyern Schlag A18 1997 mit verschiedenen relativen Klasseneinteilungen (% des Schlagmittels) und Rastergrößen (1. von links 12 m, übrige 50 m).....	7
5 Komponenten für die lokale Ertragsermittlung im Mährescher (Quelle: Lehrstuhl für Landtechnik).....	8
6 Messprinzip von Volumenstrommesssystemen mit Lichtschranke (CLAAS QUANTIMETER, RDS CERES2, RDS PRO SERIES 8000) (Quelle: DEMMEL [28]).....	10
7 Messprinzip radiometrischer Massestrommesssysteme (z.B. Datavision-Flowcontrol) (Quelle: DEMMEL [28]).....	11
8 Messprinzipien von Kraft-/Impulsmesssystemen (z.B. Ag-Leader links und FIELDSTAR N-SET rechts) (Quelle: DEMMEL [28]).....	12
9 Schema des systematischen Fehlers bei Lichtschrankensystemen durch Querneigungen (Rückansicht des Elevators, Neigungen überdimensional dargestellt; Quelle: Eigenentwurf)..	13
10 Schema des systematischen Fehlers bei Lichtschrankensystemen durch Längsneigungen (Seitenansicht des Elevators, Neigungen überdimensional dargestellt; Quelle: Eigenentwurf)..	13
11 Feuchtwerte bei der Winterweizenernte D08 1999 (Ag-Leader).....	20
12 Systemaufbau des Global Positioning System (Quelle: AUERNHAMMER UND DEMMEL [7])..	21
13 Empirische Semivarianzwerte und theoretisches Semivariogramm n. GEBBERS 1999 (Quelle: EBERT [30]).....	31
14 Messparameter und errechnete Koordinaten von Infrarottachymetern (Quelle: Lehrstuhl für Landtechnik).....	40
15 Kalibrierkurven von Ag-Leader YM2000 nach den Versuchsdurchgängen zur Messsystemkalibrierung vor den Prüfstandsversuchen auf Roggen.....	48
16 Kalibrierkurven von RDS Ceres vor und nach einer Neutarierung.....	49
17 Arithmetische Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Massestromsystems Datavision-Flowcontrol bei verschiedenen Durchsätzen und Fruchtarten, Gutsfeuchte 14% (Raps 9%) (n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	52
18 Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Massestromsystems Datavision-Flowcontrol bei verschiedenen Längsneigungen und Fruchtarten, Durchsatz 20 t/h (n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	54
19 Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Ag-Leader bei verschiedenen Durchsätzen und Fruchtarten (n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	55

20	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Ag-Leader bei verschiedenen Längsneigungen und Fruchtarten (n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	56
21	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Ag-Leader bei verschiedenen Querneigungen und Fruchtarten (n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	57
22	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Greenstar bei verschiedenen Durchsätzen und Fruchtarten (n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	58
23	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Greenstar bei verschiedenen Längsneigungen (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	59
24	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des volumetrischen Systems RDS Ceres2 bei verschiedenen Durchsätzen (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	60
25	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des volumetrischen Systems RDS-Ceres2 bei verschiedenen kombinierten Neigungen (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante, Summen der Fehler aus den unkombinierten Neigungen in Klammern).....	62
26	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des volumetrischen Systems Claas-CEBIS bei verschiedenen Durchsätzen (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	62
27	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen von vier Ertragsermittlungssystemen bei den drei Durchsatzvarianten in horizontaler Lage (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	64
28	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen von vier Ertragsermittlungssystemen bei den drei Durchsatzvarianten in rückwärts geneigter Lage (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	64
29	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen von vier Ertragsermittlungssystemen bei den drei Durchsatzvarianten in vorwärts geneigter Lage (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	65
30	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen von vier Ertragsermittlungssystemen bei den drei Durchsatzvarianten in nach links geneigter Lage (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	66
31	Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei konstantem Durchsatz von 10 t/h und horizontaler Lage (Untersuchungen mit Weizen).....	67
32	Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei konstantem Durchsatz von 20 t/h und horizontaler Lage (Untersuchungen mit Weizen).....	69
33	Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei einem „Step-Flow“ und horizontaler Lage (Untersuchungen mit Weizen).....	70
34	Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei einem „Step-Flow“ und 10° Linksneigung (Untersuchungen mit Weizen).....	70
35	Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei einem oszillierenden Durchsatz und horizontaler Lage (Untersuchungen mit Weizen).....	71

36	Mit DGPS und einem Infrarottrackingsystem aufgenommene Fahrspuren des Grubbers auf Schlag D04, 13.08.98.....	76
37	Ortungsdifferenzen Motorola-DGPS – Geodimeter System 4000 und magnetischer Kurswinkel (Grubbern Schlag D04, 13.08.98, Ausschnitt).....	76
38	Veränderung der Winkelinkremente bei zunehmender Entfernung des Trackingprismas von der Totalstation in Fahrtrichtung bei gleicher Fahrtstrecke $d_x$ (Quelle: Eigenentwurf).....	78
39	Definition fehlerhafter Positionsdaten (Quelle: Eigenentwurf).....	81
40	Unkorrigierte und korrigierte mit DGPS ermittelte Fahrspuren der Erntefahrt D01 1999 (Flowcontrol).....	84
41	Histogramm der ungefilterten Ertragswerte ohne Nullwerte Schlag D01 1995 (Winterweizen, Ag-Leader).....	87
42	Histogramm der ungefilterten Ertragswerte ohne Nullwerte Schlag D04 1999 (Erbsen, Ag-Leader).....	88
43	Histogramm der ungefilterten Ertragswerte ohne Nullwerte Schlag D08 1998 (Körnermais, Claas-Agrocom).....	89
44	Häufigkeitsverteilung der relativen Differenzen zu vorangehenden Ertragswerten D05 2000 (Erbsen, Ag-Leader).....	90
45	Genäherte effektive Schnittbreiten der Ernte Schlag D13 2000 (Wintergerste, Ertragsermittlung Datavision-Flowcontrol).....	95
46	Modell des ermittelten Ertrages bei konstantem tatsächl. Ertrag von 5 t/ha und konstanter Geschwindigkeit von 5 km/h bei schwankender effektiver Schnittbreite (4 m Schneidwerksbreite) bei einem Delay von 12 s.....	95
47	Ertragswerte D01 1995 in einem Segment (Ertragsermittlung Ag-Leader).....	97
48	Ertragswerte und Änderung der Fahrtrichtung am Beginn einer Fahrspur (Schlag D05 2000, Datavision-Flowcontrol).....	98
49	Modell des theoretisch ermittelten Durchsatzes (mit Berücksichtigung des Messversatzes) und Ertrages eines Ertragsermittlungssystems im Mähdrescher bei konstantem tatsächlichem Ertrag von 5 t/ha und wechselnder Geschwindigkeit.....	104
50	Modell des ermittelten Durchsatzes (mit Berücksichtigung des Messversatzes) und Ertrages eines Ertragsermittlungssystems im Mähdrescher bei konstantem tatsächlichem Ertrag von 5 t/ha und wechselnder Geschwindigkeit.....	104
51	Häufigkeitshistogramm der Feuchtwerte der Erntefahrt auf Schlag S04 1996.....	106
52	Vergleich der relativen Rastererträge der Winterweizenernte D01 1999 bei verschiedenen Rastergrößen ( $n$ = Zahl der verglichenen Rasterfelder).....	108
53	Anisotropische Semivariogramme ( $113^\circ$ und $203^\circ$ ) der Winterweizenertragswerte D01 1995 mit maximaler Lagdistanz von 650 m (Ertragswerte nicht transformiert).....	111
54	Absolute Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Erbsenmähdrusch auf Schlag D04 1999 (Flowcontrol).....	116
55	Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Winterweizenmähdrusch auf Schlag D01 1999 (Ag-Leader).....	117

56	Vergleich der relativen Rastererträge der Winterweizenernte D01 1999 bei verschiedenen Rastergrößen (bereinigte und nur grobgefilterte Daten).....	122
57	Anisotrope Semivariogramme (120° und 210°) der bereinigten Erbsenertragswerte D04 1999 (Ag-Leader) mit maximaler Lagdistanz von 484 m (Ertragswerte transformiert).....	124
58	Vergleich der Ertragsmesswerte D01 1999 nach Ag-Leader (oben) und Flowcontrol(unten) nach Filterung von Ertragswerten < 20 und > 120 dt/ha.....	131
59	Als fehlerhaft identifizierte Feuchtwerte bei der Ernte S04 1996.....	135
60	Ertragskonturkarten D01 1999 (Flowcontrol; oben auf Grundlage der ungefilterten, unten auf Grundlage der bereinigten Ertragsdaten).....	145
61	Ertragsklassenbildung durch membership-Funktionen (Quelle: PANNETON et al. [52]).....	146
62	Konzeption der Ertragsklassenbildung anhand von Verlustfunktionen (Quelle: BACH-MAIER [16]).....	147

## Anhang:

1	Häufigkeitsverteilungen der Positionsfehler bei DGPS (position correction, S/A aus) (Quelle: Landtechnik Weihenstephan).....	166
2	Dateiformat der Ag-Leader-Ertragsdaten 1995 (Quellen: GPS NOVATEL [33], AG LEADER TM TECHNOLOGY [1]).....	166
3	Dateiformat der Ag-Leader-Ertragsdaten ab 1996.....	167
4	Dateiformat der Flowcontrol-Ertragsdaten.....	167
5	Dateiformat der Claas-Agrocom-Ertragsdaten.....	168
6	Prüfstand für Ertragsermittlungssysteme in Mähdreschern (Stand Herbst 1998).....	168
7	Versuchsaufbau der Referenzmessungen mit Infrarottrackingsystemen.....	169
8	Struktur der DB2-Datenbanktabelle.....	169
9	Durchsatzvarianten am Prüfstand.....	170
10	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des radiometrischen Systems Datavision-Flowcontrol bei verschiedenen Querneigungen und Fruchtarten, Durchsatz 20 t/h (n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	171
11	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des radiometrischen Systems Datavision-Flowcontrol bei verschiedenen kombinierten Neigungen und Fruchtarten, Durchsatz 20 t/h (n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	171
12	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Ag-Leader bei verschiedenen kombinierten Neigungen und Fruchtarten, Durchsatz 20 t/h (n = fünf Wiederholungen pro Variante, Summen der Fehler aus den un kombinierten Neigungen in Klammern).....	172
13	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Greenstar bei verschiedenen Querneigungen, Durchsatz 20 t/h (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	172

14	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Greenstar bei verschiedenen kombinierten Neigungen, Durchsatz 20 t/h (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante, Summen der Fehler aus den un kombinierten Neigungen in Klammern).....	173
15	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des volumetrischen Systems RDS-Ceres2 bei verschiedenen Längsneigungen und Fruchtarten, Durchsatz 20 t/h (n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	173
16	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des volumetrischen Systems RDS-Ceres2 bei verschiedenen Querneigungen und Fruchtarten, Durchsatz 20 t/h (n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	174
17	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des volumetrischen Systems Claas-CEBIS bei verschiedenen Längsneigungen, Durchsatz 20 t/h (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	174
18	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des volumetrischen Systems Claas-CEBIS bei verschiedenen Querneigungen, Durchsatz 20 t/h (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	175
19	Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen von vier Ertragsermittlungssystemen bei den drei Durchsatzvarianten in nach rechts geneigter Lage, Durchsatz 20 t/h (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante).....	175
20	Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei konstantem Durchsatz von 20 t/h und horizontaler Lage (Untersuchungen mit Weizen).....	176
21	Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei konstantem Durchsatz von 30 t/h und horizontaler Lage (Untersuchungen mit Weizen).....	176
22	Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei einem oszillierenden Durchsatz und 10° Rechtsneigung (Untersuchungen mit Weizen).....	177
23	Definition der Parameter für Koordinatentransformation von WGS84 nach Gauß-Krüger (Bessel-Datum) in ARC/INFO.....	177
24	Mit DGPS und einem Infrarottrackingsystem aufgenommene Fahrspuren des Winterweizenmähdrusch auf Schlag S04, 11.08.2000.....	178
25	Korrelation der Ortungsdifferenzen DGPS - ITS mit GPS-Parametern (Grubbern D04 1998, Ausschnitt).....	178
26	Ortungsdifferenzen Motorola-DGPS – Geodimeter System 4000 und magnetischer Kurswinkel (Düngen Schlag D04, 10.06.98; WGS84-Koordinaten in Gauss-Krüger umgerechnet, Tachymeterkoordinaten nicht berechnet).....	179
27	Ortungsdifferenzen Motorola-DGPS – Geodimeter System 4000 und magnetischer Kurswinkel (Düngen Schlag D04, 10.06.98; WGS84-Koordinaten in Gauss-Krüger umgerechnet, Tachymeterkoordinaten berechnet).....	179
28	Ortungsdifferenzen Motorola-DGPS – Geodimeter System 4000 und magnetischer Kurswinkel (Düngen Schlag D04, 10.06.98; Tachymeterkoordinaten mit Matlab-Fehlerkorrekturskript berechnet).....	180
29	Schema der Querabweichung eines Punktes.....	180
30	Zuordnung der Messpunkte des Datenformates Ag-Leader 1995 zu den Segmenten mit embedded SQL im Perl-Skript pos_korr3.pl.....	182

31	Zuordnung der Messpunkte der Datenformate Claas-Agrocom zu den Segmenten mit embedded SQL im Perl-Skript pos_korr2.pl.....	184
32	Zuordnung der Messpunkte der Ertragsdatenformate Flowcontrol und Ag-Leader ab 1996 zu den Fahrspuren mit embedded SQL im Perl-Skript pos_korr.pl.....	186
33	SQL-Syntax der Zuordnung der Messpunkte der „Ertragsurdaten“ zu den Segmenten.....	187
34	Unkorrigierte und korrigierte mit DGPS ermittelte Fahrspuren der Erntefahrt D01 1999 (Ag-Leader).....	187
35	Durch den Positionskorrekturalgorithmus ausgewiesene Fahrspuren der Ertragsdaten D01 1999 (oben: Flowcontrol, unten: Ag-Leader; jede Fahrspur eine Farbe).....	188
36	Ertragswerte der Winterweizenernte Schlag D01 1995 (Ertragsermittlung Ag-Leader).....	189
37	Histogramm der ungefilterten Ertragswerte ohne Nullwerte Schlag D01 1999 (Winterweizen, Ag-Leader).....	190
38	Ertragswerte der Winterweizenernte Schlag D01 1999 (Ertragsermittlung Ag-Leader).....	189
39	Histogramm der ungefilterten Ertragswerte ohne Nullwerte Schlag D01 1999 (Winterweizen, Datavision-Flowcontrol).....	190
40	Ertragswerte der Winterweizenernte Schlag D01 1999 (Ertragsermittlung Datavision-Flowcontrol).....	191
41	Histogramm der ungefilterten Ertragswerte ohne Nullwerte Schlag D04 1999 (Erbsen, Datavision-Flowcontrol).....	191
42	Häufigkeitsverteilung der relativen Differenzen zu nachfolgenden Ertragswerten D08 1998 (Körnermais, Claas-Agrocom).....	192
43	Ertragswerte „Oberes Geiswegfeld“ 1992 in einem Segment.....	192
44	Ertragswerte und Änderung der Fahrtrichtung am Beginn einer Fahrspur (Schlag D07 2000, Ag-Leader).....	193
45	Ertragswerte und Änderung der Fahrtrichtung am Beginn einer Fahrspur (Schlag D08 1998, Claas-Agrocom).....	193
46	Theoretisch ermittelter Ertrag bei konstantem tatsächlichem Ertrag von 5 t/ha, einem Delay von 12 s und den bei der Ernte „Oberes Geiswegfeld“ 1992 gemessenen Geschwindigkeiten mit Schneidwerk im Bestand (Ausschnitt).....	194
47	Häufigkeitsverteilung der Beschleunigungen bei der Ernte auf Schlag D01 1995.....	194
48	Anisotrope Semivariogramme (113° und 203°) der Winterweizenertragswerte D01 1999 (Ag-Leader) mit maximaler Lagdistanz von 614 m (Ertragswerte nicht transformiert).....	195
49	Anisotrope Semivariogramme (113° und 203°) der Winterweizenertragswerte D011999 (Flowcontrol) mit maximaler Lagdistanz von 615 m (Ertragswerte nicht transformiert).....	196
50	Anisotrope Semivariogramme (120° und 210°) der Winterweizenertragswerte D04 1997 (Ag-Leader) mit maximaler Lagdistanz von 384 m (Ertragswerte nicht transformiert).....	197
51	Anisotrope Semivariogramme (120° und 210°) der Erbsenertragswerte D04 1999 (Ag-Leader) mit maximaler Lagdistanz von 484 m (Ertragswerte transformiert).....	198

52	Anisotrope Semivariogramme (120° und 210°) der Erbsenertragswerte D04 1999 (Flow-control) mit maximaler Lagdistanz von 382 m (Ertragswerte transformiert).....	199
53	Anisotrope Semivariogramme (17° und 107°) der Körnermaisertragswerte D08 1998 (Claas-Agrocom) mit maximaler Lagdistanz von 284 m (Ertragswerte nicht transformiert).....	200
54	Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Erbsenmähdusch auf Schlag D04 1999 (Flowcontrol).....	201
55	Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Erbsenmähdusch auf Schlag D04 1999 (Ag-Leader).....	201
56	Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Körnermaismähdusch auf Schlag D08 1998.....	202
57	Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Winterweizenmähdusch auf Schlag D01 1999 (Flowcontrol).....	202
58	Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Winterweizenmähdusch auf Schlag D01 1995 (Ag-Leader).....	203
59	Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Wintergerstenmähdusch auf Schlag D13 2000 (Flowcontrol).....	203
60	Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Wintergerstenmähdusch auf Schlag D13 2000 (Ag-Leader).....	204
61	Bereinigte Ertragswerte des Winterweizenmähdusch Schlag D01 1999 (Ag-Leader).....	204
62	Bereinigte Ertragswerte des Winterweizenmähdusch Schlag D01 1999 (Flowcontrol).....	205
63	Bereinigte Ertragswerte des Winterweizenmähdusch Schlag D01 1995 (Ag-Leader).....	205
64	Anisotropische Semivariogramme (120° und 210°) der bereinigten Erbsenertragswerte D04 1999 (Flowcontrol) mit maximaler Lagdistanz von 382 m (Ertragswerte transformiert).....	206
65	Anisotropische Semivariogramme (17° und 107°) der bereinigten Körnermaisertragswerte D08 1998 (Claas-AC) mit maximaler Lagdistanz von 278 m.....	207
66	Anisotropische Semivariogramme (113° und 203°) der bereinigten Winterweizenertragswerte D01 1999 (Flowcontrol) mit maximaler Lagdistanz von 615 m.....	208
67	Anisotropische Semivariogramme (113° und 203°) der bereinigten Winterweizenertragswerte D01 1999 (Ag-Leader) mit maximaler Lagdistanz von 615 m.....	209
68	Anisotropische Semivariogramme (113° und 203°) der bereinigten Winterweizenertragswerte D01 1995 (Ag-Leader) mit maximaler Lagdistanz von 615 m.....	210
69	Relativertragskarten der Ernte D01 1999 (Winterweizen).....	214
70	Relativertragskarten der Ernte D01 1995 (Winterweizen).....	216
71	Ertragskonturkarte der Ernte D01 1999 (Winterweizen, Flowcontrol, Daten bereinigt).....	217
72	Rasterwerte der Ernte D01 1999 (Winterweizen, Flowcontrol, Daten bereinigt) (erstellt mit ArcView).....	217

## Tabellenverzeichnis

<b>Hauptteil:</b>	<b>S.</b>
1 Schnittbreitenfehler Scheyern 1992 (AUERNHAMMER ET AL. [12]).....	17
2 Aufstellung aller Fehlereinflussgrößen bei der lokalen Ertragsermittlung im Mähdrescher (Quelle: Eigenentwurf).....	25
3 Verfahren zur Filterung bzw. Glättung von Ertragsdaten in der Literatur.....	26
4 Vorhandene Mähdrescherertragsdaten in Dürnast (n = Anzahl der Datenstrings; Auswertung).	36
5 Zusammenfassung der Ergebnisse der Referenzmessungen mit Infrarottrackingsystemen (M-O = Motorola-Oncore, TrA = Trimble-AgGPS, GD = Geodimeter 4000).....	74
6 Analytische Statistik der Streuungen (Standardabweichungen) in Ost- und Nordrichtung.....	75
7 Statistische Kennzahlen der Ertragsdaten in Dürnast (ohne 0-Werte).....	86
8 Statistik der Differenzen zwischen aufeinanderfolgenden Werten insgesamt (Inkremete vorwärts).....	91
9 Vergleich der vom Schneidwerk überfahrenen Fläche (mit Schneidwerk im Bestand) mit vermessener Feldfläche (Scheyern 1992, Sommergerste).....	93
10 Genäherte mittlere Ertragsmessfehler bedingt durch die Befüllphasen (% Abweichung vom wirklichen Schlagmittel) für einige Erntefahrten.....	99
11 Anzahl der Ertragsmessungen von 0 an den Anfängen der Segmente (Urdaten Scheyern 1992).....	100
12 Anzahl der Ertragsmessungen $\leq 0,1$ t/ha an den Anfängen der Segmente (Ertragsurdaten Scheyern 1992).....	101
13 Anzahl der Ertragsmessungen $\leq 0,2$ t/ha an den Anfängen der Segmente (Ertragsurdaten Scheyern 1992).....	101
14 Anzahl der Ertragswerte von 0 bzw. nahe 0 an den Anfängen der Segmente (D01 1995).....	101
15 Statistik der relativen Abweichungen (in %) der theoretisch ermittelten Ertragswerte von einem konstanten gegebenen Ertrag bedingt durch die tatsächlich gemessenen Geschwin- digkeiten der Erntefahrten Scheyern 1992 und D01 1995.....	105
16 Auswirkung fehlerhafter Feuchtwerte auf die Ertragsmessung (genähert).....	107
17 Parameter der Semivarianzanalysen der unbereinigten und bereinigten Ertragsdaten.....	110
18 Nach bestimmten Kriterien gelöschte und nicht gelöschte Ertragswerte (D04 1999, Flow- control, Schlagmittel 38,8 dt/ha).....	118
19 Nach bestimmten Kriterien gelöschte und nicht gelöschte Ertragswerte (D08 1998, Agro- com, Schlagmittel 97,95 dt/ha).....	119
20 Nach bestimmten Kriterien gelöschte Ertragswerte (D13 2000, Ag-Leader, Schlagmittel 34,9 dt/ha).....	121

21	95%-Vertrauensintervalle der mittleren relativen Abweichungen [%] bei verschiedenen Durchsatzstufen am Prüfstand für Ertragsermittlungssysteme (Weizen, n = 5 Versuche pro Variante, Ausreißer gefiltert: n = 4 Versuche).....	126
22	Test einiger Filterungsmethoden anhand der Ertragswerte D01 1995 (Ag-Leader).....	138
23	Empirische Semivarianzen und mittlere Ertragsdifferenzen innerhalb der Lagdistanzklasse bis 4 bzw. 5 m (ohne Berücksichtigung des Azimuts).....	140

## Anhang:

1	Schläge und vorhandene Mähdrescherertragsdaten in Dürnast (n = Anzahl der Datenstrings).....	218
2	Genäherte mittlere effektive Schnittbreiten der Erntefahrten Dürnast 1995 – 2000.....	219
3	Genäherte mittlere Ertragsmessfehler bedingt durch die Entleerphasen bzw. Werte außerhalb der Fahrspuren (% Abweichung vom wirklichen Schlagmittel) für einige Erntefahrten.....	220
4	Statistik der beim Mähdrusch ermittelten Feuchtwerte 1995 bis 2000.....	221
5	Gegenüberstellung der mittleren relativen Rastererträge nach Ag-Leader und Datavision-Flowcontrol 1999.....	222
6	Gegenüberstellung der mittleren relativen Rastererträge nach Ag-Leader und Datavision-Flowcontrol 2000.....	223
7	Auswirkung der Ertragsdatenbereinigung auf die statistischen Kennwerte.....	224
8	Nach bestimmten Kriterien gelöschte Ertragswerte (D04 1999, Ag-Leader, Schlagmittel 38,8 dt/ha).....	225
9	Nach bestimmten Kriterien gelöschte Ertragswerte (D01 1999, Flowcontrol, Schlagmittel 74,4 dt/ha).....	225
10	Nach bestimmten Kriterien gelöschte Ertragswerte (D01 1999, Ag-Leader, Schlagmittel 74,4 dt/ha).....	226
11	Nach bestimmten Kriterien gelöschte Ertragswerte (D01 1995, Ag-Leader).....	226
12	Nach bestimmten Kriterien gelöschte Ertragswerte (D13 2000, Flowcontrol, Schlagmittel 34,9 dt/ha).....	227
13	Relative Fehler bedingt durch die Fehlereinflussgrößen im Vergleich zu den relativen Abweichungen vom wirklichen Schlagmittel.....	227

## Abkürzungsverzeichnis

<b>AML</b>	Arc Macro Language (ARC/INFO-spezifische Skriptsprache)
<b>Anh.</b>	Anhang
<b>ASAE</b>	American Society of Agricultural Engineering
<b>DGPS</b>	Differential Global Positioning System (GPS mit Positionskorrektur)
<b>DLG</b>	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
<b>DOP</b>	Dilution Of Precision (Maß für die Genauigkeit der GPS-Ortung bedingt durch die Satellitengeometrie)
<b>dt</b>	Dezitonnen, Doppelzentner
<b>FAM</b>	Forschungsverbund Agrarökosysteme München
<b>GIS</b>	Geographisches Informationssystem
<b>GPGGA</b>	Global Position System Fix Data
<b>ha</b>	Hektar
<b>hl</b>	Hektoliter
<b>KAK</b>	Kationenaustauschkapazität (Index für die potentielle Bodenfruchtbarkeit; Fähigkeit der Tonminerale im Boden, Kationen austauschbar zu binden)
<b>Kap.</b>	Kapitel
<b>KF</b>	Korrekturfaktor
<b>MF</b>	Massey-Ferguson
<b>mgon</b>	1/1000 Gon (Gon = 1/400 des Vollkreises)
<b>NAVSTAR-GPS</b>	Navigation System with Time and Ranging - Global Positioning System (globales Ortungs- und Navigationssystem des U.S. Department of Defense), kurz GPS
<b>RS232</b>	serielle Schnittstelle an einem PC
<b>S/A</b>	selective availability (künstliche Verfälschung der GPS-Signale)
<b>SML</b>	Small Macro Language (Befehlssprache von PC ARC/INFO)
<b>SQL</b>	Structured Query Language; Datenbankabfragesprache
<b>UTC</b>	Universal Time Coordinates (Weltzeit, Greenwich-Zeit)
<b>VB</b>	Vertrauensbereich; Wahrscheinlichkeitsbereich in einer normalverteilten Zufallsvariablen, der von $\sigma$ abgedeckt
<b>VDI</b>	Verein Deutscher Ingenieure
<b>VK</b>	Variationskoeffizient

**WGS84** World Geodetic System 1984 (von GPS verwendetes Rotationsellipsoid zur Bestimmung der Position)

## Symbolverzeichnis

<b>A</b>	Range, Reichweite in der Semivarianzanalyse
<b>C</b>	Modellvarianz in der Semivarianzanalyse
<b>g</b>	Semivarianz
<b>m</b>	Erwartungswert, zu schätzendes arithmetisches Mittel einer Grundgesamtheit
<b>n</b>	Anzahl der Elemente einer Stichprobe
<b>p</b>	pi; geometrische Konstante 3,141
<b>R</b>	Korrelationskoeffizient
<b>R<sup>2</sup></b>	Bestimmtheitsmaß
<b>S</b>	Standardabweichung der Stichprobe einer unendlichen oder unbekanntem endlichen Grundgesamtheit
<b>s</b>	Wert von S
<b>s</b>	Standardabweichung einer Grundgesamtheit
$\bar{X}$	arithmetisches Mittel der Stichprobe einer unendlichen oder unbekanntem endlichen Grundgesamtheit
$\bar{x}$	Wert von $\bar{X}$
<b>Z</b>	Zufallselement einer Zufallsvariablen



## 1 Einleitung

Zunehmende Flächenknappheit bei gleichzeitigem Bevölkerungswachstum zwingt in der Landwirtschaft einerseits zu einer erhöhten Produktivität durch Mechanisierung, was zu dem Trend führte, größere Flächen als eine Einheit zu behandeln [5], und andererseits zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung mit einer langfristigen Schonung der natürlichen Ressourcen bei gleichzeitiger Minimierung ökologischer Schäden. Erhöhte Produktivität erfordert zunehmende Technisierung und die sinnvolle Verwendung sonstiger Hilfsmittel (Dünger etc.). Eine für den Landwirt wirtschaftliche Produktion ist daher nur durch einen an die räumlich variierenden natürlichen Gegebenheiten eines Schlates angepassten Einsatz aller Produktionsmittel möglich. Das daraus resultierende Konzept der *teilflächenspezifischen Bewirtschaftung* (engl. *Precision Farming, Site Specific Farming*) als Alternative zur schlageinheitlichen Bearbeitung hält in der Landwirtschaft der Industrieländer zunehmend Einzug. Precision Farming als solches ist in dem Sinne allerdings keine Neuheit, sondern wurde von jeher von den Landwirten in gewissem Sinne schon betrieben, da jeder die Besonderheiten seiner Felder kannte und entsprechend unterschiedlich behandelte [5]. Allerdings nimmt die Zahl der ihre Felder selbständig bewirtschaftenden Landwirte zugunsten der Lohnunternehmer in den Industrieländern ständig ab, was mit einem fortschreitendem Informationsverlust verbunden ist [5]. Dieser Informationsverlust kann durch den Einsatz elektronischer Hilfsmittel sowohl bei der Ernte als auch bei Bearbeitungs- und Applikationsmaßnahmen ausgeglichen werden.

Ein wichtiger Gesichtspunkt des Precision Farming ist eine umwelt- und ertragsorientierte Düngung, die nach der Strategie des Entzuges erfolgt und die örtliche Bodenfruchtbarkeit berücksichtigt [14]. Bei der allgemein üblichen Aufdüngung düngt der Landwirt ausgehend vom Nährstoffvorrat im Boden soviel, dass der erwartete Ertrag mit Sicherheit erreicht wird, was zu erhöhten zusätzlichen Vorräten im Boden führt und damit eventuell zur Auswaschung (vgl. AUERNHAMMER [3]). Eine verbesserte Düngungsstrategie erfordert die Erfassung der variierenden natürlichen Bodeneigenschaften eines Feldes, um Überdüngungen auf der einen und Ertragseinbußen durch Underdüngung auf der anderen Seite zu vermeiden [5]; die Bodeneigenschaften eines Schlates spiegeln sich am deutlichsten in räumlich signifikant unterschiedlichen Flächenerträgen wider. Hoher Ertrag ist einerseits Folge eines hohen Anteils pflanzenverfügbarer Nährstoffe bedingt durch Bodeneigenschaften (KAK, Bodenart) und führt andererseits zu einem hohen Nährstoffentzug [4], aber damit auch zu einer guten Ausnutzung des zugeführten Stickstoffs [7]; in Hohertragszonen könnte eine erhöhte

Düngung zur langfristigen Erhaltung des Ertragsniveaus sinnvoll sein, wohingegen in Niedrigertragszonen eine verringerte Düngermenge pro Fläche sowohl zur Kostensenkung als auch zur Vermeidung eines Nährstoff- (z.B. Nitrat-) eintrages in das Grundwasser durch Auswaschung angezeigt wäre [4].

Voraussetzung für eine rechnerische Nährstoffbilanz ist somit nach AUERNHAMMER [3] eine exakte Ertragsermittlung. Die lokale Ertragsermittlung als Gewinnung georeferenzierter (mit einer absoluten Position auf der Erdoberfläche versehener) Ertragsdaten und die Ertragskartierung als visuelle Dokumentation dieser Daten zur Definition von Teilflächen sind technisch bzw. methodisch derzeit realisiert. Verschiedene DGPS-Systeme zur Ortung der Erntefahrzeuge und verschiedene Ertragsermittlungssysteme mit den nötigen Sensoren sowie teilweise integrierter Ertragskartierungssoftware sind auf dem Markt verfügbar und werden in der Praxis, v.a. zu Untersuchungszwecken, häufig eingesetzt. Die Ertragskartierung kann mit Hilfe verschiedener Geographischer Informationssysteme (GIS) vorgenommen werden.

## 2 Problemstellung

Unter Ertragskartierung wird die Darstellung der Erträge in ihrer räumlichen Verteilung in Form von Karten verstanden (vgl. preagro [54]). Zur flächenhaften Illustration der annähernden räumlichen Struktur des aktuellen Ertrages im Schlag reicht die Darstellung der Messwerte als Punkte nicht aus, da die gewonnenen Ertragsdaten bei dem gegenwärtigen Stand der Technik fehlerbehaftet sind [34].

Abbildung 1 zeigt Ertragsrohdaten einer Erntefahrt als entsprechend den Ertragsklassen eingefärbte Messpunkte.

Die Messpunkte zeigen ein streifenförmiges Muster und suggerieren eine starke Abhängigkeit der Ertragsstruktur von der theoretisch frei wählbaren Hauptfahrtrichtung im Sinne einer ausgeprägten Autokorrelation der Erträge in den Fahrgassen. Die Konzentration niedriger Messwerte am Anfang bzw. Ende jeder zweiten Fahrspur ist ein Hinweis darauf, dass die technisch ermittelte Ertragsstruktur möglicherweise zumindest teilweise ein künstliches Resultat (Artefakt) der Erntetechnik ist [54]. In diesem Falle würde sie ohne Datenaufbereitung und bewusst gewählte Kartierungsmethode nicht die tatsächlichen Verhältnisse wiedergeben.

Die Einzelwerte sollten daher auf größere Flächen aggregiert werden, denen die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Ertragsklasse als Attribut zugeordnet wird, um eine zuverlässige Aussage treffen zu können [54]. Innerhalb der so ausgegliederten Flächen findet keine weitere Differenzierung in Bezug auf die Darstellung der Erträge und damit auch auf die abgeleiteten Applikationsmaßnahmen mehr statt.

Diese Flächen lassen sich am naturgetreuesten und anschaulichsten in Form von Ertragskonturen illustrieren, da die in der Realität gegebenen stetigen Gradienten der Erträge besser dargestellt werden, wie die Ertragskarte auf der Grundlage der Ertragsrohdaten in Abbildung 1 zeigt (Abb. 2).

Konturkarten lassen aufgrund einer Reihe frei wählbarer Methoden und Parameter bei der Interpolation Spielraum für eine weitgehend verfälschte Darstellung der Teilflächen und erfordern Kenntnisse geostatistischer Zusammenhänge sowie von größeren Fehlern freie Ertragsdaten [40].

Eine einfachere Form der Ertragskartierung ist die Darstellung der klassierten mittleren Rastererträge (Abb. 3).

unkorrigierte Ertragsrohdaten der Winterweizenernte auf Schlag D08 1999 (Ertragsermittlung Ag Leader)

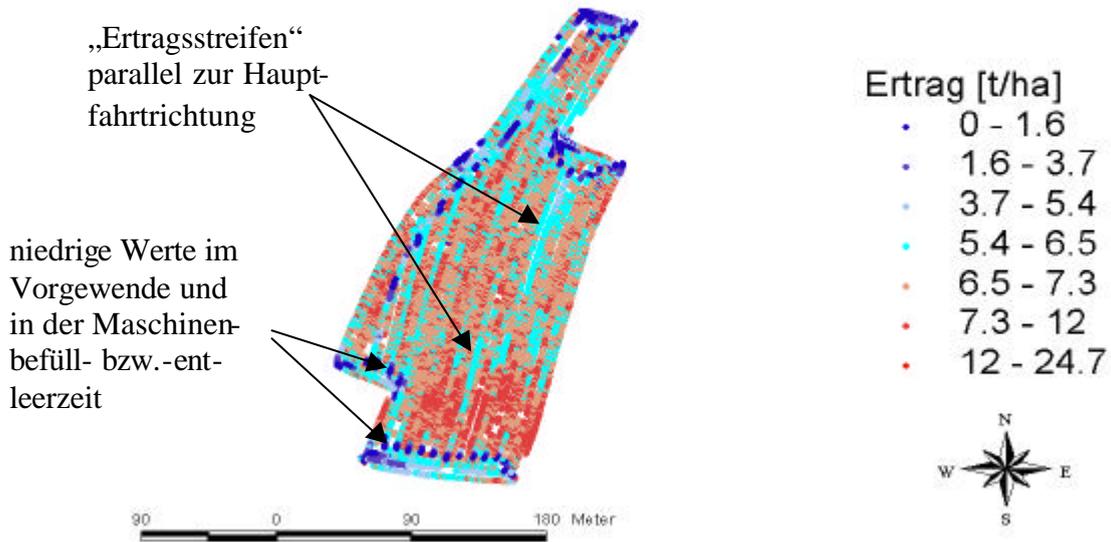


Abbildung 1: Ertragsrohdaten

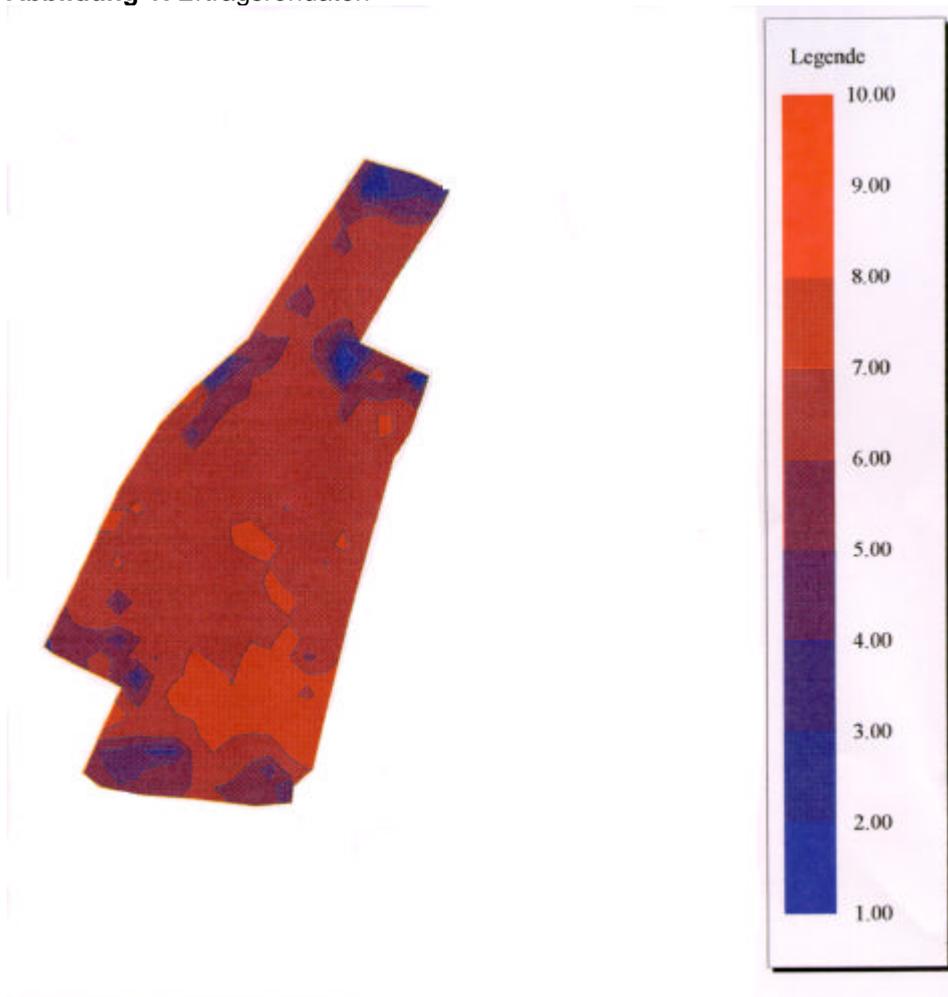
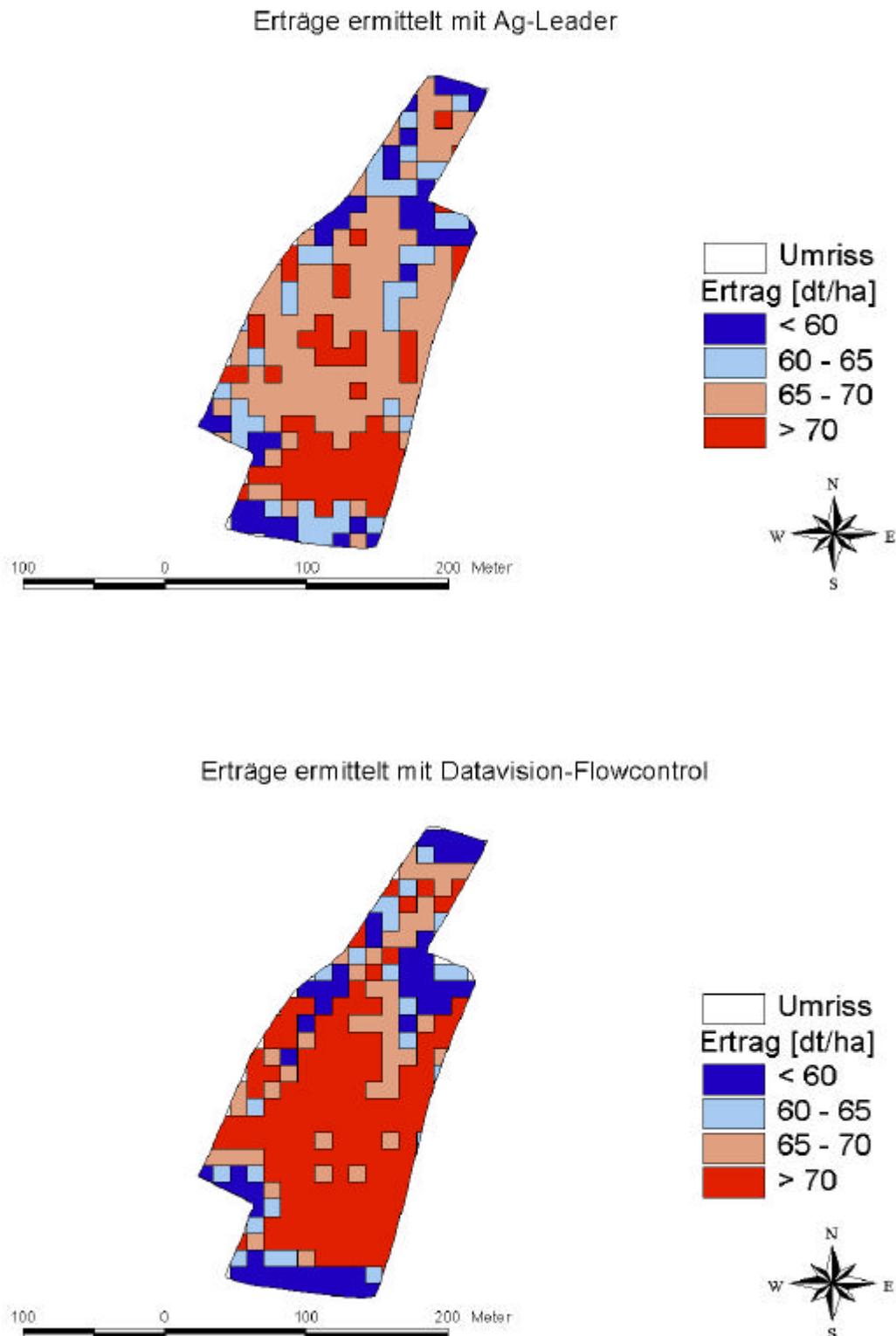


Abbildung 2: Ertragskonturkarte der Winterweizenernte von Dürnast Schlag D08 1999 erstellt mit KEMIRA-LORIS (Rastergröße 10 m, Inverse-Distanz-Interpolation, Power 2, Glättung 0, Anisotropie 1)



**Abbildung 3:** klassierte mittlere Rastererträge der Winterweizenernte auf Schlag D08 1999 (Rastergröße 12 m \* 12 m) (erstellt mit ArcView auf Basis von ARC/INFO-Coverages)

Die Abbildung zeigt die entsprechenden Karten der Erntefahrt in Abbildung 1 basierend auf den Ertragsdaten zweier parallel laufender Messsysteme. Bei dieser Form der Darstellung werden häufig in der Realität nicht auftretende Ertragsprünge bzw. falsche Ertragsklassenzuordnungen suggeriert, besonders bei der Wahl großer Raster.

Durch die Ertragskartierung werden fehlerhafte Ertragswerte desto mehr kompensiert, je größer die Auflösung nach Ertragsklassen (wenige Klassen mit großer Breite) sowie nach Rastergrößen bzw. Interpolationsreichweiten (hohe Rastergrößen bzw. Reichweiten) ist.

Die anzustrebende feinstmögliche Auflösung von Ertragskarten wird somit von der Größe der Fehler begrenzt, die bei einem gewissen Grad der Auflösung (z.B. bei Rastergrößen in der Größenordnung der Schneidwerksbreite und Messweglänge) nicht mehr kompensiert werden können. Die Ertragskartierung erfordert daher immer einen Kompromiss zwischen den folgenden einander zuwiderlaufenden Erfordernissen:

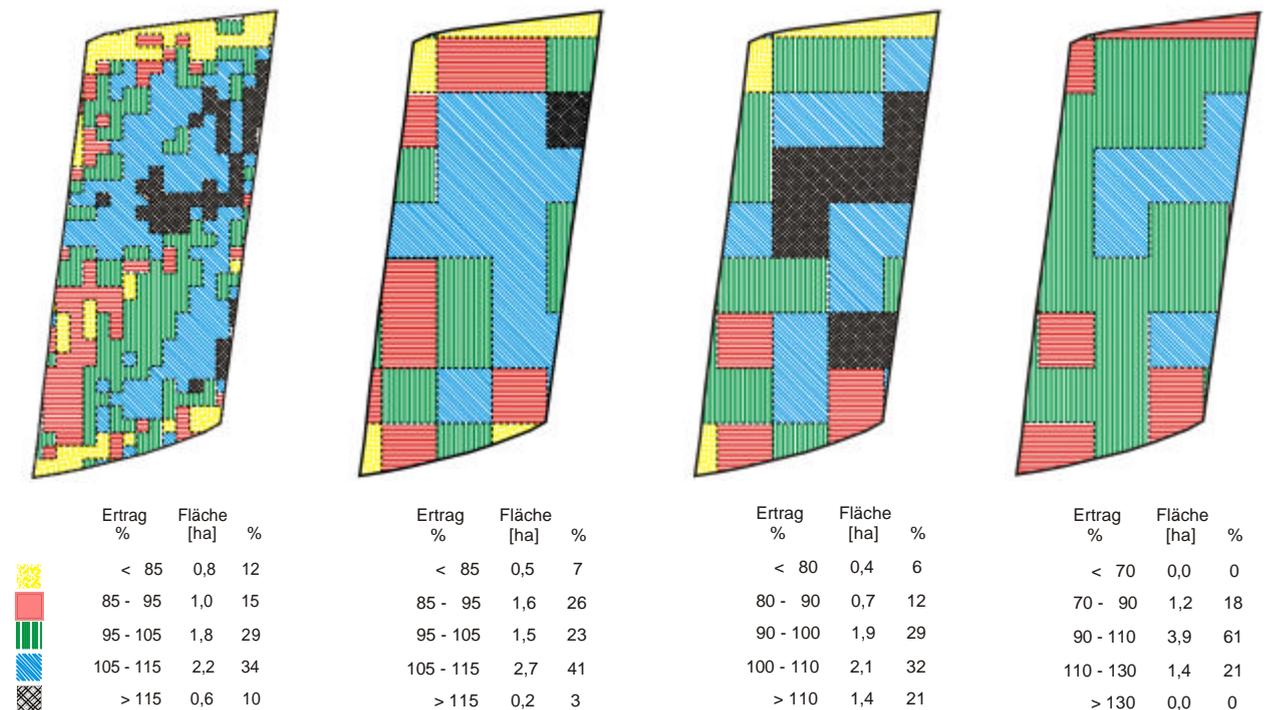
- Auf der einen Seite einer feinen Auflösung und einem aussagefähigen Ertragsmuster. Dies bedingt gleichzeitig eine hohe Unzuverlässigkeit der dargestellten Teilflächen.
- Auf der anderen Seite einer hohen Sicherheit, eine – in Bezug auf die vorgegebenen Größen – zumindest annähernd richtige Aussage mit der Darstellung zu machen. Diese ist verbunden mit einer groben Auflösung und geringeren Aussagekraft durch die fehlende Darstellung kleinräumiger Unterschiede.

Das Paradox einer Nichtdarstellung tatsächlicher kleinräumiger Unterschiede und gleichzeitig „richtiger“ Aussage lässt sich dadurch lösen, dass „richtig“ nicht als realitätsgemäße Darstellung, sondern als richtiges Ergebnis bei dem gewählten Kartierungsalgorithmus interpretiert wird. So ermöglicht die Kartierung klassierter mittlerer Rastererträge im 50 m Raster per se keine realitätsnahe Darstellung der Ertragsstruktur; dennoch wird die Aussage, dass in einem bestimmten Rasterfeld im Mittel ein bestimmter Ertrag zu verzeichnen ist, mit weit höherer Wahrscheinlichkeit zutreffen, als bei einer 5 m-Rasterung.

Eine sinnvolle Datenaufbereitung vor der Kartierung könnte die größten Fehler bei der Ertragsermittlung eliminieren. Nur die Kenntnis der Größe der danach verbleibenden Fehler würde Aussagen über die bestmögliche und sinnvollste Auflösung bei der Ertragskartierung ermöglichen.

Die Wahl der genannten Parameter beeinflusst maßgeblich die Abgrenzung der Teilschläge im resultierenden Kartenbild; dies illustriert Abbildung 4, die basierend auf ein und demselben Datensatz (d.h. auf einer identischen Erntefahrt) drei Ertragskarten auf der Basis eines 50 m Rasters mit verschiedenen Klasseneinteilungen und eine auf Basis eines 12 m-Rasters zeigt.

Durch die Verschiebung der Untergrenze der Ertragsklassen um fünf dt/ha nach unten nimmt bei der zweiten Karte von rechts die höchste Ertragsklasse eine deutlich größere Fläche im Schlag ein als bei der zweiten von links. Durch die Wahl eines 12 m-Rasters verändern sich die von den Ertragsklassen eingenommenen Flächen deutlich, wobei nur die Gesamtrendenz für das Feld gleichbleibt. Mit abnehmender Rastergröße wird die Annäherung an eine Konturdarstellung immer größer. Aus diesem Beispiel wird deutlich, dass je nach Wahl des Aggregationsniveaus der Messwerte und Einteilung der Ertragsklassen beliebig Einfluss auf das in der Karte dargestellte Ertragsmuster genommen werden kann.



**Abbildung 4:** Ertragskarten der Erntefahrt Scheyern Schlag A18 1997 mit verschiedenen relativen Klasseneinteilungen (% des Schlagmittels) und Rastergrößen (1. von links 12 m, übrige 50 m)

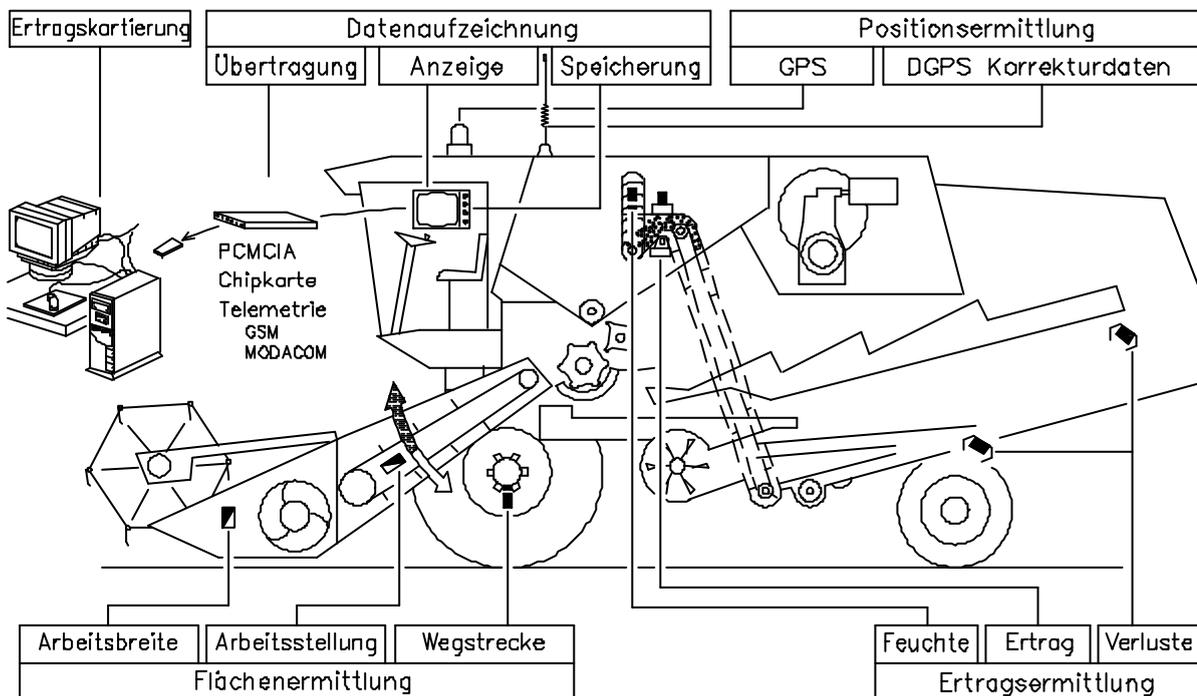
Die wirkliche Information über die Ertragsverhältnisse, unabhängig vom optischen Erscheinungsbild der Karte, kann nur bei Kenntnis des verwendeten Algorithmus zur Ertragskartierung gewonnen werden. Dies ist bei vielen Landwirten, die die verschiedenen auf dem Markt verfügbaren Ertragskartierungssysteme verwenden, in der Regel nicht gegeben, weshalb die Ertragskarten bezüglich ihrer Aussagefähigkeit häufig unkritisch betrachtet werden.

### 3 Stand des Wissens und der Technik

Um die Zielstellung dieser Arbeit definieren zu können, sollen zunächst die gängigen Prinzipien und Fehlerquellen bei der lokalen Ertragsermittlung, der Datenaufbereitung (Post-Processing) und der Ertragskartierung erläutert werden.

#### 3.1 Prinzipien der lokalen Ertragsermittlung und Fehlerquellen

Grundlage für die lokale Ertragsermittlung ist ein Ertragsermittlungssystem, das für bestimmte durch das Aufzeichnungsintervall festgelegte Zeitpunkte einer Erntefahrt und damit für bestimmte Punkte im Feld den Flächenertrag ermittelt. Erforderliche Komponenten eines Ertragsermittlungssystems sind ein Durchsatzmesssensor, der unter Anwendung verschiedener physikalischer Prinzipien den Massestrom pro Zeiteinheit misst, ein Geschwindigkeitsmesssensor zur Ermittlung der Flächenleistung (Flächenleistung in Fläche/Zeit = Geschwindigkeit \* Schnittbreite) sowie weiterer optionaler Sensoren zur Kompensation verfälschender Einflüsse wie Feuchtemesssensoren, Hangneigungssensoren etc. (Abb. 5).



**Abbildung 5** Komponenten für die lokale Ertragsermittlung im Mährescher (Quelle: Lehrstuhl für Landtechnik)

Der Flächenertrag errechnet sich dabei vereinfacht aus Korndurchsatzleistung (Masse pro Zeiteinheit) dividiert durch die Flächenleistung. Diese Gleichung lässt sich auf Erntemenge (bezogen auf Messintervall) durch abgerntete Fläche (bezogen auf Messintervall) kürzen

(vgl. GRIEPENTROG [34]). Ein angeschlossenes Ortungs- (DGPS-) system ordnet dem Ertragswert bzw. dem Datenstring eine absolute Position auf der Erdoberfläche in geographischen Koordinaten bezogen auf das WGS84 (World Geodetic System 1984) - Ellipsoid mit einer Auflösung im Bereich Geographischer Dezimalminuten (mit bis zu vier Stellen hinter dem Komma) zu; die Erträge werden georeferenziert. Ein ermittelter Ertragswert bezieht sich dabei immer auf die in Fahrtrichtung hinter der gemessenen Position liegende, im vorhergehenden Aufzeichnungsintervall überfahrene Fläche; dadurch werden auf einem Schlag sich entlang der Fahrspuren aufreihende Messzellen ermittelt.

Entsprechend dem Prinzip der lokalen Ertragsermittlung ergeben sich eine Reihe von Fehlerquellen, die GRIEPENTROG [34] u.a. Autoren (z.B. BLACKMORE AND MARSHALL [26]) für den Mähdrusch definieren. Es handelt sich hierbei um Verluste von Erntegut am Schneidwerk oder beim Transport zum Sensor, Verstopfungen des Elevators, ungenaue Durchsatzmessung am jeweiligen Sensor, Fehler bei der Reduktion des gemessenen Massestromes auf die Masse mit einem definierten Einheitsfeuchtegehalt, Fehler bei der Umrechnung auf Flächenerträge, falsche Schätzung oder Schwankungen des Messversatzes und Ortungsfehler des DGPS. Die Messprinzipien der beteiligten Sensoren sowie die dabei auftretenden Fehler werden im Folgenden erläutert.

### 3.1.1 Transport des Ernteguts zum Sensor und Messversatz

Von dem vom Schneidwerk bei der Ernte theoretisch aufzunehmenden Erntegut (ausgedrückt in Masse oder Volumen pro Flächeneinheit bzw. Zeiteinheit) wird ein Teil in der Realität erst gar nicht aufgenommen. Von dem aufgenommenen Gut geht ein weiterer Teil beim Transport zum Ertragsmesssensor verloren (durch den Schüttler, durch die Siebe, durch Undichtigkeiten). Am Sensor kommt also nur ein Teil der Erntemenge an, die dem tatsächlich angetroffenen Ertrag auf dem Feld entspricht, und kann demnach als Durchsatz gemessen werden. Um diesen Fehler korrigieren zu können, müßte der Verlust in % des pro Zeiteinheit aufgenommenen Erntegutes gemessen werden können

Zur Körnerverlustmessung werden Sensoren mit Prallplatten bereits seit Anfang der achtziger Jahre bei der Getreideernte eingesetzt, die jedoch nur den absoluten (Zahl der Körner pro Zeiteinheit) und nicht den relativen Verlust messen (vgl. BERNER, GROBLER UND KUTZBACH [22]). Die relativen Verluste steigen mit zunehmendem Durchsatz exponentiell an, d.h. der Verlustanteil wird größer und liegt bei Durchsätzen über 15 t/h bei über 1% [22].

Ein weiteres Problem ist der Zeitabstand zwischen der Aufnahme des Erntegutes und seiner Ankunft am Durchsatzmesssensor (*transportation delay* [18]); bei einer Bewegung des Erntefahrzeugs erscheint der Delay als von der Fahrgeschwindigkeit abhängige Positionsverschiebung des ermittelten Flächenertrages von seiner echten Position zu der mit DGPS ermittelten Position [26]. Mit einem konstanten Ausgleichsfaktor kann das System den Zeitversatz zurückrechnen, was in der Regel bei den Ertragsermittlungssystemen der Fall ist. Hierzu ist aber eine korrekte Schätzung des Delays erforderlich, bei der Fehler möglich sind (vgl. BLACKMORE AND MARSHALL [26]).

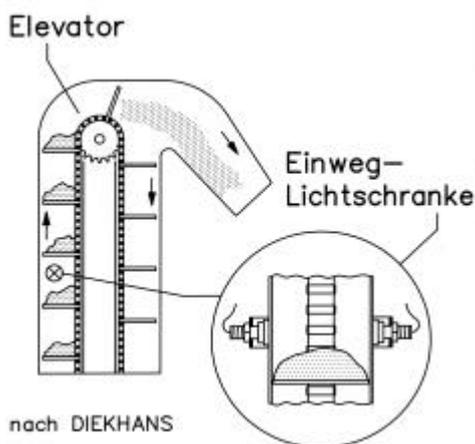
Bei variierendem Delay ist dagegen ein konstanter Ausgleichsfaktor nicht ausreichend. Schwankungen des Delays können durch Variationen der Materialflusses, der Fruchtigenschaften und Hangneigung auftreten [58]. SEARCY ET AL. [67] ermittelten eine Abhängigkeit des Delays vom Kornfluss (und damit von der Fahrgeschwindigkeit und/oder dem aktuellen Ertrag); zwischen beiden Parametern besteht eine negative Korrelation mit  $R^2 = 0,67$ .

Wenn die Ertragsdaten nur bei abgesenktem Schneidwerk aufgezeichnet werden, gehen aufgrund des Delays Ertragswerte verloren, da bei schon gehobenem Schneidwerk noch Erntegut den Sensor passiert [27].

### 3.1.2 Durchsatzmessung

Die *Durchsatzmessung* erfolgt durch Sensoren mit angeschlossenen Auswerteeinheiten.

Hierbei kommen verschiedene Messprinzipien zur Anwendung.



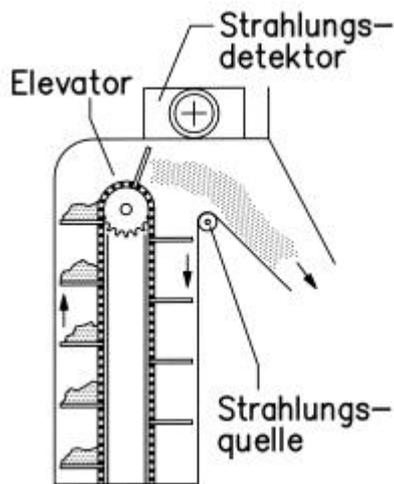
**Abbildung 6:** Messprinzip von Volumenstrommesssystemen mit Lichtschranke (CLAAS QUANTIMETER, RDS CERES2, RDS PRO SERIES 8000) (Quelle: DEMMEL [28])

Grundsätzlich wird zwischen Durchsatzmessung als *Volumenstrommessung* und der Durchsatzmessung als *Massestrommessung* unterschieden [11, 28].

Bei der Volumenstrommessung wird das Volumen des Kornstroms durch Ermittlung der Getreidemengen auf den Elevatorpaddeln bestimmt und mit Hilfe des manuell bestimmten hl-Gewichts von der Auswerteelektronik in einen Massestrom umgerechnet [11]. Die Bestimmung der pro Zeiteinheit passierenden Getreidevolumina auf den Elevatorpaddeln erfolgt durch eine Lichtschranke im aufwärts führenden Teil des Elevators, die durch die

Paddel und die Volumina des darauf liegenden Getreides jeweils unterbrochen wird (Abb. 6). Die prozentuale Verdunkelungszeit abzüglich des durch die Paddel bei leerlaufendem Elevator hervorgerufenen Tarawertes wird mit den Kalibrierfunktionen und der Elevatorgeschwindigkeit zum Volumenstrom verrechnet [28, 43]. Solche Systeme verfügen zusätzlich über Hangneigungssensoren, um den Einfluss einer ungleichmäßigen Beladung der Elevatorpaddel am Hang zu kompensieren (s.u.).

Bei Systemen zur Massestrommessung wird zwischen *radiometrischen* Messsystemen und solchen mit dem Prinzip der *Kraft- bzw. Impulsmessung* unterschieden. Bei radiometrischen



**Abbildung 7:** Messprinzip radiometrischer Massestrommesssysteme (z.B. Data-vision-Flowcontrol) (Quelle: DEMMEL [28])

Systemen (z.B. Data-vision-Flowcontrol von Dronningborg) wird der Massestrom durch die Absorption und damit Schwächung emittierter Gammastrahlen bestimmt. Das von den Elevatorpaddeln ausgeworfene Erntegut passiert den Bereich zwischen der schwach radioaktiven Quelle (bei Flowcontrol Americium 241) an der Unterseite des Elevatorkopfes und dem Strahlungssensor an der Oberseite und absorbiert einen Teil der Strahlung (Abb. 7). Der Grad der Absorption wird durch das Flächengewicht des Getreide im Bereich des Messfensters bestimmt und daraus mit Hilfe der aus der Elevatordrehzahl abgeleiteten Guts-geschwindigkeit der Massestrom berechnet [11, 28]. Die Dämpfung der Strahlung ist dabei proportional zur Kornmasse und wird kaum von Fruchtart und Kornfeuchte beeinflusst [49].

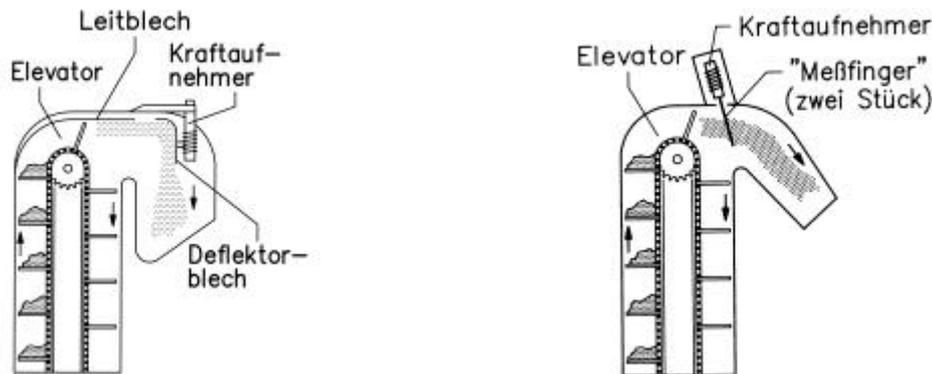
Kraft-/Impulsmesssysteme bestimmen den Massestrom aus dem auf eine Prallplatte oder Messfinger ausgeübten Impuls (Abb. 8).

Dieser wird durch eine Kraftmesszelle, an die die Prallplatte bzw. Messfinger montiert sind, oder durch die Auslenkung der an eine Feder montierten Prallplatte bestimmt.

Aus der Summe der Impulse pro Zeiteinheit (Impuls = physikalisch das Produkt aus Masse mal Geschwindigkeit) kann mittels der aus der Elevatorgeschwindigkeit abgeleiteten Guts-geschwindigkeit von der jeweiligen elektronischen Auswerteeinheit der Massestrom errechnet werden [28].

Der mit den genannten Messprinzipien gemessene Durchsatz weicht in der Regel ständig von dem tatsächlichen ab. Es muss hierbei zwischen systematischen Fehlern bedingt durch bestimmte Einflüsse auf die Messung sowie unzureichende Systemkalibrierung einerseits und

der eigentlichen Messgenauigkeit oder dem Messrauschen andererseits unterschieden werden.



**Abbildung 8:** Messprinzipien von Kraft-/Impulsmesssystemen (z.B. Ag-Leader links und FIELDSTAR N-SET rechts) (Quelle: DEMMEL [28])

Systematische Fehlereinflussgrößen sind je nach physikalischem Prinzip des Systems:

- Neigung des Fahrzeugs,
- Durchsatzniveau
- und unterschiedliche Materialfeuchten.

Diese wirken jeweils in eine bestimmte Richtung (Messung entweder zu geringer oder zu hoher Durchsätze).

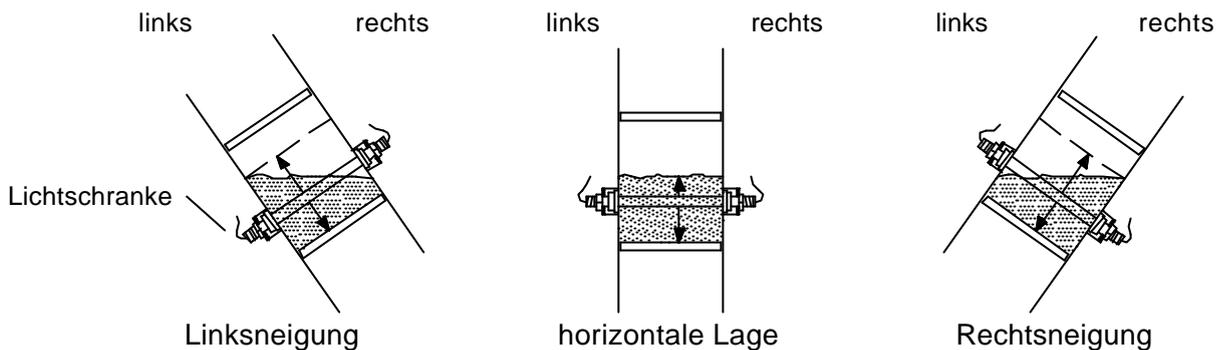
Als mögliche Ursachen für die zufällige Messungenauigkeit kommen Maschinenvibrationen oder äußere Erschütterungen während der Fahrt in Betracht. Die Messungenauigkeit bewirkt eine zufällige Streuung der Messfehler um die „Realität“.

Systematische Fehler und Messrauschen wirken im Ernteeinsatz zusammen; ihre Einflüsse sind aufgrund ständig wechselnder Randbedingungen während einer Erntefahrt (ausgenommen bei einer Ernte auf einem homogenen, ebenen Schlag) nur schwer voneinander zu trennen. Zufällige Messungenauigkeiten heben sich aber bei einer Integration über mehrere Messintervalle und damit eine bestimmte Erntefläche gegenseitig auf, wogegen die systematischen Fehler zu einer Über- bzw. Unterschätzung der Erntemenge auf bestimmten Teilflächen führen können.

Eine systematische Fehlerquelle bei der volumetrischen Durchsatzmessung und der mit Impulsmesssystemen (in geringerem Maße auch bei der radiometrischen Durchsatzmessung) sind Hangneigungen im Schlag, die zu einer Abkipfung des Fahrzeugs und damit des Elevators führen. Bei Impulsmesssystemen wird der durch die Masseinheit ausgeübte Impuls bei Neigung nach hinten (gegen die Fahrtrichtung) abgeschwächt, da das Erntegut sich gegen

die Schwerkraft zum Sensor hin bewegt und diese die durch die Elevatordrehzahl induzierte Gutsgeschwindigkeit verringert; bei Neigung nach vorne wird eine Masseinheit durch die Schwerkraft positiv beschleunigt und übt einen erhöhten Impuls aus.

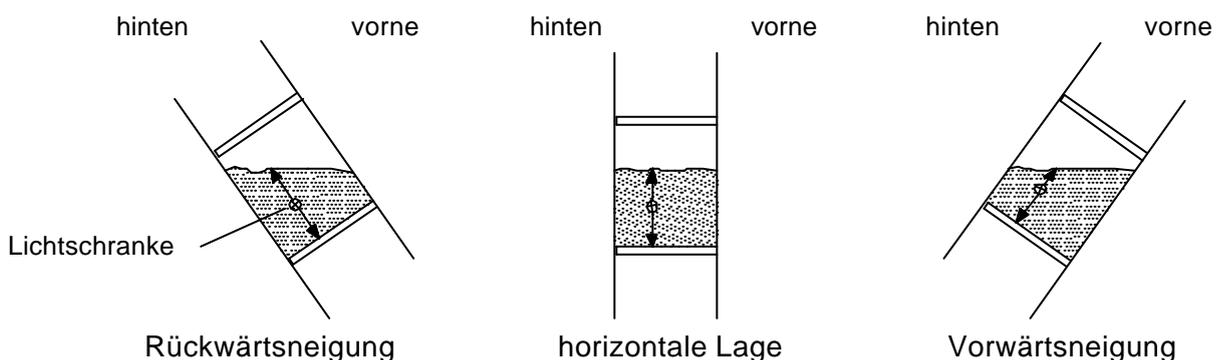
Bei Lichtschrankensystemen stellen Querneigungen dadurch eine große systematische Fehlerquelle dar, dass durch die zunehmende Schrägstellung der Getreidemenge auf einem Paddel die Unterbrechungszeit der Lichtschanke und damit die Dunkelzeit proportional vergrößert wird (Abb. 9).



**Abbildung 9:** Schema des systematischen Fehlers bei Lichtschrankensystemen durch Querneigungen (Rückansicht des Elevators, Neigungen überdimensional dargestellt; Quelle: Eigenentwurf)

Dieser Fehler sollte im Normalfall durch die im Regelfall integrierten Hangneigungssensoren ausgeglichen werden.

Längsneigungen stellen dann eine Fehlerquelle für diese Systeme dar, wenn die Lichtschranke nicht mittig im Elevator angebracht ist. Dann wird bei Rückwärtsneigung die Durchlaufstrecke durch die Kornmenge und damit die Dunkelzeit bei jedem Elevatorpaddel verlängert, bei Vorwärtsneigung entsprechend verkürzt (Abb. 10).



**Abbildung 10:** Schema des systematischen Fehlers bei Lichtschrankensystemen durch Längsneigungen (Seitenansicht des Elevators, Neigungen überdimensional dargestellt; Quelle: Eigenentwurf)

Unabhängig von solchen systematischen Fehlerquellen ist die Genauigkeit volumetrischer Systeme stark von der Häufigkeit der manuellen Bestimmung des Hektolitergewichtes abhängig; zumindest bei Druschbeginn, bei Schlagwechseln oder Wechsel der Fruchtart bzw.

Sorte sollte eine Neubestimmung erfolgen [11, 29]. Unterlässt dies der Mähdrescherfahrer, resultieren dadurch mehr oder weniger große Messfehler, sofern sich das hl-Gewicht deutlich ändert. Sensoren zur kontinuierlichen Ermittlung des spezifischen Gewichtes bei der Ertragsermittlung, durch die dieses Problem vermieden werden könnte, sind in Entwicklung [58, 59]. Von der Landtechnik Weihenstephan wurden Praxisuntersuchungen, also solche bei Erntefahrten, zur Genauigkeit von Durchsatzmesssensoren durchgeführt. Die von den Systemen pro Korntank gemessenen Erntemengen wurden dabei mit den entsprechenden, durch Gegenwiegungen auf einer geeichten Brückenwaage ermittelten wirklichen Kornmengen verglichen. Beim radiometrischen Messsystem Datavision-Flowcontrol wurde in Scheyern in zwei Untersuchungsjahren eine mittlere Abweichung der gemessenen Erntemengen von rund  $-1\%$  bei einer Standardabweichung von  $4,07\%$  ermittelt. Der mittlere Fehler lag bei der Ernte 1991 bei  $-0,36\%$  und bei der Ernte 1992 bei  $-1,24\%$ . Mehr als  $80\%$  der Messfehlerschwankungen waren dabei als zufällig anzusehen [10, 11].

Der absolute Messfehler  $U$  ist in Scheyern in dem Untersuchungszeitraum mit einem Bestimmtheitsmass von  $12,1\%$  durch lineare Regression und Korrelation mit den Faktoren Tageszeit und Getreideart zu erklären [6], d.h. fast  $90\%$  des Messfehlers waren zufällig. Das Messprinzip ist mit  $R = 0,059$  gegenüber dem Hektolitergewicht weitgehend unabhängig. Bei dem Volumenstrommesssystem RDS CERES hat die Kornfeuchte mit  $R^2 = 39,9\%$  den größten Anteil an den Messfehlern; dies erklären die Autoren durch die Form des Kornlaufens auf der Schaufel.

Die Praxisversuche zeigten somit, dass die Genauigkeit der Durchsatzmessung stark von den Betriebsbedingungen wie Hangneigung, Durchsatzniveau und Kornfeuchte abhängen; eine genaue Quantifizierung der Fehlereinflussgrößen war jedoch nicht möglich [44]. Um diese Einflussgrößen zu quantifizieren, wurde an der Landtechnik Weihenstephan ein Prüfstand für Ertragsermittlungssysteme in Mähdreschern entwickelt [43], auf dem die verschiedenen Betriebsbedingungen wie bestimmte Durchsatzniveaus und Neigungen simuliert werden können, und somit wiederholte Versuche unter konstanten Randbedingungen möglich sind [44].

Im Rahmen eines Projektes der DLG wurden an diesem Prüfstand an der Landtechnik Weihenstephan in einer Testreihe mit Weizen die mittleren Messabweichungen (relative Kalibrierfehler) und ihre Standardabweichungen (Messungenauigkeiten) bei verschiedenen Ertragsermittlungssystemen (Flowcontrol, Ag-Leader, RDS Ceres2 und CLAAS QUANTIMETER) untersucht [44]. Grundlage beider statistischer Parameter war bei diesen Versuchen

die Differenz zwischen dem integrierten Durchsatz nach dem jeweiligen Ertragsermittlungssystem und dem gewogenen wahren Gewicht des in einem Versuchsdurchgang durch die Messvorrichtung gelaufenen Erntegutes.

Versuche in horizontaler Lage des Prüfstandes zeigten, dass bei allen Durchsatzstufen von 10 bis 35 t/h mit Ausnahme von 10 t/h die mittlere Fehler nicht über 3% lagen. Die Standardabweichungen lagen ebenfalls zwischen 1 und 3% und waren bei den volumetrischen Systemen geringer als bei den Massestromsystemen [44].

Bei Versuchen mit 5, 10 und 15° Seiten- und Querneigungen und konstant gehaltenem Durchsatz von 20 t/h zeigt sich das radiometrische System am unempfindlichsten, wogegen die volumetrischen Systeme trotz Sensoren zur Neigungskompensation deutliche Kalibrier- und Messfehler zeigten. Das Impulsmesssystem nahm eine Zwischenstellung ein. (vgl. KORMANN [44])

### 3.1.3 Bestimmung der Trockenmasse

Der ermittelte Massestrom muss auf einen einheitlichen Feuchtegehalt korrigiert werden, da z.B. ein hoher Feuchtigkeitsanteil einen relativ hohen Ertrag vortäuschen kann. Besitzt das Ertragsmesssystem einen Feuchtesensor, so kann aus dem gemessenen Durchsatz der Durchsatz an Masse mit einheitlicher Feuchte errechnet werden, der durch Fehler des Feuchtesensors aber wiederum nach oben oder unten verfälscht werden kann. Bei Systemen ohne Feuchtesensor wird die Feuchte nach der Ernte für einzelne Ernteabschnitte, z.B. Hängerladungen, ermittelt, und die auf der Brückenwaage ermittelten Erntemengen auf einen festgesetzten Feuchteanteil (z.B. auf die Standardlagerungsfeuchte von 14%) korrigiert. Die daraus errechneten Korrekturfaktoren für die Ertragsrohdaten gelten für den gesamten Schlag oder maximal Korntankladungen, berücksichtigen aber nicht mögliche kleinräumige Feuchteunterschiede innerhalb des Schlages, was eine weitere Fehlerquelle darstellt.

Die online-Feuchtebestimmung wird ausschließlich in Form des kapazitiven Verfahrens (d.h. durch Messung der elektrischen Leitfähigkeit) vorgenommen [28]. Die Sensoren liegen dabei entweder in der Korntankbefüllschnecke (z.B. Ag-Leader YM2000) oder in Bypass-Systemen am Körnerlevator (z.B. Ag-Leader PF3000) [28]. Bei diesem Verfahren liegt der Messfehler bis 20% Feuchte bei einem Prozentpunkt und bis 35% Feuchte bei zwei Prozentpunkten; Feuchtwerte über 40% können nicht mehr zuverlässig ermittelt werden. Fehlereinflüsse sind vor allem Verschmutzungen des Sensorelementes, besonders beim Erbsenmähdrusch; diese Verschmutzungen können beim Bypasssystem leichter beseitigt werden, da der Sensor

einfacher ausgebaut werden kann. Weitere Nachteile des Verfahrens sind der Einfluss der schwankenden Schüttdichte, der Temperatur und der chemischen Zusammensetzung des Materials auf die Messung [47]. Das alternative, ebenfalls dielektrische Verfahren der Mikrowellenmethode macht nach MAIER zwar eine berührungslose Messung möglich, erfordert aber eine zusätzliche radiometrische Schüttdichtemessung [47].

### 3.1.4 Umrechnung in Flächenerträge

Aus dem Durchsatz errechnet das System die Masse pro Flächeneinheit. Die seit der jeweils vorangehenden Messung im Zeitraum  $t$  aufsummierte Masse  $m$  wird durch die vom Schneidwerk in demselben Zeitraum überfahrene Fläche  $a$  dividiert [26].

$$y_i = m/t : a/t \quad (3-1)$$

Die Flächenleistung  $a/t$  wiederum errechnet sich aus der theoretischen Schnittbreite = Arbeitsbreite des Schneidwerkes  $w$  multipliziert mit der im jeweiligen Zeitraum zurückgelegten Strecke  $d/t$ , also der Geschwindigkeit des Erntefahrzeugs  $v$ :

$$a/t = w * d/t = w * v \quad (3-2)$$

In die Berechnung der Fläche, auf die der augenblickliche Ertrag bezogen wird, gehen also die Schnittbreite und die Fahrzeuggeschwindigkeit ein.

Der o.g. Rechenweg setzt voraus, dass die Schnittbreite des Fahrzeugs immer voll ausgenutzt ist, also dass die tatsächliche Schnittbreite ( $w'$ ) gleich dieser ist ( bzw. auf jeden Fall konstant ist) und demnach als Konstante in die Berechnung mit eingehen kann, was in der Realität selten der Fall ist. Jede seitliche Bewegung bei der Erntefahrt, die die Schnittbreite verringert, verursacht einen innewohnenden Fehler  $e_w$  proportional zur Lücke [26]:

$$e_w = (w' - w) / w \quad (3-3)$$

Der gemessene Flächenertrag wird um diesen Fehler vermindert.

Auf vielen Ertragskarten erscheinen Streifen mit sehr niedrigem Ertrag; diese sind darin begründet, dass bei Ende des Erntens eines Feldes oft noch ein schmaler Streifen Getreide (Restbeet) übrig ist, der mit reduzierter effektiver Arbeitsbreite weggedroschen wird. Ein ähnlicher Effekt kann auch mitten in der Erntefahrt auftreten, wenn der Mähdrescher schräg aus dem Bestand ins Vorgewende einfährt.

Manche Systeme besitzen einen Sensor für die tatsächliche Schnittbreite; ein Beispiel sind in die Halmteiler des Schneidwerkes eines Versuchsmähdreschers eingebaute Ultraschallabstandssensoren [60, 61]. Mit diesen wird der Abstand zwischen Schneidwerkskante und den Halmen des stehenden Bestandes gemessen. Messfehler sind dabei bei fehlender Unterschei-

dung zwischen Lagergetreide und hohen Stoppeln sowie durch einzelne zur Seite geneigte Halme möglich.

Eine indirekte Möglichkeit zur Schnittbreitenmessung bietet der LASERPILOT. Dieser berührungslos arbeitende Sensor ist von der Firma CLAAS ursprünglich zur Führung des Mähreschers entlang der Bestandeskante entwickelt worden [45]; bei Anbringung des Sensors an beiden Halmteilern könnte die Schnittbreite theoretisch aus der Laufzeit der vom jeweils äußeren Sensor emittierten Laserstrahlen bestimmt werden.

Ohne Sensor kann bei einigen Systemen (z.B. Ag-Leader, CLAAS-agrocom) die für die Ertragsberechnung gültige Schnittbreite durch Angabe der Zahl der im Bestand befindlichen Teilbreiten angepasst werden. Im Getreide ist dies im Gegensatz zum Körnermais nur näherungsweise per Augenmaß möglich und wird in der Praxis vom Mährescherfahrer in der Regel wahrscheinlich nicht vorgenommen.

AUERNHAMMER ET AL [12] haben für Scheyern die Abweichungen der tatsächlichen Schnittbreiten (gemittelt für die einzelnen Schläge) von der gegebenen Schnittbreite des jeweiligen Gerätes aus den Ortungsdaten errechnet (Tab. 1):

Es zeigt sich im Mittel für die aufgeführten Schläge eine Abweichung von fast 20 %; die Einzelabweichungen verringern den ermittelten Flächenertrag entsprechend.

**Tabelle 1:** Schnittbreitenfehler Scheyern 1992 (AUERNHAMMER ET AL. [12])

Schlag	Schlaggröße [ha]	Schlagform	Effektive Schnittbreite [m]	Relative Abweichung von der maximalen Schnittbreite (5,5 m = 100%) (100-x)
Flachfeld	16,6	keilförmig	4,22	76,73
Eulenwies	5,69	winkelförmig	4,44	80,73
Unt. Geiswegfeld	3,40	rechteckig	4,41	80,18
Ob. Geiswegfeld	3,72	trapezförmig	4,75	86,36
Neubruch	3,45	rechteckig	3,87	68,73
Hopfengarten	2,27	prismenförmig	5,07	92,18
<b>Mittelwert</b>			<b>4,46</b>	<b>80,82</b>
<b>s</b>			<b>0,42</b>	<b>8,04</b>

STAFFORD ET AL (1995, in: EBERT [30]) ermittelten einen Fehler von bis zu 10 % bei einem 5 m breiten Schneidwerk.

Die Geschwindigkeit des Erntefahrzeugs ist ebenfalls nicht konstant.

Geschwindigkeitsmessung kann durch Umdrehungssensoren an den Rädern, aber auch durch Radarsensoren erfolgen [31, 60]; diese arbeiten unter Ausnutzung des Doppler-Effektes mit Mikrowellen. Die Frequenzverschiebung zwischen Sender und Empfänger bei einer Relativbewegung (Dopplerfrequenz  $\Delta\nu$ ) ist abhängig von der Grundfrequenz  $\nu_0$ , der Wellenaus-

breitungsgeschwindigkeit  $c$  und der Fahrgeschwindigkeit  $v_F$  sowie vom Neigungswinkel  $\alpha$  (also der Ausrichtung des Sensors) [60]:

$$\Delta v = 2 * v_0 * v_F * \cos\alpha / c \quad (3-4)$$

Durch Integration über die Zeit kann aus der Dopplerfrequenz die Impulsrate (proportional zum zurückgelegten Weg) errechnet werden. Die gemessenen Impulsraten sind bei der Fahrt über verschiedene Untergründe nicht konstant, daher werden die Schwankungen dabei nicht immer korrekt erfasst [60, 65].

THELEN UND NEHER [71] beschreiben eine Methode der Geschwindigkeitsmessung mittels Ultraschall, die ebenfalls den Dopplereffekt ausnutzt.

Fehler bei der Geschwindigkeitsmessung wirken sich folgendermaßen aus: zu hohe gemessene Geschwindigkeiten verringern den ermittelten Flächenertrag, zu niedrige erhöhen ihn (s. Gleichung (3-2)).

Besonders bei häufigem Anhalten und Wiederanfahen (z.B. im Vorbeet) bzw. bei plötzlichen Geschwindigkeitswechseln treten auch dann Fehler bei der Ermittlung des momentanen Ertrages auf, wenn die Geschwindigkeit korrekt gemessen wird; z.B. beim plötzlichen Anhalten der Erntemaschine kann der ermittelte Ertrag unendlich hoch werden, da eine bestimmte gemessene Masse dann auf eine Fläche von Null bezogen wird (vgl. BIRRELL ET AL [24]).

### 3.1.5 Fremdmaterial im Druschgut

Starker Unkrautbesatz im Bestand oder Aufnahme von Bodenmaterial beim Schnitt kann dazu führen, dass außer dem eigentlichen Erntematerial Fremdmaterial in den Elevator und damit an die Sensoren gelangt (vgl. EBERT [30]). Dies kann bei entsprechendem Anteil zwei Auswirkungen haben: einerseits werden zu hohe Feuchtwerte gemessen, sofern eine Feuchtemessung vorhanden ist, da der Feuchtegehalt des Unkrauts in der Regel den der Getreidekörner deutlich übersteigt; dies verringert die ermittelten Trockenertragswerte (siehe 3.1.3). Andererseits gelangt zuviel Masse bzw. Volumen pro Zeiteinheit an den Durchsatzsensor und erhöht somit die gemessenen Durchsätze und damit Erträge. Zwar wirken beide Fehler gegenläufig, doch ist ihre Größe nicht bekannt, weshalb nicht gesagt werden kann, ob im Endeffekt eine Erhöhung oder Verminderung der gemessenen Trockenmasse durch Unkrautbesatz bewirkt wird.

Außerdem kann sich bei Impulsmesssystemen das Fremdmaterial auf der Prallplatte nach und nach ablagern, was dann zu einer zunehmenden Dämpfung des durch den Kornstrom

ausgeübten Impulses und damit zu zu geringen Durchsatzwerten führt. Dies ist besonders beim Mähdrusch von Erbsen der Fall (eigene Erfahrung). In diesem Fall und beim Drusch von Raps kann es außerdem zu Verstopfungen im Elevator kommen [30, 33].

### 3.1.6 Fehler durch das Verhalten der Kornstroms im Elevator

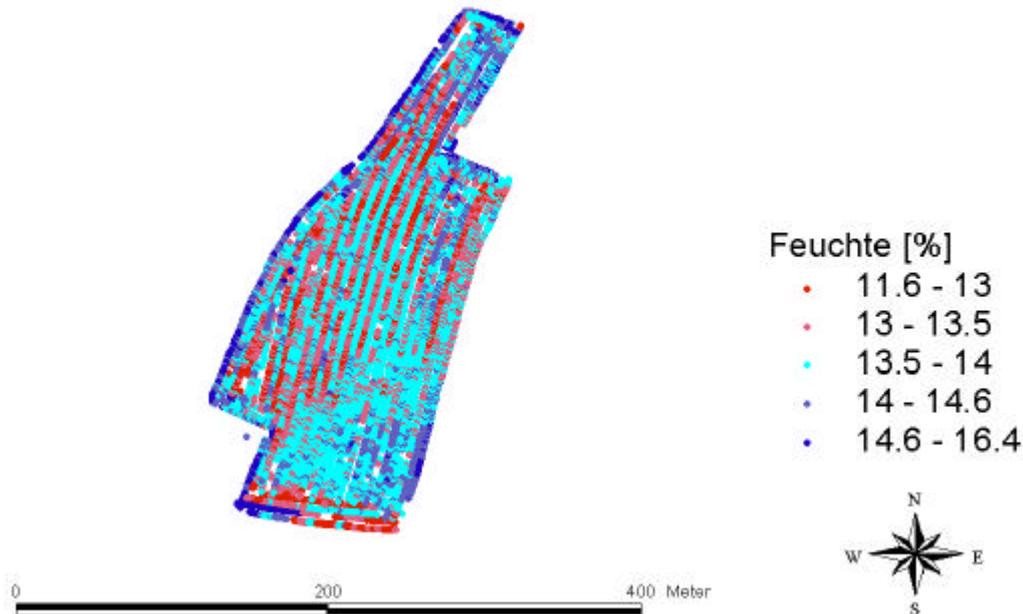
Speziell beim Mähdrusch treten noch weitere Fehler auf, die durch die physikalischen Bedingungen des Kornflusses im Elevator bedingt sind.

Unabhängig vom Messversatz werden in einem gewissen Zeitraum nach (Neu-) Beginn des Druschvorgangs zu geringe Ertragswerte gemessen (Effekt der Maschinenbefüllzeit). Die Länge der Befüllzeit ist abhängig von Länge der Unterbrechung des Druschvorganges zuvor, d.h. dem Füllstand bei Beginn [30]; war der Mähdrescher bei Einfahrt in den Bestand nicht vollständig entleert, wirkt sich die Befüllzeit deutlich geringer aus. Nach GRIEPENTROG UND BLACKMORE [35] ist die Länge der Befüllzeit auch abhängig vom Mähdreschertyp. NOLAN ET AL. [51] ermittelten einen Zeitraum vom Beginn des Schnitts bis zum Erreichen relativ stabiler Ertragsmesswerte (also einschließlich Messversatz) von 35 s. BAE ET AL. [17] modellierten den Guttransport im Mähdrescher zur Bestimmung der Gutsaufnahme pro Zeiteinheit (Input) aus den Durchsatzmesswerten am Sensor (Output). Diese Autoren gliederten dabei den eigentlichen Messversatz und eine Zeitverzögerung erster Ordnung als Zeitglieder aus.

Auf der anderen Seite befindet sich über die Delayzeit hinaus nach Ende des Druschvorgangs (z.B. bei Ausfahren aus einer Fahrgasse) in einem gewissen Zeitraum noch Material im Elevator und führt zu Ertragsmessungen, wobei auch hier unrealistisch geringe Werte ermittelt werden [19]; bei noch nicht gehobenem Schneidwerk bzw. bei Systemen mit ständiger Aufzeichnung unabhängig von Schneidwerksstatus werden diese fehlerhaften Werte mit aufgezeichnet [20]. Bei Lagergetreide tritt dieser Effekt dann ebenfalls auf, wenn trotz abgesenkten Schneidwerks faktisch kein Getreide von diesem erfasst wird (vgl. GRENZDÖRFFER [33]).

Ein weiteres Problem besteht darin, dass die in den einzelnen Messzellen (s.o.) abgeernteten Kornmengen im Elevator teilweise vermischt werden, d.h. bei konstanter Geschwindigkeit vollzieht der tatsächliche Durchsatz am Sensor nicht exakt die Ertragsunterschiede im Feld nach, sondern ist gegenüber dem theoretischen Durchsatz geglättet [57]. Dies ist eine mögliche Ursache für die starke Autokorrelation der Ertragsmesswerte in Fahrtrichtung innerhalb der Fahrspuren und damit die streifenförmige Struktur der Ertragsrohmesswerte

(Abb. 1). Noch deutlicher wird dies durch die Darstellung der Feuchtwerte jener Erntefahrt (Abb. 11).



**Abbildung 11:** Feuchtwerte bei der Winterweizenernte D08 1999 (Ag-Leader)

PRINGLE ET AL [57] schätzten mit Hilfe einer experimentellen Untersuchung die Parameter einer von WHELAN AND BRATNEY (1998, in PRINGLE ET AL [57]) entwickelten Kornflusstransferfunktion zur Beschreibung dieses Effektes.

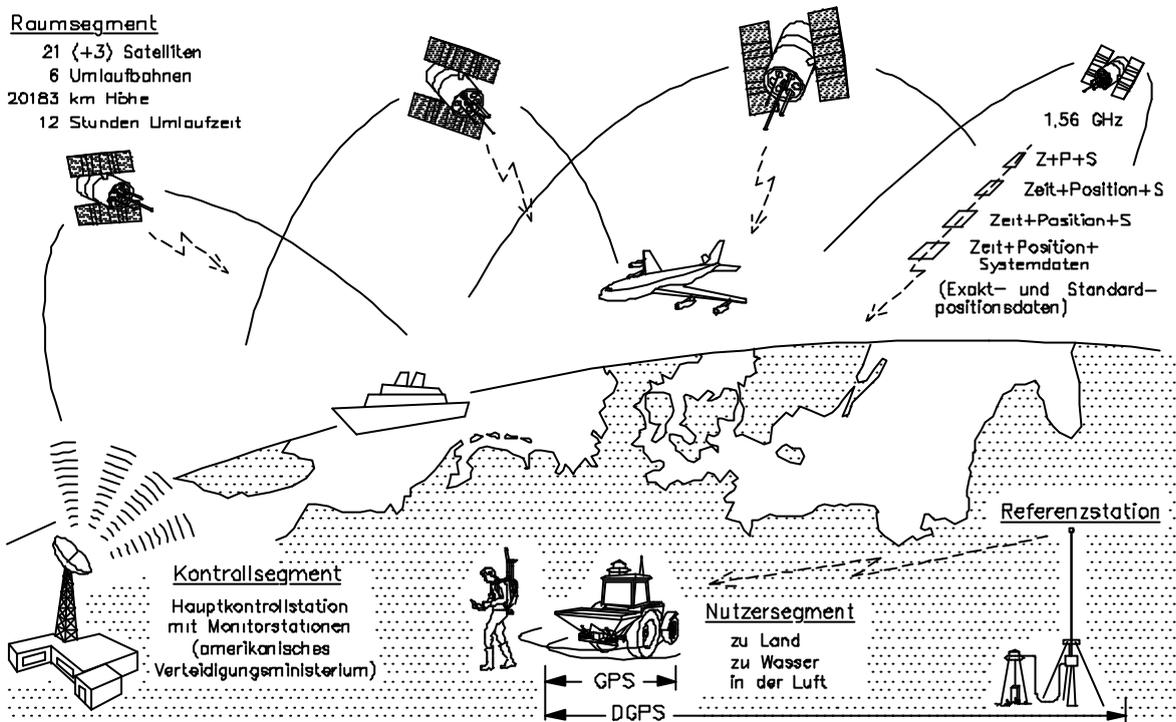
### 3.1.7 Ortung

Die errechneten Massenwerte pro Flächeneinheit werden als Ertragsdaten für die einzelnen geographisch positionierten Messpunkte, also als georeferenzierte Ertragsdaten, aufgezeichnet.

Als Ortungssystem für landwirtschaftliche Zwecke hat sich gegenüber den Ortungsmöglichkeiten linearisierter Schlag, Koppelortung und terrestrische Trilateration seit geraumer die orbitale Trilateration durchgesetzt [13].

Grundlage für dieses vor allem bei der Ertragsermittlung übliche Verfahren ist das ursprünglich für rein militärische Zwecke konzipierte NAVSTAR-GPS (NAVigation System with Time And Ranging – Global Positioning System, kurz GPS) der Vereinigten Staaten, bestehend aus zur Zeit insgesamt 24 Satelliten auf verschiedenen Orbitalbahnen. Diese bilden

das sogenannte *Raumsegment* des GPS. Demgegenüber steht das *Kontrollsegment* zur Überwachung des Systems und das *Nutzersegment* (die mit GPS-Empfängern ausgestatteten, auch zivilen, Nutzer des Systems) (Abb. 12; vgl. MANSFELD [48]).



**Abbildung 12:** Systemaufbau des Global Positioning System (Quelle: AUERNHAMMER UND DEMMEL [7])

Mit diesem System zur Ortung (Bestimmung des aktuellen Standortes) und Navigation (Auffinden eines bekannten Standortes) können die dreidimensionale Position (geographische Länge, geographische Breite, Höhe), die Geschwindigkeit und die Zeit weltweit und ständig hochgenau ermittelt werden [2].

Jeder der GPS-Satelliten versendet ständig Informationen über seine eigene Position lotrecht über der Erdoberfläche und andere Parameter sowie die Greenwich- (UTC-) Uhrzeit in Form impulsförmiger Signale in der Einwegmethode [14, 48]. Die Ortung des Empfängers erfolgt durch Trilateration mit Entfernungsmessung zwischen Satellit und Empfängerantenne über die Bestimmung der Laufzeit der Signale (Entfernung = Laufzeit \* Lichtgeschwindigkeit). Aufgrund der Erdkrümmung können nicht die Signale aller 24 verfügbaren Satelliten gleichzeitig an einem Punkt der Erdoberfläche empfangen werden. Zur Errechnung der x- und y-Koordinaten des Empfängers ist der Empfang der Signale mindestens dreier Satelliten erforderlich, für eine dreidimensionale Ortung von mindestens vier [14]. Da die Entfernungsmessung eine exakte Synchronisierung der Uhrzeiten in den Satelliten und im Empfänger erfordert, diese aber nicht immer gegeben ist, weichen die gemessenen

Entfernungen von den tatsächlichen um einen systematischen Fehler ab; es handelt sich um „pseudorange“- (Pseudoentfernungs-) Messungen [2].

Die Genauigkeit der Pseudoentfernungsmessung wird nicht nur durch ungenaue Synchronisation, sondern noch viel mehr durch andere Faktoren beeinflusst. Hierzu zählen Ungenauigkeiten bei der Positionierung der Satelliten, Messrauschen des Empfängers, Fehler auf dem Ausbreitungsweg durch atmosphärische Einflüsse sowie Laufzeitverlängerung durch Multipath- (Mehrweg-) Effekte aufgrund von Reflexionen der Signale an Flächen [22, 66]. Die Systemgenauigkeit wird ebenfalls von der Satellitengeometrie (Dilution of Precision, DOP) beeinflusst, also der Stellung der beobachteten Satelliten zu einer Empfängerantenne [36].

Zu diesen physikalisch bedingten, natürlichen Fehlern kam bis Mitte 2000 noch eine künstliche, willkürliche und schwankende Verfälschung der GPS-Signale durch den Betreiber (also das US-Verteidigungsministerium) aus Sicherheitsgründen (*selective availability*, S/A-Aufschaltung). Dies geschah durch Veränderung der in den Satellitensignalen vorhandenen Angaben zu den Umlaufbahnen und eine Schwankung der Uhrzeit [2].

Der somit insgesamt schwankende Ortungsfehler kann bei S/A-Aufschaltung bis um  $\pm 100$  m ( $2\sigma$ -Bereich oder 95%-Wahrscheinlichkeit) betragen, was für landwirtschaftliche Zwecke, darunter die lokale Ertragsermittlung, nicht ausreichend ist. Ohne S/A-Aufschaltung liegt die Grundgenauigkeit immer noch im Bereich von  $\pm 10 - 15$  m, wie MUHR 2000 feststellte (Vortrag auf VDI-Tagung, ohne Veröffentlichung).

Die aktuelle Abweichung der von einem mobilen Empfänger ermittelten Position von der tatsächlichen Position kann durch einen Empfänger auf einer festen Referenzstation mit bekannter, geodätisch ermittelter Position bestimmt werden [14]. Die ermittelte Position der Feststation weicht immer um den vom Betreiber bei S/A-Aufschaltung verwendeten Fehler, zuzüglich der zufälligen Systemfehler ab [8]; der ermittelte Fehler kann nun zur Fehlerkorrektur der GPS-Daten herangezogen werden. Diese geschieht entweder als Post-processing-Korrektur (nachträgliche Korrektur der Daten der mobilen Empfänger) oder als Online-Korrektur im Near-Real-Time-Modus, bei welcher ständig ein Korrektursignal per Telemetrie von der Feststation oder einem regionalen oder nationalen Korrekturdienst zu den mobilen Empfängern gesendet wird (Differentialles GPS, DGPS) [14]. Die Korrektur kann als Positionskorrektur (*position correction*) oder als Korrektur der Pseudoentfernung (*pseudorange correction*) erfolgen [14]. Bei ersterer ist eine gleiche Satellitengeometrie für Nutzer und Referenzstation erforderlich.

Voraussetzung für eine vollständige Fehlerkorrektur ist die Übereinstimmung der Fehler am mobilen Empfänger und an der Referenzstation. Dies ist bei den lageunabhängigen Fehlern des Raum- und des Kontrollsegments immer der Fall, bei den Fehlern im Ausbreitungsweg dagegen nur bei geringer Entfernung zwischen mobilem Empfänger und Referenzstation [2]. Bei der Online-Korrektur mit DGPS kommt als Fehlerquelle noch der Übertragungszeitversatz der Korrektursignale zwischen Feststation und mobilem Empfänger hinzu; je älter die Korrektursignale, desto geringer ist die vor Ort erreichbare Genauigkeit [14]. Je nach Korrekturverfahren, Empfänger und Abstand zur Referenzstation wird mit DGPS eine Ortungsgenauigkeit von wenigen Metern, im günstigsten Falle von weniger als 1 m erreicht [2]. Bei der teilflächenspezifischen Landwirtschaft wird heutzutage eine Genauigkeit von 1 - 5 m gefordert [23]. Der Einsatz von Differentiellem GPS erfüllt daher selbst bei erschwinglichen Empfängern und nicht zu ungünstiger aktueller Satellitengeometrie die Anforderungen des Precision Farming weitestgehend.

Ein systematischer Fehler, der nur bei Neigung eines mit GPS-Antenne ausgestatteten Fahrzeugs auftritt und nicht durch ein Referenzsignal korrigiert werden kann, ist ein geometrisch bedingter Versatz der gemessenen Position von der Mitte der wirklichen Fahrspur hangabwärts [64]. Dieser dürfte im Falle der Ertragsermittlung allerdings keine Rolle spielen, da bei den auf bewirtschafteten Flächen maximal erreichten Hangneigungen der Versatz deutlich unter einer halben Schneidwerksbreite bleiben und damit nicht relevant für die Ergebnisse sein dürfte.

Die Ortungsfehler wirken sich auf die räumliche Zuordnung der Ertragswerte folgendermaßen aus: jeder einem Ortungspunkt = Messpunkt zugeordnete Flächenertrag ist der Ertrag für die in Fahrtrichtung hinter diesem Punkt liegende, also zeitlich davor abgeerntete Fläche; dieser schließt sich nach hinten die dem vorherigen Messpunkt zugeordnete Fläche an. Die Flächen bilden also eine Art Kette um die wirkliche Fahrspur. Durch die Ortungsfehler weichen die erfassten Messpunkte aber von ihrer wirklichen Position ab und liegen daher um den wirklichen Fahrweg zufällig gestreut. Dadurch sind auch die Bezugsflächen der Erträge zufällig gegenüber ihrer wirklichen Position in der Ertragskarte verschoben. Dieser Fehler fällt bei der Ertragskartierung desto mehr ins Gewicht, je kleiner die verwendete Rastergröße ist.

Die statische Genauigkeit eines DGPS-Systems wurde durch eine Langzeitmessung des Instituts für Landtechnik auf dem Gut Wittenfeld an einer geodätisch vermessenen Position ermittelt (Abb. 1, Anh.). Es ergaben sich in x-, y- und z-Richtung mittlere Abweichungen von

der wirklichen Position von weniger als 10 cm bei Standardabweichungen von 6,5 bis 8 m. Die annähernd normalverteilten Messabweichungen heben sich bei längerer Messung also auf, die Messungsgenauigkeit wird durch die Streuung der Abweichungen angezeigt.

Die Ortungsgenauigkeit an einem bewegten Objekt wurde erstmals durch Langzeitversuche von WILD [75] untersucht. Die Quantifizierung der Ortungsgenauigkeit erfolgte durch Analysen der Streubreite der aufgezeichneten Fahrspuren wiederholter gleicher Fahrstrecken. In ungünstigen Lagen hatte das Fahrspurband eine Breite von mehr als 50 m.

Eine Möglichkeit zur exakteren Quantifizierung der Genauigkeit von DGPS-Systemen sehen AUERNHAMMER, MUHR UND DEMMEL [14] im Einsatz von Laser-Tracking-Systemen.

Somit ergeben sich bei der Ertragsermittlung eine Reihe von Fehlerquellen an unterschiedlichen Stellen der Prozedur angefangen von dem mechanischen Erntevorgang über die Durchsatzmessung und die Umrechnung in Flächenerträge bis zu deren räumlicher Zuordnung. Die Fehler wirken sich auf die Höhe der ermittelten Flächenerträge und ihre lokale Zuordnung innerhalb eines Schlages aus. Eine Zusammenfassung der Fehlereinflüsse zeigt Tabelle 2.

### 3.2 Datennachbearbeitung

Aufgrund der genannten Fehler ist es vor der Kartierung der Ertragswerte unerlässlich, diese in irgendeiner Form zu korrigieren oder vielmehr ihren Einfluss auf die Ertragsdatenqualität zu minimieren, damit diese Fehler das Ertragsmuster in der resultierenden Ertragskarte nicht oder nur unwesentlich verfälschen. Bei diesen Ansätzen handelt es sich überwiegend um Methoden der Filterung, bei denen einzelne Werte, die nach bestimmten Kriterien als intolerabel fehlerhaft eingestuft werden, aus den Datensätzen entfernt werden, die verbleibenden Werte aber unverändert übernommen werden. Eine Aufstellung wesentlicher in der Literatur vorgeschlagener Methoden zeigt Tabelle 3.

NOLAN ET AL. [51] beschreiben eine Methode, bei der Werte, die anhand des Häufigkeitshistogramms der Ertragswerte als extrem niedrig identifiziert werden, gelöscht werden. Weiterhin wurden die Ertragswerte solcher Messpunkte gelöscht, bei denen extrem niedrige Geschwindigkeiten und Wenderaten von  $> +24^\circ/\text{s}$  und  $< -24^\circ/\text{s}$  ermittelt wurden.

THYLEN ET AL. [72] eliminierten Werte innerhalb der ersten 31 s nach dem Beginn einer neuen Fahrspur sowie alle Werte  $< 0,5$  und  $> 2 * \text{mittlerer Ertrag}$ .

**Tabelle 2:** Aufstellung aller Fehlereinflussgrößen bei der lokalen Ertragsermittlung im Mähdrescher (Quelle: Eigentwurf)

Fehlergröße	Gründe	Einfluss auf Ertragsmessung	Größe des Fehlers
Körnerverluste im Dreschwerk/Elevator	technisch bedingt	Unterschätzung des Ertrages	1 - 3 %
Schwankungen oder falsche Schätzung des Messversatzes	Neigungen, Schwankungen der Elevatordrehzahl	falsche Positionierung des gemessenen Ertrages in der Fahrspur	nicht quantifiziert
Messrauschen des Ertragssensors	Maschinenvibrationen, Erschütterungen	Schwankungen der Ertragsmesswerte bei konstantem tatsächl. Ertrag	bis +- 5 % (1s-Bereich) bei Weizen; abhängig von System bzw. Messprinzip
systematische Fehler bei der Durchsatzmessung (Durchsatzniveau, Neigung); ungenügende Kalibrierung des Ertragssensors	benutzerbedingt; physikalische Wirkung gleicher Masseströme je nach Randbedingung schwankend	Unter- oder Überschätzung des Ertrages	bis 10 % mittlere Abweichung bei Weizen, benutzerabhängig
keine online-Feuchtemessung		Kornfeuchteunterschiede bei Ertragsermittlung nicht berücksichtigt, obwohl ökonomisch nur Ertrag bei Standardfeuchte relevant	abhängig von gegebenen Feuchteunterschieden im Feld
Fehler bei der Feuchtemessung	Verschmutzung des Sensors, starker Unkrautbesatz,	Unter- oder Überschätzung des auf Standardfeuchte gerechneten Ertrages	nicht quantifiziert
Fremdmaterial im Erntegut	starker Unkrautbesatz, starke Aufnahme von Bodenmaterial (z.B. Erbsenmähdrusch)	erhöhte Feuchtemesswerte, damit Unterschätzung des Trockenertrages; Verkleben des Ertragssensors, dadurch Ertragsunterschätzung; Verstopfungen	nicht quantifiziert
effektive Schnittbreite < Schneidwerksbreite	Fahrerfehler, Reststreifen im Feld, Form des Feldes	Unterschätzung des Ertrages	bis 20 %
Fehler bei der Geschwindigkeitsmessung	je nach Messprinzip unterschiedlich, Schlupf	falsche Berechnung der Flächenleistung und damit des Ertrages	nicht quantifiziert
häufig stark wechselnde Fahrgeschwindigkeit	Lagergetreide, Festfahren des Schneidwerks u. dgl.	positive und negative Ertragspeaks	nicht quantifiziert
verspätetes Anheben des Schneidwerks bei Ausfahrt aus dem Bestand	Fahrerfehler	Nullertragswerte oder unrealistisch niedrige Ertragswerte in der Maschinenentleerzeit aufgezeichnet	benutzerabhängig
verzögerte Maschinenentleerung	technisch bedingt	unrealistisch niedrige Ertragswerte in den Wendeperioden/bei Stillstand/bei Lagergetreide	bis 35 s (Murphy 1995, in: Ebert 1999)
verzögerte Maschinenbefüllung	technisch bedingt	unrealistisch niedrige Ertragswerte am Beginn der einzelnen Fahrspuren	bis 35 s (Nolan et al. 1996, in Ebert 1999)
unvollständige Ansprache des Durchsatzes auf Ertragsänderungen	technisch bedingt, Kornflussveränderungen in der Maschine	tatsächliche Ertragsunterschiede im Feld werden nur unvollständig und verzögert erfasst	nicht quantifiziert
ungenauere Georeferenzierung	S/A-Aufsch., Atmosphäre, Basisdistanz, Zeitversatz Korrektursignal	falsche räumliche Zuordnung ermittelter Ertragswerte	< 1 bis 5 m im different. Modus mit S/A, <= 100 m im stand alone-Modus

STAFFORD ET AL [68] beschreiben ein Verfahren, bei dem alle Werte  $< 2/3$  und  $> 2 *$  gleitendes arithmetisches Mittel und die Werte aller Punkte mit GPS-Geschwindigkeiten  $> 10$  m/s als Ortungsfehler gelöscht wurden.

JÜRSCHIK ET AL [37, 38] testeten verschiedene Filterungsniveaus. Hierbei wurden alle Werte die außerhalb des Intervalls zwischen arithmetisches Mittel  $- 3$  Standardabweichungen und arithmetisches Mittel  $+ 3$  Standardabweichungen herausgefiltert und die Filterungsgrenzen anschließend auf 2 bzw. 1,64 Standardabweichungen heruntergesetzt.

**Tabelle 3:** Verfahren zur Filterung bzw. Glättung von Ertragsdaten in der Literatur

<b>Autoren/Anzahl der Schläge und Jahre, Feldfrucht</b>	<b>Ausschlusskriterien / Verfahren zur Datenglättung</b>
Nolan, Haverland, Goddard et al. (1996)/ 1 Schlag (28 ha) über 3 Jahre, Gerste (1995)	extrem niedrige Werte nach Histogramm, Daten mit extrem niedrigen oder extrem hohen ( $> 14$ km/h) Geschwindigkeiten und Wenderaten von $> +24^\circ/\text{s}$ und $< -24^\circ/\text{s}$
Thylen & Murphy (1996), in: Ebert (1999)	Werte mit Geschwindigkeiten $v = 0$ oder $v > 10$ km/h
Thylen, Jürschik & Murphy (1997)/ 2 Schläge in einem Jahr	Werte innerhalb erster 31 s nach Beginn neuer Fahrgasse; alle Werte $< 0,5$ und $> 2$ x mittl. Ertrag
Stafford, Lark & Bolam (1998)/ 60 Schläge	alle Werte $< 2/3$ und $> 2$ x gleitendes arithmet. Mittel (wieviele Perioden ?); Daten mit Geschwindigkeit nach GPS $> 10$ m/s (Ortungsfehler)
Jürschik, Wendroth & Giebel (1998)/ 1 Schlag (67 ha) 1995, Winterweizen	alle Werte außerhalb VB = 95 %
Jürschik, Giebel & Wendroth (1999)/ 1 Schlag (37 ha) über 2 Jahre, Winterweizen	alle Werte außerhalb des Intervalls Mittelwert $\pm 3s$ (2s, 1,64s)
Diplomarbeit Ebert (1999) n. Blackmore & Moore (1999)/ 2 Schläge mit insg. 160 ha über 4 Jahre, Getreide, Raps, Erbsen	„Expert Filter“ für lokale Ertragsdaten
Noack et al. 2001	Vergleich der Ertragswerte benachbarter Fahrspuren
Beck et al. 1999	TAES-Filter für lokale Ertragsdaten

EBERT [30] testete den von BLACKMORE AND MOORE [27] konzipierten „Expert Filter“ für lokale Ertragsdaten. Hierbei wurden zuerst Segmente als zusammenhängende Abschnitte der Erntefahrt identifiziert; als Beginn eines neuen Segmentes wurde definiert, wenn der Zeitabstand zwischen zwei Messungen dreimal so groß ist wie der durch die Aufzeichnungsfrequenz bedingte Standardwert. Segmente mit weniger als fünf Werten wurden gelöscht. Weiterhin wurden die Ertragswerte von Messpunkten gelöscht, die nach GPS weniger als 1 m Abstand zu dem jeweils vorangehenden Punkt haben, um Messfehler durch zu geringe Geschwindigkeit zu eliminieren. Im nächsten Schritt wurden die Werte aller Messpunkte gelöscht, die vom vorherigen Punkt innerhalb desselben Segments um mehr als 18 m (bei 2 s Messintervall und 6 m Schneidwerksbreite), um durch Ortungsfehler bedingte Abweichungen eines Punktes von der Fahrspur um mehr als eine Schneidwerksbreite zu eliminieren. Anschließend wurden alle Werte innerhalb der ersten 35 s eines Segmentes als Befüllzeitwerte gelöscht. Desweiteren wurden die Werte aller Segmente gelöscht, deren Durchschnittsertrag von dem des nächstgelegenen Nachbarsegments um mehr als 30 % nach unten abweicht. Schließlich erfolgte eine Eliminierung von Ertragswerten  $< 1$  t/ha und  $> 11$  t/ha.

Ein ähnlicher Ansatz ist der sogenannte *Texas Agricultural Experimental Station (TAES)*-Filter. Hierbei wurden Ertragswerte unter- und oberhalb bestimmter Plausibilitätsgrenzen, die vom Nutzer variabel gestaltet werden konnten, Ertragswerte mit zugeordneten Feuchtwerten unter- und oberhalb bestimmter variabler Plausibilitätsgrenzen, Werte mit nach GPS berechneten Geschwindigkeiten von 0 und  $> 4,9$  m/s, Werte in den Wendephasen, die nach Hebung des Schneidwerks definiert wurden und sogenannte „Punktüberlappungen“ (zu geringe effektive Schnittbreite) gelöscht [20].

NOACK [50] entwarf einen Algorithmus, der die Ertragswerte benachbarter Fahrspuren vergleicht. Positive und negative Ertragspeaks, die sich nicht in einer gewissen Entfernung in den benachbarten Fahrspuren widerspiegeln, werden als fehlerhafte Messungen definiert.

Bei den meisten der genannten Methoden mit Ausnahme von Expert Filter und TAES-Filter werden die Einflüsse nur einzelner Fehlergrößen bzw. Erkennungskriterien für fehlerhafte Ertragswerte berücksichtigt. Die Festlegung der Grenzwerte erfolgte anscheinend willkürlich. Vor allem die Herausfilterung nach der Häufigkeitsverteilung oder sonstigen statistischen Kriterien wie bei NOLAN ET AL bzw. JÜRSCHIK ET AL erscheint dabei ziemlich willkürlich und ohne Zusammenhang zu den o.g. Fehlereinflussgrößen; die bei NOLAN ET AL genannten Wenderaten sind nicht zwingend Indikatoren für Wendemanöver nach Ausfahrt aus einer Fahrspur, zumal die Wenderaten aus den GPS-Positionen ermittelt wurden. Bei STAFFORD ET AL wird nicht angegeben, über wieviele Perioden das gleitende Mittel gelegt wurde. Die sinnvolle Festlegung der Periodenzahl erscheint hierbei grundsätzlich als schwer zu realisieren. Ansätze, die Einflüsse der verschiedenen Fehlerarten zu beseitigen bzw. zu minimieren, sind der Expert Filter und der TAES-Filter.

### 3.3 Methoden der Ertragskartierung

Zur Überführung der punktuell erhobenen Ertragsmesswerte in eine flächenhafte Darstellung müssen die Ertragsmesswerte zunächst in Rasterwerte durch Aggregation bzw. Interpolation überführt werden. In der Form der Darstellung nach der Rasterwertberechnung werden Karten mit rasterbasierten Polygonen und Konturkarten unterschieden.

Bei rasterbasierten Polygonkarten werden für Rasterfelder errechnete Werte in klassierter Form dargestellt. Bei den Rasterwerten kann es sich um einfache arithmetische Mittel der in das jeweilige Rasterfeld fallenden Messwerte handeln oder um durch die Methode des sogenannte Potential Mapping ermittelte Werte. Konturkarten hingegen sind vektorielle Darstellungen.

### 3.3.1 Rasterbasierte Polygone

Das einfachste Verfahren ist die Berechnung der arithmetischen Mittel der in den einzelnen Rasterfeldern liegenden Einzelmesswerte; jedem Feld wird der jeweilige Wert als Attribut neben der Position des Rasterfeldmittelpunktes zugeordnet. Die Rasterfeldwerte werden anschließend den definierten Ertragsklassen zugeordnet und die Rasterfelder mit der Flächensignatur der entsprechenden Ertragsklasse versehen. Dieses Verfahren wurde am Institut für Landtechnik Weihenstephan seit 1990 im Rahmen des FAM-Projektes und seit 1998 im Rahmen des IKB zur standardmäßigen Ertragskartierung angewandt. Der Algorithmus hierzu wurde im GIS ARC/INFO PC Version 3.4D in Form eines in der Befehlssprache *Small Macro Language* (SML) geschriebenen Batchprogrammes implementiert. Dieses Batchprogramm ruft hierbei am Anfang ein Turbopascalprogramm zur Filterung der Messwerte nach Unter- und Obergrenze und zur Berechnung der Rasterwerte auf. Aneinandergrenzende Rasterfelder gleicher Ertragsklassen werden zu einem Polygon zusammengefasst [69].

BLACKMORE AND MARSHALL [26] entwickelten ein Kartierungsverfahren, bei dem die Fehlerinflüsse Schnittbreite und verzögertes Anheben des Schneidwerks einen weniger verfälschenden Einfluss auch ohne Korrektur der Rohdaten haben, das sog. *Potential Mapping*. Bei dieser Prozedur muss der Durchsatz mit aufgezeichnet werden, um daraus die seit der jeweils letzten Messung geerntete Kornmasse zu bestimmen. Die Messpunkte werden den definierten Rasterzellen mit der Kantenlänge von mehr als einer Schneidwerksbreite zugeordnet und die pro Messpunkt bestimmten Massen für die einzelnen Zellen addiert. Die Summe der Massen in jedem Rasterfeld wird anschließend durch Division durch die Rasterfläche in Masse pro m<sup>2</sup> oder ha umgerechnet. Nachteile sind die Erfordernis einer sehr hohen Ortungsgenauigkeit und einer sehr geringen Störanfälligkeit des Ertragsermittlungssystems (Datenausfälle wirken verfälschend) [31]. Bei randlich gekappten Rasterzellen müsste zur korrekten Berechnung der Masse pro Flächeneinheit die Rasterfläche gesondert bestimmt werden (z.B. durch den „Quadtree Algorithmus“ n. BLACKMORE AND MARSHALL [26]). Insgesamt bewirkt das Potential Mapping-Verfahren eine deutliche Glättung der Darstellung in Abhängigkeit von der Rastergröße.

### 3.3.2 Konturkarten

Auch bei Konturkarten liegen aus den ungleichmäßig verteilten Messwerten geschätzte Rasterwerte zugrunde. Die Rasterung erscheint jedoch nicht mehr in der Darstellung, da die Rasterwerte nur die Grundlage der Isoertragslinien sind, deren Werteintervalle durch die Klassenbildung vorgegeben werden. Die Zonen zwischen den einzelnen Konturintervallen werden in der Regel mit einer Flächensignatur (s. Abb. 2) versehen.

Da Rasterfeldertragswerte, wie in 3.3.1 beschrieben, diskret sind, Konturkarten jedoch stetige Ertragsunterschiede darstellen, erscheint es sinnvoller, die Erträge nur für *Rasterpunkte* zu berechnen, auch wenn mathematisch gesehen ein Ertrag sich nur auf eine Fläche beziehen kann. Auf diese Weise grenzen unterschiedliche Ertragswerte nicht direkt aneinander, sondern es bleibt „Platz“ für eine stetige Ertragsänderung. Dieser Grundsatz wird allerdings offensichtlich nicht von allen Autoren vertreten (vgl. z.B. KASTENS ET AL [40]). Schätzwerte für Rasterpunkte müssen dementsprechend aus den vorhandenen umgebenden Messwerten unter Berücksichtigung der Entfernung zu diesem Punkt und ihrer räumlichen Korrelation interpoliert werden. Das Aggregationsniveau bei der Kartierung und damit die Kompensation der obengenannten Fehlergrößen wird bei einem solchen Interpolationsverfahren nicht wie bei der Bildung von Rasterfeldmittelwerten von der Rastergröße, sondern von der Interpolationsreichweite (Suchradius) bestimmt; die Rastergröße und damit die Auflösung bei der Darstellung kann daher theoretisch beliebig fein gewählt werden, wenn vom Faktor der exponentiell zunehmenden Rechenzeit abgesehen wird. Bekannte Interpolationsmethoden sind vor allem die *Inverse-Distanz-Methode* und das *Kriging*.

#### 3.3.2.1 Inverse-Distanz-Verfahren

Beim Inverse-Distanz-Verfahren wird der nicht vorhandene Messwert für einen Punkt aus den Messwerten nahegelegener Punkte als gewichtetes Mittel interpoliert; die Gewichtung erfolgt dabei umgekehrt proportional zur Entfernung zu dem Punkt [26, 61]:

$$z_0 = \frac{\sum [z_i / (h_{ij} + s)^p]}{\sum [1 / (h_{ij} + s)^p]} \quad (3-5)$$

(mit  $z_0$  = Schätzwert für Punkt  $j$ ,  $z_i$  = Messwert an Punkt  $i$ ,  $h_{ij}$  = Distanz zwischen  $j$  und  $i$ ,  $s$  = Glättungsfaktor,  $p$  = Gewichtungsfaktor).

Der Gewichtungsfaktor beschreibt die Rate, mit der die Gewichte mit der Distanz abnehmen. Der Glättungsfaktor vermindert den „Peak“-Effekt, der dann eintritt, wenn ein Interpolationspunkt mit einem Messpunkt (bei der Rasterberechnung z.B.) zusammenfällt [61]. Sehr hohe

Messwerte nahe dem zu interpolierenden Punkt haben bei dieser Methode einen großen Einfluss auf den Schätzwert an diesem Punkt, welches Phänomen auch als „bull’s eye“-Effekt bezeichnet wird [41].

Die Interpolation kann auf Grundlage einer festgelegten Anzahl benachbarter Messwerte (*nearest neighbours*) und/oder eines festgelegten Suchradius um den Interpolationspunkt erfolgen. Das Programm KEMIRA bietet die Möglichkeit, bei Daten, deren Messpunkte in verschiedenen Richtungen eine unterschiedliche Dichte aufweisen, wie z.B. Ertragsdaten, eine Suchellipse mit unterschiedlichen Suchradien in Hauptfahrtrichtung und quer dazu anzugeben.

### 3.3.2.2 Kriging-Verfahren

Das Kriging-Verfahren ähnelt stark dem Inverse-Distanz-Verfahren, doch wird im Unterschied hierzu die Gewichtung der Messwerte sowohl auf der Grundlage ihrer Entfernung vom Vorhersagepunkt als auch des Semivariogramms (s.u.) festgelegt ([53], CRESSIE 1993 in EBERT [30]).

Die Formel für die Schätzung eines Wertes an einem Punkt nach dem Kriging-Verfahren lautet (n. BLACKMORE AND MARSHALL [26]):

$$z_0 = \sum w_i z_i \quad (3-6)$$

(mit  $z_0$  = Schätzwert für einen Punkt 0,  $z_i$  = Messwert an einem Punkt  $i$ ,  $w_i$  = Gewichtung des Messwertes an Punkt  $i$ )

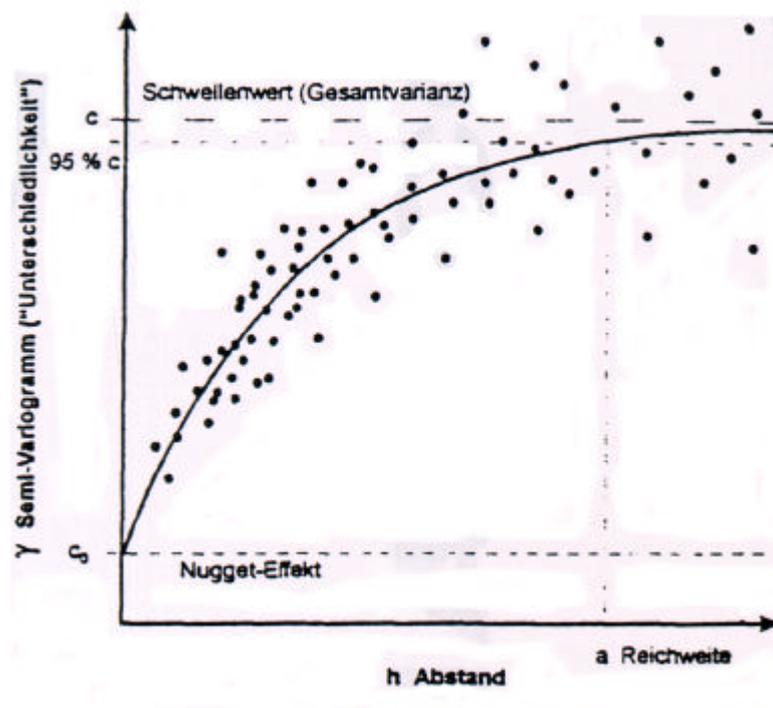
Es handelt sich also um die Summe der gewichteten Messwerte, wobei die Summe der Gewichte 1 ist. Diese Form des Kriging wird als *lineares Kriging* bezeichnet und sollte nur bei annähernder Normalverteilung der Messwerte verwendet werden [53].

Semivariogramme zeigen die räumliche Variabilität bzw. Autokorrelation ortsbezogener Messgrößen und die Reichweite ihrer räumlichen Abhängigkeit [30, 53, 61]. Räumliche Abhängigkeit bedeutet, dass die meisten Variablen kontinuierlich im Raum variieren, weshalb näher beieinander liegende Werte einander ähnlicher sind, eine geringere Semivarianz haben, als weiter voneinander entfernte [74]. In einem (empirischen) Semivariogramm sind die sogenannten Semivarianzen über definierte Lagdistanzklassen aufgetragen. Die Semivarianz ( $\gamma$ ) für eine Lagdistanzklasse  $h$  ist dabei die mittlere halbierte Quadratdifferenz der Messwerte der Punkte aller möglichen Punktepaare, deren Abstand innerhalb der Lagdistanzklasse liegt [53]:

$$\gamma(H_j) = 1/(2 \cdot m) * \sum (z_i - z_{i+h})^2 \text{ für } (H_{j-1} < h \leq H_j; i \in \{1 \dots n\}) \quad (3-7)$$

(mit  $m$  = Anzahl der Punktepaare in einer Distanzklasse,  $H$  = Distanzklasse,  $h$  = Distanz zwischen zwei Punkten eines Punktepaars,  $z_i$  = Messwert an einem Punkt  $i$ ,  $z_{i+h}$  = Messwert an einem Punkt  $i+h$ ,  $n$  = Anzahl aller Messwerte) (n. WEBSTER AND OLIVER [74])

Aus allen Punkten mit gültigen Messwerten werden Punktepaare gebildet. Für jedes mögliche Punktepaar wird die quadrierte Differenz der Werte dividiert durch zwei berechnet, anschließend diese Werte den Distanzklassen zugeordnet und schließlich für jede Distanzklasse der mittlere Wert nach (3-7) berechnet. Aus den empirischen Semivarianzwerten wird nach der Methode der kleinsten Summe oder des kleinsten Mittels der quadrierten Abweichungen [53, 61] ein mathematisches Semivariogramm als Trendlinie angepasst (z.B. Abb. 13).



**Abbildung 13:** Empirische Semivarianzwerte und theoretisches Semivariogramm n. GEBBERS 1999 (Quelle: EBERT [30])

Bei den mathematischen Variogrammen werden das exponentielle, sphärische, lineare und Gauß'sche Modell unterschieden. Das jeweils gewählte Modell ist abhängig von dem Grad der Anpassung an die empirischen Semivarianzen. Als Maß für diesen können das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) oder die quadrierte Summe der Residuen (Residual Squared Sum, RSS) dienen [53].

Die verschiedenen Modelle von Variogrammfunktionen sind durch drei Parameter definiert, aus denen die Schätzwerte der Semivarianz für die einzelnen Distanzklassen  $H$  je nach Modell verschieden berechnet werden. Die *Nuggetvarianz* ( $C_0$ ) ist mathematisch der Schnittpunkt des theoretischen Semivariogramms mit der Ordinate, also die Konstante der Funktionsgleichung, und beschreibt kleinräumige Unterschiede der Messgröße bedingt durch Messfehler [72]. Die Modell- oder strukturelle Varianz ( $C$ ) ist die Differenz zwischen der *Gesamtvarianz* (oder dem *Schwellenwert*, engl. *sill*), die die Asymptote des Modells ist, und der Nuggetvarianz. Die *Reichweite*  $a$  (engl. *range*) beschreibt die Entfernung, bis zu der eine räumliche Beziehung der Messwerte zweier Punkte (oder genauer gesagt eine Beziehung zwischen Distanz und der Semivarianz) erkennbar ist. Innerhalb der Reichweite nimmt die Semivarianz mit zunehmender Lagdistanz tendenziell zu, darüber nicht mehr; je größer die Reichweite und je geringer die Steigung der Variogrammfunktion, desto größer die Kontinuität der Messwerte. (vgl. ROBERTSON [61])

Ein häufig zur Beschreibung der räumlichen Variabilität von Messgrößen verwendetes Modell ist das exponentielle Modell, bei dem sich die Funktion dem Schwellenwert asymptotisch annähert. Die Reichweite bei diesem Modell ist die Distanz, bei der die Funktion 95 % des Schwellenwertes erreicht (Abb. 13).

Die Interpolation für einen bestimmten Punkt erfolgt beim Kriging innerhalb der Reichweite mit einer Gewichtung je nach Entfernung zu diesem Punkt und dem Grad der Autokorrelation [61]. Ist die Summe der Gewichte 1, ist der Schätzer unverzerrt [26]. Unverzerrt oder erwartungstreu ist ein Schätzer dann, wenn sein Erwartungswert gleich dem zu schätzenden Parameter ist; bei mehrmaliger Wiederholung würde der Schätzer den zu schätzenden Wert weder zu hoch noch zu niedrig schätzen [56].

Beim Kriging kann ein Such- oder Interpolationsradius angegeben werden [61]; dieser sollte nicht größer als die Reichweite sein (vgl. EBERT [30]).

Die Autokorrelation georeferenzierter Werte kann in verschiedenen Richtungen unterschiedlich sein; so zeigt sich z.B. bei Ertragswerten in Hauptfahrtrichtung eine größere Kontinuität als quer dazu (vgl. Kap. 3.1.6). Dieses Phänomen wird als *Anisotropie* bezeichnet [74]. Im Falle einer Anisotropie werden die Semivarianzen gerichtet berechnet, d.h. für die einzelnen durch die Distanz und durch die Richtungsachse bestimmten Vektoren [30]. Da die Azimute zwischen den Punkten der einzelnen Punktepaare nicht immer genau in die Hauptfahrtrichtung oder in die Richtung quer dazu fallen, wird eine Offset- oder Winkeltoleranz angegeben. Es handelt sich hierbei um eine Winkelabweichung, innerhalb der

der Richtungswinkel zwischen zwei Messpunkten einer der definierten Anisotropierichtungen zugeordnet wird; z.B. ein Richtungswinkel von 50° oder 40° Azimuth wird bei 10° Offsettoleranz dem Anisotropiewinkel 45° zugeordnet [61].

### 3.3.3 Ertragsklassen

Die Definition der Ertragsklassen ist der letzte Schritt bei der Kartierung des Ertrages eines Jahres oder des mehrjährig gemittelten Ertrags. Die Breite der Ertragsklassen und damit (sofern das gesamte Werteintervall durch gleich breite Klassen abgedeckt wird) die Klassenanzahl sowie die Lage der Klassengrenzen bestimmen ganz wesentlich die ausgegliederten Teilflächen.

Bei dem im Rahmen des FAM-Projekts verwendeten Algorithmus (Kap. 3.3.1) wurden vier Ertragsklassen gebildet; zwei zentrale Klassen ungefähr symmetrisch zum Schlagmittel und zwei äußere Klassen, die alle Rasterwerte unterhalb bzw. oberhalb der zentralen Klassen erfassen. Daneben wurden auch Relativertragskarten mit fünf Ertragsklassen mit drei zentralen Ertragsklassen von 85 bis 115 % (relativ zum Mittel der gemessenen gefilterten Ertragswerte) generiert [69]. Andere Autoren (z.B. BLACKMORE AND MARSHALL [26]) und viele Hersteller von Ertragskartierungssoftware (z.B. KEMIRA) verwenden oft bis zu 10 Ertragsklassen (vgl. Abb. 2). Die Wahl der Klassengrenzen wird nicht begründet.

Vorhandene Ansätze einer systematischen Klasseneinteilung unter Berücksichtigung statistischer und ökonomischer Aspekte werden in Kap. 8 diskutiert.

### 3.3.4 Darstellung mehrjähriger Trends der räumlichen Ertragsverteilung

Für Precision Farming ist eine langfristige Betrachtung der Ertragsverteilung in einem Schlag von Bedeutung, also sowohl die mittlere Ertragsverteilung im Betrachtungszeitraum als auch die zeitliche Ertragsvariation (bzw. komplementär dazu die Ertragsstabilität). BLACKMORE [25] beschreibt ein Verfahren der Mittelung der relativen Ertragswerte in % zum Schlagmittel in den Einzeljahren für jeden Rasterpunkt zur Erstellung einer Karte des räumlichen Trends (*spatial trend map*). Zur Beschreibung der zeitlichen Ertragsstabilität (*temporal stability map*) wird für jeden Rasterpunkt der Variationskoeffizient der relativen Erträge ermittelt. Beide Parameter wurden anschließend zu einer Bewirtschaftungskarte (*classified management map*) zusammengeführt.

Im Rahmen des FAM-Projekts wurde die Ertragsstabilität durch lineare einfache bzw. multiple Korrelationsanalyse der relativen Rastererträge entweder zweier Jahre oder eines Zieljahres zu mehreren vorangehenden Jahren bestimmt. Die Ertragsstrukturen erwiesen sich als relativ stabil (AUERNHAMMER 1997 in: JÜRSCHIK, GIEBEL UND WENDROTH [38]. Untersuchungen von JÜRSCHIK, GIEBEL UND WENDROTH [38] zeigten wie die im Rahmen des FAM gemachten eine Zunahme der Korrelation mit der Rastergröße, aber auch eine Abhängigkeit der Korrelation von der Art der Rasterberechnung (größte Korrelation bei einfacher Rastermittelwertbildung) und von der Lage der Rasterfelder (im Vorgewendebereich geringere Korrelation).

Als Zwischenfazit aus der gesichteten Literatur bleibt festzuhalten, dass die auf die lokale Ertragsermittlung einwirkenden Störfaktoren zwar bekannt sind, aber ihre Größenordnung bisher nur ansatzweise und an einer eng begrenzten Anzahl von Datensätzen systematisch untersucht wurde. Algorithmen zur Verbesserung der durch die Störfaktoren beeinträchtigten Qualität der Ertragsdaten wurden von einigen Autoren zwar konzipiert, aber nur an einer relativ geringen Zahl von Datensätzen getestet. Vor allem sind die genannten Verfahren teilweise nur auf bestimmte Datenformate anzuwenden. Die Wahl der verwendeten Kriterien erscheint oft als willkürlich.

Für die Umsetzung der georeferenzierten Ertragsmesswerte in Ertragskarten existieren mehrere Möglichkeiten; diese variieren in der Rasterwertberechnungsmethode (arithmetisches Rastermittel, Potential Mapping oder Kriging- bzw. Inverse-Distanz-Interpolation), in der Darstellungsform (Rasterpolygone oder Konturen) und in der Zahl und Breite der Ertragsklassen. Ein festgelegter Standard für die höchstzulässige räumliche (nach Rastergröße bzw. Interpolationsreichweite) und statistische (nach Ertragsklassen) Auflösung existiert nicht, da die einschlägigen Fehlergrößen nicht ausreichend quantifiziert sind.

## 4 Ziele der Arbeit

In Kapitel 3 wurde gezeigt, dass der Kenntnisstand über die Ertragsmessfehler, d.h. über ihre Größe zur Zeit noch zu gering ist, um die Parameter für die Ertragskartierung sinnvoll festlegen zu können.

In der vorliegenden Arbeit soll daher eine systematische Quantifizierung der Fehler bei der lokalen Ertragsermittlung im Mähdrescher vorgenommen werden. Dies erfolgt in einem ersten Schritt durch experimentelle Untersuchungen der Durchsatzmessung und Ortung. In Bezug auf die Durchsatzmessung werden die Versuche unter standardisierten Bedingungen durchgeführt, da die Ergebnisse der beschriebenen Feldversuche zu ungenau waren. Hierzu werden an dem in Kap. 3 genannten Prüfstand umfassendere Analysen in Ergänzung zu denen der DLG-Testreihe (mit verschiedenen Feldfrüchte und mit einer Analyse der Einzeldurchsatzmesswerte) vorgenommen.

In einem zweiten Schritt werden die vorliegenden mehrjährigen lokalen Ertragsdaten gezielt auf die weiteren Fehlergrößen analysiert. Dabei wird auch sowohl anhand der Häufigkeitsverteilungen der Ertragswerte als auch ihrer räumlichen Verteilung (ausgedrückt durch ihre Semivariogramme) sowie durch den Vergleich von Ertragsdaten zweier parallel eingesetzter Ertragsermittlungssysteme versucht, Aussagen über die Qualität der Daten und erforderliche Aggregationsniveaus bei ihrer Weiterverarbeitung ohne Fehlerbereinigung zu machen.

Aufgrund der Ergebnisse der Fehleranalysen soll ein für die vorliegenden Ertragsdatenformate angepasster Bereinigungsalgorithmus entwickelt werden. Hierbei wird versucht, den Algorithmus so zu gestalten, dass er für alle denkbaren Formate anwendbar ist. Der Algorithmus wird anhand der vorliegenden Ertragsdaten getestet und die bereinigten Ertragsdaten in gleicher Weise wie die unbereinigten statistisch und geostatistisch analysiert.

Aufgrund der Ergebnisse der Fehleranalyse und Datenkorrektur soll eine Bewertung der Qualität der bereinigten Ertragsdaten im Sinne einer Abschätzung der Restfehler vorgenommen werden.

Abschließend werden die Ergebnisse in Bezug auf eine sinnvolle Umsetzung der korrigierten Ertragswerte in applikationsrelevante Teilflächen diskutiert. Hierbei sollen insbesondere mögliche Festlegungen von Mindestastergrößen bzw. Interpolationsreichweiten sowie von Ertragsklassenbreiten aufgezeigt werden.

Die im Folgenden beschriebenen Arbeiten wurden im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Teilprojektes der Forschergruppe Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung (IKB) Dürnast durchgeführt.

## 5 Material und Methoden

Im Folgenden werden die Datenquellen, auf denen die Analysen basierten, und die einzelnen Untersuchungsschritte sowie die dabei verwendeten Arbeitsmaterialien (Software und Messgeräte) beschrieben.

### 5.1 Datenquellen

Grundlage der Datenanalysen sind die seit 1995 auf den Schlägen des Staatsgutes Dürnast 2 km nordwestlich von Freising mittels lokaler Ertragsermittlung im Mährescher erhobenen Ertragsdaten.

Tabelle 1 (Anh.) zeigt die Schläge, die Erntefahrten und die Ertragsermittlungssysteme, auf denen die Daten basieren, in einer Übersicht. In dem Zeitraum 1995 bis 2000 wurden insgesamt 360649 Datenstrings bei 48 Erntefahrten auf 16 verschiedenen Schlägen erhoben. Feldfrüchte waren überwiegend Winterweizen (68% der Erntefahrten) und Wintergerste (18%), daneben in geringerem Umfang Erbsen (9%) und (nur 1998) Körnermais (5%). Tabelle 4 zeigt eine Zusammenfassung nach Feldfrüchten und Messsystemen.

**Tabelle 4:** vorhandene Mährescherertragsdaten in Dürnast (n = Anzahl der Datenstrings; Auswertung)

	Ertrag nach Brückenwaage [dt/ha]	Feldfrucht	Ertragsermittlungs- system	Zahl der Er- tragsdaten- sätze
Mittelwert	68,85	Winterweizen	ALYM2000/ALPF3000	251824
Standardabweichung	9,32		Flowcontrol	28304
Mittelwert	48,71	Wintergerste	ALYM2000/ALPF3000	35282
Standardabweichung	13,71		Flowcontrol	11873
Mittelwert	111,81	Körnermais	Claas-Agrocom	1920
Standardabweichung	19,79			
Mittelwert	32,10	Erbsen	ALYM2000/ALPF3000	22825
Standardabweichung	4,12		Flowcontrol	8621

Als Ertragsermittlungssystem kam bei Getreide und Erbsen das Impulsmesssystem von Ag-Leader zum Einsatz, bis einschließlich 1998 mit dem Aufzeichnungsterminal Yield Monitor 2000 installiert auf einem Mährescher der Firma DEUTZ-FAHR, ab 1999 mit dem Terminal PF3000 (mit integriertem Applikationsmodul) auf einem Massey-Ferguson-Mährescher. Parallel dazu wurde auf dem MF-Mährescher das integrierte radiometrische System Dronningborg-Flowcontrol eingesetzt. Dementsprechend liegen bei den meisten Schlägen für die Jahre 1999 und 2000 Ertragsdaten von beiden Systemen vor.

Die Aufzeichnung der Ertragsmesswerte des Ag-Leader-Systems erfolgte 1995 direkt im Textformat auf einen an das Messsystem angeschlossenen PC. Die resultierenden Dateien

besitzen die wichtigsten Attribute des GPGGA (Global Positioning System Fix Data)-Aufzeichnungsstrings für GPS-Empfänger einschließlich sekundengenaue Uhrzeit sowie die 11 von dem Ag-Leader YM2000-Terminal auf externen Datenträger ausgegebenen Attribute (darunter zurückgelegte Fahrstrecke, Fahrgeschwindigkeit, Flächenzählungsstatus und damit Arbeitsstatus, Korndurchsatz, aktueller Ertrag, Kornfeuchte und Korntankladungsnummer) (Abb. 2, Anh.).

In den darauffolgenden Jahren wurden die Daten vom Terminal auf eine PC-Karte in Binärformat abgespeichert. Bei den aufgezeichneten Daten handelt es sich um die Rohmesswerte als Spannungsdifferenzen einschließlich der aktuellen Kalibriereinstellungen des Systems.

Die Binärfiles wurden anschließend auf einen stationären PC geladen und dort über spezielle Ausleseprogramme (AL2000 für die YM2000-Daten und Ag Leader Precision Map 2000 für die PF3000-Daten) zu Textdateien ausgelesen.

Beim Auslesen wurden die Rohmesswerte mittels der Kalibrierwerte zu Ertragswerten verrechnet. Hierbei kommen schon Korrekturalgorithmen zur Anwendung; als Grundeinstellungen des Programmes wurden übernommen:

***Start of Pass Delay 5 sec***

***Stop of Pass Delay 5 sec***

***Operation Delay 12 sec*** (bei AL2000)

bzw.

***Start Run Delay 4 sec***

***Stop Run Delay 4 sec***

***Flow Delay 12 sec*** (bei Precision Map 2000).

Die Ertragswerte (bezogen auf 14 % Standardkornfeuchte), die entsprechenden Feuchtwerte und die zugehörigen absoluten Positionen im WGS84-Format sind Bestandteil der Textfiles.

Diese sind damit arm an Information (Abb. 3, Anh.).

Im Falle des Systems Flowcontrol wurden die Daten bei der Aufzeichnung direkt in dem Ertragsermittlungsmodul der Datavision-Mähdrescherelektronik abgespeichert und wurden mit einer speziellen MF-Datenkarte von einem Datalogger gelesen. Die Daten wurden von der MF-Datenkarte mit dem Programm YIELDMAP zu Textfiles mit den Mindestattributen Position und Ertrag (Abb. 4, Anh.) ausgelesen.

Die Körnermaiserträge wurden mit dem auf dem eingesetzten CLAAS-Mähdrescher installierten System CLAAS agrocom© Terminal (ACT) aufgezeichnet. Die Textdateien wur-

den direkt von dem Lohnunternehmer, der den Körnermaisdrusch durchführte, geliefert. Das dazugehörige Dateiformat zeigt Abbildung 5 (Anh.) Die Datenstrings besitzen neben der Kornfeuchte noch die sekundengenaue Uhrzeit als Attribut.

Zur Fehlerquantifizierung wurden zusätzlich die sogenannten „Ertragsurdaten“ aus Scheyern 1992 herangezogen, da diese neben Position und Ertrag wichtige Attribute wie Zeit, Fahrgeschwindigkeit, Arbeitsstatus usw. beinhalten. Die Daten wurden direkt vom Flowcontrolsystem als Textdateien auf einen Robust-PC auf einem MF-Mähdrescher mit 5,55 m Schneidwerksbreite aufgezeichnet. Das Schneidwerk war mit einer Lichtschranke versehen, die bei Fahrt im Bestand mit abgesenktem Schneidwerk verdunkelt war; war dies der Fall, wurde bei der Aufzeichnung dem Attribut „Arbeitsstatus“ der Wert 0 zugewiesen, ansonsten der Wert 1. Aufgrund der Datenaufzeichnung auf einen externen Datenträger handelt es sich wie bei D01 1995 um nicht nachbearbeitete Daten, an denen sich die Fehler bei der lokalen Ertragsermittlung am klarsten erkennen lassen.

## 5.2 Arbeitsschritte

Im vorliegenden Kapitel werden die Arbeitsschwerpunkte als solches und vor allem die verwendeten Softwaretools und Messgeräte beschrieben. Die Verfahrensweisen im Detail werden in den einzelnen Kapiteln erläutert, da sie oft aus den Ergebnissen anderer Einzelschritte abgeleitet wurden und sich die folgenden Ergebnisse besser nachvollziehen bzw. einordnen lassen.

### 5.2.1 Methoden zur experimentellen Quantifizierung der Fehler

Experimentell wurden die Fehler bei der Durchsatzmessung und bei der Ortung analysiert.

#### 5.2.1.1 *Durchsatzmessung*

Zur experimentellen Analyse der Fehler bei der Durchsatzmessung wurde der von KORMANN [43] entwickelte Prüfstand für Mähdrescherertragsermittlungssysteme eingesetzt. Es handelt sich um zwei auf einen Rahmen montierte, miteinander verbundene Mähdrescherelevatoren, die mit einem Elektromotor in Nenndrehzahl betrieben werden und an denen die Sensoren und Auswertelektronik verschiedener Messsysteme installiert sind. Der in Laufrichtung des Erntegutes erste Elevator ist ein fest eingebauter Elevator mit drei Referenzsystemen (Abb. 6, Anh.), der zweite Elevator ist austauschbar. Auf diese Weise können verschiedene

Systeme zusätzlich zu den Referenzsystemen getestet werden [44]. Das Erntegut läuft aus dem längs abgekippten Hänger mit hinten geöffnetem Schieber in einen Trichter auf der einen Seite und nach Durchlauf durch die beiden Elevatoren auf der anderen Seite auf einem Förderband in eine Silogosse. Der Prüfstand steht auf vier mittels einer Kurbel höhenverstellbaren Füßen, wodurch er bis maximal  $13^\circ$  in der Längs- oder in der Querachse bzw. bis ca.  $7^\circ$  in beiden Achsen gleichzeitig zu neigen ist.

### 5.2.1.2 Ortung

Zur Untersuchung der Genauigkeit der DGPS-Systeme bei bewegten Objekten wurden automatisch zielverfolgende Infrarottachymeter (im Folgenden *Infrarottrackingsysteme* genannt), und zwar 1998 und 1999 das Geodimeter System 4000 der Firma GEOTRONICS und 2000 das TCA 1101 der Firma LEICA, verwendet. Es handelt sich hierbei um mit Servomotoren vertikal und horizontal schwenkbare optoelektronische Distanzmessgeräte (Abb. 7, Anh.), die in der Geodäsie und im Bauwesen verwendet werden. Die Distanz zwischen dem Objektiv des Geräts und einem (im Falle des Geodimeters aktiven, mit einer Leuchtdiode versehenen) Prisma wird mit Hilfe eines emittierten und von dem Prisma reflektierten Infrarotlaserstrahls als Quotient aus Lichtgeschwindigkeit und Laufzeit des Strahls bestimmt.

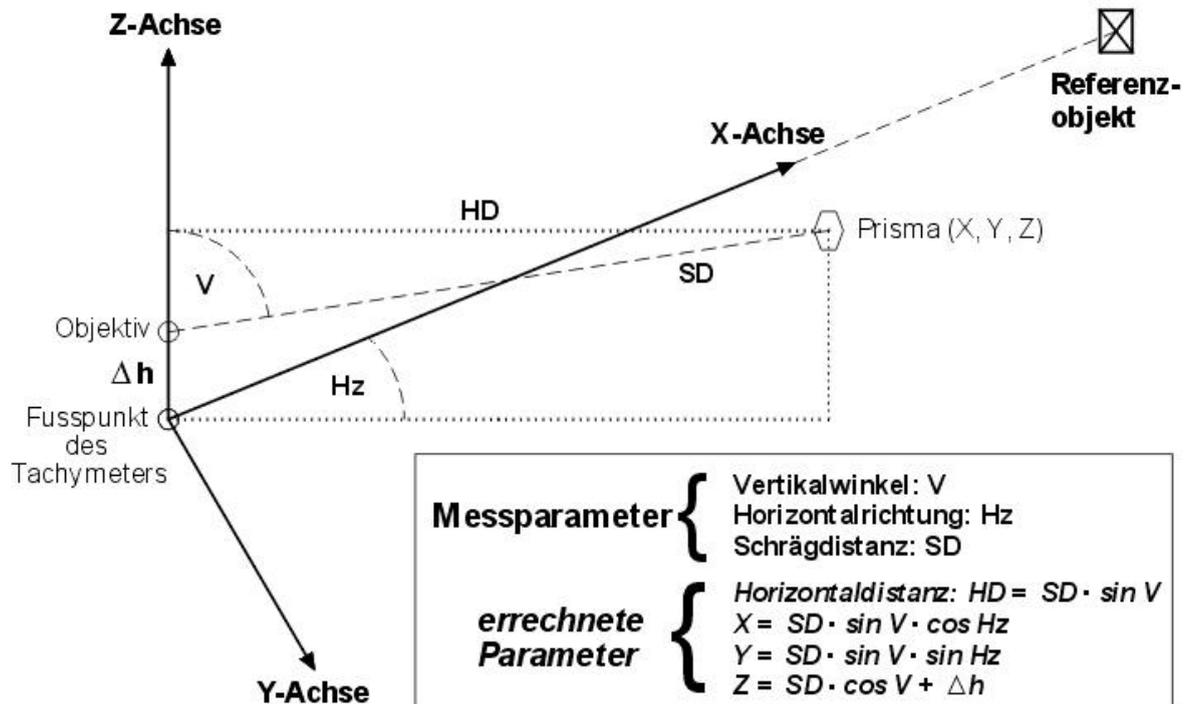
Tachymeter messen direkt folgende Parameter (Abb. 14): die wirkliche Distanz zwischen seinem Objektiv und dem Prisma (Schrägdistanz  $SD$ ), seinen Drehwinkel zur  $z$ -Achse (Vertikalwinkel  $V$ ) und seinen Drehwinkel zur  $x$ -Achse (Horizontalwinkel  $H_z$ ) mit einer Frequenz von 2 – 4 Hz (beim Geodimeter) bzw. 1 – 3 Hz (beim LEICA TCA).

Die  $x$ -Achse ist die Projektion der Verbindungslinie zwischen dem Tachymeterfußpunkt und einem anzuvisierenden Referenzpunkt auf einer auf dem Erdellipsoid liegenden Tangentialfläche.

Aus den Messwerten und der einzugebenden Höhe des Objektivs über dem Fußpunkt lassen sich mittels geometrischer Funktionen die Horizontaldistanz  $HD$  (die Projektion der Schrägdistanz auf die Tangentialebene des Tachymeters) sowie die  $x$ ,  $y$ - und  $z$  Koordinaten des Prismas bezogen auf den Tachymeterfußpunkt berechnen. Beim Geodimeter übernimmt die systeminterne Software automatisch diese Berechnungen.

Neben dem Laserstrahl senden zielverfolgende Tachymeter einen konischen Suchstrahl aus, mit dessen Hilfe sie bei aktivierter Zielverfolgungsfunktion ständig auf das Prisma ausgerichtet sind, auch wenn dieses seine Position verändert (sofern keine Sichtbehinderung

auftritt bzw. die relative Bewegungsgeschwindigkeit des Prismas nicht zu schnell ist), und bestimmen die genannten Parameter.



**Abbildung 14:** Messparameter und errechnete Koordinaten von Infrarottachymetern (Quelle: Lehrstuhl für Landtechnik)

Das Geodimeter System hat nach Angaben des Herstellers eine Genauigkeit in der Distanzmessung von 0,2 bis 1 mm und einen Winkelmessfehler von 4 mgon [63]. Über die Messgenauigkeit des Leica TCA liegen keine Angaben vor; sie dürfte aber in ähnlicher Größenordnung liegen.

Unabhängig von ihrer hohen Messgenauigkeit unterliegen beide Trackingsysteme systematischen Fehlern: zum einen werden die Winkelinkremente (die Veränderung des Horizontalwinkels bei einer bestimmten Bewegungsstrecke des Prismas) mit zunehmender Entfernung des Prismas zum Objektiv kleiner und damit der Einfluss des Winkelmessfehlers größer. Ein weiterer systematischer Fehler ist die nicht genaue Synchronisierung, also nicht exakt zeitgleiche Messung von Schrägdistanz und Horizontalwinkel, was bei bewegtem Objekt zu einem Offset der gemessenen Positionen von der wirklichen Fahrstrecke führt [70]. Beim Geodimeter erfolgt die Winkelmessung im Schnitt 0,232 s nach der Streckenmessung, beim TCA bei eingeschaltetem Neigungskompensator 0,229 s, bei ausgeschaltetem Kompensator 0,121 s.

Dieser Fehler wird von einem in der Skriptsprache MATLAB am Institut für Geodäsie der Technischen Universität München geschriebenen Programm korrigiert.

An demselben Institut wurde zudem festgestellt, dass bei der internen Berechnung von Horizontaldistanz und Raumkoordinaten von der Geodimetersoftware die aktuell gemessenen Winkel mit der Schrägdistanz der jeweils vorangehenden Messung verrechnet werden, was ebenfalls zu einem Offset der Messpunkte führt. Aus diesem Grunde ist es empfehlenswert, die Raumkoordinaten im Post-Processing aus den Messparametern zu berechnen. Dies wird von dem genannten MATLAB-Skript ebenfalls übernommen.

### 5.2.2 Methoden der Rohdatenanalyse und -bereinigung

Die verfügbaren Ertragsdaten aus Dürnast der Erntejahre 1995 bis 2000 wurden als eine Tabelle in einer relationalen Datenbank des Datenbanksystems DB2 auf einem in der Versuchsstation stehenden Server abgelegt. Das Gleiche gilt für die Ertragsurdaten aus Scheyern. Hierzu wurden die einzelnen Textfiles in eine Microsoft Access-Datenbank importiert und von dort in die verknüpfte DB2-Tabelle eingefügt. Vor der Einfügung in die DB2-Tabelle wurden die Ertragswerte mit einem Korrekturfaktor multipliziert, um eine eventuelle unzureichende Systemkalibrierung auszugleichen bzw. im Falle der Flowcontrol-Daten die Ertragswerte auf 14 % Standardfeuchte zu korrigieren. Die Brückenwaagengewichte wurden hierzu nach der Formel

$$m_{\text{Brückenwaage}(14\%H_2O)} = m_{\text{Brückenwaage}(\text{aktuelle Feuchte})} * (1 - (\text{Feuchte}_{\text{akt.}} - 14) / (100 - 14)) \quad (5-1)$$

(mit m = Masse in kg)

auf 14 % Standardfeuchte korrigiert. Der Korrekturfaktor errechnete sich nach:

$$KF = m_{\text{Brückenwaage}(14\%H_2O)} / m_{\text{System}(\text{aktuelle Feuchte})} \quad (5-2)$$

Bei den systemintern feuchtekorrigierten Ag-Leader-Werten wurde eine unzureichende Kalibrierung sowohl des Durchsatzsensors als auch des Feuchtesensors nach der Formel

$$KF = m_{\text{Brückenwaage}(14\%H_2O)} / m_{\text{System}(14\%H_2O)} \quad (5-3)$$

korrigiert.

Abbildung 8 (Anh.) zeigt die Struktur der DB2-Tabelle. Da die Ertragsdaten aller Erntefahrten unabhängig von Schlag und eingesetztem Ertragsermittlungssystem in der Datenbanktafel gespeichert wurden, musste jeder Datenstring für die durchzuführenden Analysen und Bereinigungen der entsprechenden Erntefahrt und dem jeweiligen Ertragsermittlungssystem zugeordnet werden. Die Spalten Schlag, Jahr, Ertragsermittlung und Feldfrucht wurden daher als „not NULL“ (d.h. jeder String mit einem obligatorischen Datum in den entsprechenden

Spalten) definiert. Die Beschriftung der anderen Spalten war dagegen optional, d.h. wo die entsprechende Information nicht vorhanden war, blieben die entsprechenden Zellen leer.

Die Analyse der in der Datenbank abgelegten Ertragsdaten in statistischer Hinsicht und in Bezug auf weitere Fehlergrößen sowie ihre Bereinigung wurde mittels der Datenbankabfragesprache SQL (**Structured Query Language**) durchgeführt. Bei SQL-Befehlen werden zwei grundlegende Typen unterschieden (vgl. VAN DER LANS [73]):

Zum einen einfache *Auswahl- (Select-) abfragen*, durch die dem Anwender bestimmte Teile einer Datenbanktabelle oder statistische Kennzahlen bestimmter numerischer Variablen in der Tabelle in Form temporärer Ergebnistabellen visualisiert werden. Eine solche Abfrage gliedert sich grundsätzlich in eine SELECT-Komponente zur Auswahl von Spalten bzw. Spaltenfunktionen (wie z.B. Anzahl oder statistische Kennwerte aller Werte einer Spalte), eine FROM-Komponente zur Spezifikation der abzufragenden Tabelle und eine WHERE-Komponente zur Eingrenzung der Anzeige auf Zeilen (= Datenstrings), die definierte Bedingungen erfüllen. Die Syntax einer einfachen select-Abfrage lautet:

```
select <Spaltenname>, <Spaltenname>,... / <Funktion>(<Spaltenname>),
<Funktion>(<Spaltenname>),...
from <Tabellenname>
where <Bedingung> {and <Bedingung>...}
```

Sollen Spaltenfunktionen der Datenstrings in gruppierter Form abgefragt werden, wird dies mit der GROUP BY-Komponente hinter der WHERE-Komponente erreicht. Bei Angabe mehrerer Spalten sind die Gruppen die möglichen Kombinationen aus den Gruppen nach den einzelnen Spalten:

```
group by <Spaltenname>, <Spaltenname>,....
```

Bei Angabe eines Wildcard (\*) in der SELECT-Komponente und Verzicht auf eine WHERE-Komponente wird die gesamte Tabelle angezeigt:

```
select * from <Tabellenname>.
```

Mehrere select-Abfragen mit derselben Syntax können durch den Befehl UNION miteinander verbunden werden, d.h. die Ergebnisse der Einzelabfragen werden in einer einzigen Ergebnistabelle dargestellt:

```
<Selectabfrage> union <Selectabfrage> union....
```

Auswahlabfragen können in DB2 als sogenannte *Views* abgespeichert werden; diese stellen virtuelle Tabellen dar, deren Zellen keinen Speicherplatz benötigen, da sie nur durch die Abfragesyntax definiert sind, können aber trotzdem ihrerseits wie echte Tabellen abgefragt

werden. Durch diese Prozedur wird die Abfrage von Daten gegenüber einer Abfrage direkt aus der Ursprungstabelle beschleunigt. Ein View wird durch den Befehl:

```
Create view <Viewname> (<Spaltenname>, <Spaltenname>,...)
as select...
```

erstellt. Der Gesamthalt eines erstellten Views wird wie der einer echten Tabelle abgefragt:

```
Select * from <Viewname>
```

Wie bei echten Tabellen sind auch Teilabfragen möglich:

```
Select <Spaltenname>, <Spaltenname>,... from <Viewname>
where <Bedingung>.
```

Der zweite grundlegende Typ sind *Transaktionen*, durch die eine Tabelle als Ganzes oder in Teilen verändert wird. Hierbei wird wiederum zwischen *Tabellenerstellungsabfragen*, *Tabellenänderungsabfragen*, *Löschabfragen* und *Aktualisierungsabfragen* unterschieden.

Bei *Erstellungsabfragen* wird eine Tabelle generiert und die zugehörigen Spalten mit den jeweiligen Datentypen definiert. Die Syntax lautet:

```
Create table <Tabellenname> (<erste_Spalte> <Datentyp>, <zweite_Spalte>
<Datentyp>,..)
```

Durch *Tabellenänderungsabfragen* werden Spalten zu einer Tabelle hinzugefügt und der Datentyp der Spalte definiert:

```
Alter table <Tabellenname> add <Spaltenname> <Datentyp>.
```

*Löschabfragen* führen zur Entfernung einzelner Zeilen aus der Tabelle, die durch eine WHERE-Komponente definiert werden:

```
Delete from <Tabellenname> where <Bedingung>.
```

Mit *Aktualisierungsabfragen* werden die Werte einer oder mehrerer Spalten verändert bzw. leere Zellen mit Werten versehen; durch eine WHERE-Bedingung können die betroffenen Zeilen eingeschränkt werden. Die Werte einer leeren Spalte können dabei aus den Werten anderer Spalten jeweils zeilenweise errechnet werden. Die Syntax lautet:

```
Update <Tabellenname> set <Spaltenname> = <alte_Werte>
<Rechenoperation> oder
```

```
Update <Tabellenname> set <Spaltenname> =
<Werte_einer_anderen_Spalte> <Rechenoperation> oder
```

```
Update <Tabellenname> set <Spaltenname> = <neuer_Wert>
(WHERE <Bedingung>).
```

Die verschiedenen Abfragetypen können in vielfältigster Weise modifiziert und miteinander verschachtelt werden, weshalb SQL ein sinnvolles Instrument für die durchzuführenden Analysen war. Nähere Einzelheiten zu den Möglichkeiten von SQL würden weit über den Rahmen der vorliegenden Arbeit hinausgehen. Deshalb sei hierzu auf das SQL-Lehrbuch von VAN DER LANS [73] verwiesen.

Je nach Verwendungsweise wird zwischen *interpretierendem* und *embedded* SQL unterschieden. Beim *interpretierendem* Modus werden die SQL-Befehle vom Benutzer an einer Oberfläche (wie z.B. der DB2-Befehlszentrale oder MS-ACCESS) eingegeben und direkt von der Oberfläche aus ausgeführt. Das Ergebnis wird unmittelbar am Bildschirm angezeigt. Im Falle von ACCESS können die Abfragen gespeichert und direkt vom Abfragemenü per Mausklick gestartet werden. Beim *embedded*-Modus sind die SQL-Anweisungen in eine Programmiersprache eingebettet und werden mit dem Ablaufen eines Programms bzw. Skriptes automatisch ausgeführt, ohne dass das Ergebnis direkt auf dem Bildschirm erscheint. Im Falle der Skriptsprache PERL stellen die SQL-Befehle Variablenwerte dar, die vom Skript gespeichert und (evtl. mehrmals) ausgeführt werden. Genauso können bestimmte in den SQL-Abfragen verwendete Parameter (wie z.B. Tabellennamen, Werte für WHERE-Bedingungen etc.) als Variablen des Skriptes definiert werden; die Variablenwerte werden nach Start des Skriptes durch den Anwender von der Shell aus eingegeben oder aus einer Textdatei gelesen, vom Skript gespeichert und in den Abfragen verwendet. Die Ergebnisse einer Abfrage mit embedded SQL können von PERL in eine Textdatei geschrieben werden.

In der vorliegenden Arbeit wurden einfache Auswahlabfragen als gespeicherte Abfragen in einer ACCESS-Datenbank ausgeführt, nachdem in dieser eine Verknüpfung zur DB2-Tabelle erstellt wurde. Die Abfrageergebnisse wurden von Microsoft ACCESS aus in bestimmte Formate, z.B. in Exceltabellen oder dBase-Tabellen zur weiteren Bearbeitung exportiert. Einzelne Transaktionen wurden von der DB2-Befehlszentrale aus gestartet. Komplexere Operationen mit mehreren aufeinanderfolgenden Transaktionen, wie z.B. die Algorithmen der Positionskorrektur und Ertragsdatenbereinigung, wurden dagegen in Form von PERL-Skripten mit eingebetteten SQL-Anweisungen durchgeführt. Die Skripte wurden auf dem lokalen Rechner im Editor UltraEdit geschrieben, über das Programm WS FTP95-LE auf den Server kopiert und über Telnet als Shell vom lokalen Rechner aus gestartet.

Die Arbeitsschritte der Datenanalyse waren folgende:

1. Die Korrektur der Positionsdaten, da nur durch eine korrekte Georeferenzierung eine Zuordnung der Ertragswerte zu den Fahrspuren möglich ist; die Korrektur erfolgte mit embedded SQL in einem Perl-Skript;
2. die Zuordnung der Datenstrings zu Segmenten im Sinne von BLACKMORE AND MOORE [28], um die Werte der Maschinenbefüll- und Maschinenentleerzeiten sowie Ausreißerwerte im statistischen Sinne identifizieren zu können. Bei den Daten ohne genaue Uhrzeit bzw. ohne Angabe des Arbeitsstatus konnte keine Zuordnung zu Segmenten erfolgen, sondern die Datenstrings wurden stattdessen behelfsmäßig Fahrspuren als Abschnitten zwischen zwei Wendemanövern zugeordnet (ebenfalls mit embedded SQL);
3. die statistische Analyse der unbereinigten Ertragswerte, um die Auswirkungen der Datenbereinigungen hinterher beurteilen zu können;
4. die Analyse der unbereinigten Ertragsdatensätze einschließlich der Ertragsurdaten auf bestimmte Fehler;
5. neben der Analyse der Daten als solche wurden die Daten der beiden parallel eingesetzten Ertragsermittlungssysteme bei den entsprechenden Erntefahrten verglichen. Ein Vergleich der Einzelmesswerte machte aufgrund der unterschiedlichen Aufzeichnungsfrequenz und damit Positionen der Ertragswerte bei dem Messrauschen der Durchsatzmessung (vgl. Kap. 3.1.2) wenig Sinn; daher wurden nur die relativen arithmetischen Rasterertragsmittel auf Basis unterschiedlicher Rastergrößen bei beiden Systemen verglichen. Diese wurden in PC-ARC/INFO mit Hilfe eines Turbopascal-Programmes errechnet und in eine Textdatei geschrieben. Bei der Errechnung der Rasterwerte erfolgte eine Grobfilterung der Ertragsmesswerte nach Unter- und Obergrenze; dadurch sollte verhindert werden, dass die Ergebnisse zu sehr durch Ausreißer, die aufgrund der unterschiedlichen Aufzeichnungsintervalle bei beiden Systemen an verschiedenen Punkten auftreten können, bzw. durch die unterschiedliche Filterung der jeweiligen Befüll- und Entleerzeitwerte beim Auslesen der Daten verfälscht werden. Die Strings dieser Textdatei wurden über Access in einer Tabelle in der DB2-Datenbank abgelegt. Die Analyse der Rasterwerte erfolgte in Access in Form von SQL-Selectabfragen;
6. geostatistische Analysen, also Analysen der Semivarianzen der Ertragswerte sollten ebenfalls dazu dienen, die Auswirkungen der Messfehler insbesondere auf die Parameter für die Kriging-Interpolation zu zeigen. Die Analysen erfolgten mit dem Programm *GS+ Geostatistics for the Environmental Sciences 5.11*. Hierzu wurden die Ertragswerte und die korrigierten Positionswerte der einzelnen Schlagjahre mit einer SQL-Auswahlabfrage

in Access aus der Datenbank abgefragt, das Ergebnis in eine Exceldatei exportiert und diese in GS+ als Datenblatt importiert;

7. eine Eliminierung und gegebenenfalls Neuinterpolation von Ertragswerten, die aufgrund bestimmter Kriterien als fehlerhaft eingestuft wurden, mit embedded SQL in einem Perl-Skript;
8. schließlich eine statistische und geostatistische Analyse der bereinigten Ertragsdaten, um die Effektivität des Bereinigungsalgorithmus zu testen, die Restfehler abschätzen und anschließend Aussagen über sinnvolle Kartierungsparameter machen zu können.

## 6 Experimentelle Fehleranalyse für die lokale Ertragsermittlung

Die Durchsatzmessung und die Ortung sind neben der Bestimmung der Flächenleistung die zentralen Vorgänge bei der Ertragsermittlung und lokalen Zuordnung. Die dabei auftretenden Fehler haben entscheidenden Einfluss auf die Qualität lokaler Ertragsdaten.

### 6.1 Fehler bei der Durchsatzmessung

Die Bestimmung der Fehler bei der Durchsatzmessung wurde entsprechend der DLG-Versuchsreihe vorgenommen, aber auch auf andere Druschfrüchte außer Weizen (Gerste, Roggen, Körnermais und Raps) ausgedehnt. Außerdem wurden neben Versuchen mit konstanten Kornströmen solche mit variablen Durchsätzen durchgeführt. Zusätzlich wurden die aktuell von verschiedenen Systemen aufgezeichneten Durchsatzwerte bei einigen Versuchen aufgezeichnet, um das Messrauschen quantifizieren zu können.

#### 6.1.1 Durchführung und Auswertung der Prüfstandsversuche

Bei jedem Versuch wurde eine Gesamtmenge von 1 t durch Öffnung des Schiebers aus dem auf vier elektronischen Radlastwaagen stehenden abgekippten Hänger gelassen. Diese Menge wurde durch den Prüfstand geschickt und die Messergebnisse der Systeme (also die über die Versuchszeit integrierten Durchsätze) mit der Gewichts-differenz Anfangs- zu Endgewicht auf den Radlastwaagen als Referenzgewicht verglichen. Die Radlastwaagen haben nach Angaben von Dr. STANZEL (Landesanstalt für Landtechnik) bei den Bedingungen, unter denen die Versuche durchgeführt wurden (praktisch ebener Untergrund aus Beton) einen systematischen Fehler von maximal 2%, was bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen ist. Von einer sehr zeitaufwendigen Gegenwiegung auf der Brückenwaage nach jedem Durchlauf wurde aufgrund der Vielzahl der Versuche, für die jeweils nur sehr begrenzte Zeiträume zur Verfügung standen, abgesehen. Vor den eigentlichen Versuchen wurden fünf Durchläufe mit einem wahren Durchsatz von ca. 20 t/h zur Kalibrierung der Systeme auf die entsprechende Feldfrucht gemacht. Für die Systeme wurde aus den fünf relativen Abweichungen zu den Referenzgewichten und dem aktuell eingestellten Kalibrierfaktor ein neuer Kalibrierfaktor berechnet nach der Formel:

$$KF_{\text{neu}} = \text{Referenzgewicht} / \text{Gewicht}_{\text{System}} * KF_{\text{alt}} \quad (6-1)$$

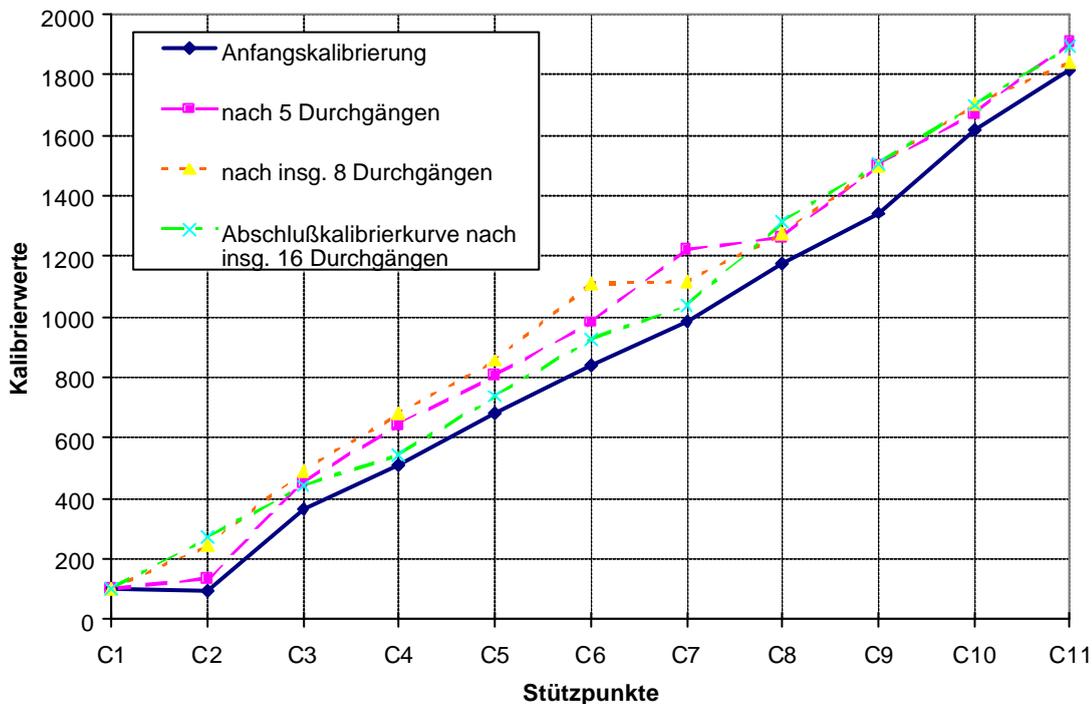
Eine Erhöhung des Kalibrierfaktors führt dabei zu einer Erhöhung des gemessenen Durchsatzes bei einem bestimmten realen Durchsatz und wurde demnach vorgenommen, wenn das System unter dem alten Faktor im Mittel den Gutsstrom unterschätzt.

Im Falle des *Greenstar*-Systems ist der Einfluss des Kalibrierfaktors reziprok, d.h. ein neuer Kalibrierfaktor wurde nach der Formel

$$KF_{\text{neu}} = \text{Gewicht}_{\text{System}} / \text{Referenzgewicht} * KF_{\text{alt}} \quad (6-2)$$

berechnet.

Das Ag-Leader-System kann nach Eingabe der wirklichen Gewichte zu einer selbständigen Neukalibrierung veranlasst werden, bei der die Sensorwerte der Stützpunkte der Kalibrierkurve neu berechnet werden. Mit Hilfe der Kalibrierkurve ordnet die systemeigene Software den Sensorwerten bestimmte Durchsatzwerte zu. Um die Kurve den unterschiedlichen Durchsätzen anzupassen, wurden für das Ag-Leader-System entsprechend der Betriebsanleitung zusätzlich zu den fünf Durchläufen mit 20 t/h jeweils zwei weitere Kalibrierdurchläufe mit 10, 15, 25 und 30 t/h gefahren. Die Kurve nach Ende einer Kalibrierung des Ag-Leader-Systems zeigt Abbildung 15.

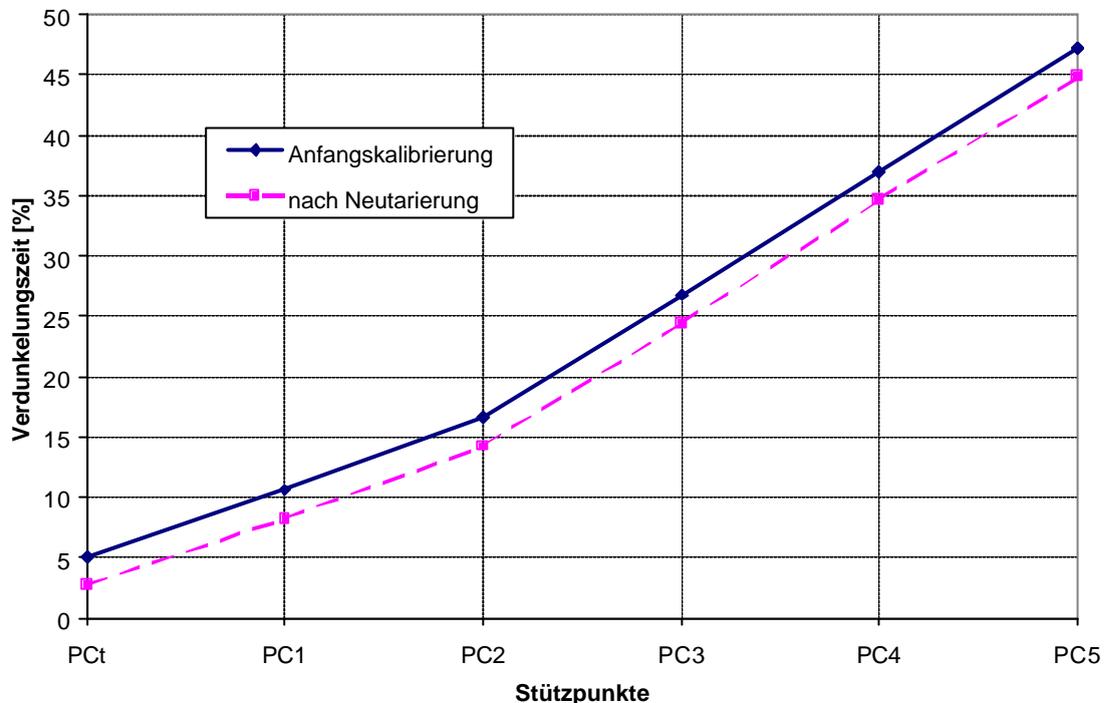


**Abbildung 15:** Kalibrierkurven von Ag-Leader YM2000 nach den Versuchsdurchgängen zur Messsystemkalibrierung vor den Prüfstandsversuchen auf Roggen

Die Stützpunkt C1 ist der manuell einzugebende Dämpfungswert zur Kompensation der Eigenschwingungen der Prallplatte durch die Maschinenvibration, die sonst als Gutstrom erfasst würden [44].

Es zeigt sich, dass nach Abschluss der Kalibrierung die Kurve vor allem in den unteren Bereichen nach oben verschoben wurde.

Bei RDS Ceres2 musste zusätzlich zu der fruchtartsspezifischen Kalibrierung eine Kalibrierung der Dunkelzeit vorgenommen werden. Hierzu ist in der Software dieser Systeme eine Kalibrierkurve mit sechs Stützpunkten hinterlegt, die prozentuale Verdunklungszeiten einzelnen Volumenströmen zuordnen (Abb. 16).



**Abbildung 16:** Kalibrierkurven von RDS Ceres vor und nach einer Neutarierung

Der Stützpunkt PCt beschreibt dabei die Verdunklungszeit bei Nulldurchsatz, also die Tara, die nur durch die Elevatorpaddel hervorgerufen wird. Von Zeit zu Zeit sollte bei Lichtschrankensystemen eine Neueinstellung der Tara durch Leerlaufen des Elevators bei der normalen Betriebsdrehzahl vorgenommen werden. Mit einer Veränderung des Tarawertes verschiebt sich die gesamte Kurve entsprechend nach unten oder nach oben.

Eine Neukalibrierung wurde grundsätzlich vor jeder neuen Versuchsreihe vorgenommen. Bei jeder Versuchsreihe wurden jeweils fünf Versuche für die Durchsatzstufen 10, 15, 20, 25 und 30 t/h, mit den Längsneigungen 5°, 10° und maximale Neigung (ca. 13°) nach vorne und nach hinten, den Querneigungen 5°, 10° und maximale Neigung nach rechts und nach links sowie verschiedenen kombinierten Längs- und Querneigungen durchgeführt.

Der Durchsatz wurde bei jedem Durchlauf mittels einer bestimmten Schieberstellung konstant gehalten; bei den Neigungsversuchen betrug der Durchsatz immer 20 t/h.

Bei den Versuchen mit Weizen wurden die entsprechenden Varianten zusätzlich mit Durchsatzschwankungen innerhalb der einzelnen Durchläufe getestet.

Für die Durchsatzschwankungen wurden drei verschiedene Verläufe ausgewählt (Abb. 9, Anh.):

- Eine „Durchsatzrampe“ mit einem langsamen Anstieg des Durchsatzes von 15 t/h auf den Maximaldurchsatz von 30 t/h und nach 10 sec. wieder auf 15 t/h zurück mit einer jeweiligen Zunahme von + bzw.  $-1,5 \text{ t/h} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- Ein „oszillierender“ Durchsatz mit Schwankungen des Stroms von + und  $-25\%$  um 22,5 t/h (= 75 % des Maximaldurchsatzes) mit einer Sekunde Verharren an den Extremwerten.
- Ein „Step-Flow“ mit sprunghaften Durchsatzveränderungen von ca. 30 t/h zu ugf. 20 t/h zu 30 t/h zu ugf. 7,5 t/h usw. mit 10-sekündigem Verharren bei den Durchsätzen.

Diese Varianten wurden einem von der *American Society of Agricultural Engineering* (ASAE) definierten Teststandard für Ertragsermittlungssysteme [62] entnommen und sollten verschiedene in der Realität auftretende Ertrags- und damit Durchsatzschwankungen simulieren.

Zur Umsetzung dieser Schwankungen wurde an den Schieber des Hängers eine Linearführung montiert, die über eine serielle Schnittstelle mit einem Notebook verbunden wurde und mit Hilfe verschiedener Qbasic-Programme zu einer Veränderung der Schieberstellung veranlasst werden konnte.

Die protokollierten Gewichts-differenzen nach der Radlastwaage und integrierten Durchsätze nach den Systemen wurden in MS-Excel eingegeben und ausgewertet.

Die Größe  $X$  (= relative Messabweichung eines Systems, also die Differenz Gewicht nach Messgerät minus wahres Gewicht in % des wahren Gewichtes) unter den gegebenen Versuchsbedingungen ist als Zufallsvariable mit unendlich vielen möglichen Realisationen zu betrachten (da die Werte Realisationen eines theoretisch unendlich oft wiederholbaren Zufallsexperimentes sind). Unter der Voraussetzung, dass diese Variable mit  $\mu$  und  $\sigma$  normalverteilt ist, kann man sie sich aus zwei Komponenten zusammengesetzt denken:

$$X_{(\text{Kalibrierung, Prüfbedingung, System})} = \mu_{(\text{Kalibrierung, Prüfbedingung})} + Z_{\text{System}} \quad (6-3)$$

(vgl. hierzu Ausführungen von PRECHT, KRAFT UND BACHMAIER [56]).

- Der Erwartungswert  $\mu$  ist eine feste oder systematische, nach Wert und Vorzeichen konstante Größe, die unter denselben Prüfbedingungen, unter denen auch die Kalibrierung vorgenommen wurde (also hier 20 t/h und horizontale Lage des Prüfstandes), als Ergebnis unzureichender Kalibrierung anzusehen ist (relativer Kalibrierfehler); bei abweichenden Prüfbedingungen wird diese Größe um den Einfluss der veränderten Prüfbedingung, also einen systematischen Fehler, verändert (erhöht oder ggf. verringert). Bei optimaler

Kalibrierung unter den Kalibrierbedingungen ist  $\mu$  dann gleich dem systematischen Fehler bedingt durch die Prüfbedingung.

- $Z$  ist eine von Kalibrierung und Prüfbedingung unabhängige, nach Vorzeichen und Wert zufällig (in Abhängigkeit vom Messprinzip und Güte des Sensors bzw. der elektronischen Auswerteeinheit) schwankende, mit 0 und  $\sigma$  normalverteilte Größe.
- Für jede einzelne Realisation gilt demnach:

$$\text{rel. Messabweichung } x_i = \mu_{\text{Prüfbedingung}} + z_i \quad (6-4)$$

Die Standardabweichung  $\sigma$  beschreibt dabei, in welchem Bereich um den relativen Kalibrierfehler rund 68% der Messabweichungen streuen (*relative Messungenauigkeit*) (vgl. PRECHT, KRAFT UND BACHMAIER [56]).

$\sigma$  spiegelt das eigentliche Messrauschen insofern nur sehr bedingt wider, als bei jedem einzelnen der  $n$  Versuche eine Integration über die Zeit stattfindet und sich somit das Messrauschen teilweise aufhebt.

Durch die empirischen Kennwerte arithmetisches Mittel  $\bar{x}$  und Standardabweichung  $S$  bezogen auf  $n = 5$  Versuche pro Versuchsanordnung (also eine Stichprobe der Grundgesamtheit der theoretisch unendlich vielen möglichen Versuche pro Versuchsanordnung) werden  $\mu$  und  $\sigma$  grob geschätzt; als repräsentativer Stichprobenumfang gelten dagegen allgemein  $n \geq 30$  (vgl. BAHRENBERG ET AL [19], PRECHT UND KRAFT [55]). Der Wert  $n = 5$  Versuche wurde von der DLG-Versuchsreihe (s. Kap. 3) übernommen, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, und ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Um das Messrauschen der Systeme bei ungefähr konstantem Durchsatz bzw. ihr Messverhalten bei Schwankungen des realen Gutsstroms zu visualisieren und besser zu quantifizieren, wurden außerdem die aktuellen Gewichtsanzeigen der Radlastwaage und die Durchsatzanzeigen der Systeme Flowcontrol, RDS-Ceres2 und Ag-Leader über eine serielle Schnittstelle auf einem KONTRON-Robust-PC aufgezeichnet. Die Dateien wurden in MS-Excel eingelesen und dort ausgewertet.

### 6.1.2 Ergebnisse

Die wichtigsten Ergebnisse der beschriebenen Versuche werden im Folgenden vorgestellt.

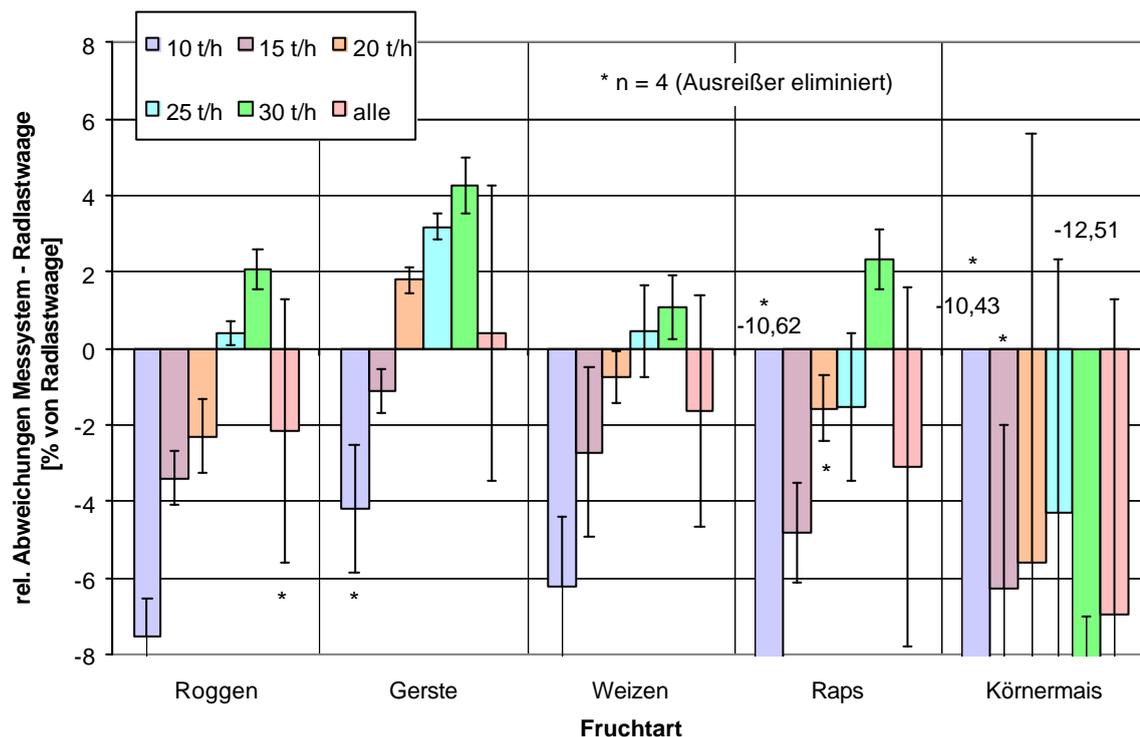
### 6.1.2.1 Gemessene Kornmengen bei konstanten Durchsätzen

Die Ergebnisse der Messungen bei konstanten Durchsätzen werden geordnet nach Messprinzip dargestellt, um die Auswirkungen der verschiedenen Versuchsbedingungen je nach Messprinzip besser beurteilen zu können.

#### 6.1.2.1.1 Radiometrische Durchsatzmessung

Das radiometrische System Datavision-Flowcontrol wurde mit den Feldfrüchten Roggen, Gerste, Weizen, Raps und Körnermais bei konstanten Durchsätzen getestet, bei Weizen auch mit variierenden Durchsätzen. Relative Abweichungen, die nicht innerhalb des Intervalls Mittelwert  $\pm 4s$  (bezogen die übrigen  $n-1$  Werte) liegen, wurden als Ausreißer eliminiert, da sie verfälschend auf die Kennwerte wirken (vgl. BAHRENBURG ET AL [18]). Dieses Verfahren wurde aber nur auf maximal einen Wert beschränkt, da bei Entfernung eines Wertes ein anderer statistisch zu einem Ausreißer werden kann.

Die verschiedenen Durchsätze wirkten sich folgendermaßen aus (Abb. 17):



**Abbildung 17:** Arithmetische Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Massestromsystems Datavision-Flowcontrol bei verschiedenen Durchsätzen und Fruchtarten, Gutsfeuchte 14% (Raps 9%) ( $n =$  fünf Wiederholungen pro Variante)

Bei den Getreidearten ist eine eindeutige Tendenz von Unterschätzung bei niedrigen Durchsätzen zur Überschätzung bei hohen Durchsätzen zu erkennen. Dies ist möglicherweise damit zu erklären, dass die tatsächliche Elevatorgeschwindigkeit mit zunehmendem

Durchsatz abnimmt; damit würde die in die Berechnung des Massestroms eingehende (Nenn-) Geschwindigkeit höher als die tatsächliche. Die mittleren Abweichungen zeichnen dabei annähernd die Kalibrierkurve des Systems für Getreide, bei der es sich um eine Gerade handelt, nach. Die geringsten Abweichungen treten dabei nicht bei 20 t/h, sondern bei 25 (bei Roggen und Weizen) bzw. bei 15 t/h (bei Gerste) auf. Die Streuung bei den Durchsatzstufen liegt im Bereich von  $\pm 1$  bis  $\pm 1,5\%$ . Die mittlere Abweichung über alle Durchsätze liegt bei  $-2\%$  (bei Roggen und Weizen) bzw.  $+0,5\%$  (bei Gerste). Die Gesamtstreuung ist naturgemäß höher.

Bei Raps zeigt sich ein ähnlicher Verlauf wie bei den Getreidearten, allerdings mit negativen Abweichungen bei fast allen Durchsätzen und einer deutlichen Überschätzung mit fast 3% bei 30 t/h.

Die Kurve weist also einen Knick zwischen 25 und 30 t/h auf, was auf eine mangelhafte Anpassung der systeminternen Kalibrierkurve für Raps hindeutet. Bei Körnermais sind alle Abweichungen negativ und zeichnen eine bogenförmige Kurve nach mit einem Betragsminimum bei 25 t/h. Auffallend sind hier die hohen Standardabweichungen, also die hohe Messungenauigkeit, was die Aussagekraft auch der mittleren Abweichungen stark reduziert (hoher Standardfehler, vgl. PRECHT, KRAFT UND BACHMAIER [56]). Offensichtlich sind die physikalischen Eigenschaften des Körnermais nicht mit denen von Getreide und Raps zu vergleichen.

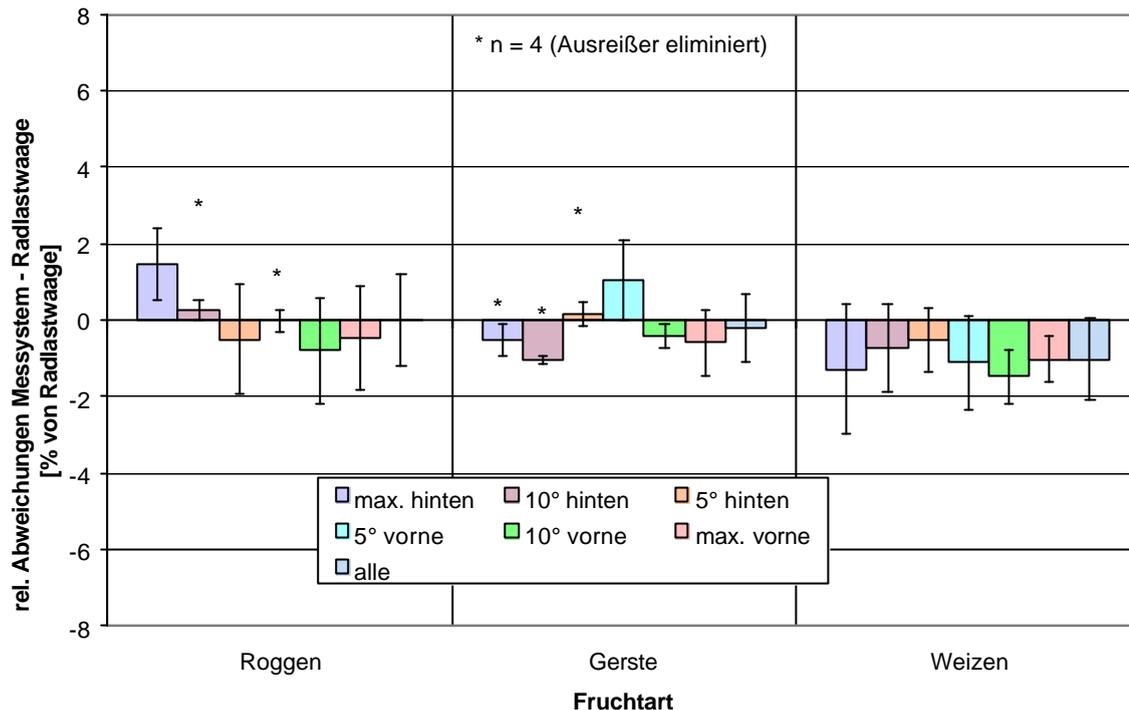
Längsneigungen scheinen keinen wesentlichen Einfluss auf die radiometrische Durchsatzmessung zu haben (Abb. 18).

Die Abweichungen bewegen sich bei fast allen Varianten und Getreidearten im Bereich von deutlich weniger als 2% unter- bzw. oberhalb der Nulllinie.

Eine Systematik der Abweichungen in Abhängigkeit bei den einzelnen Fruchtarten von den Varianten ist nicht zu erkennen.

Bei den Querneigungen (Abb. 10, Anh.) ist ein Trend von deutlicher Unterschätzung bei Linksneigungen zu Überschätzungen bei Rechtsneigungen zu erkennen. Bei den Versuchen mit Gerste ist dieser Trend allerdings sehr schwach ausgeprägt; hier überwiegen im Mittel die positiven Abweichungen.

Die Ergebnisse der Versuche mit Neigungskombinationen zeigt Abbildung 11 (Anh.). Bei Roggen wurden alle vier möglichen Kombinationen mit jeweils  $5^\circ$  in beiden jeweiligen Richtungen durchgeführt, bei Weizen auch mit  $2^\circ$  und  $7^\circ$ .



**Abbildung 18** : Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Massestromsystems Datavision-Flowcontrol bei verschiedenen Längsneigungen und Fruchtarten, Durchsatz 20 t/h (n = fünf Wiederholungen pro Variante)

Bei den Versuchen mit Weizen zeigt sich eine weitgehende Deckung der mittleren Fehler mit den Summen der Fehler aus den jeweils einachsigen Versuchen, wie sie auch zu erwarten wäre.

Bei den Roggenversuchen ist dies nicht der Fall, d.h. es schlägt der bei den einachsigen Versuchen festgestellte Fehler einer Neigungsrichtung bzw. keiner von beiden Richtungen durch, was für eine hohe Zufallskomponente bei den Neigungsversuchen spricht.

Das radiometrische Messsystem zeigt sich somit insgesamt als relativ unempfindlich gegenüber Neigungen, jedoch deutlich empfindlicher gegenüber Veränderungen des Durchsatzes.

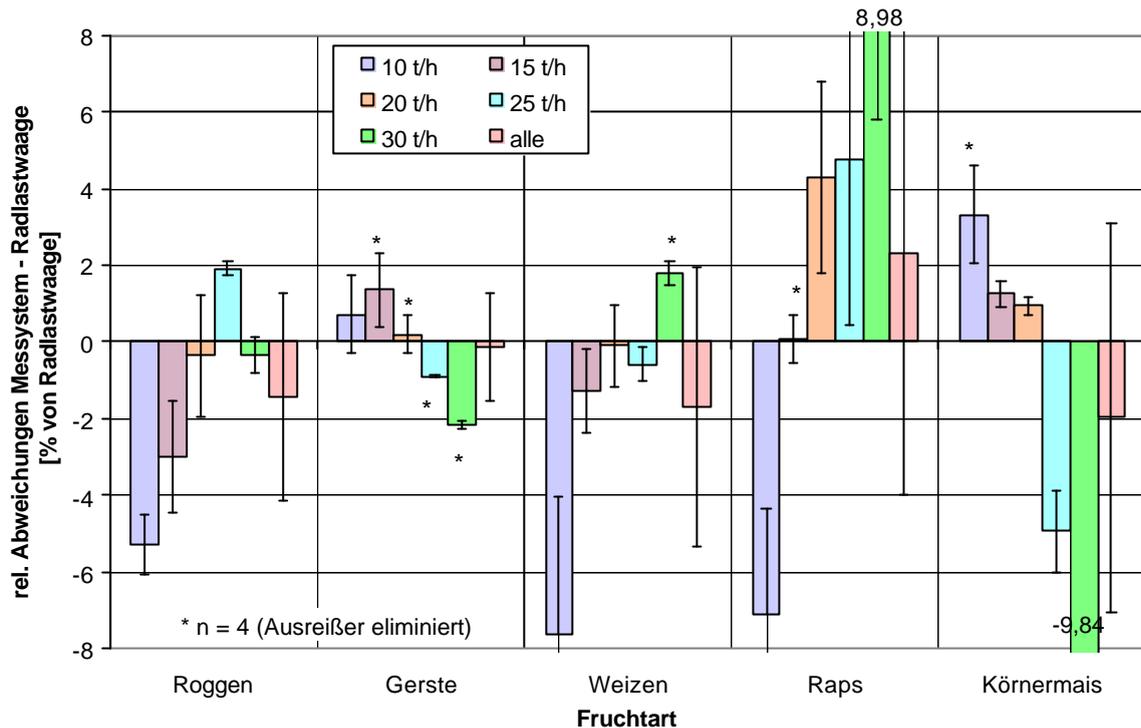
Das System reagiert bei den Getreidearten deutlich anders als bei Raps und bei Körnermais.

#### 6.1.2.1.2 Massestrommessung mit Prallplatte

Als Systeme mit einer Massestrommessung per Prallplatte wurden Ag-Leader YM2000 und GREENSTAR von John-Deere getestet.

Das System Ag-Leader wurde mit denselben Fruchtarten wie Flowcontrol getestet. Die Auswertung erfolgte nach demselben Schema, was auch für die noch im Folgenden genannten Fruchtarten gilt.

Die Auswirkungen der verschiedenen Durchsatzstufen zeigt Abbildung 19.



**Abbildung 19:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Ag-Leader bei verschiedenen Durchsätzen und Fruchtarten ( $n =$  fünf Wiederholungen pro Variante)

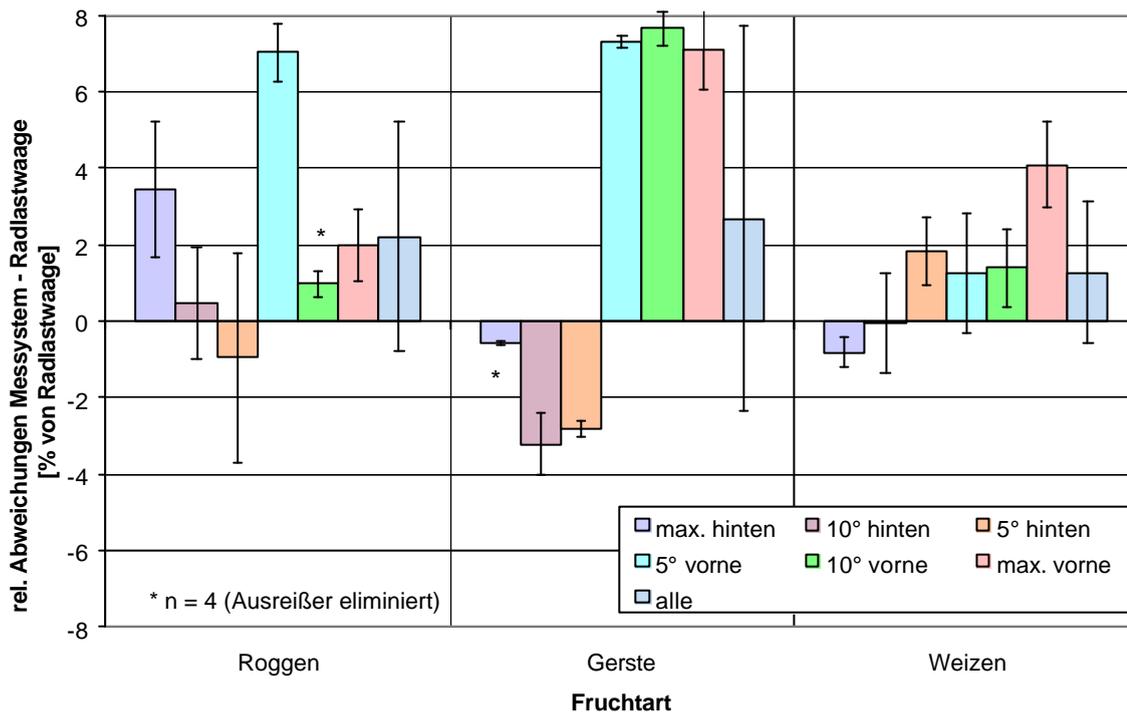
Bei Roggen wird eine gekrümmte Kurve abgebildet, mit einer großen Unterschätzung bei niedrigen Durchsätzen und dem Wendepunkt mit einer Überschätzung bei 25 t/h; die geringsten (negativen) Abweichungen werden bei 20 und 30 t/h erreicht.

Die Kalibrierkurve war offensichtlich nur für diese Durchsätze optimal angepasst; vor allem bei den niedrigen Durchsätzen scheinen zwei Gegenwiegungen unzureichend zu sein, die Kalibrierkurve war offensichtlich zu steil. Bei den Gerstenversuchen deutet sich hingegen ein Trend von einer Überschätzung bei niedrigen zu Unterschätzung bei hohen Durchsätzen an. Allerdings bewegen sich die Abweichungen nur im Bereich von 1%. Für 15 und 30 t/h war die Kalibrierkurve relativ am schlechtesten angepasst. Im Mittel aller Durchsätze heben sich die Abweichungen weitestgehend auf. Bei den Versuchen mit Weizen überwiegen die negativen Abweichungen mit einem Minimum bei 20 t/h. Bei 10 t/h ist die mittlere Abweichung mit  $<-7\%$  ziemlich groß.

Bei Raps ist auffallend, dass bei 15 t/h die Kalibrierkurve optimal angepasst war, während bei den anderen Durchsätzen deutliche mittlere Abweichungen bei hoher Streuung zu verzeichnen ist. Anscheinend reichte der Kalibriervorgang zu einer ausreichenden Anpassung der Kurve an die verschiedenen Durchsätze nicht aus.

Bei den Versuchen mit Mais sprechen die positiven Abweichungen bei niedrigen Durchsätzen und die stark negativen bei hohen Durchsätzen dafür, dass die Kalibrierkurve in den unteren Bereichen eher zu flach und in den oberen deutlich zu steil war.

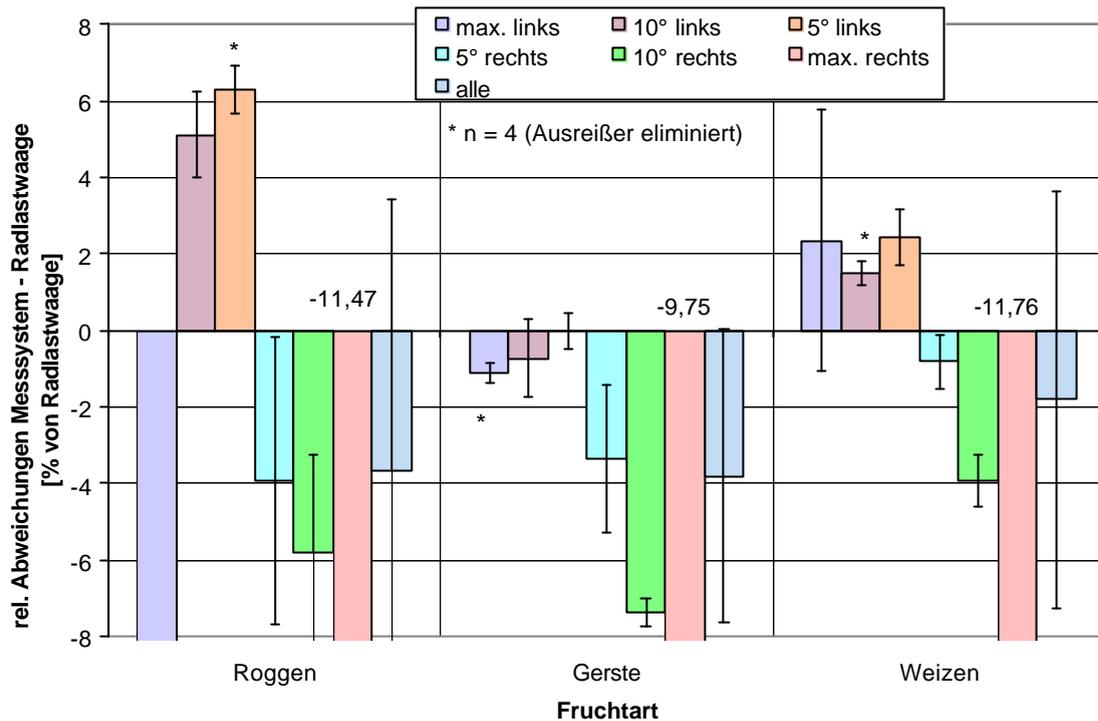
Die verschiedenen Längsneigungen äußern sich bei den Gersten- und Weizenversuchen in einem Trend von Unterschätzung bei Rückwärts- zu Überschätzung bei Vorwärtsneigungen (Abb. 20). Hier zeigt sich der in Kap. 3.1.2 beschriebene systematische Fehler bedingt durch unterschiedlichen Einfluss der Schwerkraft.



**Abbildung 20:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Ag-Leader bei verschiedenen Längsneigungen und Fruchtarten (n = fünf Wiederholungen pro Variante)

Bei den Weizenversuchen ist der Trend jedoch deutlich schwächer als bei den Gerstenversuchen; negative Abweichungen treten nur bei Rückwärtsneigungen von 10° und mehr auf, wohingegen schon bei 5° rückwärts im Mittel eine positive Abweichung auftritt. Bei den Roggenversuchen ist der Trend hingegen nur ansatzweise zu erkennen; das Ergebnis der maximalen Rückwärtsneigung weicht deutlich von dem Trend ab. Im Mittel über alle Längsneigungsvarianten ist der Fehler bei den Getreidearten jedoch sehr ähnlich, die Unterschiede sind nicht signifikant. Die Unterschiede bei den einzelnen Varianten sind daher anscheinend weitestgehend zufällig.

Bei den Querneigungsversuchen (Abb. 21) zeigt sich, dass das System bei Rechtsneigungen den Durchsatz grundsätzlich deutlich unterschätzt.



**Abbildung 21:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Ag-Leader bei verschiedenen Querneigungen und Fruchtarten (n = fünf Wiederholungen pro Variante)

Bei Linksneigungen ist im Falle der Weizenversuche eine schwächer ausgeprägte Überschätzung mit rund 2% festzustellen, bei Roggen in noch stärkerem Maße mit +4 bis +6%, allerdings mit einer starken negativen Abweichung bei maximaler Linksneigung.

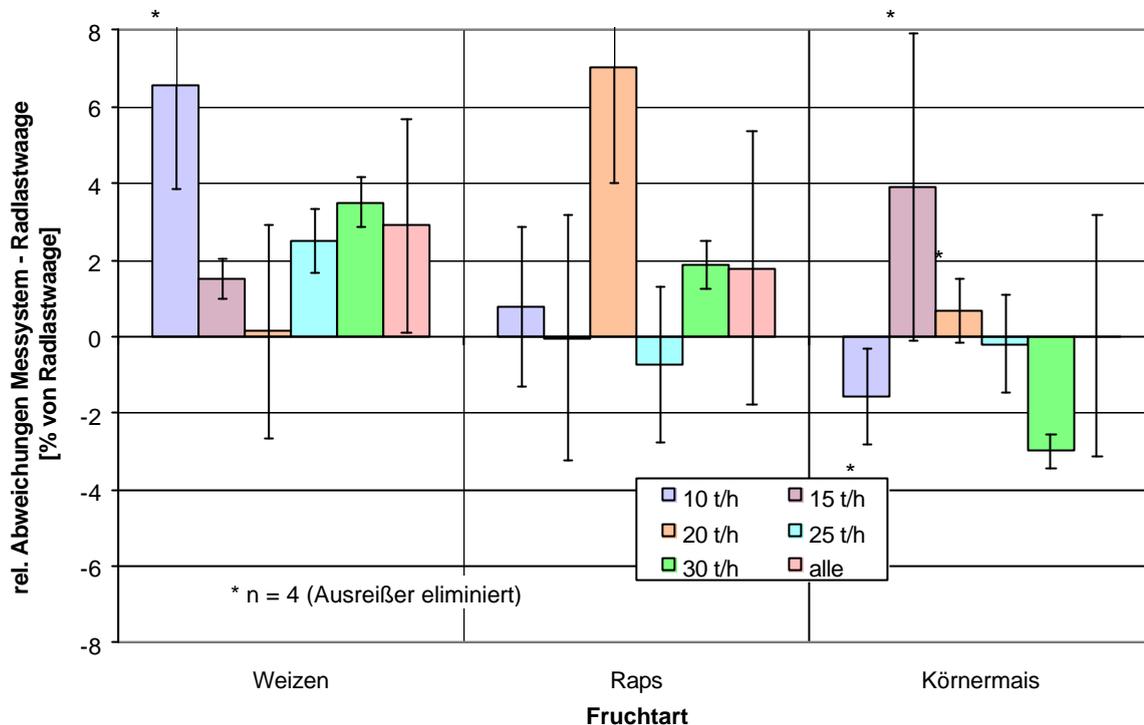
Abbildung 12 (Anh.) zeigt die Ergebnisse der Neigungskombinationen. Hier ist im Gegensatz zu den Ergebnissen von Flowcontrol bei Roggen eine gute Deckung mit den Fehlern der einachsigen Neigungen, dagegen eine schlechtere bei den Weizenversuchen erkennen. Das System wird somit deutlich durch Unterschiede im Durchsatz, durch verschiedene Fruchtarten und durch Neigungen beeinflusst. Die Beeinflussung durch seitliche Neigungen ist physikalisch nicht eindeutig zu erklären; möglicherweise spielt hier eine Veränderung des Kornstromes im Elevatorkopf durch Seitenneigungen eine Rolle.

Das System Greenstar wurde mit Weizen, Raps und Körnermais getestet.

Die Ergebnisse der Versuche mit unterschiedlichen Durchsätzen zeigt Abbildung 22.

Bei Weizen ist der Kalibrierfehler bei 20 t/h sehr gering, wogegen bei niedrigeren und höheren Durchsätzen die Mengen deutlicher überschätzt werden. Die Fehler bilden eine bogenförmige Kurve mit Wendepunkt bei 20 t/h aus, was für eine schlechtere Anpassung der Kalibrierkurve bei niedrigeren und höheren Durchsätzen spricht. Bei Körnermais ist dagegen

keine Regelmäßigkeit der Abweichungen bei den verschiedenen Durchsätzen zu erkennen. Bei Raps ist die hohe Abweichung ausgerechnet bei 20 t/h auffallend, also der hohe Kalibrierfehler, der bei anderen Durchsätzen offensichtlich verringert wird.



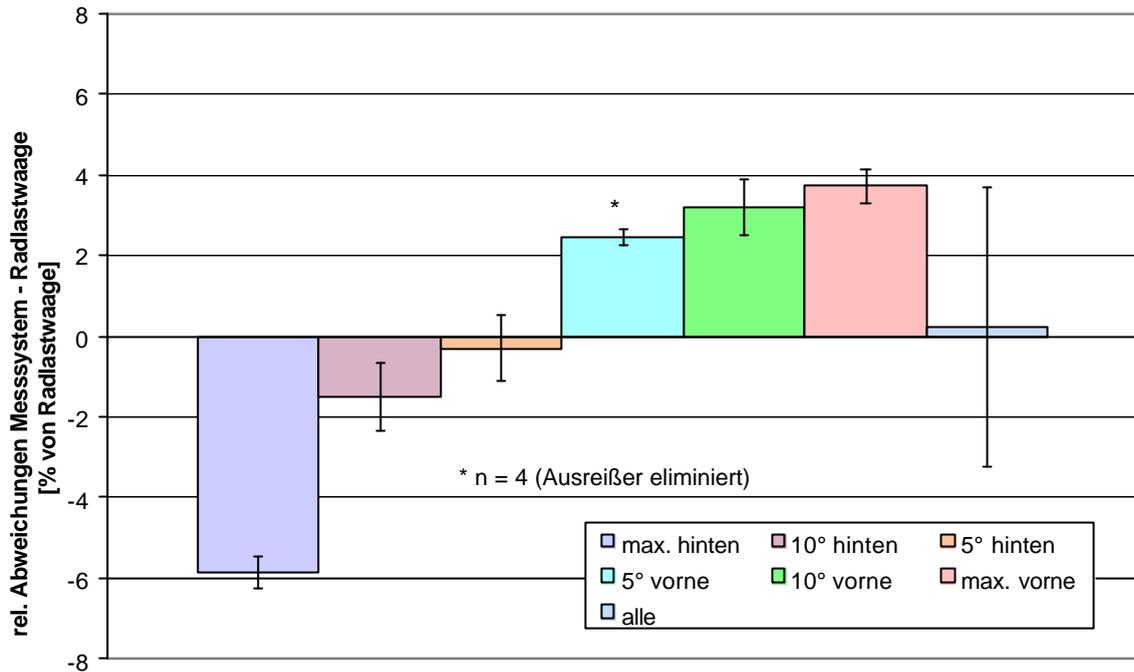
**Abbildung 22:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Greenstar bei verschiedenen Durchsätzen und Fruchtarten ( $n =$  fünf Wiederholungen pro Variante)

Mit verschiedenen Längsneigungen wurde das System nur bei Weizen getestet (Abb. 23).

Es zeigt sich wie bei Ag-Leader aus denselben physikalischen Gründen eine zunehmende Unterschätzung bei Rückwärtsneigungen und eine zunehmende Überschätzung bei Vorwärtsneigungen, auch wenn über alle Neigungen der Effekt der Vorwärtsneigungen stärker ausgeprägt ist.

Bei Querneigungen überwiegen die negativen Fehler, die z.T. deutlich sind. Diese sind möglicherweise mit durch verändertes Strömungsverhalten am Sensor hervorgerufener Abschwächung des Impulses zu erklären (Abb. 13, Anh.).

Abbildung 14 (Anh.) zeigt die Auswirkungen verschiedener Neigungskombinationen. Es zeigt sich nur bei der Kombination  $5^\circ$  hinten und  $5^\circ$  rechts eine annähernde Deckung des mittleren Fehlers mit der Summe der Fehler aus den entsprechenden einachsigen Neigungen. In allen anderen Fällen prägt sich der systematische Fehler einer Neigungsrichtung stärker aus, und bei der Kombination  $5^\circ$  hinten und  $5^\circ$  links prägt sich sogar keine Neigungsrichtung aus.



**Abbildung 23:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Greenstar bei verschiedenen Längsneigungen (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante)

Diese Ergebnisse sprechen für eine hohe Zufallskomponente bei den Versuchen, die bei der Interpretation zu berücksichtigen sind.

Die Fehlereinflüsse auf das Greenstarsystem entsprechen offensichtlich denen des Ag-Leader-Systems; jedoch scheint nach den Ergebnissen der Versuche mit verschiedenen Durchsätzen eine andere Kalibrierkurve im System hinterlegt zu sein.

#### 6.1.2.1.3 Volumenstrommessung mit Lichtschranke

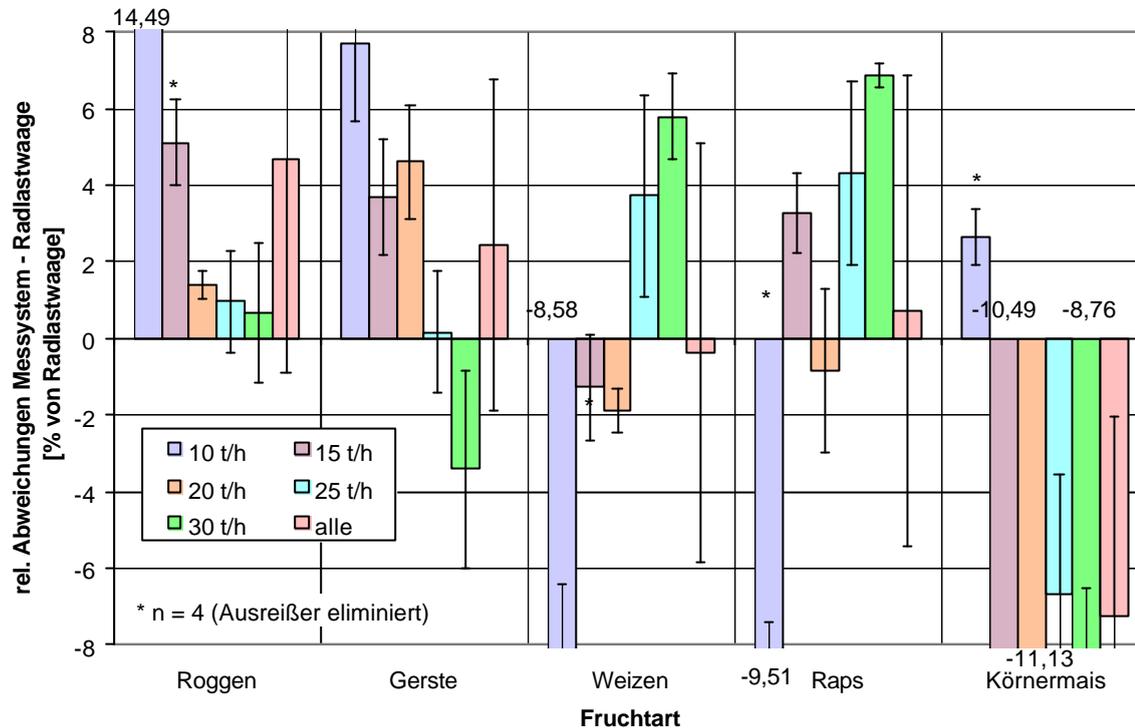
Als mit Lichtschranke operierende Systeme wurden RDS Ceres2 und Claas CEBIS eingesetzt.

Das System RDS Ceres2 wurde bei den Fruchtarten Roggen, Gerste, Weizen, Raps und Körnermais getestet. Die Auswirkungen der Durchsatzstufen zeigt Abbildung 24.

Die mittleren Abweichungen zeigen einen gekrümmten Verlauf mit asymptotischer Annäherung an die x-Achse mit zunehmenden Durchsatz. Die starke Unterschätzung resultiert wahrscheinlich aus einer zu niedrigen Ansetzung der Leerlaufverdunklungszeit PCt (s. Abb. 16); die Kalibrierkurve ist nahe der x-Achse offensichtlich zu steil.

Eine ähnliche Tendenz zeigt sich bei den Untersuchungen mit Gerste; allerdings bildet sich keine asymptotische Kurve ab, und bei 30 t/h wird der Durchsatz im Mittel deutlich unterschätzt. Bei den Weizen- und den Rapsversuchen zeigt sich hingegen ein Trend von

deutlicher Unterschätzung bei niedrigen Durchsätzen zu deutlicher Überschätzung bei hohen, was für eine eher zu hohe Ansetzung des PCt-Wertes spricht.



**Abbildung 24:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des volumetrischen Systems RDS Ceres2 bei verschiedenen Durchsätzen (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante)

Bei den Körnermaisversuchen sind die mittleren Abweichungen bei allen Durchsätzen außer 10 t/h deutlich negativ. Da die PC-Kurve des Systems nur durch Neutarierung nach oben oder nach unten verschoben, jedoch nicht in ihrem Verlauf verändert wurde, legen diese deutlichen Unterschiede zwischen den Fruchtarten eine physikalische Beeinflussung durch die Kornform nahe; dies ist jedoch rein spekulativ, zumal die beschriebenen Versuche der DLG-Testreihe bei RDS-Ceres2 mit Weizen deutlich andere Ergebnisse erbrachten als die im Rahmen dieser Arbeit erzielten Ergebnisse mit Weizen (vgl. KORMANN [44]).

Bei den Versuchen mit den Längsneigungen zeigt das System sowohl bei Roggen als auch bei Gerste eine zunehmende Überschätzung der Kornmengen mit zunehmender Rückwärtsneigung und eine zunehmende Unterschätzung bei zunehmender Vorwärtsneigung (Abb. 15, Anh.).

Bei den Roggen- und den Weizenversuchen verlaufen die mittleren Abweichungen fast bzw. annähernd symmetrisch um die Nulllinie, bei Gerste überwiegen in der Summe eindeutig die negativen Abweichungen bei Vorwärtsneigungen. Dieses Verhalten ist dadurch zu erklären, dass die Lichtschranke nicht genau mittig im Elevator angebracht ist.

Durch die Tatsache, dass der Elevator bei horizontaler Lage schon leicht nach vorne geneigt ist und damit die resultierende Neigung bei Vorwärtsneigung verstärkt, bei Rückwärtsneigung jedoch abgeschwächt wird, müssten die Abweichungen von 0 bei Rückwärtsneigungen dementsprechend geringer sein, was bei den Gerstenversuchen tatsächlich der Fall ist. Anscheinend ist dieser Unterschied zwischen Vorwärts- und Rückwärtsneigung nicht im System berücksichtigt.

Der verfälschende Einfluss der Querneigungen sollte durch die in das System integrierte Querneigungskompensation weitestgehend ausgeglichen werden, was bei den Roggen- und Gerstenversuchen offensichtlich nur unvollständig der Fall war (Abb. 16, Anh.). Bei Roggen zeigt sich eine stark gekrümmte Kurve mit Wendepunkt bei 5° Rechtsneigung (geringster Fehler mit leichter Überkompensation). Besonders die Abweichungen bei 10° und ca. 13° Linksneigung sind mit Überschätzungen von 20 bzw. > 30% auffällig.

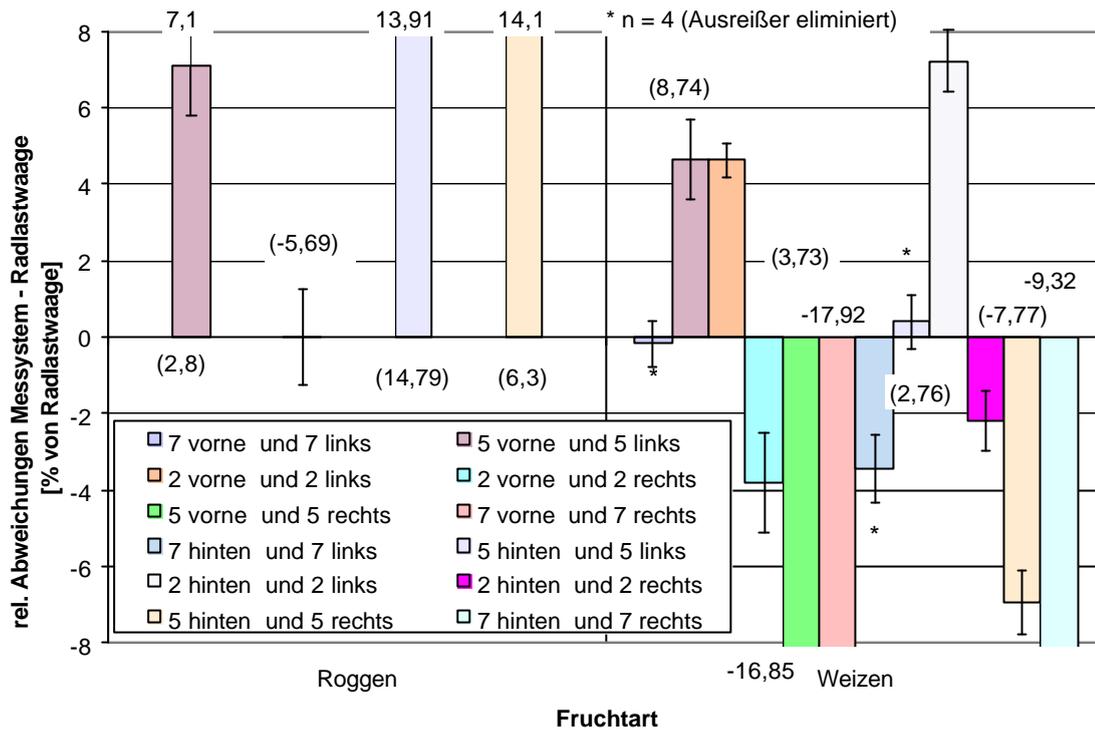
Bei den Gerstenversuchen tendiert das System dagegen eher zu einer leichten Unterschätzung des Durchsatzes bei Rechtsneigungen, was für eine Neigungsüberkompensation spricht. Bei Weizen scheint das System mit zum Teil deutlichen negativen Abweichungen extrem überkompensiert zu haben. Die Abweichungen bei diesen Versuchen zeichnen interessanterweise eine Kurve nach, die der bei Roggen, nur um 180° gedreht, entspricht.

Die Auswirkungen der Neigungskombinationen zeigt Abbildung 25. Auch bei diesem System entsprechen die Ergebnisse nicht in allen Fällen der Summe der Fehler aus den unkombinieren Neigungen. Dies spricht für eine hohe Zufallskomponente bei den Neigungsversuchen.

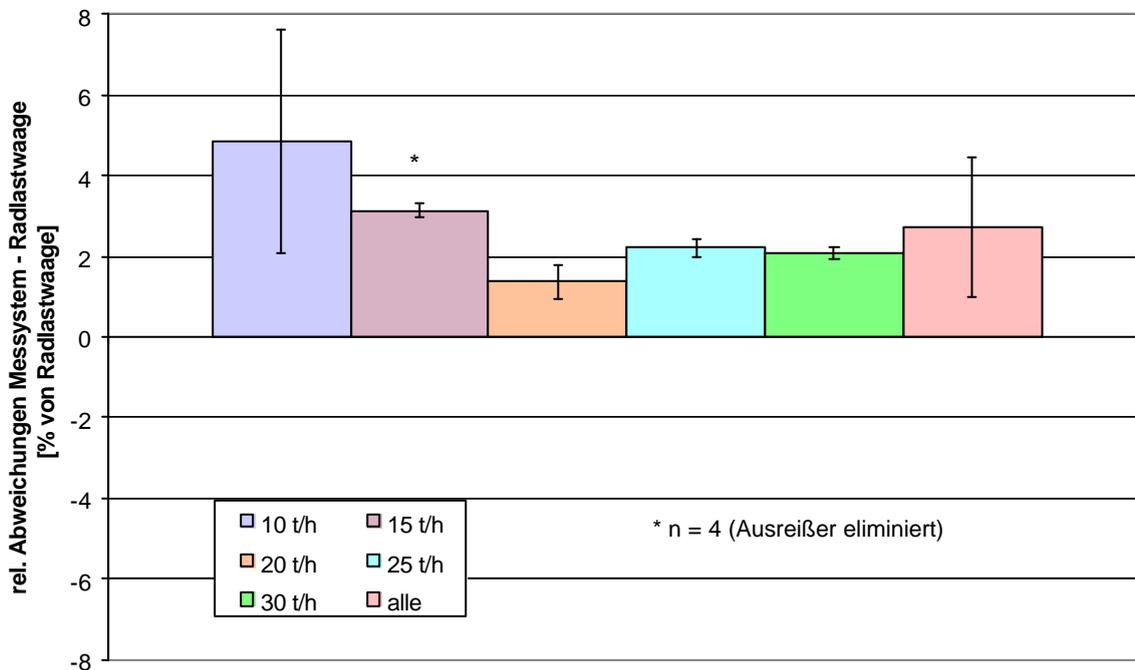
RDS Ceres2 wird von den getesteten Systemen am stärksten durch wechselnde Versuchsbedingungen beeinflusst und ist am schwersten zu kalibrieren. Auch häufigere Kontrolle des Hektolitergewichts des Druschguts scheint unter realistischen Bedingungen bei der Ernte (wechselnder Durchsatz und unterschiedliche Neigungen) nicht zu realitätsnahen Ergebnissen zu führen.

Als weiteres volumetrisches Messsystem wurde Claas-CEBIS mit Weizen getestet. Abbildung 26 zeigt die Ergebnisse der Versuche mit verschiedenen Durchsätzen.

Das System hat bei allen Durchsatzstufen überschätzt. Der relative Kalibrierfehler ist mit 1,37 % bei 20 t/h niedrig, und der systematische Fehlereinfluss der höheren Durchsätze ist mit nur wenig größeren Fehlern unerheblich. Zu den niedrigeren Durchsätzen dagegen steigt die mittlere Abweichung dagegen deutlicher an.



**Abbildung 25:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des volumetrischen Systems RDS-Ceres2 bei verschiedenen kombinierten Neigungen (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante, Summen der Fehler aus den unkombierten Neigungen in Klammern)



**Abbildung 26:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des volumetrischen Systems Claas-CEBIS bei verschiedenen Durchsätzen (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante)

Insgesamt deuten die Abweichungen eine gekrümmte Verdunklungskurve mit zu hoch angesetzten PC-Werten am unteren Kurvenende an. Auffallend ist auch die verhältnismäßig hohe Messgenauigkeit bei 10 t/h im Gegensatz zu den anderen Durchsätzen, was aufgrund der Differenz als nicht zufällig erscheint.

Bei den Längsneigungen fällt ein Anstieg des mittleren Fehlers von einem negativen Wert bei maximaler Rückwärtsneigung bis auf  $> 2,5\%$  bei  $5^\circ$  Rückwärtsneigung auf (Abb. 17, Anh.), was nicht zu erwarten ist. Bei den Vorwärtsneigungen liegen die mittleren Abweichungen bei knapp unter  $-1\%$ . Vergleichbar mit RDS-Ceres2 ist der Trend zur Überschätzung bei Rückwärtsneigungen und zur Unterschätzung bei Vorwärtsneigungen.

Bei den Querneigungen scheint das System die Neigung nicht ausreichend zu kompensieren, nur bei  $5^\circ$  links findet anscheinend eine Überkompensation statt (Abb. 18, Anh.).

Trotz desselben physikalischen Messprinzips misst CEBIS auch bei wechselnden Bedingungen deutlich besser als Ceres2, was nur mit einer anderen im System hinterlegten Kalibrierkurve zu erklären ist.

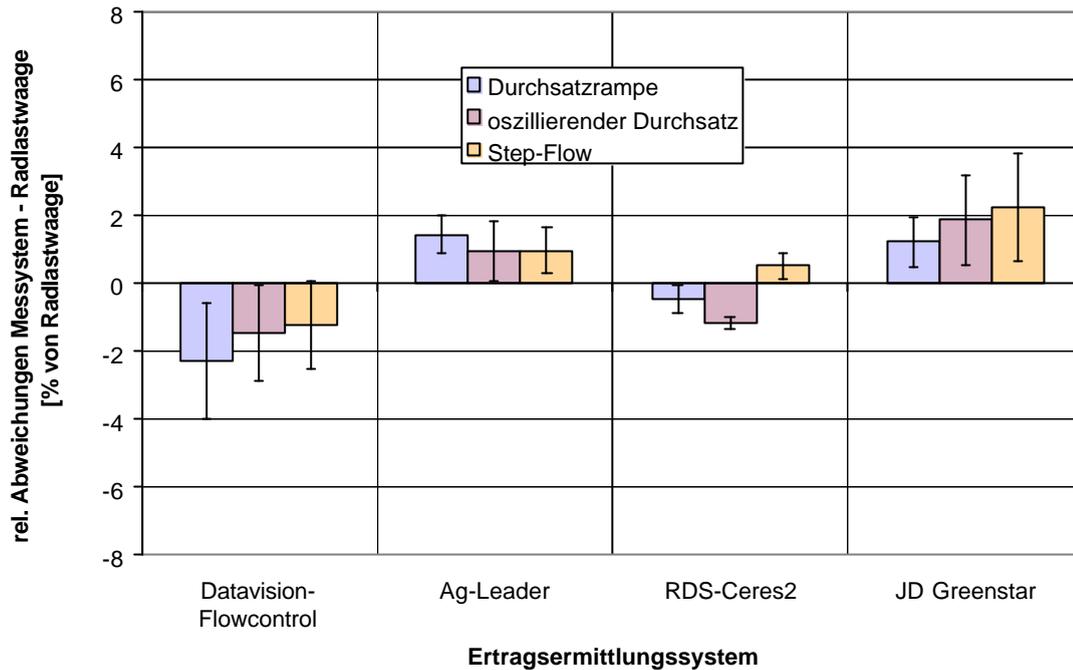
#### 6.1.2.2 Gemessene Kornmengen bei variierenden Durchsätzen

Versuche mit variierenden Durchsätzen wurden nur mit Weizen durchgeführt.

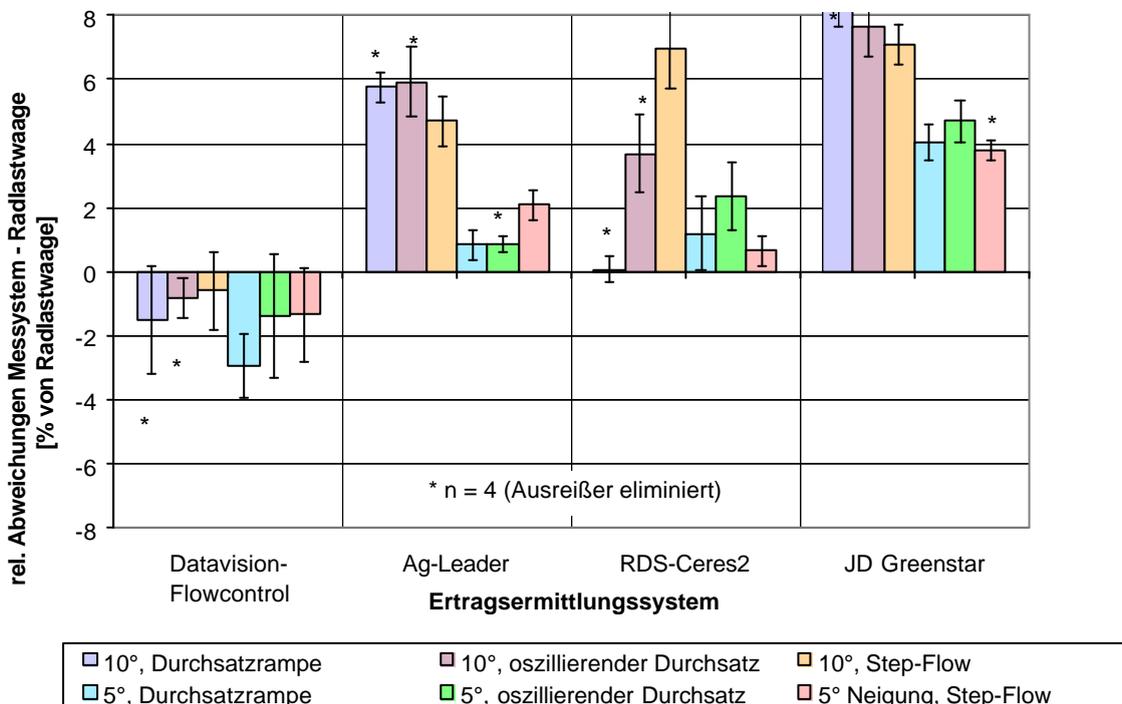
Die Ergebnisse der drei Varianten in horizontaler Lage zeigt Abbildung 27.

Bei allen Systemen wirken sich die Durchsatzveränderungen nur in geringem Maße störend aus. Die Systeme Flowcontrol und Ceres2 unterschätzen dabei mit der Ausnahme Step-Flow bei Ceres 2. Die Impulsmesssysteme überschätzen die Kornmengen. Die mittleren Fehler bleiben in allen Fällen unter  $|2,5\%$  und sind damit teilweise niedriger als die mittleren Abweichungen der Systeme bei konstanten Durchsätzen von 15 und besonders 10 t/h (vgl. Kap. 6.1.2.1). Die Messgenauigkeit liegt in vergleichbaren Dimensionen. Überraschend ist, dass bei Flowcontrol und Ag-Leader bei der Variante „Durchsatzrampe“ der größte systematische Fehler auftritt, was angesichts einer allmählichen konstanten Durchsatzveränderung nicht zu erwarten ist.

Bei  $10$  und  $5^\circ$  Rückwärtsneigungen ist bei allen Systemen außer Flowcontrol der systematische Fehler bei den Varianten deutlich größer als in horizontaler Lage; nur Flowcontrol unterschätzt hier (Abb. 28).



**Abbildung 27:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen von vier Ertragsermittlungssystemen bei den drei Durchsatzvarianten in horizontaler Lage (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante)



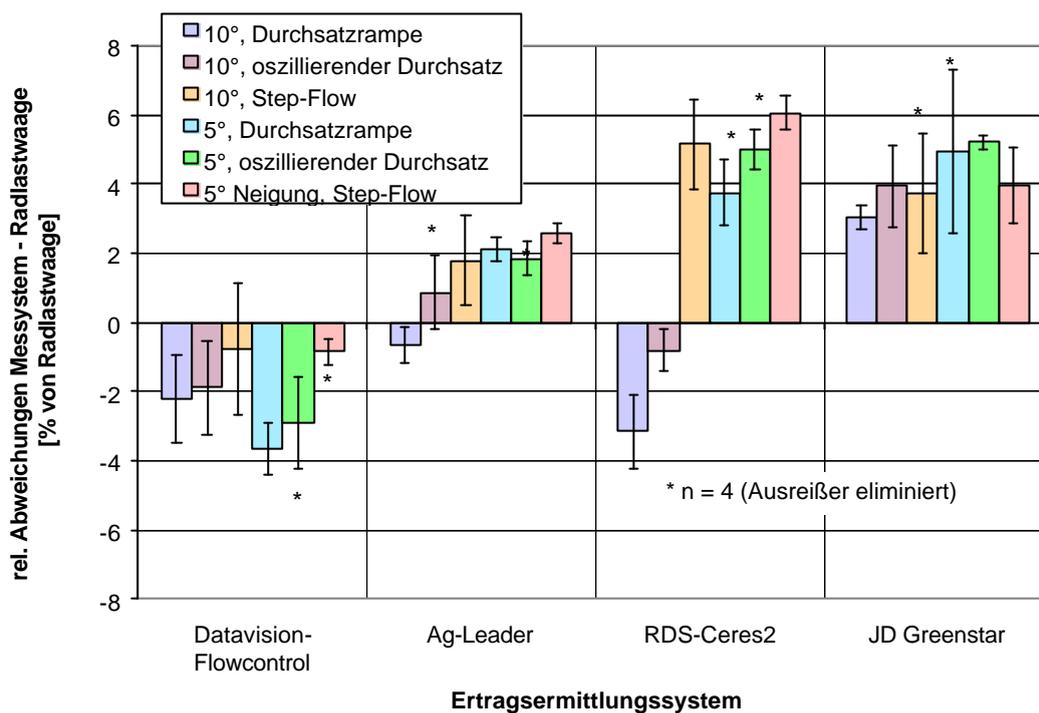
**Abbildung 28:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen von vier Ertragsermittlungssystemen bei den drei Durchsatzvarianten in rückwärts geneigter Lage (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante)

Die größten Abweichungen werden außer bei Ceres2 bei 10° Neigung und einer Durch-

satzrampe mit 5 bis 10% erreicht.

Diese Ergebnisse sprechen für einen größeren Einfluss der Neigungen auf die Durchsatzmessung im Vergleich zur Durchsatzvariation. Allerdings ist ein deutlicher Unterschied zwischen den Neigungsgraden bei allen Durchsatzvarianten nur bei Ag-Leader zu erkennen.

Bei Vorwärtsneigungen zeigen alle Systeme außer Flowcontrol fast durchgehend eine Überschätzung der Kornmengen entsprechend den Versuchen mit konstanten Durchsätzen (Abb. 29).



**Abbildung 29:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen von vier Ertragsermittlungssystemen bei den drei Durchsatzvarianten in vorwärts geneigter Lage (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante)

Einen deutlichen Unterschied zu den Rückwärtsneigungen zeigt allerdings nur Ceres2, wobei beim letztgenannten System die Abweichungen fast spiegelbildlich zu den Rückwärtsneigungen sind.

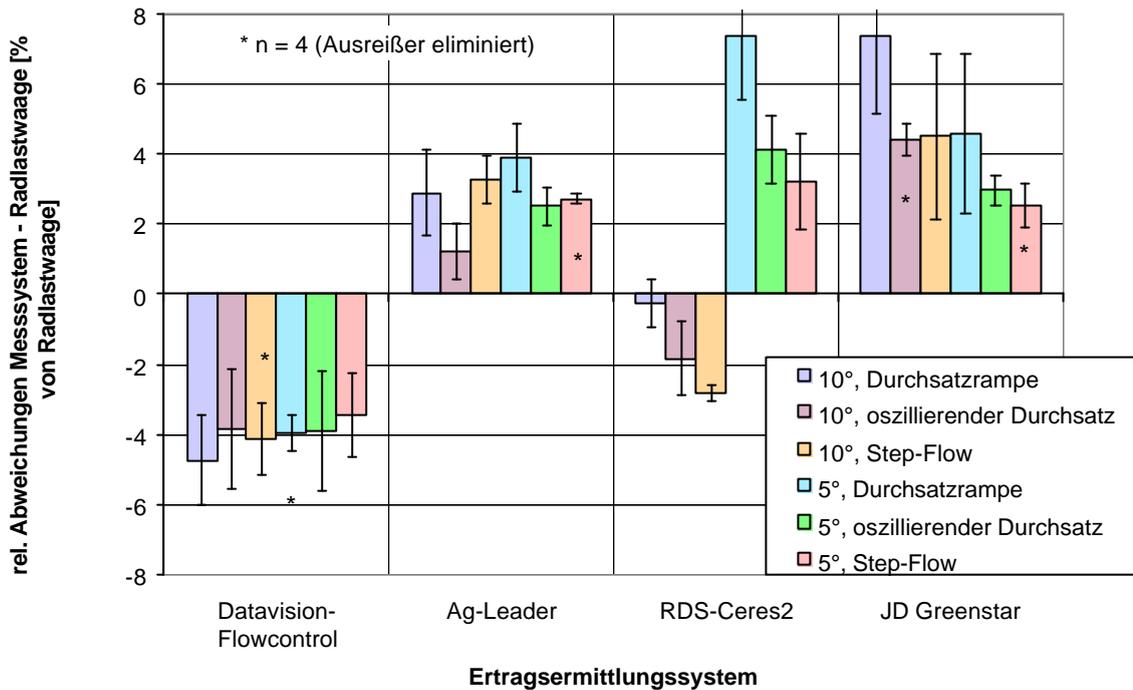
Abbildung 19 (Anh.) zeigt die Auswirkungen von Rechtsneigungen bei den drei Varianten. Ag-Leader zeigt bei allen Varianten eine Unterschätzung wie bei Rechtsneigung und konstantem Durchsatz, wobei einerseits bei 10° Neigung die Unterschätzung größer ist als bei 5° und andererseits eine Abstufung von der Durchsatzrampe zum Step-Flow zu verzeichnen ist.

Ähnliches gilt für Ceres2, auch wenn die Abweichungen hier größer sind. Bei Greenstar entsprechen die Unterschätzungen den Ergebnissen der Linksneigungen von 10 und 5° mit

Weizen bei konstantem Durchsatz.

Greenstar weicht bei allen Varianten außer Durchsatzrampe und 10° nach unten ab.

Bei den Linksneigungen (Abb. 30) weist das radiometrische System bei allen Varianten mittlere Fehler um -4% und knapp darunter auf; der Unterschied zwischen den Neigungsgraden ist sehr gering, beim oszillierenden Durchsatz kaum zu erkennen.



**Abbildung 30:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen von vier Ertragsermittlungssystemen bei den drei Durchsatzvarianten in nach links geneigter Lage (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante)

Das Ag-Leader-System weicht wie bei den Versuchen bei konstanten Durchsätzen durchweg positiv ab, allerdings im Falle der Durchsatzoszillation und des Step-Flows bei 5° Neigung stärker als bei 10°.

RDS-Ceres2 sind die Abweichungen bei 10° Neigung mit maximal -3% leicht negativ, bei 5° Neigung mit bis zu 8% deutlich positiv.

Die Abweichungen von Greenstar sind wie bei Ag-Leader durchweg positiv, am deutlichsten bei 10° und Durchsatzrampe.

Insgesamt ist der systematische Fehlereinfluss wechselnder Durchsätze bei den beschriebenen Untersuchungen bei allen Systemen offenbar geringer ist als der unterschiedlicher Neigungen; Neigungen des Elevators stellen somit die größere Fehlerquelle dar.

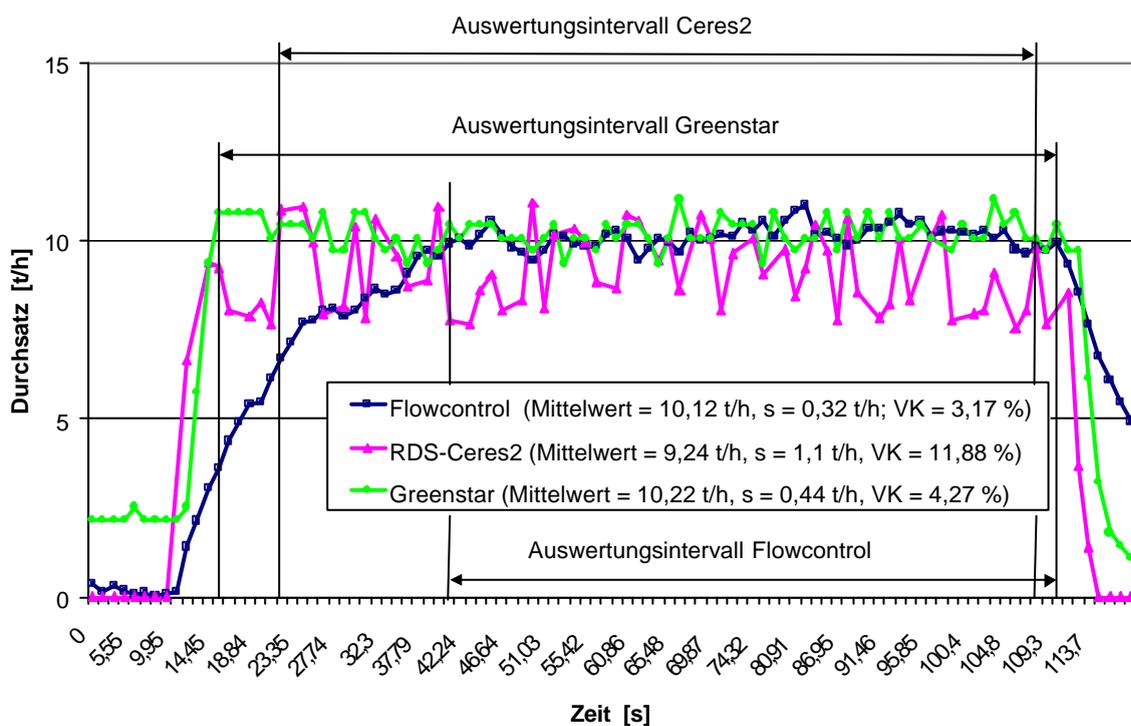
### 6.1.2.3 X-T-Diagramme der Durchsätze

Die X-T-Diagramme bei konstanten Kornströmen zeigen das Messrauschen der betreffenden Systeme, die entsprechenden Diagramme bei variablen Kornströmen die Genauigkeit, mit der die Systeme Durchsatz-, also bei konstanter Geschwindigkeit Änderungen des angetroffenen Ertrages, erfassen.

#### 6.1.2.3.1 Messrauschen bei konstanten Durchsätzen

Die Aufzeichnung von jeweils drei Systemen wurde bei den vorher beschriebenen Varianten mit konstanten Durchsätzen und der Fruchtart Weizen durchgeführt. Für die Durchsätze 10, 20 und 30 t/h wird die Aufzeichnung eines Versuchs exemplarisch aufgezeigt.

Abbildung 31 zeigt die Aufzeichnung der Systeme Flowcontrol, Ceres2 und Greenstar bei ca. 10 t/h. Bei den Kurven wurden fehlende Messwerte interpoliert.



**Abbildung 31:** Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei konstantem Durchsatz von 10 t/h und horizontaler Lage (Untersuchungen mit Weizen)

Die Kennwerte wurden aus den Phasen zwischen dem Zeitpunkt, wo die jeweiligen Systeme zum ersten Mal mindestens den wirklichen Durchsatz, also in diesem Falle 10 t/h, anzeigten, und dem Beginn eines kontinuierlichen Rückgangs des gemessenen Durchsatzes errechnet, d.h. die Startphase der Aufzeichnung nach der Schieberöffnung und die Entleerphase wurden nicht mit einberechnet. Dies gilt auch für die Aufzeichnungen bei den anderen Durchsätzen.

Auffallend ist, dass Ceres2 und Greenstar zeitversetzt auf die Schieberöffnung mit einem unmittelbaren Anstieg der Durchsatzwerte reagieren, und dass Greenstar nur einen sehr geringen Messversatz gegenüber den anderen beiden Systemen zeigt trotz der Installation des Sensors auf dem zweiten Elevator.

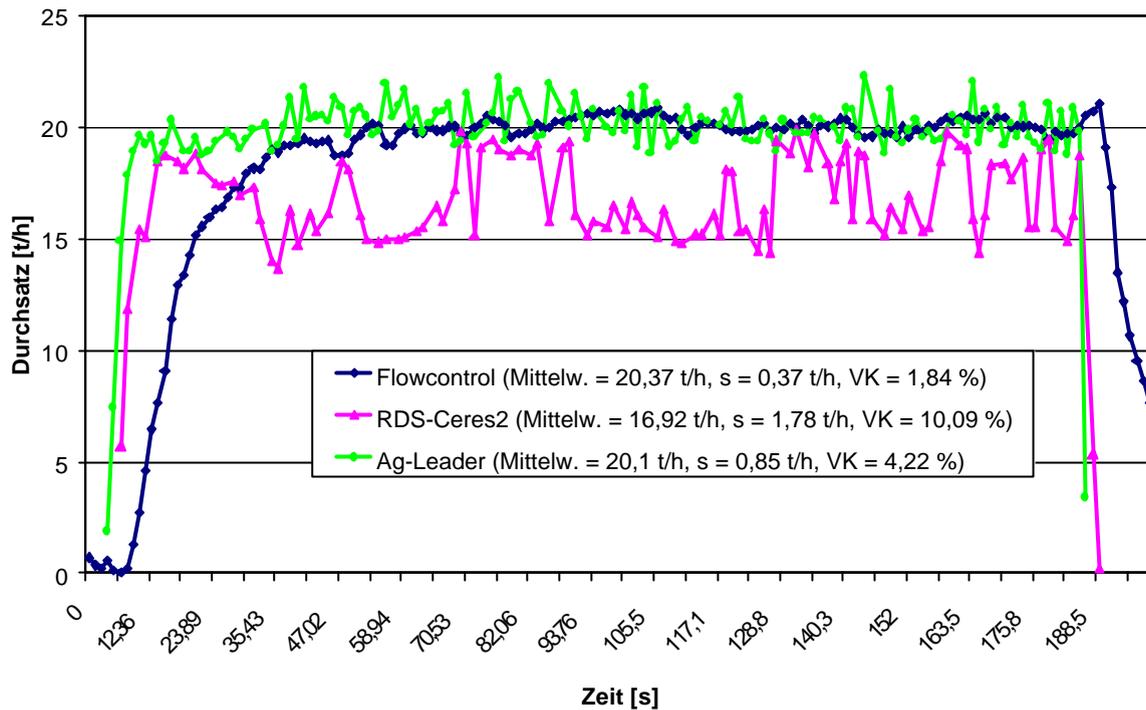
Greenstar misst dabei schon vor der Schieberöffnung und in der Delayzeit geringe Durchsatzwerte von knapp über 2 t/h, die wahrscheinlich durch die Maschinenvibrationen hervorgerufen werden. Das System schwankt in seinen Messwerten mit einer Streuung, also einem Messrauschen von  $\pm 4\%$  relativ gleichmässig um den tatsächlichen Durchsatz. Die Kurve von Ceres2 liegt dagegen im Mittel etwas unter 10 t/h und die Messwerte weisen meist starke Sprünge auf (Variationskoeffizient von 12%).

Das radiometrische System zeigt dagegen am Anfang einen nur allmählichen Anstieg der Messwerte; das Niveau von 10 t/h wird erst nach mehr als 15 s nach Schieberöffnung erreicht. Am Ende fallen die Werte allmählich ab. Dies lässt eine systeminterne Glättung der Werte vor ihrer Ausgabe auf RS232 vermuten. Dadurch würde auch die gegenüber den anderen Systemen gleichmäßigeren Messwerte erklärt.

In Abbildung 20 (Anh.) sind die Messwerte bei einem Durchsatz von ungefähr 20 t/h dargestellt. Die relative Streuung der Messwerte von Flowcontrol und Ceres2 ist noch geringer als bei den niedrigeren Durchsätzen, was auf eine bessere Messqualität bei höheren Durchsätzen hindeutet. Abbildung 32 zeigt die Messwerte eines Versuchs mit dem System Ag-Leader statt des Greenstarsystems bei 20 t/h. Das System hat ein ähnliches Messrauschen wie Greenstar mit einer Standardabweichung von 0,85 t/h bzw.  $VK = 4,22\%$ .

Bei 30 t/h ist die relative Streuung der Messwerte von Flowcontrol und Greenstar wieder etwas größer als bei 20 t/h (Abb. 21, Anh.).

Ingesamt zeigt RDS Ceres2 ein sehr starkes Messrauschen, das mit zunehmendem tatsächlichen Kornfluss in Relation zum mittleren gemessenen Durchsatz allerdings abnimmt; dies ist möglicherweise durch die zunehmend größeren Kornmengen auf den Elevatorpaddeln und somit vielleicht geringerem Springen der Körner zu erklären. Ohne Einsatz von Hilfsmitteln wie z.B. einer Hochgeschwindigkeitskamera kann dies jedoch nur spekulativ bleiben. Das Messrauschen der radiometrischen Systeme und Impulsmesssysteme ist dagegen bei allen Durchsätzen vergleichsweise gering, wobei dies im Falle von Flowcontrol offensichtlich von einer internen Glättung der Werte vor Ausgabe über RS232 verstärkt wird.



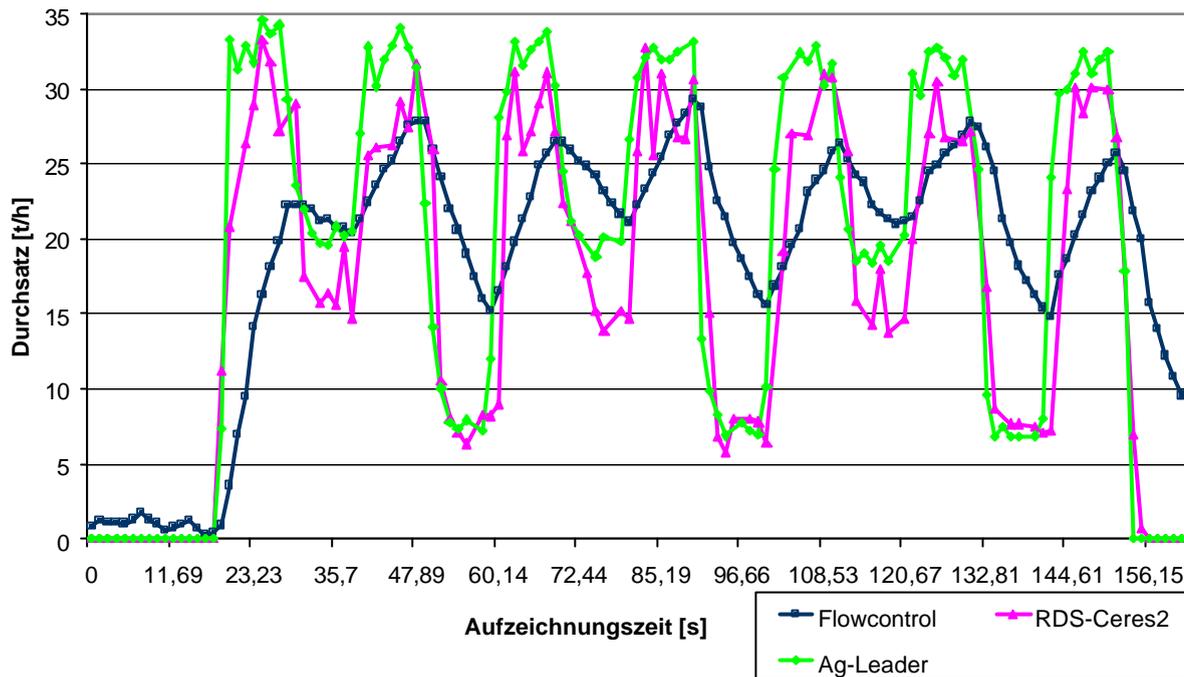
**Abbildung 32:** Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei konstantem Durchsatz von 20 t/h und horizontaler Lage (Untersuchungen mit Weizen)

### 6.1.2.3.2 Untersuchungen bei variablen Durchsätzen

Bei der Betrachtung der Durchsatzaufzeichnung bei den variablen Durchsätzen ist nicht das Messrauschen von Bedeutung, sondern die Schnelligkeit und Genauigkeit, mit der die Systeme die Durchsatzveränderung wiedergeben.

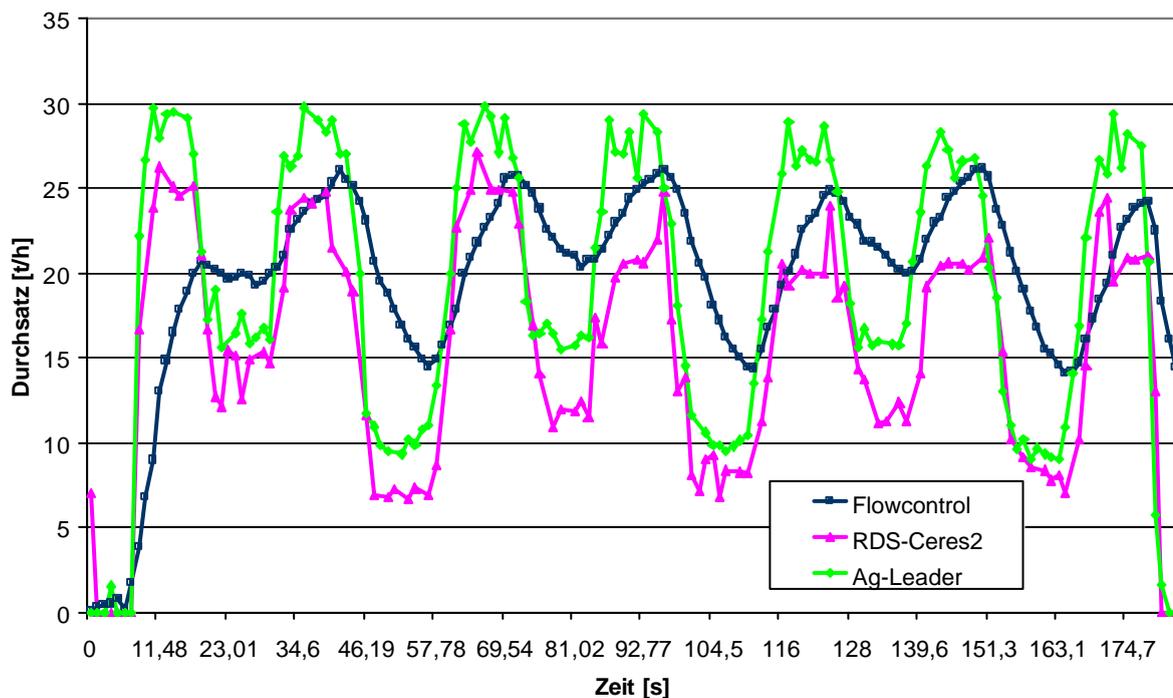
Abbildung 33 zeigt das Verhalten dreier Systeme bei einem „Step-Flow“ in horizontaler Lage. Hier wird offensichtlich, dass bei Flowcontrol eine interne Glättung der Werte vor der Ausgabe stattfindet. Das erste Werteplateau erscheint gar nicht, und die folgenden Plateaus und Senken sind gegenüber den anderen beiden Systemen deutlich sowohl in der Amplitude abgeschwächt als auch in der Form verändert. Am Ende gibt das System noch Durchsatzwerte aus, obwohl der Schieber schon unten ist.

Aber auch bei den anderen beiden Systemen (Lichtschranke und Prallplatte) bewirken das Messrauschen und eine verzögerte Ansprache auf die Durchsatzveränderungen gegenüber dem wirklichen Durchsatzverlauf deutlich verzerrte Kurven. Allerdings reagieren die Systeme relativ schnell auf die Schieberänderungen, vor allem das Öffnen und Schließen des Schiebers. Ceres2 zeigt Durchsätze von ugf. 15 t/h an, wo Ag-Leader 20 t/h ausgibt.



**Abbildung 33:** Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei einem „Step-Flow“ und horizontaler Lage (Untersuchungen mit Weizen)

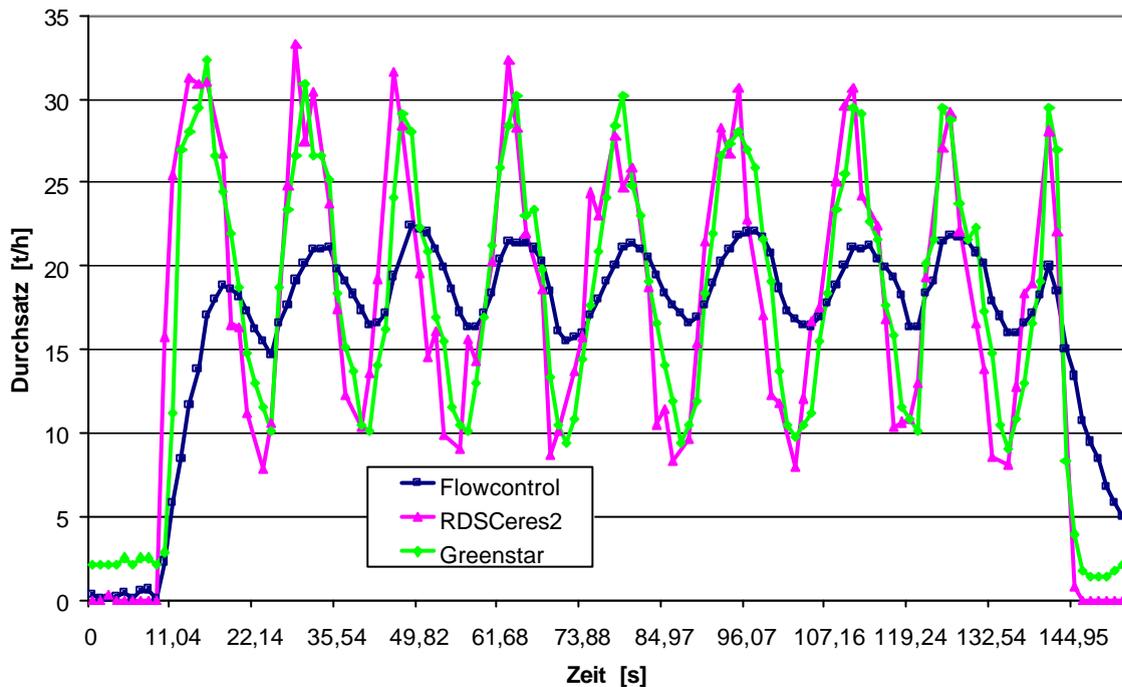
Durch  $10^\circ$  Linksneigung (Abb. 34) verschieben sich die Kurven von Ceres2 und Ag-Leader insgesamt etwas nach unten entsprechend der Durchsatzunterschätzung bei dieser Neigungsvariante.



**Abbildung 34:** Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei einem „Step-Flow“ und  $10^\circ$  Linksneigung (Untersuchungen mit Weizen)

Bei den anderen Neigungsvarianten ergaben sich keine weiteren Besonderheiten, weshalb auf die Darstellung der Ergebnisse verzichtet werden kann.

Bei einem oszillierenden Durchsatz in horizontaler Lage unterliegen die jeweiligen Amplituden der Messwerte bei den Systemen RDS-Ceres2 und Greenstar leichten Schwankungen über die Aufzeichnungszeit entsprechend dem Messrauschen (Abb. 35).



**Abbildung 35:** Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei einem oszillierenden Durchsatz und horizontaler Lage (Untersuchungen mit Weizen)

Die Messwertspitzen von Greenstar erscheinen nur minimal zeitverzögert gegenüber denen von Ceres2, trotz der Installation des Sensors auf dem zweiten Elevator.

Die Messwerte von Flowcontrol besitzen aufgrund der Glättung sehr kleine Amplituden mit Schwankungen von rund 5 t/h auf und die positiven und negativen Peaks erscheinen zeitlich verzögert gegenüber denen der anderen Systeme.

Bei 10° Rechtsneigung sind die Kurven von Ceres2 und Ag-Leader entsprechend den Ergebnissen mit konstanten Durchsätzen nach unten verschoben. (Abb. 22, Anh.).

Die Prüfstandsversuche lassen erkennen, dass bei praktisch allen auf dem Markt verfügbaren Ertragsermittlungssystemen der aktuell gemessene Durchsatz im Elevator trotz sorgfältiger Kalibrierung sowohl durch variable Randbedingungen als auch zufällig bedingt von dem sich nach Fahrgeschwindigkeit und angetroffenem Ertrag theoretisch ergebenden Durchsatz ab-

weicht. Die Abweichungen liegen in Abhängigkeit von Messsystem, Fruchtart und Randbedingung (Durchsatzniveau bzw. Neigung) zwischen rund 1% und bis über 10%. Dies wirkt sich entsprechend verfälschend auf den ermittelten Ertrag aus (vgl. Kap. 3).

## 6.2 Fehler bei der Ortung

Für die Quantifizierung der Ortungsgenauigkeit bei einem bewegten Objekt wurden bei mehreren Applikations<sup>1</sup>- und Erntefahrten die Positionsdaten sowohl vom auf dem Fahrzeug installierten DGPS als auch vom Tachymeter aufgezeichnet, welches am Rande des jeweiligen Schlages an einer mit DGPS eingemessenen Position aufgestellt wurde, von der nach Möglichkeit das gesamte Feld überblickt werden konnte (Abb. 7, Anh.).

### 6.2.1 Datenaufzeichnung und -auswertung

Bei verschiedenen Messfahrten wurden die vom mobilen Empfänger ausgegebenen \$GPGGA-Strings mit der aktuellen GPS-Uhrzeit über ein Hyperterminalprogramm auf einem Pentop-PC aufgezeichnet. Die GPS-Antenne wurde dabei unmittelbar über dem Prisma befestigt, um die vom GPS und die vom Tachymeter ermittelten Positionen vergleichen zu können. Die vom Tachymeter errechneten metrischen  $x$ ,  $y$ - und  $z$ -Koordinaten des Prismas wurden im Falle des Geodimeter 4000 telemetrisch auf ein Funkmodem und von dort per Kabel über die Remote Processing Unit und eine RS232-Schnittstelle auf einen KONTRON-Robust-PC übertragen (Abb. 7, Anh.). Im Falle des LEICA TCA erfolgte die Übertragung direkt über ein Kabel von der Totalstation über RS232 auf den Robust-PC. An den PC war zusätzlich ein DGPS-Empfänger mit stationärer Antenne angeschlossen; die von diesem ausgegebenen \$GPGGA-Strings wurden zusammen mit den Positionsdaten vom Tachymeter auf dem PC aufgezeichnet, um die zeitliche Vergleichbarkeit der Datensätze auf dem Pentop und dem Robust-PC zu gewährleisten. In der Ausgabedatei folgten auf jeden \$GPGGA-String zwei bis maximal vier Strings mit den Tachymeterpositionsangaben; am Anfang aller Strings stand die Systemzeit des Robust-PC's.

Teilweise wurden die vom Tachymeter ausgegebenen  $x$  und  $y$ -Koordinaten mit Hilfe der Systemzeit in MS-Excel auf die vollen GPS-Sekunden interpoliert, teilweise wurden die  $x$  und  $y$ -Koordinaten aus den interpolierten Tachymeterparametern wie in Abbildung 14 gezeigt berechnet.

---

<sup>1</sup> Die Untersuchungen wurden auch bei Applikationsfahrten vorgenommen, um eine möglichst große Datengrundlage zu erhalten; für das Untersuchungsziel war der Zweck der Fahrt nicht relevant

Die Tachymetermesswerte einiger Referenzmessungen mit dem Geodimeter und aller Messungen mit dem LEICA-System wurden nachträglich mit dem genannten MATLAB-Skript korrigiert.

Zur Vergleichbarkeit mussten sowohl die Tachymeterkoordinaten als auch die WGS84-Koordinaten des DGPS in ein einheitliches nordorientiertes metrisches Koordinatensystem mit dem Tachymeterfußpunkt als Ursprung umgerechnet werden. Hierzu wurden die Position des Referenzpunktes zur Bestimmung des Drehwinkels und die des Tachymeterfußpunktes als Ursprung durch längere Einmessung mit GPS bestimmt. Als Umrechnungsformeln dienten folgende Näherungen:

$$\text{Ostrichtung n. DGPS: } X_i \text{ [m]} = R * \cos(N_i/180 * \pi) * (E_i - E_{\text{Nullpunkt}})/180 * \pi \quad (6-5)$$

$$\text{Nordrichtung n. DGPS: } Y_i \text{ [m]} = R * (N_i - N_{\text{Nullpunkt}})/180 * \pi \quad (6-6)$$

$$\text{Ostrichtung n. ITS: } X_i \text{ [m]} = X_{i(\text{Tachym.})} * \cos(\beta/180 * \pi) + Y_{i(\text{Tachym.})} * \sin(\beta/180 * \pi) \quad (6-7)$$

$$\text{Nordrichtung n. ITS: } Y_i \text{ [m]} = X_{i(\text{Tachym.})} * \sin(\beta/180 * \pi) + Y_{i(\text{Tachym.})} * (-\cos(\beta/180 * \pi)) \quad (6-8)$$

mit: R = Erdradius (genähert 6.366.738 m), N = nördl. Br. [°dez.], E = östl. Länge [°dez.],  $\beta$  = Winkel zwischen der Ostrichtung und der X-Achse des Tachymeterkoordinatensystems (Drehwinkel) [°], i = Zeitpunkt der i-ten Messung

Alternativ dazu wurden im Falle einiger Referenzmessungen die DGPS-Koordinaten vom Fahrzeug und die Nullpunktkoordinaten in Gauss-Krüger-Koordinaten basierend auf dem Bessel-Ellipsoid in ARC/INFO transformiert und miteinander verrechnet. Die Parameter für die Transformation wurden in einem Skript in der Arc Macro Language (AML) definiert (Abb. 23, Anh.). Der Aufruf dieses Skripts erfolgte mit dem ARC/INFO-Befehl ‚project‘:

```
project file <Eingabedatei> <Ausgabedatei> wgs84_gk.aml
```

Danach wurden die metrischen Koordinaten des Tachymeters und die WGS84-Koordinaten für die einzelnen GPS-Zeitpunkte gegenübergestellt und paarweise verrechnet.

## 6.2.2 Ergebnisse

Ein Beispiel für die Ergebnisse ist die Referenzmessung bei einer Grubberfahrt 1998. Abbildung 36 zeigt die mit Motorola-DGPS und dem Tachymeter ermittelten Fahrspuren. Die Tachymeterkoordinaten wurden hierbei weder nachträglich errechnet noch korrigiert. Die Abszisse ist die Ostrichtung und die Ordinate die Nordrichtung jeweils in Metern.

Die sehr ähnlichen arithmetischen Mittel der Einzeldifferenzen DGPS minus Tachymeter in beiden Richtungen im Bereich von einem Meter können als ein durch nicht ausreichend lange Einmessung des Tachymeterfußpunktes verursachter Offset angesehen werden. Die Standardabweichungen im Bereich von rund 2 m als Streuungsmaß zeigen demgegenüber theoretisch die relative Ungenauigkeit des eingesetzten DGPS gegenüber dem Tachymeter an.

Ein ähnliches Ergebnis erbrachte die entsprechende Untersuchung bei einem Winterweizenmähdusch 2000 (Abb. 24, Anh.) mit Trimble AgGPS und dem Leicasystem als Referenzsystem; der weite Fahrspurabstand und die Fahrspurüberkreuzung sind hierbei Folge der Tatsache, dass durch den Großmähdrescher Parzellen für den Parzellenmähdusch freigesprochen wurden. Der Offset ist hier (durch die längere Einmessung des Tachymeterstandortes) kleiner; dasselbe gilt für die Standardabweichungen, die auf dem 5%-Niveau signifikant verschieden von denen der vorhin beschriebenen Messung sind.

Insgesamt wurden im Verlauf von drei Jahren solche Untersuchungen bei verschiedenen Ernte- und Applikationsfahrten durchgeführt; die Versuchsbedingungen, die Methoden der Nachbearbeitung und Ergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Es ist zu sehen, dass die Standardabweichungen der Differenzen bei den Messungen mit dem Geodimeter relativ einheitlich im Bereich von rund 2 bis 4 m liegen, unabhängig von dem eingesetzten DGPS-System und der Form der Umrechnung der GPS-Koordinaten. Auch die Korrektur mit MATLAB ergab keine wesentliche Veränderung bei den Kennwerten.

**Tabelle 5:** Zusammenfassung der Ergebnisse der Referenzmessungen mit Infrarottrackingsystemen (M-O = Motorola-Oncore, TrA = Trimble-AgGPS, GD = Geodimeter 4000)

Datum/ Schlag	Maß- nahme	DGPS	ITS	Tachymeter- koordinaten errechnet	Tachymeter- koordinaten korrigiert	DGPS-Koor- dinaten in Gauß-Krüger	v gemittelt [m/s]	Differenz DGPS - ITS				
								in Ostrichtung		in Nordrichtung		
								n	Mittelw. [m]	Stabw. [m]	Mittelw. [m]	Stabw. [m]
29.05.98 D01	Spritzen	M-O	GD			X	2,21	4551	2,57	2,95	-0,65	2,80
				X	X	1,93			3,35	-0,41	5,00	
						1,94			2,56	-0,39	3,55	
10.06.98 D04	Düngen	M-O	GD			X	2,9	1901	0,80	3,01	0,27	2,30
				X	X	-0,11			3,12	0,97	2,52	
				X	X	-0,15			2,87	0,97	2,70	
						0,71			2,03	0,28	2,40	
22.06.98 D01	Düngen	M-O	GD	X	X	X	2,11	9809	2,68	2,65	-0,52	2,72
13.08.98 D04	Grubbern	M-O	GD			X	2,58	12441	1,19	1,70	-1,00	2,05
						-0,37			1,80	0,38	2,34	
25.09.98 D01	Mais- häckseln	M-O	GD			X	1,29	11956	-0,63	3,04	0,97	1,87
22.09.99 S04	Mais- häckseln	TrA	GD			X	1,29	6157	-1,24	2,78	1,27	2,43
11.08.00 S04	Mäh- drusch	TrA	TCA	X	X	X	1,24	10098	-0,50	0,84	-0,76	1,06
15.08.00 D04	Mäh- drusch	TrA	TCA	X	X	X	1,19	14601	0,76	0,89	-0,18	0,92
28.09.00 D01	Mais- häckseln	TrA	TCA	X	X	X	k.D.	18444	0,00	1,31	0,00	2,31

Die Verwendung korrigierter und berechneter Tachymeterkoordinaten sowie in Gauß-Krüger umgerechneter DGPS-Koordinaten gegenüber den unkorrigierten Originaltachymeterkoordinaten und nach (6-5) und (6-6) umgerechneten DGPS-Koordinaten ergibt bei der Kombination Motorola - Tachymeter im Mittel eine etwas kleinere Standardabweichung in Nordrichtung (2,07 m gegenüber 2,67 m) und eine größere in Ostrichtung (2,5 m gegenüber 2,35 m). Diese Unterschiede sind nicht signifikant mit  $\alpha = 5\%$  (Tab. 6).

**Tabelle 6:** Analytische Statistik der Streuungen (Standardabweichungen) in Ost- und Nordrichtung

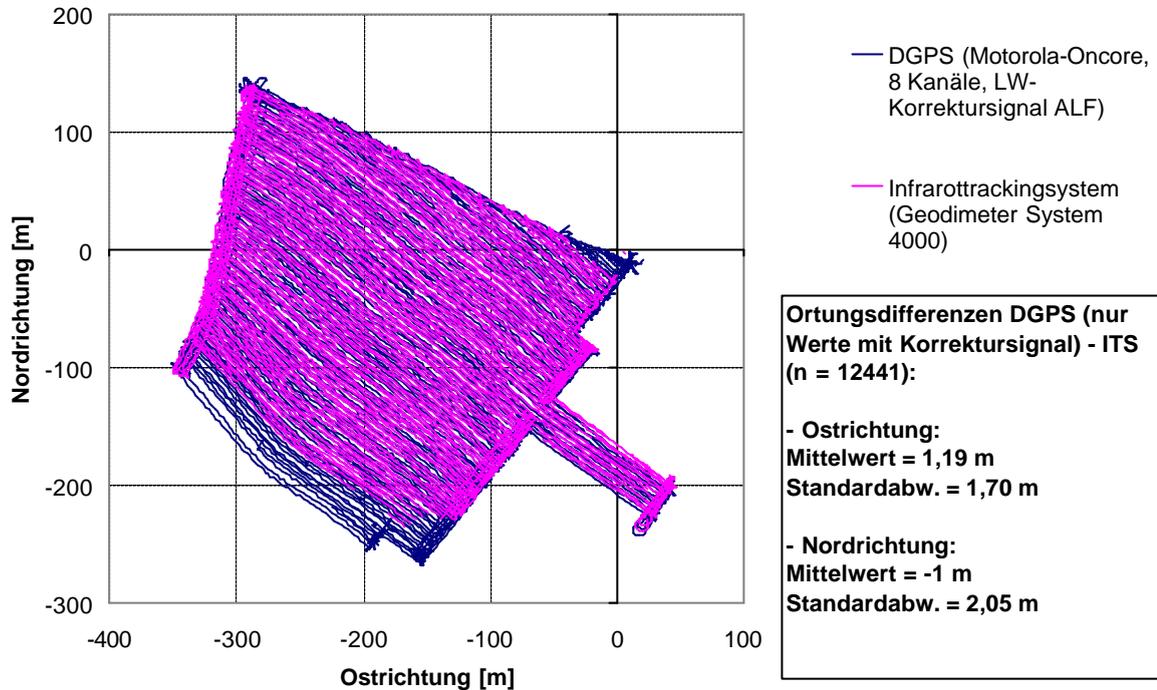
	n	Ostr. Mittelw.	Ostr. S	t-Teststatistik ( $\alpha = 5\%$ )		Nordr. Mittelw.	Nordr. S	t-Teststatistik ( $\alpha = 5\%$ )	
Mittelwert Geodimeter und Motorola (Originaltachymeterkoordinaten) [m]	5	2,67	0,56	$F^\wedge = 127,02$ $F_{4,1;5\%} = 225$		2,35	0,41	$F^\wedge = 3,8$ $F_{4,1;5\%} = 225$	
Mittelwert Geodimeter und Motorola (Tachymeterkoordinaten errechnet und korrigiert) [m]	2	2,07	0,05	$t^\wedge = 0,32$ $FG = 5$ $t_{5;5\%} = 2,02$	$F^\wedge = 26,49$ $F_{2,1;5\%} = 200$ $t^\wedge = 4,21$	2,54	0,21	$t^\wedge = 0,14$ $FG = 5$ $t_{5;5\%} = 2,02$	$F^\wedge = 13,27$ $F_{2,1;5\%} = 200$
Mittelwert TCA und Trimble (Tachymeterkoordinaten errechnet und korrigiert) [m]	3	1,01	0,26		$FG = 3$ $t_{3;5\%} = 2,35$	1,43	0,76		$t^\wedge = 1,31$ $FG = 3$ $t_{3;5\%} = 2,35$

Die Unterschiede zwischen Geodimeter/Motorola und TCA/Trimble sind in Ostrichtung auf dem 5%-Niveau signifikant, in Nordrichtung dagegen nicht, also wahrscheinlich zufällig. Bei dem signifikanten Unterschied in Ostrichtung ist nicht festzulegen, ob die Ursache in den verschiedenen Referenzsystemen oder den verschiedenen GPS-Systemen liegt. Die hohen Standardabweichungen bei der Messfahrt am 22.09.1999 mit Geodimeter und Trimble-AgGPS legt allerdings nahe, dass das Referenzsystem ausschlaggebend ist.

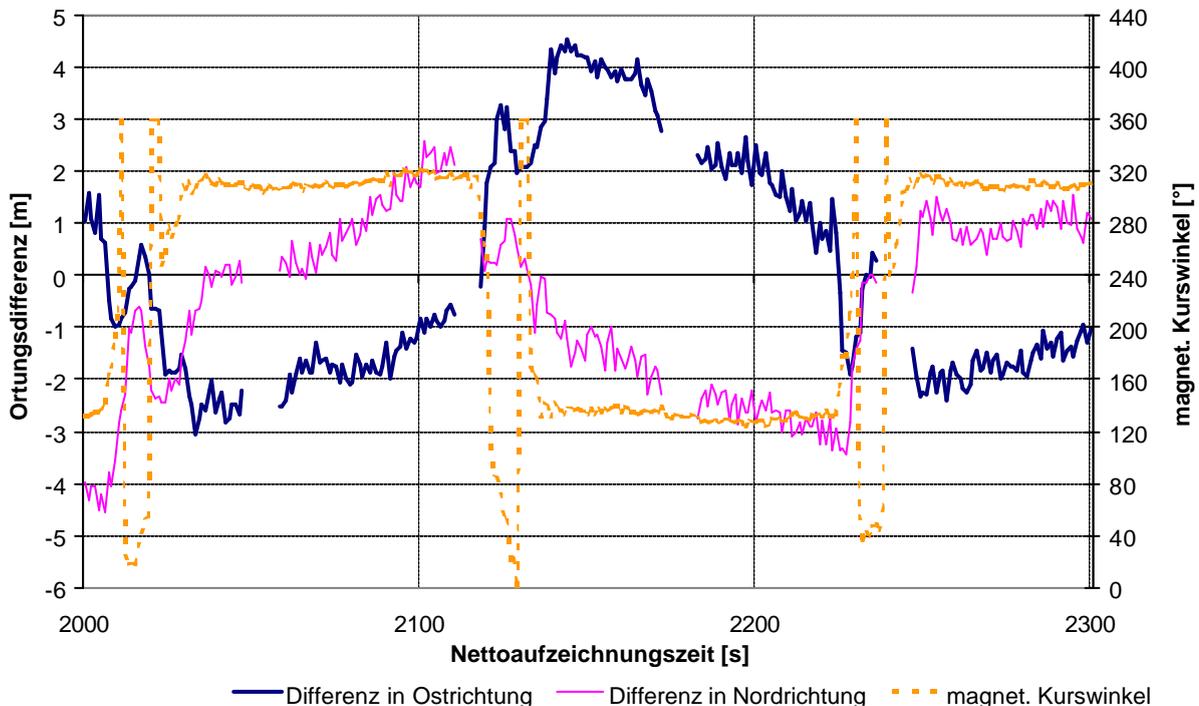
Die Ortungsdifferenzen wurden nicht nur insgesamt betrachtet, sondern auch in ihren zeitlichen Verläufen untersucht; in Abbildung 37 sind die Ortungsdifferenzen eines Ausschnitts der schon beschriebenen Grubberfahrt über der Zeit aufgetragen.

Der Kurswinkel zeigt die Fahrtrichtung des Fahrzeugs in Grad zu magnetisch Nord an: Abschnitte mit relativ einheitlichem Kurswinkel stellen die Fahrten entlang der Hauptarbeitsrichtung dar, die steilen Abschnitte die Wendungen dazwischen.

Die Ortungsdifferenzen in beiden Richtungen schwanken in einem Bereich zwischen +3 und -3 m mit geringer Frequenz um den jeweiligen Mittelwert, wobei weit höher frequente Schwankungen im Bereich von meist weniger als einem Meter unterlagert sind.



**Abbildung 36:** Mit DGPS und einem Infrarottrackingssystem aufgenommene Fahrspuren des Grubbers auf Schlag D04, 13.08.98



**Abbildung 37:** Ortungsdifferenzen Motorola-DGPS – Geodimeter System 4000 und magnetischer Kurswinkel (Grubbern Schlag D04, 13.08.98, Ausschnitt)

Bei Kurswinkeln um  $300^\circ$ , also in den SE-NW befahrenen Fahrgassen, sind die Differenzen in Ostrichtung eher negativ, die in Nordrichtung eher positiv, in den NW-SE befahrenen Fahrgassen umgekehrt. Die geringsten Ortungsdifferenzen werden im Bereich der Wendemanöver erreicht. Ein sehr ähnlicher Verlauf dieser Größen konnte auch bei den anderen Messungen festgestellt werden.

Ein Vergleich der Ortungsdifferenzen mit wichtigen DGPS-Parametern wie Anzahl der sichtbaren Satelliten, Alter des Korrektursignals und Dilution of Precision zeigt nur sehr geringe Korrelationen (Abb. 25, Anh.), was auch für die anderen Untersuchungen gilt, bei denen diese Parameter mit aufgezeichnet wurden.

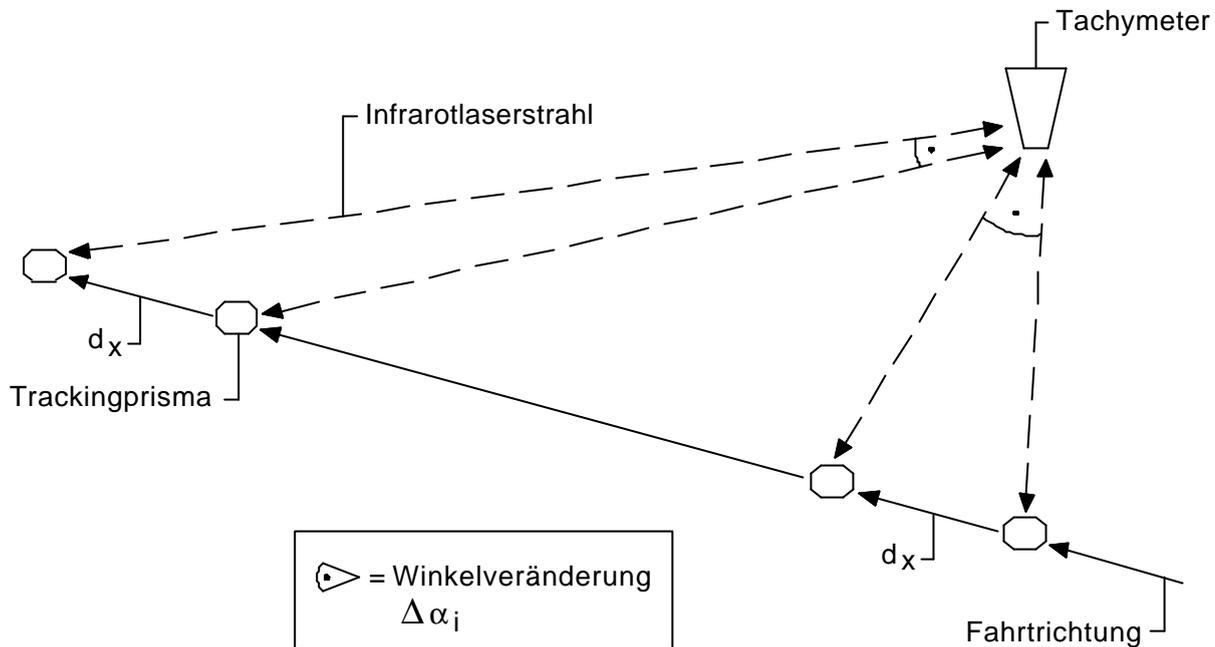
Die weiten Schwankungen der Ortungsdifferenzen deuten daher auf einen Zusammenhang der Ortungsdifferenzen mit der Position des Fahrzeugs relativ zum Tachymeterstandort hin, da die geringsten Unterschiede bzw. die arithmet. Mittel der Differenzen meist an vergleichbaren Stellen innerhalb der einzelnen Fahrgassen erreicht werden.

Dies ist möglicherweise auf Fehler der Referenzsysteme selber zurückzuführen. Eine Erklärung ist möglicherweise der verfälschende Einfluss kleinerer Winkelinkremente mit zunehmender Entfernung vom Tachymeter und der damit größere Einfluss des konstanten Winkelfehlers von  $0,4 \text{ mgon}$  beim Geodimeter; bei der beschriebenen Grubberfahrt ist die Korrelation der Entfernung von der Totalstation zur Ortungsdifferenz in Nordrichtung mit  $R = 0,55$  erkennbar, zur Ortungsdifferenz in Ostrichtung mit  $R = 0,21$  aber deutlich schwächer. Hier spielt offensichtlich auch die Position des Prismas in Relation zur Totalstation auf der Achse der Fahrtrichtung eine Rolle, also der Drehwinkel des Tachymeters zur Fahrtrichtung. Ist das Objektiv rechtwinklig auf die Achse der Fahrtrichtung ausgerichtet, ergibt die gleiche Fahrtstrecke  $d_x$  eine größere Winkelveränderung, als wenn der Laserstrahl sich spitzwinklig mit dieser Achse schneidet; der Effekt der größeren Entfernung wird noch verstärkt. Dies verdeutlicht folgendes Schema in Abbildung 38.

Die in Kap. 5.2.1 genannten Fehler scheinen ebenfalls nicht die Ursache für diese Schwingungen zu sein. Der Verlauf der Ortungsdifferenzen wird nämlich nicht wesentlich durch eine nachträgliche Berechnung der Koordinaten aus den Messparametern der Tachymeter beeinflusst, wie der Vergleich der Ortungsdifferenzen bei einer Spritzfahrt, einerseits mit nicht nachträglich berechneten und andererseits mit nachträglich berechneten Tachymeterkoordinaten (Abb. 26 und 27, Anh.) zeigt.

Auch durch die Korrektur mit dem MATLAB-Skript bleibt der zeitliche Verlauf der Ortungs-

differenzen nahezu unverändert (Abb. 28, Anh.).



**Abbildung 38:** Veränderung der Winkelinkremente bei zunehmender Entfernung des Trackingprismas von der Totalstation in Fahrtrichtung bei gleicher Fahrtstrecke  $d_x$  (Quelle: Eigenentwurf)

Bei den Ergebnissen der beschriebenen Felduntersuchungen lassen sich die Effekte der Fehler nur schwierig nachvollziehen, da

- erstens im Falle des Geodimeters durch die Eliminierung des einen Fehlers (unkorrekte Zuordnung der zu verrechnenden Messparameter) der andere Fehler (nicht synchrone Messung der Parameter) zum Tragen kommt, die Verläufe der Ortungsdifferenzen sich aber auch bei nachträglicher Koordinatenberechnung insgesamt nicht unterscheiden und
- zweitens nur interpolierte Werte zur Verwendung gekommen sind, was die Interpretation erschwert.

*Offensichtlich unterliegen Infrarottachymeter weiteren, bisher noch nicht bekannten systematischen Fehlern, die ihre Messgenauigkeit in bestimmten Situationen beeinflussen. Aus den Ergebnissen der durchgeführten Referenzmessungen kann daher nicht auf die Ortungsgenauigkeit der eingesetzten DGPS-Systeme geschlossen werden, da nicht zu beurteilen ist, ob eine Ortungsdifferenz durch schlechte GPS-Ortungsqualität oder durch einen systematischen Fehlereinfluss des jeweiligen Tachymeters bedingt ist.*

*Um diese Fehler zu umgehen, wäre zwei Möglichkeiten denkbar: der gleichzeitige Einsatz von mindestens zwei Tachymetern als Referenzsystem (mit nachträglicher Verrechnung der Ergebnisse beider Tachymeter) oder aber die Untersuchung unter standardisierten Be-*

*dingungen mit Fahrt auf einer festgelegten Geraden und einem optimalen Standort des Tachymeters gegenüber dieser Geraden.*

Bei dem gegenwärtigen Stand der Kenntnisse über Messfehler von Infrarottachymetern sind einzelne Tachymeter demnach nicht als Referenzsysteme für DGPS bei Ernte- bzw. Applikationsfahrten zu verwenden. Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse sind im Sinne der Fragestellung ohne Aussagekraft.

## 7 Analyse und Bereinigung der Ertragsdaten

In diesem Kapitel werden die unbereinigten Ertragsdaten auf ihre statistischen Eigenschaften und weitere Fehlergrößen untersucht sowie die Ertragsmesswerte der beiden parallel eingesetzten Messsysteme Ag-Leader und Flowcontrol auf unterschiedlichen Aggregationsstufen verglichen. Anschließend wird ein für die vorhandenen Ertragsdatenformate angepasster Fehlerbereinigungsalgorithmus abgeleitet und die Auswirkungen seiner Anwendung auf die Ertragsdaten gezeigt.

### 7.1 Unbereinigte Ertragsdaten

Für die Beurteilung der Qualität der unbereinigten Ertragsdaten und die Definition von Bereinigungsverfahren reicht eine rein statistische Betrachtung nicht aus, sondern es ist eine räumliche und/oder zeitliche Betrachtung der entsprechenden Messwerte sinnvoll. Daher wurden die Ertragswerte auch hinsichtlich ihrer Lage räumlich innerhalb der einzelnen Fahrspuren bzw. zeitlich zu Veränderungen des Arbeitsstatus, aber auch in ihrer räumlichen Beziehung zueinander untersucht. Zu diesem Zweck wurde vor der Datenanalyse eine Korrektur der Positionsdaten der Messpunkte vorgenommen und diese anschließend Fahrgassen bzw. Segmenten zugeordnet.

#### 7.1.1 Positionskorrektur und Zuordnung zu Fahrgassen bzw. Segmenten

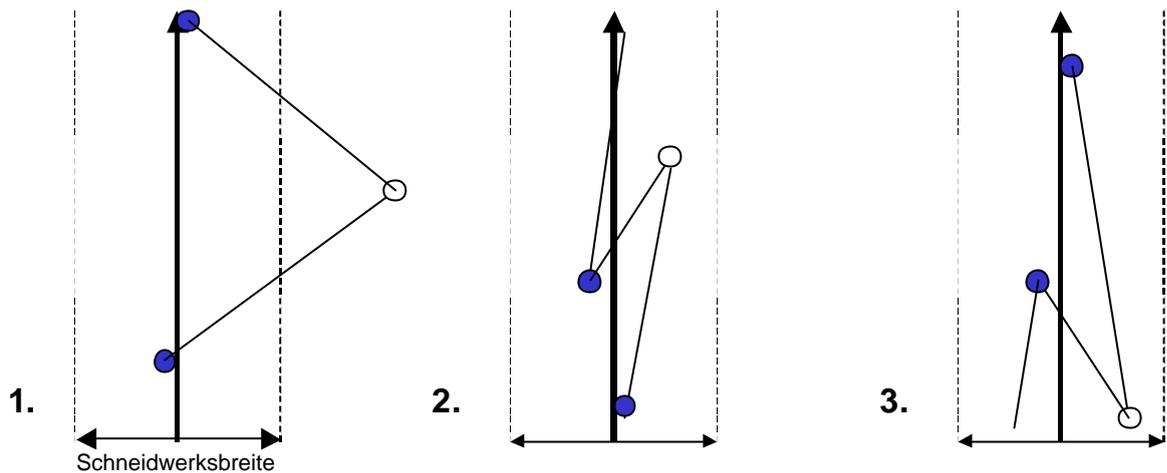
Die Transformation der WGS84-Koordinaten (in Dezimalgrad [dd.dd]) erfolgte in ArcInfo 8.0.2 mit dem Befehl `project` und den im aml-Skript `wgs84_gk.aml` festgelegten Parametern (vgl. Kap. 6.2).

Für die Korrektur der x- und y-Koordinaten wurde festgelegt, welche GPS-Positionen als fehlerhaft zu betrachten sind (Abb. 39). Es handelt sich hierbei um solche Messpunkte, die von der wirklichen Fahrtrichtung um mehr als eine halbe Schnittbreite abweichen (1.), also in einer Nachbarfahrgasse positioniert sind,

solche Punkte, die dem nachfolgenden in Fahrtrichtung vorausseilen (2.)

und solche, die hinter dem jeweils vorangehenden Punkt in Fahrtrichtung zurückbleiben (3.).

Die Identifizierung solcher Messpunkte und die Eliminierung ihrer Koordinaten für jede Erntefahrt getrennt nach Ertragsermittlungssystem erfolgte automatisiert durch embedded SQL in den Perl-Skripten `pos_korr.pl` für alle Getreideertragsdatenformate außer Ag-Leader 1995, `pos_korr2.pl` für alle Körnermais-ertragsdaten und `pos_korr3.pl` für die Ag-Leader-Ertragsdaten 1995.



**Abbildung 39:** Definition fehlerhafter Positionsdaten (Quelle: Eigenentwurf)

Im ersten Schritt wurden die Distanzen zwischen den Messpunkten jeweils in x- und y-Richtung aus den Positionswerten errechnet:

$$\Delta x_i = x_i - x_{i-1} \text{ bzw. } \Delta y_i = y_i - y_{i-1} \quad (7-1)$$

(mit  $x_i$  = GK-Rechtswert von Messpunkt  $i$ ,  $y$  = GK-Hochwert von Messpunkt  $i$ )

Nach dem Satz des Pythagoras erfolgte die Berechnung der GPS-Distanz jedes Messpunktes zum jeweils vorangehenden als:

$$d_i = \sqrt{(\Delta x_i)^2 + (\Delta y_i)^2} \quad (7-2)$$

Dementsprechend erfolgte die Berechnung der Distanz zum nachfolgenden Punkt mit:

$$-d_i = d_{i+1} \quad (7-3)$$

Im nächsten Schritt wurde das Azimut  $\alpha$  der Verbindungslinie zwischen aufeinanderfolgenden Messpunkten (also die GPS-Fahrtrichtung) wie folgt berechnet:

$$\alpha_i = \arctan(\Delta x_i / \Delta y_i) * 180 / \pi \quad (\text{für } \Delta x_i > 0 \text{ und } \Delta y_i > 0) \text{ bzw.}$$

$$\alpha_i = \arctan(\Delta x_i / \Delta y_i) * 180 / \pi + 180 \quad (\text{für } \Delta x_i > 0 \text{ und } \Delta y_i < 0) \text{ bzw.}$$

$$\alpha_i = \arctan(\Delta x_i / \Delta y_i) * 180 / \pi + 180 \quad (\text{für } \Delta x_i < 0 \text{ und } \Delta y_i < 0) \text{ bzw.}$$

$$\alpha_i = \arctan(\Delta x_i / \Delta y_i) * 180 / \pi + 360 \quad (\text{für } \Delta x_i < 0 \text{ und } \Delta y_i > 0) \text{ bzw.}$$

$$\alpha_i = 0 \quad (\text{für } \Delta x_i = 0 \text{ und } \Delta y_i > 0) \text{ bzw.}$$

$$\alpha_i = 90 \quad (\text{für } \Delta x_i > 0 \text{ und } \Delta y_i = 0) \text{ bzw.}$$

$$\alpha_i = 180 \quad (\text{für } \Delta x_i = 0 \text{ und } \Delta y_i < 0) \text{ bzw.}$$

$$\alpha_i = 270 \quad (\text{für } \Delta x_i < 0 \text{ und } \Delta y_i = 0) \text{ bzw.}$$

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} \quad (\text{für } d_i = 0) \quad (7-4)$$

Anschließend wurde für jeden Messpunkt die Änderung des Azimutwinkels jeweils gegenüber dem vorherigen und nachfolgenden Punkt ermittelt:

$$\Delta\alpha_i = \alpha_i - \alpha_{i-1} \text{ bzw.}$$

$$-\Delta\alpha_i = \alpha_{i+1} - \alpha_i \quad (7-5)$$

Die einzelnen Fahrtrichtungen wurden danach den vier Richtungsquadranten zugeordnet:

$$\text{Quadrant} = 1 \quad (\text{für } \alpha_i \leq 90)$$

$$\text{Quadrant} = 2 \quad (\text{für } 90 < \alpha_i \leq 180) \text{ usw.}$$

Schließlich wurde die Entfernung jedes Messpunktes im rechten Winkel zur Verlängerung der Azimutlinie (im Folgenden *Querabweichung* genannt) berechnet (Abb. 29, Anh.):

$$\Delta_{\text{quer}_i} = \sin(\Delta\alpha_i) * d_i \quad (7-6)$$

Nach der Berechnung dieser Parameter für alle Messpunkte wurden zuerst die Koordinaten der Punkte gelöscht, deren Distanzwerte  $d_i$  und  $-d_i$  zu dem jeweils vorangehenden und nachfolgenden einen bestimmten Grenzwert überschritten. Als Grenzwerte wurden 3 m bei den Ag-Leader-Daten und 9 m bei den Flowcontroldaten festgelegt, da Fahrgeschwindigkeiten von mehr als 3 m/s = 10 km/h beim Mähdrescher unwahrscheinlich sind (vgl. BLACKMORE AND MOORE [28]). Für diese Punkte gilt also:

$$d_i > 3 \text{ (bzw. 9) m} \wedge -d_i > 3 \text{ (bzw. 9) m} \quad (7-7)$$

Bei den Agrocom- und den 1995er Ag-Leader-Daten durften die Quotienten aus Distanz dividiert durch Zeitdifferenz nicht die Grenzwerte 3 (bei Ag-Leader) und 15 (bei Agrocom) überschreiten:

$$d_i/\Delta t_i > 3 \text{ (bzw. 15) m} \wedge -d_i/\Delta t_i > 3 \text{ (bzw. 15) m} \quad (7-8)$$

Anschließend wurden die Koordinaten aller Messpunkte gelöscht, deren Querabweichungsbetrag größer oder gleich einer halben Schneidwerksbreite (also bei den Getreideertragsdaten 2,15 m und den Körnermaisertragsdaten 2,5 m) ist und deren Fahrtrichtungsquadrant gleichzeitig ungleich dem des nachfolgenden und vorherigen Punktes sind, wenn deren Quadranten gleich sind, also gilt:

$$\Delta_{\text{quer}_i} \geq 2,15 \text{ (bzw. 2,5) m} \wedge \text{Quadrant}_i <> \text{Quadrant}_{i-1} \wedge \text{Quadrant}_{i-1} = \text{Quadrant}_{i+1} \quad (7-9)$$

Außerdem wurden die Koordinaten der Messpunkte gelöscht, deren zugehöriges Azimut  $\alpha_i$  von dem des vorherigen Messpunktes um mehr als 90° abweicht, wenn die Richtungsquadranten des vorherigen und nachfolgenden Punktes gleich sind, also gilt:

$$\alpha_i - \alpha_{i-1} > |90|^\circ \wedge \text{Quadrant}_{i-1} = \text{Quadrant}_{i+1} \quad (7-10)$$

Die gelöschten Koordinaten wurden aus den verbliebenen neu interpoliert, unter der Annahme, dass im Verlauf weniger Sekunden kein mehrfacher Fahrtrichtungswechsel stattfindet. Die Interpolation wurde für bis zu fünf Messpunkte mit gelöschten Koordinaten hinter-

einander durchgeführt. Die verwendete Interpolationsmethode war dabei die Bildung eines gewichteten arithmetischen Mittels mit Gewichtung nach der Entfernung des Messpunktes zu dem nächsten zurückliegenden und nachfolgenden Punkt mit gültigen Koordinaten, also z.B.:

$$x_i = 0,8 * x_{i-1} + 0,2 * x_{i+5} \quad \text{mit } \{x_i = \text{NULL}, x_{i+1} = \text{NULL}, x_{i+2} = \text{NULL}, x_{i+3} = \text{NULL}, x_{i+4} = \text{NULL}\} \quad (7-11)$$

Eine Interpolation größerer Datenlücken hätte keinen Sinn gemacht, da dadurch mögliche tatsächliche Änderungen der Fahrtrichtung überdeckt worden wären. Solche größeren Datenlücken sind allerdings nur selten aufgetreten.

Anschließend wurden die o.g. Parameter aus den korrigierten Koordinaten neu berechnet.

Danach wurden die Datensätze jeder Erntefahrt in Segmente, also geschlossene Abschnitte der Erntefahrt zwischen zwei Unterbrechungen, (bei Datenformaten mit Zeitstempel oder Attribut zum Arbeitsstatus) bzw. in Fahrspuren als Abschnitten zwischen zwei Wendemanövern, gegliedert. Hierbei wurde davon ausgegangen, dass es vor Fortsetzung des Drusches bzw. Wiedereinfahrt in den Bestand je nach Länge der Druschunterbrechung zu einer vollständigen oder zumindest teilweisen Entleerung des Mähdreschers kommt. Bei den Ertragsdaten mit den Formaten Ag-Leader 1995 und Claas-Agrocom 1998 wurden die Messpunkte Segmenten zugeordnet. Bei Ag-Leader endete ein Segment bei Hebung des Schneidwerks (Arbeitsstatus 0). Der entsprechende Algorithmus ist in das Perl-Skript *pos\_korr3.pl* integriert (Abb. 30, Anh.). Bei den Claas-Agrocom-Daten wurden als Unterbrechungen der Erntefahrt Strings mit einem Zeitabstand von mehr als 10 s zu dem jeweils vorherigen angesehen; die Zuordnung erfolgte bei Ablauf des Skripts *pos\_korr2.pl* (Abb. 31, Anh.).

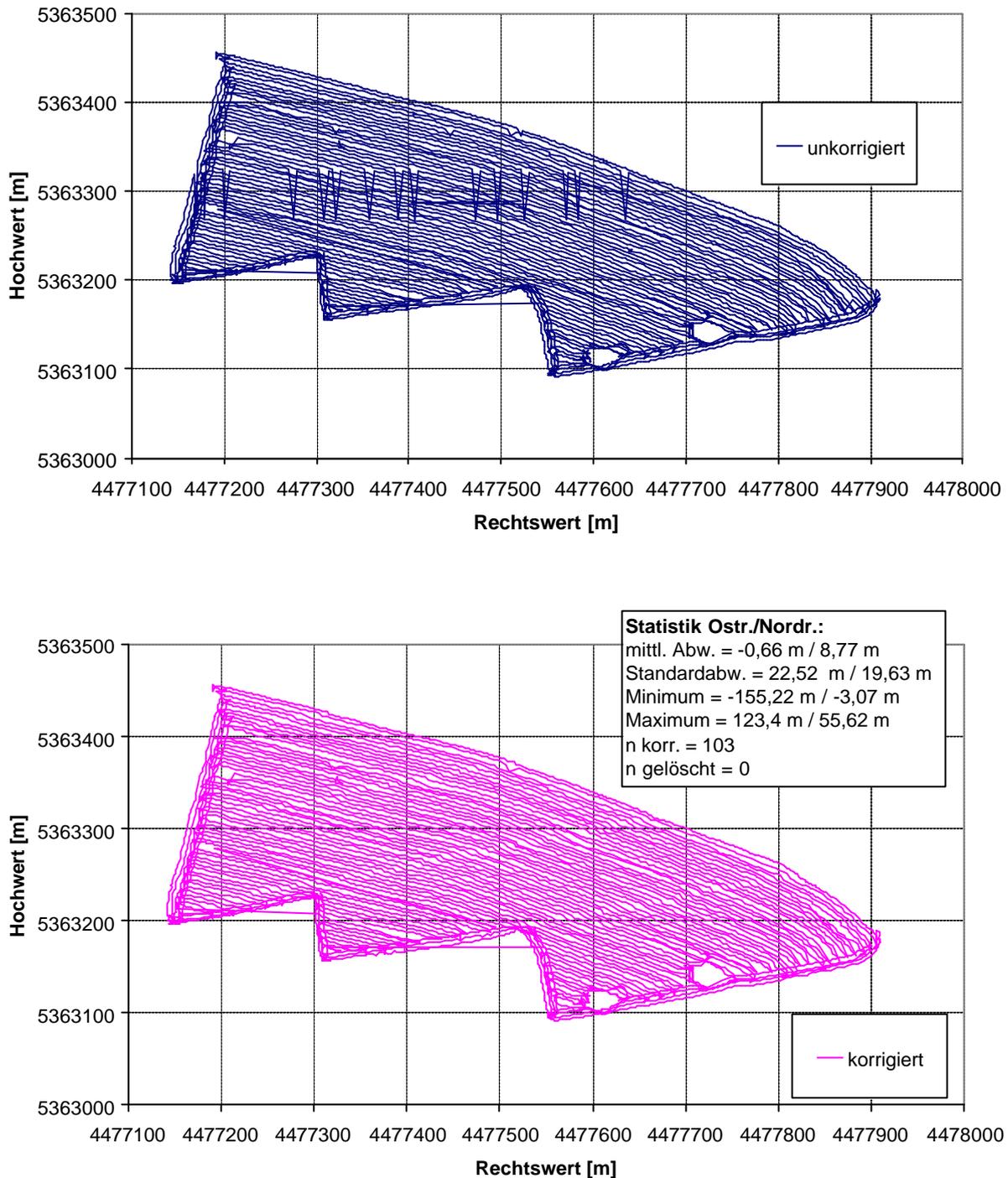
Die Getreideertragsdaten außer Ag-Leader 1995 wurden zu den Fahrspuren im Perl-Skript *pos\_korr.pl* (Abb. 32, Anh.) nach der Korrektur der größten Positionierungsfehler zugeordnet. Als Beginn einer neuen Fahrspur wurden Messpunkte gesetzt, bei denen die Fahrtrichtungsänderung gegenüber dem Messpunkt zuvor einen bestimmten Grenzwert überschritt. Dieser wurde im Perl-Skript als Variable definiert; bei den Untersuchungen wurde der Wert  $85^\circ$  verwendet.

Bei den Ertragsurdaten aus Scheyern 1992 erfolgte die Zuordnung der Messpunkte zu den Segmenten in der DB2-Befehlszentrale (Abb. 33, Anh.).

Am Ende wurden die nicht mehr benötigten geometrischen Parameter gelöscht.

Die Korrektur der Positionen und damit letztlich die Zuordnung der Messpunkte war sehr effektiv bei Erntefahrten mit überwiegend guter Ortungsqualität, bei denen nur einzelne mit

GPS ermittelte Positionen deutlich vom wirklichen Fahrweg abwichen. Ein Beispiel hierfür sind die Flowcontroldaten der Erntefahrt auf Schlag D01 1999 (Abb. 40).



**Abbildung 40:** Unkorrigierte und korrigierte mit DGPS ermittelte Fahrspuren der Erntefahrt D01 1999 (Flowcontrol)

Bis auf die auffälligen Ausreißerpunkte decken sich die unkorrigierten Positionen vollständig mit den korrigierten. Nur gelöscht wurden im Falle dieser Daten die Koordinaten keines Messpunktes.

Die Positionsdaten der Ag-Leader-Daten derselben Erntefahrt unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen Aufzeichnungsfrequenz deutlich von denen der Flowcontroldaten. Die auffälligen Ausreißerpunkte sind hier nicht vorhanden (Abb. 34, Anh.). Insgesamt wurden bei den Flowcontroldaten die Positionsdaten von 103 Messpunkten, bei den Ag-Leader-Daten nur von 11 Messpunkten korrigiert. Bei den Ag-Leader-Daten wurden bei 10 weiteren Messpunkten die Koordinaten nur gelöscht.

Die Zuordnung zu den Fahrspuren durch den Positionskorrekturalgorithmus funktionierte weitestgehend, auch wenn an manchen Stellen unrealistische Fahrspurwechsel ausgewiesen sind (Abb. 35, Anh.). Die Anzahl der ausgewiesenen Fahrspuren ist bei den Flowcontroldaten zwar größer, die Fahrspuren in der Hauptfahrtrichtung sind allerdings weitestgehend identisch.

Bei Erntefahrten mit sehr schlechter Ortungsqualität, bei der mehrere Positionsdaten hintereinander in derselben Richtung von der wirklichen Fahrspur abweichen, greift der Positionskorrekturalgorithmus nicht, da in solchen Fällen keines der in Abbildung 39 dargestellten Kriterien greift.

Bei diesen Erntefahrten macht eine Zuordnung der Messpunkte zu Fahrspuren keinen Sinn, da durch die GPS-Messungen häufig Wendungen vorgetäuscht werden. Bei den meisten Erntefahrten brachte der verwendete Algorithmus eine Verbesserung der Georeferenzierung der Ertragsmesspunkte.

### 7.1.2 Statistische Eigenschaften der unbereinigten Ertragsdaten

Tabelle 7 zeigt die wichtigsten statistischen Kennwerte der untersuchten Ertragsdaten im Überblick. Auffallend sind die sehr großen Spannweiten der Ertragsmesswerte. Die Minimalerträge liegen häufig unter 10 dt/ha, die Maximalerträge bei den Druschfrüchten durchweg über 100 dt/ha und bei Körnermais über 150 dt/ha. Die relativen Streuungen der Ertragsmesswerte liegen überwiegend zwischen 20 und 50%.

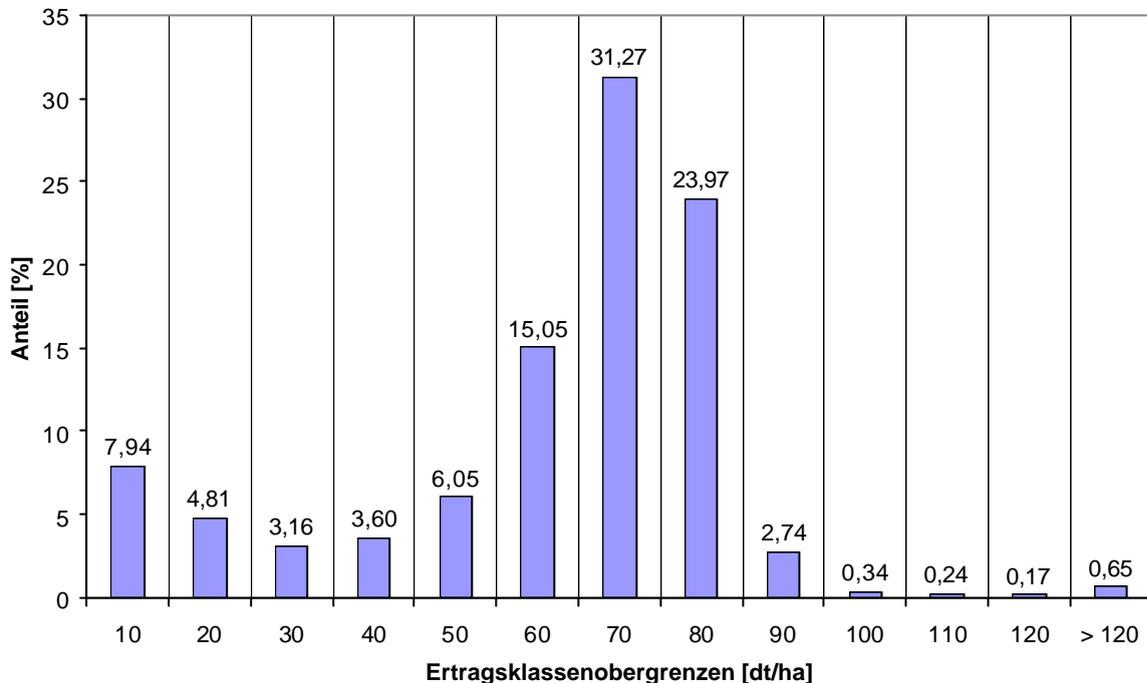
Bezüglich der Symmetrie der Häufigkeitsverteilungen der Ertragsdaten ist zu sehen, dass der Großteil der Daten leicht positiv bzw. negativ schief verteilt ist. Ein Vergleich der arithmetischen Mittel der Ertragsmesswerte mit den wirklichen mittleren Erträgen (Gesamtmenge nach Brückenwaage bezogen auf 14% Feuchte dividiert durch Schlagfläche) zeigt relative Abweichungen von meist bis zu  $|10|$  %; in einigen Fällen liegen sie sogar darüber.

Dies zeigt, dass die Verwendung eines Korrekturfaktors allenfalls eine nicht ausreichende Systemkalibrierung ausgleicht, dass sich aber systematische Fehlerquellen in unterschiedlichem Maße auf die Qualität der Daten ausgewirkt haben.

Tabelle 7: Statistische Kennzahlen der Ertragsdaten in Dürnast (ohne 0-Werte)

Schlag	Jahr	Feldfrucht	Ertragserm.	n	Mittelw. [dt/ha]	Min. [dt/ha]	Max. [dt/ha]	s [dt/ha]	VK [%]	Schiefe-koeffizient	Brückenw. [dt/ha]	rel. Abw. [%]
D04	1999	Erbesen	ALPF3000	12582	37,71	2,40	393,36	15,28	40,52	4,38	37,9	-0,50
D04	1999		Datavision-Flowc.	4407	38,80	0,92	202,40	17,40	44,83	2,71	37,9	2,38
D05	2000		ALPF3000	4107	27,39	0,90	194,48	13,25	48,37	0,69	29,7	-7,78
D05	2000		Datavision-Flowc.	1901	28,26	1,09	184,21	17,13	60,62	1,79	29,7	-4,85
D07	2000		ALPF3000	2152	30,78	1,15	105,80	11,51	37,40	-0,59	32,1	-4,12
D07	2000		Datavision-Flowc.	980	29,67	1,32	110,88	15,81	53,29	0,41	32,1	-7,58
D24	2000		ALPF3000	2789	28,80	0,87	223,60	11,02	38,27	3,25	28,7	0,34
D24	2000		Datavision-Flowc.	1252	28,75	1,20	182,40	15,58	54,20	2,50	28,7	0,18
gesamt				30170	31,27	1,23	199,64	14,62	47,19	1,89	32,10	-2,59
D01	1998	Körnermais	Claas-Agrocom	619	125,58	2,03	192,10	35,00	27,87	-2,33	125,8	-0,18
D08	1998		Claas-Agrocom	1200	97,59	0,85	157,96	30,76	31,52	-1,70	97,81	-0,23
gesamt				1819	111,58	1,44	175,03	32,88	29,69	-2,02	111,81	-0,20
D08	2000	Wintergerste	ALPF3000	7316	56,91	1,00	326,00	15,46	27,16	-0,31	58	-1,87
D08	2000		Datavision-Flowc.	3003	63,63	1,42	272,64	29,42	46,23	-0,46	58	9,71
D09	1999		Datavision-Flowc.	884	50,11	1,14	212,04	21,50	42,91	0,49	50,2	-0,18
D13	2000		ALPF3000	10716	36,75	0,54	73,98	9,07	24,68	-1,52	34,9	5,31
D13	2000		Datavision-Flowc.	4446	31,69	0,57	122,55	12,61	39,79	-0,82	34,9	-9,21
D18	1999		Datavision-Flowc.	376	59,51	1,45	319,00	28,48	47,85	1,48	60,6	-1,80
D20	1999		Datavision-Flowc.	1685	23,16	0,59	109,74	10,15	43,83	0,53	24,5	-5,45
D22	1998		ALYM2000	4928	51,93	7,44	258,62	19,88	38,28	0,27	55,42	-6,30
D23	1998	ALYM2000	10392	61,33	8,20	187,32	12,48	20,35	-0,23			
D24	1999	Datavision-Flowc.	1362	57,00	1,21	210,54	22,23	39,01	-0,32	57,4	-0,69	
gesamt				45108	49,20	2,36	209,24	18,13	37,01	-0,09	48,21	2,05
D01	1995	Winterweizen	ALYM2000	27292	56,52	0,07	200,26	23,64	41,83	-0,47		
D01	1997		ALYM2000	15027	67,20	9,38	187,00	14,59	21,70	-0,79		
D01	1999		ALYM2000	23717	78,68	15,01	195,71	12,02	15,28	-0,90	74,4	5,75
D01	1999		Datavision-Flowc.	9668	69,88	1,25	275,00	23,28	33,32	-1,15	74,4	-6,07
D03	1996		ALYM2000	6198	67,90	11,32	109,95	13,89	20,45	-1,10		
D03	1997		ALYM2000	4241	67,07	10,65	110,75	12,46	18,58	-1,39		
D03	1998		ALYM2000	7050	77,73	33,50	244,28	15,10	19,43	1,21	74,11	4,89
D03	2000		ALPF3000	7648	44,48	0,89	205,59	18,33	41,20	-0,32	49,51	-10,16
D03	2000		Datavision-Flowc.	3540	43,36	0,89	132,75	22,27	51,36	-0,16	49,51	-12,43
D04	1996		ALYM2000	16522	68,79	10,32	313,09	13,91	20,22	0,43		
D04	1997		ALYM2000	16522	67,32	8,58	276,11	14,02	20,82	-0,17		
D04	1998		ALYM2000	18640	85,45	27,07	142,51	11,64	13,62	-0,21	76,22	12,12
D04	2000		ALPF3000	14337	70,70	1,02	406,60	20,69	29,27	0,17	76,79	-7,93
D04	2000		Datavision-Flowc.	3532	67,93	1,20	264,00	25,75	37,91	-0,23	76,79	-11,53
D05	1997		ALYM2000	3945	72,26	7,24	112,29	16,14	22,33	-1,35		
D08	1999		ALPF3000	6697	65,45	1,00	247,00	13,98	21,36	-1,46	66,8	-2,03
D08	1999		Datavision-Flowc.	2983	59,53	1,26	274,68	24,73	41,54	-0,64	66,8	-10,88
D09	1996		ALYM2000	1014	72,58	16,15	135,21	16,16	22,27	-0,66		
D09	1998		ALYM2000	1171	71,45	30,82	113,43	13,03	18,23	0,04	55,57	28,58
D13	1996		ALYM2000	9299	69,82	10,52	163,21	14,51	20,79	-0,91		
D13	1999		ALPF3000	9489	70,92	1,00	430,00	16,63	23,45	-0,50	76,4	-7,18
D13	1999		Datavision-Flowc.	4080	70,88	1,27	274,32	26,49	37,37	-0,99	76,4	-7,23
D18	1996		ALYM2000	859	69,10	12,80	113,10	15,49	22,42	-1,05		
D18	1998		ALYM2000	794	65,97	39,33	111,35	13,52	20,49	0,29		
D20	1996		ALYM2000	2799	64,17	12,06	176,01	19,38	30,20	-0,19		
D20	1998		ALYM2000	3029	68,72	29,01	123,41	13,03	18,95	0,09	58,57	17,33
D21	1996		ALYM2000	2545	64,21	11,19	120,87	18,38	28,63	-0,82		
D21	1998		ALYM2000	2531	80,45	30,08	141,37	14,85	18,46	-0,09	73,92	8,83
D21	2000		ALPF3000	5639	61,69	1,00	524,00	27,36	44,34	2,91	73,96	-16,58
D21	2000		Datavision-Flowc.	1459	58,00	0,84	184,80	26,37	45,46	0,05	73,96	-21,58
D24	1996		ALYM2000	2984	57,66	9,18	123,48	18,22	31,59	-0,26		
D24	1998		ALYM2000	2926	68,01	27,00	129,44	12,62	18,56	0,20	59,14	15,00
S04	1996	ALYM2000	16862	70,26	10,45	245,56	15,08	21,47	-0,80			
S04	1998	ALYM2000	15927	76,92	28,68	195,10	13,41	17,43	-0,01	70,38	9,30	
S04	2000	ALPF3000	8071	62,12	1,00	680,00	19,42	31,26	3,83	78,16	-20,52	
S04	2000	Datavision-Flowc.	2838	72,01	1,40	299,60	26,05	36,17	-0,48	78,16	-7,87	
gesamt				281875	67,37	11,51	221,72	17,68	27,16	-0,22	69,52	-3,10

Abbildung 41 stellt die Häufigkeitsverteilung der mit Ag-Leader ermittelten und über RS232 direkt auf einen PC aufgezeichneten Ertragswerte der Winterweizenernte auf Schlag D01 1995 dar. Die Verteilung hat einen ausgeprägten Schweif im Bereich der niedrigen Erträge.



**Abbildung 41:** Histogramm der ungefilterten Ertragswerte ohne Nullwerte Schlag D01 1995 (Winterweizen, Ag-Leader)

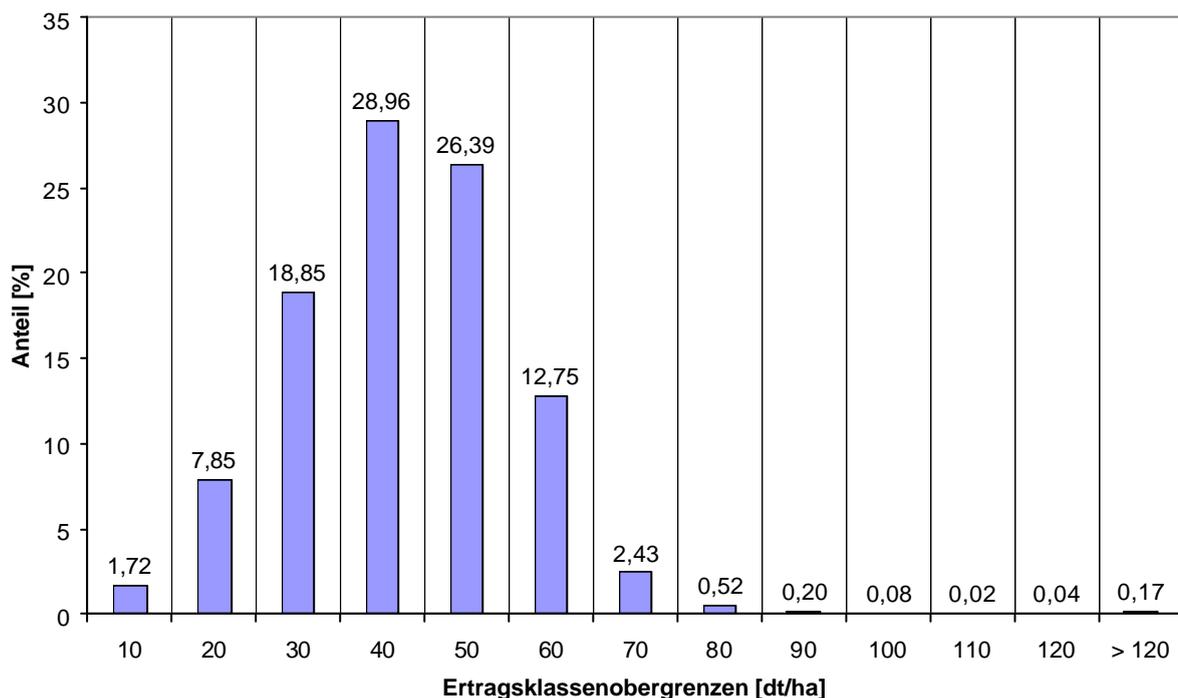
Es deutet sich ein sekundäres Maximum unter 10 dt/ha an. Es ist nicht zu erkennen, ob dies auf einen großen Einfluss der Befüll- und Entleerzeitphasen mit zu niedrigen Ertragswerten zurückzuführen ist, oder auf eine Zone sehr niedrigen Ertrages.

Der Anteil von Ertragswerten über 90 dt/ha ist dagegen mit < 2% sehr gering; diese Werte können mit ziemlicher Sicherheit als fehlerhaft (z.B. durch plötzliches Abbremsen) betrachtet werden. An der räumlichen Darstellung der nach Ertragswerten eingefärbten Messpunkte dieser Erntefahrt (Abb. 36, Anh.) ist zu erkennen, dass niedrige Ertragswerte < 10 dt/ha vor allem im Vorgewende, an den Anfängen der Fahrspuren und um Hindernisse (einzelne Bäume am südöstlichen Schlagrand) herum gemessen wurden. Dies deutet auf einen großen Einfluss der Füll- und Entleerphasen hin; sehr hohe Ertragswerte treten nur punktuell auf und können als Folge starken Abbremsens während der Fahrt gedeutet werden. Die langen Fahrspuren mit sehr niedrigen Ertragswerten sind möglicherweise die Folge zu geringer effektiver Schnittbreite oder zeigen Aufzeichnungen bei Leerlaufen des Elevators während einer Nichtarbeitsphase (Maschinenentleerung).

Bei den ebenfalls mit Ag-Leader ermittelten Winterweizenenerträgen auf demselben Schlag vier Jahre später sind über 95% der Ertragswerte im Bereich zwischen 60 und 100 dt/ha konzentriert (Abb. 37, Anh.). Zu den Extremwerten hin gehen die Klassenhäufigkeiten beidseitig stark zurück, was auch die Darstellung der Messpunkte zeigt (Abb. 38, Anh.). Befüll- und Entleerzeiten sind optisch nicht mehr zu erkennen. Dies weist auf einen starken Einfluss der internen Korrektur beim Auslesen der Ertragsdaten aus der Binärdatei hin.

Im Gegensatz dazu haben die Flowcontrol-Ertragsdaten derselben Erntefahrt einen deutlichen Schweif mit angedeutetem sekundärem Maximum unter 10 dt/ha (Abb. 39, Anh.); die Darstellung der Messpunkte (Abb. 40, Anh.) lässt darauf schließen, dass dies durch einen hohen Anteil fehlerhafter Werte wahrscheinlich der Befüll- und Entleerzeit bedingt ist.

Abbildung 42 ist ein Histogramm für Erbsenertragswerte ermittelt mit Ag-Leader. Die Verteilung ist abgesehen von dem flachen Schweif zu den hohen Erträgen hin sehr symmetrisch. Fast 99% der Werte liegen unter 70 dt/ha, die übrigen rund 1% verteilen sich auf die Klassen darüber bis zum Maximalwert.

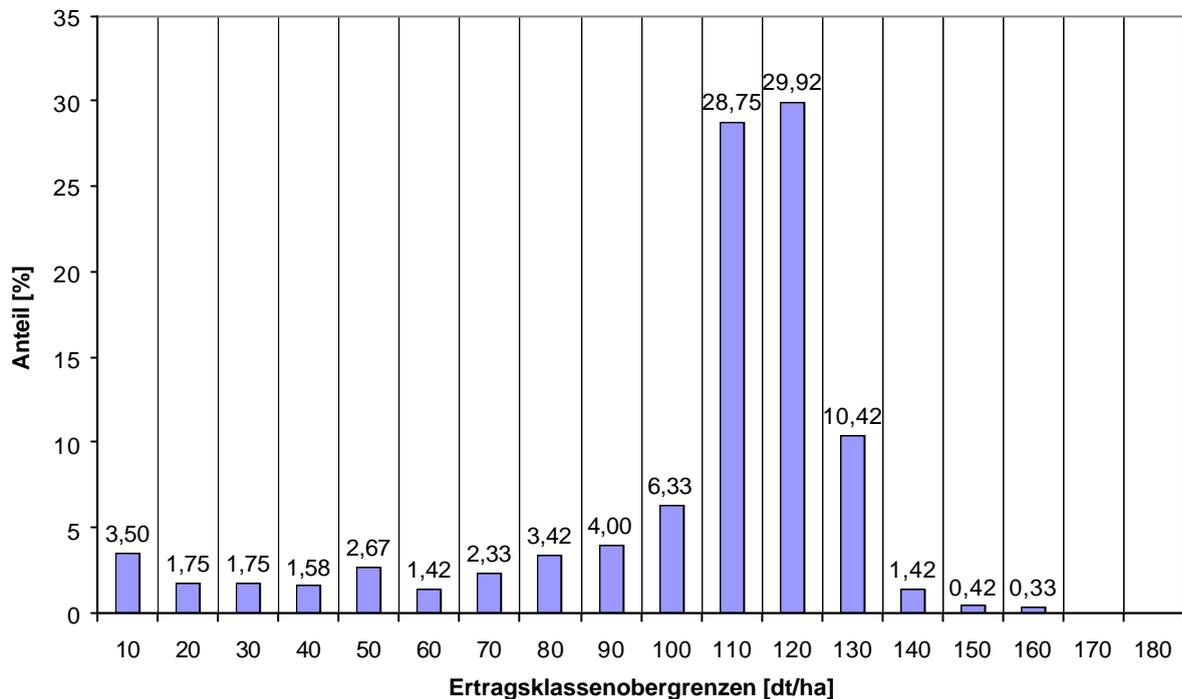


**Abbildung 42:** Histogramm der ungefilterten Ertragswerte ohne Nullwerte Schlag D04 1999 (Erbsen, Ag-Leader)

Sehr ähnlich ist das Histogramm der entsprechenden Flowcontrolwerte, wobei der Gipfel der Verteilung stärker ausgeprägt ist (Abb. 41, Anh.).

Die Verteilungen der mit dem System CLAAS-Agrocom ermittelten Körnermaiserträge zeichnen sich durch einen ausgeprägten Gipfel mit über 50% der Werte in zwei Ertragsklassen und einen ausgeprägten Schweif zu den niedrigen Erträgen hin aus (Abb. 43). Rund

29% der Werte verteilen sich auf die Ertragsklassen unter 100 dt/ha mit einem angedeuteten sekundären Maximum unter 10 dt/ha.



**Abbildung 43:** Histogramm der ungefilterten Ertragswerte ohne Nullwerte Schlag D08 1998 (Körnermais, Claas-Agrocom)

Die Häufigkeitsverteilungen der meisten Erntefahrten besitzen unabhängig von der Feldfrucht eine starke Symmetrie in einem zentralen Bereich, in dem über 90% der Werte liegen und einen ausgeprägten Schweif, oft mit angedeutetem sekundären Gipfel, der meist unterhalb des Mittelwertes liegt.

Extrem hohe Ertragswerte treten selten auf. Die optische Analyse der Messpunkte legt nahe, dass es sich bei den sehr niedrigen Ertragswerten um fehlerhafte Werte handelt, da sie gehäuft an den Anfängen der Fahrspuren auftreten. Dies wird noch im Folgenden näher untersucht werden. Bei den Verteilungen mit niedrigen Mittelwerten, also den Erbsenertragswerten, ist kein Schweif links vom Mittelwert zu erkennen, nur extrem hohe Ertragswerte fallen in den Verteilungen auf.

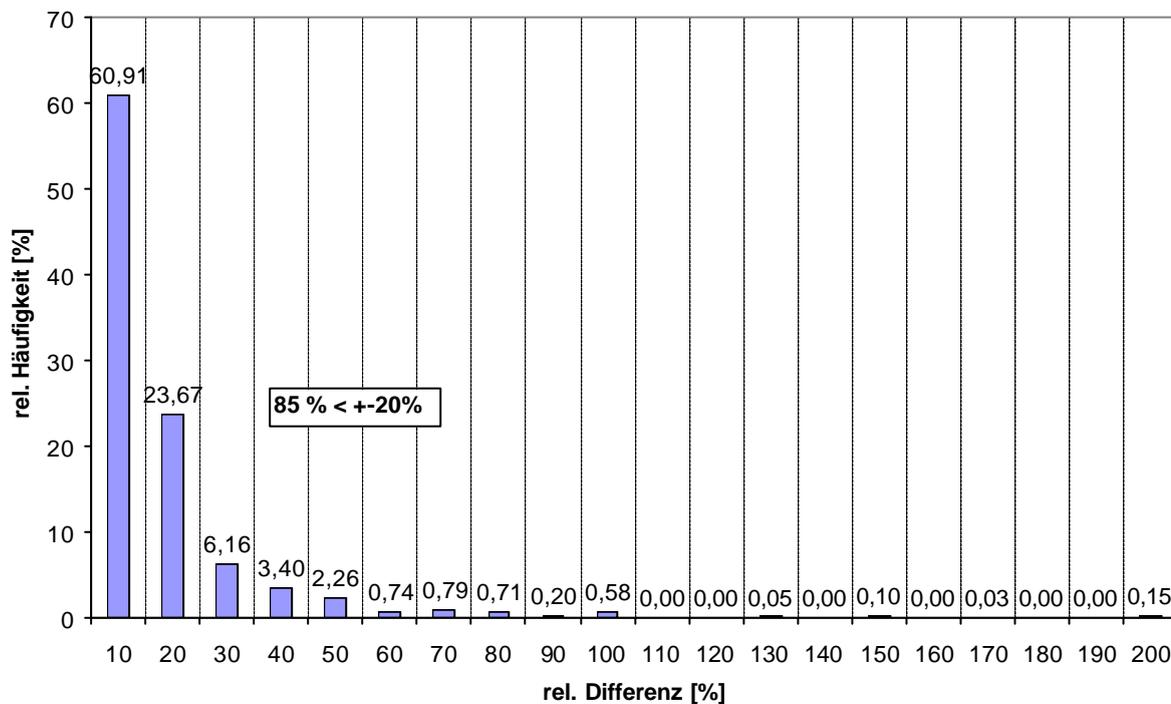
Insgesamt ist anhand der Analyse der Häufigkeitsverteilungen nicht möglich, genau zu beurteilen, welche Daten fehlerhaft sind und welche nicht. Aus diesem Grunde ist eine genauere Analyse der Daten auf die einzelnen Fehlergrößen notwendig.

Eine weitere Möglichkeit zur Beurteilung der Qualität eines Ertragswertes ist die Differenz zu dem vorhergehenden und zu dem nachfolgenden Wert. Ein einzelner Messwert, der zu dem vorhergehenden und nachfolgenden stark differiert, kann mit großer Sicherheit als fehlerhaft

betrachtet werden. Im Folgenden soll die statistische Verteilung der als Betrag errechneten Ertragsinkremente untersucht werden, um beurteilen zu können, welche Inkremente statistisch als „normal“ und welche als extrem zu betrachten sind.

Die Differenzen zwischen den Ertragswerten wurden nur innerhalb der einzelnen Fahrspuren bzw. Segmente berechnet. Es wurden sowohl die Differenzen zum jeweils nachfolgenden („vorwärts“) als auch die zum jeweils vorangehenden („rückwärts“) berechnet. Dies erfolgte mit einem PERL-Skript.

Abbildung 44 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Ertragsdifferenzen einer Erntefahrt. Es handelt sich um eine linkssteile Verteilung mit einem langen Schweif. Rund 60% der relativen Abweichungen liegen unter 10 %, rund 96% unter 50%. Die Histogramme der Differenzen sind bei allen Getreideertragsdaten ähnlich.



**Abbildung 44:** Häufigkeitsverteilung der relativen Differenzen zu vorangehenden Ertragswerten D05 2000 (Erbsen, Ag-Leader)

Bei den Körnermaisertragsdaten liegen schon über 70 % der Differenzen unter 10 %, danach nähern sich die Häufigkeiten schnell der x-Achse an; dabei liegen noch insgesamt über 5 % der Werte liegen über 100% (Abb. 42, Anh.).

Tabelle 8 zeigt in einer Zusammenfassung die wichtigsten Kennwerte. Für die Kennwerte arithmetisches Mittel, Standardabweichung und 95%-Quantil der einzelnen Erntefahrten wurden hierbei Mittelwert, Standardabweichungen und Extremwerte für alle n Erntefahrten zusammen berechnet.

**Tabelle 8:** Statistik der Differenzen zwischen aufeinanderfolgenden Werten insgesamt (Inkremete vorwärts)

	Ag-Leader		
	Mittelwert [%]	s [%]	95%-Quantil
Mittelwert	12,05	38,02	35,44
Standardabw.	3,61	88,11	11,72
Minimum	5,01	5,89	15,00
Maximum	25,43	530,20	66,98
n	35		
	Flowcontrol		
	Mittelwert [%]	s [%]	95%-Quantil
Mittelwert	21,14	151,63	50,34
Standardabw.	7,93	81,63	10,46
Minimum	8,39	7,13	21,93
Maximum	37,89	269,63	66,56
n	16		
	Claas-Agrocom		
	Mittelwert [%]	s [%]	95%-Quantil
Mittelwert	11,51	25,13	58,70
Standardabw.			
Minimum	10,52	23,97	55,41
Maximum	12,49	26,30	62,00
n	2		

R(95%-Q./Schlaggröße)

Inkr. vorw. Inkr. rückw.

Ag-Leader	-0,30	-0,18
Flowcontrol	-0,62	-0,74

Die mittleren Differenzen vorwärts liegen bei den Ag-Leader-Ertragswerten zwischen 5 und 25% (bezogen auf den jeweiligen Zielwert) und im Mittel bei 12%. Die Streuungen der Differenzen liegen zwischen 5 und 530% bei einem Mittelwert von 38%. Im Mittel über alle Erntefahrten sind 95% der Werte  $\leq 35\%$ .

Bei den Flowcontrolwerten sind die Kennwerte aufgrund des rund dreimal so großen Aufzeichnungsintervalls zwei- bis dreimal so hoch. Die Tatsache, dass die mittleren Differenzen im Durchschnitt nicht ganz doppelt so hoch sind, ist wahrscheinlich auf die interne Glättung der Durchsatzmesswerte zurückzuführen. Das 95%-Quantil liegt im Mittel über 50%.

Bei den Körnermaisertragsdaten liegen die mittleren Differenzen bei 10,5 und 12,5% mit relativen Streuungen von jeweils 24 bzw. 26%. Die 95%-Quantile betragen jeweils 55 und 62%.

Die 95%-Quantile stehen bei den Flowcontrolwerten in einer deutlichen negativen Korrelation zur Schlaggröße; je größer also das Feld, desto kleiner ist dieses Quantil. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass auf kleineren Feldern die Variabilität der Fahrgeschwindigkeit größer ist und somit stärker als Messfehler in Erscheinung tritt als bei größeren Feldern. Die Ertragsinkremente scheinen also ein guter Indikator für die Qualität

von Ertragsdaten zu sein. Warum die Korrelation bei den Ag-Leader-Daten weit weniger ausgeprägt ist, kann nicht beantwortet werden.

Auf eine genauere Analyse der Inkremente zu den nachfolgenden Werten konnte verzichtet werden, da die Kennwerte im Großen und Ganzen mit denen der Inkremente vorwärts übereinstimmen.

Insgesamt lässt sich folgendes festhalten: die relativen Häufigkeiten der relativen Ertragsinkremente beschreiben Kurven, die von der Ordinate ausgehend sich der Abszisse asymptotisch annähern. Die zum Schweif gehörigen Werte sind statistisch Ausreißer; sofern ein Ertragswert sowohl vom vorangehenden als auch vom nachfolgenden um einen solchen Betrag differiert, ist dies ein Indiz auf Fehlereinflüsse wie abruptes Abbremsen bzw. Beschleunigen.

### 7.1.3 Analyse der Daten bezüglich wichtiger Fehlergrößen

Die vorhandenen Ertragsdaten wurden auf die Fehlergrößen effektive Schnittbreite, Maschinenbefüllung und –entleerung, Messversatz, Beschleunigungen und Gutsfeuchte untersucht.

#### 7.1.3.1 Effektive Schnittbreite

Die effektive Schnittbreite ließ sich auf zwei verschiedene Weisen quantifizieren bzw. nähern. Zum einen durch einen Vergleich der vom Schneidwerk überfahrenen Fläche bei der Ernte eines Feldes, also der integrierten Flächenleistung, mit der wirklichen Feldfläche bzw. Erntefläche (letztere wenn z.B. Versuchspartzellen umfahren werden mussten), weil durch Abweichungen der effektiven Schnittbreite von der Schneidwerksbreite sich die vom Schneidwerk überfahrene Fläche gegenüber der Erntefläche erhöht. Da die aktuelle Flächenleistung sich aus Fahrgeschwindigkeit multipliziert mit der Schneidwerksbreite ergibt, konnte diese Berechnung nur bei Daten mit aufgezeichneter Fahrgeschwindigkeit erfolgen. Diese Form der Berechnung wurde daher an den Ertragsurdaten aus Scheyern durchgeführt. Die aktuelle Flächenleistung wurde dabei in SQL nach der folgenden Formel berechnet:

$$\text{Flächenleistung}_{\text{akt}} \text{ [ha}\cdot\text{h}^{-1}] = v \text{ [km}\cdot\text{h}^{-1}] * 1000 * 5,55 \text{ [m]} / 10000 \quad (7-12)$$

(mit  $v$  = Fahrgeschwindigkeit, 5,55 m = Schneidwerksbreite)

Der Mittelwert der errechneten Flächenleistungen mit Schneidwerk im Bestand, also Arbeitsstellung = 0, dividiert durch 3600, also die mittlere Flächenleistung in  $\text{ha}\cdot\text{s}^{-1}$ , wurde mit der Summe der Zeitdifferenzen aller Strings mit Arbeitsstellung = 0 zur vom Schneidwerk überfahrenen Fläche verrechnet, die mit der wirklichen Feldfläche verglichen werden konnte:

$$\text{Flächenleistung}_{\text{int}} [\text{ha}] = \bar{X}_{\text{Flächenleistung(akt.)}} / 3600 * \sum \Delta t_i \quad (7-13)$$

mit  $\Delta t_i$  = Zeitdifferenz zwischen zwei Messungen [s]

Tabelle 9 zeigt die vom Schneidwerk jeweils überfahrenen Flächen im Vergleich zu dem wirklichen Feldflächen bei einigen Erntefahrten in Scheyern 1992 errechnet aus den Ertragsurdaten.

**Tabelle 9:** Vergleich der vom Schneidwerk überfahrenen Fläche (mit Schneidwerk im Bestand) mit vermessener Feldfläche (Scheyern 1992, Sommergerste)

Schlag	Schlagform	n	Fläche n. System [ha]	Feldfläche [ha]	rel. Diff. [%]	rel. Differenz erm.* zu tats. mittl. Ertr.
Unteres Geiswegf.	rechteckig	3581	3,46	3,4	+1,69	-1,66
Eulenwies	winkelförmig	5474	5,69	5,3	+7,40	-6,89
Hopfengarten	prismenförmig	2451	2,27	2,1	+8,02	-7,43
Neubruch	rechteckig	3931	3,45	3,1	+11,40	-10,24
Oberes Geiswegf.	trapezförmig	3619	3,72	3,3	+12,79	-11,34

\* = tatsächliche Erntemenge dividiert durch Fläche n. System

Es zeigt sich, dass die Abweichungen bei über 10% liegen können. Mögliche Einflussfaktoren sind hierbei Feldgröße (bei kleinen Feldern ist der Flächenanteil des Vorgewendes relativ hoch) und Form des Feldes (je verwinkelter die Form eines Feldes ist, desto größer ist die Abweichung), aber auch Hangneigung (bei Abrutschen des Fahrzeugs kommt es zur Abweichung von der Schneidwerksbreite) und Genauigkeit des Fahrers. Die Korrelation zwischen Feldgröße und Abweichung ist mit  $R = 0,13$  sehr gering, was für einen großen Einfluss der anderen Faktoren spricht.

Die resultierenden Abweichungen der mittleren gemessenen Erträge (ohne Berücksichtigung anderer Fehlerquellen) von den wirklichen mittleren Erträgen nach der Brückenwaage lassen sich rechnerisch ermitteln; sie liegen mit umgekehrten Vorzeichen in vergleichbaren Größenordnungen. Diese Werte decken sich nur teilweise mit den Ergebnissen der Untersuchungen von AUERNHAMMER ET AL [13] (vgl. Kap. 3.1.4).

In allen anderen Fällen bot sich die Näherung der effektiven Schnittbreite durch die korrigierten Positionsdaten an. Hierzu wurde für jeden Messpunkt die geometrische Entfernung zum nächstgelegenen Punkt einer benachbarten, vorher befahrenen Fahrspur ermittelt, der bei theoretisch angenommener absoluter Ortungsgenauigkeit annähernd gleich der effektiven Schnittbreite am betrachteten Messpunkt wäre.

Da der jeweils nächstgelegene Messpunkt nicht von vornherein bekannt war, wurde für jeden Messpunkt ( $x_a$ ,  $y_a$ ) die Entfernung zu jedem anderen Messpunkt in den vorher befahrenen Fahrspuren berechnet; dies erfolgte entsprechend dem Satz des Pythagoras nach der Formel:

Geometrische Entfernung:  $d = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}$  (7-14)  
 (mit a = lfd. Nummer des betrachteten Messpunktes und b = laufende Nummer eines Messpunktes in einer zuvor befahrenen Fahrspur)

Das Minimum dieser Werte ist die Entfernung zum nächstgelegenen Messpunkt.

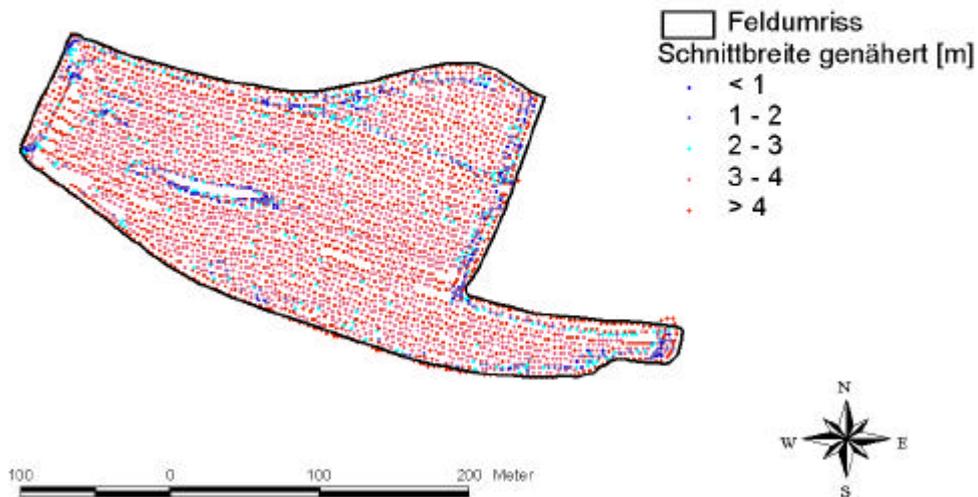
Die nach Korrektur der größten Ortungsfehler verbleibenden Ortungsungenauigkeiten sind nach den bisherigen Erkenntnissen normalverteilt um 0 (vgl. Kap. 3) und heben sich daher gegenseitig auf. Unter der Annahme, dass dies bei einem bewegten Objekt ebenso der Fall ist wie bei einer statischen Messung, wurde das arithmetische Mittel dieser Distanzen für alle Messpunkte einer Erntefahrt als Näherung für die mittlere effektive Schnittbreite betrachtet und mit der Schneidwerksbreite verrechnet. Ausgenommen von dieser Analyse waren Fahrspuren mit nur wenigen Messpunkten, die sehr geringe Distanzwerte aufwiesen. Außerdem wurden Werte an den Anfängen der Fahrspuren bzw. Segmente entfernt, da die jeweils nächstgelegenen Punkte ebenfalls nicht in ugf. parallelen Fahrspuren liegen und sich somit zu niedrige Distanzwerte ergaben. Um weitere gröbere Ortungsfehler, die nicht von dem Positionskorrekturalgorithmus erfasst wurden, auszuschließen, wurden alle Werte unter 1 m und über 8 m (ugf. Schneidwerksbreite – 3,5 m bzw. Schneidwerksbreite + 3,5 m) von der Analyse ausgenommen.

Tabelle 2 (Anh.) zeigt die arithmetischen Mittel der bei den Ertragsdaten aus Dürnast ermittelten effektiven Schnittbreiten. Die relativen Abweichungen liegen wie schon bei den Ertragsurdaten zwischen 3 und 15% und zeigen mit  $R = 0,56$  eine erkennbare positive Korrelation zur Schlaggröße, d.h. je kleiner der Schlag, desto größer ist tendenziell die negative Abweichung. Die Abweichungen sind in der Größenordnung vergleichbar mit den Untersuchungen von AUERNHAMMER ET AL. [12]. Für Erntefahrten mit sehr schlechter Ortungsqualität machte die Analyse keinen Sinn, da in diesen Fällen keine effektive Positionskorrektur möglich war. Die Erntefahrt auf Schlag S04 2000 wurde ebenfalls ausgenommen, da Versuchsstreifen gedroschen wurden, wobei einzelne Parzellen zur Ernte durch einen Parzellenmähdrescher übriggelassen wurden.

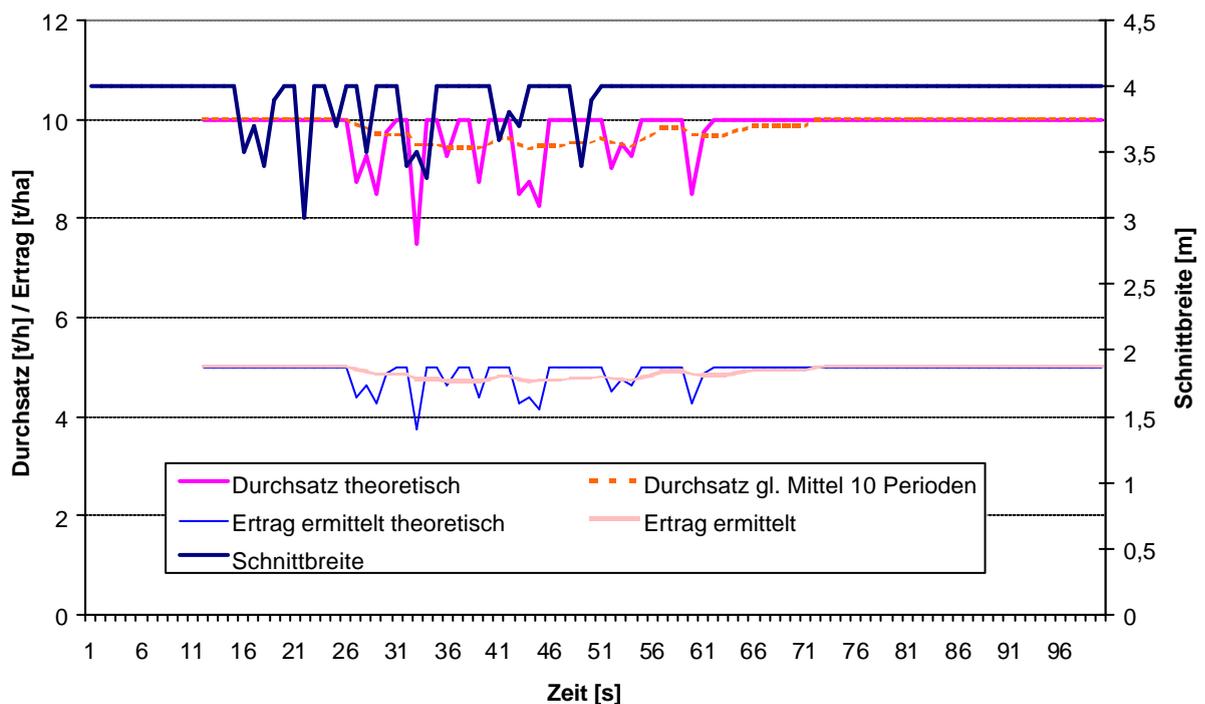
Abbildung 45 zeigt die nach der vorhin beschriebenen Methode genäherten effektiven Schnittbreiten einer Erntefahrt auf Schlag D13 in ihrer räumlichen Lage.

Es ist zu sehen, dass Messpunkte mit Werten unter der halben Schneidwerksbreite vor allem an Hindernissen wie der Geländestufe in der Schlagmitte, an den Ecken im Vorgewende und dort, wo Fahrspuren zusammenlaufen, gehäuft vorliegen, also an Stellen, wo am ehesten größere Abweichungen von der vollen Schneidwerksbreite zu erwarten sind. Dies zeigt, wie gut der verwendete Algorithmus die effektive Schnittbreite genähert hat.

Wie sich eine von der Schneidwerksbreite abweichende effektive Schnittbreite auf die gemessenen Erträge auswirkt, soll eine Modellrechnung verdeutlichen (Abb. 46).



**Abbildung 45:** Genäherte effektive Schnittbreiten der Ernte Schlag D13 2000 (Wintergerste, Ertragsermittlung Datavision-Flowcontrol)



**Abbildung 46:** Modell des ermittelten Ertrages bei konstantem tatsächl. Ertrag von 5 t/ha und konstanter Geschwindigkeit von 5 km/h bei schwankender effektiver Schnittbreite (4 m Schneidwerksbreite) bei einem Delay von 12 s

Gegeben seien über eine gewisse Distanz einer Erntefahrt eines Mähdreschers mit 4 m Schneidwerksbreite ein konstanter Ertrag von 5 t/ha und eine konstante Fahrgeschwindigkeit von 5 km/h sowie ein Messversatz von 12 s gerechnet vom Schnitt bis zur Messung am Sensor.

Solange die Schneidwerksbreite eingehalten wird, ergibt sich theoretisch ein konstanter Durchsatz von 10 t/h; würde das System diesen genau messen, ergäbe sich ein ermittelter Ertrag von genau 5 t/ha, wie wirklich angetroffen. Sobald die effektive Schnittbreite jedoch von der Schneidwerksbreite abweicht, zeigen sich 12 s später entsprechende Einbrüche des theoretischen Durchsatzes und damit des theoretisch ermittelten Ertrages.

Die Abweichungen sind dabei prozentual immer gleich, d.h. eine Abweichung von der Schneidwerksbreite von 5% zieht theoretisch eine Abweichung des ermittelten Ertrages vom wirklichen von 5% nach sich.

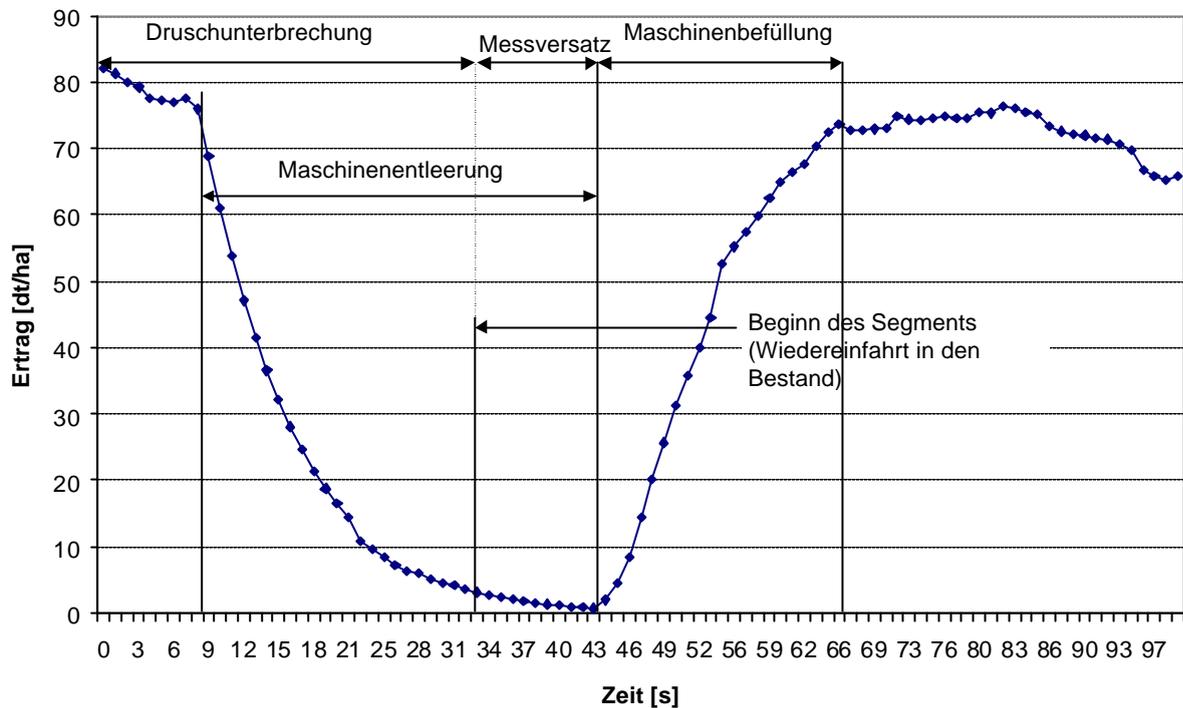
Faktisch ist die Situation wahrscheinlich jedoch anders: aufgrund der Kornflussglättung im Mähdrescher (Kap. 3.1.6) und der am Prüfstand festgestellten abgeschwächten Ansprache vieler Messsysteme auf abrupte Durchsatzschwankungen ist eher von einem geglätteten Verlauf der Durchsatz- und damit Ertragsmesswerte bei Abweichungen der effektiven Schnittbreite auszugehen; dies illustrieren die Kurven basierend auf dem mit 10 Perioden gleitend gemittelten Durchsatz. Häufige, kurzzeitig aufeinanderfolgende Abweichungen von der Schneidwerksbreite würden demnach zu durchgehend zu niedrigen Durchsatz- und Ertragsmesswerten führen. Bei diesem Modell wurde nicht das Messrauschen bei der Durchsatzmessung mit einbezogen, dass zusätzlich modifizierend wirkt.

### *7.1.3.2 Maschinenfüll- und Maschinenentleerphasen*

Bei den Ertragsurdaten und den Daten D01 1995 sind Befüll- und Entleerzeiten am besten zu untersuchen, da diese Daten original aufgezeichnet und nicht nachbearbeitet wurden.

Abbildung 47 zeigt den Verlauf der aufgezeichneten Ertragswerte eines Segmentes der Daten der Ernte D01 1995. Auffallend ist das Abfallen der Ertragswerte ab 9 s nach Ende des vorherigen Segmentes bis 12 s nach Beginn des betrachteten Segmentes auf einen Wert von fast 0 und der allmähliche, fast stetige Anstieg der Werte bis 34 s nach Wiedereinfahrt in den Bestand. Nach weiteren 11 s einigermaßen stabiler Ertragswerte fallen diese bis zum Segmentende allmählich ab. Das Abfallen am Beginn des Segmentes ist dahingehend zu deuten, dass es bei der Unterbrechung des Erntevorgangs zuvor nicht zu einer vollständigen Entleerung des Mähdreschers gekommen ist. Deshalb war noch während der Delayzeit Erntegut

aus dem vorherigen Segment im Dreschwerk vorhanden und hat zu Ertragsmessungen geführt.



**Abbildung 47:** Ertragswerte D01 1995 in einem Segment (Ertragsermittlung Ag-Leader)

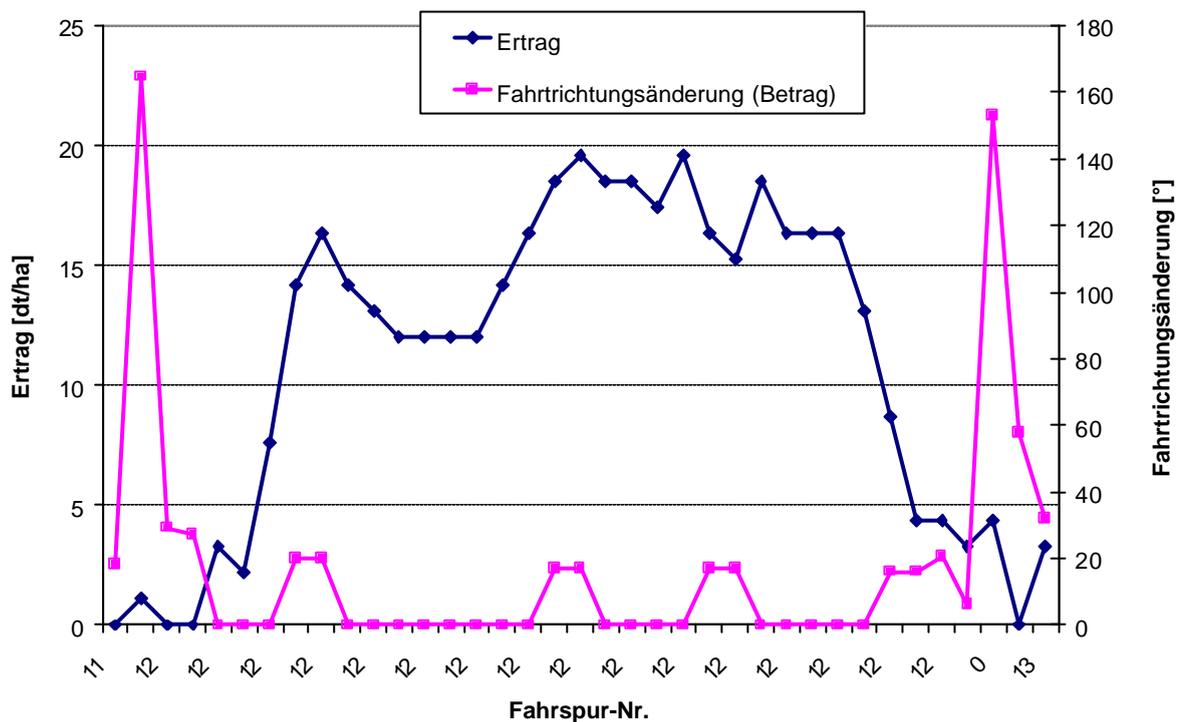
Die Entleerzeit nach Beendigung des vorherigen Segmentes bis zur Wiederbefüllung des Dreschwerks dauerte in diesem Fall rund 43 s, von denen die letzten 11 s nach Wiedereinfahrt in den Bestand den Messversatz darstellen. Der folgende asymptotische Anstieg (Maschinenbefüllung) entspricht den Beobachtungen anderer Autoren wie z.B. BLACKMORE AND MOORE [27].

Ein ähnliches Verhalten zeigen die Flowcontrol-„Ertragssurdaten“ der Erntefahrt „Oberes Geiswegfeld“ 1992 (Abb. 43, Anh.). Der Anstieg in der Füllzeit ist aufgrund der Glättung schwächer als bei den zuvor beschriebenen Daten, dauert ca. 26 s, aber der Rückgang der Ertragswerte in der Entleerphase zuvor ist mit einigen Ertragsspitzen deutlich ungleichmäßiger. Das erneute Abfallen der Werte nach einer kurzen Stabilisierungsphase (bei D01 1995 nur angedeutet), ist damit zu erklären, dass durch die erhöhte Fahrgeschwindigkeit des noch nicht vollen Mähdreschers die Druschleistung besonders hoch ist, und bei Befüllung die Geschwindigkeit rasch abnimmt, so dass ein hoher Durchsatz mit einer vergleichbar niedrigen Flächenleistung verrechnet wird.

Zur Darstellung der möglichen Auswirkungen der Glättung der Ertragswerte auf den zeitlichen Verlauf wurde hier modellhaft über die aufgezeichneten Ertragswerte ein gleitendes Mittel über 10 Perioden gelegt. Es ist zu sehen, dass aufgrund der Glättung der Anstieg anfangs etwas weniger steil verläuft und der darauffolgende steile Anstieg gegenüber den

aufgezeichneten Werten nur etwas zeitlich verschoben mit Glättung der Unstetigkeiten ist. Das Ende des Anstiegs wird dementsprechend später erreicht. Daraus ist zu schließen, dass die Füllzeit durch die systeminterne Glättung beim Flowcontrolsystem künstlich etwas verlängert wird.

Bei den mit dem Programm YIELDMAP ausgelesenen Flowcontrol-Ertragsdaten zeigen sich die Auswirkungen der Nachbearbeitung der Daten beim Auslesen. Durch die Nachbearbeitung ist am Beginn der Fahrspuren anscheinend nur noch ein Anstieg über 5 bis 7 Aufzeichnungen (also ca. 15 bis 21 s) als „Rest“ der Füllzeit zu verzeichnen (Abb. 48).



**Abbildung 48:** Ertragswerte und Änderung der Fahrtrichtung am Beginn einer Fahrspur (Schlag D05 2000, Datavision-Flowcontrol)

Auffallend ist auch ein Absinken der Ertragswerte am Ende der Fahrspur, was bei vielen Datensätzen zu beobachten ist und bei einem gleitenden Mittel eigentlich nicht zu erwarten ist, solange der Mähdrescher sich noch im Bestand befindet.

Bei den nachbearbeiteten Ertragsdaten des Ag-Leader-Systems (ausgelesen mit dem Programm AL2000 bzw. Precision Map 2000) ist zu Beginn der meisten Fahrspuren ein kontinuierlicher Anstieg von 3 Aufzeichnungen, also 3 s, zu erkennen (Abb. 44, Anh.).

Ebenso fallen die Werte am Ende der Fahrspuren ab. Letzteres könnte mit einem Nachlaufen der Aufzeichnung nach Hebung des Schneidwerks und Ablauf der Delayzeit bis in die Entleerphase hinein gedeutet werden; dies ist jedoch nur spekulativ, da die genauen Algorithmen der Datenaufbereitung beim Auslesen nicht bekannt sind.

Bei den Körnermaisertragsdaten von Claas-Agrocom steigen die Ertragswerte am Beginn der Segmente über 5 bis 6 Messungen (entspricht 25 bis 30 s) stetig und stark an (Abb. 45, Anh.). Typische Entleerzeitwerte sind nicht zu erkennen.

Die durch die Füllzeiten bzw. Entleerzeiten hervorgerufenen relativen Ertragsmessfehler bezogen auf den gesamten Schlag wurden folgendermaßen genähert: die Anzahl sowie die statistischen Kennwerte der Füllzeit- und Entleerzeitwerte (letztere als Werte außerhalb der Fahrspuren bzw. Segmente) nach einem adäquaten Shift zum Ausgleich des Messversatzes wurden mit einem Perl-Skript entsprechend den für das jeweilige System definierten Zeitperioden (vgl. Kap. 7.2) abgefragt. Aus dem Mittel der Befüll- bzw. Entleerzeitwerte und dem der jeweils nicht betroffenen Werte wurde ein gewichtetes Mittel berechnet und dieses mit dem mittleren Ertrag der nicht betroffenen Messpunkte verglichen (Tab. 10).

**Tabelle 10:** Genäherte mittlere Ertragsmessfehler bedingt durch die Befüllphasen (% Abweichung vom wirklichen Schlagmittel) für einige Erntefahrten

Schlag	Jahr	Ertrags- erm.	n (Rest)	n (Füll- zeit)	Ertrag [dt/ha] (Rest)	Mittel Füllzeit- werte [dt/ha]	gew. Mittel [dt/ha]	Diff. [%]
D01	1995	Ag-Leader	21652	2326	63,89	35,48	61,13	-4,31
D01	1998	Claas-AC	465	146	137,00	95,91	127,18	-7,17
D01	1999	Ag-Leader	23373	256	78,85	68,25	78,74	-0,15
		Flowcontrol	8576	873	74,51	34,54	70,82	-4,96
D04	1999	Ag-Leader	12055	405	37,56	40,32	37,65	0,24
		Flowcontrol	3614	653	39,21	34,75	38,53	-1,74
D08	1998	Claas-AC	953	231	105,87	69,26	98,73	-6,75
D08	2000	Ag-Leader	6927	284	57,58	46,07	57,13	-0,79
		Flowcontrol	2226	624	72,24	39,91	65,16	-9,80
D13	2000	Ag-Leader	10397	233	36,96	31,07	36,83	-0,35
		Flowcontrol	3635	647	34,80	17,21	32,14	-7,64

Die Abweichungen liegen bei den Agrocom- und Flowcontroldaten sowie den direkt aufgezeichneten (nachträglich 11 s geshifteten) Ag-Leader-Daten zwischen rund -4 und -7%; bei den übrigen Ag-Leader-Daten sind die Abweichungen  $> -0,8\%$ . Für die Werte von D04 1999 ergibt sich sogar eine leichte positive Abweichung, was dafür spricht, dass viele höhere Werte innerhalb der ersten 3 Sekunden der definierten Fahrspuren liegen; möglicherweise passte der interne Shift der Ertragswerte zum Ausgleich des Messversatzes hier nicht genau. Bei den Entleerzeitwerten bzw. den Werten außerhalb der definierten Fahrspuren liegen die Abweichungen bei den Flowcontrol- und Agrocomdaten zwischen rund  $-2$  und  $-1\%$ , bei den vorverarbeiteten Ag-Leader-Daten knapp unter bzw. über 0 (Tab. 3, Anh.). Die positiven Abweichungen sowohl bei den Ag-Leader- als auch den Flowcontroldaten von D04 1999 zeigen, dass es sich genetisch wahrscheinlich nicht um Entleerzeitwerte handelt.

Die Tabellen zeigen somit, dass die Maschinenbefüll- und Maschinenentleerphasen deutlich die Ertragsmessung verfälschen; dieser Effekt wird durch interne Datennachbearbeitung beim

Auslesen z.T. ausgeglichen.

Zu berücksichtigen ist bei den Ergebnissen, dass die betroffenen Werte auch durch andere Fehlereinflussgrößen (möglicherweise sogar in die andere Richtung) verfälscht sein können. Gleiches gilt auch für die nicht betroffenen Werte; deshalb können die Ergebnisse nur als Näherung aufgefasst werden.

### 7.1.3.3 Messversatz

Der Messversatz lässt sich nur bei Fahrspuren bzw. Segmenten bestimmen, bei denen das Dreschwerk vor Einfahrt in den Bestand vollständig entleert wurde, der ermittelte Ertrag also annähernd den Wert 0 erreicht. Da auch bei leerer Maschine ein Ertragswert von 0 nicht über mehrere Sekunden gemessen wird (aufgrund der Maschinenvibrationen etc.), wurden Ertragswerte von weniger als 1 dt/ha nicht als wirkliche Ertragsmessungen betrachtet. Es wurde für die betreffenden Fahrspuren die durchgehende Anzahl der Werte von weniger als 1 dt/ha bzw. 0,1 t/ha ermittelt. Dies geschah mittels einer SQL-Viewabfrage in der DB2-Befehlszentrale.

Tabelle 11 zeigt für die Ertragsurdaten aus Scheuern 1992 die mittlere Anzahl der 0-Erträge an den Anfängen der Segmente bezogen auf alle betroffenen Segmente des jeweiligen Schläges. Als mittlere Anzahl über alle Schläge wurde das gewichtete arithmetische Mittel (mit Gewichtung nach Zahl der Segmente) gewählt.

**Tabelle 11:** Anzahl der Ertragsmessungen von 0 an den Anfängen der Segmente (Urdaten Scheuern 1992)

Schlag	n	Anzahl Segmente	Mittelwert	Standardabw.	VK [%]	Standardfehler	CI95%-Untergrenze	CI95%-Obergrenze
Ob. Geiswegfeld	5	59	8	2,19	27,39	0,98	5,28	10,72
Neubruich	4	48	14	2,86	20,44	1,43	9,45	18,55
Unt. Geiswegfeld	4	37	9	3,27	36,32	1,63	3,80	14,20
Unt. Hohlfeld	9	105	7	3,60	51,48	1,20	4,23	9,77
Kehrfeld	22	102	10	3,92	39,19	0,84	8,26	11,74
Eulenwies	8	66	11	4,03	36,65	1,43	7,62	14,38
Hopfengarten	2	45	17	5,00	29,41	3,54	-27,90	61,90
<b>alle</b>	<b>54</b>	<b>462</b>	<b>9,94</b>	<b>3,55</b>	<b>34,41</b>	<b>0,48</b>	<b>8,98</b>	<b>10,91</b>

(n = Zahl der Segmente mit 0-Erträgen am Anfang, also solche, vor denen Mähdrescher vorher vollständig entleert)

Es ergibt sich eine mittlere Zahl der Werte (der Sekunden) von knapp unter 10 bei einem Mittel der Standardabweichungen aller Schläge von 3,55. Der Erwartungswert  $\mu$  für alle Schläge liegt zwischen rund 9 und 11 s (5% Signifikanz).

Werden 0,1 t/ha als Obergrenze gewählt, liegt der Mittelwert bei knapp über 11 s mit einem Konfidenzintervall für  $\mu$  zwischen 10,5 und 12,2 s (Tab. 12). Das Konfidenzintervall ist al-

so enger als bei 0 t/ha als Obergrenze.

**Tabelle 12:** Anzahl der Ertragsmessungen  $\leq 0,1$  t/ha an den Anfängen der Segmente (Ertragsurdaten Scheyern 1992)

Schlag	n	Anzahl Segmente	Mittelwert	Standard-abw.	VK [%]	Standard-fehler	CI95%-Untergrenze	CI95%-Obergrenze
Ob. Geiswegfeld	7	59	10	2,59	25,87	0,98	7,60	12,40
Neubruch	6	48	13	3,18	24,49	1,30	9,66	16,34
Unt. Geiswegfeld	6	37	12	3,10	25,80	1,26	8,75	15,25
Unt. Hohlfeld	18	105	9	3,33	36,95	0,78	7,35	10,65
Kehrfeld	30	102	12	4,37	36,44	0,80	10,37	13,63
Eulenwies	10	66	12	3,95	32,91	1,25	9,18	14,82
Hopfengarten	2	45	17	5,00	29,41	3,54	-27,90	61,90
<b>alle</b>	<b>79</b>	<b>462</b>	<b>11,34</b>	<b>3,64</b>	<b>30,27</b>	<b>0,41</b>	<b>10,53</b>	<b>12,16</b>

(n = Zahl der Segmente mit Erträgen  $\leq 0,1$  t/ha am Anfang)

Bei 0,2 t/ha als Obergrenze liegt der Mittelwert bei 13 s mit einem wieder etwas weiteren Konfidenzintervall (Tab. 13).

**Tabelle 13:** Anzahl der Ertragsmessungen  $\leq 0,2$  t/ha an den Anfängen der Segmente (Ertragsurdaten Scheyern 1992)

Schlag	n	Anzahl Segmente	Mittelwert	Standard-abw.	VK [%]	Standard-fehler	CI95%-Untergrenze	CI95%-Obergrenze
Ob. Geiswegfeld	8	59	11	2,17	19,68	0,77	9,19	12,81
Neubruch	6	48	13	2,87	22,06	1,17	9,99	16,01
Unt. Geiswegfeld	7	37	14	2,07	14,79	0,78	12,08	15,92
Unt. Hohlfeld	23	105	11	4,73	43,03	0,99	8,96	13,13
Kehrfeld	36	102	15	11,30	75,33	1,88	11,18	18,82
Eulenwies	11	66	12	2,94	24,48	0,89	10,03	13,97
Hopfengarten	5	45	14	4,34	30,97	1,94	8,61	19,39
<b>total</b>	<b>96</b>	<b>462</b>	<b>13,11</b>	<b>4,34</b>	<b>32,90</b>	<b>0,44</b>	<b>12,24</b>	<b>13,99</b>

(n = Zahl der Segmente mit Erträgen  $\leq 0,2$  t/ha am Anfang)

Nach diesen Ergebnissen liegt der Messversatz offensichtlich zwischen 11 und 13 s.

Die Mittelwerte und Konfidenzintervalle variieren je nach Anzahl der betreffenden Segmente stark zwischen den einzelnen Schlägen. Bei den einzelnen Schlägen liegt die relative Streuung der Werte um den jeweiligen Mittelwert meist deutlich über 20%.

Bei den Ag-Leader-Ertragsdaten D01 1995 wurde dasselbe Verfahren mit verschiedenen Ertragsobergrenzen angewendet (Tab. 14).

**Tabelle 14:** Anzahl der Ertragswerte von 0 bzw. nahe 0 an den Anfängen der Segmente (D01 1995)

Ertrag [dt/ha]	n	Mittelwert	Standard-abw.	VK [%]	Standard-fehler	CI95%-Untergrenze	CI95%-Obergrenze
0	3	5	1,41	28,28	0,82	1,49	8,51
$\leq 1$	5	7	3,69	52,68	1,65	2,42	11,58
$\leq 2$	8	9	4,47	49,67	1,58	5,25	12,75
$\leq 3$	10	10	4,35	43,46	1,37	6,89	13,11
$\leq 4$	14	11	4,02	36,55	1,07	8,68	13,32

Nur drei Segmente haben durchwegs 0-Erträge am Anfang (d.h. vorher vollständige Entleerung des Dreschsystems). Die mittlere Anzahl von 0-Ertragsmessungen beträgt 5 (Sekunden). Der Erwartungswert liegt mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit zwischen 1,5 und 8,5.

Mit zunehmend höher gesetzter Ertragsobergrenze verlagert sich das 95%-Konfidenzintervall für den Erwartungswert nach oben, wird anfangs größer und ab Ertrag  $\leq 2$  dt/ha wieder kleiner. Abbildung 47 zeigt, dass Werte im Bereich von  $< 5$  dt/ha noch zur Entleerzeit nach Beendigung des vorangehenden Segments gehören können und somit den Messversatz anzeigen. Auch diese Abbildung zeigt, dass der Messversatz wahrscheinlich bei rund 11-12 s liegt.

Bei den nachbearbeiteten Getreideertragsdaten sind durch den internen Shift im Mittel meist keine Ertragswerte nahe 0 am Beginn der Segmente vorhanden (z.B. Abb. 45, Anh.).

#### 7.1.3.4 *Starke Beschleunigungen und Geschwindigkeitsmessfehler*

Um durch starke Beschleunigungen oder falsche Geschwindigkeitsmessung bedingte fehlerhafte Ertragswerte identifizieren zu können, ist es sinnvoll, zunächst mittels einer Modellrechnung festzustellen, wie sich Geschwindigkeitsveränderungen auf den ermittelten Ertrag auswirken. Abbildung 49 zeigt zunächst die theoretisch sich ergebenden Durchsatz- und Ertragsmesswerte für einen konstanten tatsächlichen Ertrag bei voll ausgenutzter Schneidwerksbreite und wechselnder Geschwindigkeit.

Solange die Geschwindigkeit konstant bleibt, müsste ein theoretisch fehlerfrei messendes System einen konstanten Durchsatz von 10 t/h und den realen Ertrag von 5 t/ha anzeigen. Bei plötzlicher einmaliger höherer Fahrgeschwindigkeit (die in der Realität allerdings kaum gegeben sein dürfte) bleibt aufgrund des Delays der Durchsatz anfangs konstant, somit wird ein zu geringer Ertrag gemessen (negativer Peak). Erst nach Ende der Delayzeit macht sich die erhöhte Erntegutaufnahme in einem höheren gemessenen Durchsatz bemerkbar, was bei wieder geringerer Geschwindigkeit in einem zu hohen Ertragsmesswert resultiert.

Genau umgekehrt ist der Ablauf bei kurzzeitig stark reduzierter Geschwindigkeit. Handelt es sich bei den Geschwindigkeitspeaks um Geschwindigkeitsmessfehler, was wohl eher der Realität entspricht, kommt es zu keiner Erhöhung des Durchsatzes und damit des gemessenen Ertrages 12 s später.

Die realistischere Situation eines starken Abbremsens mit einem mehrsekündigen Verharren bei der verringerten Geschwindigkeit führt dazu, dass der gemessene Ertrag in der gesamten Delayzeit zu hoch ist und dann mit absinkendem Durchsatz abrupt unter den wirklichen Wert abfällt. Obwohl der Durchsatz danach eine Zeitlang konstant bleibt, kann der gemessene

Ertrag sogar noch weiter abfallen, wenn die Geschwindigkeit wieder zunimmt. Für den ermittelten Ertrag dieser Modellrechnung ergibt sich ein arithmetisches Mittel von 6,67 t/ha, also eine Abweichung von +33,9%.

Aus dieser Modellrechnung wird offensichtlich, dass nach einer Geschwindigkeitsveränderung die Geschwindigkeit über die Delayzeit hinaus konstant bleiben muss, damit der theoretisch ermittelte Ertrag wieder dem realen entspricht. Wechselt die Geschwindigkeit häufiger im Abstand von weniger als der Delayzeit, kann dies die ermittelten Ertragswerte wesentlich verfälschen.

Bei ständig variierender Geschwindigkeit ist nicht die aktuelle Beschleunigung für den Ertragsmessfehler ausschlaggebend, sondern die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen zwei Messpunkten, die zeitlich um die Delayzeit differieren.

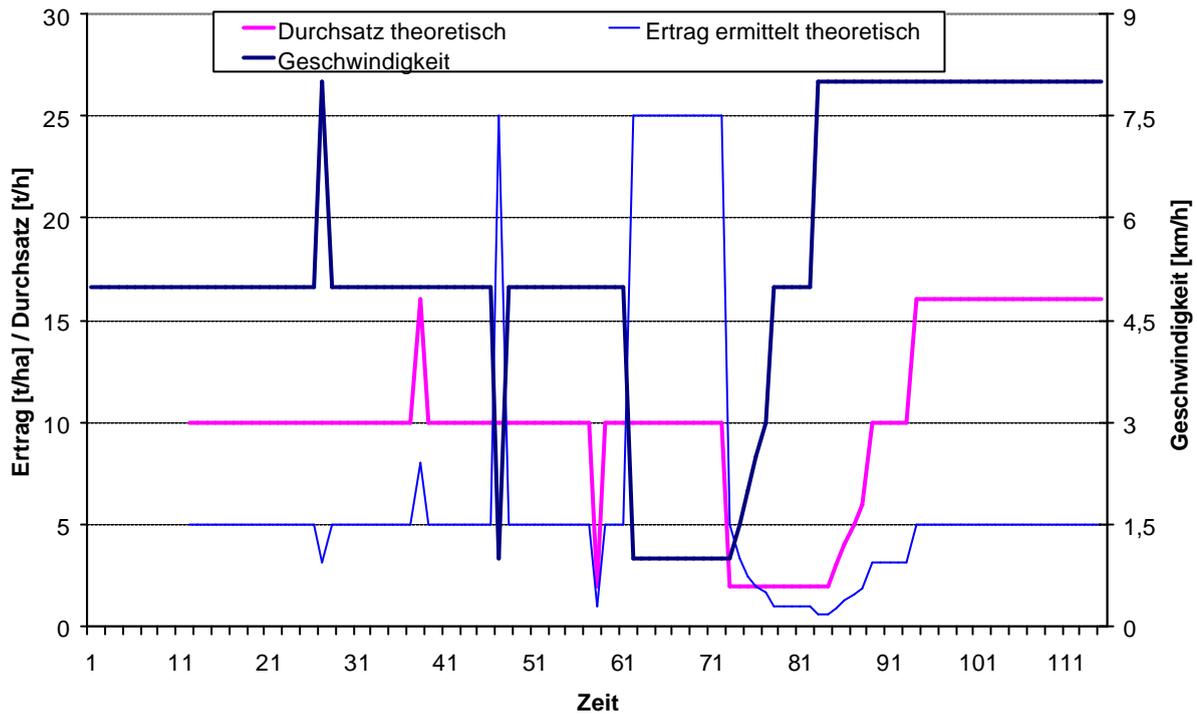
Da jedoch von einem geglätteten Verlauf des Gutsstromes im Elevator gegenüber der Rate der Gutsaufnahme am Schneidwerk auszugehen ist (s.o.), stellt sich die Situation in der Realität eher wie in Abbildung 50 (Durchsatzmesswerte mit 10 Perioden geglättet) illustriert dar.

Eine einmalige abrupte positive Beschleunigung führt zu einem gleichzeitigen negativen Ertragsmesspeak, aber nach Ende des Delays zu einem leichten Anstieg des gemessenen Durchsatzes und damit Ertrages und umgekehrt. Insgesamt ist der Verlauf der Durchsatz- und Ertragsmesswerte wesentlich schwächer als in Abbildung 49 dargestellt mit einer verzögerten Ansprache auf die Geschwindigkeitsänderungen. Die Zahl der fehlerhaften Werte ist größer, weshalb die mittlere Abweichung mit 37,25% vom realen Ertrag in dieser Modellrechnung etwas höher ist.

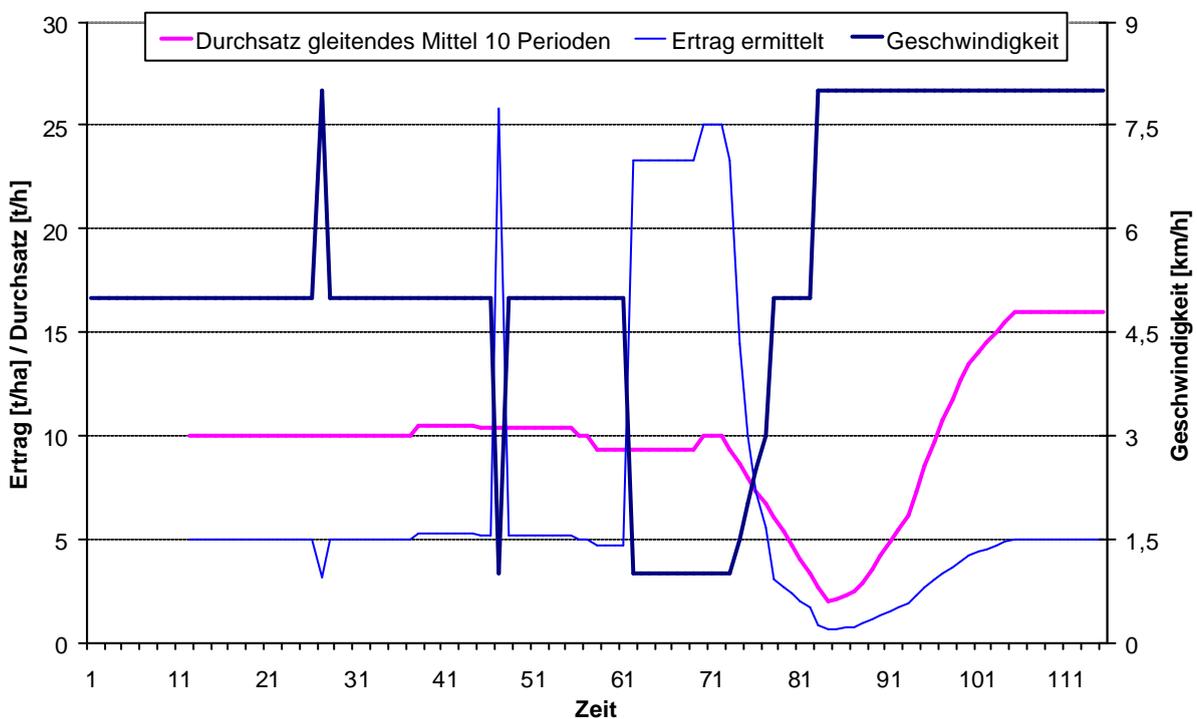
Beim radiometrischen Messsystem Flowcontrol wird dies noch durch die interne Glättung der Durchsatzmesswerte verstärkt.

Dieselbe Rechnung mit 5 t/ha konstantem gegebenen Ertrag wurde mit bei Erntefahrten gemessenen Geschwindigkeitswerten durchgeführt. Der Ertrag wurde dabei aus dem errechneten Durchsatz und der Flächenleistung (Geschwindigkeit multipliziert mit 5,55 m bzw. 4 m Schneidwerksbreite) berechnet. Es wurden dabei nur die Geschwindigkeitswerte der Aufzeichnungen mit Schneidwerk im Bestand und solche innerhalb von 12 s nach Hebung des Schneidwerks einbezogen. Abbildung 46 (Anh.) ist eine Darstellung des Ergebnisses für die Geschwindigkeitsmessungen auf Schlag „Oberes Geiswegfeld“ 1992.

Es ist zu sehen, dass der ermittelte Ertrag durch die Schwankungen der gemessenen Geschwindigkeiten sowohl im Mittel erheblich von dem konstanten wirklichen Ertrag von 5 t/h abweicht als auch deutlich streuen kann. Insgesamt ergibt sich rechnerisch eine mittlere relative Abweichung von rund 15 % mit einer Standardabweichung von 99 % (Tab. 15).



**Abbildung 49:** Modell des theoretisch ermittelten Durchsatzes (mit Berücksichtigung des Messversatzes) und Ertrages eines Ertragsermittlungssystems im Mährescher bei konstantem tatsächlichem Ertrag von 5 t/ha und wechselnder Geschwindigkeit



**Abbildung 50:** Modell des ermittelten Durchsatzes (mit Berücksichtigung des Messversatzes) und Ertrages eines Ertragsermittlungssystems im Mährescher bei konstantem tatsächlichem Ertrag von 5 t/ha und wechselnder Geschwindigkeit

In der Tabelle sind die Ergebnisse der Berechnungen für alle Erntefahrten 1992 und für die Ernte D01 1995 zusammengefasst.

**Tabelle 15:** Statistik der relativen Abweichungen (in %) der theoretisch ermittelten Ertragswerte von einem konstanten gegebenen Ertrag bedingt durch die tatsächlich gemessenen Geschwindigkeiten der Erntefahrten Scheyern 1992 und D01 1995

Schlag	Jahr	Feldfläche [ha]	n	Mittelwert	Standard-abw.	Max.	Min.	Stabw. Geschw. [km/h]	% v <= 0,5
Eulenwies	1992		5444	10,13	82,60	1975,00	-96,30	1,20	0,68
Am Hof			780	21,15	137,34	1900,00	-94,34	1,69	1,87
Am Hügel			523	27,10	136,08	1566,67	-83,33	1,77	3,35
Flachfeld		16,6	4860	12,31	97,40	2100,00	-93,33	1,43	1,04
Hopfengarten		2,1	2450	13,61	92,22	1733,33	-92,39	1,27	0,44
Kehrfeld		25,2	14726	10,22	97,79	3033,33	-97,14	1,72	3,91
Neubruch		3,1	4675	13,52	95,30	1833,33	-95,35	2,23	11,11
Oberes Geiswegfeld		3,3	3601	15,33	98,64	1500,00	-94,44	1,26	0,51
Unteres Geiswegfeld		3,4	3571	7,26	65,53	1650,00	-91,23	1,20	1,35
Unteres Hohlfeld		9,9	7360	9,42	75,18	1475,00	-93,18	1,50	0,85
D01	1995	14,5	23262	27,88	459,27	10266,67	-98,87	1,83	2,41
Korrelation mit Stabw. Geschw. (R)		0,17	0,09	0,38	0,46	0,21	0,04	1,00	0,90

Die mittleren Abweichungen sind alle positiv und liegen zwischen 10 und 27 %. Die Streuung der Einzeldifferenzen liegt bei  $65,53\% \leq s \leq 459,27(!)\%$ . Die maximalen theoretischen Abweichungen liegen zwischen  $-99\%$  und  $+10266,67(!)\%$ . Die Streuung der Abweichungen, die mittlere Abweichung und die Feldfläche korreliert relativ schwach mit der Streuung der Geschwindigkeitsmesswerte. Die Feldfläche hat mit  $R = 0,17$  einen sehr geringen Einfluss auf die Streuung der Fahrgeschwindigkeiten, was der Annahme in Kap. 7.1.2 widerspricht.

Bei den Geschwindigkeitsmessungen der Erntefahrt D01 1995 ist die Streuung der Geschwindigkeitsmesswerte am größten, und auch die mittlere Abweichung und die Streuung der Einzelabweichungen der theoretischen Ertragsmesswerte liegen mit 27% bzw. 459% deutlich über denen der anderen Erntefahrten. Auf die Ursache hierfür finden sich keine Hinweise.

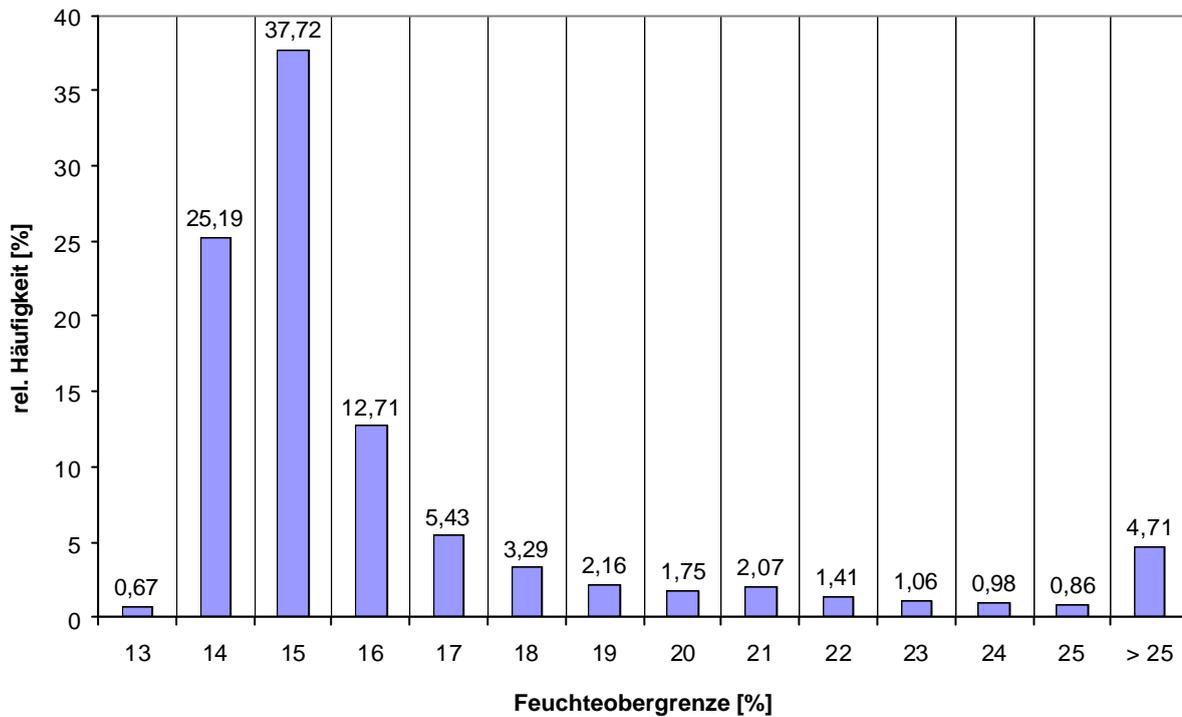
Die Häufigkeitsverteilung der Beschleunigungswerte dieser Erntefahrt (Abb. 47, Anh.) zeigt, dass rund 97 % der Werte unter  $|0,5| \text{ km/h*s}$  liegen. Der Bereich von 4 Standardabweichungen liegt zwischen  $-1,3$  und  $+1,3 \text{ km/h*s}$ .

### 7.1.3.5 Feuchte

Um mögliche fehlerhafte Feuchtemessungen bzw. Messungen mit Fremdmaterial im Gutsstrom zu identifizieren, wurden die vorhandenen, bei verschiedenen Erntefahrten aufgezeichneten Feuchtwerte zunächst statistisch analysiert. Die mittleren Feuchtwerte der einzelnen Erntefahrten liegen beim Ag-Leader-System zwischen 10 und 18% mit Streuungen

zwischen 0,3 und 3,5% (Tab. 3, Anh.). Die Spannweiten liegen aber bei bis zu 27%. Dies spricht für Fehler bei der Feuchtemessung.

Eine typische Verteilungsform der Feuchtwerte ist eine rechtsschiefe Verteilung mit einem ausgeprägten Schweif auf der rechten Seite, also zu den höheren Werten hin; ein Beispiel hierfür ist das Häufigkeitshistogramm der Ernte S04 1996 (Abb. 51).



**Abbildung 51:** Häufigkeitshistogramm der Feuchtwerte der Erntefahrt auf Schlag S04 1996

Die Verteilung von fast 5% der Werte auf ein Intervall zwischen 25% bis zum Maximum von 40% legt nahe, dass eine große Zahl unrealistisch hoher Feuchtwerte bedingt durch Ungenauigkeiten des Sensors oder durch Unkrautbesatz im Gutsstrom vorhanden sind, die demnach auch die Ermittlung des auf eine Standardfeuchte bezogenen Ertrages verfälschen.

Bei einigen Erntefahrten sind die Feuchtemessungen in einem vergleichsweise engen Intervall um den Mittelwert verteilt (vgl. Tab. 4, Anh.).

Um den durch falsche Feuchtemessung bzw. Fremdmaterial bedingten Fehler zu nähern, wurden zuerst alle Feuchtemessungen, die im statistischen Sinne als Ausreißer anzusehen sind, identifiziert; es handelt sich um alle Messungen, die vom Mittelwert um mehr als 4 Standardabweichungen nach oben oder nach unten abweichen (vgl. PRECHT UND KRAFT [55]). Der mittlere Ertrag der jeweils betroffenen Datenstrings wurde mit dem der nicht betroffenen Strings aus der Datenbank abgefragt und genauso, wie in Kap. 7.1.3.2 beschrieben, verrechnet.

Je nach Anzahl und mittlerem Ertrag der betroffenen Strings ergeben sich positive oder nega-

tive Abweichungen im Bereich von unter  $|1|$  % (Tab. 16).

**Tabelle 16:** Auswirkung fehlerhafter Feuchtwerte auf die Ertragsmessung (genähert)

Schlag	Jahr	Ertrags- ermittlung	n (Rest)	n (falsch)	Ertrag (Rest) [dt/ha]	Ertrag (falsch) [dt/ha]	gew. Mittel [dt/ha]	Differenz [%]
D01	1995	Ag-Leader	27132	158	56,42	72,81	56,52	0,17
D01	1998	Claas-AC	597	22	126,7	95,94	125,61	-0,86
D01	1999	Ag-Leader	23613	104	78,77	58,44	78,68	-0,11
D04	1999	Ag-Leader	12466	116	37,55	55,08	37,71	0,43
D08	1998	Claas-AC	1162	38	97,81	71,16	96,97	-0,86
D08	2000	Ag-Leader	7237	79	57,27	24,01	56,91	-0,63
D13	2000	Ag-Leader	10672	44	36,72	44,33	36,75	0,09

Bei den einzelnen Erntefahrten wurden maximal 4% der Feuchtemesswerte nach den o.g. Kriterien als fehlerhaft eingestuft. Bei einigen nicht in der Tabelle aufgeführten Erntefahrten konnte kein Messwert als fehlerhaft betrachtet werden.

Der Einfluss fehlerhafter Feuchtemessung auf die Qualität der untersuchten lokalen Ertragsdaten war somit offensichtlich vernachlässigbar gering.

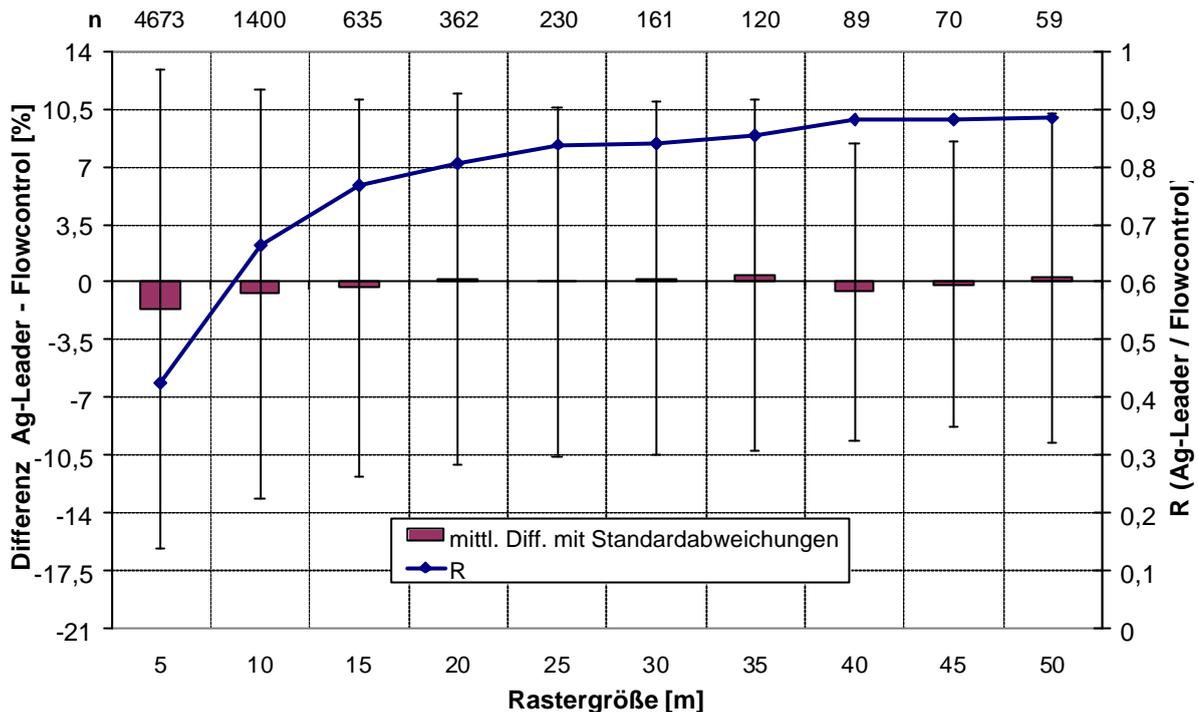
#### 7.1.4 Vergleichbarkeit der Daten unterschiedlicher Messsysteme

Die beiden beim Mähdrusch eingesetzten Ertragsermittlungssysteme werden in unterschiedlichem Maße von Fehlergrößen beeinflusst und sind gleichzeitig auf verschiedene Weise vorverarbeitet, weshalb die Einzelertragsmesswerte der Systeme bei ein und derselben Erntefahrt nicht vergleichbar sind. Daher stellt sich zwangsläufig die Frage, ab welcher Aggregationsstufe sich die räumliche Ertragsverteilung nach beiden Systemen deckt, die sich in unterschiedlicher Weise ausprägenden Ertragsmessfehler sich also nahezu aufheben. Aus diesem Grunde wurden die mittleren relativen Rastererträge nach beiden Systemen bei unterschiedlichen Rastergrößen verglichen.

Hierzu wurden für jede betreffende Erntefahrt und die Rastergrößen von 5 bis 50 m jeweils der Korrelationskoeffizient, die mittlere Differenz und die Standardabweichung der Differenzen zwischen den Relativertragswerten der beiden Systeme ermittelt; berücksichtigt wurden nur Rasterfelder mit mindestens der Hälfte der vollen Rasterfläche, also bei 50 m Kantenlänge  $\geq 1250 \text{ m}^2$ . Die Abfrage erfolgte als Viewabfrage in einem Perl-Skript.

Die Abfrageergebnisse wurden in eine Textdatei geschrieben und diese in Excel weiterverarbeitet.

Abbildung 52 zeigt für die Winterweizenernte auf Schlag D01 1999 die Korrelationskoeffizienten und die mittleren Differenzen mit den zugehörigen Standardabweichungen der relativen Rastererträge nach beiden Systemen bei Rastergrößen von 5 bis 50 m.



**Abbildung 52:** Vergleich der relativen Rastererträge der Winterweizenernte D01 1999 bei verschiedenen Rastergrößen (n = Zahl der verglichenen Rasterfelder)

Zwischen der Rastergröße und dem Korrelationskoeffizienten deutet sich ein nicht-linearer Zusammenhang mit einer asymptotischen Kurve an. Der lineare Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen beiden Größen ist dennoch im Bereich bis  $\leq 50$  m Rastergröße mit 0,82 ziemlich hoch (Tab. 5, Anh.). Bei einer Rastergröße von 5 m, also einer Kantenlänge nur wenig über der Schneidwerksbreite, ist die Übereinstimmung beider Ertragsermittlungssysteme mit  $R < 0,5$  eher gering und steigt bis 25 m Rastergröße deutlich an, d.h. die Übereinstimmung wird größer.

Eine höhere Aggregation vergrößert die Korrelation offensichtlich nicht mehr wesentlich. Ab 40 m Kantenlänge scheint der Korrelationskoeffizient ungefähr konstant zu bleiben. Der Zusammenhang zwischen der Rastergröße und der Streuung der Einzeldifferenzen ist entsprechend umgekehrt (je größer die Rasterung, desto geringer die Streuung). Die lineare Korrelation ist mit  $R = -0,89$  sogar etwas besser, d.h. die Zusammenhang lässt sich noch besser durch eine lineare Regression darstellen.

Einen ähnlichen asymptotischen Zusammenhang zwischen der Rastergröße und dem Korrelationskoeffizienten zeigen z.B. die Ertragsdaten der Erntefahrt auf D08 2000 (Tab. 6, Anh.). Hier zeigt sich die beste Korrelation beider Systeme bei einer Rastergröße von 40 m.

Die Ergebnisse aller betreffenden Erntefahrten sind in den Tabellen 5 und 6 (Anh.) zusammengefasst. Insgesamt sind in fast allen Fällen derartige Zusammenhänge zu erkennen, auch wenn die Übereinstimmung beider Systeme nicht immer einen asymptotischen Verlauf mit

zunehmender Rastergröße zu haben scheinen. So zeigt sich bei der Ernte S04 2000 mit  $R = 0,92$  eine eher lineare Abhängigkeit der Übereinstimmung der Systeme von der Rastergröße. Bei der Erntefahrt auf Schlag D04 1999 erreichen die Übereinstimmungen beider Systeme maximal  $R = 0,5$ , was auf die häufige Verschmutzung der Ag-Leader-Prallplatte mit Dämpfung der durch das aufprallende Erntegut ausgelösten Impulse (vgl. Kap. 3.2) zurückzuführen ist. Offensichtlich reichte die Multiplikation der Ertragswerte von Korntankladungen mit sehr hohen Abweichungen der gemessenen Menge zur wirklichen Kornmenge mit einem Korrekturfaktor nicht aus, die relative Ertragsverteilung realistisch zu erfassen. Die betreffenden Ag-Leader-Daten sind extrem fehlerhaft.

Besonders auffallend sind die Ergebnisse der Erntefahrt auf demselben Schlag zwei Jahre später; hier ist der Zusammenhang zwischen Rastergröße und  $R_{\text{Systeme}}$  sogar leicht negativ. In diesem Fall ist der häufige Datenausfall beim Flowcontrolsystem als Ursache anzusehen.

Die Ergebnisse zeigen insgesamt aber deutlich, dass unter normalen Messbedingungen (also nicht wie bei der Ernte D04 1999) die Messfehler ab Rastergrößen von 40 m bei der Ertragskartierung praktisch vollständig kompensiert werden; Rastergrößen von unter 10 m lassen dagegen die Ertragsmessfehler deutlich bei der Kartierung in Erscheinung treten.

### 7.1.5 Geostatistische Analyse der Ertragswerte

Die Abfrage der Ertragswerte mit den korrigierten Koordinaten erfolgte in Access mit einer Auswahlabfrage.

Häufig haben mehrere Ertragswerte hintereinander identische Koordinaten, was durch ein plötzliches Anhalten des Erntefahrzeugs bedingt sein kann. Beim Import der Ertragsdaten in GS+ wurden daher für die betreffenden Messpunkte alle Ertragswerte außer dem jeweils ersten im GS+-Datenblatt gelöscht. Folgten Ertragswerte mit gleicher Position nicht unmittelbar aufeinander, wurden die Werte gemittelt.

Da die Aussagekraft geostatistischer Analysen bei ungefähr normalverteilten Werten größer ist als bei asymmetrisch verteilten [43, 61], wurden in GS+ die Auswirkungen einer Lognormal- und einer Quadratwurzeltransformation auf die Häufigkeitsverteilungsfunktion untersucht. Ergab sich eine deutliche Verbesserung (annähernde S-Form der Summenhäufigkeitsverteilung bzw. eine annähernd gerade Linie der Lognormal-Summenhäufigkeitsfunktion [61], wurde die Transformation beibehalten, ansonsten die nichttransformierten Werte verwendet.

Als aktive (maximale) Lagdistanz wurde die maximale Entfernung zwischen zwei Messpunkten der betreffenden Erntefahrt, als Distanzklassenintervall 4 m bei den Ag-Leader- und Flowcontrolertragsdaten (bei den Daten S04 2000 8 m) und 5 m bei den Agrocomdaten, und als Offsettoleranz die Grundeinstellung von  $22,5^\circ$  gewählt.

Aufgrund der für die Berechnungen erforderlichen Rechenzeit und Rechenkapazität wurden die geostatistischen Untersuchungen auf die Erntefahrten auf den großen Schlägen beschränkt.

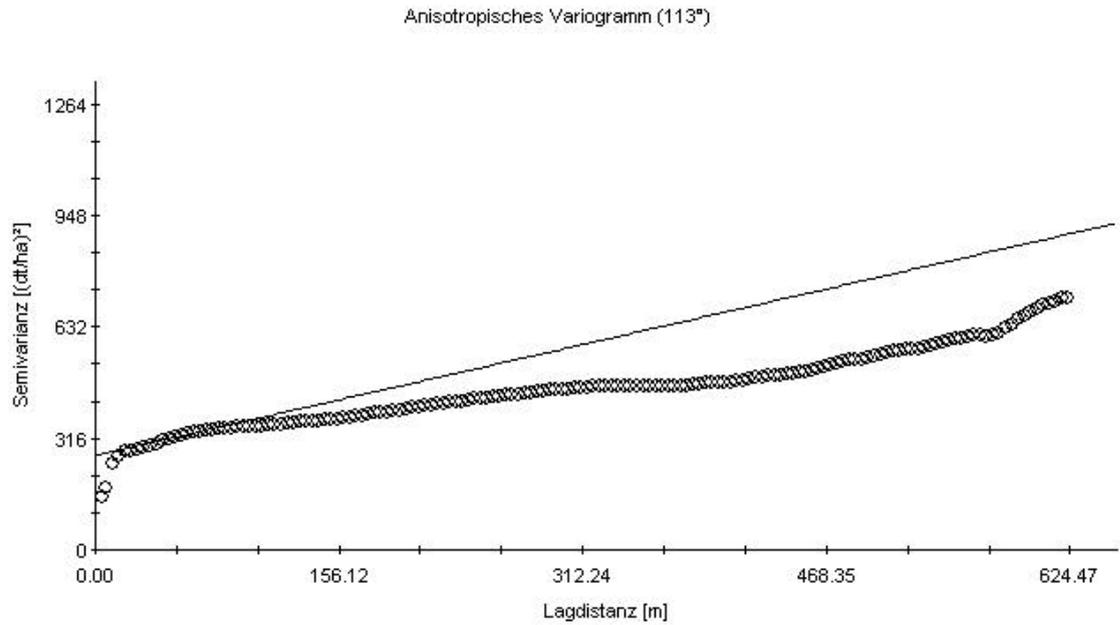
Bei den nicht transformierten Ertragsdaten der Erntefahrt auf Schlag D01 1995 lässt sich für die ungerichteten Semivarianzwerte mit einer aktiven Lagdistanz von ca. 650 m ein lineares Modell am besten anpassen mit einer Nuggetvarianz von  $326 \text{ (dt/ha)}^2$  und einer Reichweite von 622 m (Tab. 17).

**Tabelle 17:** Parameter der Semivarianzanalysen der unbereinigten und bereinigten Ertragsdaten

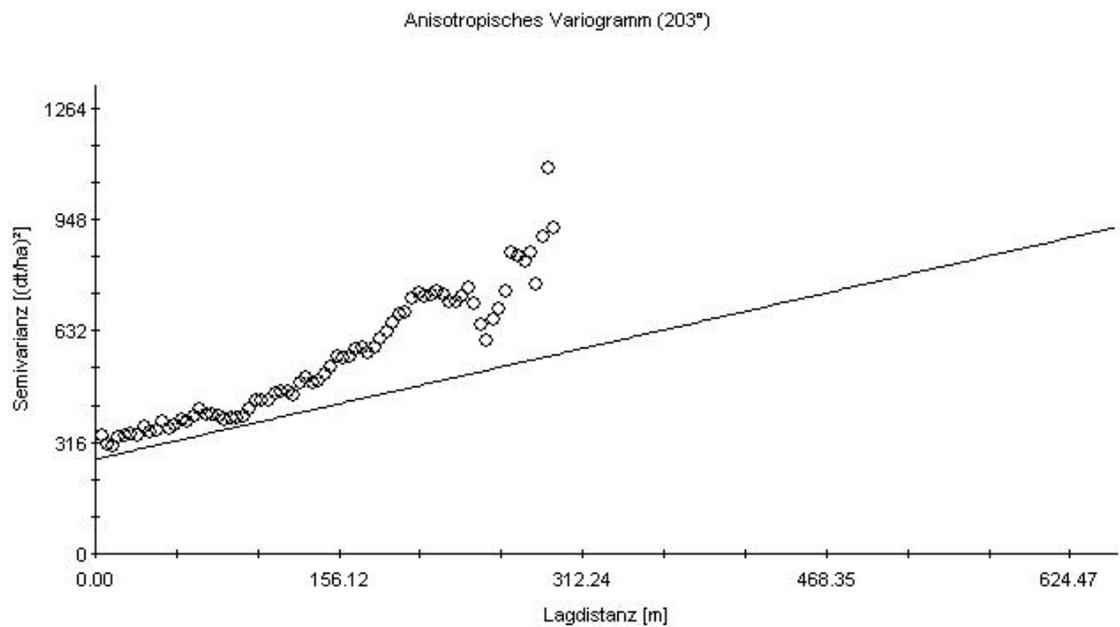
Schlag	Jahr	Ertragserm.	Status	akt. Lag-dist. [m]	isotrop					anisotrop					
					Modell	Nugget	Sill	Range	$r^2$	Modell	Nugget	Sill	Range 1	Range 2	$r^2$
D01	1995	Ag-Leader	unkorr.	650	linear	326.44	658.47	621.98	0.92	linear-to-Sill	268	1533.16	1257	1257	0.78
D01	1999	Ag-Leader		614	exp.	58.5	162.7	103	0.97	exp.	113.2	525.82	4961	3330	0.47
D01	1999	Flowcontrol		615	exp.	244	568.3	165	0.97	exp.	148.6	543.08	1528	1528	0.64
D04	1997	Ag-Leader		384	gauss	172.4	344.9	440.7	0.88	gauss	167.3	633.85	634.7	634.7	0.63
D04	1998	Ag-Leader		894	gauss	106	622.9	897	0.89	gauss	120	1153.19	1477	1477	0.49
D04	1999	Ag-Leader		484	sphärisch	0.93	2.13	578	0.94	exp.	0.86	4.96	1191	1191	0.53
D04	1999	Flowcontrol		382	gauss	1.05	2.72	251.3	0.98	linear	0.73	9.7	1513	1513	0.77
S04	2000	Ag-Leader		340	linear	1.57	1.7	331.8	0.03	gauss	1.61	4.29	4351	1238	0.11
S04	2000	Flowcontrol		347	exp.	485	1208.7	710.9	0.55	linear	502	1641.31	2663	950	0.37
D08	1998	Claas-Agroc.		284	gauss	631	2023	260.9	0.95	gauss	612	2577.85	321.5	313	0.66
D01	1995	Ag-Leader	ber.	613	exp.	93.2	186.5	95	0.66	linear	88	299.57	1708	1708	0.41
D01	1999	Ag-Leader		613	exp.	53.7	153.8	99	0.97	exp.	108.1	391.16	4231	2342	0.46
D01	1999	Flowcontrol		615	exp.	67.4	234.4	114	0.97	linear-to-Sill	132.8	528.34	1539	1539	0.65
D04	1999	Ag-Leader		485	gauss	0.8	1.6	256	0.95	exp.	0.74	3.02	991	991	0.59
D04	1999	Flowcontrol		382	sphärisch	0.25	1.06	346.9	0.92	exp.	0.27	3.16	875.8	875.8	0.75
D08	1998	Claas-Agroc.		278	gauss	193	635.6	195.7	0.91	gauss	201.3	1065.57	370.6	321.3	0.45

Bei der anisotropen Varianzanalyse passt GS+ ein Modell an, das die empirischen Semivariogramme in allen vier Richtungen am besten beschreibt. Im Falle der o.g. Daten zeigt sich an den empirischen Werten eine deutliche Anisotropie. In Richtung  $113^\circ$  als ungefähre Hauptfahrtrichtung ist eine starke Kontinuität der Ertragswerte mit einem nur langsamen, gleichmäßigen Anstieg der Semivarianz mit zunehmender Distanz zu erkennen (Abb. 53).

In der Richtung  $90^\circ$  zur Fahrtrichtung hat das empirische Variogramm dagegen einen sehr diskontinuierlichen Verlauf und wird wesentlich schlechter durch das lineare Modell beschrieben; die empirische Semivarianz in der untersten Distanzklasse ist deutlich größer als in der Hauptfahrtrichtung, was wahrscheinlich durch die Unterschiede der gemessenen Erträge zwischen den einzelnen Fahrspuren bedingt ist. GS+ errechnet in diesem Falle für beide Anisotropierichtungen dieselben Rangeparameter.



Linear to sill model (Co = 268.0000; Co + C = 1533.1595; A1 = 1257.00;  
A2 = 1257.00; r2 = 0.782; RSS = 9.185E+06)



Linear to sill model (Co = 268.0000; Co + C = 1533.1595; A1 = 1257.00;  
A2 = 1257.00; r2 = 0.782; RSS = 9.185E+06)

**Abbildung 53:** Anisotropische Semivariogramme (113° und 203°) der Winterweizenertragswerte D01 1995 mit maximaler Lagdistanz von 650 m (Ertragswerte nicht transformiert)

Bei den intern nachbearbeiteten Ag-Leader-Daten desselben Schläges der Ernte 1999 ist in der Hauptfahrtrichtung unter 300 m eine starke Autokorrelation der Erträge erkennbar, und nur bei 300 und 500 m liegen Diskontinuitäten vor (Abb. 48, Anh.).

90° zur Hauptfahrtrichtung ist der Verlauf der Semivarianzen insgesamt sehr unregelmäßig mit einer deutlichen Diskontinuität zwischen 250 und 300 m Distanz, was den Beobachtungen bei den Daten von 1995 entspricht. An die anisotropen Variogramme lässt sich ein sehr flaches exponentielles Modell mit vergleichsweise hoher Nugget- und Sillvarianz anpassen; die effektive Reichweite nach diesem Modell liegt bei  $> 10$  km in der Hauptachse und knapp  $< 10$  km in der Querrichtung.

Die Flowcontrolertragswerten derselben Erntefahrt haben eine deutlich höhere Nuggetvarianz und einen höheren Sillwert als die Ag-Leader-Daten, was auf einen starken Einfluss der unterschiedlichen Datennachbearbeitung hindeutet (Abb. 49, Anh.).

In der Hauptfahrtrichtung bilden die empirischen Semivarianzen eine sehr flache Kurve aus mit Diskontinuitäten bei 300 und 500 m. Die deutliche Anisotropie zeigt das empirische Semivariogramm für 203°. Hier steigt die Semivarianz ab ca. 250 m Lagdistanz stark an und fällt ab 300 m abrupt ab.

Bei den Ertragsdaten der Ernte D04 1997 ist in der Hauptfahrtrichtung (120°) ab 30 m kein räumlicher Zusammenhang der Ertragsdaten mehr (Abb. 50, Anh.) vorhanden; die Semivarianz bleibt ungefähr konstant, abgesehen von kleineren Diskontinuitäten. Quer zur Fahrtrichtung haben die Semivarianzen eher sogenannten „Pure-Nugget“-Charakter, d.h. es ist kein wesentlicher Anstieg nahe der Ordinate zu erkennen. Ab ca. 170 m Lagdistanz beginnt die Semivarianz zu steigen und erreicht bei 300 m ihr Maximum.

Bei den Ag-Leader-Ertragswerten des Erbsenmähdenschlag auf diesem Schlag 1999 steigt die Semivarianz in der Hauptfahrtrichtung nahe der Ordinate stark und asymptotisch an (Abb. 51, Anh.). Ab ca. 50 m bis 400 m Lagdistanz bleibt die Semivarianz, abgesehen von leichten weiten Schwankungen, ungefähr konstant, um anschließend stark abzunehmen. Quer zur Fahrtrichtung prägt sich eindeutig der Effekt der Fahrspuren aus.

Die entsprechenden Semivariogramme der Flowcontrolertragswerte derselben Erntefahrt (Abb. 52, Anh.) sind denen der Ag-Leader-Daten sehr ähnlich, zeigen aber einen glatteren Verlauf, der wahrscheinlich durch die interne Datenglättung bedingt ist. Der stärkere Einfluss der Fahrspuren in Richtung 210° bei den Ag-Leader-Daten ist womöglich durch die bereits genannte Ertragswertverfälschung durch die Verklebung der Prallplatte, von der einzelne Fahrspuren stärker betroffen waren, zurückzuführen. Die Semivarianzwerte der Flowcontrolwerte weisen dagegen ein sekundäres Maximum in der untersten Lagdistanzklasse auf; hier spielt offensichtlich die weniger effektive Entfernung der Befüll- und Entleerzeitwerte beim

Auslesen der Daten eine Rolle (vgl. Kap. 7.1.1), sowie möglicherweise die Tatsache, dass weniger Daten vorhanden sind und somit Messfehler ein stärkeres Gewicht bei der Berechnung der Semivarianzen haben.

Bei den Körnermais-ertragsdaten von Schlag D08 1998 nimmt die Semivarianz in der Hauptfahrtrichtung insgesamt mit der Entfernung zu; der Anstieg wird dabei durch zwei Diskontinuitäten unterbrochen. Auffallend ist ein sekundäres Maximum in der untersten Distanzklasse bis 5 m (Abb. 53, Anh.). Quer zur Fahrtrichtung ist die maximale Semivarianz wesentlich geringer, und es ist kein räumlicher Zusammenhang der Ertragsdifferenzen mit der Entfernung zu erkennen (Pure-Nugget-Erscheinung).

Insgesamt zeigen die Semivariogramme deutliche Anisotropien, aber auch einen starken Einfluss der eingesetzten Messsysteme.

## 7.2 Bereinigung der Ertragsdaten

Kap. 7.1 zeigt, dass die Auswirkungen der Fehlereinflüsse auf die Qualität der lokalen Ertragsdaten nicht unerheblich ist. Sollen die aus den Ertragsmesswerten abgeleiteten Teilflächen möglichst hoch aufgelöst (kleine Rastergrößen bzw. Interpolationssuchradien) und gleichzeitig noch vertrauenswürdig sein, ist eine Bereinigung der Ertragswerte mit Entfernung zumindest der größten fehlerhaften Werte aus den Datensätzen erforderlich. Es wurde daher für die analysierten Daten ein Bereinigungsverfahren definiert, mit dessen Hilfe versucht wurde, die verfälschenden Einflüsse aller quantifizierten Fehlergrößen zu minimieren.

Der in der vorliegenden Arbeit verwendete Algorithmus zur Bereinigung der vorliegenden Ertragsdaten lehnt sich eng an den „Expert Filter“ von BLACKMORE AND MOORE (1999) an; die Grundprinzipien dieser Methoden wurden übernommen und einerseits an die vorhandenen Ertragsdatenformate und andererseits an die Möglichkeiten von embedded SQL angepasst. Die einzelnen Arbeitsschritte lassen sich wie folgt definieren:

- als erstes wurden die Datenformate bezüglich der darin enthaltenen Attribute und der sich daraus ergebenden Möglichkeiten zur Definition von Filterungskriterien gesichtet. Die Attribute in den einzelnen Datenstrings geben Aufschluss über die Bedingungen, unter denen die jeweilige Messung stattgefunden hat und ermöglichen eine Beurteilung der Qualität der Ertragsmessung zu einem bestimmten Messzeitpunkt bzw. an einem bestimmten Messort;

- danach wurde definiert, welche Bedingungen ein Datenstring erfüllen muss, damit der zugehörige Ertragswert eliminiert wird und
- schließlich wurden die einzelnen Schritte des Algorithmus definiert.

### 7.2.1 Vorgehen

Der im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte Korrekturalgorithmus musste für die einzelnen Ertragsdatenformate entsprechend modifiziert werden.

Bei Daten mit Feuchtwerten konnten diese in den Korrekturalgorithmus einfließen. Die Fahrgeschwindigkeit konnte als Filterungskriterium nur bei den Ag-Leader-Daten 1995 angewendet werden, da sie in den anderen Formaten nicht enthalten ist.

Die Korrektur der Ertragswerte, die automatisiert mit dem Skripten *datenber.pl* (für alle Datenformate außer Ag-Leader 1995) bzw. *datenber2.pl* (für Ag-Leader 1995) durchgeführt wurde, erfolgte in folgenden Schritten:

**Schritt 1:** Zuerst wurden auf das wirkliche Schlagmittel ( $Y_{\text{Schlagmittel}}$ ) relativierte Ertragswerte ( $Y_{\text{rel}(i)}$ ) berechnet nach der Formel:

$$Y_{\text{rel}(i)} = Y_i / Y_{\text{Schlagmittel}} * 100 \quad (7-15)$$

Wo der wirkliche mittlere Ertrag des Schlagjahres aufgrund fehlender Unterlagen nicht bekannt war, wurde näherungsweise das arithmetische Mittel der Ertragsmesswerte verwendet. Daraufhin wurden die Ertragswerte in den Ag-Leader-Daten von 1995 um 11 Sekunden rückwärts geschiftet, um den mittleren Messversatz auszugleichen.

**Schritt 2:** Anschließend wurden alle Ertragswerte gelöscht, die außerhalb definierter relativer Grenzen um das Schlagmittel liegen. Die Grenzen wurden dabei als Variablen definiert, deren Werte nach dem Start des Skriptes einzugeben waren. Bei den vorliegenden Arbeiten wurde 20 % als Unter- und 180 % als Obergrenze gewählt.

**Schritt 3:** Daraufhin wurden die Ertragswerte der Messpunkte gelöscht, deren geometrische Entfernung zum nächstgelegenen Punkt einer vorher befahrenen Fahrspur als Näherung der effektiven Schnittbreite (vgl. Kap. 7.1.3.1) weniger als eine halbe Schneidwerksbreite beträgt. Die Hälfte der Schneidwerksbreite wurde als Grenze genommen, damit auch unter Berücksichtigung der nach Korrektur der x- und y-Koordinaten verbleibenden Positionierungsungenauigkeiten noch von einer relevanten Abweichung der effektiven Schnittbreite von der Schneidwerksbreite ausgegangen werden konnte. Ob eine zu geringe effektive Schnittbreite nur den Ertragsmesswert an demselben Messpunkt verfälscht, ist allerdings fraglich (vgl. Kap. 7.1.3.1), weshalb dieser Filterungsschritt wahrscheinlich eher relativ ineffektiv war. Bei der

Korrektur der Körnermaisdaten war wegen der Tatsache, dass die Maispflanzen in Reihen angeordnet waren, und die Zahl der jeweils aktuell geschnittenen Reihen manuell in den Terminal eingegeben wurde, dieser Schritt nicht erforderlich.

**Schritt 4:** Bei den Ag-Leader-Daten ab 1996 wurden die ersten drei und bei den Flowcontrol-Daten die ersten sechs Werte jeder definierten Fahrspur oder Segments gelöscht. Bei den Ag-Leader-Daten 1995 und den Agrocom-Daten wurden die ersten 20 bzw. drei Werte in jedem Segment eliminiert.

**Schritt 5:** Danach wurden die Ertragswerte aller Strings, die nicht Segmenten bzw. Fahrspuren zugeordnet wurden, bzw. solcher Strings mit einer Fahrtrichtungsänderung von mehr als  $90^\circ$  (Werte der Entleerzeit) gelöscht.

**Schritt 6:** Daneben wurden alle Werte entfernt, bei denen die zugehörigen Feuchtemesswerte außerhalb des Intervalls Mittelwert – 4 Standardabweichungen bis Mittelwert + 4 Standardabweichungen aller Feuchtemesswerte der Erntefahrt liegen.

**Schritt 7:** Zur Korrektur des Einflusses wechselnder Geschwindigkeiten (Daten D01 1995) wurde wie folgt vorgegangen: Es wurden die Ertragswerte aller Datenstrings gelöscht, bei denen die Beschleunigung größer als  $|1,3|$  ist, daneben aller Datenstrings, deren Geschwindigkeitsunterschied zu dem jeweiligen String 11 s später größer als  $|1,3|$  ist (s. Kap. 7.1.3.4).

**Schritt 8:** Im Anschluss daran wurden noch alle Werte entfernt, die von dem jeweils vorangehenden und nachfolgenden um mehr als einen bestimmten Prozentsatz abweichen. Als Anhaltspunkt wurde der Mittelwert der 95%-Quantile der einzelnen Erntefahrten für die Ertragsermittlungssysteme gewählt, d.h. bei den Ag-Leader-Daten 35%, bei den Flowcontrol-daten 52% und bei den Agrocomdaten 59%.

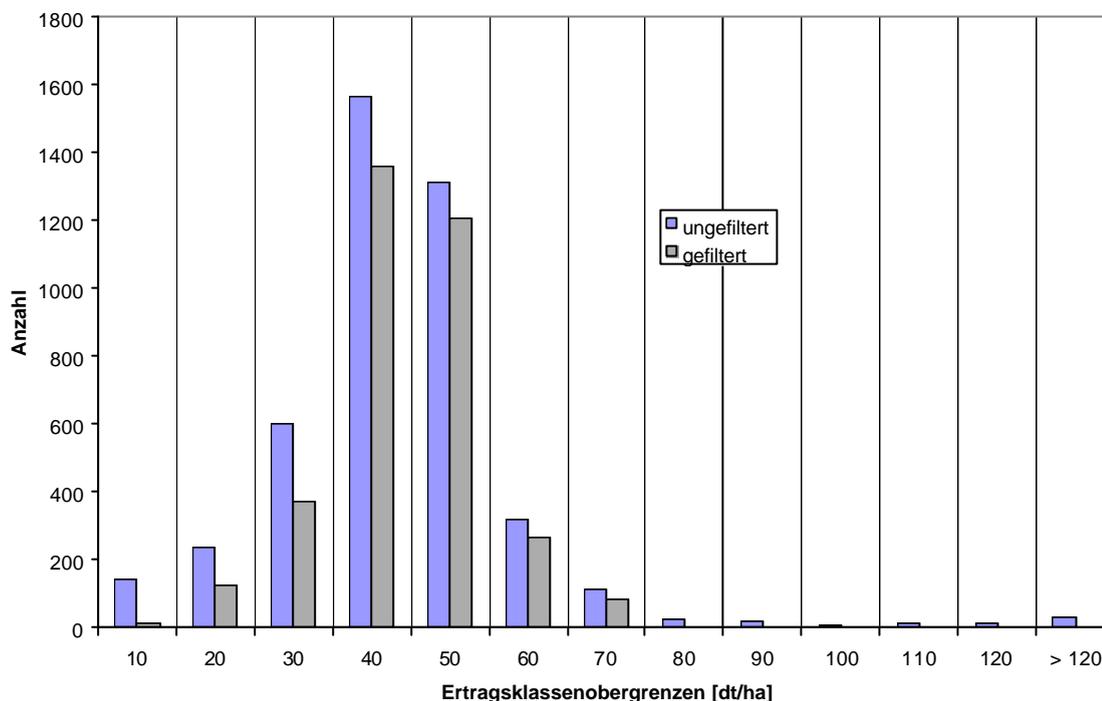
**Schritt 9:** Wo zwei oder mehr Messpunkte mit identischen Koordinaten aufeinanderfolgen, wurden die Ertragswerte aller dieser Punkte bis auf den des ersten gelöscht. Wo Messpunkte mit identischen Koordinaten nicht unmittelbar aufeinanderfolgen, wurden die Ertragswerte gemittelt.

**Schritt 10:** Abschließend wurden isoliert fehlende Werte aus den jeweils vorangehenden und nachfolgenden linear interpoliert. Wurden mehrere Ertragswerte hintereinander durch den Algorithmus entfernt, blieb die Möglichkeit, diese mittels Kriging- oder Inverse-Distanz-Interpolation neu zu interpolieren. Eine solches Interpolationsverfahren konnte in den beschriebenen Algorithmus nicht mehr integriert werden.

## 7.2.2 Ergebnisse

Durch die Korrektur der Ertragswerte wird statistisch die Größe der Streuungsparameter reduziert (Tab. 7, Anh.), und zwar dadurch, dass Werte an beiden Enden der jeweiligen Verteilungen eliminiert wurden. Die Schiefe der Verteilungen wird teilweise geringer, teilweise auch etwas größer. Die arithmetischen Mittel der Ertragswerte nähern sich in weniger als der Hälfte aller Fälle den wirklichen mittleren Erträgen der Schläge an; bei den übrigen Erntefahrten wird die relative Abweichung vergrößert.

Vorhandene Schweife zu den höheren oder niedrigeren Erträgen werden ganz oder teilweise entfernt, wie z.B. bei den mit Flowcontrol ermittelten Erbsenertragswerten (Abb. 54).



**Abbildung 54:** Absolute Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Erbsenmähdusch auf Schlag D04 1999 (Flowcontrol)

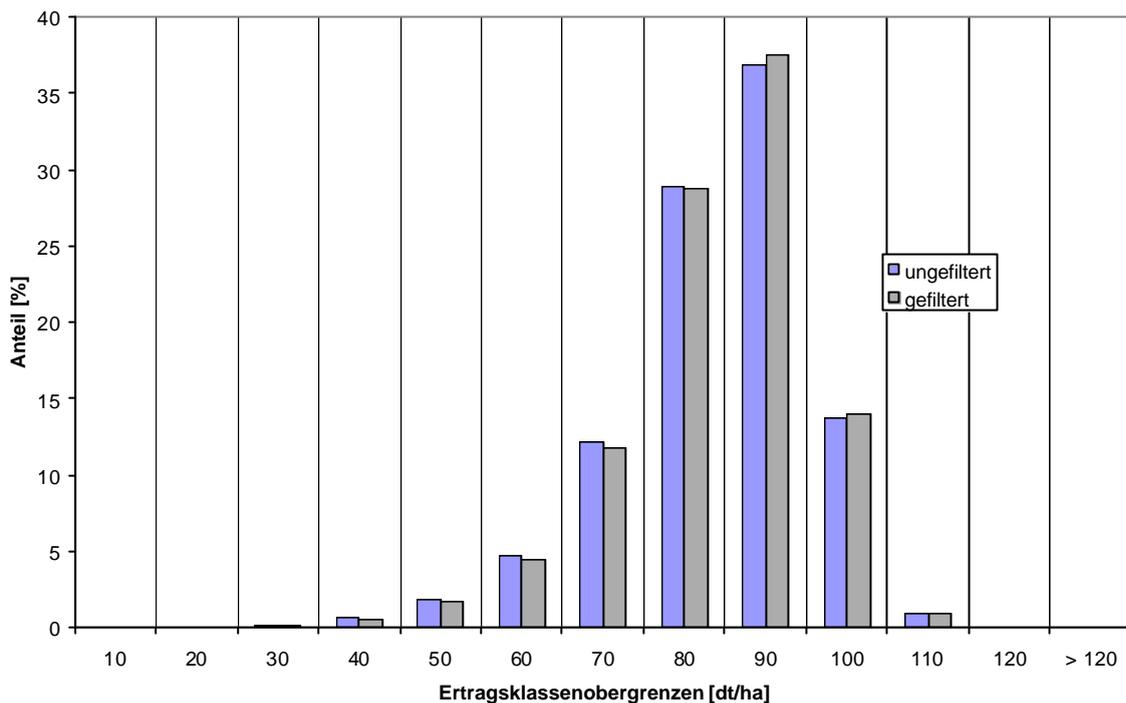
Die Histogramm zeigt, dass oft auch in den zentralen Ertragsklassen Werte gelöscht wurden. Die relativen Häufigkeitsverteilungen bekommen dagegen einen ausgeprägteren Gipfel (Abb. 54, Anh.).

Bei der Verteilung der Ag-Leader-Werte derselben Erntefahrt wird der Schweif ebenfalls entfernt, ohne dass der Gipfel stärker ausgeprägt wird (Abb. 55, Anh.).

Bei den Ertragswerten beider Systeme entfernt sich das arithmetische Mittel weiter vom wirklichen Schlagmittel (Tab. 7, Anh.), was darauf hindeutet, dass womöglich zu viele niedrige Ertragswerte (bei Flowcontrol) bzw. zu hohe Ertragswerte (bei Ag-Leader) gelöscht wurden.

Bei den Körnermais-ertragsdaten D08 1998 wird durch die Korrektur der Schweif in den unteren Ertragsklassen nur abgeschwächt; insgesamt bleibt die Verteilung deutlich linksschief (Abb. 56, Anh.). Der Maximalertrag wurde bei Schlag D08 überhaupt nicht, bei Schlag D01 nur geringfügig heruntergesetzt (Tab. 7, Anh.).

Bei den Winterweizenertragswerten zeigt sich ein deutlicher Unterschied im Effekt der Filtrierung zwischen den Systemen. Bei den Ag-Leader-Werten D01 1999 verändert sich die Verteilung der Werte nur unwesentlich (Abb. 55).



**Abbildung 55:** Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Winterweizenmähdrusch auf Schlag D01 1999 (Ag-Leader)

Dagegen erhalten die Verteilungen der Flowcontrolwerte einen stärker ausgeprägten Gipfel, und der Schweif im Bereich der niedrigen Ertragswerte wird deutlich gegenüber dem der unkorrigierten Werte reduziert (Abb. 57, Anh.).

Bei den mit Robust-PC aufgezeichneten Ag-Leader-Daten von D01 1995 ist der Effekt noch deutlicher als bei den Flowcontroldaten (Abb. 58, Anh.).

Abbildung 59 (Anh.) zeigt die Häufigkeitsverteilung der mit Flowcontrol ermittelten Ertragswerte bei einem Wintergerstenmähdrusch vor und nach der Bereinigung. Wie bei den Winterweizenertragsdaten wird die Häufigkeitsverteilung vor allem in den unteren Ertragsklassen verändert; der größte Teil der Ertragswerte unter 10 dt/ha wird gelöscht.

Bei den entsprechenden Ag-Leader-Daten ist wie bei Winterweizen der Effekt der Korrektur auf die Häufigkeitsverteilung sehr gering; es wurde allerdings ein Großteil der Werte unter

10 dt/ha gelöscht (Abb. 60, Anh.).

Tabelle 18 zeigt, wieviele Werte der Flowcontroldaten der Ernte D04 1999 nach den einzelnen Kriterien gelöscht wurden, und die Auswirkung auf die Statistik der Ertragswerte.

**Tabelle 18:** Nach bestimmten Kriterien gelöschte und nicht gelöschte Ertragswerte (D04 1999, Flow-control, Schlagmittel 38,8 dt/ha)

Kriterium	Status	n	Ertrag [dt/ha]			
			Mittelwert	Stabw.	Min.	Max.
Relertrag	nicht gefiltert	4161	37,66	10,72	8,28	68,08
	gefiltert	246	58,17	55,50	0,92	202,40
	rel. Ant.bzw. Diff.	6%	54%	418%	-89%	197%
Schnittbreite	nicht gefiltert	4228	39,04	14,35	0,92	202,40
	gefiltert	179	32,42	31,70	0,92	156,40
	rel. Ant.bzw. Diff.	4%	-17%	121%	0%	-23%
Maschinenfüllzeit	nicht gefiltert	3754	39,21	14,63	0,92	202,40
	gefiltert	653	34,75	19,81	0,92	156,40
	rel. Ant.bzw. Diff.	17%	-11%	35%	0%	-23%
Maschinenentleerzeit	nicht gefiltert	4267	38,52	15,62	0,92	202,40
	gefiltert	140	47,33	44,85	0,92	174,80
	rel. Ant.bzw. Diff.	3%	23%	187%	0%	-14%

Nach dem Kriterium  $< \frac{1}{2}$  Schneidwerksbreite wurden 179 Ertragswerte (6% von allen) eliminiert, die einen um 17% niedrigeren Mittelwert haben als die übrigen Ertragswerte. Der Mittelwert der übrigen Daten wird erhöht und liegt weiter vom wirklichen Schlagmittel entfernt als der aller Werte. 246 Werte sind größer als  $1,8 \cdot$  wirkliches Schlagmittel oder kleiner als  $0,2 \cdot$  wirkliches Schlagmittel. Die verbleibenden Werte haben einen sehr nahe am wirklichen Schlagmittel liegenden Mittelwert. 653 Werte wurden als Maschinenfüllzeitwerte gelöscht mit einem Mittelwert von rund 2 dt/ha unterhalb des wirklichen Schlagmittels; die nicht betroffenen Werte haben einen Mittelwert von 2 dt/ha über dem wirklichen Schlagmittel. Dies weist daraufhin, dass die Füllzeit mit 6 Aufzeichnungen möglicherweise zu hoch angesetzt wurde. Als Maschinenentleerzeitwerte im definierten Sinne wurden 140 Werte mit einem Mittelwert von 47,33 dt/ha gelöscht; es handelt sich also offensichtlich eher um zu hohe Ertragswerte.

Weder durch das Kriterium Schnittbreite noch durch die Kriterien Füll- und Entleerzeit konnte das unrealistische Minimum von 0,92 dt/ha beseitigt werden. Offensichtlich sind derart niedrige Werte durch starke positive Beschleunigungen bedingt. Die Filterung nach Relativertrag ist daher offensichtlich notwendiger Bestandteil des Korrekturalgorithmus.

Da die Summe der nach den Einzelkriterien herausgefilterten Werte mit 1078 größer ist als die Zahl der insgesamt gefilterten Werte (978), fallen einzelne Werte gleichzeitig unter mehrere Filterkriterien; dies gilt auch für andere Erntefahrten.

Bei den Ag-Leader-Werten wurden nach dem Kriterium Relativertrag 297 Werte gelöscht mit einem Mittelwert, der deutlich über dem wirklichen Schlagmittel liegt, was darauf hinweist, dass hauptsächlich Werte über 180% Relativertrag eliminiert wurden (Tab. 8, Anh.). Die nach dem Kriterium Schnittbreite herausgefilterten Werte haben ebenfalls einen etwas höheren Mittelwert, was nicht zu erwarten ist, da eine zu geringe Schnittbreite zu verringertem gemessenen Ertrag führt. Die in der definierten Füllzeit von drei Aufzeichnungen gelöschten Werte haben ebenfalls einen etwas höheren Mittelwert als die übrigen, was nahelegt, dass womöglich zu viele plausible Werte gelöscht wurden. Auffallend ist auch, dass die niedrigsten Werte nicht innerhalb der definierten Füllzeit liegen; sie sind wahrscheinlich durch andere Fehlergrößen wie starke Beschleunigung bedingt. Ähnliches gilt für die als Entleerzeitwerte gelöschten Werte. Aufgrund zu hoher bzw. zu niedriger Feuchte wurden 116 Werte eliminiert. Aufgrund des wesentlich höheren Mittelwertes dieser Werte ist es offensichtlich, dass hauptsächlich die Ertragswerte von Strings mit zu niedrigen Feuchtwerten gelöscht wurden.

Bei Schlag D08 1998 liegen 63 Werte unterhalb 20% des wirklichen Schlagmittels (Tab. 19). 231 Werte mit einem arithmetischen Mittel von 69 dt/ha wurden als Werte innerhalb der definierten Füllzeit von 5 Aufzeichnungen identifiziert und 38 Werte mit extremen (überwiegend zu hohen) Feuchtwerten.

**Tabelle 19:** Nach bestimmten Kriterien gelöschte und nicht gelöschte Ertragswerte (D08 1998, Agrocom, Schlagmittel 97,95 dt/ha)

Kriterium	Status	n	Ertrag [dt/ha]			
			Mittelwert	Stabw.	Min.	Max.
Relativertrag	nicht gefiltert	1137	102,55	22,98	20,18	157,96
	gefiltert	63	8,10	4,77	0,85	19,56
	rel. Ant.bzw. Diff.	6%	-92%	-79%	-96%	-88%
Maschinenfüllzeit	nicht gefiltert	969	105,87	20,92	2,61	157,96
	gefiltert	231	69,26	38,80	1,70	156,20
	rel. Ant.bzw. Diff.	24%	-35%	85%	-35%	-1%
Maschinenentleerzeit	nicht gefiltert	1184	98,73	29,26	1,70	157,96
	gefiltert	16	13,02	16,24	0,85	56,33
	rel. Ant.bzw. Diff.	1%	-87%	-45%	-50%	-64%
Feuchte	nicht gefiltert	1162	98,45	30,08	0,85	157,96
	gefiltert	38	71,16	38,09	3,48	121,90
	rel. Ant.bzw. Diff.	3%	-28%	27%	310%	-23%

Innerhalb der definierten Füllzeit liegen offensichtlich aber auch von der Größe her plausible sowie zu hohe Ertragswerte, wie das hohe Maximum dieser Werte zeigt. Die Werte der Entleerzeit sind im Mittel deutlich niedriger als die übrigen Werte.

Insgesamt wird bei allen Filterkriterien das arithmetische Mittel der verbleibenden Werte gegenüber dem wirklichen Schlagmittel erhöht.

Bei den Flowcontroldaten D01 1999 liegen 510 Werte unter 20% oder über 180% Relativertrag, davon der größere Teil angesichts des Mittelwertes von 11 dt/ha unter 20% (Tab. 9, Anh.). 729 Werte wurden wegen zu geringer Schnittbreite, 873 als Füllzeitwerte und 213 als Entleerzeitwerte gelöscht. Die Mittelwerte der jeweils gefilterten Werte liegen deutlich unter dem wirklichen Schlagmittel.

Die Mittel der nicht unter die Kriterien fallenden Werte liegen näher beim wirklichen Schlagmittel von 74,4 dt/ha als das Mittel aller Ertragswerte (69,88 dt/ha).

Von den entsprechenden Ag-Leader-Werten wurden nur drei als Werte über 180% Relativertrag gelöscht, dagegen 104 Werte aufgrund überwiegend zu hoher gemessener Feuchte, 331 wegen zu geringer Schnittbreite, 256 als Füllzeitwerte und 88 als Entleerzeitwerte (Tab. 10, Anh.). Die Mittelwerte der jeweils nicht unter die einzelnen Kriterien fallenden Werte liegen wie der Mittelwert der ungefilterten Werte (Tab. 7, Anh.) deutlich über dem wirklichen Schlagmittel.

Bei den direkt aufgezeichneten Daten D01 1995 wurden vergleichbare Anteile an Werten aufgrund der einzelnen Kriterien außer Feuchte und Schnittbreite herausgefiltert (Tab. 11, Anh.). Die Mittelwerte der herausgefilterten Werte sind bei allen Kriterien außer den eben genannten niedriger als bei den jeweils nicht betroffenen Werten. Im Falle der Schnittbreite ist dies auf die relativ schlechte Ortungsqualität zurückzuführen. Der relativ niedrige Mittelwert der aufgrund der Beschleunigungen gelöschten Werte widerspricht dem Ergebnis in Kap. 7.1.3.4, wonach die Geschwindigkeitswechsel bei einer Erntefahrt im Mittel eher zu hohe Ertragsmesswerte bedingen. Offensichtlich ist die Filterungsalgorithmus hier noch nicht optimal angepasst.

Bei den mit Flowcontrol ermittelten Wintergerstenerträgen wurden 352 Ertragswerte gelöscht, die < 20% oder größer als 180% des wirklichen Schlagmittels von 34,9 dt/ha sind (Tab. 12, Anh.). Bei 468 Werten mit einem Mittelwert von 11 dt/ha wurde eine zu geringe effektive Schnittbreite genähert, 647 Werte mit einem Mittel von 17,21 dt/ha liegen in den definierten Befüllphasen und 164 Werte mit durchschnittlich 19,7 dt/ha außerhalb der definierten Fahr-

spuren. In allen Fällen liegt der Mittelwert der nicht betroffenen Werte näher beim wirklichen Schlagmittel als der Durchschnitt aller Werte.

Die Statistik der nach den einzelnen Fehlerquellen herausgefilterten Ertragswerte ist bei den Ag-Leader-Werten ähnlich (Tab. 20). Nur das arithmetische Mittel der als Füllzeitwerte identifizierten Erträge liegt mit 31 dt/ha nur wenig unter dem Durchschnitt der übrigen Werte.

**Tabelle 20:** Nach bestimmten Kriterien gelöschte Ertragswerte (D13 2000, Ag-Leader, Schlagmittel 34,9 dt/ha)

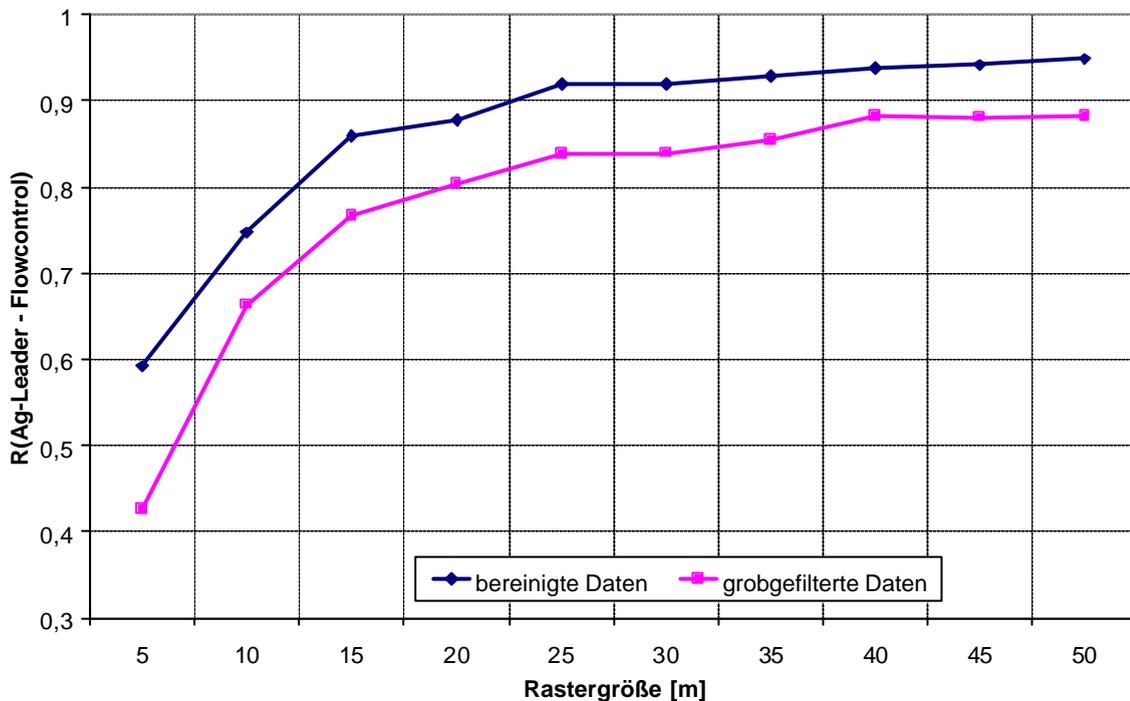
Kriterium	Status	n	Ertrag [dt/ha]			
			Mittelwert	Stabw.	Min.	Max.
Relativertrag	nicht gefiltert	10548	37,27	8,09	7,02	62,64
	gefiltert	168	4,65	9,85	0,54	73,98
	rel. Ant.bzw. Diff.	2%	-88%	22%	-92%	18%
Schnittbreite	nicht gefiltert	10370	37,62	7,74	1,08	65,88
	gefiltert	346	14,16	12,11	0,54	55,62
	rel. Ant.bzw. Diff.	3%	-62%	56%	-50%	-16%
Maschinenfüllzeit	nicht gefiltert	10483	36,96	8,78	0,54	63,18
	gefiltert	233	31,07	13,79	1,08	65,88
	rel. Ant.bzw. Diff.	2%	-16%	57%	100%	4%
Maschinenentleerzeit	nicht gefiltert	10630	36,83	8,96	0,54	65,88
	gefiltert	86	27,86	15,79	1,08	73,98
	rel. Ant.bzw. Diff.	1%	-24%	76%	100%	12%
Feuchte	nicht gefiltert	10672	36,72	9,05	0,54	73,98
	gefiltert	44	44,33	10,37	2,70	63,18
	rel. Ant.bzw. Diff.	0%	21%	14%	400%	-15%

Die herausgefilterten Ag-Leader-Werte des Mähdrusch D01 1999 konzentrieren sich an nur wenigen Stellen (Abb. 61, Anh.). Bei den entsprechenden Flowcontrolwerten (Abb. 62, Anh.) sind hauptsächlich Ertragswerte nach Einfahrt in die Fahrspuren, aber auch einige Werte mitten im Schlag gelöscht worden. Auffallend ist, dass hier auch noch im Gegensatz zu Ag-Leader Ertragswerte in Wendephasen (Entleerzeit) vorhanden waren, die durch die Filterung entfernt wurden. Der Unterschied zwischen den Systemen gilt für alle Erntefahrten, bei denen beide Systeme verwendet wurden.

Bei den Ag-Leader-Daten 1995 wurden auch viele Ertragswerte mitten im Schlag, d.h. mitten in den einzelnen Fahrspuren entfernt (Abb. 63, Anh.). Offenbar ist die Datenqualität hier sehr schlecht gewesen.

Die Datenbereinigung zeigt ebenfalls einen deutlichen Effekt auf die Korrelation der Systeme Ag-Leader und Flowcontrol bei der Erntefahrt D01 1999 (Abb. 56).

Die Kurve wird gegenüber der basierend auf den nach Unter- und Obergrenze gefilterten Daten nach oben verschoben, die Korrelation zwischen beiden Systemen wird also insgesamt besser. Bei Rastergrößen  $\geq 25$  m liegen die Korrelationskoeffizienten über 0,9 und sinken erst ab 15 m Rastergröße deutlich ab.



**Abbildung 56:** Vergleich der relativen Rastererträge der Winterweizenernte D01 1999 bei verschiedenen Rastergrößen (bereinigte und nur grobgefilterte Daten)

Bei 10 m Rastergröße ist die Korrelation vergleichbar zu der bei 15 m Rasterung bei den grobgefilterten Daten. Die größte Verbesserung der Korrelation ist bei 5 m, also fast auf Einzelmesspunktebene, zu verzeichnen; die Korrelation liegt hier noch bei 0,6.

Die Ertragsdatenbereinigung führt auch zu veränderten geostatistischen Eigenschaften gegenüber den unbereinigten Ertragswerten (Tab. 17).

Das Semivariogramme der bereinigten Flowcontrolwerte der Erntefahrt D04 1999 in Hauptfahrtrichtung hat (Abb. 64, Anh.) einen wesentlich flacheren Verlauf als das der unbereinigten Erträge (vgl. Abb. 52, Anh.). Die Varianz in der untersten Distanzklasse und die maximale Semivarianz wurden deutlich reduziert. Entsprechend niedriger sind die Modellparameter Nuggetvarianz und Sill des angepassten exponentiellen Modells. Außerdem wurde die Streuung der Werte im empirischen Variogramm noch weiter reduziert. Auch quer zur Fahrtrichtung wurde das empirische Semivariogramm durch die Datenbereinigung etwas geglättet; hier wurde vor allem der starke Anstieg der Semivarianz am Ende etwas abgemildert. Die Anisotropie der gefilterten Ertragswerte wurde insgesamt verringert.

Bei den Ag-Leader-Werten wurde das Semivariogramm in Hauptfahrtrichtung kaum verändert, aber insgesamt zur x-Achse hin verschoben (Abb. 57).

Dasselbe gilt für das Variogramm quer zur Fahrtrichtung. Entsprechend ist die Größe der Parameter des exponentiellen Modells nur wenig geringer als die der Parameter der unbereinigten Ertragsdaten. Dies zeigt ebenfalls die geringe Auswirkung der Bereinigung auf die Ag-Leader-Werte.

Die Semivariogramme der Körnermaisenerträge von D08 zeigen entsprechende Effekte sowohl in der Hauptfahrtrichtung als auch quer dazu (Abb. 65, Anh.).

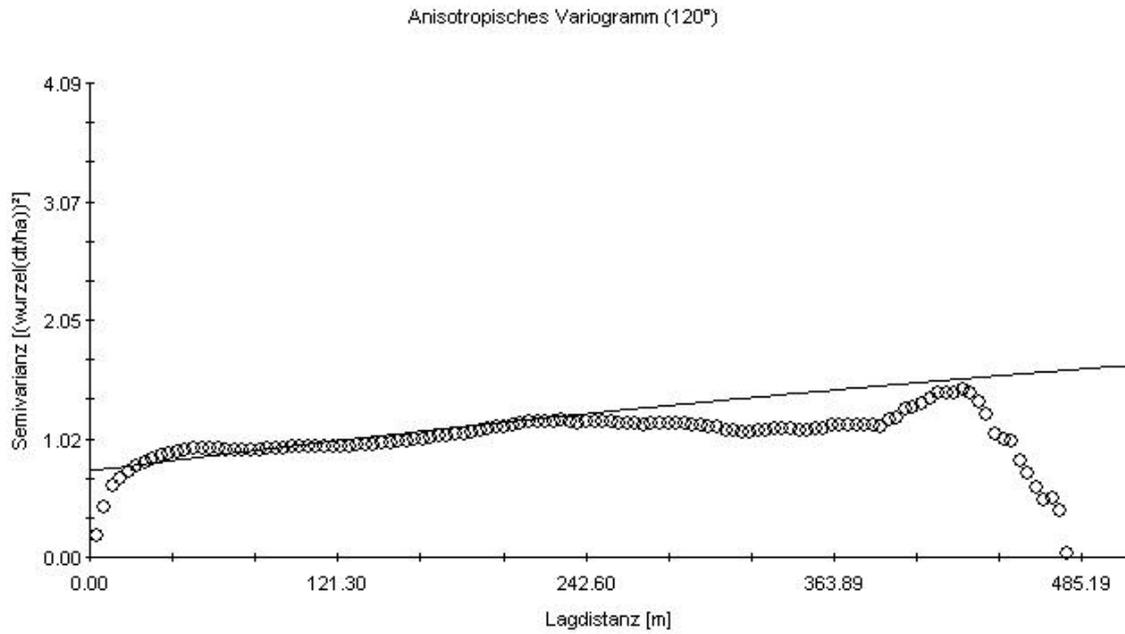
Bei den Flowcontrolwerten der Ernte D01 1999 (Abb. 66, Anh.) wird durch die Filterung in beiden Richtungen zusätzlich die Steigung der empirischen Semivariogramme verringert; die maximale Semivarianz in beiden Richtungen und auch die Sillvarianz des angepassten Modells nehmen um mehr als 50 % gegenüber den unbereinigten Ertragsdaten ab.

Bei den Ag-Leader-Ertragswerten dieser Erntefahrt macht sich die Korrektur nur in einer unwesentlichen Veränderung der empirischen Semivariogramme und der angepassten Modelle bemerkbar (Abb. 67, Anh.).

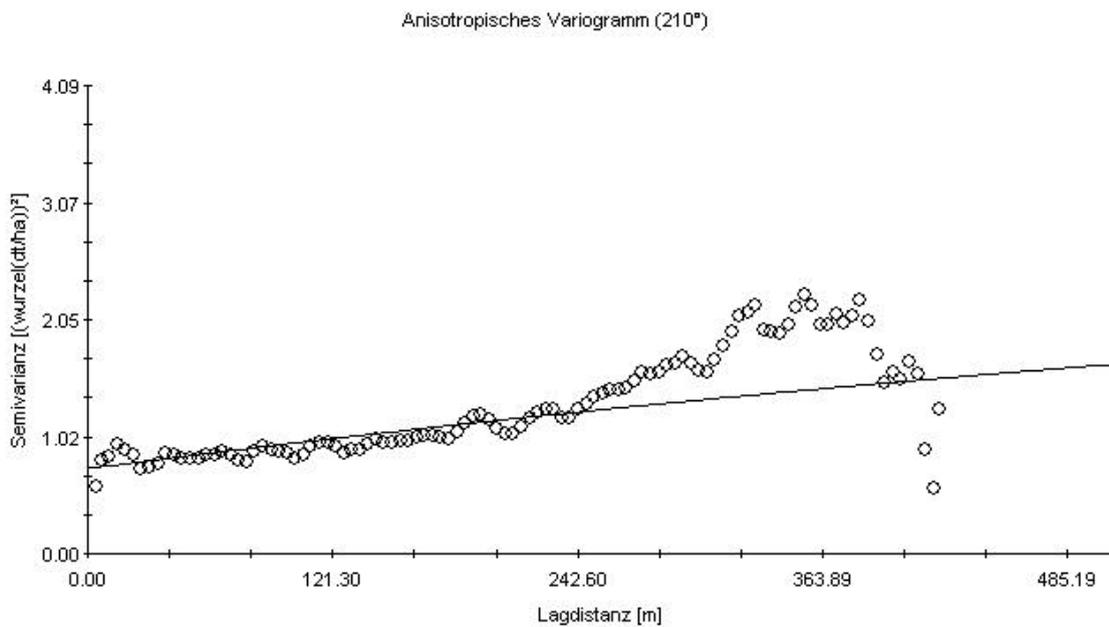
Bei den Ag-Leader-Werten desselben Schlages 1995 ist in Hauptfahrtrichtung ein sehr deutlicher Effekt der Filterung zu erkennen (Abb. 68, Anh.); die maximale Semivarianz ist von  $> 600 \text{ (dt/ha)}^2$  auf rund 100 heruntersgesetzt worden und wird schon bei ca. 100 m Lagdistanz annähernd erreicht. Die Varianz nahe der y-Achse liegt fast bei 0. Das von GS+ angepasste lineare Modell mit einem Nugget von 88 und einem Sill von fast 300 spiegelt hier nicht die wirklichen Verhältnisse wider. Quer zur Fahrtrichtung ist nicht nur die maximale empirische Varianz durch die Filterung fast auf ein Drittel reduziert, sondern auch der Verlauf der empirische Kurve geglättet worden.

Als Fazit bleibt festzuhalten: die Anwendung des Bereinigungsalgorithmus auf die vorliegenden Ertragsdaten zeigte einen erkennbaren Effekt. Dieser äußerte sich in folgenden Ergebnissen:

- einer Verringerung fehlerhafter Ertragswerte und als Ergebnis eine Verringerung der Streuung der Ertragswerte insgesamt;
- einer Verbesserung der Korrelation der Rasterertragswerte auf Basis der beiden parallel eingesetzten Ertragsermittlungssysteme;
- und einer Veränderung der geostatistischen Eigenschaften der Ertragswerte. Hier ist insbesondere eine Verringerung der Nuggetvarianzen und bei einigen Erntefahrten auch der Anisotropie zu nennen.



Exponential model ( $C_0 = 0.743$ ;  $C_0 + C = 3.019$ ;  $A_1 = 991.00$ ;  
 $A_2 = 991.00$ ;  $r_2 = 0.591$ ;  $RSS = 26.5$ )



Exponential model ( $C_0 = 0.743$ ;  $C_0 + C = 3.019$ ;  $A_1 = 991.00$ ;  
 $A_2 = 991.00$ ;  $r_2 = 0.591$ ;  $RSS = 26.5$ )

**Abbildung 57:** Anisotrope Semivariogramme (120° und 210°) der bereinigten Erbsenertragswerte D04 1999 (Ag-Leader) mit maximaler Lagdistanz von 484 m (Ertragswerte transformiert)

## 8 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das beschriebene Vorgehen und die resultierenden Ergebnisse werden im Folgenden hinsichtlich der wichtigsten Aussagen im Hinblick auf teilflächenspezifische Düngung eingeordnet und bezüglich der Umsetzung der Ertragspunktmesswerte in Ertragskarten diskutiert.

### 8.1 Bewertung und Einordnung der Ergebnisse

Die beschriebenen Ergebnisse bezüglich der Fehler- und Datenanalyse und der Ertragsdatenbereinigung müssen auf mögliche methodische Fehlerquellen bzw. Einschränkungen bei der Interpretierbarkeit der Untersuchungen beleuchtet werden, um sie richtig deuten zu können. Die Deutung erfolgt vor allem im Hinblick darauf, welche Restfehler in den bereinigten Ertragsdaten zu erwarten sind; außerdem werden Vorgehen und Ergebnisse mit ähnlichen Untersuchungen anderer Autoren verglichen.

#### 8.1.1 Mögliche Fehlerquellen bei den Untersuchungen

Bei der Interpretation der Prüfstandsversuche zur Bestimmung der Fehler bei der Durchsatzmessung (Kap. 6.1) ist der aus zeitlichen Gründen mit  $n = 5$  Versuche/Variante sehr geringe Stichprobenumfang zu berücksichtigen. Die empirisch ermittelten Stichprobenparameter  $\bar{x}$  und  $S$  (der einzelnen protokollierten Messabweichungen) sind Schätzer für den Kalibrierfehler bzw. systematischen Fehler  $\mu$  bzw. die Messungenauigkeit  $\sigma$  bei der jeweiligen Versuchsvariante, die nicht zu ermitteln sind, da jede Versuchsvariante unendlich oft wiederholt werden kann. Die Genauigkeit, mit der die Schätzwerte  $\bar{x}$  und  $s$  diese Parameter schätzen, hängt vom Stichprobenumfang und im Falle des arithmetischen Mittels von der empirisch ermittelten Standardabweichung  $s$  selber ab; diese Genauigkeit wird mit einem Vertrauensintervall angegeben, in dem diese Werte mit einer definierten Wahrscheinlichkeit liegen (vgl. BAHRENBERG, GIESE UND NIPPER [18]). Tabelle 21 zeigt als Beispiel die 95%-Konfidenzintervalle der relativen Kalibrierfehler bzw. systematischen Fehler bei einer Versuchsreihe. Es ist zu erkennen, dass die Intervalle je nach System und Standardabweichung bis zu 9 Prozentpunkte breit sein können. Zwischen den einzelnen Durchsatzstufen überschneiden sich die Intervalle teilweise. Bei einem empirischen arithmetischen Mittel nahe 0 und deutlich größeren Standardabweichungen erstreckt sich das entsprechende Intervall nahezu gleichmäßig um 0, d.h. eine sichere Unterscheidung zwischen einem positiven und negati-

ven mittleren Fehler ist in diesen Fällen nicht möglich. Dies zeigt, dass für eine größere statistische Absicherung der Aussagen über die Prüfstandsergebnisse deutlich größere Versuchsumfänge als die bisher üblichen 5 Versuche pro Variante sinnvoll wären.

**Tabelle 21:** 95%-Vertrauensintervalle der mittleren relativen Abweichungen [%] bei verschiedenen Durchsatzstufen am Prüfstand für Ertragsermittlungssysteme (Weizen, n = 5 Versuche pro Variante, Ausreißer gefiltert: n = 4 Versuche)

Durchsatz- stufe [t/h]		Flow- control	Ag- Leader	RDS- Ceres	JD Greenstar
10	Mittelwert [%]	-6,26	-7,63	-8,58	6,55
	s [%]	1,86	3,59	2,16	2,68
	Standardfehler [%]	0,83	1,60	0,97	1,20
	95%-Konfidenzinterv. von des Mittelwertes [%] bis	-8,57 -3,94	-12,09 -3,17	-11,27 -5,89	3,22 9,88
15	Mittelwert [%]	-2,72	-1,30	-1,29	1,50
	s [%]	2,22	1,10	1,36	0,52
	Standardfehler [%]	0,99	0,49	0,61	0,23
	95%-Konfidenzinterv. von des Mittelwertes [%] bis	-5,48 0,04	-2,67 0,07	-2,98 0,41	0,85 2,15
20	Mittelwert [%]	-0,76	-0,10	-1,88	0,13
	s [%]	0,68	1,07	0,58	2,80
	Standardfehler [%]	0,31	0,48	0,26	1,25
	95%-Konfidenzinterv. von des Mittelwertes [%] bis	-1,61 0,09	-1,44 1,23	-2,60 -1,17	-3,35 3,62
25	Mittelwert [%]	0,45	-0,59	3,73	2,48
	s [%]	1,22	0,44	2,63	0,84
	Standardfehler [%]	0,54	0,20	1,17	0,38
	95%-Konfidenzinterv. von des Mittelwertes [%] bis	-1,06 1,96	-1,13 -0,04	0,46 6,99	1,44 3,52
30	Mittelwert [%]	1,07	1,77	6,26	3,51
	s [%]	0,86	0,31	0,54	0,67
	Standardfehler [%]	0,38	0,16	0,27	0,30
	95%-Konfidenzinterv. von des Mittelwertes [%] bis	0,01 2,14	1,27 2,27	5,39 7,12	2,68 4,34
alle	Mittelwert [%]	-1,64	-1,71	-0,57	2,89
	s [%]	3,02	3,65	5,50	2,81
	Standardfehler [%]	0,60	0,74	1,12	0,56
	95%-Konfidenzinterv. von des Mittelwertes [%] bis	-2,89 -0,40	-3,24 -0,17	-2,89 1,74	1,73 4,05

Trotz der Überschneidungen sind die Einflüsse der Versuchsvarianten als Tendenzen sichtbar. Die Fehler der elektronischen Radlastwaagen spielen bezüglich der Interpretierbarkeit der Ergebnisse eine geringere Rolle, da es sich um systematische, also gerichtete, bei konstanten Randbedingungen mehr oder weniger konstante Fehler handelt. Die Messabweichungen aller

Ertragsermittlungssysteme von den Radlastwaagen werden durch diesen Fehler konstant entweder vergrößert oder verringert; eine Beeinflussung der Unterschiede zwischen den Systemen bzw. Versuchsvarianten oder Einzelversuchen ist damit auszuschließen

Bei der Quantifizierung des Messrauschens durch Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte auf dem Prüfstand mit der jeweils konstant gehaltenen Schieberöffnung am Hänger ist nicht mit Sicherheit zu sagen, ob der Durchsatz im Prüfstand wirklich konstant gehalten werden konnte. Es ist nicht auszuschließen, dass es durch Bewegungen des Hängers aufgrund der ständigen Gewichtsverringering zu einer leichten Oszillation der Schüttmenge pro Zeiteinheit und damit des Kornstroms gekommen ist.

Bei den einzelnen Versuchen dauerte es jeweils einige Sekunden, bis der volle Durchsatz erreicht war (ähnlich der Maschinenbefüllung beim Mähdrescher), und nach Schließung der Schieberöffnung ging der Durchsatz nicht abrupt auf 0 zurück („Maschinenentleerung“). Bei Versuchsdurchgängen kurz vor Entleerung des Kippers ist der Gutsstrom aus dem Hänger außerdem durch den verringerten Druck aus der Ladefläche noch bei voll geöffnetem Schieber zurückgegangen. Die am Anfang und Ende aufgezeichneten Werte konnten aus diesen Gründen nicht in die Berechnung der Kennwerte mit einbezogen werden. Der Zeitraum gültiger Aufzeichnungen musste willkürlich bestimmt werden. Durch ein Referenzsystem, das ständig den aktuellen Gutsstrom aus dem Hänger gemessen hätte, mit dem die Messungen sekundlich hätten verglichen werden können, wären die Unwägbarkeiten vermieden worden. Ein solches war jedoch nicht verfügbar.

Die in den Diagrammen in Kap. 6.1.2.3 sichtbare geringe Deckung der Oszillationen der Durchsatzmessungen bei RDS Ceres und Ag-Leader trotz der sehr geringen Messversätze (die betreffenden Sensoren lagen sehr nahe beieinander an einem Elevator) ist allerdings ein Indiz dafür, dass die Messwertschwankungen keine realen Durchsatzänderungen widerspiegeln.

Die Untersuchungen zur Genauigkeit der eingesetzten DGPS-Systeme mit Hilfe automatisch zielverfolgender Infrarottachymeter brachten keine verwertbaren Ergebnisse im Sinne der Fragestellung. Die Ergebnisse zeigten eindeutig, dass Tachymeter bisher noch nicht quantifizierten Fehlereinflüssen unterliegen. Diese verursachen in bestimmten Positionen des Trackingprismas zur Totalstation einen systematischen Fehler, für den noch ein Korrekturalgorithmus zu finden ist. Darüberhinaus sind Tachymeter wie DGPS-Systeme (vgl. Kap. 3.1.7) von dem systematischen Fehler betroffen, dass die ermittelte Fahrspur bei Neigung eines Fahrzeugs mit einem Trackingprisma hangabwärts von der Mitte der Fahrspur versetzt wird [64]. Dieser Fehler ist nur dann zu korrigieren, wenn die Neigung des Fahrzeugs parallel gemessen wird (sofern die Messfahrten nicht auf einem ebenen Schlag stattfinden). Die

Neigung ist theoretisch aus den vom GPS gemessenen z-Koordinaten zu berechnen, sofern sie mit aufgezeichnet wurden. Jedoch sind diese ebenfalls von diesem systematischen Fehler betroffen.

Bei der Korrektur der mit DGPS bestimmten Koordinaten der Ertragsmesspunkte ergab sich als grundsätzliche Schwierigkeit, dass oft nur isolierte fehlerhafte Positionen identifiziert werden konnten. Sobald mehrere Messungen hintereinander in einer Richtung von der wirklichen Fahrspur abweichen, wurden die betreffenden Positionen nicht als fehlerhaft erkannt und damit nicht eliminiert. Dies wirkte sich auch auf die Zuordnung der Messpunkte zu den Fahrspuren aus; das verwendete Perl-Skript wies somit an einigen Stellen fälschlicherweise einen Wechsel der Fahrtrichtung aus und infolgedessen eine neue Fahrspur.

Bei Erntefahrten mit insgesamt sehr schlechter Ortungsqualität war keine Zuordnung zu den Fahrspuren sinnvoll möglich. Dies wiederum führte bei der Datenanalyse und Korrektur der Ertragswerte dazu, dass stellenweise zu viele oder teilweise falsche Werte als Befüll- und Entleerzeitwerte identifiziert und gelöscht wurden. Dieser Effekt ist besonders bei kleinen Schlägen schwerwiegend. Der verwendete Algorithmus zur Zuordnung zu Fahrspuren ist somit nur ein Behelf für Datenformate, bei denen aufgrund fehlender Attribute keine Zuordnung zu Segmenten im definierten Sinne möglich ist.

Bei der Berechnung der Entfernung zweier aufeinanderfolgender Messpunkte aus den GPS-Koordinaten zur Identifizierung fehlerhafter Positionen wurde der Höhenunterschied zwischen den Punkten nicht berücksichtigt, da keine Angaben vorhanden waren. Korrekt wäre dies nur bei absolut ebenen Schlägen ohne Gefälle gewesen, was in Dürnast nicht der Fall ist. Je nach Höhenunterschied kann die GPS-Entfernung zwischen zwei Punkten daher den definierten Grenzwert überschritten haben, ohne jedoch vom Algorithmus erfasst zu werden.

Eine gute Näherung des Schnittbreitenfehlers ist nur bei Erntefahrten mit insgesamt guter Ortung und sicherer Identifizierung und Korrektur fehlerhafter Positionen möglich; Erntefahrten mit schlechter Ortung sind daher in Tabelle 2 (Anh.) gekennzeichnet. Der verwendete Algorithmus zur Bestimmung der Schnittbreite setzt voraus, dass die verbleibenden Ortungsungenauigkeiten normalverteilt sind. Ein Nachweis einer annähernden Normalverteilung der Ortungsfehler konnte bislang aber nur bei statischen Messungen erbracht werden (Kap. 3.1.7). Die Unterschiedlichkeit der errechneten mittleren Schnittbreiten bei identischen Erntefahrten in Abhängigkeit vom jeweiligen Ertragsermittlungssystem (Beispiel D04 1999), also vom Aufzeichnungsintervall, zeigt ebenfalls, dass der Algorithmus noch zu optimieren ist.

Die Korrektur fehlerhafter Ertragswerte aufgrund zu geringer effektiver Schnittbreite und starker Beschleunigungen war nur ansatzweise möglich. Der Grund hierfür ist, dass eine sehr geringe effektive Schnittbreite und eine starke Beschleunigung an einem Messpunkt aufgrund der Glättung des Kornstromes im Elevator und der verzögerten Ansprache der Durchsatzmessensoren auf Durchsatzveränderungen (Kap. 3.1.6 und 6.1.2) wahrscheinlich mehr als nur einen Messwert verfälschen. Außerdem schwankt mit dem Messversatz auch der Zeitraum bis zum Eintritt der falschen Ertragsmessung.

Da sowohl die Schnittbreite als auch die Geschwindigkeit sich ständig und nicht nur zu einzelnen Zeitpunkten verändern, mussten willkürlich Grenzwerte zur Filterung gewählt werden. Im Falle der Schnittbreite wurde vorausgesetzt, dass ein ermittelter Abstand zur vorher befahrenen Nachbarfahrspur von weniger als einer halben Schneidwerksbreite nicht mehr durch Ortungsungenauigkeiten bedingt ist. Die Definition des Grenzwertes für die Beschleunigung wurde auf Grundlage der statistischen Verteilung der Geschwindigkeitsdifferenzen vorgenommen.

Die Maschinenfüll- und Maschinenentleerphasen sind, wie in Kap. 3.1.6 schon angeführt, nicht konstant, sondern variieren je nach Länge der Druschunterbrechung zuvor bzw. danach. Bei der Entleerzeit ist dies insofern unproblematisch, als die Identifizierung der entsprechenden Werte über den Arbeitsstatus bzw. die Fahrtrichtungsänderung, also über die Nichtzugehörigkeit zu einem Segment bzw. einer Fahrspur im definierten Sinne erfolgt. Bei der Befüllzeit hat dies zur Folge, dass durch Festlegung eines konstanten Zeitintervalls wie im verwendeten Algorithmus eventuell teilweise zuviele, teilweise zu wenige Ertragswerte eliminiert werden. Dadurch wird die Qualität der Ertragsdatenbereinigung etwas beeinträchtigt. Ein weiteres Problem ist, dass die Befüll- und Entleerzeitwerte bei den vorhandenen Ertragsdaten teilweise, aber offensichtlich nicht vollständig schon beim Auslesen in das Textformat gelöscht wurden, was die Identifizierung der verbliebenen Befüll- bzw. Entleerzeitwerte problematisch machte. Die Betrachtung der räumlichen Verteilung der Ertragsmesswerte nach der Bereinigung (Kap. 7.2.2) zeigte allerdings, dass der Großteil der sehr niedrigen Werte an den Fahrspuranfängen und im Vorgewende gelöscht wurde.

Der Messversatz bzw. seine Schwankungen konnten aus den Daten nur genähert werden, da Nullerträge nach Einfahrt in den Bestand nur dann gemessen werden, wenn sich zuvor kein Erntegut mehr im Mährescher befunden hat, was nicht bei allen Segment- bzw. Fahrspurwechseln der Fall ist. Selbst dann ist nicht auszuschließen, dass es aufgrund von Maschinenvibrationen zur Messung sehr niedriger Ertragswerte kommt, obwohl sich noch kein Erntegut im Elevator befindet, wie die Versuche am Prüfstand zeigen (Kap. 6.1.2.3). Wie

hoch ein Ertragswert maximal sein darf, um als verdeckter Nullertrag angesehen zu werden, konnte nur gemutmaßt werden. Die Wahl der Ertragsobergrenze beeinflusst die Ergebnisse maßgeblich.

Zur Bestimmung des durch unrealistische Feuchtwerte bedingten Fehlers bei der Reduktion des Ertrages auf eine Standardfeuchte konnte nur nach rein statistischen Kriterien vorgegangen werden. Die Identifizierung fehlerhafter Feuchtemesswerte erfolgte nach der Verteilung der Werte; dieses Verfahren ist jedoch nur bei immer gleichen Randbedingungen aller Messungen sicher. Ein Feuchtemesswert, der statistisch als Ausreißer erscheint, ist zwar mit höherer Wahrscheinlichkeit als andere Werte fehlerhaft, ein sicherer Nachweis kann hierfür jedoch nicht erbracht werden.

Beim Vergleich der relativen Rastererträge beider parallel eingesetzter Systeme Ag-Leader und Flowcontrol ist zu berücksichtigen, dass die Rastererträge aus schon in unterschiedlicher und nur teilweise bekannter Weise vorverarbeiteten Ertragsmesswerten errechnet wurden. Durch die Grobfilterung bei der Rasterwertberechnung in ARC/INFO konnte nur ansatzweise eine gleichförmige Reduktion der bei der Messung nicht systemspezifischen Befüll- und Entleerzeitwerte erreicht werden (Abb. 58).

Die Korrelation der relativen Rastererträge in diesen Bereichen wird dadurch besonders bei kleinen Rastergrößen artifiziell verringert.

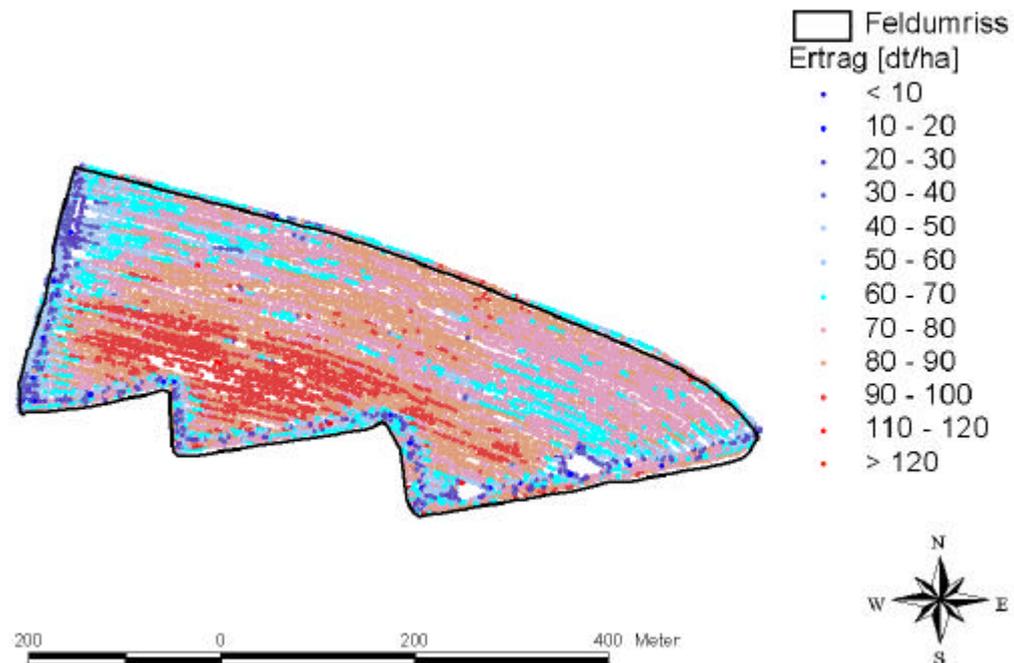
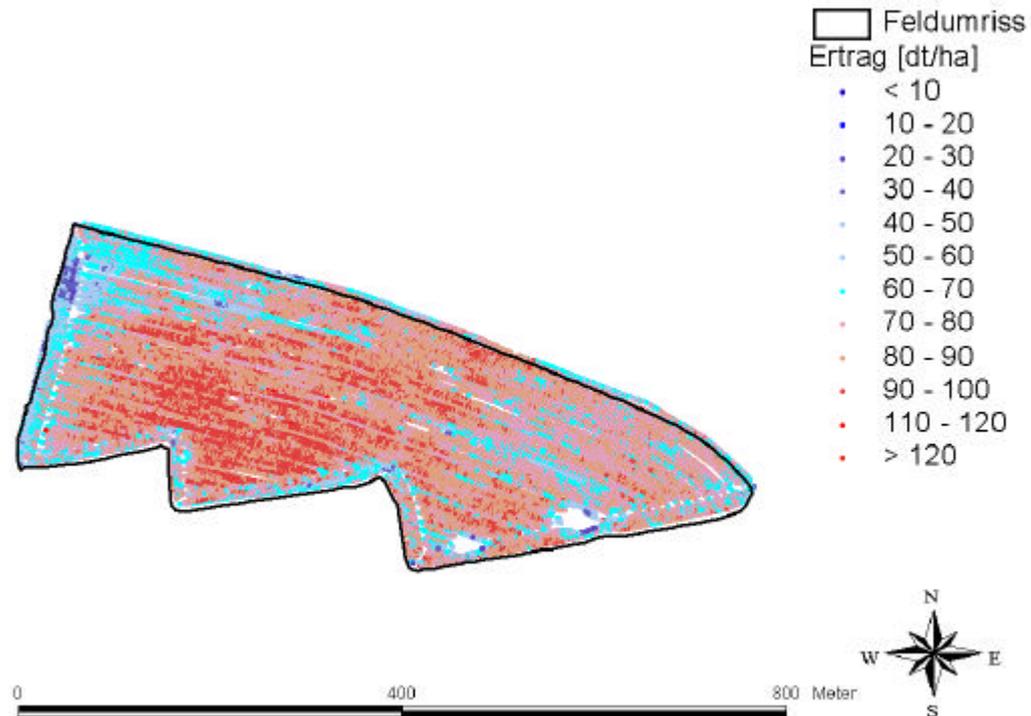
Die Aussagekraft des Vergleiches der relativen Rastererträge bezüglich unterschiedlicher Messqualität der Systeme würde verbessert werden, wenn er auf Grundlage völlig unverarbeiteter Ertragsrohdaten (wie die Ertragsdaten D01 1995) vorgenommen würde.

Bei den geostatistischen Analysen ist zu berücksichtigen, dass die Semivariogramme in den meisten Fällen auf der Grundlage nicht bis nur ansatzweise normalverteilter Werte erstellt wurden, was ihre Aussagekraft verringert. Auch eine Transformation (Quadratwurzel- oder Logarithmisch-Normaltransformation) erbrachte in den meisten Fällen keine Verbesserung.

### 8.1.2 Interpretation und Vergleich mit anderen Untersuchungen

Auch in Anbetracht der o.g. methodischen Fehlerquellen zeigen die Untersuchungsergebnisse einige Interpretationsmöglichkeiten auf.

Die durchgeführten Analysen geben vor allem einen Überblick über die ungefähre Größe der Fehlereinflüsse bei der lokalen Ertragsermittlung und ihre Auswirkung auf die räumlichen Zusammenhänge zwischen den Ertragswerten.



**Abbildung 58:** Vergleich der Ertragsmesswerte D01 1999 nach Ag-Leader (oben) und Flowcontrol (unten) nach Filterung von Ertragswerten < 20 und > 120 dt/ha

Die laufende Durchsatzmessung als ein zentraler Prozess der lokalen Ertragsermittlung ist offensichtlich einer Reihe von Störgrößen unterworfen, die die gemessenen Durchsätze z.T.

erheblich von den aus der jeweiligen Flächenleistung und dem jeweils angetroffenen Ertrag sich theoretisch ergebenden Durchsätzen abweichen lassen. Dies ist auch durch sorgfältige Kalibrierung vor Beginn des Mähdrusches nur beschränkt aufzufangen und wirkt sich nach dem in Kap. 3.1.4 Gesagten in zu hohen oder zu niedrigen Ertragsmesswerten aus.

Zum einen kommt es bei Neigungen zu einer tendenziellen Über- bzw. Unterschätzung des Ertrages; unabhängig davon zeigen Ertragsermittlungssysteme bei hypothetisch konstantem Ertrag und konstanter Fahrgeschwindigkeit hochfrequente Schwankungen des gemessenen Durchsatzes und damit des ermittelten Ertrages. Schon aus diesem Grunde sind die Ertragsrohmesswerte als solches ohne Interpolation bzw. Aggregation als Informationsträger für Handlungsentscheidungen nicht geeignet. Auf der anderen Seite reagieren viele Systeme offenbar nur unvollständig auf abrupte Veränderungen der pro Zeiteinheit anfallenden Kornmenge und damit bei der Ernte auf Ertrags- bzw. Geschwindigkeitsschwankungen. Es erscheint nicht als sehr wahrscheinlich, dass dies eine Folge der von PRINGLE ET AL [57] und anderen Autoren beschriebenen Kornstromglättung in der Maschine (Kap. 3.1.6) ist, da der Weg des Kornmaterials durch den Prüfstand, an dem diese Beobachtungen gemacht wurden, nicht mit dem durch den Mähdrescher zu vergleichen ist. Beide Faktoren (verzögerte Systemansprache auf Durchsatzänderungen und Kornflussglättung im Mähdrescher) sind damit als Ursache für die in den Kap. 1 und 2.1 genannte starke artifizielle Autokorrelation der Ertragsmesswerte in der Hauptfahrtrichtung anzusehen. Beim radiometrischen System Flowcontrol als Sonderfall bewirkt eine interne Glättung der Werte nach einem nicht offengelegten Algorithmus zwar einerseits eine Verminderung des Messrauschens. Gleichzeitig werden aber tatsächlich im Feld auftretende Ertragsunterschiede bei der Messung zusätzlich verwischt, vor allem in Fahrtrichtung.

Die Analyse der genäherten effektiven Schnittbreiten zeigte, dass die mittlere effektive Schnittbreite bei der Ernte um bis über 10% von der technischen Schneidwerksbreite abweichen kann; der mittlere gemessene Ertrag einer Erntefahrt wird dadurch um den entsprechenden Betrag gegenüber dem wirklichen Ertragsmittel verringert. Diese Ergebnisse liegen zwischen den von AUERNHAMMER ET AL [13] und STAFFORD ET AL [68] ermittelten Werten. Die zwar deutliche, aber nicht starke Korrelation zur Schlaggröße zeigt, dass auch andere Einflüsse wie Fahrerverhalten, Bodenbeschaffenheit bzw. -zustand etc. sich auf die effektive Schnittbreite auswirken.

In den Füll- und Entleerphasen werden ebenfalls überwiegend zu niedrige Ertragswerte gemessen, die bei nicht vorverarbeiteten, direkt aufgezeichneten Ertragsdaten eindeutig zu identifizieren sind. Von der Einfahrt in den Bestand bis zum Erreichen stabiler Ertrags-

messungen dauert es ca. 38 s bei den direkt aufgezeichneten Flowcontroldaten und ca. 32 s bei den direkt aufgezeichneten Ag-Leader-Daten. Diese Werte entsprechen den Ergebnissen von NOLAN ET AL. [51], die eine Gesamtzeit von 38 s ermittelten (Kap. 3.1.6). Füll- und Entleerphasen bedingen hier im Mittel für den Gesamtschlag eine Verringerung des Ertrages um mehrere Prozent. Bei den von einer Chipkarte ausgelesenen und intern verarbeiteten Daten ist die Zuordnung weniger eindeutig, besonders bei den Entleerzeiten. Bei den stärker vorverarbeiteten Ag-Leader-Daten ist der Anteil der Füllzeitwerte und damit ihr Einfluss auf den mittleren Ertrag drastisch reduziert. Die Flowcontrol- und Agrocomdaten zeigen einen deutlicheren Einfluss der Füllzeiten, aber einen schwächeren Einfluss der Entleerzeiten im Sinne der Aufzeichnungen außerhalb der Fahrspuren bzw. Segmente.

Das bei den Ag-Leader- und Flowcontroldaten beobachtete Abfallen der Ertragsmesswerte am Ende der definierten Fahrspuren ist möglicherweise durch ein eventuell zu langes Nachlaufen der Aufzeichnung nach Hebung des Schneidwerks zu erklären, wodurch Messwerte in der Entleerzeit mit erfasst und durch den internen Shift beim Auslesen Messpunkten in der jeweils vorangehenden Fahrspur zugeordnet wurden. Dies kann jedoch nur spekulativ bleiben, da die verwendeten Algorithmen nicht im Detail bekannt sind.

Die Analyse der Nullerträge bzw. der Ertragswerte nahe 0 am Beginn der Segmente bei nicht vorverarbeiteten Ertragsdaten zeigt trotz der obengenannten Einschränkungen, dass für Systeme mit einem Ertragssensor im Bereich des Elevatorkopfes der Messversatz sich gut mit 11 bis 13 s schätzen lässt, was den Grundeinstellungen der Auslese- und Analysesoftware zumindest des Ag-Leadersystems entspricht. Der Messversatz ist allerdings offensichtlich nicht konstant, sondern unterliegt modifizierenden Einflüssen. Schwankungen des Messversatzes stellen dergestalt eine Fehlerquelle dar, dass bei einem konstanten Ausgleichsfaktor die Ertragswerte teilweise räumlich falsch zugeordnet werden. So ergäbe sich bei einem Mittelwert von 11 s und einem Variationskoeffizienten von 30% sowie einer Fahrgeschwindigkeit von 2 m/s ein theoretischer Zuordnungsfehler von  $\leq 30/100 * 11 * 2 = 6,6$  m in der Fahrspur vorwärts oder rückwärts in rund 67 % der Fälle (unter der Annahme einer Normalverteilung des tatsächlichen Messversatzes). Bei höherer Geschwindigkeit ist der potentielle Fehler entsprechend größer. Schwankungen des Messversatzes modifizieren nach dem in den Kap. 7.1.3.1 und 7.1.3.4 Gesagten auch die Auswirkungen der Fehlereinflussgrößen Schnittbreite und Fahrgeschwindigkeit.

Die Analyse des Einflusses der Schwankungen der bei den Ernten Scheyern 1992 und D01 1995 gemessenen Geschwindigkeitsmesswerte auf die Ertragsmessung in theoretischen Rechnungen mit einem konstanten gegebenen Ertrag erbrachte folgende Ergebnisse: einerseits

eine starke Streuung der Messwerte um den wirklichen Ertrag und andererseits im Mittel der einzelnen Erntefahrten eine deutliche Überschätzung des Ertrages bis fast 30%. Anscheinend überwiegt der Einfluss der negativen Beschleunigungen auf die Ertragsmessung deutlich; ob dies allein durch den mit 57% aller Werte höheren Anteil der negativen Beschleunigungen erklärt werden kann, ist fraglich. Aus den Modellrechnungen ergab sich eindeutig, dass vor allem die Geschwindigkeitsdifferenz zum um den Messversatz zurückliegenden Zeitpunkt entscheidend ist.

Bei den von einer Datenkarte ausgelesenen Daten lässt sich nicht mit Bestimmtheit sagen, inwieweit wechselnde Geschwindigkeiten wirklich die Genauigkeit der Ertragsmessungen beeinflusst haben, da die verwendeten Algorithmen beim Auslesen der Daten nicht im Detail bekannt sind. Theoretisch könnten nicht die aktuell gemessenen und geshifteten Werte ausgelesen worden sein, sondern es könnten die Ertragswerte als Quotient aus aktuellem Durchsatzmesswert und dem um die Delayzeit vorangehenden (und nicht dem aktuellen) Geschwindigkeitsmesswert berechnet worden sein. In diesem Falle hätten die wechselnden Geschwindigkeiten nur dadurch Einfluss auf die Qualität der Ertragswerte, dass der tatsächliche Messversatz nicht konstant ist.

Verhältnismäßig gering scheint dagegen der Einfluss fehlerhafter Feuchtwerte zu sein. Die errechneten theoretischen Ertragsmessabweichungen für die jeweils gesamte Erntefahrt liegen in allen Fällen zwischen  $-1$  und  $+1\%$ . Wo kontinuierliche online-Feuchtemessung mit einer direkten Umrechnung des gemessenen Feuchtertrages gegeben ist, ist der Ertragsmessfehler anscheinend zu vernachlässigen.

Treten als fehlerhaft identifizierte Feuchtwerte gehäuft in bestimmten Zonen innerhalb eines Schlages auf, wie bei den meisten untersuchten Erntefahrten der Fall (z.B. Abb. 59), handelt es sich wahrscheinlich nicht um technische Messfehler, sondern eher um eine Folge starken Unkrautbesatzes.

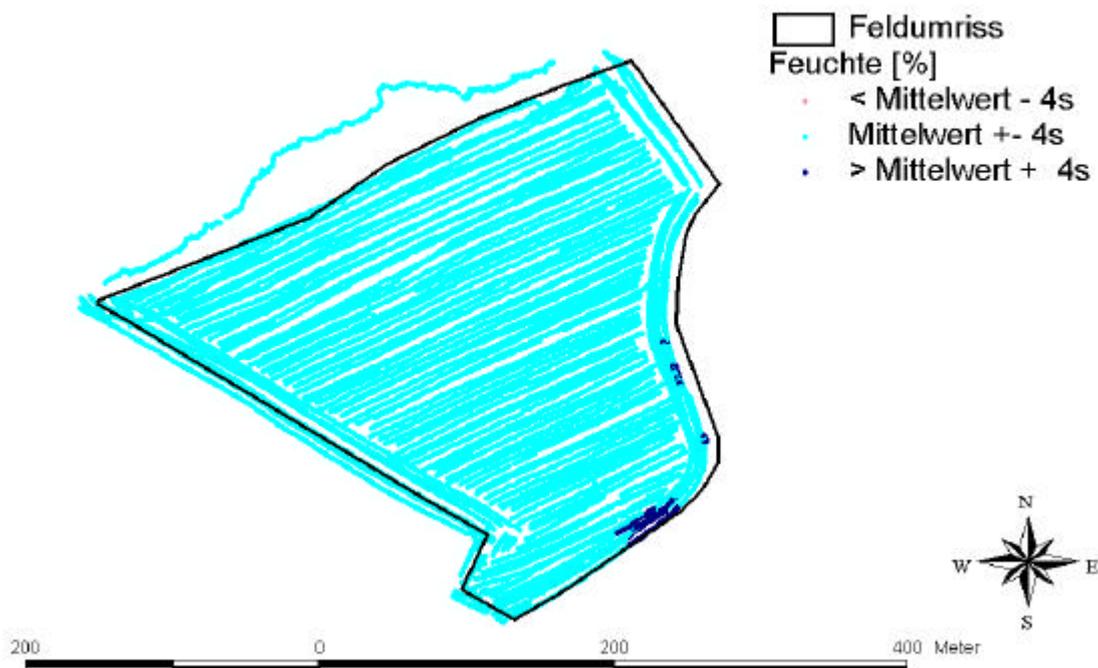
Nicht auszuschließen ist, dass es sich sogar um Zonen mit realer extrem hoher Kornfeuchte handelt, deren Messwerte rein statistisch als Ausreißer erscheinen.

Eine Klärung diesbezüglich ist im Post-Processing nicht möglich. Isolierte extreme Messwerte sprechen dagegen eher für eine schlechte Qualität der Feuchtemessung.

Einen Vergleich der errechneten relativen Fehler durch die Einflussgrößen mit den relativen Abweichungen des mittleren Ertrages vom wirklichen mittleren Ertrag nach der Brückewaage zeigt Tabelle 13 (Anh.). Ein direkte Verrechnung der Fehler mit der relativen Abweichung würde mathematisch keinen Sinn machen, weil die Ertragswerte innerhalb der definierten Befüll- und Entleerzeiten sowie die Werte von Strings mit „falschen“ Feuchte-

messungen auch durch die anderen Einflüsse verfälscht sein können; in Kap. 7.2.2 war gezeigt worden, dass viele Ertragswerte unter mehrere Filterkriterien fallen.

Bis auf die gemessene Kornfeuchte wirken sich die Einflussgrößen bei allen untersuchten Erntefahrten im Mittel in einer Verringerung des gemessenen Ertrages aus.



**Abbildung 59:** Als fehlerhaft identifizierte Feuchtwerte bei der Ernte S04 1996

Allerdings weicht bei einigen Erntefahrten das Mittel der Ertragsmesswerte vom wirklichen Schlagmittel nach oben ab. Dies kann damit erklärt werden, dass der (unbekannte) mittlere Ertragsmessfehler durch Geschwindigkeitsschwankungen möglicherweise auch bei den anderen Erntefahrten außer D01 1995 positiv ist. Hierbei spielt auch die Qualität der Systemkalibrierung zur Zeit der betreffenden Erntefahrten eine Rolle.

Die auf die Systeme Ag-Leader und Flowcontrol unterschiedlich wirkenden Fehlereinflüsse heben sich durch Aggregation auf, und zwar desto mehr, je höher die Aggregationsstufe, also die Rastergröße ist. In den meisten der untersuchten Fälle ist die Übereinstimmung der relativen Rastererträge berechnet aus den Ertragseinzelmesswerten zweier auf unterschiedlichen Messprinzipien beruhender Systeme bei niedrigen Rastergrößen mit  $R < 0,5$  gering und nähert sich mit zunehmender Rastergröße einem Grenzwert nach oben im Bereich von  $0,75 \leq R \leq 0,9$  an. Bei kleiner Rasterung werden die Fehler in den Ertragsdaten offensichtlich nur sehr schwach kompensiert aufgrund der geringen Anzahl der verrechneten Einzelwerte; in

diesem Falle zeigt sich noch die Auswirkung der unterschiedlichen Fehlerbeeinflussung zusammen mit der unterschiedlichen Aufzeichnungsfrequenz und damit den unterschiedlichen Positionen der Messpunkte. Das Gewicht solcher vereinzelter fehlerhafter Ertragswerte, die nur bei einem System innerhalb eines Rasterfeldes auftreten, ist größer als bei größerer Rasterung [50]. Hier könnte auch das durch die interne Glättung künstlich verringerte Messrauschen des Flowcontrolsystems eine große Rolle spielen, wobei dies andererseits möglicherweise durch die größere Wertezahl bei Ag-Leader ausgeglichen wird.

Der meist nicht-lineare Verlauf der Korrelationskoeffizienten ist damit zu erklären, dass die relative Zunahme der Rasterfläche und damit der Anzahl der pro Rasterfeld verrechneten Werte bei gleichen Intervallen mit zunehmender Rastergröße asymptotisch zurückgeht, wie sich leicht beweisen lässt. Ab einer gewissen Rastergröße und damit Anzahl der Einzelwerte pro Raster verändert sich die Verteilung der Fehler in den Werten anscheinend nicht mehr; eine Normalverteilung um 0, d.h. eine gegenseitige Egalisierung zu hoher und zu niedriger Messwerte, kann anscheinend nicht erreicht werden. Somit bleibt der Unterschied zwischen den Systemen oberhalb eines bestimmten Aggregationsniveaus ungefähr konstant. Bei der Ernte S04 2000 mit einer nicht asymptotischen Kurve ist wahrscheinlich ausschlaggebend, dass nicht das gesamte Feld mit dem Großmähdrescher und online-Ertragsermittlung gedroschen wurde, sondern Teilstücke für den Parzellenmähdresch übriggelassen wurden.

NOACK führte entsprechende Analysen mit den Daten der Erntefahrt D01 1999 mit den Rastergrößen 3, 12,5 und 25 m durch [50]. Die ermittelten Korrelationskoeffizienten sind 0,29 bei 3 m, 0,68 bei 12,5 m und 0,87 bei 25 m und entsprechen damit den in Kap. 7.1.4 beschriebenen Werten. Der etwas differenzierende Korrelationskoeffizient beim 25 m-Raster (0,87 gegenüber 0,84 bei den beschriebenen Untersuchungen) kann auf eine unterschiedliche Datenaufbereitung und auf eine andere gewählte Rastermindestgröße (% von quadrierte Kantenlänge) zurückgeführt werden. Welche Rastermindestgröße gewählt wurde, wird von dem Autor nicht angegeben.

Die geostatistischen Analysen zeigen, dass die untersuchten Getreideertragswerte eine deutliche Anisotropie besitzen, die auch andere Autoren bei ihren Untersuchungen feststellten (z.B. EBERT [30]). Auf der einen Seite besteht eine mehr oder weniger starke Autokorrelation, also räumliche Abhängigkeit, der Ertragswerte in der Hauptfahrtrichtung (ausgedrückt durch eine allmähliche und stetige Zunahme der Semivarianz mit der Entfernung zumindest in den unteren Lagdistanzklassen). Diese spiegelt die Kornflussglättung im Mähdrescher und die auf dem Prüfstand ermittelte verzögerte Ansprache der Systeme auf Durchsatz- und damit Ertragsänderungen wider sowie die Maschinenbefüllung. Die im All-

gemeinen größere Autokorrelation in der Hauptfahrtrichtung bei den Flowcontrolwerten gegenüber den Ag-Leader-Werten derselben Erntefahrten kann als Resultat der internen Glättung der Ertragsmesswerte interpretiert werden, wodurch eine zusätzliche „Verschleppung“ der Ertragsmessung in Fahrtrichtung verursacht wird. Auf der anderen Seite zeigen sich in der Richtung quer zur Hauptfahrtrichtung z.T. ausgeprägte Diskontinuitäten (d.h. kleinräumige Schwankungen der empirischen Semivarianzen), und damit eine geringere Abhängigkeit der Ertragsdifferenzen von der Entfernung. Größer quer zur Fahrtrichtung sind die Semivarianzen in der untersten Distanzklasse, also im Bereich bis 4 m, bedingt durch fehlerhafte Füll- und Entleerzeitwerte und das Messrauschen. Das Gleiche gilt auch bei den Flowcontroldaten gegenüber den Ag-Leader-Daten, da die Füll- und Entleerzeitwerte bei den ersteren noch in stärkerem Maße vorhanden sind; dies zeigt wiederum, dass das Messrauschen, das bei den Flowcontrolertragswerten geringer ist, einen geringeren Einfluss auf die kleinräumige Semivarianz hat.

Bei den Agrocom-Ertragsdaten ist die Autokorrelation in Hauptfahrtrichtung offensichtlich eher schwächer ausgeprägt als quer dazu, wofür sich keine Erklärung anbietet außer einem anderen Verhalten des Kornstroms im Mähdrescher bei der Körnermaisernte. Dies kann jedoch nur spekulativ bleiben, da hierüber keine Erhebungen vorliegen.

Insgesamt geben die Semivariogramme im wesentlichen die räumliche Verteilung der Ertragsmessungen mit allen Fehlereinflüssen einschließlich der Ortung wieder und nicht so sehr die reale Ertragsverteilung im Feld. Somit wird die Festlegung der Parameter für die Kriging-Interpolation zur Ertragskartierung (s. Kap. 3.3.2.2) durch Fehler bei der Ertragsermittlung beeinflusst, was die Erforderlichkeit einer Ertragsdatenbereinigung vor der Kartierung unterstreicht.

Die mit dem beschriebenen Algorithmus durchgeführte Ertragsdatenbereinigung führt statistisch zu einer Verringerung der Streuung der Ertragswerte und vergrößert in den meisten Fällen die Symmetrie der Häufigkeitsverteilungen. Es werden dabei allerdings nicht nur am unteren und oberen Ende der Verteilungen Werte gelöscht, sondern, wenn auch in deutlich geringerem Maße, in den zentralen Ertragsklassen. Die arithmetischen Mittel der gefilterten Ertragswerte differieren bei mehr als der Hälfte der Erntefahrten stärker vom wirklichen Mittelерtrag des Schlages als die unbereinigten, bei den übrigen ist es umgekehrt (Tab. 7, Anh.); möglicherweise wurden an einer Seite der jeweiligen Verteilungen zu viele Werte gelöscht, aber auch der Einfluss der Systemkalibrierung bei der betreffenden Erntefahrt ist zu berücksichtigen. So ist nicht auszuschließen, dass im Einzelfall die Ertragsmessfehler gegenläufig zu einer unzureichenden Systemkalibrierung gewirkt haben.

Tabelle 22 zeigt im Vergleich zu den Ergebnissen des beschriebenen Bereinigungsalgorithmus (hier „modifizierter Expert Filter“ genannt) die Kennwerte von Schlag D01 1995 nach der Anwendung einiger in Kap. 3.2 genannter Filterungsmethoden.

**Tabelle 22:** Test einiger Filterungsmethoden anhand der Ertragswerte D01 1995 (Ag-Leader)

Filterung	n	Min.	Max.	Mittelw.	Standardabw.	Schiefe
Erträge ohne Nullwerte	27292	0,07	200,26	56,52	41,83	-0,47
Erträge $\geq$ MW-3s und $\leq$ MW+3s (Jürschik, Giebel, Wendroth 1999)	27142	0,067	127,2	55,95	22,38	-1,09
Erträge $\geq$ MW-2s und $\leq$ MW+2s (Jürschik, Giebel, Wendroth 1999)	24990	9,25	103,8	59,90	17,18	-1,27
Erträge $\geq$ MW-1,64s und $\leq$ MW+1,64s (Jürschik, Giebel, Wendroth 1999)	23745	17,76	94,87	62,16	13,86	-1,16
Erträge $\geq$ 0,5*MW und $\leq$ 2*MW und > 31 s nach Fahrspurbeginn (Thylen, Jürschik, Murphy 1997)	21662	28,27	112,49	64,90	11,01	-0,60
Erträge $\geq$ 2/3 und $\leq$ 2*gleitendes Mittel über 10 Perioden und GPS-v >= 10 km/h (Stafford, Lark, Bolam 1998)	24475	0,134	200,26	60,99	19,80	-0,42
modifizierter Expert Filter	10158	11,32	101,64	61,07	15,35	-1,37

Bei der von JÜRSCHIK ET AL [37, 38] vorgeschlagenen Methode wird mit einem zunehmend engeren Filterungsintervall um den Mittelwert der unbereinigten Ertragswerte das arithmetische Mittel der verbleibenden Werte immer größer und entfernt sich zunehmend von dem wirklichen mittleren Ertrag von 74,4 dt/ha. Besonders beim Intervall Mittelwert  $\pm$  1,64 Standardabweichungen deuten die sehr hohe Untergrenze und die deutliche Erhöhung des mittleren Ertrages auf die Eliminierung zu vieler niedriger Werte hin. Die Schiefe der Verteilung nimmt erkennbar ab. Diese Methode macht strenggenommen nur bei einer Normalverteilung der Ertragswerte Sinn, die erst überprüft werden muss und bei den Ag-Leader-Daten D01 1999 ansatzweise gegeben ist (vgl. Abb. 37, Anh.).

Dieses rein statistische Filterungsverfahren lässt zudem die Fehlerquellen bei der lokalen Ertragsermittlung unberücksichtigt. Bei einer möglicherweise gegebenen starken Ertragsvariabilität im Schlag können somit realistische Werte, die vom Schlagmittel stark abweichen, gelöscht werden.

Nach der Eliminierung aller Werte kleiner als 0,5 und größer als 2 mal Mittelwert und aller Werte innerhalb der ersten 31 s innerhalb der einzelnen Fahrspuren, wie von THYLEN ET AL [72] vorgeschlagen, ähneln die Kennwerte stark denen nach Anwendung der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Filterungsmethode. Allerdings erscheint auch das Ertragsminimum als etwas zu hoch.

Die von STAFFORD ET AL. [68] vorgeschlagene Herausfilterung von Werten, die kleiner als  $2/3$  und größer als das Doppelte des jeweiligen gleitenden Mittels (hier über 10 Perioden gewählt) sind, sowie von Werten mit GPS-Geschwindigkeiten  $\geq 10$  km/h lässt das Maximum gegenüber den ungefilterten Daten völlig und das Minimum fast unverändert; dafür werden immerhin die dazwischenliegenden Werte von fast 3000 Messpunkten entfernt. Diese Methode lässt die Fehlereinflüsse bei der Ertragsermittlung vollständig außer acht und setzt voraus, dass immer nur räumlich und zeitlich isolierte Werte fehlerhaft sind. Dies ist jedoch nicht der Fall, wie in Kapitel 7 gezeigt wurde. Das erklärt die geringe Effizienz dieser Methode. Die Verwendung der GPS-Geschwindigkeit als Filterungskriterium beseitigt nur Ortungsfehler und entzieht damit möglicherweise plausible Ertragswerte der weiteren Verarbeitung zu Ertragskarten. Als Methode zur Filterung fehlerhafter Ertragswerte erscheint dieses Verfahren bei der erst seit kurzen gegebenen großen Ortungsgenauigkeit als ungeeignet: eine geringfügige Abweichung von der wirklichen Position kann die errechnete GPS-Geschwindigkeit stark verfälschen, und reale Geschwindigkeiten  $> 10$  km/h werden in der Regel beim Mähdrusch sowieso nicht erreicht [30].

Die in Kapitel 7 beschriebene selbstkonzipierte Bereinigungsverfahren führt im Falle der Ertragsdaten D01 1995 zu realistischen Ertragsunter- und Ertragsobergrenzen, aber auch zu einer Entfernung von über der Hälfte aller Ertragswerte im Falle dieser Erntefahrt.

Räumlich gesehen werden bei den Daten der meisten Erntefahrten vor allem Werte im Vorgebäudebereich und am Anfang der Fahrspuren gelöscht; die Analyse der Anzahl der nach den einzelnen Kriterien gelöschten Messwerte zeigt dementsprechend einen großen Einfluss der Befüllzeit als Filterkriterium. Die Verwendung des Kriteriums Entleerzeit im Sinne von Messpunkten mit einer hohen Fahrtrichtungsänderung berechnet aus den GPS-Koordinaten erweist sich demgegenüber als deutlich weniger sinnvoll. Offensichtlich können Entleerzeitwerte bei vorverarbeiteten Ertragsdaten ohne Angabe über den Arbeitsstatus nicht mit hinreichender Genauigkeit identifiziert werden.

Bei stark vorverarbeiteten Ertragsdaten wie den von der Chipkarte ausgelesenen Ag-Leader-Daten ist sowohl in der Häufigkeitsverteilung als auch in der Punktdatendarstellung kein wesentlicher Effekt der Datenbereinigung zu erkennen.

Die Korrelation der beiden parallel eingesetzten Ertragsermittlungssysteme wird durch die Bereinigung bei allen Rastergrößen deutlich verbessert; dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass bei den Flowcontroldaten die verbliebenen Füllzeitwerte gelöscht wurden.

Die Analyse der Semivariogramme der bereinigten Ertragswerte unterstreicht die Tatsache, dass die Ergebnisse geostatistischer Analysen sehr stark von der Qualität der zugrundeliegenden Ertragsdaten beeinflusst werden. Sowohl die kleinräumigen Varianzen als auch die maximalen Varianzen und die Diskontinuitäten werden durch die Filterung drastisch reduziert. Dies wirkt sich entsprechend auf die Parameter des angepassten Modells für die Kriging-Interpolation (Nugget, Sill) aus. Dem entsprechen ebenfalls die Beobachtungen von EBERT [30] und THYLEN ET AL [72].

### 8.1.3 Geschätzter Restfehler in den bereinigten Ertragsdaten

Ein Kriterium zur Quantifizierung des in den bereinigten Ertragsdaten vorhandenen Restfehlers sind die kleinräumigen empirischen Semivarianzen in den isotropischen Semivariogrammen, also die mittleren halbierten quadratischen Ertragsdifferenzen im Bereich bis 4 m bzw. 5 m (Tab. 23).

**Tabelle 23:** Empirische Semivarianzen und mittlere Ertragsdifferenzen innerhalb der Lagdistanzklasse bis 4 bzw. 5 m (ohne Berücksichtigung des Azimuts)

Schlag	Jahr	System	vor Korrektur		nach Korrektur	
			Semivarianz [(dt/ha) <sup>2</sup> ]	mittl. Ertragsdiff. [dt/ha]	Semivarianz [(dt/ha) <sup>2</sup> ]	mittl. Ertragsdiff. [dt/ha]
D01	1995	Ag-Leader	326	36,14	35	11,83
D01	1999	Ag-Leader	59	15,30	30	10,95
D01	1999	Flowcontrol	244	31,24	48	13,86
D08	1998	Agrocom	631	50,24	150	24,49

Bei den untersuchten bereinigten Ag-Leader-Daten liegen diese Werte bei 30 bis 35 (dt/ha)<sup>2</sup>, was einer Ertragsdifferenz von 11 bis 12 dt/ha entspricht, bei den Flowcontrolwerten bei rund 50 (dt/ha)<sup>2</sup> (entspricht 14 dt/ha Differenz) und bei den Körnermaisertragsdaten bei 150 (dt/ha)<sup>2</sup> (25 dt/ha). Eine Angabe als prozentuale Abweichung ist hierbei jedoch nicht möglich, da der jeweilige Bezugswert nicht bekannt bzw. variabel ist. Die Wahl des mittleren Ertrages des Schlages als Bezugswert erscheint als unzulässig, da die Semivarianzen aus den Ertragsdifferenzen der einzelnen Punktepaare berechnet wurden. In diesem Falle würde der Messfehler in allen Fällen deutlich über 10% liegen.

Bezüglich der einzelnen Fehlergrößen lassen sich jedoch genauere Angaben bezüglich des Restfehlers machen.

Zum einen wurde das Messrauschen der Durchsatzmessgeräte (Kap. 6.1) von dem Korrekturalgorithmus nicht erfasst; die Streuungen der Durchsatzmesswerte um einen mittleren Durchsatz von rund 20 t/h (Variationskoeffizienten von rund 2% bei Flowcontrol und 4% bei

Ag-Leader) sind auch nach Korrektur als Fehlergrößen höchstwahrscheinlich in den Daten enthalten (mit 67% Wahrscheinlichkeit  $\leq |2|$  bzw.  $|4|$ % Abweichung des gemessenen Ertrages an einem Messpunkt vom realen Ertrag). Der systematische Fehler bedingt durch Neigung des Erntefahrzeugs wurde ebenfalls nicht korrigiert, da keine Angaben über die Neigung verfügbar waren. Bei einer maximalen Neigung in Dürnast von geschätzt  $5^\circ$  entspräche dies einem maximalen Fehler von 1% bei Flowcontrol und bis zu 10% bei Ag-Leader an den entsprechenden Messpunkten.

Der durch wechselnde Geschwindigkeiten resultierende Ertragsmessfehler wurde bei den Ertragsdaten außer D01 1995 wegen fehlender Messwerte nicht korrigiert. Werden die Streuungen der errechneten Einzelabweichungen vom wirklichen Ertrag auf die übrigen Dürnast-ertragsdaten extrapoliert, und unter der Voraussetzung, dass die größten Abweichungen ( $> 100\%$ ) durch die Filterung nach Relativertrag entfernt wurden, so ist immer noch mit Standardabweichungen der Einzelabweichungen von bis zu 10% zu rechnen. Die Abweichungen vom wirklichen Ertrag bedingt durch schwankende Fahrgeschwindigkeit liegen an den einzelnen Messpunkten somit mit 67% Wahrscheinlichkeit zwischen -10 und 10%.

Die durch zu geringe Schnittbreite bedingte maximale Ertragsunterschätzung dürfte auch nach Korrektur bei 5 – 10% an den einzelnen Messpunkten liegen.

Die Schwankungen des Messversatzes werden von dem beschriebenen Algorithmus ebenfalls nicht korrigiert. Der dadurch bedingte maximale prozentuale Fehler lässt sich nicht festlegen, weil Delayschwankungen nur zu räumlichen Zuordnungsfehlern von Ertragsmesswerten führen.

Bei den Flowcontroldata ohne Feuchtemesswerte sind wechselnde Kornfeuchten im Schlag eine zusätzliche verbleibende Fehlerquelle, da der Trockenertrag maximal hängerweise aus den in Stichproben ermittelten Feuchtwerten berechnet wurde. Auch der hieraus resultierende verbleibende Ertragsmessfehler lässt sich nur schwer quantifizieren.

Der verbleibende Fehler an den einzelnen Messpunkten in den meisten der gefilterten Datensätze liegt also wahrscheinlich bei maximal  $\pm 10\%$  mit VB = 67% (entspr. 1 s). Eine Addition der genannten Restfehlergrößen wäre unzulässig, weil die Fehlergrößen sich einerseits überlagern und in den meisten Fällen bei den einzelnen Messpunkten wechselndes Vorzeichen haben können.

Fehler, die in eine Richtung wirken, wie eine zu geringe Schnittbreite, können für den Gesamtschlag durch einen Korrekturfaktor ausgeglichen werden; die Schwankungen der effektiven Schnittbreite bleiben dann aber als Fehlergröße genauso wie die ungerichteten Fehler erhalten.

## 8.2 Umsetzung der Ertragspunktdaten in Teilflächeninformationen

Im Folgenden werden die Ergebnisse im Hinblick darauf diskutiert, wie die bereinigten Ertragswerte, die sich auf Messpunkte beziehen, in Flächen überführt werden können. Die Ableitung von Teilschlägen als Flächen (rasterbasierte Polygone oder von Isoertragslinien umgebene Zonen) mit Zugehörigkeit zu bestimmten Ertragsklassen sollte mit zwei Zielen erfolgen: einerseits, dass die in den Ertragsmesswerten verbliebenen Restfehler nicht mehr verfälschend in Erscheinung treten, also durch Aggregation egalisiert werden, und andererseits, dass die wirkliche räumliche Ertragsvariabilität im Schlag wiedergegeben wird. Bei Letzterem ist auch von Bedeutung, ob die ausgegliederten Teilflächen relevant für Applikationsmaßnahmen sind, d.h. ob die Anpassung der Ausbringung z.B. von Dünger an die Teilflächen einerseits technisch praktikabel und andererseits in ökonomischer bzw. ökologischer Hinsicht rentabel ist.

### 8.2.1 Rastergrößen und Interpolationsreichweiten

Bei Darstellungen der Ertragsvariabilität in Form rasterbasierter Polygone (Kap. 3.3.1 und 3.3.2) werden die abgegrenzten Teilflächen maßgeblich von der Größe der Rasterfelder bestimmt. Die Rastergröße sollte mindestens so hoch sein, dass einerseits die den Rasterfeldern zugeordneten Ertragswerte nicht durch verbleibende Fehler in den zugrundeliegenden Ertragsmesswerten verfälscht werden. Andererseits sollten keine Messwerte durch schlechte Ortung einem falschen Rasterfeld zugeordnet werden. In Kap. 7.1.4 wurde gezeigt, dass oberhalb von Rastergrößen von 40 m die gegenseitige Egalisierung zu hoher und zu niedriger Einzelmesswerte nicht mehr weiter zunimmt. Ein höheres Aggregationsniveau ist bei nach Unter- und Obergrenze gefilterten Ertragsdaten offensichtlich nicht erforderlich. Bei den nach dem beschriebenen Algorithmus bereinigten Daten scheint die Grenze nach oben dagegen bei 25 m Auflösung zu liegen. Eine höhere Aggregation würde möglicherweise tatsächliche Ertragsunterschiede verwischen, ohne gleichzeitig die statistische Sicherheit zu erhöhen. Die Mindest rastergröße ist dagegen schwerer festzulegen, dürfte aber bei den bereinigten Ertragswerten bei 15 m anzusetzen sein. Nach GRIEPENTROG [34] liegt die maximale Flächenauflösung von Ertragskarten bei einem Gesamtfehler von unter 10%, wie den bereinigten Daten der vorliegenden Untersuchungen, dagegen bei 20 m Rastergröße. Eine Auflösung von unter 10 m erscheint auf keinen Fall als vertretbar.

Abbildung 69 (Anh.) zeigt rasterbasierte Relativertragskarten der Erntefahrt D01 1999 auf Grundlage eines 25 bzw. 12 m-Rasters und den unbereinigten und den bereinigten Ertrags-

werten beider Systeme. Bei den Ag-Leader-Daten macht sich im 25 m-Raster die Datenbereinigung nur an wenigen Stellen bemerkbar. Die Zone eines relativen Niedrigertrages  $< 85\%$  in der Nordwestecke des Schlages und die Zone eines Hohertrages über dem Mittelwert im Schlagzentrum sind unverändert. Um die letztgenannte Zone legt sich eine Zone eines mittleren Ertrages, die von kleineren Niedrigertragspolygonen unterbrochen wird. Bei einer 12 m-Rasterung ist die Differenzierung zwischen den grobgefilterten und den bereinigten Daten schon stärker. Es deutet sich beim 12 m-Raster im Kern der Hohertragszone eine Höchstertragszone über  $115\%$  Relativertrag an. Im Südostteil des Schlages ist eine streifenförmige Struktur mit einem relativen Niedrigertrag zu erkennen, die auch durch die Bereinigung nicht entfernt wurde.

Für die mit den Flowcontroldaten erstellten Ertragskarten gilt ähnliches, allerdings ist der Effekt der Bereinigung schon bei der 25 m-Rasterung stärker zu erkennen. Die Höchstertragszone  $> 115\%$  ist bei den Flowcontrolertragskarten wesentlich deutlicher ausgeprägt. Auffallend ist aber die sehr gute Übereinstimmung der Strukturen der Ertragskarten nach beiden Systemen auch noch im 12 m-Raster.

Bei den Relativerträgen ist zu berücksichtigen, dass die Bezugsgröße (100%) das arithmetische Mittel der jeweils analysierten Messwerte ist, bei den einzelnen Karten also unterschiedlich ist.

Bei der Ernte D01 1995 ändern sich die Teilflächen durch die starke Veränderung des Bezugswertes und die Entfernung sehr vieler Messwerte deutlich (Abb. 70, Anh.). Bei der 12 m-Rasterung sind nach der Korrektur keine größeren zusammenhängenden Teilflächen mehr vorhanden, was wahrscheinlich auf die sehr starke Datenausdünnung zurückzuführen ist.

Als Anhaltspunkt für den Suchradius zur Rasterwertberechnung mit der Inverse-Distanz-Methode und dem Kriging kann die mit der Semivarianzanalyse ermittelte Reichweite der räumlichen Korrelation der Ertragswerte dienen (Kap. 3.3.3). Die Rangewerte der von GS+ an die anisotropen Semivariogramme angepassten Modelle bei maximaler Lagdistanz erscheinen hierzu als ungeeignet, da die Modelle bei den vorliegenden Untersuchungen vorhandene Diskontinuitäten überdecken. Untersuchungen von JÜRSCHIK ET AL. [39] zeigen, dass die Rangeparameter von Semivariogrammen mit der gewählten maximalen Lagdistanz zurückgehen. Dies kann bei den vorliegenden Ertragsdaten ebenfalls festgestellt werden. Allerdings liegen z.B. bei den Flowcontrol-Daten von D01 1999 die Rangeparameter immer noch bei rund 150 m. Werden 150 m als Suchradius für die Inverse-Distanz-Interpolation verwendet, zeigen die resultierende Konturen nicht auch nur annähernd die wirkliche Ertragsverteilung im

Schlag (Abb. 71, Anh.). Bei Reduzierung des Suchradius auf 50 m ist die dargestellte Ertragsstruktur vergleichbar mit denen der entsprechenden Rasterpolygonkarten (Abb. 60).

Bei den ungefilterten Daten ist besonders im Vorgewendebereich häufig der ‚Bull’s Eye‘-Effekt zu erkennen. Diese Form der Ertragskartierung ist empfindlicher gegenüber Fehlern bei der Ertragsermittlung als rasterbasierte Polygone.

Die Darstellung der mit Kriging-Interpolation, 10 m Rasterung, 50 m Suchradius und den Parametern des anisotropen Semivariogramms (bei 240 m maximaler Lagdistanz) ermittelten Rastererträge (Abb. 72, Anh.) weist gegenüber der mit Inverse-Distanz erstellten Karte wesentlich größere zusammenhängende Teilflächen aus und zeigt so gut wie keinen Bull’s Eye-Effekt.

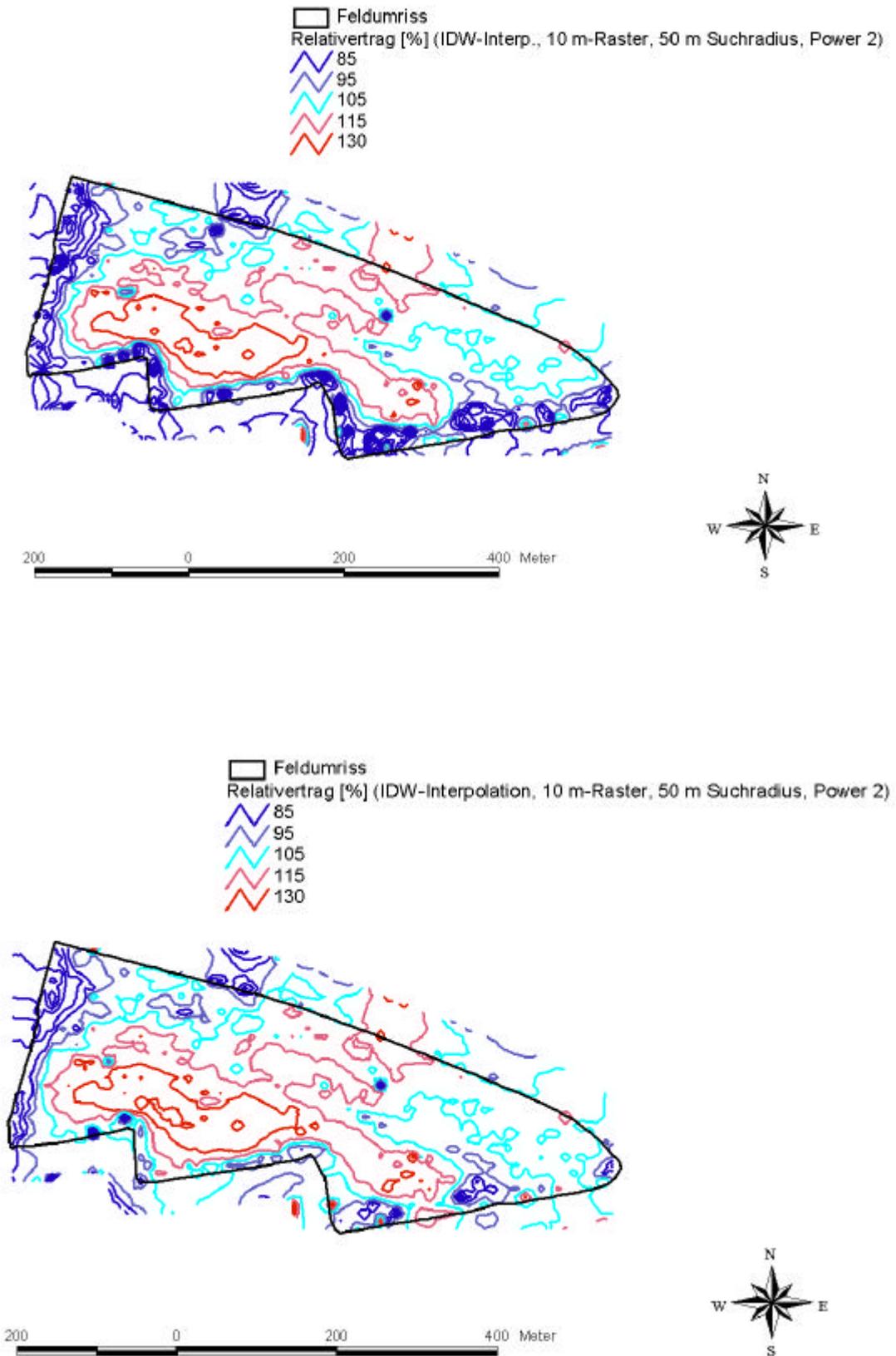
Allerdings existieren beim Kriging wesentlich mehr Manipulationsmöglichkeiten und damit mögliche Fehler.

### 8.2.2 Ertragsklassenanzahl und –breiten

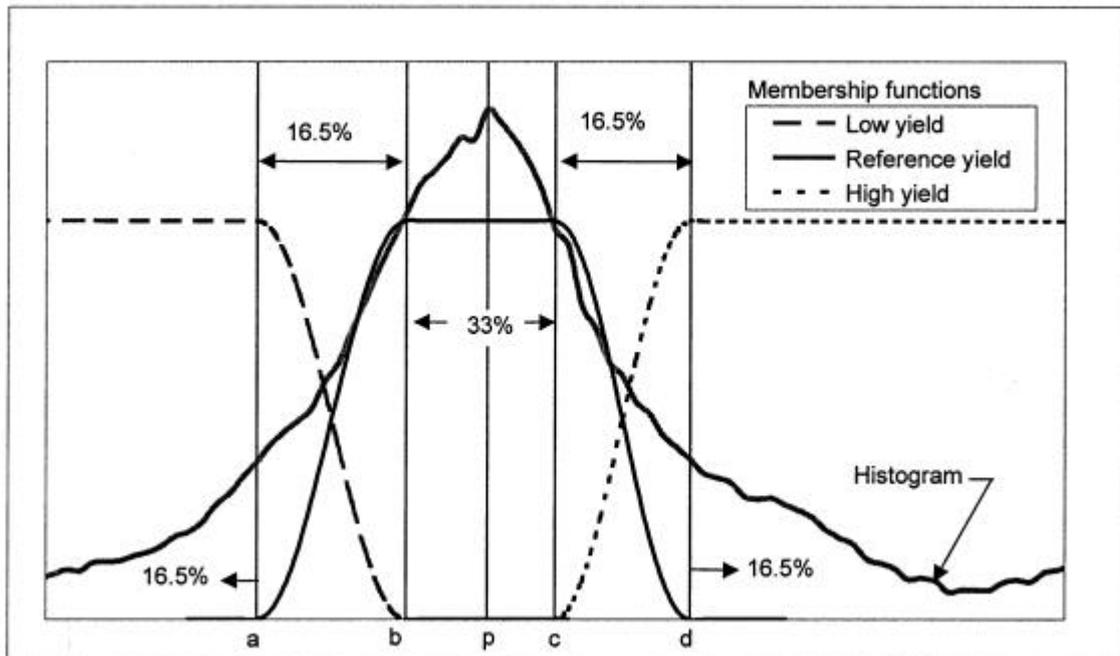
Ein Kriterium zur Festlegung der kleinsten zulässigen Ertragsklassenbreite, die wiederum die Ertragsklassenanzahl bestimmt, ist der in den zugrundeliegenden Ertragsdaten verbliebene Restfehler. Dabei wäre eine denkbare Möglichkeit, den Prozentwert des Restfehlers als unteren Grenzwert für die Ertragsklassenbreite relativ zum jeweiligen Schlagmittel (= 100%) zu wählen. Bei gesetztem 10% Restfehler und einem Ertragsmittel von 70 dt/ha dürften die Ertragsklassen demnach nicht kleiner als 7 dt/ha sein. Geht man davon aus, dass bei Getreide die arithmetischen Ertragsmittel von Erntefahrten in den meisten Fällen je nach Region und Witterung zwischen 50 und 100 dt/ha liegen, müsste dementsprechend die minimale Ertragsklassenbreite zwischen 5 und 10 dt/ha liegen. Bei mehrjährigen (relativen) Ertragskarten wären die Klassenbreiten in % größer als oder gleich dem Restfehler in %.

Rein theoretisch dürfte die minimale Ertragsklasse sogar noch unter diesen Werten liegen, da bei der Ertragskartierung schon aggregierte Ertragswerte und nicht Ertragsmesswerte klassiert werden.

Ein rein statistisches Verfahren zur Klassierung beschreiben PANNETON ET AL. [52]. Bei diesem Verfahren werden die mit Kriging ermittelten Ertragsrasterwerte eines 10 m x 10 m Rasters insgesamt drei Klassen (Niedrig- Mittel- und Hohertrag) zugeordnet. Zur Klasseneinteilung wurden die Quadratkosinusfunktionen für niedrigen Ertrag, hohen Ertrag und Referenzertrag (*reference yield*) aus der Häufigkeitsverteilung der Rasterwerte berechnet (Abb. 61).



**Abbildung 60:** Ertragskonturkarten D01 1999 (Flowcontrol; oben auf Grundlage der ungefilterten, unten auf Grundlage der bereinigten Ertragsdaten)



**Abbildung 61:** Ertragsklassenbildung durch membership-Funktionen (Quelle: PANNETON et al. [52])

Die Funktion für Niedrigertrag erreicht bei Punkt a ihre Asymptote; alle Rasterwerte kleiner a werden als 100% Niedrigertrag ausgewiesen (*low yield membership*  $m_L = 1$ ); es handelt sich dabei um die kleinsten 16,5% aller Werte. Die Hohertragsfunktion erreicht bei Punkt d ihre Asymptote; 16,5% aller Werte sind  $> d$  und haben eine *high yield membership*  $m_H = 1$ .

Die Funktion für den Referenzertrag steigt ausgehend von Punkt a bis Punkt b an, erreicht dort ihre Asymptote und fällt ab Punkt c wieder ab, bis sie bei Punkt d wieder die x-Achse schneidet. Die Rasterwerte zwischen Punkt b und c haben die *reference yield membership*  $m_R = 1$  und machen 33% der Verteilung aus. Die Werte zwischen a und b bzw. c und d sind Übergangszonen mit jeweils 16,5% aller Werte und haben  $m_L < 1$  und  $m_R < 1$  bzw.  $m_R < 1$  und  $m_H < 1$ .

Da für die Entwicklung von Düngungsstrategien die mehrjährige Ertragsvariabilität von Bedeutung ist, wurden die Membership-Werte für die einzelnen Rasterpunkte über den Beobachtungszeitraum von drei Jahren gemittelt und die Mittelwerte dann folgendermaßen klassifiziert: wo einer der Membership-Werte größer 0,5 ist und die anderen jeweils kleiner oder gleich 0,5, wurde der entsprechende Rasterpunkt einer der drei Klassen zeitlich stabil mit Niedrigertrag, zeitlich stabil mit mittlerem Ertrag oder zeitlich stabil mit Hohertrag zugeordnet. Wo die Bedingung nicht erfüllt wurde, wurde der Rasterpunkt keiner der drei Ertragsklassen zugeordnet, sondern als zeitlich instabil kategorisiert.

Ein weiteres Kriterium für die Ertragsklassenbildung ist die Frage, ob die Unterschreitung einer bestimmten Klassenbreite bezüglich einer teilflächenspezifischen Düngung in prak-

tischer Hinsicht sinnvoll ist. So beträgt nach Auskunft von Herrn HEGE (Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau) die Streugenauigkeit bei der Kali- und Phosphatdüngung nicht unter 5 kg/ha. Da 10 dt Getreidekörner mit 86% TS im Mittel 8 kg Phosphat und 6 kg Kali entziehen (vgl. LBP [46]), könnte ein Unterschied von 5 dt/ha Ertrag zwischen zwei Zonen im Schlag und damit 4 bzw. 3 kg beim Kali- und Phosphatentzug nicht mehr hundertprozentig durch eine differenzierte Düngergabe ausgeglichen werden.

BACHMAIER [16] entwarf ein Konzept zur Ertragsklassenbildung durch Näherung der unbekannteren Verlustfunktion (Abb. 62). Dieses Konzept beruht auf der Annahme, dass Düngungsmaßnahmen in einer Teilfläche nach dem Mittelwert der betreffenden Ertragsklasse ausgerichtet werden. Somit entsteht für Messpunkte innerhalb einer Teilfläche, an denen der Ertrag vom Klassenmittelwert abweicht, ein Verlust (im Sinne einer nicht optimalen Düngung). Der Verlust ist eine kubische Funktion des Ertrags, der durch eine quadratische Funktion genähert werden kann.

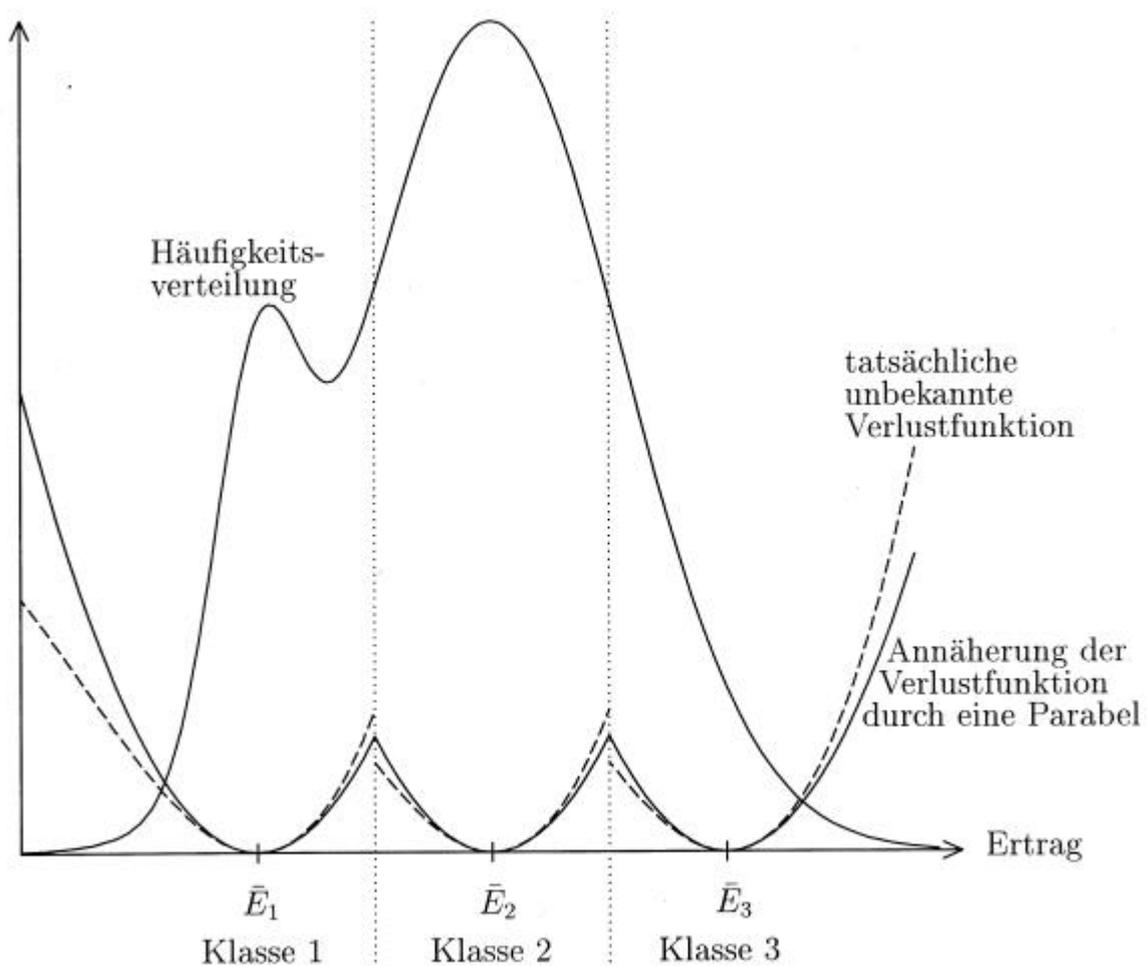


Bild 1: Verlustfunktionen nach Ertragsklassenbildung

**Abbildung 62:** Konzeption der Ertragsklassenbildung anhand von Verlustfunktionen (Quelle: BACHMAIER [16])

BACHMAIER weist nach, dass die Summe der Verluste bei nur einer Klasse, die das gesamte Werteintervall abdeckt, maximal ist und durch eine zunehmende Klassenanzahl mit abnehmender Breite reduziert wird.

Der mittlere Verlust zwischen benachbarten Klassen über die gesamte Verteilung ist abhängig von der Gesamtzahl der Klassen und lässt sich durch zunehmende Klassenanzahl asymptotisch verringern.

Das Optimum liegt da, wo das Verhältnis von Verlusteinsparnis durch Klassenbildung und erhöhtem Bearbeitungsaufwand durch eine größere Zahl ausgegliederter Teilflächen am günstigsten ist. Um die Verlusteinsparnis mit dem erhöhten Aufwand vergleichen zu können, müsste der Verlust bei einer Ertragseinheit Abweichung vom Klassenmittel ökonomisch bewertet werden.

Der Algorithmus von BACHMAIER wurde zwar anhand von Ertragsmesswerten konzipiert, lässt sich aber auch auf Ertragsrasterwerte anwenden.

Eine Einschränkung bei diesem Verfahren ist, dass es nur auf die Ertragsdaten eines Schläges aus einem Jahr anzuwenden ist, also nur für die Erstellung einer einjährigen Ertragskarte geeignet ist. Zwischen einzelnen Jahren, aber auch eingesetzten Messsystemen kann die Häufigkeitsverteilung von Ertragsdaten und damit die resultierende Klassenanzahl durchaus variieren, wie in Kap. 7.1.2 gezeigt wurde.

Als Fazit für die Ertragskartierung bleibt somit festzuhalten: nach einer Fehlerbereinigung, die sämtliche wichtige Fehlerquellen einschließt, ist bei Polygonkarten basierend auf Rastermittelerträgen eine Auflösung von 15 bis 10 m Rastergröße ohne wesentliche Verfälschung der ausgegliederten Teilflächen möglich. Bei der Darstellung von Ertragskonturen erscheint das Kriging-Verfahren als Rasterwertinterpolationsmethode sinnvoller. Wesentlich für die Rasterwertinterpolation mit dem Inverse-Distanz- oder dem Kriging-Verfahren ist die Wahl des Suchradius, der schwer zu definieren ist. Die Ableitung des Suchradius aus dem Range-Parameter der Semivarianzanalysen ist fragwürdig, wenn nicht wie beim Programm GS+ gleichzeitig die Zahl der in die Interpolation eingehenden benachbarten Messwerte (*nearest neighbours*) eingeschränkt werden kann.

Als nach unten begrenzender Faktor für die Ertragsklassenbreite sollte auf jeden Fall die Größe des Restfehlers in den Ertragswerten gesehen werden.

### 8.3 Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit lassen sich unter Berücksichtigung der obengenannten Einschränkungen folgende Rückschlüsse ziehen:

Die Genauigkeit der lokalen Ertragsermittlung und damit die Fehler in unbereinigten georeferenzierten Ertragsdaten liegen, bedingt durch eine Reihe verschiedener Faktoren, im Bereich von bis zu deutlich mehr als 10% Abweichung nach oben oder nach unten vom jeweils wirklichen Ertrag. Bei den Faktoren handelt es sich teilweise um technische und teilweise menschliche (durch den Mährescherfahrer bedingte) Einflüsse, aber auch um natürliche Gegebenheiten (Relief, Bodeneigenschaften, Unkrautbesatz etc.). Die punktuell erhobenen Ertragswerte müssen, sofern sie nicht einer Korrektur unterzogen werden, bei Verwendung einfacher arithmetischer Rastermittelwerte als Kartierungsalgorithmus auf mindestens 20 m Rastergröße aggregiert werden, um die dargestellten Teilflächen nicht zu stark zu verfälschen. Dies geschieht jedoch auf Kosten einer grundsätzlich anzustrebenden realitätsnahen Darstellung mit guter Auflösung. Eine Darstellung der Teilschläge als von Isoertragslinien (Ertragskonturen) umgebene Flächen kommt rein formell den natürlichen Gegebenheiten weit näher. Diese Darstellungsfom erscheint aber nach den vorliegenden Ergebnissen mit unbereinigten Ertragsdaten als Grundlage als nicht empfehlenswert; die hierfür erforderlichen Semivarianzanalysen werden sehr stark von den Fehlern in den zugrundeliegenden Ertragsdaten beeinflusst.

Durch eine systematische Bereinigung der Ertragswerte mit den o.g. Einschränkungen unter Berücksichtigung der maßgeblichen Fehlerquellen können die Fehler in den untersuchten lokalen Ertragsdaten auf maximal rund 10% (Abweichung von der „Realität“) reduziert werden. Für Karten der klassifizierten mittleren Rastererträge kann die Mindest rastergröße nach der Korrektur deutlich verringert werden. Gleichzeitig werden die durch Semivariogrammanalysen ermittelten Parameter für die Kriginginterpolation beträchtlich verändert. Die in mit Kriginginterpolation generierten Konturkarten dargestellten Teilflächen sind somit in hohem Maße eine Funktion der Qualität der zugrundeliegenden Ertragsrohdaten und ihrer eventuellen Nachbearbeitung.

Die Festlegung der Mindestklassenbreite ist schwieriger. Ein wichtiges Kriterium ist zwar auch hier der Restfehler in den zugrundeliegenden Ertragsdaten, aber die Bezugsgröße, nach der die Ertragsklassen aus dem prozentualen Restfehler zu bilden sind, ist nicht eindeutig definiert. Als Anhalt für die Bezugsgröße kann der mittlere Ertrag des Schlags (also bei z.B. 70 dt/ha mindestens 7 dt/ha Klassenbreite) gewählt werden. Dies ist aber insofern nur eine Vereinfachung, als in Bereichen, in denen der Ertrag deutlich über oder unter dem Schlag

mittel liegt, der *absolute* Fehler im Mittel wahrscheinlich höher bzw. niedriger ist. Somit wäre es eventuell sogar sinnvoll, die Ertragsklassen am unteren Ende etwas kleiner, am oberen Ende entsprechend größer zu wählen. Ein Algorithmus hierfür müsste noch gefunden werden. Grundsätzlich ist bei der Klassierung auch zu berücksichtigen, dass schon aggregierte Werte und nicht Punktmesswerte klassiert werden, wodurch die Restfehler zu einem großen Teil schon kompensiert werden. Die Klassenbreiten könnten somit theoretisch gegenüber dem obengesagten noch verringert werden. Bei einer Verringerung ist allerdings auch in Betracht zu ziehen, ob die dadurch ausgegliederten Teilflächen überhaupt in düngungstechnischer Hinsicht unterschiedlich behandelt werden können. Darüber hinaus muss überlegt werden, wo das Verhältnis von Mehraufwand durch Klassenbildung auf der einen zu Mehrertrag durch mehr Flächenanteile mit optimaler Düngung auf der anderen Seite (Ansatz von BACHMAIER) ökonomisch am günstigsten ist. Hier besteht künftig sicher noch Forschungsbedarf.

## 9 Weiterführende Arbeiten

Aus dem in Kap. 8 Gesagten ergeben sich eine Reihe offener Fragestellungen bzw. noch nicht gelöster Probleme, an deren Lösung künftig gearbeitet werden sollte.

Die Quantifizierung der Fehler bei lokalen Ertragsermittlung könnte noch präzisiert werden. So wäre es bei der Ermittlung der Fehler bei der Durchsatzmessung sinnvoll, Reihenuntersuchungen am Prüfstand für Ertragsermittlungssysteme mit einer größeren Anzahl von Versuchen pro Versuchsvariante, z.B.  $n = 30$ , durchzuführen, um die statistische Sicherheit der Aussagen zu erhöhen. Zusätzlich müsste ein Algorithmus entwickelt werden, um die Fehler der Radlastwaage mit einzuberechnen.

Zur besseren Quantifizierung des Messrauschens bei der Durchsatzmessung wäre die Entwicklung eines Referenzmessgerätes, das selber kein Messrauschen aufweist und bei sorgfältiger Kalibrierung immer den wirklichen Durchsatz anzeigt, unumgänglich.

Zur Ermittlung der Fehler bei der Ortung sollten die Untersuchungen mit Infrarot-trackingsystemen als Referenz für DGPS modifiziert werden. Wie bereits in Kap. 7 gesagt, wären denkbare Modifikationen der gleichzeitige Einsatz zweier Tachymeter oder Untersuchungen unter standardisierten Bedingungen. Hilfreich wäre auch die Ermittlung weiterer Fehlergrößen von Tachymetern zusätzlich zu den bekannten (vgl. Kap. 5) und die Entwicklung von Algorithmen zu ihrer nachträglichen Korrektur.

Eine alternative Methode zum Einsatz von Tachymetern wäre, eine GPS-Antenne an einem sich kreisförmig drehenden Roboterarm anzubringen. Für jeden Messzeitpunkt könnte dann die gemessene Position der Antenne relativ zur mit DGPS eingemessenen Drehachse bestimmt und mit der aus dem konstanten Drehradius berechneten Sollposition verglichen werden (Vorschlag von STEMPFHUBER, Geodätisches Institut der TU München).

In Kap. 7 wurde gezeigt, dass die Fehleranalyse und -korrektur bei schon intern vorverarbeiteten Ertragsdaten mit Schwierigkeiten behaftet ist. Die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse sind in Anbetracht der vorhandenen Einschränkungen nur als Näherung zu betrachten. Umfassendere Analysen wären durch Langzeitertragsmessungen mit Aufzeichnung der lokalen Ertragsdaten über eine serielle Schnittstelle auf einen PC möglich; die Anzahl der erfassten Attribute sollte möglichst groß sein und auf jeden Fall folgende Informationen umfassen:

- die Fahrgeschwindigkeit (deren Schwankungen eine sehr wichtige Fehlergröße darstellen, vgl. Kap. 7.1.3.4),
- die aktuelle Schnittbreite (sofern entsprechende Sensoren künftig verfügbar sind),

- die Kornfeuchte,
- die aktuelle Fahrzeugneigung oder die z-Koordinaten des DGPS (zur nachträglichen Errechnung der Neigung) und
- den Arbeitsstatus (Schneidwerk im Bestand oder nicht) zur Zuordnung zu Segmenten (statt zu Fahrspuren wie bei den meisten der untersuchten Erntefahrten) und damit zur besseren nachträglichen Korrektur der Befüll- und Entleerzeitwerte.

Das Vorhandensein dieser Attribute könnte die Fehleranalysen methodisch einfacher und bezüglich der Ergebnisse genauer machen. Vor allem die effektive Schnittbreite lässt sich nur sehr schwer nachträglich errechnen.

Unabhängig von den für die Auswertung zur Verfügung stehenden Attributen sollte der vorgestellte Fehlerkorrekturalgorithmus verbessert werden. Dies sollte auf jeden Fall eine eindeutige Festlegung der Grenzwerte für die Herausfilterung von Ertragswerten einschließen. In diesem Zusammenhang wäre die Definition eines Algorithmus zur Identifizierung von Werten in der Maschinenfüllzeit sinnvoll, da diese variabel ist.

Es wäre ebenfalls wünschenswert, die Algorithmen zur Korrektur von durch zu geringe Schnittbreite und durch Geschwindigkeitsänderungen verfälschten Ertragsmesswerten zu verbessern. Die Eliminierung eines einzelnen Wertes pro Abweichung von der Schneidwerksbreite bzw. pro starker Beschleunigung, wie im beschriebenen Algorithmus behelfsweise realisiert, ist wahrscheinlich nicht ausreichend, den Fehlereinfluss von Schnittbreite und Beschleunigung vollständig zu beseitigen.

Die beschriebenen Algorithmen zur Positions- und Ertragswertkorrektur verursachten teilweise große Datenlücken, da mit Hilfe von SQL in der zur Verfügung stehenden Zeit nur isoliert gelöschte Werte aus den Nachbarwerten linear neu interpoliert werden konnten. Wurden die Werte mehrerer aufeinanderfolgender Messpunkte gelöscht, war keine Neupolierung möglich. Dies könnte ebenfalls künftig verbessert werden, besonders um die Ergebnisse der Kriginginterpolation aus den bereinigten Daten zu verbessern.

Zur Erhöhung der Verlässlichkeit der geostatistischen Analysen der bereinigten Ertragsdaten wäre ein Transformationsalgorithmus hilfreich, der die Verteilung der Werte an eine Normalverteilung annähert.

## 10 Zusammenfassung

Wesentlicher Bestandteil der teilflächenspezifischen Landwirtschaft ist die Feststellung der räumlich variierenden natürlichen Bodengegebenheiten innerhalb eines Schlages durch die Erfassung eventuell vorhandener signifikant verschiedener Flächenerträge. Die lokale Ertragsermittlung als online-Messung von Ertragswerten während der Ernte und die Ertragskartierung als Visualisierung der Verteilung des auf eine Standardfeuchte berechneten Ertrages sind schon seit rund zehn Jahren technisch und methodisch realisiert.

Die Darstellung der Ertragsmesswerte als Punktdaten reicht nicht zur Ausgliederung von Teilflächen aus, da der Prozess der lokalen Ertragsermittlung stark fehlerbehaftet ist. Die Werte müssen daher bei der Kartierung zu Rasterwerten aggregiert (durch Mittelbildung zur Darstellung als Rasterpolygonkarten bzw. durch Interpolation mittels des Inverse-Distanz-Verfahrens oder des Kriging zur Darstellung als Konturkarten) und diese Ertragsklassen im Sinne von Wertebereichen zugeordnet werden. Innerhalb der einzelnen dadurch ausgegliederten Flächen findet keine weitere Differenzierung sowohl in der Darstellung als auch im Endeffekt in der Düngung mehr statt, auch wenn die darin gemessenen Ertragswerte in der Regel variieren.

Proportional zum Grad der Aggregation und zu den Klassenbreiten ist der Grad der Kompensation der Fehler in den zugrundeliegenden Ertragsmesswerten. Die Aggregation und die Klassenbreite bzw. die Lage der Klassengrenzen bestimmen jedoch in starkem Maße die in der Darstellung ausgegliederten Teilflächen. Die Festlegung dieser Parameter ist daher ein wichtiger Schritt, um aussagefähige Ertragskarten generieren zu können. Hierzu muss jedoch die Größe der Fehler bei der lokalen Ertragsermittlung annähernd bekannt sein.

Wichtige Fehler sind Schwankungen des Messversatzes, Fehler bei der Massestrommessung, Fehler bei der online-Feuchtemessung bzw. nicht vorhandene online-Feuchtemessung, Fehler bei der Flächenermittlung durch ungenaue Geschwindigkeitsmessung oder starke Beschleunigungen und durch Abweichungen der effektiven Schnittbreite von der Schneidwerksbreite, Fremdmaterial im Druschgut, das physikalische Kornstromverhalten im Mähdrescher und ungenaue Ortung des Erntefahrzeugs und damit Georeferenzierung der Ertragswerte. Die Größe dieser Fehler war bis dato nur teilweise quantifiziert.

Hauptinhalt der vorliegenden Arbeit war es somit, sowohl durch experimentelle Fehleranalysen als auch durch Analyse mehrjährig auf dem Versuchsgut Dürnast erhobener Ertragsdaten eine umfassende Quantifizierung der Fehler bei der lokalen Ertragsermittlung vorzunehmen; dadurch sollten Aussagen über den erforderlichen Grad der Aggregation dieser Daten getrof-

fen werden.

Die Fehler bei der Durchsatzmessung und der Ortung wurden experimentell mit Hilfe eines Prüfstands für Ertragsmessgeräte im Mährescher bzw. automatisch zielverfolgender Tachymeter untersucht. Die Prüfstandsuntersuchungen ergaben je nach physikalischem Messprinzip der eingesetzten Systeme und Prüfbedingungen systematische Fehler überwiegend im Bereich zwischen  $-10\%$  und  $+10\%$  Abweichung vom Referenzgewicht und ein Messrauschen von meist bis  $5\%$  mit Ausnahme der volumetrischen Durchsatzmessung.

Durch die Referenzmessungen mit Infrarottachymetern konnte die Ortungsgenauigkeit bei bewegten Objekten jedoch nicht sicher festgestellt werden, da die bekannten systematischen Fehler von Tachymetern selbst nicht erfolgreich aus den Daten herausgerechnet werden konnten.

Die Fehlergrößen effektive Schnittbreite, Maschinenbefüllung und -entleerung, Messversatz, Beschleunigung, Geschwindigkeitsmessung und Kornfeuchte wurden anhand der vorhandenen lokalen Ertragsdaten analysiert. Hierzu wurden die Ertragsdaten unabhängig vom Ausgangsdatenformat in eine relationale DB2-Datenbanktabelle überführt. Die statistischen Analysen und Messfehleranalysen erfolgten durch Zugriff auf die Datenbank mit interpretierendem bzw. embedded SQL.

In einem ersten Schritt wurden die GPS-Koordinaten der Messpunkte nach geometrischen Kriterien korrigiert; hierbei wurden als fehlerhaft definierte Koordinaten gelöscht und aus den vorangehenden und nachfolgenden neu interpoliert. Da bei mehreren aufeinanderfolgenden gelöschten Koordinaten keine Interpolation mehr sinnvoll möglich war, ergaben sich bei Erntefahrten mit sehr schlechter Ortung teilweise große Datenlücken.

Die positionskorrigierten Messpunkte wurden anschließend je nach vorhandenen Attributen Fahrspuren (Abschnitten zwischen zwei Wendungen) oder Segmenten (Abschnitten zwischen zwei Unterbrechungen der Erntefahrt) zugeordnet.

Eine statistische Analyse der Ertragswerte zeigt überwiegend leicht schiefe Häufigkeitsverteilungen mit Schweifen am unteren und oberen Ende der jeweiligen Verteilung und damit eine große Spannbreite der Werte; die Schweife deuten schon auf fehlerhafte Werte hin. Bei den analysierten Fehlergrößen zeigen sich vor allem effektive Schnittbreite, Befüllzeiten und Schwankungen der Fahrgeschwindigkeit als Störfaktoren, durch die der Ertrag sowohl an einzelnen Messpunkten aber auch im Schlagmittel mit z.T. deutlich über  $10\%$  vom wirklichen Ertrag abweichen kann. Geringeren Einfluss haben extreme Feuchtwerte durch Messfehler oder durch Fremdmaterial (relativ selten auftretend) und Schwankungen des

Messversatzes; letztere wirken sich nur in der räumlichen Zuordnung aus, aber nicht in der Gesamtbilanz.

Aufgrund dieser Fehlergrößen sind die Einzelertragswerte zweier parallel eingesetzter Messsysteme nicht zu vergleichen; die Korrelationsanalyse der Rasterertragswerte auf der Grundlage beider Systeme zeigt aber, dass mit zunehmendem Aggregationsniveau, also zunehmender Rastergröße, die Vergleichbarkeit asymptotisch besser wird und ab ca. 40 m Kantenlänge ungefähr konstant bleibt.

Geostatistische Analysen ergaben einen deutlichen Einfluss der Fehlergrößen auf die Semivariogrammparameter in Form starker Nuggetvarianzen und starker Anisotropie; die durch die Semivariogramme dargestellten räumlichen Zusammenhänge sind zu einem großen Teil ein Artefakt des Messvorgangs.

Ein auf einer bereits entwickelten Filterungsmethode basierender und auf die vorliegenden Ertragsdatenformate angepasster Korrekturalgorithmus, der mit embedded SQL implementiert wurde, konnte den Einfluss der Fehlergrößen vermindern; sowohl die Korrelation der Rasterwerte beider Messsysteme bei kleineren Rastergrößen wurde verbessert als auch die Semivariogrammparameter, insbesondere die kleinräumigen Varianzen, deutlich verändert. Der Algorithmus weist jedoch noch eine Reihe von Schwächen auf, vor allem teilweise eine nicht unbeträchtliche Datenausdünnung, die in künftigen Arbeiten zu beheben sein werden.

Die Restfehler in den korrigierten Ertragsdaten lassen sich, bezogen auf die einzelnen Messpunkte auf maximal 10% Abweichung von der Realität schätzen. Das Mindestaggregationsniveau dieser Daten ist bei 10 bis 15 m Rastergröße anzusetzen.

Die Reichweiten für Kriging- und Inverse-Distanz-Interpolation lassen sich aus den Rangeparametern der korrigierten Daten dagegen nur sehr ungenau ableiten.

Bezüglich der Ertragsklassenbreite lässt sich aus den Ergebnissen keine endgültige Empfehlung herleiten; als Anhaltspunkt könnte gelten, dass die Ertragsklassenbreiten relativ zum Schlagmittel größer als der prozentuale Restfehler sein, also mindestens 10% betragen sollte. Es scheint allerdings erwägenswert, deutlich unterhalb und oberhalb dieses Wertes die Klassenbreite etwas zu verringern bzw. zu vergrößern. In die Überlegungen zur Gestaltung der Klassenbreite sollten aber sicher auch Aspekte der Praktikabilität (z.B. Ausbringgenauigkeit von Düngegeräten) und ökonomische Aspekte mit eingehen.

## 11 Summary

An essential element of site-specific farming is to ascertain the spatially variable natural soil properties within a field by surveying significantly differing yield in the area if it is given in reality.

Local yield detection defined as the online-measuring of yield values during a harvest and the yield mapping as visualization of the spatial distribution of the yield (based on a standard grain moisture) has been implemented in technical and methodical respect for about ten years. The illustration of the measured yield values in the manner of point data is not sufficient for subdividing a field into partial areas, as the process of yield detection is strongly erroneous. Therefore, for mapping, the values have to be merged to grid values (by means of averaging when illustrating as grid polygons or by interpolation using the inverse distance method or kriging generating contour maps, respectively) and those have to be assigned to yield classes defined as intervals of values. There is no further differentiation within the individual areas arranged thus concerning representation as well as fertilization in consequence, although the values detected in them might vary normally.

The degree of compensation of the errors in the yield values is proportional to the degree of merging and to the yield class widths. However, the merging and the class width and also the position of the class limits will determine intensely the partial areas in the illustration. Therefore, the definition of these parameters is an important action to generate significant yield areas, but the quantity of the errors in local yield detection must be known approximately to be able to do so.

Important errors are the fluctuation of the transportation delay, inaccurate mass flow and moisture detection as well as online moisture detection not being implemented, an invalid determination of the harvested area as result of an inaccurate speed measurement or intense acceleration and the effective cutting width differing too much from the header width, extrinsic ingredients in the treshed material, the physical behaviour of the grain flow in the combine and an erroneous positioning of the harvesting device and thus of the georeferencing of the yield values. The quantity of the errors has been determined only partially so far.

Therefore, the main aspect of this thesis was to perform a comprehensive quantification of the errors in local yield detection by experimental analyses as well as by analysis of yield data acquired in several years on the experimental farm duernast; by that, some statements on the

required degree of merging and on classifying these data should be realised.

The errors in mass flow measuring and in positioning were investigated experimentally using a test stand for combine yield detection systems and automatically tracking tachymeters, respectively. The test stand results show systematic errors mostly in the range of –10 percent to +10 percent deviation from the reference weight depending on the physical principles of measurement and on the test conditions, and a measurement noising of up to 5 percent with exception of the volumetric device.

In contrast the reference measurements using infrared tachymeters did not appear to be appropriate to reveal confidently the accuracy of DGPS mounted on moving vehicles; this was because the known systematic errors of tachymeters in themselves were not removed from the data successfully.

The falsifying factors as effective cutting width, machine emptying and filling, transportation delay, acceleration, speed measurement, and grain moisture were analysed using the available local yield data.

For the latter purpose, the yield data were carried over to a table in a relational DB2-type database. The analysis in respect of statistical parameters and errors was performed by access to the database using interpreting or embedded SQL respectively.

In an initial step the GPS coordinates of the measured points were corrected according to geometrical criteria; coordinates classified as erroneous were eliminated and re-interpolated using the previous and subsequent values. As there was no interpolation possible in a reasonable way with several coordinates eliminated in a sequence, partially enormous data blanks in the table resulted when the quality of positioning was bad in a harvest.

The position corrected measured points were then assigned to tracks (sections between two turns) or segments (sections between two breaks of harvest).

A statistical analysis of the yield values showed mostly slightly skewed frequency distributions having tails on the lower or the upper side resulting in a large range of values; the tails tend to indicate erroneous values.

In respect of the falsifying factors analysed, especially the effective cutting width, filling time and variable harvesting speed show disturbing effects; as a result of those the measured yield can differ distinctly from the real yield by quite more than 10 percent on the individual points and in the field average as well.

A smaller influence is borne by extreme moisture values resulting from inaccurate measuring or from extrinsic material (relatively seldom) and by variations of the delay. The latter only have effects on the spatial assignment, but not on the yield as a whole.

As a result of these factors the individual yield values acquired by the two parallelly applied measuring systems cannot be compared to each other; the correlation analysis of the grid yield values according to the systems, on the other hand, showed that the comparability gets asymptotically better with the merging level i.e. the grid size increasing and is nearly constant in the range of  $(40 * 40)$  m<sup>2</sup> grid size and more.

Geostatistical analyses suggested a distinct influence of the falsifying factors on the semivariogram parameters in terms of an articulate nugget variance and anisotropy as well; the spatial relationships depicted by the variograms are principally to be seen as artefacts of the measuring process.

A correction algorithm based on an already developed filtering method, adjusted to the available yield data formats and implemented using embedded SQL succeeded in diminishing the influence of the error factors. The correlation of the values based on the two systems in smaller grid sizes was improved and the semivariogram parameters, especially the small-scale variances, were distinctly altered. However, the algorithm is still implying a set of faults, for example a partially not inconsiderable data loss, that will have to be remedied in future works. The remaining error in the corrected yield data can be valued not to be exceeding 10 percent deviation from reality, related on the individual measuring points. The minimum level of merging these data can be determined to be 10 to 15 m grid size.

The search radii of the kriging or inverse-distance interpolation, however, can be deduced from the range parameters of the corrected data only very unexactly.

There is no definite recommendation to be made on the yield class width using the results; a possible way could be to constitute the class width relative to the average field yield to exceed the percentual remaining error, that is to say to amount to 10 percent at least. It seems to be worth considering to somewhat decrease or increase respectively the class width in the ranges far away from this value. When designing the yield class width, aspects of practicability (for example the accuracy of fertilizer devices) and economic aspects should be surely also taken into consideration.

**Literaturverzeichnis**

- [1] **Ag Leader™ Technology:** YIELD MONITOR 2000 Operators Manual. Boone IA (USA)/Tri-Tech Communications & Publ. 1998. 93 S.
- [2] **Asensio, P.:** Genauigkeit von DGPS mit verschiedenen Korrekturdatensystemen im statischen und mobilen Einsatz. Diplomarbeit am Institut für Landtechnik, TU München, Freising-Weihenstephan, 1999. 181 S.
- [3] **Auernhammer, H.:** Landtechnische Entwicklungen für eine umwelt- und ertragsorientierte Düngung. Landtechnik 45, 1990. H. 7/8, S. 272-278
- [4] **Auernhammer, H.:** Rechnergestützter Pflanzenbau am Beispiel der umweltorientierten Düngung. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik "Ortung und Navigation landwirtschaftlicher Fahrzeuge" 1992, H. 14, S. 1 – 15. Düsseldorf
- [5] **Auernhammer, H.:** GPS in der umweltfreundlichen Pflanzenproduktion. Elfte Informationsveranstaltung der Bayer. Vermessungsverwaltung 1997. S. 5 – 15. München
- [6] **Auernhammer, H. und M. Demmel:** Lokale Ertragsermittlung beim Mähdrusch. Landtechnik 48, 1993, H.6, S.315-319
- [7] **Auernhammer, H. und M. Demmel:** Teilschlagtechnik nur im Mähdrescher? Sonderdrucke aus: Bayer. Landwirtschaftl. Wochenblatt 183, 1993, H. 26, S. 24
- [8] **Auernhammer, H. und T. Muhr:** Satellitenortung zur Feldaufmaßung. Sonderdrucke aus: Bayer. Landwirtschaftl. Wochenblatt 183, 1993, H. 36, S. 47-48
- [9] **Auernhammer, H., M. Demmel und P.J.M. Pirro:** Yield Measurement on Self Propelled Forage Harvesters. An ASAE Meeting Presentation, Paper No. 95-1757, 1995, Chicago, Illin./USA. 9 pp.
- [10] **Auernhammer, H., M. Demmel, T. Muhr, J. Rottmeier, and K. Wild:** Yield Measurement on combine harvesters. An ASAE Meeting Presentation, Paper No. 93-1506, 1993, Chicago, Illin./USA. 8 pp.
- [11] **Auernhammer, H., M. Demmel, T. Muhr, J. Rottmeier, and K. Wild:** Site Specific Yield Measurement in Combines and Forage Harvesting Machines. AgEng Report N. 94-D-139; 1994, Milano. 8 pp.
- [12] **Auernhammer, H., T. Muhr and M. Demmel:** GPS and DGPS as a Challenge for Environment friendly Agriculture. Sonderdruck aus: EURNAV 94 3<sup>rd</sup> Intern. Conf. on Land Vehicle Navigation, 1994, Dresden, p. 81-91

- [13] **Auernhammer, H., T. Muhr und M. Demmel:** Ortungssysteme für die Landwirtschaft im Vergleich. Langfassung des Vortrags, Landtechnik 1993, Braunschweig, 9 S.
- [14] **Auernhammer, H., T. Muhr und M. Demmel:** Vierjährige Einsatzerfahrungen mit GPS und DGPS. PflKrankh. PflSchutz, Sonderheft, 1994, H: XIV, S. 133-142
- [15] **Auernhammer, H., J. Rottmeier und H. Stanzel:** Elektronikeinsatz in der Landtechnik zur Verringerung des Düngemittelaufwandes und der Umweltbelastung im Futterbau; Endbericht. Forschungsberichte des Bayer. Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, H. 38, 1991. 67 S.
- [16] **Bachmaier, M.:** Ertragsklassenbildung durch Approximation der unbekanntenen Verlustfunktion. unveröffentlichter Aufsatz, Freising-Weihenstephan, 2000. 3 S.
- [17] **Bae, Y.H., S.C. Borgelt, S.W. Searcy, J.K. Schueller and B.A. Stout:** Determination of spatially variable yield maps. Written for resenatation at the 1987 Intern. Winter Meeting of the American Soc. of Agric. Engineers, Paper No. 87-1533, 1987, Chicago, Ill./USA. 17 pp.
- [18] **Bahrenberg, G., E. Giese und J. Nipper:** Statistische Methoden in der Geographie Bd.1. Univariate und bivariate Statistik. 2., neubearb. Aufl. Ch. Borchardt, C. Rathjens und E. Wirth (Hrsg.): Teubner Studienbücher der Geographie. Teubner Verlag, Stuttgart, 1985. 227 S.
- [19] **Bashford, L.L., S. Al-Hamed, M. Schroeder and M. Ismail:** Mapping Corn And Soybean Yield Using A Yield Monitor And GPS. In: P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson (eds.): Site-Specific Management for Agricultural Systems. Proc. 2<sup>nd</sup> Intern. Conf. of ASA, CSSA, SSSA, 1994, Minneapolis, MN/USA, p. 691-708
- [20] **Beck, A.D., J.P. Roades and S.W. Searcy:** Post-Process Filtering Techniques to Improve Yield Map Accuracy. Proc. ASAE/CSAE-SCGR Annual Intern. Meeting, Paper No. 991048, 1999, Toronto, Ontario/Canada. 10 pp.
- [21] **Berner, D., W.H. Grobler und H.D. Kutzbach:** Sensoren zur Messung des Körnerverlustes von Mähdreschern. Grundl. Landtechnik Bd.35 (1985) Nr. 4. S. 127-132
- [22] **Beuche, H. und H.J. Hellebrand:** Beitrag zur Ortung für die teilflächenspezifische Feldbewirtschaftung. Forschungsberichte des ATB H. 5, 1998. 54 S.
- [23] **Beuche, H. und H.J. Hellebrand:** Positionsgenauigkeit und Verfügbarkeit verbessern - Fahrwegberechnung und lineare Regressionsanalyse stützen DGPS. Landtechnik 3, 53. Jahrg., 1998, S. 140-141
- [24] **Birrell, St.J., St.C. Borgelt and K.A. Sudduth:** Crop Yield Mapping: Comparison of Yield Monitors and Mapping Techniques. In: P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson

- (eds.): Site-Specific Management for Agricultural Systems. Proc. 2<sup>nd</sup> Intern. Conf. of ASA, CSSA, SSSA, 1994, Minneapolis, MN/USA, p. 15-31
- [25] **Blackmore, S.:** The interpretation of trends from multiple yield maps. Computers and Electronics in Agriculture H. 26(1), 2001, S. 37-51
- [26] **Blackmore, S. and C.J. Marshall:** Yield Mapping; Errors and Algorithms. In: P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson (eds.): Precision Agriculture. Proc. of the 3<sup>rd</sup> Intern. Conf. on Precision Agriculture 1996, Minneapolis, MN/USA, p. 403-415
- [27] **Blackmore, S. and M. Moore:** Remedial Correction of Yield Map Data. Precision Agriculture. An International Journal on Advances in Precision Agriculture 1 (1999). Kluwer Academic Publishers, Boston, Mass./USA, p. 53-66
- [28] **Demmel, M.:** Ertragsermittlung im Mähdrescher - Ertragsmessgeräte für die lokale Ertragsermittlung. Ergänzte und überarbeitete Neuauflage. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) (Hrsg.): DLG-Merkblatt 303. 19 S.
- [29] **Demmel, M., T. Muhr, J. Rottmeier, P.v. Perger und H. Auernhammer:** Ortung und Ertragsermittlung beim Mähdrusch in den Erntejahren 1990 und 1991. VDI/Landtechnik Weihenstephan/FAM München – Kolloquium Ortung und Navigation landwirtschaftlicher Fahrzeuge, H. 14, 1992, S. 107-122
- [30] **Ebert, C.:** Ertragskartierung in Mecklenburg-Vorpommern. Stand, Probleme sowie Korrektur- und Auswertungsmöglichkeiten von Ertragskarten. Diplomarbeit Univ. Rostock 1999. 98 S.
- [31] **Fichtel, H. und O. Balcharek:** Vergleichende Untersuchungen von Radargeräten zur Geschwindigkeitsmessung an Landmaschinen. Grundl. Landtechnik Bd. 36 (1986), Nr.3, S. 68-73
- [32] **GPS Novatel:** GPS Card(TM) OEM Performance Series - 2100 Series User Manual 1993.
- [33] **Grenzdörffer, G.:** Sieben Jahre Ertragskartierung in Kassow. Auswertemöglichkeiten langjähriger Ertragskartierungen. Beitrag auf dem nationalen Workshop "Gewinnung und Verarbeitung ortsbezogener Ertragsdaten" 26. u. 27.09.2000 in Freising-Weihenstephan, 1 S.
- [34] **Griepentrog, H.-W.:** Fehlerquellen der Ertragsermittlung beim Mähdrusch. Landtechnik 5 (1998), S. 288-289
- [35] **Griepentrog, H.W. und S. Blackmore:** Möglichkeiten zur Fehlerreduktion in Ertragskarten. Beitrag auf dem nationalen Workshop "Gewinnung und Verarbeitung ortsbezogener Ertragsdaten" 26. u. 27.09.2000 in Freising-Weihenstephan, 1 S.

- [36] **Harrison, J.D., S.J. Birrell, K.A. Sudduth and S.C. Borgelt:** Global positioning system applications for site-specific farming research. An ASAE Meeting Presentation, Paper No. 953615, 1992, Nashville, Tenn./USA, 14 pp.
- [37] **Jürschik, P., A. Giebel and O. Wendroth:** Processing Point Data from Combine Harvesters for Precision Farming. In: J. Stafford (ed.): Precision Agriculture '99. Papers presented at the 2nd Europ. Conf.on Prec. Agric. Odense 1999. Sheffield (UK)/Sheffield Academic Press, p. 297-304
- [38] **Jürschik, P., A. Giebel und O. Wendroth:** Verarbeiten von Ertragsdaten aus Mähdreschern. VDI-MEG Tagung Landtechnik, 1998, Garching, VDI-Verlag Düsseldorf, S. 215-221
- [39] **Jürschik, P., O. Wendroth und A. Giebel:** Beziehungen zwischen lokalen Ertragsdaten und Fernerkundungsdaten. Agrartechnische Forschung 4 (1998) H.2, S. 84-102
- [40] **Kastens, D.L., T.L. Kastens and R. K. Taylor:** No Room for Error. Software aims to improve accuracy in yield mapping output. Resource. Engineering and Technology for a Sustainable World Vol.7 (2000) No.2, p. 11-12
- [41] **KEMIRA:** KEMIRA LORIS TM Ver 2.10. Users Guide. 1999. 57 S.
- [42] **Kerry, R. and M.A. Oliver:** Comparing Spatial Structures in Soil Properties and Ancillary Data by using Variograms. In: G. Grenier and S. Blackmore (eds.): 3ECPA. Proc. 3rd European Conf. on Precision Agriculture, 2001, Montpellier, France, p. 413-418
- [43] **Kormann, G.:** Entwurf, Planung, Konstruktion und Test eines Prüfstandes für Ertragsmeßgeräte auf Mähdreschern. Studienarbeit am Institut für Landtechnik, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan, 1997, 112 S.
- [44] **Kormann, G.:** Entwicklung und Test eines Prüfstandes für Ertragsmeßsysteme auf Mähdreschern. VDI-MEG Tagung Landtechnik, 1998, Garching, VDI-Verlag Düsseldorf, S. 275-280
- [45] **Kutzbach, H.D.:** Mähdrescher. Matthies, H.J. und F. Meier (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2001, Bd. 13, Landwirtschaftsverlag Münster, S. 125-132
- [46] **LBP:** Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. 6. überarbeitete Auflage. Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau. Rist Satz & Druck GmbH, Iilmünster, 1997. 64 S.
- [47] **Maier, S.:** Feuchtemessung während des Erntevorgangs. Landtechnik 49/4 (1994), S. 236-237

- [48] **Mansfeld, W.:** Satellitenortung und Navigation. Vieweg-Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, 1998. 345 S.
- [49] **Murphy, D.P., E. Schnug and S. Haneklaus:** Yield Mapping - A Guide to Improved Techniques and Strategies. In: P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson (eds.): Site-Specific Management for Agricultural Systems. Proc. 2<sup>nd</sup> Intern. Conf. of ASA, CSSA, SSSA, 1994, Minneapolis, MN/USA, p. 33-47
- [50] **Noack, P.O., T. Muhr and M. Demmel:** Long Term Studies on Determination and Elimination of errors occurring during the process of georeferenced yield data collection on combine harvesters. In: G. Grenier and S. Blackmore (eds.): 3ECPA. Proc. 3rd European Conf. on Precision Agriculture, 2001, Montpellier, France, p. 833-837
- [51] **Nolan, S.C., G.W. Haverland, T.W. Goddard, M. Green and D.C. Penney:** Building a Yield Map from Geo-referenced Harvest Measurements. In: P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson (eds.): Precision Agriculture. Proc. of the 3<sup>rd</sup> Intern. Conf. on Precision Agriculture 1996, Minneapolis, MN/USA, p. 885-892
- [52] **Panneton, B., M. Brouillard, T. Piekutowski:** Integration of Yield Data from Several Years into a Single Map. In: J. Steffe (ed.): EFITA 2001. Proc. 3<sup>rd</sup> European Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and the Environment, 2001, Montpellier, France
- [53] **Papritz, A.:** Geostatistische Interpolationsmethoden. Beitrag auf dem nationalen Workshop "Gewinnung und Verarbeitung ortsbezogener Ertragsdaten" 26. u. 27.09.2000 in Freising-Weihenstephan, 1 S.
- [54] **pre agro:** Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau Verbundprojekt pre agro. Zwischenbericht 2000. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt. 254 S.
- [55] **Precht, M. und R. Kraft:** Biostatistik 2, 5. Aufl. Oldenbourg-Verlag, Wien, 1993. 457 S.
- [56] **Precht, M., R. Kraft und M. Bachmaier:** Angewandte Statistik 1. Beschreibende und explorative Statistik. 6. , vollst. überarb. Aufl. Oldenbourg-Verlag, München, 1999. 306 S.
- [57] **Pringle, M.J., B.M. Whelan, M.I. Adams, S.E. Cook and G. Riethmuller:** Yield Deconvolution - A Wetted Grain Pulse to Estimate The Grain Flow Transfer Function ? In: P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson (eds.): Precision Agriculture. Proc. of the 4<sup>th</sup> Intern. Conf. on Precision Agriculture, 1998, St. Paul, MN/USA, p. 1177-1184

- [58] **Reitz, P.:** Untersuchungen zur Ertragskartierung während der Getreideernte im Mäh-drescher (Dissertation). Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik iim VDI (VDI-MEG) 1997, Stuttgart. Selbstverlag. 135 S.
- [59] **Reitz, P. and H.D. Kutzbach:** Investigations on a particular yield mapping system for combine harvesters. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 14 (1996), p. 137-150
- [60] **Reitz, P. und H.D. Kutzbach:** Technische Komponenten für die Erstellung von Ertragskarten während der Getreideernte mit dem Mähdrescher. VDI/Landtechnik Weihenstephan/FAM München – Kolloquium Ortung und Navigation landwirtschaftlicher Fahrzeuge H. 14, 1992. S. 91-105
- [61] **Robertson, G.P.:** Geostatistics for the Environmental Sciences. Gamma Design Software, 2000, Plainwell, Michigan/USA. 200 pp.
- [62] **Russell, A.:** Yield Monitor Performance Test Standard. Developed by the ASAE Precision Farming Committee PM-54/01 Workgroup 1999. 5 pp.
- [63] **Schlemmer, H.:** Grundlagen der Sensorik. Eine Instrumentenkunde für Vermessungsingenieure. Wichmann-Verlag, Heidelberg, 1996. 562 S.
- [64] **Schwackenhofer, S.:** Genauigkeitsuntersuchungen und Arbeitszeitanalysen für DGPS-Daten mit Tachymeterreferenz aus der Feldbewirtschaftung. Diplomarbeit am Institut für Landtechnik, TU München, Freising-Weihenstephan, 1998. 90 S.
- [65] **Schwenke, T.:** Experimentelle Untersuchungen von Koppelortungssystemen für GPS auf der Basis von Mikrowellensensoren im landwirtschaftlichen Einsatz (Dissertation). Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik iim VDI (VDI-MEG) 2001, Freising-Weihenstephan. Selbstverlag. 150 S.
- [66] **Schwenke, T. and H. Auernhammer:** A Microwave Sensor System for Improved Positioning of Agricultural Vehicles with GPS. In: Stafford, J.V. (ed.): Precision Agriculture '99. Papers presented at the 2nd Europ. Conf. on Precision Agriculture Odense Congress Centre, Denmark, 1999, Sheffield Academic Press, Sheffield/UK, p. 887-893
- [67] **Searcy, S.W., J.K. Schueller, Y.H. Bae, S.C. Borgelt and B.A. Stout:** Mapping of spatially variable yield during grain combining. Transactions of the ASAE 32/3 (1989), p. 826-829
- [68] **Stafford, J.V., R.M. Lark and H.C. Bolam:** Using Yield Maps to Regionalize Fields into Potential Management Units. In: P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson (eds.):

- Precision Agriculture. Proc. of the 4<sup>th</sup> Intern. Conf. on Precision Agriculture, 1998, St. Paul, MN/USA, p. 225-237
- [69] **Steinmayr, T., H. Auernhammer und M. Demmel:** Sieben Jahre Fahrspuranalyse und Ertragskartierung mit ARC/INFO. ESRI Arc Aktuell Kundeninfo Nr.1, 1998, S. 4-5
- [70] **Stempfhuber, W. K. Schnädelbach und W. Maurer:** Genaue Positionierung von bewegten Objekten mit zielverfolgenden Tachymetern. Ingenieurvermessung 2000, XIII. International Course on Engineering Surveying, München, 2000. 11 S.
- [71] **Thelen, W. und A. Neher:** Weg- und Geschwindigkeitsmessung mittels Ultraschall-Dopplerverschiebung, vorzugsweise für landwirtschaftliche Fahrzeuge. Grundlagen Landtechnik Bd. 35 Nr. 2 (1985), S. 40-42
- [72] **Thylen, L., P. Jürschik and D.P.L. Murphy:** Improving the Quality of yield data. Precision Agriculture 1997.
- [73] **Lans, van der, R.F.:** Das SQL-Lehrbuch. Addison-Wesley Publishing Company, Bonn, München, 1987. 382 S.
- [74] **Webster, R. and M.A. Oliver:** Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey. Spatial Information Systems. Oxford University Press, Oxford, 1990. 316 pp.
- [75] **Wild, K. und H. Auernhammer:** Verfügbarkeit, Kontinuität und Genauigkeit des GPS beim Langzeiteinsatz in der Landwirtschaft. In: Spilke, J., R. Doluschitz und A. Loeper (Hrsg.): Berichte der Ges. f. Informatik in Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft (GIL) Bd. 11. Referate der 19. GIL-Jahrestagung in Halle (Saale), 1998, S. 206-209

Anhang

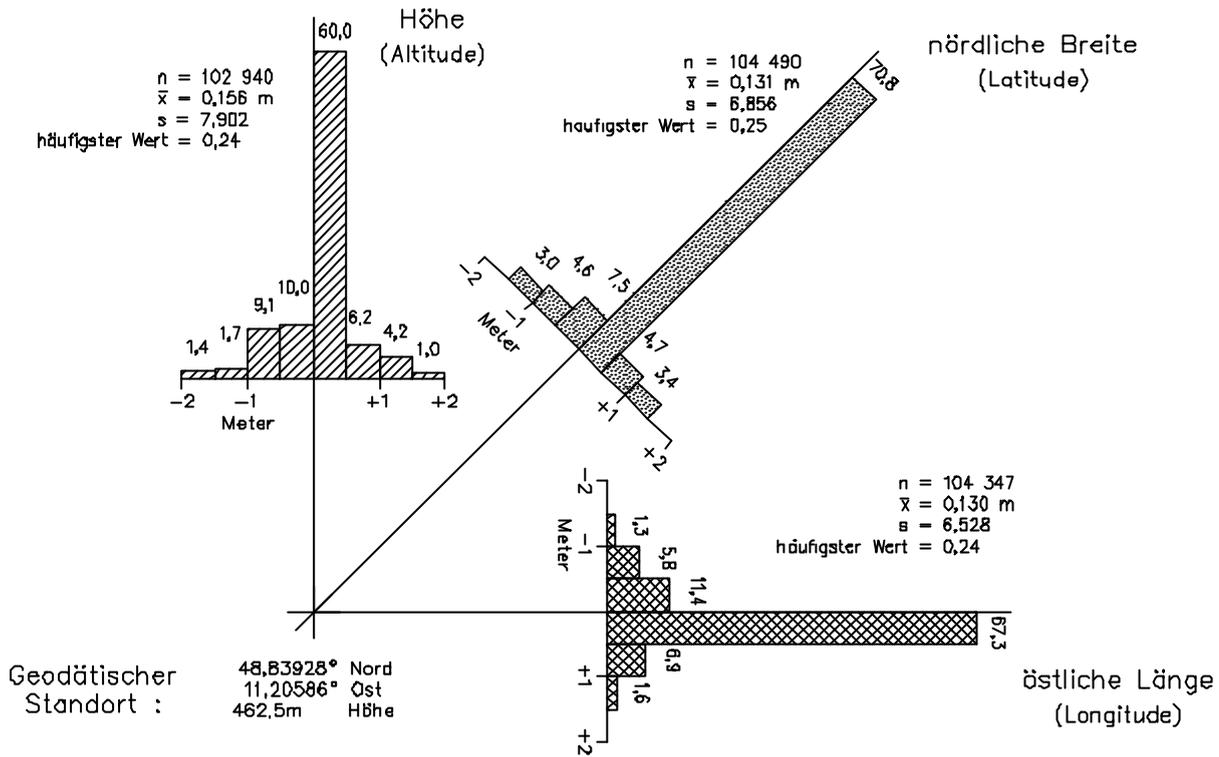


Abbildung 1: Häufigkeitsverteilungen der Positionsfehler bei DGPS (position correction, S/A aus) (Quelle: Landtechnik Weihenstephan)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
\$GPGGA	083717	4824.345	N	1141.998	E	1	7	2.4	499	M	48	M	1	2.784	2	1.884	3	1	4	393.1	5	164	6	0.941	7	37.5	8	12.8	9	1	10	1	11	941000
\$GPGGA	083731	4824.343	N	1141.999	E	1	6	2.6	510	M	48	M	1	2.784	2	1.884	3	0	4	393.1	5	164	6	0.788	7	41.7	8	13.3	9	1	10	1	11	941000
\$GPGGA	083732	4824.343	N	1141.999	E	1	7	2.4	510	M	48	M	1	2.784	2	1.884	3	0	4	393.8	5	164	6	0.667	7	45.2	8	13.4	9	1	10	1	11	941000
\$GPGGA	083734	4824.342	N	1141.999	E	1	7	2.4	511	M	48	M	1	3.191	2	2.161	3	0	4	393.0	5	164	6	0.689	7	42.3	8	13.4	9	1	10	1	11	941000

- 1 : Header für GPS-Logdatenformat
- 2 : GPS-Zeit [hhmmss]
- 3 : geogr. Breite (WGS84-Format) [ddmm.sss]
- 4 : Richtung der geogr. Breite (N/S)
- 5 : geogr. Länge (WGS84-Format) [ddmm.sss]
- 6 : Richtung geogr. Länge (W/E)
- 7 : GPS-Qualität (0 = keine oder ungültige Ortung, 1 = Ortung ohne differentielle Korrektur, 2 = Ortung mit differentielle Korrektur)
- 8 : Anzahl der Satelliten
- 9 : Horizontal Dilution of Precision
- 10 : Höhe der GPS-Antenne über/unter mittlerem Meeresniveau bezogen auf Geoid
- 11 : Einheit der Antennenhöhe (M = Meter)
- 12 : Geoidal Separation (Differenz zwischen WGS84-Ellipsoid und mittlerem Meeresniveau)
- 13 : Einheit der Geoidal Sep. (M = Meter)
- 14 : Kennnummer Ag-Leader-Ausgabeattribut
- 15 : in vorheriger Sekunde überfahrene Strecke [ft]
- 16 : Kennnummer Ag-Leader-Ausgabeattribut
- 17 : Geschwindigkeit über Grund [mph]
- 18 : Kennnummer Ag-Leader-Ausgabeattribut
- 19 : Status der Flächenzählung (0 = Flächenzählung aus, 1 = Flächenzählung ein)
- 20 : Kennnummer Ag-Leader-Ausgabeattribut
- 21 : Elevatorgeschwindigkeit
- 22 : Kennnummer Ag-Leader-Ausgabeattribut
- 23 : Arbeitsbreite [inches]
- 24 : Kennnummer Ag-Leader-Ausgabeattribut
- 25 : feuchter Korndurchsatz [lb/s]
- 26 : Kennnummer Ag-Leader-Ausgabeattribut
- 27 : aktueller Ertrag [bu/ac]
- 28 : Kennnummer Ag-Leader-Ausgabeattribut
- 29 : Kornfeuchte [%]
- 30 : Kennnummer Ag-Leader-Ausgabeattribut
- 31 : Feldnummer
- 32 : Kennnummer Ag-Leader-Ausgabeattribut
- 33 : Korntankladungsnummer
- 34 : Kennnummer Ag-Leader-Ausgabeattribut
- 35 : Seriennummer Monitor

Abbildung 2: Dateiformat der Ag-Leader-Ertragsdaten 1995 (Quellen: GPS NOVATEL [33], AG LEADER™ TECHNOLOGY [1])

1	2	3	4	5	6	7	8
11.694957	48.406109	104.1	15.1	941100	F63:	L1:	Wheat
11.694959	48.406109	112.2	15.1	941100	F63:	L1:	Wheat
11.695005	48.406125	124.2	15.1	941100	F63:	L1:	Wheat
11.695011	48.406127	130.9	15.1	941100	F63:	L1:	Wheat

- 1 : östl. Länge [dd.ddddddd]
- 2 : nördl. Breite [dd.ddddddd]
- 3 : Ertrag [dt/ha] bzw. [bu/ac]
- 4 : Feuchte [%]
- 5 : Seriennummer des Monitors
- 6 : Feldnummer
- 7 : Ladungsnummer
- 8 : Feldfrucht

**Abbildung 3:** Dateiformat der Ag-Leader-Ertragsdaten ab 1996

1	2	3	4	5	6	7	8
N4824.368	E01141.698	00.2	TUE0902	000	000	0	3
N4824.367	E01141.698	00.1	TUE0902	000	000	0	3
N4824.367	E01141.699	01.7	TUE0902	000	000	0	3
N4824.366	E01141.700	03.4	TUE0902	000	000	0	3

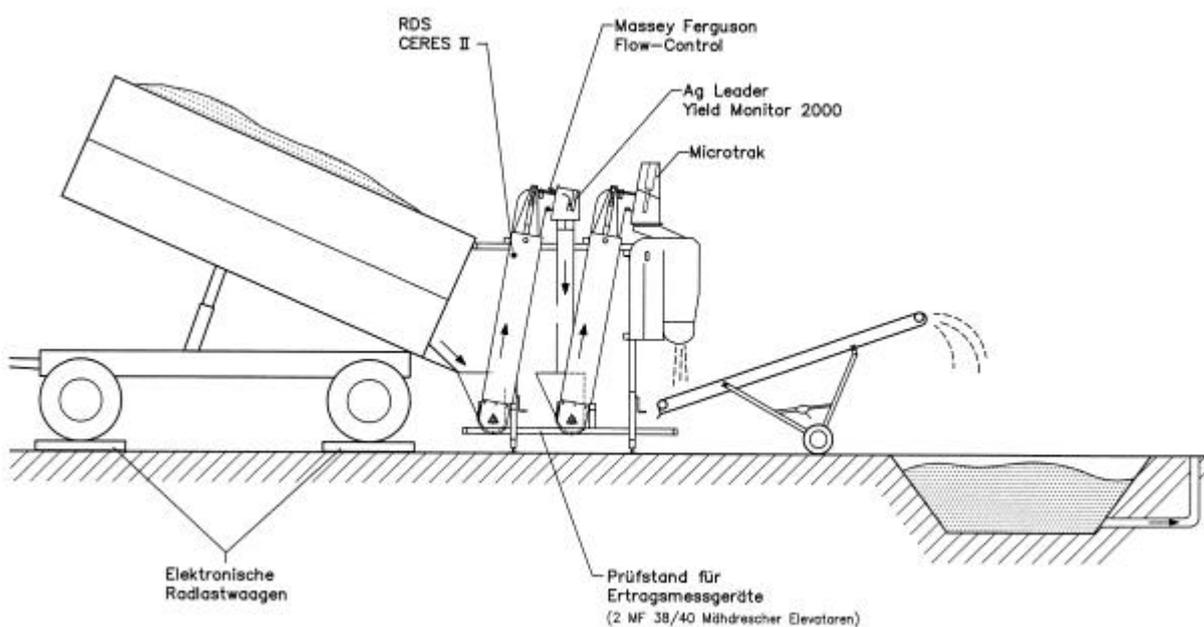
- 1 : geogr. Breite [Richtungddmm.mmm]
- 2 : geogr. Länge [Richtungddmm.mmm]
- 3 : Ertrag [t/ha]
- 4 : WochentagUhrzeit[hhmm]
- 5 :
- 6 :
- 7 :
- 8 :

**Abbildung 4:** Dateiformat der Flowcontrol-Ertragsdaten

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N48.40621	E011.69500	12.2	39520	000	000	1	6	2	04.10.98	46.2
N48.40621	E011.69499	13.8	39525	000	000	1	6	2	04.10.98	46.2
N48.40621	E011.69498	13.6	39530	000	000	1	6	2	04.10.98	46.2
N48.40621	E011.69498	13.1	39535	000	000	1	6	2	04.10.98	46.2

- 1 : geogr. Breite [Richtungdd.ddddd]
- 2 : geogr. Länge [Richtungddd.ddddd]
- 3 : Ertrag [t/ha]
- 4 : Uhrzeit [s]
- 5 : reserviert
- 6 : reserviert
- 7 : reserviert
- 8 : Satellitenanzahl
- 9 : GPS-Qualität (0 = keine Ortung, 1 = Ortung ohne Korrektursignal, 2 = Ortung mit Korrektursignal)
- 10 : Datum
- 11 : Kornfeuchte [%]

**Abbildung 5:** Dateiformat der Claas-Agrocom-Ertragsdaten



**Abbildung 6:** Prüfstand für Ertragsermittlungssysteme in Mähdreschern (Stand Herbst 1998)

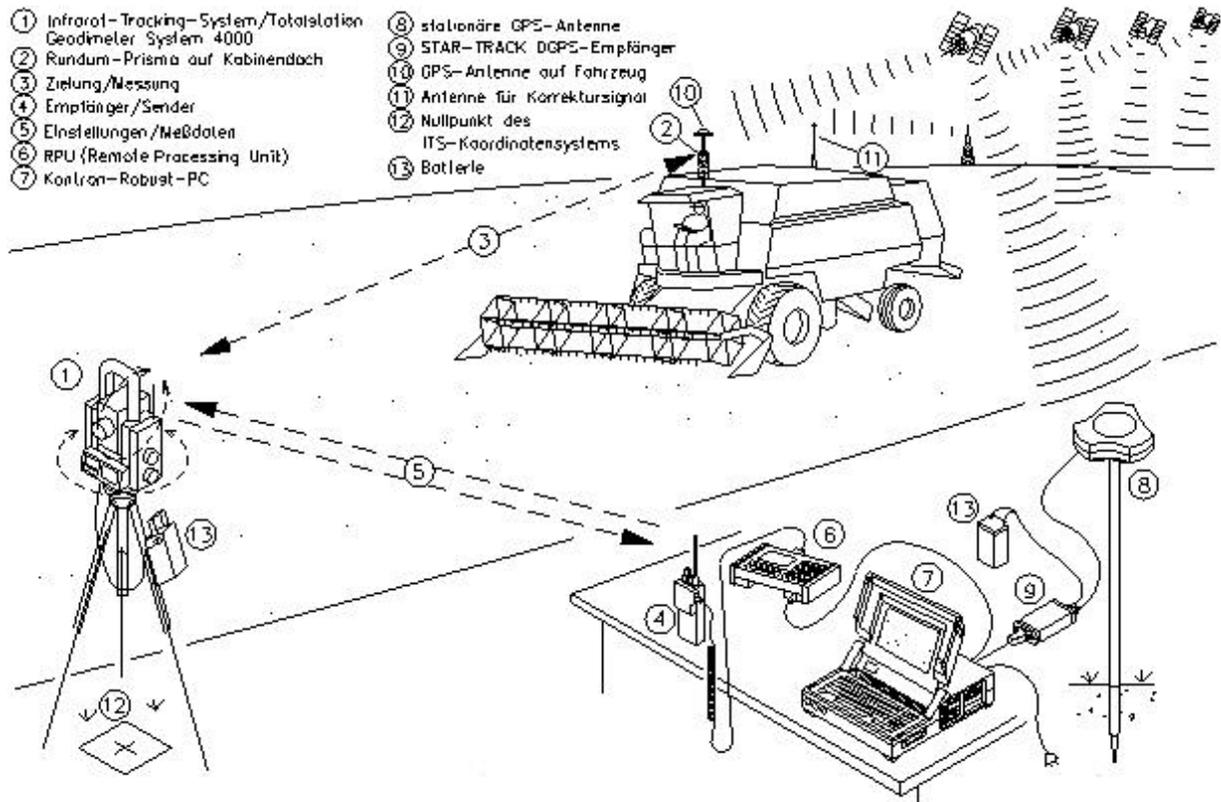


Abbildung 7: Versuchsaufbau der Referenzmessungen mit Infrarottrackingsystemen

	Feldname	Felddatentyp
🚩	COUNTER	Zahl
	SCHLAG	Text
	JAHR	Zahl
	FELDFRUCHT	Text
▶	ERTRAGSERMITTLUNG	Text
	DATUM	Datum/Uhrzeit
	STD	Zahl
	MIN	Zahl
	SEC	Zahl
	SEKUNDEN	Zahl
	GK_RECHTS	Zahl
	GK_HOCH	Zahl
	HOEHENN	Zahl
	GPS_STAT	Zahl
	ANZ_SAT	Zahl
	HDOP	Zahl
	ERTRAG	Zahl
	DURCHSATZ	Zahl
	FEUCHTE	Zahl
	SPEED	Zahl
	KORNTANK_NR	Text
	ARBEIT	Zahl
	SCHNEIDWERK	Zahl
	ERTRAG_KORR	Zahl
	ERTRAG_REL	Zahl
	XKORR	Zahl
	YKORR	Zahl
	DIFF_X	Zahl
	DIFF_Y	Zahl
	DISTANZ	Zahl

	Feldname	Felddatentyp
	DISTANZ2	Zahl
	FAHRTR	Zahl
	DIFF_FAHRTR	Zahl
	DIFF_FAHRTR2	Zahl
	QUADRANT	Zahl
	DIFF_QUER	Zahl
	FAHRSPUR	Zahl
	DIFF_FSP	Zahl
	FAHRSP_NR	Zahl
	LFD_NRVOR	Zahl
	DIFF_SPEED	Zahl
	ABST_NAE_FSP	Zahl
	DIFF_SEK	Zahl
	DIFF_ARBEIT	Zahl

Abbildung 8: Struktur der DB2-Datenbanktabelle

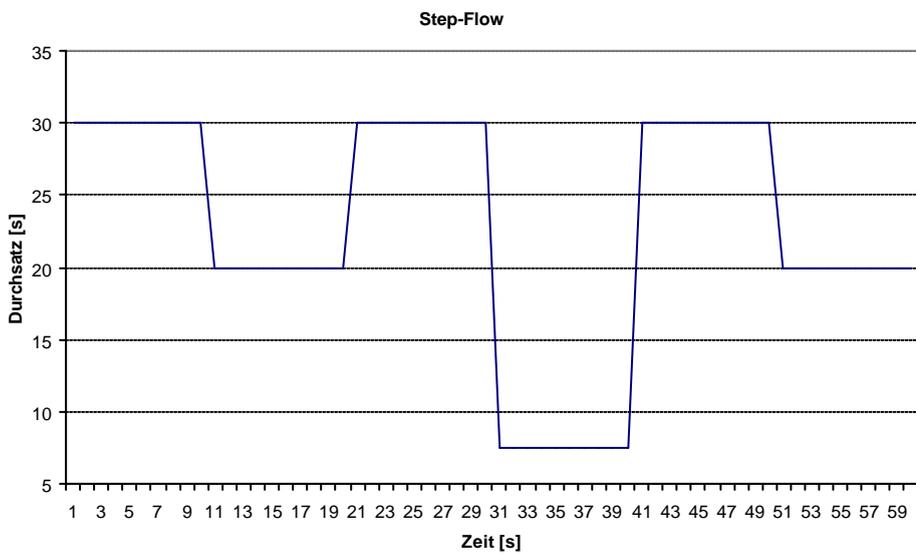
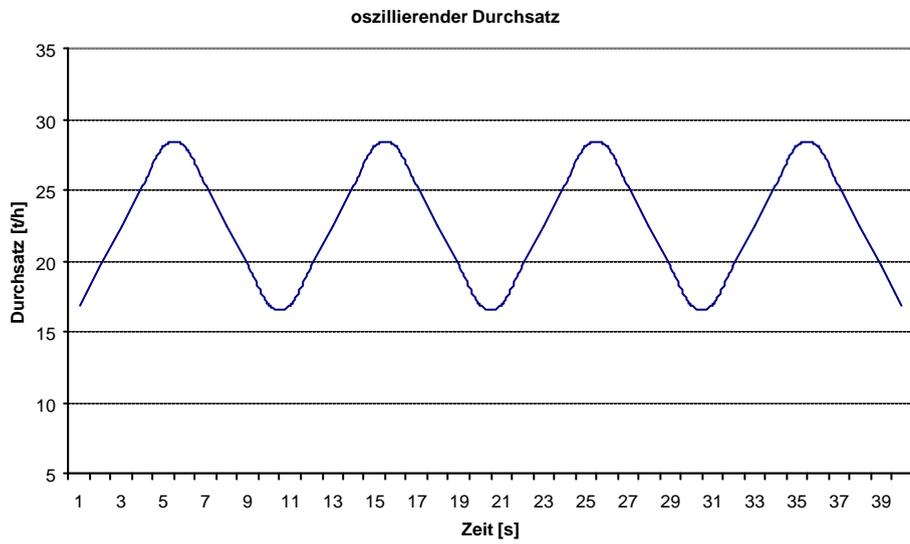
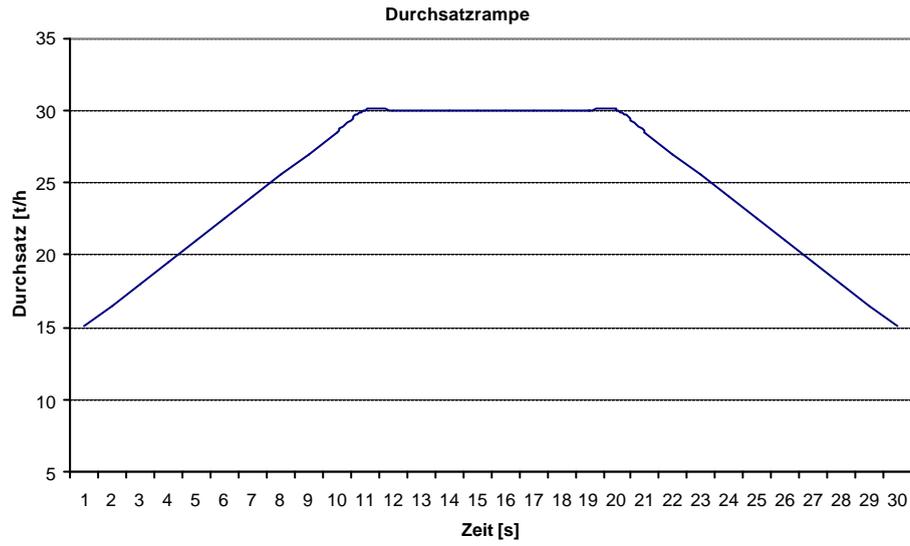
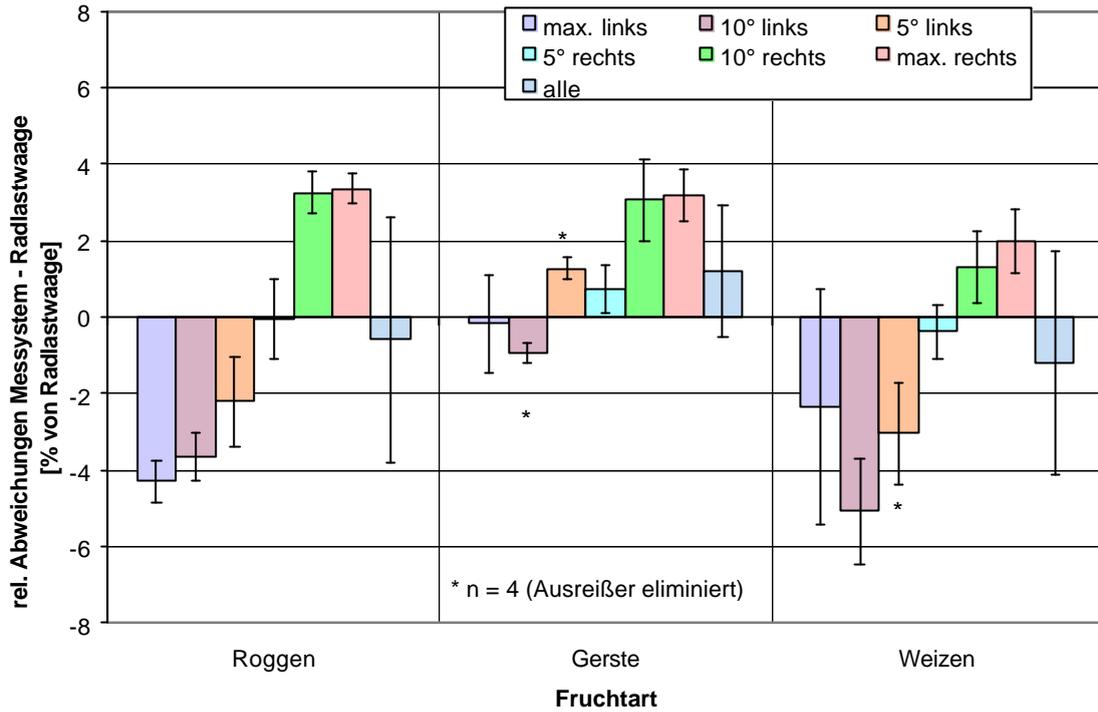
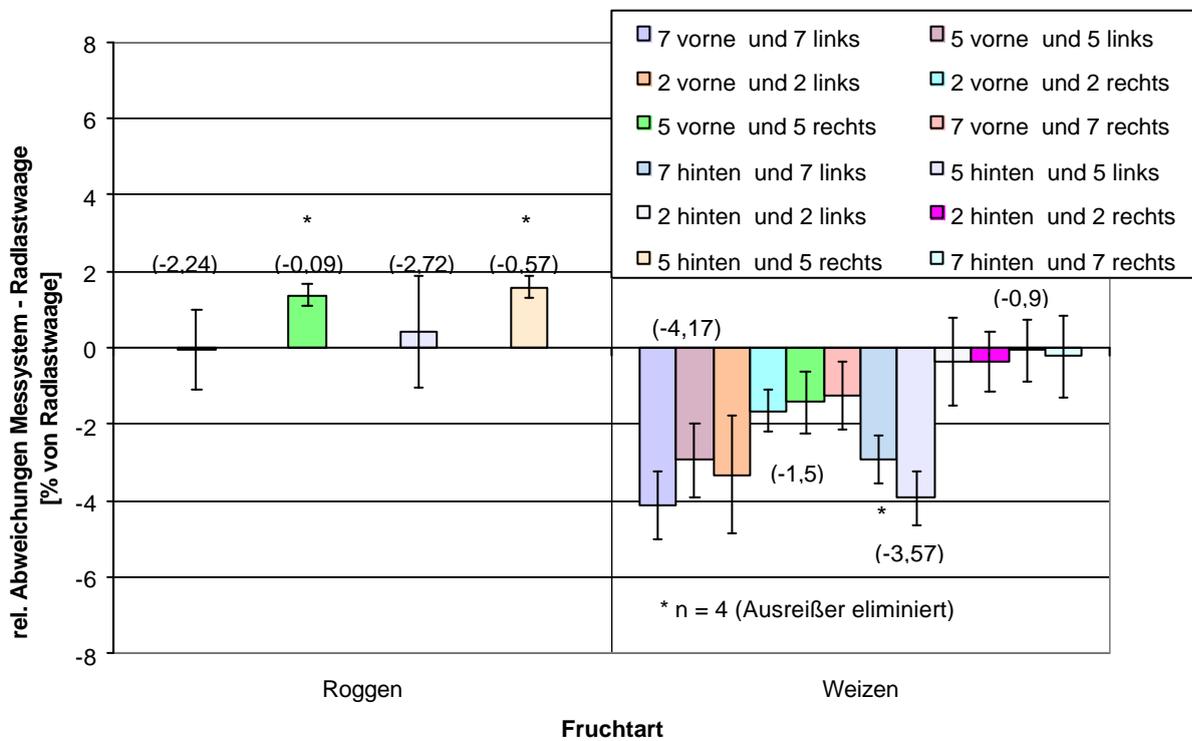


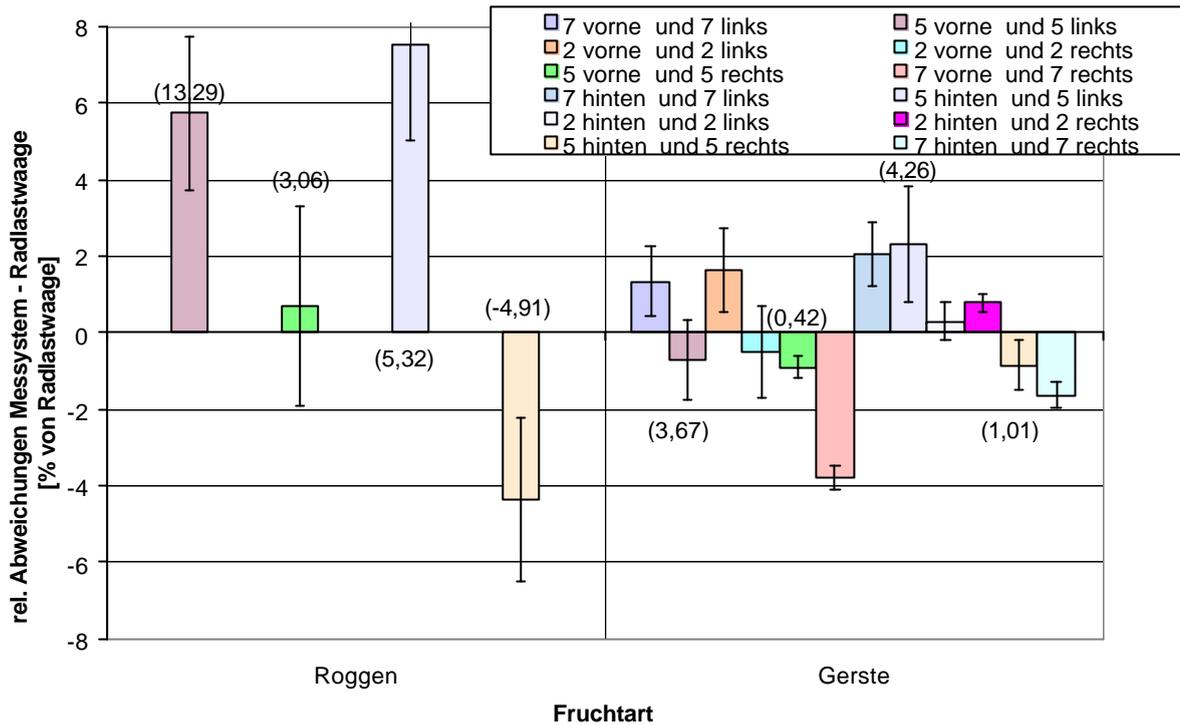
Abbildung 9: Durchsatzvarianten am Prüfstand



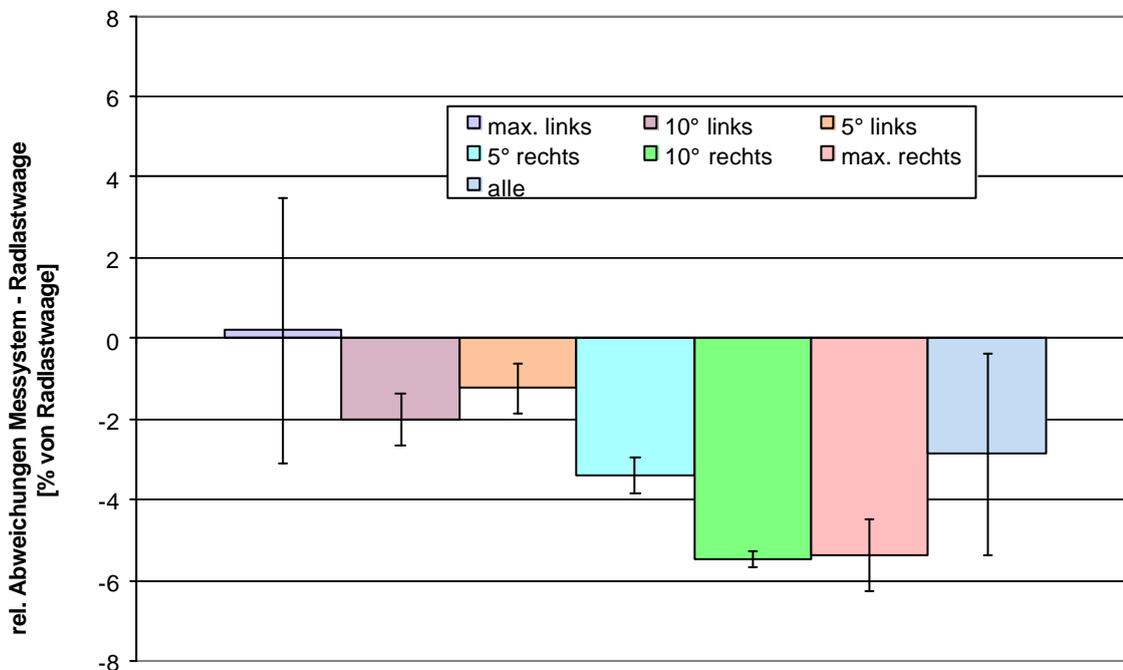
**Abbildung 10:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des radiometrischen Systems Datavision-Flowcontrol bei verschiedenen Querneigungen und Fruchtarten, Durchsatz 20 t/h (n = fünf Wiederholungen pro Variante)



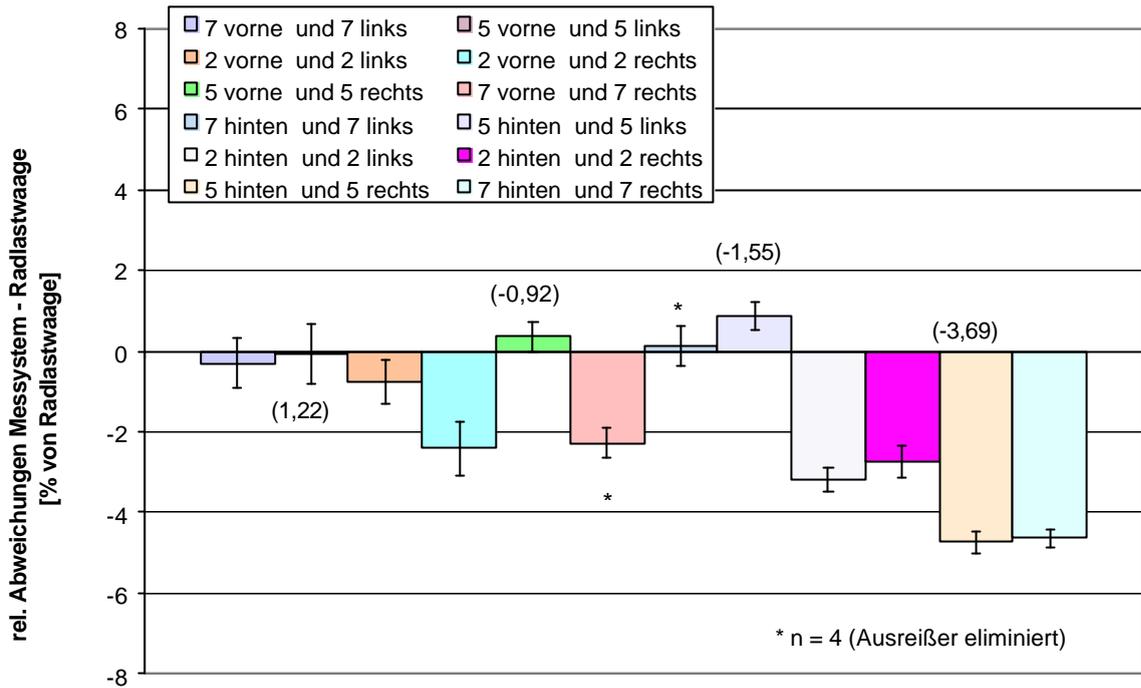
**Abbildung 11:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des radiometrischen Systems Datavision-Flowcontrol bei verschiedenen kombinierten Neigungen und Fruchtarten, Durchsatz 20 t/h (n = fünf Wiederholungen pro Variante)



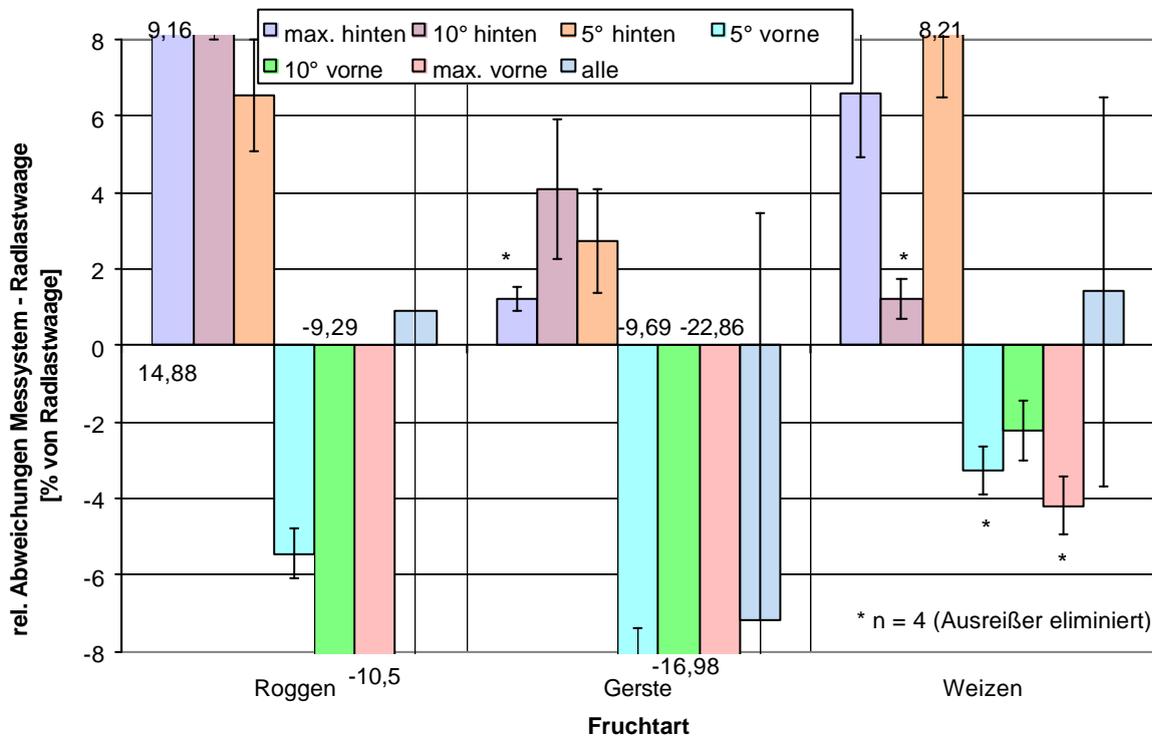
**Abbildung 12:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Ag-Leader bei verschiedenen kombinierten Neigungen und Fruchtarten, Durchsatz 20 t/h (n = fünf Wiederholungen pro Variante, Summen der Fehler aus den unkombierten Neigungen in Klammern)



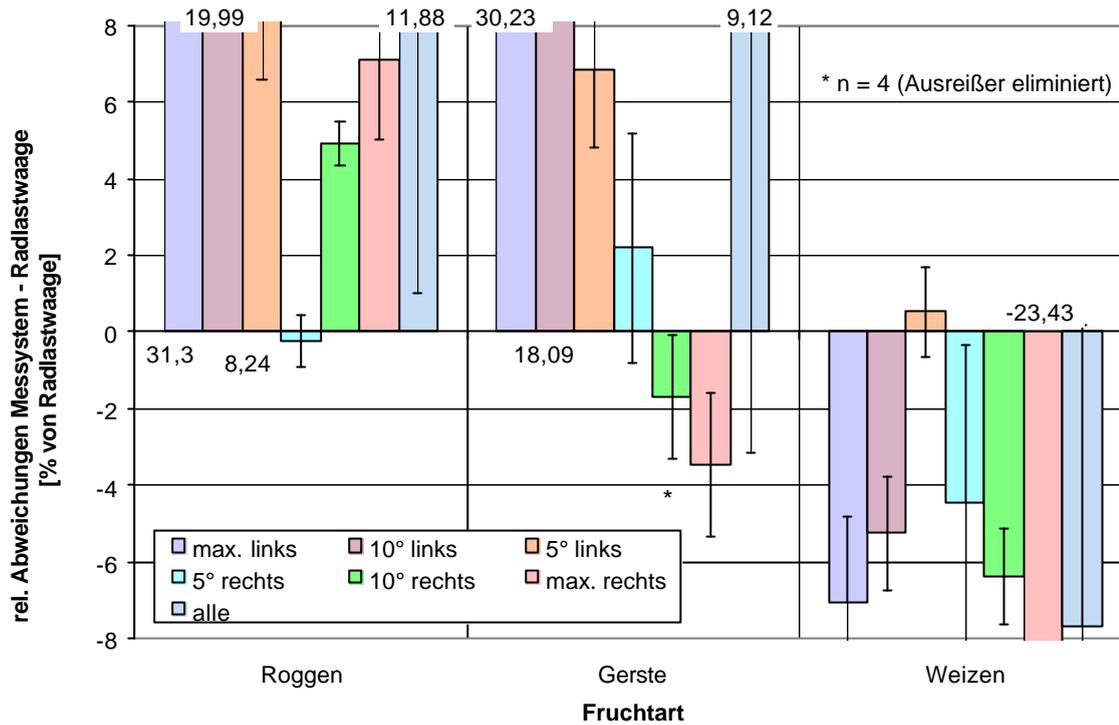
**Abbildung 13:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Greenstar bei verschiedenen Querneigungen, Durchsatz 20 t/h (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante)



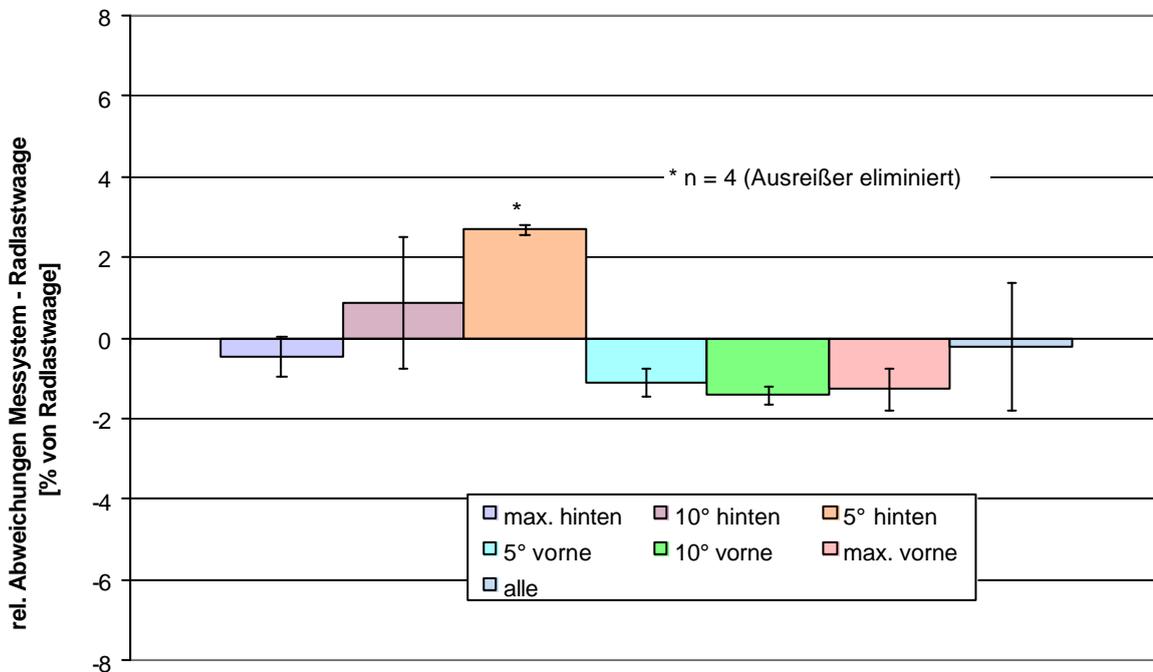
**Abbildung 14:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des Impulsmesssystems Greenstar bei verschiedenen kombinierten Neigungen, Durchsatz 20 t/h (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante, Summen der Fehler aus den unkombierten Neigungen in Klammern)



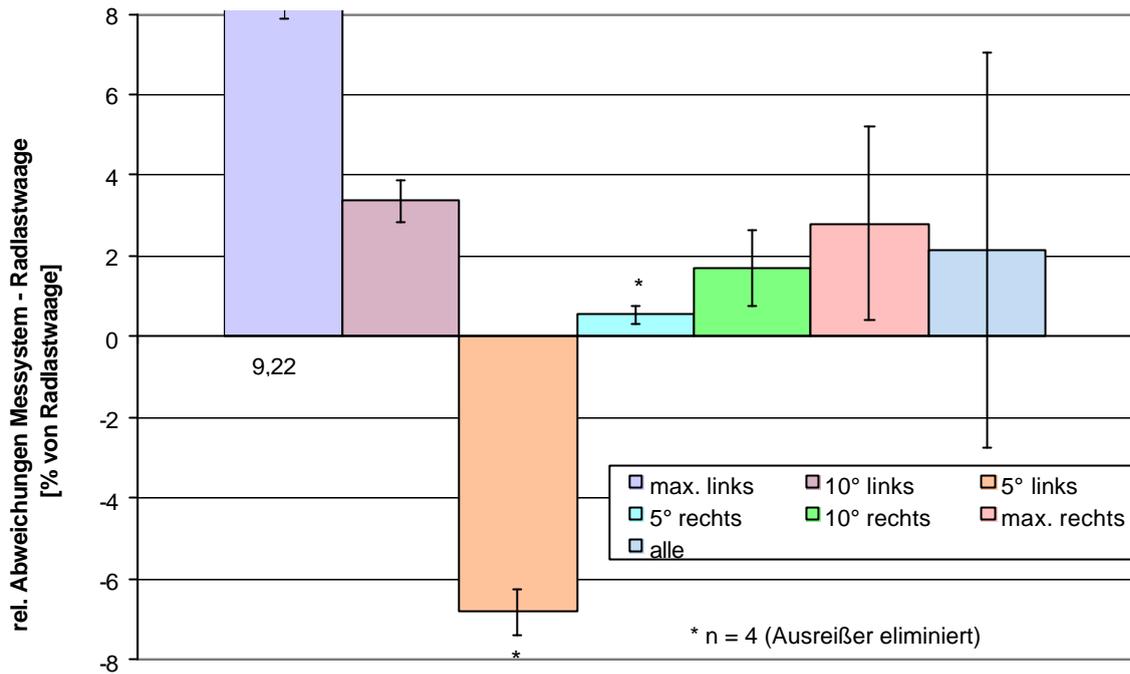
**Abbildung 15:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des volumetrischen Systems RDS-Ceres2 bei verschiedenen Längsneigungen und Fruchtarten, Durchsatz 20 t/h (n = fünf Wiederholungen pro Variante)



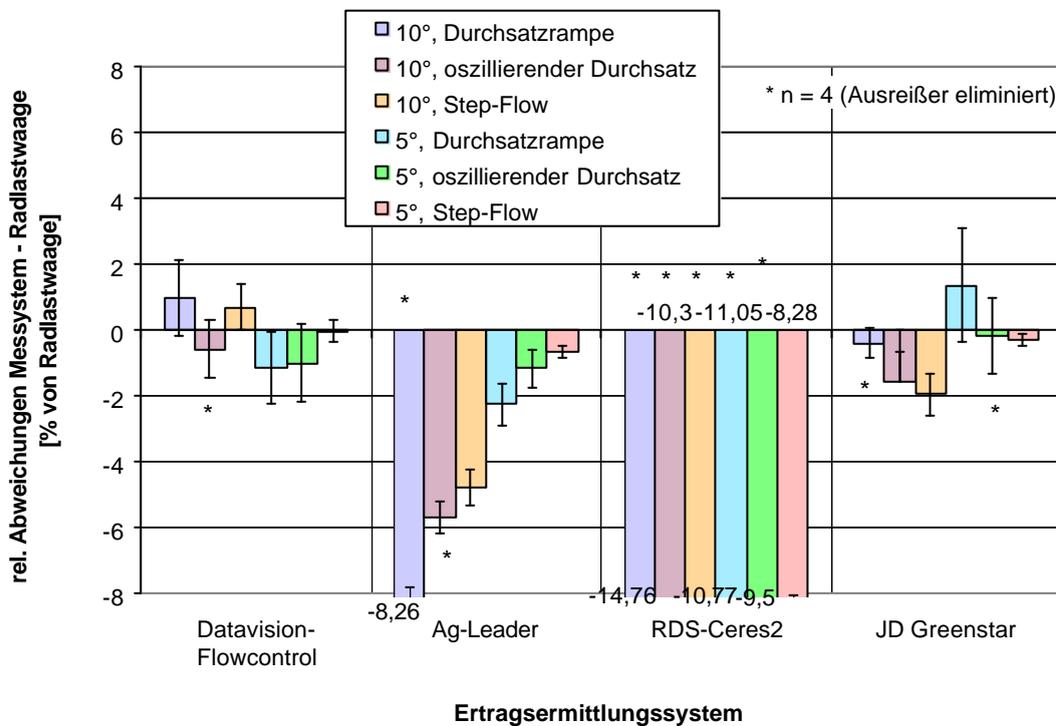
**Abbildung 16:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des volumetrischen Systems RDS-Ceres2 bei verschiedenen Querneigungen und Fruchtarten, Durchsatz 20 t/h (n = fünf Wiederholungen pro Variante)



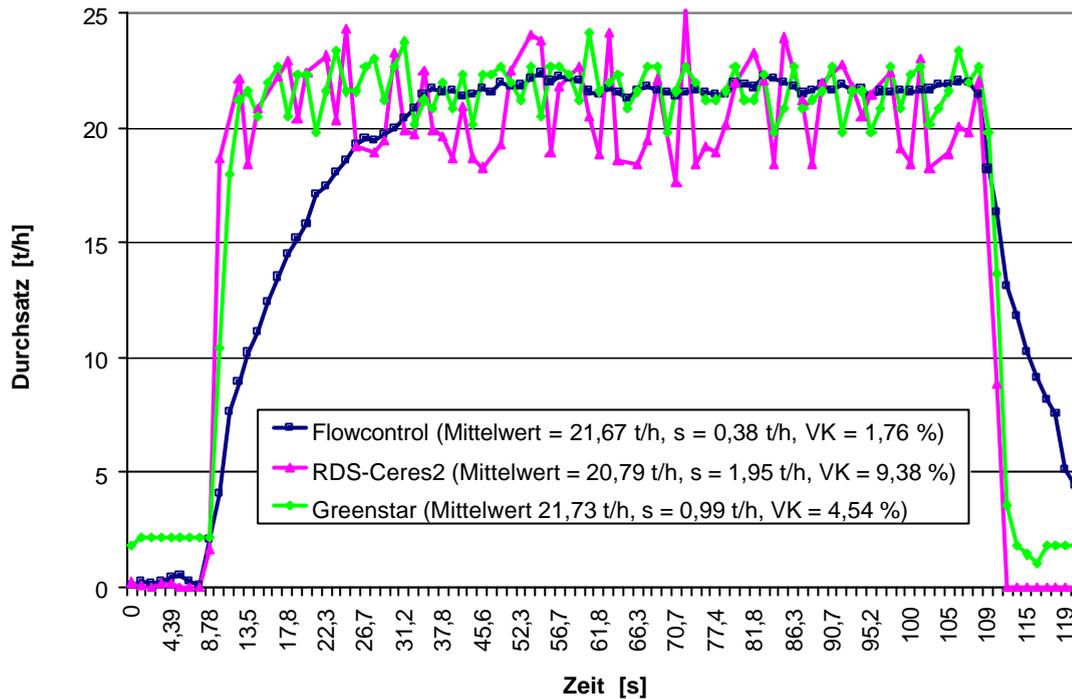
**Abbildung 17:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des volumetrischen Systems Claas-CEBIS bei verschiedenen Längsneigungen, Durchsatz 20 t/h (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante)



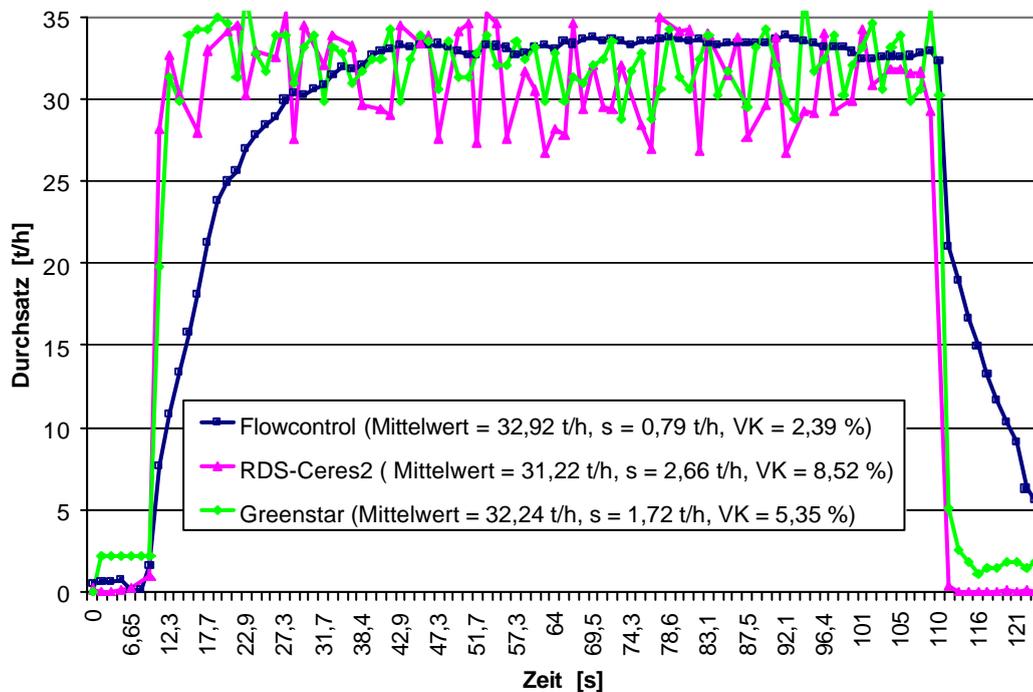
**Abbildung 18:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen des volumetrischen Systems Claas-CEBIS bei verschiedenen Querneigungen, Durchsatz 20 t/h (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante)



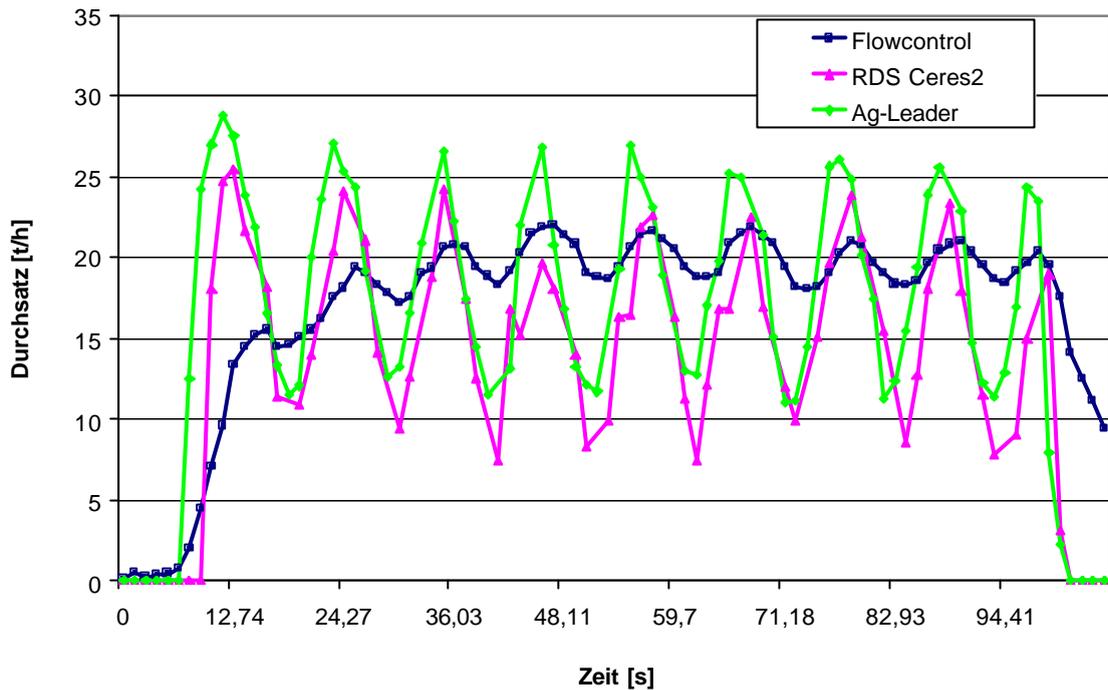
**Abbildung 19:** Arithmet. Mittel und Standardabweichungen der Einzelabweichungen von vier Ertragsermittlungssystemen bei den drei Durchsatzvarianten in nach rechts geneigter Lage, Durchsatz 20 t/h (Weizen, n = fünf Wiederholungen pro Variante)



**Abbildung 20:** Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei konstantem Durchsatz von 20 t/h und horizontaler Lage (Untersuchungen mit Weizen)



**Abbildung 21:** Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei konstantem Durchsatz von 30 t/h und horizontaler Lage (Untersuchungen mit Weizen)



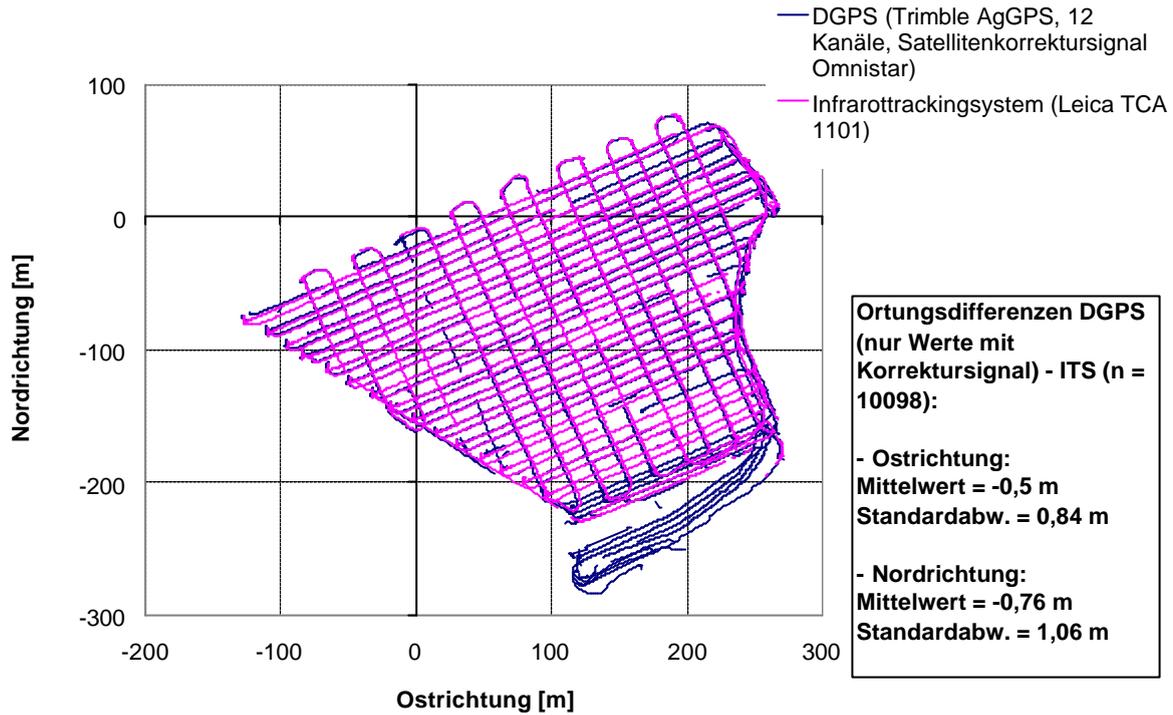
**Abbildung 22:** Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei einem oszillierenden Durchsatz und 10° Rechtsneigung (Untersuchungen mit Weizen)

```

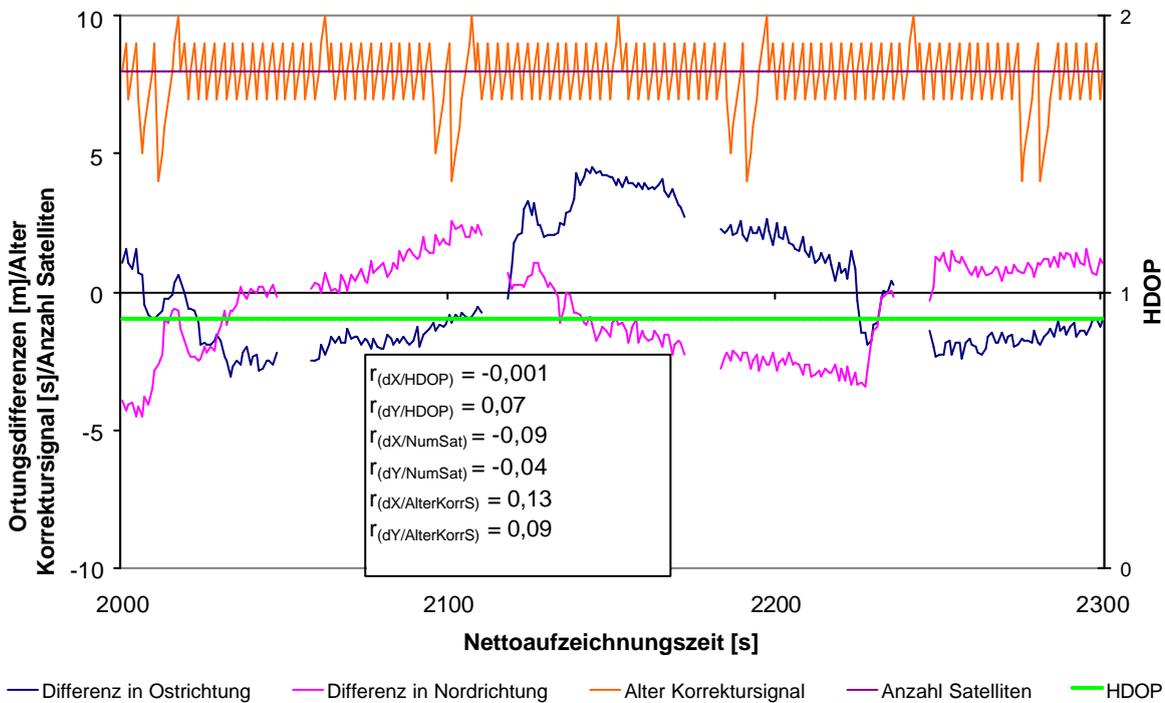
/* Parameter fuer Koordinatentransformation WGS84 zu GK Bessel:
input
/* Projektion der Eingabekoordinaten (geographisch):
projection geographic
/* Format der Eingabekoordinaten:
units dd
/* Bezugellipsoid:
spheroid wgs84
/* Parameter des Ellipsoids:
datum wgs84
parameters
output
/* Projektion der Ausgabekoordinaten (Gauss-Krueger):
projection transverse
/* Format der Ausgabekoordinaten:
units meters
/* Bezugellipsoid:
spheroid bessel
/* Transformationsparameter:
datum user_defined 586 87 409 -0.52 -0.15 2.82 1.009
parameters
/* Masstabsfaktor an Zentralmeridian:
1
/* Zentralmeridian:
12 00 00
/* Bezugsbreitenkreis (=Aequator):
00 00 00
/* False Easting (Rechtswert am Bezugsmeridian):
4500000
0
end

```

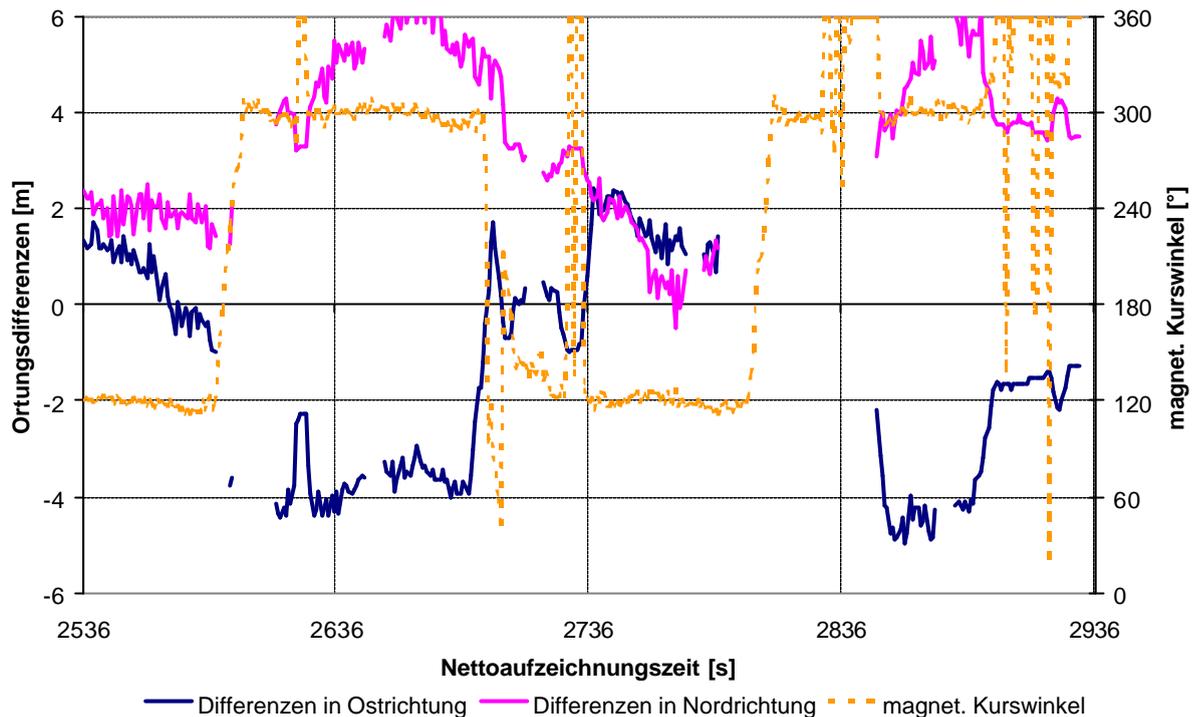
**Abbildung 23:** Definition der Parameter für Koordinatentransformation von WGS84 nach Gauß-Krüger (Bessel-Datum) in ARC/INFO



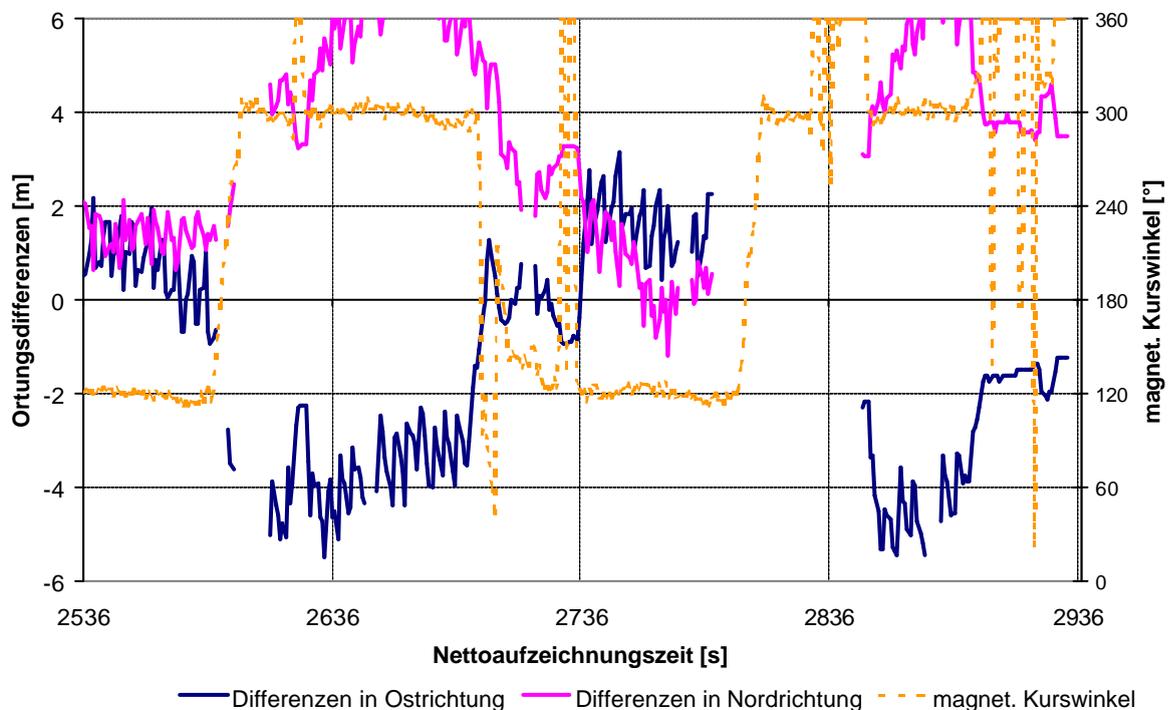
**Abbildung 24:** Mit DGPS und einem Infrarottrackingssystem aufgenommene Fahrspuren des Winterweizenmähdusch auf Schlag S04, 11.08.2000



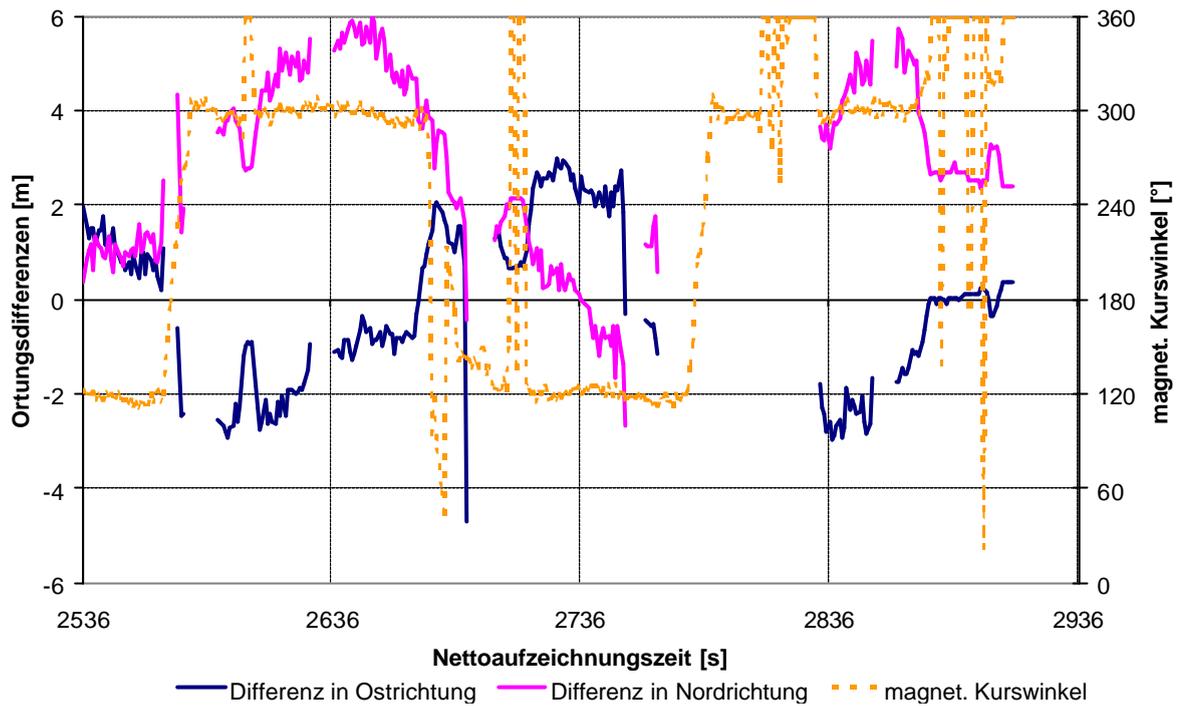
**Abbildung 25:** Korrelation der Ortungsdifferenzen DGPS - ITS mit GPS-Parametern (Grubbern D04 1998, Ausschnitt)



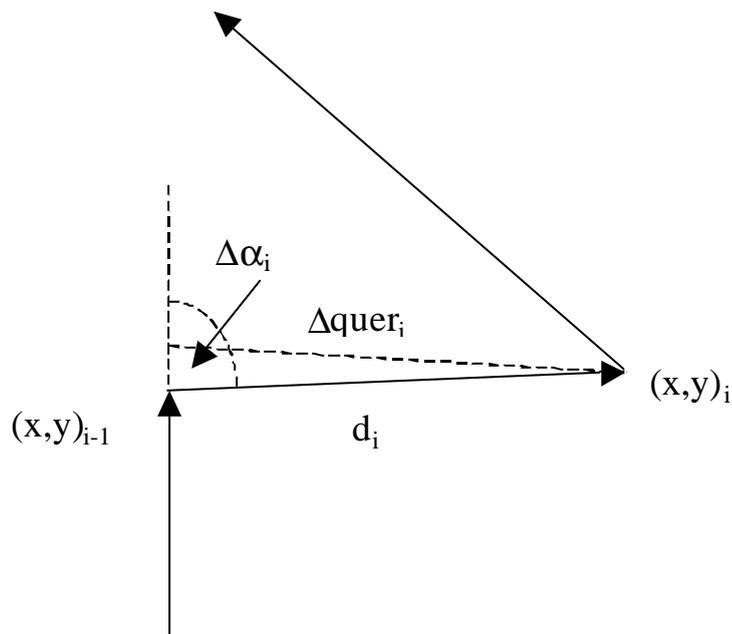
**Abbildung 26:** Ortungsdifferenzen Motorola-DGPS – Geodimeter System 4000 und magnetischer Kurswinkel (Düngen Schlag D04, 10.06.98; WGS84-Koordinaten in Gauss-Krüger umgerechnet, Tachymeterkoordinaten nicht berechnet)



**Abbildung 27:** Ortungsdifferenzen Motorola-DGPS – Geodimeter System 4000 und magnetischer Kurswinkel (Düngen Schlag D04, 10.06.98; WGS84-Koordinaten in Gauss-Krüger umgerechnet, Tachymeterkoordinaten berechnet)



**Abbildung 28:** Ortungsdifferenzen Motorola-DGPS – Geodimeter System 4000 und magnetischer Kurswinkel (Düngen Schlag D04, 10.06.98; Tachymeterkoordinaten mit Matlab-Fehlerkorrekturskript berechnet)



**Abbildung 29:** Schema der Querabweichung eines Punktes

```
print "Zuordnung der Messpunkte zu den Segmenten...\n";

print "Schritt 1...\n";
$sql = "update $table as A set a.diff_arbeit = ";
$sql .= "(select a.arbeit - b.arbeit from $table as B where a.counter = b.counter + 1 ";
$sql .= "and a.schlag = $schlag and b.schlag = $schlag ";
$sql .= "and a.jahr = $jahr and b.jahr = $jahr and a.ertragsermittlung = ";
$sql .= "$syst and b.ertragsermittlung = $syst and a.feldfrucht = $crop and ";
$sql .= "b.feldfrucht = $crop) where a.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr and ";
$sql .= "a.ertragsermittlung = $syst and a.feldfrucht = $crop";

$dbh->do($sql);

print "OK\n";

print "Schritt 2...\n";
$sql = "update $table as A set a.fahrsp_nr = 1 + ";
$sql .= "(select count(b.diff_arbeit) from $table as B ";
$sql .= "where b.diff_arbeit = 1 and b.counter <= a.counter ";
$sql .= "and a.schlag = $schlag and b.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr and b.jahr = ";
$sql .= "$jahr and a.ertragsermittlung = $syst and b.ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and a.feldfrucht = $crop and b.feldfrucht = $crop) ";
$sql .= "where a.schlag = $schlag ";
$sql .= "and a.jahr = $jahr and a.ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and a.feldfrucht = $crop and a.arbeit = 1";

$dbh->do($sql);
print "OK\n";

print "Schritt 3...\n";
$sql = "update $table set lfd_nr vor = 0 ";
$sql .= "where schlag = $schlag and jahr = $jahr and ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and feldfrucht = $crop";

$dbh->do($sql);
print "OK\n";

print "Schritt 4...\n";
$sql = "update $table set lfd_nr vor = 1 ";
$sql .= "where schlag = $schlag ";
$sql .= "and jahr = $jahr and ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and feldfrucht = $crop and diff_arbeit = 1";

$dbh->do($sql);
print "OK\n";
```

```

print "Schritt 5...\n";
$sql = "update $table as A set a.lfd_nrvor = ";
$sql .= "(select a.counter - b.counter + 1 from $table as B ";
$sql .= "where a.lfd_nrvor = 0 and b.lfd_nrvor = 1 and a.counter > b.counter ";
$sql .= "and a.fahrsp_nr = b.fahrsp_nr and a.schlag = $schlag ";
$sql .= "and b.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr and b.jahr = ";
$sql .= "$jahr and a.ertragsermittlung = $syst and b.ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and a.feldfrucht = $crop and b.feldfrucht = $crop) where a.lfd_nrvor = 0
";
$sql .= "and a.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr ";
$sql .= "and a.ertragsermittlung = $syst and a.feldfrucht = $crop";

$dbh->do($sql);
print "OK\n";

print "Messpunkte den Segmenten zugeordnet\n";
print "und mit laufenden Nummern versehen\n";

```

**Abbildung 30:** Zuordnung der Messpunkte des Datenformates Ag-Leader 1995 zu den Segmenten mit embedded SQL im Perl-Skript pos\_korr3.pl

```

print "Zuordnung der Messpunkte zu den Segmenten...\n";

print "Schritt 1...\n";
$sql1 = "update $table set diff_arbeit = -1 ";
$sql1 .= "where distanz < 0.5 and schlag = $schlag and jahr = $jahr and ";
$sql1 .= "ertragsermittlung = $syst and feldfrucht = $crop";

$sql2 = "update $table set diff_arbeit = -1 ";
$sql2 .= "where diff_sek > 10 and schlag = $schlag and jahr = $jahr and ";
$sql2 .= "ertragsermittlung = $syst and feldfrucht = $crop";

if ($syst =~ /Jo-Deere/i) {
    $dbh->do($sql1);
} elsif ($syst =~ /Claas-AC/i) {
    $dbh->do($sql2);
}

print "OK\n";

print "Schritt 2...\n";
$sql = "update $table set fahrspur = 1 ";
$sql .= "where schlag = $schlag and jahr = $jahr ";
$sql .= "and ertragsermittlung = $syst and feldfrucht = $crop";

$dbh->do($sql);
print "OK\n";

```

```
print "Schritt 3...\n";
$sql = "update $table as A set fahrspur = 0 ";
$sql .= "where diff_arbeit = -1 ";
$sql .= "and schlag = $schlag and jahr = $jahr ";
$sql .= "and ertragsermittlung = $syst and feldfrucht = $crop";
```

```
$dbh->do($sql);
print "OK\n";
```

```
print "Schritt 4...\n";
$sql = "update $table as A set a.diff_fsp = ";
$sql .= "(select a.fahrspur - b.fahrspur from duernast as B ";
$sql .= "where a.counter = b.counter + 1 and a.schlag = $schlag and b.schlag = ";
$sql .= "$schlag and a.jahr = $jahr and b.jahr = $jahr and a.ertragsermittlung = ";
$sql .= "$syst and b.ertragsermittlung = $syst and a.feldfrucht = $crop ";
$sql .= "and b.feldfrucht = $crop) ";
$sql .= "where a.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr ";
$sql .= "and a.ertragsermittlung = $syst and a.feldfrucht = $crop";
```

```
$dbh->do($sql);
print "OK\n";
```

```
print "Schritt 5...\n";
$sql = "update $table set fahrsp_nr = 0 ";
$sql .= "where schlag = $schlag and jahr = jahr and ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and feldfrucht = $crop";
```

```
$dbh->do($sql);
```

```
$sql = "update $table as A set a.fahrsp_nr = 1 + ";
$sql .= "(select count(b.fahrspur) from $table as B ";
$sql .= "where b.diff_fsp = -1 and b.counter <= a.counter ";
$sql .= "and a.schlag = $schlag and b.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr and b.jahr = ";
$sql .= "$jahr and a.ertragsermittlung = $syst and b.ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and a.feldfrucht = $crop and b.feldfrucht = $crop) ";
$sql .= "where a.fahrspur = 1 and a.schlag = $schlag ";
$sql .= "and a.jahr = $jahr and a.ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and a.feldfrucht = $crop";
```

```
$dbh->do($sql);
print "OK\n";
```

```
print "Schritt 6...\n";
$sql = "update $table set lfd_nrvor = 0 ";
$sql .= "where schlag = $schlag and jahr = $jahr and ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and feldfrucht = $crop";
```

```
$dbh->do($sql);
print "OK\n";
```

```

print "Schritt 7...\n";
$sql = "update $table as A set a.lfd_nr vor = ";
$sql .= "(select a.counter - b.counter from $table as B ";
$sql .= "where a.counter = b.counter + 1 and a.fahrspur = b.fahrspur + 1 ";
$sql .= "and a.schlag = $schlag and b.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr and b.jahr = ";
$sql .= "$jahr and a.ertragsermittlung = $syst and b.ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and a.feldfrucht = $crop and b.feldfrucht = $crop) ";
$sql .= "where a.diff_fsp = 1 and a.schlag = $schlag ";
$sql .= "and a.jahr = $jahr and a.ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and a.feldfrucht = $crop";

```

```

$dbh->do($sql);

```

```

$sql = "update $table as A set a.lfd_nr vor = 1 ";
$sql .= "where a.fahrspur = 1 and a.counter = (select min(b.counter) from $table as B
where ";
$sql .= "b.schlag = $schlag and b.jahr = $jahr and b.ertragsermittlung = $syst and ";
$sql .= "b.feldfrucht = $crop) and a.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr and ";
$sql .= "a.ertragsermittlung = $syst and a.feldfrucht = $crop";

```

```

$dbh->do($sql);

```

```

print "OK\n";

```

```

print "Schritt 8...\n";
$sql = "update $table as A set a.lfd_nr vor = ";
$sql .= "(select a.counter - b.counter + 1 from $table as B ";
$sql .= "where a.lfd_nr vor = 0 and b.lfd_nr vor = 1 and a.counter > b.counter ";
$sql .= "and a.fahrspur_nr = b.fahrspur_nr and a.schlag = $schlag ";
$sql .= "and b.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr and b.jahr = ";
$sql .= "$jahr and a.ertragsermittlung = $syst and b.ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and a.feldfrucht = $crop and b.feldfrucht = $crop) where a.lfd_nr vor = 0 ";
$sql .= "and a.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr ";
$sql .= "and a.ertragsermittlung = $syst and a.feldfrucht = $crop";

```

```

$dbh->do($sql);

```

```

print "OK\n";

```

```

print "Messpunkte den Segmenten zugeordnet\n";

```

```

print "und mit laufenden Nummern versehen\n";

```

**Abbildung 31:** Zuordnung der Messpunkte der Datenformate Claas-Agrocom zu den Segmenten mit embedded SQL im Perl-Skript pos\_korr2.pl

```
print "Zuordnung der Messpunkte zu den Fahrspuren...\n";

print "Schritt 1...\n";
$sql = "update $table set fahrspur = 1 ";
$sql .= "where schlag = $schlag and jahr = $jahr ";
$sql .= "and ertragsermittlung = $syst and feldfrucht = $crop";

$dbh->do($sql);
print "OK\n";

print "Schritt 2...\n";
$sql = "update $table as A set fahrspur = 0 ";
$sql .= "where a.diff_Fahrtr not between -$sturn and $sturn ";
$sql .= "and a.diff_Fahrtr <= 360 - $sturn and a.diff_Fahrtr >= -360 + $sturn ";
$sql .= "and a.xkorr is not NULL and a.ykorr is not NULL ";
$sql .= "and a.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr ";
$sql .= "and a.ertragsermittlung = $syst and a.feldfrucht = $crop";

$dbh->do($sql);
print "OK\n";

print "Schritt 3...\n";
$sql = "update $table as A set a.diff_fsp = ";
$sql .= "(select a.fahrspur - b.fahrspur from duernast as B ";
$sql .= "where a.counter = b.counter + 1 and a.schlag = $schlag and b.schlag = ";
$sql .= "$schlag and a.jahr = $jahr and b.jahr = $jahr and a.ertragsermittlung = ";
$sql .= "$syst and b.ertragsermittlung = $syst and a.feldfrucht = $crop ";
$sql .= "and b.feldfrucht = $crop) ";
$sql .= "where a.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr ";
$sql .= "and a.ertragsermittlung = $syst and a.feldfrucht = $crop";

$dbh->do($sql);
print "OK\n";

print "Schritt 4...\n";
$sql = "update $table set fahrspur_nr = 0 ";
$sql .= "where schlag = $schlag and jahr = jahr and ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and feldfrucht = $crop";

$dbh->do($sql);
```

```

print "Schritt 5...\n";
$sql = "update $table set lfd_nrvoor = 0 ";
$sql .= "where schlag = $schlag and jahr = $jahr and ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and feldfrucht = $crop";

$dbh->do($sql);
print "OK\n";

print "Schritt 6...\n";
$sql = "update $table as A set a.lfd_nrvoor = ";
$sql .= "(select a.counter - b.counter from $table as B ";
$sql .= "where a.counter = b.counter + 1 and a.fahrspur = b.fahrspur + 1 ";
$sql .= "and a.schlag = $schlag and b.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr and b.jahr ";
$sql .= "and a.ertragsermittlung = $syst and b.ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and a.feldfrucht = $crop and b.feldfrucht = $crop) ";
$sql .= "where a.diff_fsp = 1 and a.schlag = $schlag ";
$sql .= "and a.jahr = $jahr and a.ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and a.feldfrucht = $crop";

$dbh->do($sql);

$sql = "update $table as A set a.lfd_nrvoor = 1 ";
$sql .= "where a.fahrspur = 1 and a.counter = (select min(b.counter) from $table as ";
$sql .= "B where ";
$sql .= "b.schlag = $schlag and b.jahr = $jahr and b.ertragsermittlung = $syst and ";
$sql .= "b.feldfrucht = $crop) and a.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr and ";
$sql .= "a.ertragsermittlung = $syst and a.feldfrucht = $crop";

$dbh->do($sql);
print "OK\n";

print "Schritt 7...\n";
$sql = "update $table as A set a.lfd_nrvoor = ";
$sql .= "(select a.counter - b.counter + 1 from $table as B ";
$sql .= "where a.lfd_nrvoor = 0 and b.lfd_nrvoor = 1 and a.counter > b.counter ";
$sql .= "and a.fahrspur_nr = b.fahrspur_nr and a.schlag = $schlag ";
$sql .= "and b.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr and b.jahr = ";
$sql .= "$jahr and a.ertragsermittlung = $syst and b.ertragsermittlung = $syst ";
$sql .= "and a.feldfrucht = $crop and b.feldfrucht = $crop) where a.lfd_nrvoor = 0 ";
$sql .= "and a.schlag = $schlag and a.jahr = $jahr ";
$sql .= "and a.ertragsermittlung = $syst and a.feldfrucht = $crop";

$dbh->do($sql);
print "OK\n";

print "Messpunkte den Fahrgassen zugeordnet\n";
print "und mit laufenden Nummern versehen\n";

```

**Abbildung 32:** Zuordnung der Messpunkte der Ertragsdatenformate Flowcontrol und Ag-Leader ab 1996 zu den Fahrspuren mit embedded SQL im Perl-Skript pos\_korr.pl

```

alter table schey_urdaten add diff_arbeit integer;

update schey_urdaten as A set a.diff_arbeit = (select a.arbeit - b.arbeit
from schey_urdaten as B where a.counter = b.counter + 1
and a.schlag = b.) where a.schlag = ;

update schey_urdaten set diff_arbeit = -1
where diff_sekunden > 10 and schlag = ;

alter table schey_urdaten add segment_Nr integer;

update schey_urdaten as A set a.segment_Nr = 1 +
(select count(b.diff_arbeit) from schey_urdaten as B
where b.diff_arbeit = -1 and b.counter <= a.counter
and a.schlag = b.schlag) where a.schlag =
and a.arbeit = 0;

Alter table schey_urdaten add lfd_Nrvor_segmn integer;

update schey_urdaten set lfd_Nrvor_segmn = 0
where schlag = ;

update schey_urdaten set lfd_Nrvor_segmn = 1
where schlag = and diff_arbeit = -1;

update schey_urdaten as A set a.lfd_Nrvor_segmn =
(select a.sekunden - b.sekunden + 1 from schey_urdaten as B
where b.lfd_Nrvor_segmn = 1 and a. sekunden > b. sekunden
and a.segment_Nr = b.segment_Nr and a.schlag = b.schlag)
where a.schlag = and a.lfd_Nrvor_segmn = 0

```

Abbildung 33: SQL-Syntax der Zuordnung der Messpunkte der „Ertragsurdaten“ zu den Segmenten

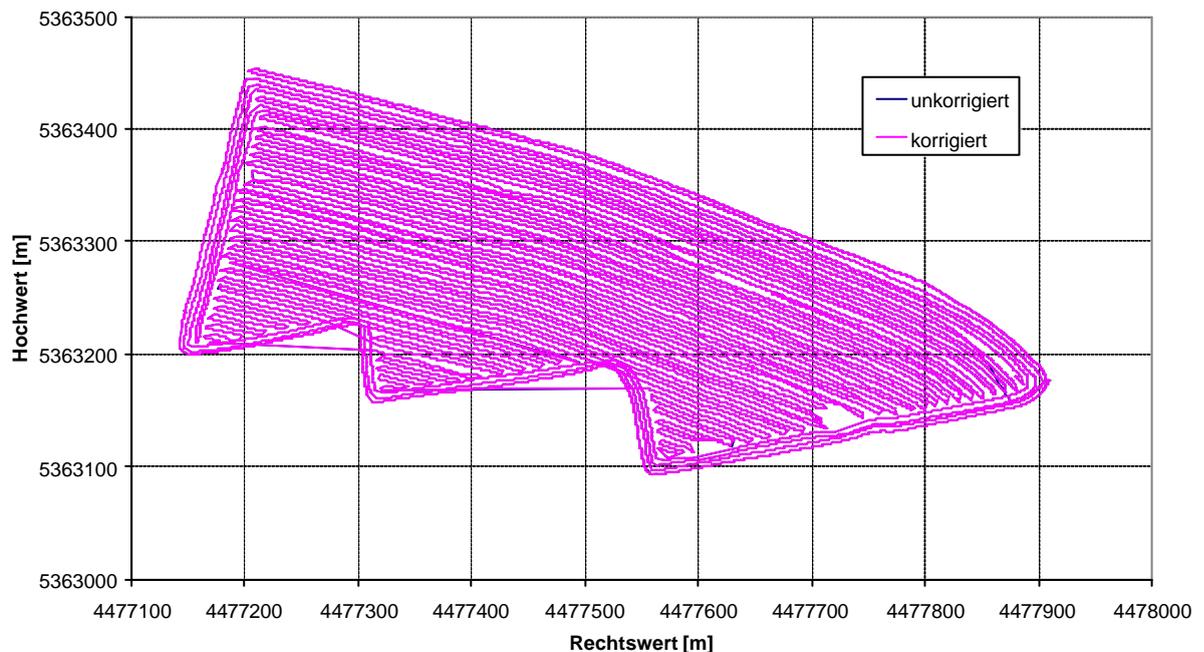
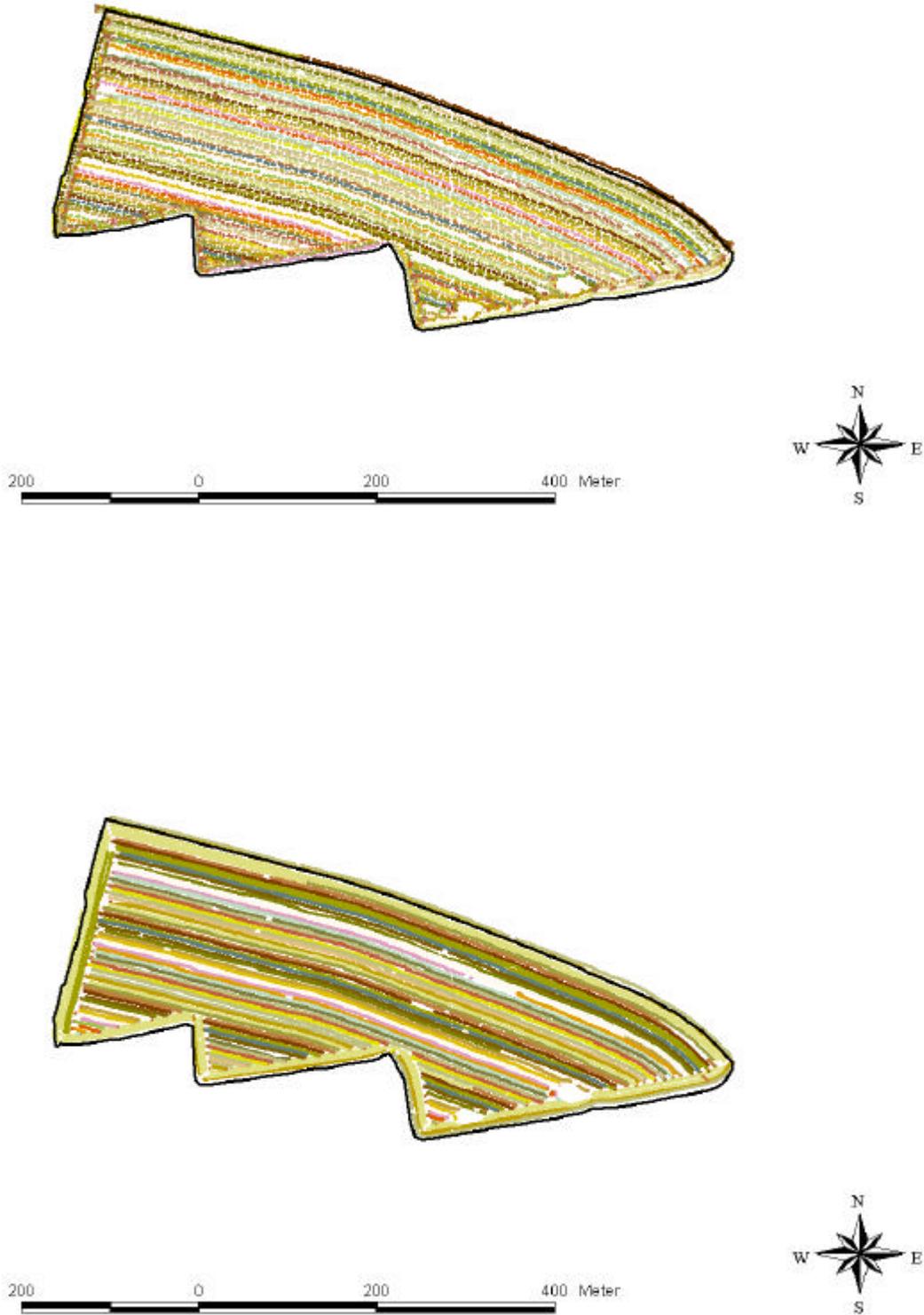
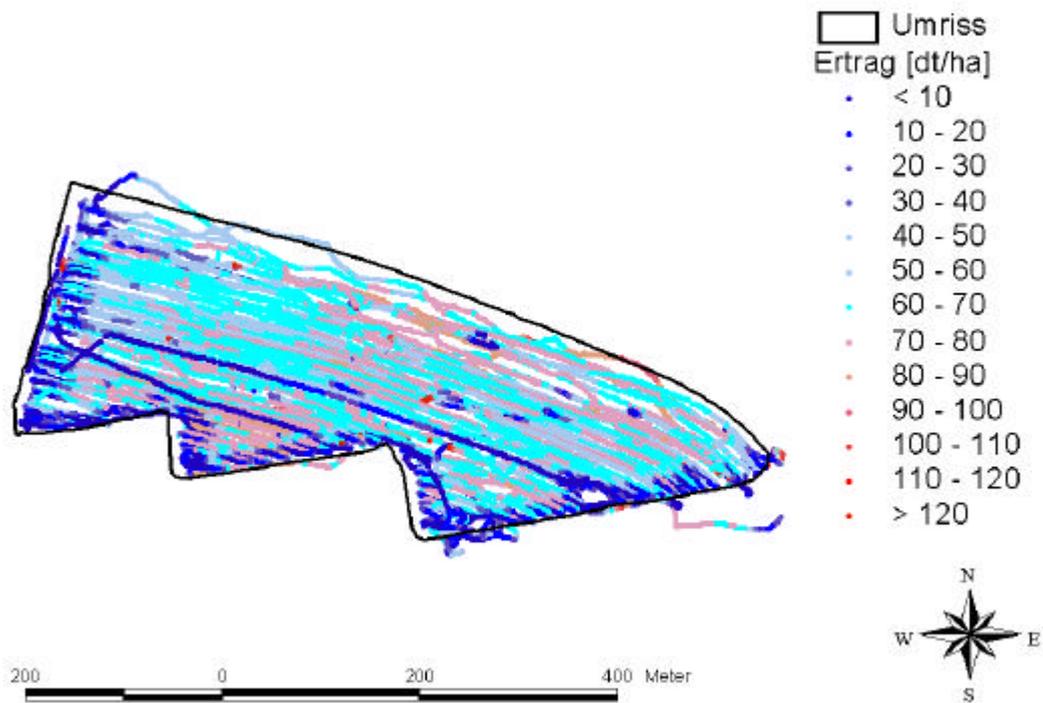


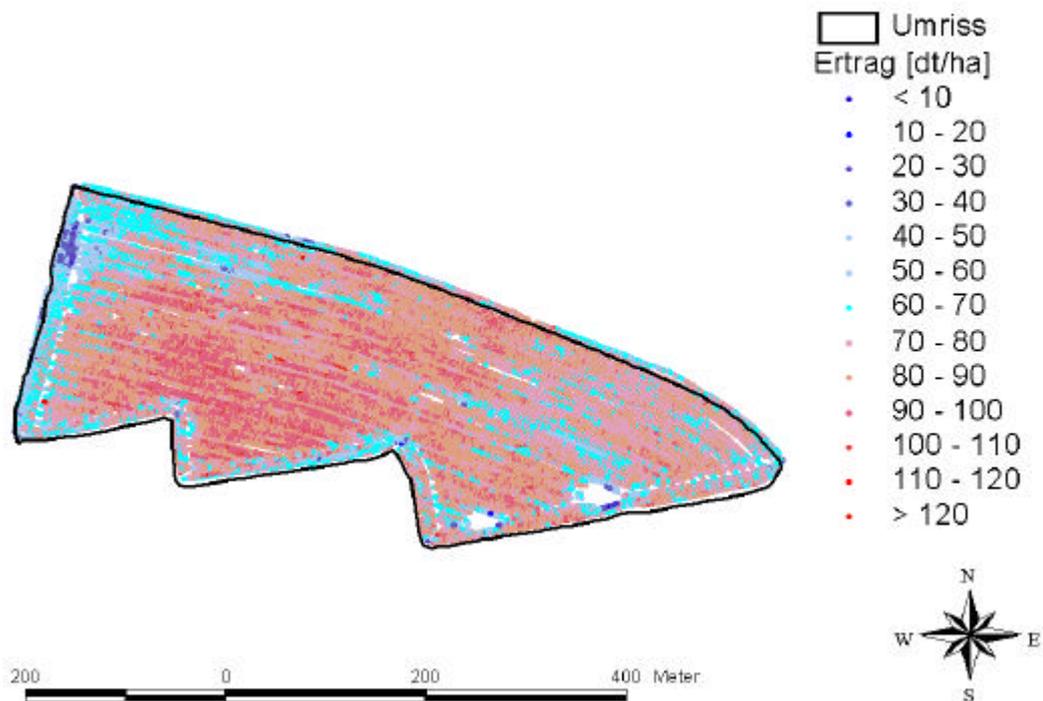
Abbildung 34: Unkorrigierte und korrigierte mit DGPS ermittelte Fahrspuren der Erntefahrt D01 1999 (Ag-Leader)



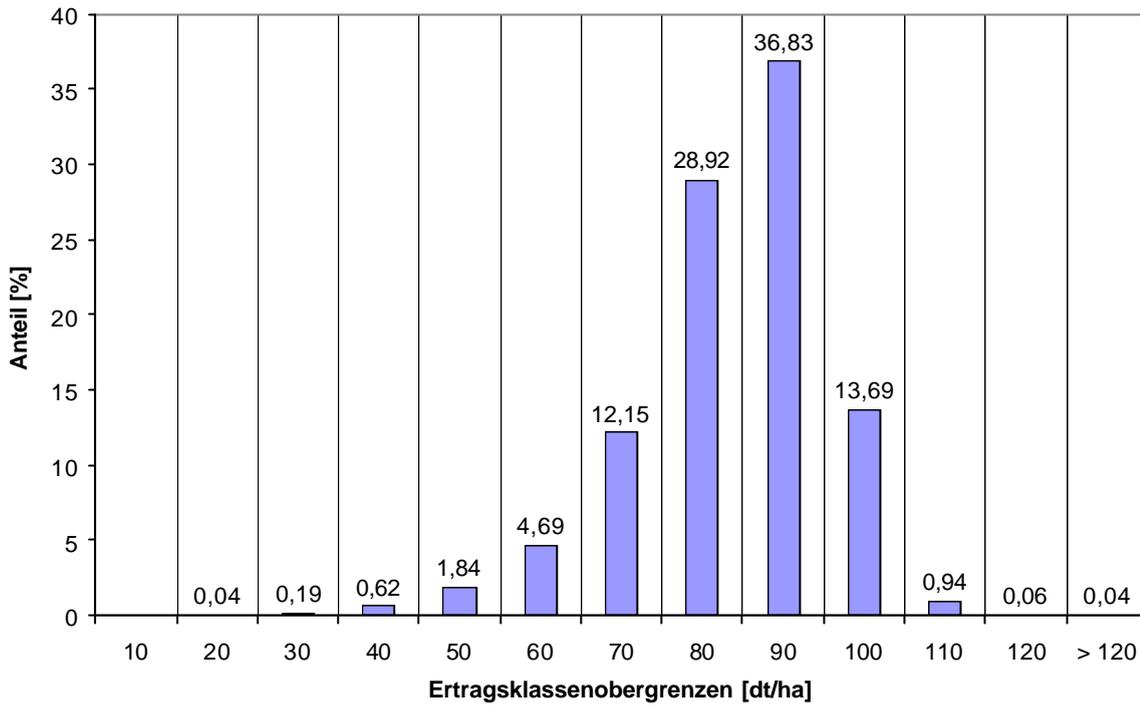
**Abbildung 35:** Durch den Positionskorrekturalgorithmus ausgewiesene Fahrspuren der Ertragsdaten D01 1999 (oben: Flowcontrol, unten: Ag-Leader; jede Fahrspur eine Farbe)



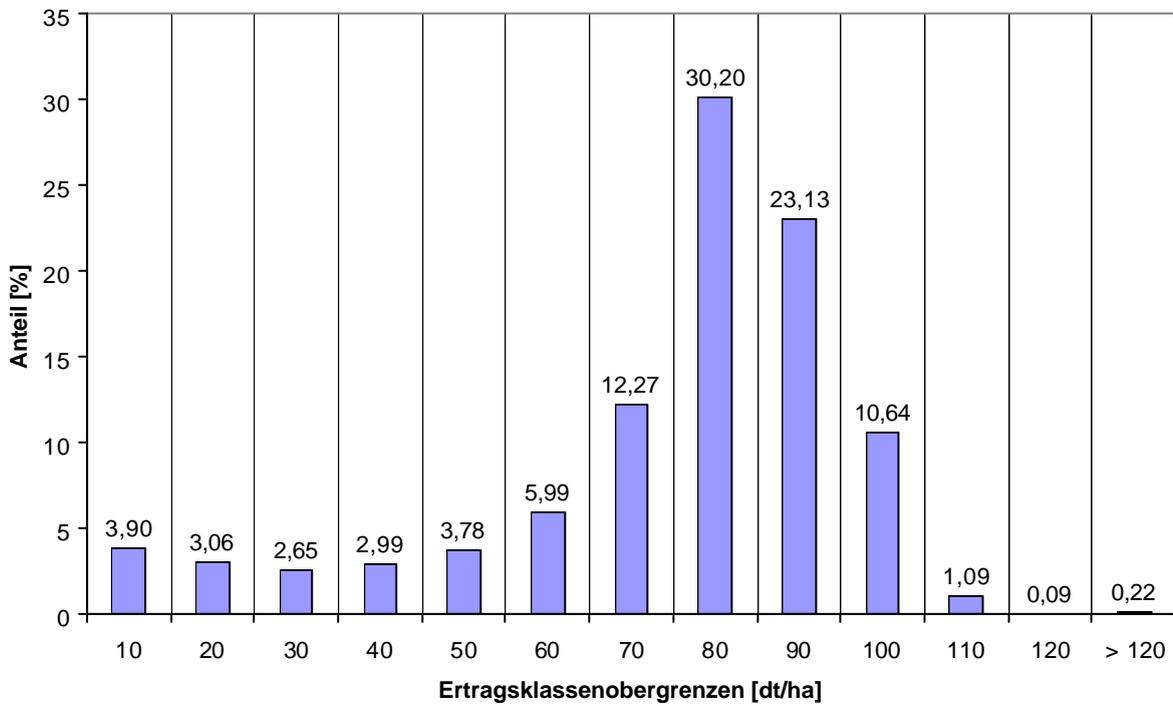
**Abbildung 36:** Ertragswerte der Winterweizenernte Schlag D01 1995 (Ertragsermittlung Ag-Leader)



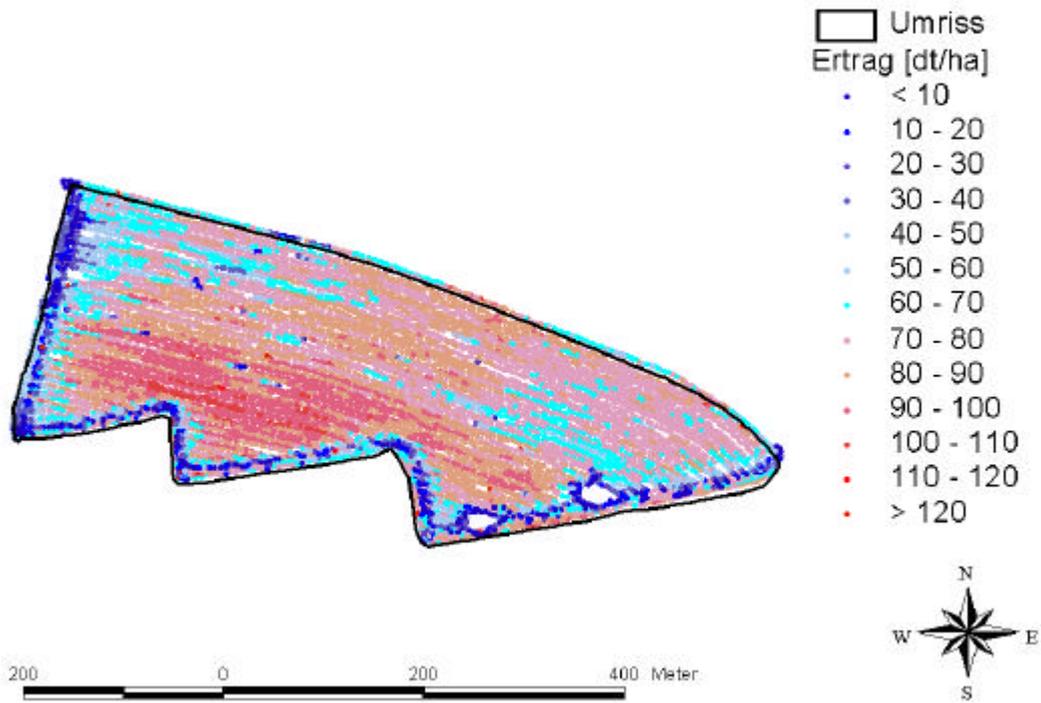
**Abbildung 38:** Ertragswerte der Winterweizenernte Schlag D01 1999 (Ertragsermittlung Ag-Leader)



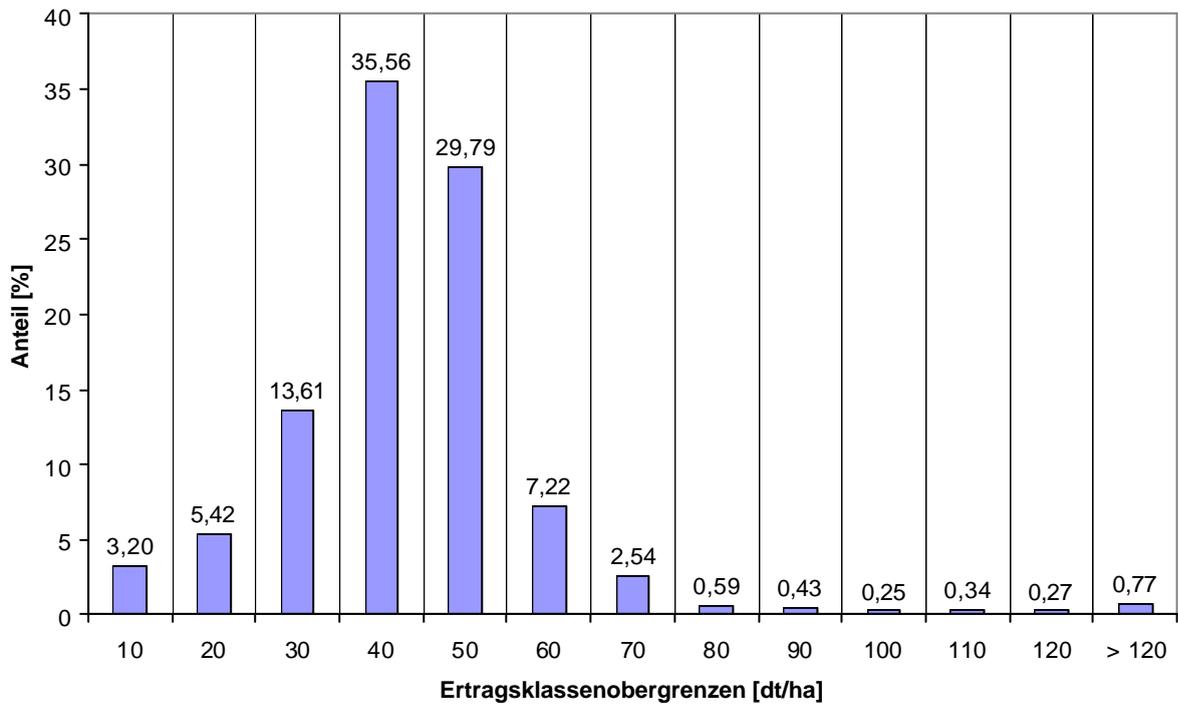
**Abbildung 37:** Histogramm der ungefilterten Ertragswerte ohne Nullwerte Schlag D01 1999 (Winterweizen, Ag-Leader)



**Abbildung 39:** Histogramm der ungefilterten Ertragswerte ohne Nullwerte Schlag D01 1999 (Winterweizen, Datavision-Flowcontrol)



**Abbildung 40:** Ertragswerte der Winterweizenernte Schlag D01 1999 (Ertragsermittlung Datavision-Flowcontrol)



**Abbildung 41:** Histogramm der ungefilterten Ertragswerte ohne Nullwerte Schlag D04 1999 (Erbsen, Datavision-Flowcontrol)

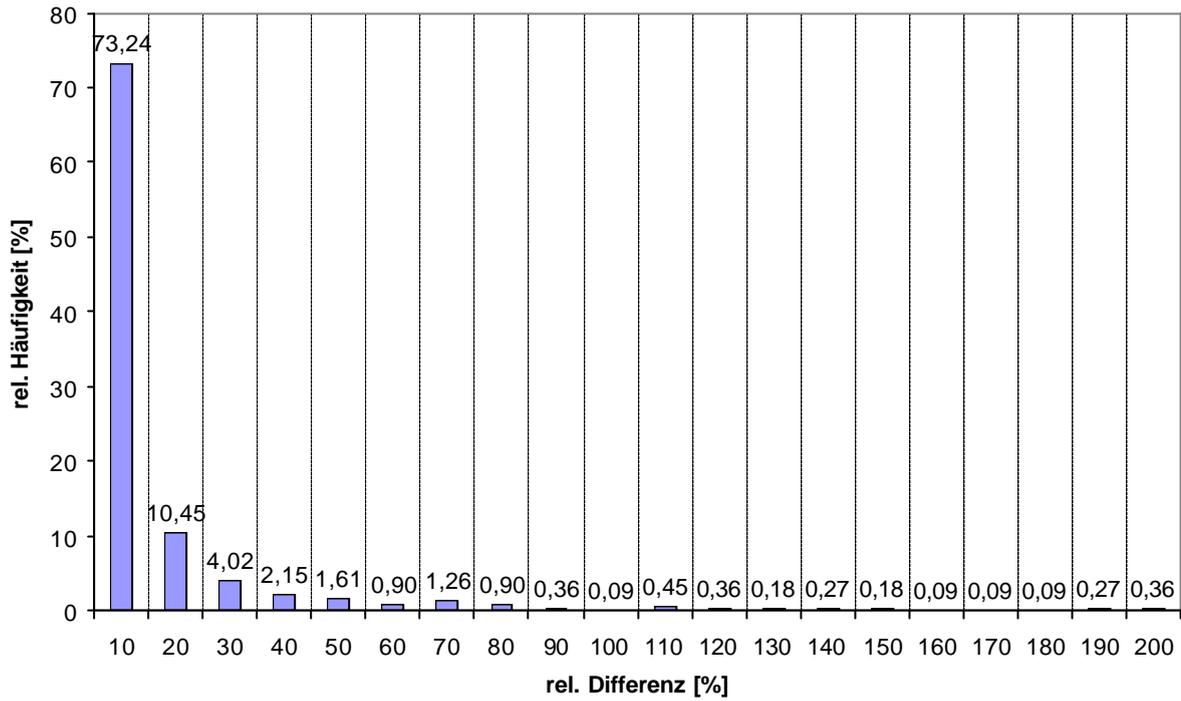


Abbildung 42: Häufigkeitsverteilung der relativen Differenzen zu nachfolgenden Ertragswerten D08 1998 (Körnermais, Claas-Agrocom)

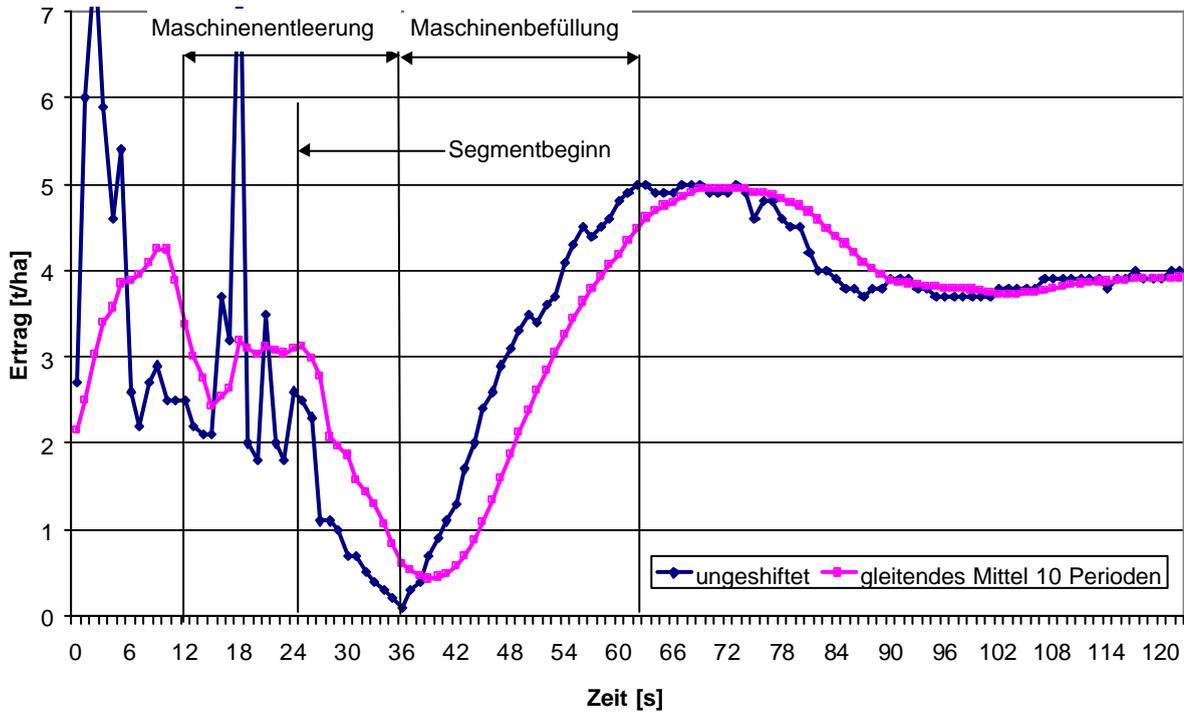


Abbildung 43: Ertragswerte „Oberes Geiswegfeld“ 1992 in einem Segment

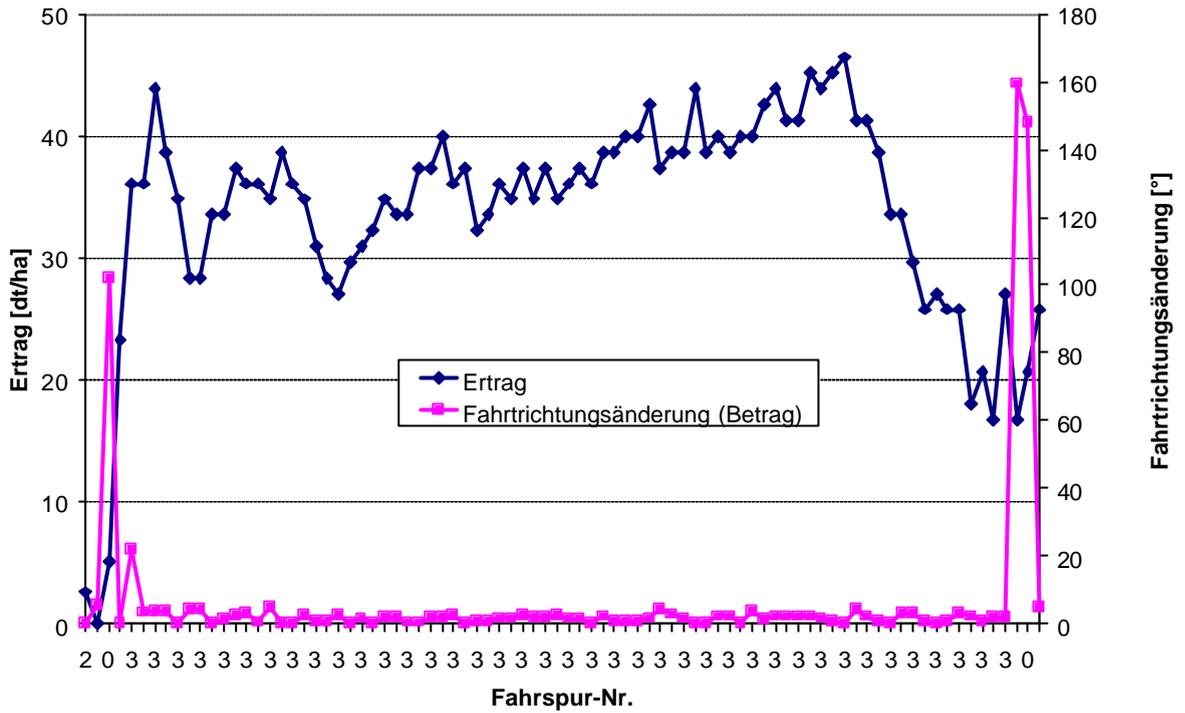


Abbildung 44: Ertragswerte und Änderung der Fahrtrichtung am Beginn einer Fahrspur (Schlag D07 2000, Ag-Leader)

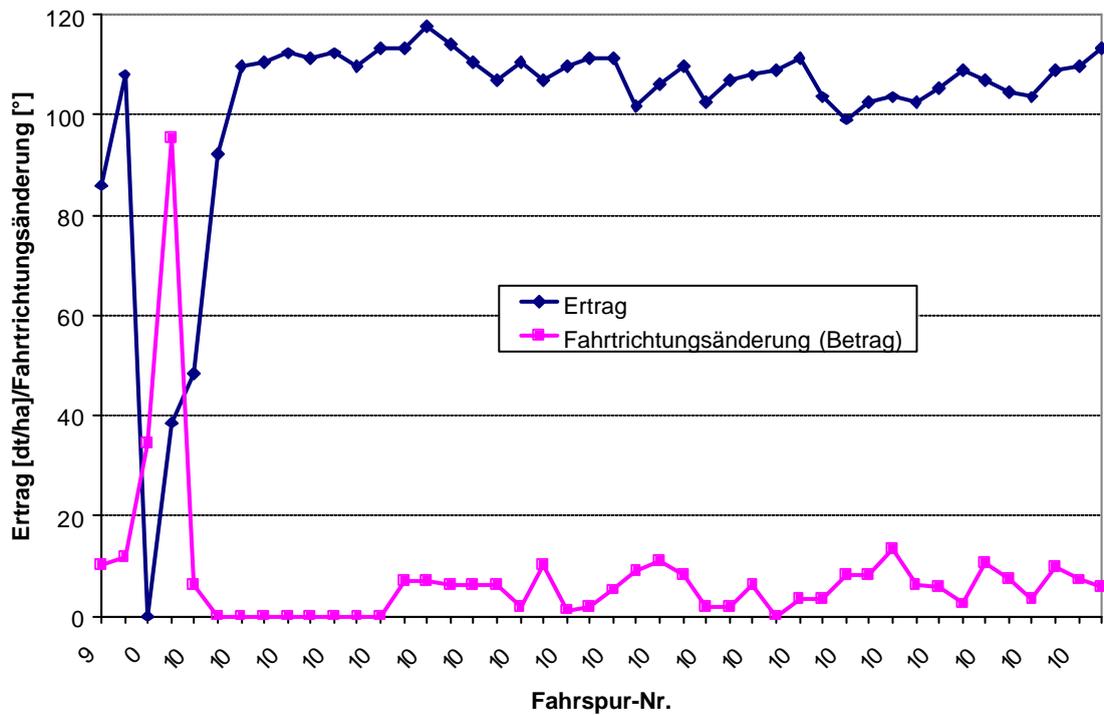
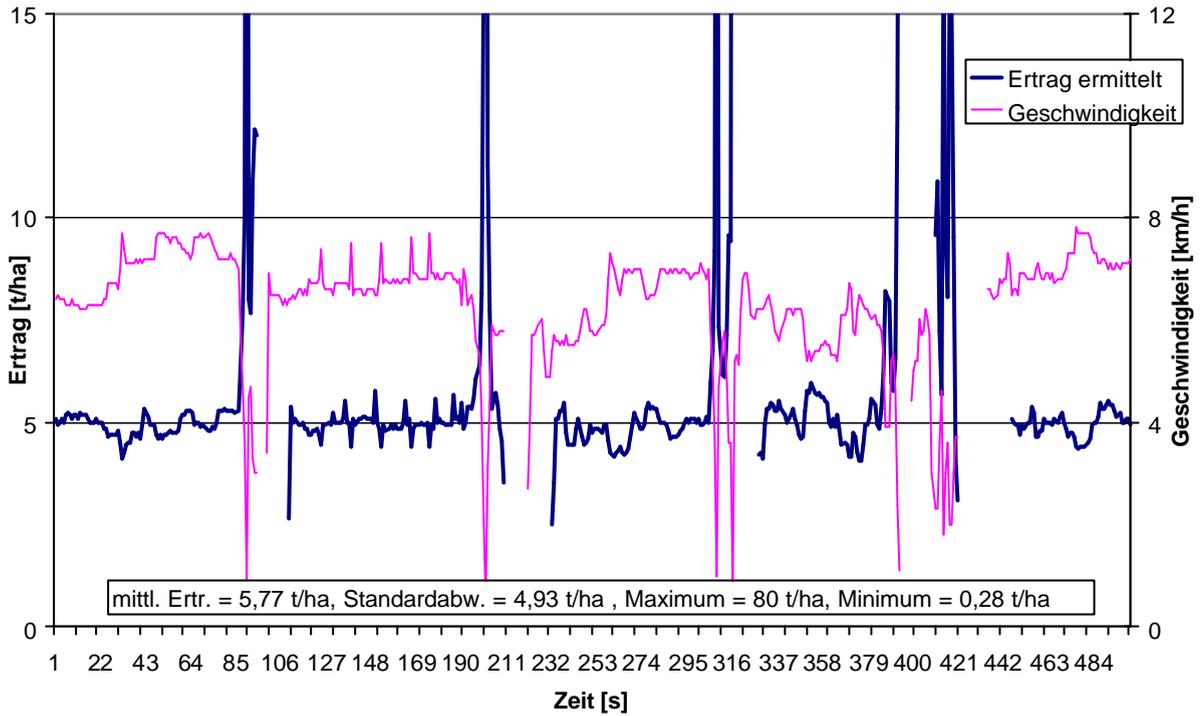
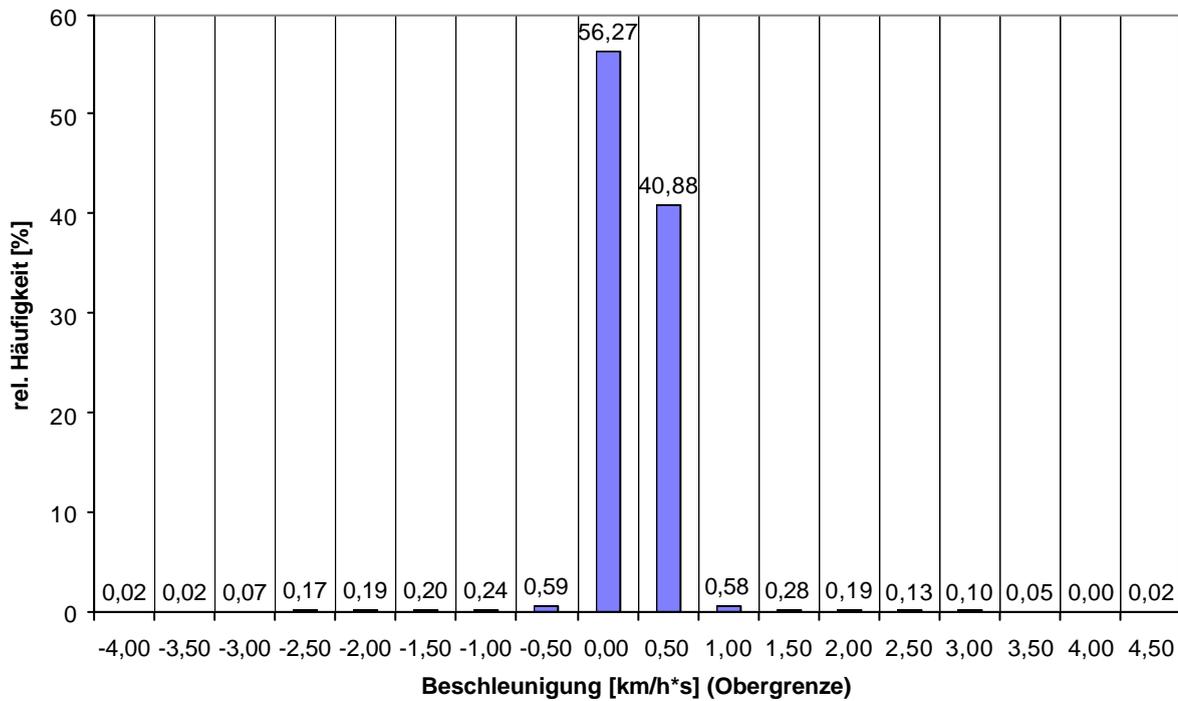


Abbildung 45: Ertragswerte und Änderung der Fahrtrichtung am Beginn einer Fahrspur (Schlag D08 1998, Claas-Agrocom)

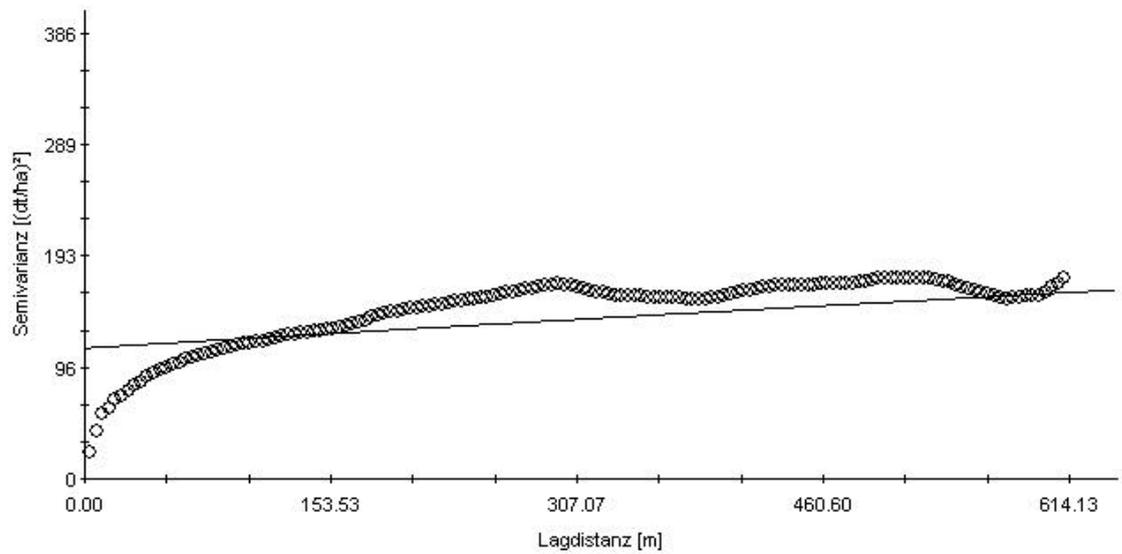


**Abbildung 46:** Theoretisch ermittelter Ertrag bei konstantem tatsächlichem Ertrag von 5 t/ha, einem Delay von 12 s und den bei der Ernte „Oberes Geiswegfeld“ 1992 gemessenen Geschwindigkeiten mit Schneidwerk im Bestand (Ausschnitt)



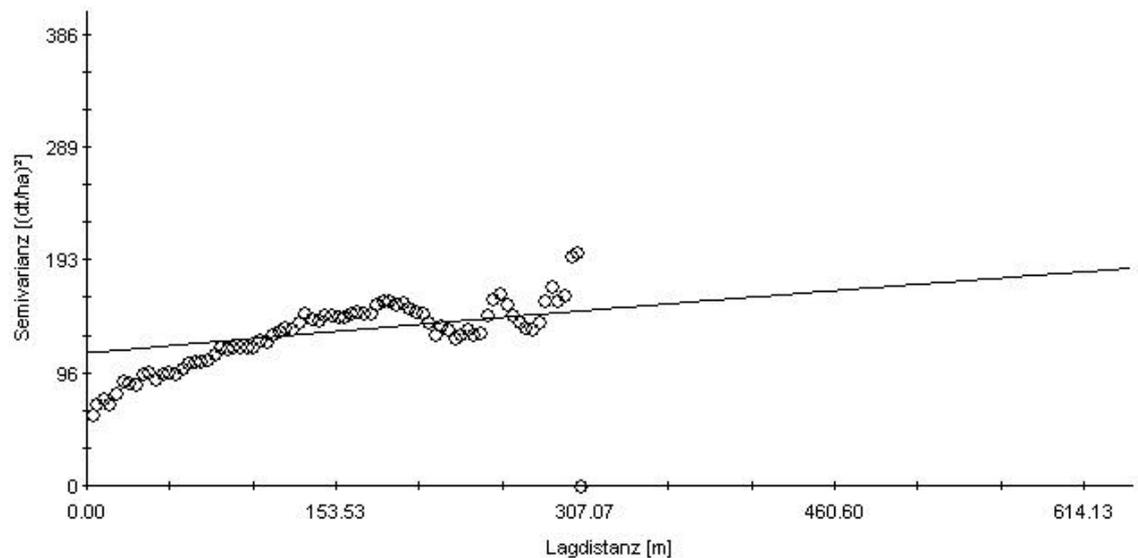
**Abbildung 47:** Häufigkeitsverteilung der Beschleunigungen bei der Ernte auf Schlag D01 1995

Anisotropisches Variogramm (113°)



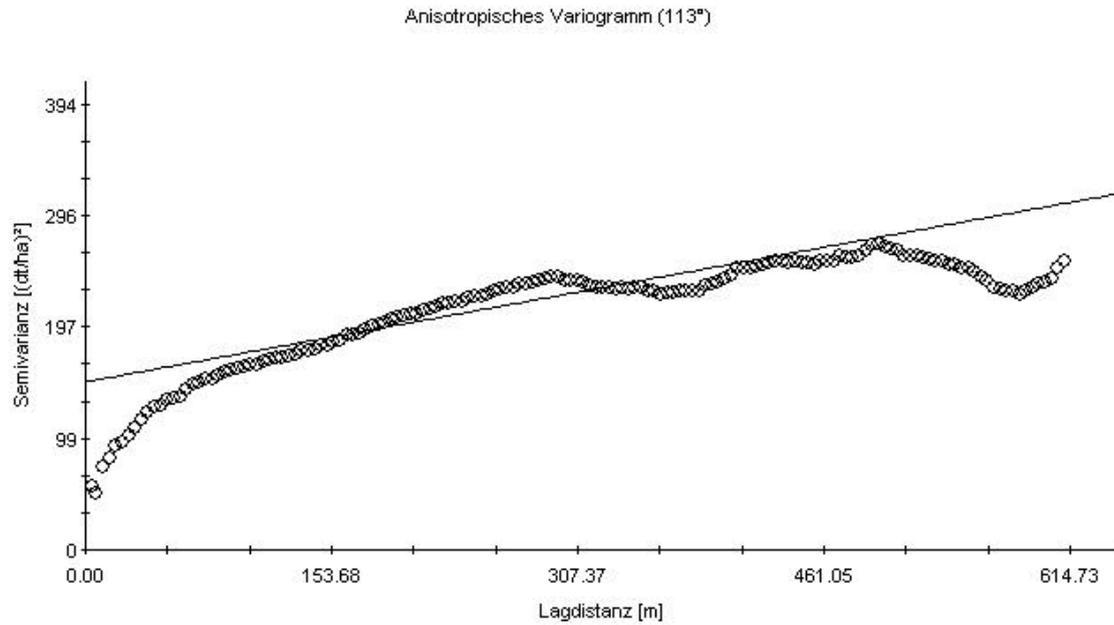
Exponential model ( $C_0 = 113.2000$ ;  $C_0 + C = 525.8235$ ;  $A_1 = 4961.00$ ;  
 $A_2 = 3330.00$ ;  $r^2 = 0.465$ ;  $RSS = 525063$ .)

Anisotropisches Variogramm (203°)

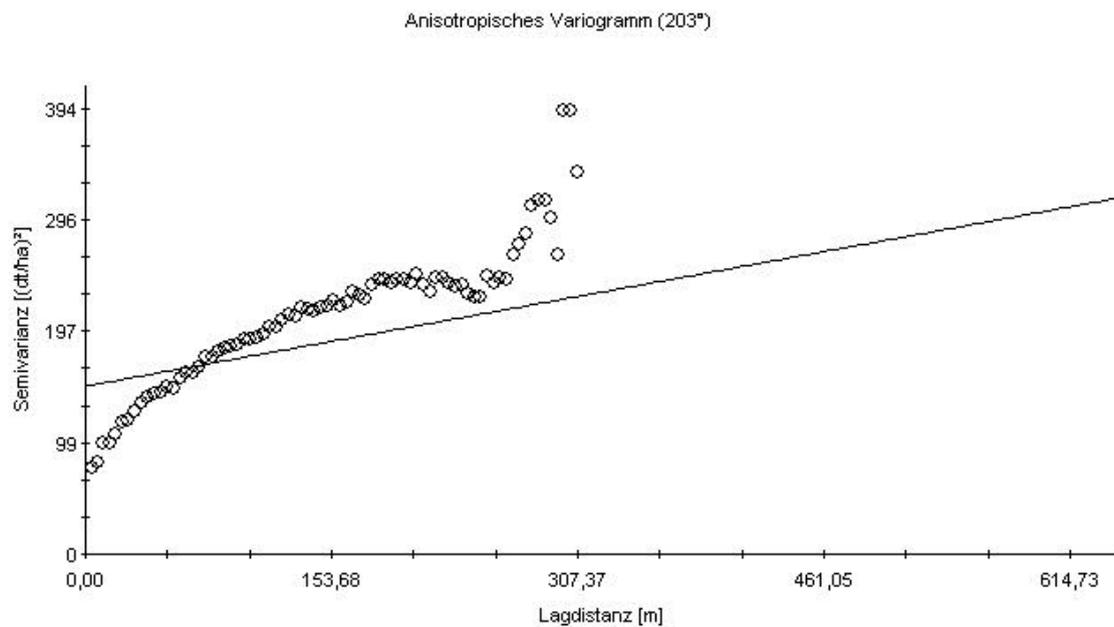


Exponential model ( $C_0 = 113.2000$ ;  $C_0 + C = 525.8235$ ;  $A_1 = 4961.00$ ;  
 $A_2 = 3330.00$ ;  $r^2 = 0.465$ ;  $RSS = 525063$ .)

**Abbildung 48:** Anisotrope Semivariogramme (113° und 203°) der Winterweizenertragswerte D01 1999 (Ag-Leader) mit maximaler Lagdistanz von 614 m (Ertragswerte nicht transformiert)



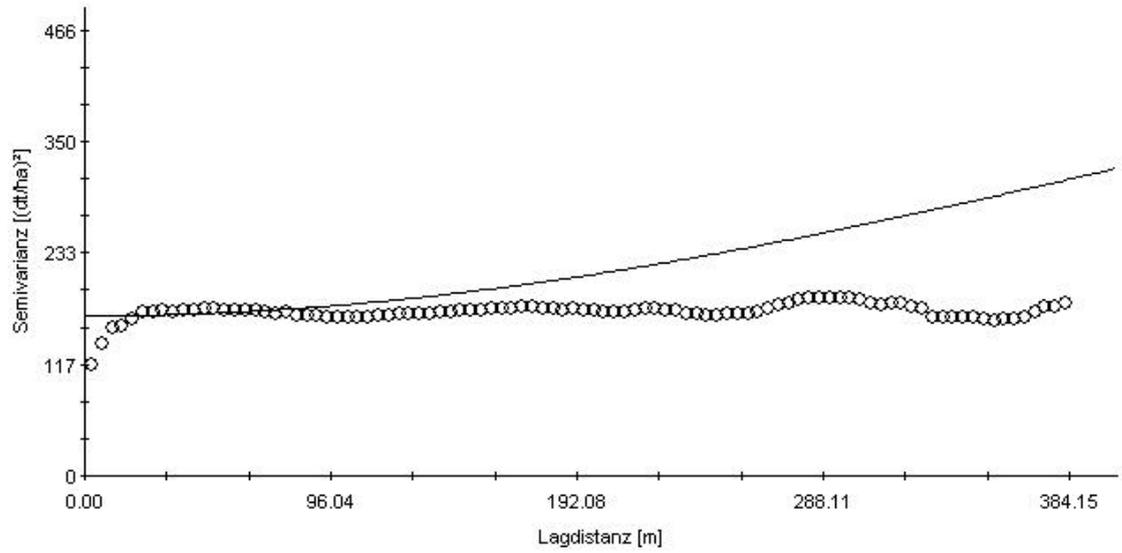
Linear model (Co = 148,6000; Co + C = 543,0080; A1 = 1528,00;  
A2 = 1528,00; r2 = 0,644; RSS = 1,197E+06)



Linear model (Co = 148,6000; Co + C = 543,0080; A1 = 1528,00;  
A2 = 1528,00; r2 = 0,644; RSS = 1,197E+06)

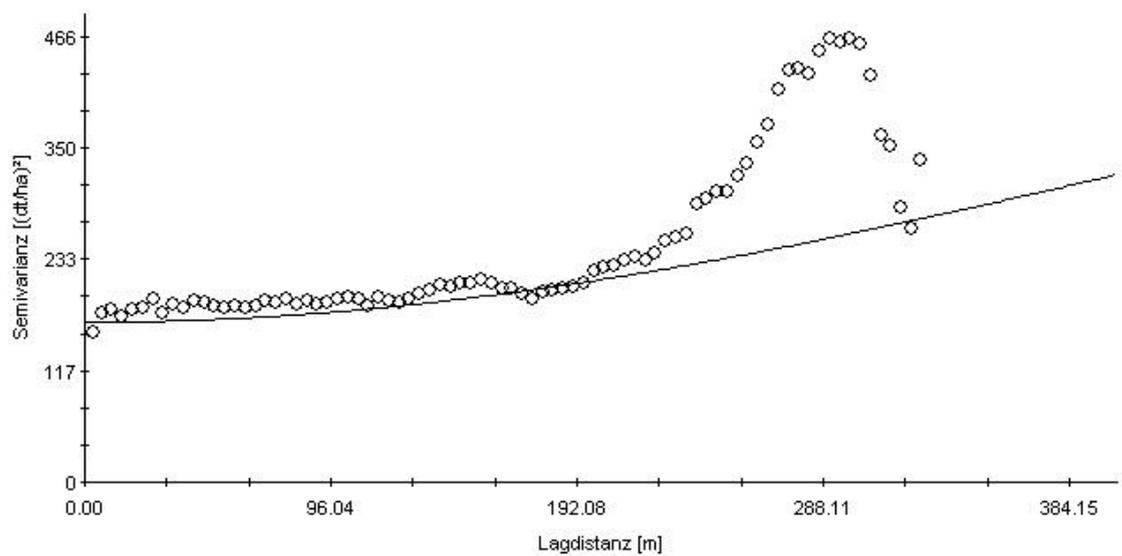
**Abbildung 49:** Anisotrope Semivariogramme (113° und 203°) der Winterweizenertragswerte D01 1999 (Flowcontrol) mit maximaler Lagdistanz von 615 m (Ertragswerte nicht transformiert)

Anisotropisches Variogramm (120°)



Gaussian model ( $C_0 = 167.3000$ ;  $C_0 + C = 633.8488$ ;  $A_1 = 634.70$ ;  
 $A_2 = 634.70$ ;  $r^2 = 0.625$ ;  $RSS = 968255$ .)

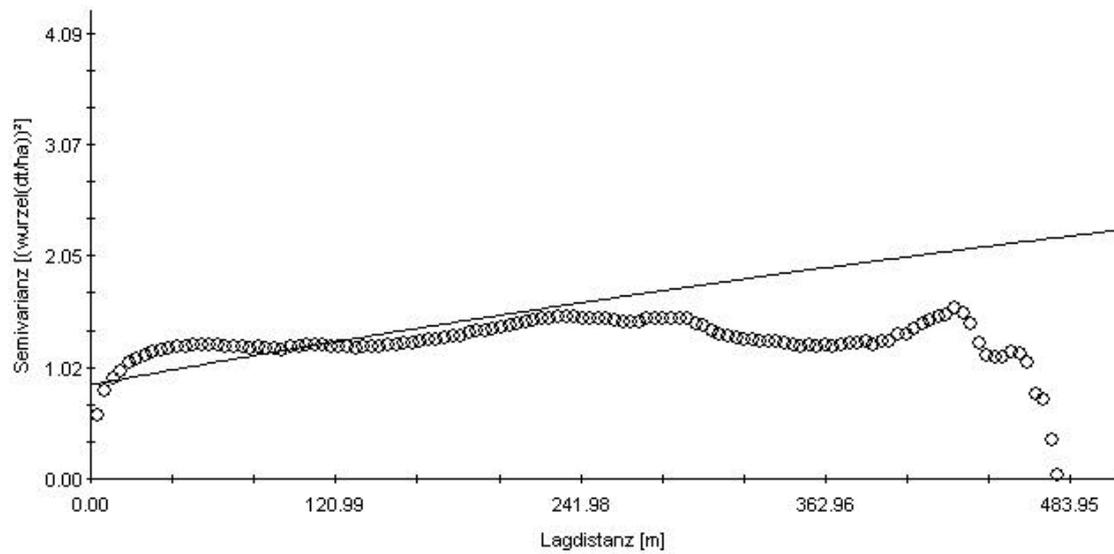
Anisotropisches Variogramm (210°)



Gaussian model ( $C_0 = 167.3000$ ;  $C_0 + C = 633.8488$ ;  $A_1 = 634.70$ ;  
 $A_2 = 634.70$ ;  $r^2 = 0.625$ ;  $RSS = 968255$ .)

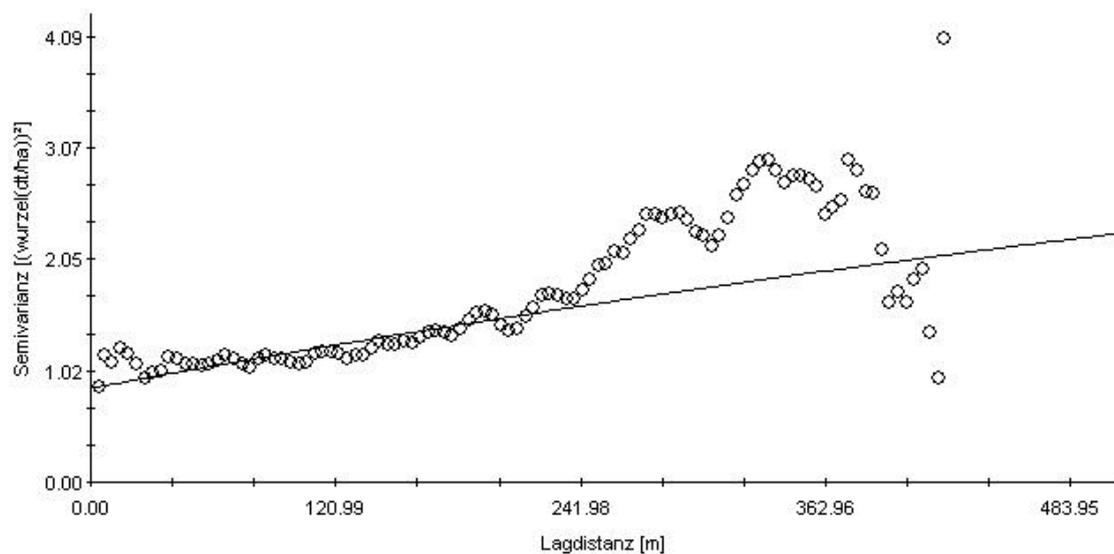
**Abbildung 50:** Anisotrope Semivariogramme (120° und 210°) der Winterweizenertragswerte D04 1997 (Ag-Leader) mit maximaler Lagdistanz von 384 m (Ertragswerte nicht transformiert)

Anisotropisches Variogramm (120°)



Exponential model ( $C_0 = 0.863$ ;  $C_0 + C = 4.955$ ;  $A_1 = 1191.00$ ;  
 $A_2 = 1191.00$ ;  $r^2 = 0.527$ ;  $RSS = 69.4$ )

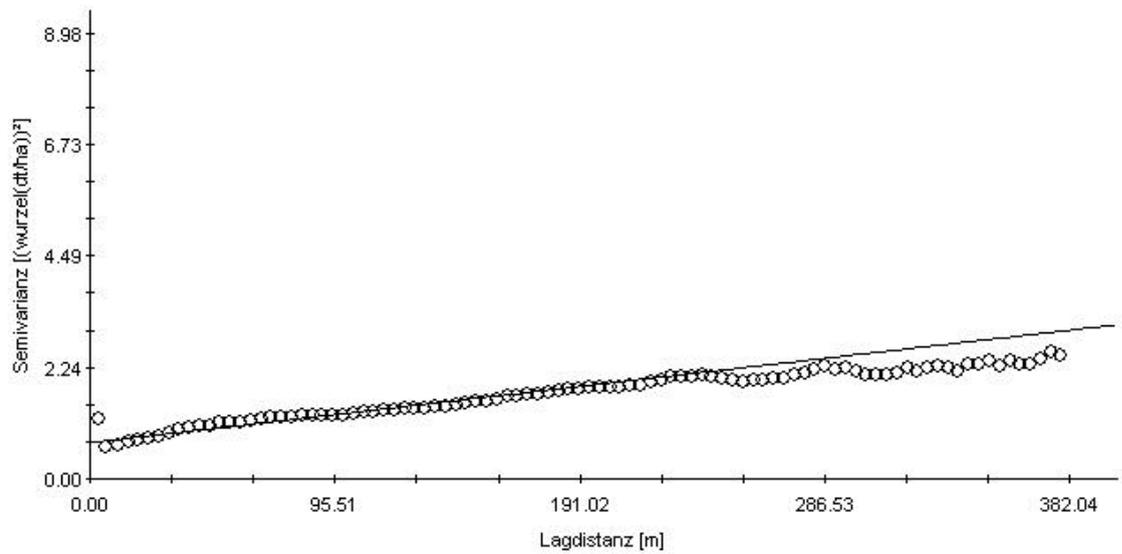
Anisotropisches Variogramm (210°)



Exponential model ( $C_0 = 0.863$ ;  $C_0 + C = 4.955$ ;  $A_1 = 1191.00$ ;  
 $A_2 = 1191.00$ ;  $r^2 = 0.527$ ;  $RSS = 69.4$ )

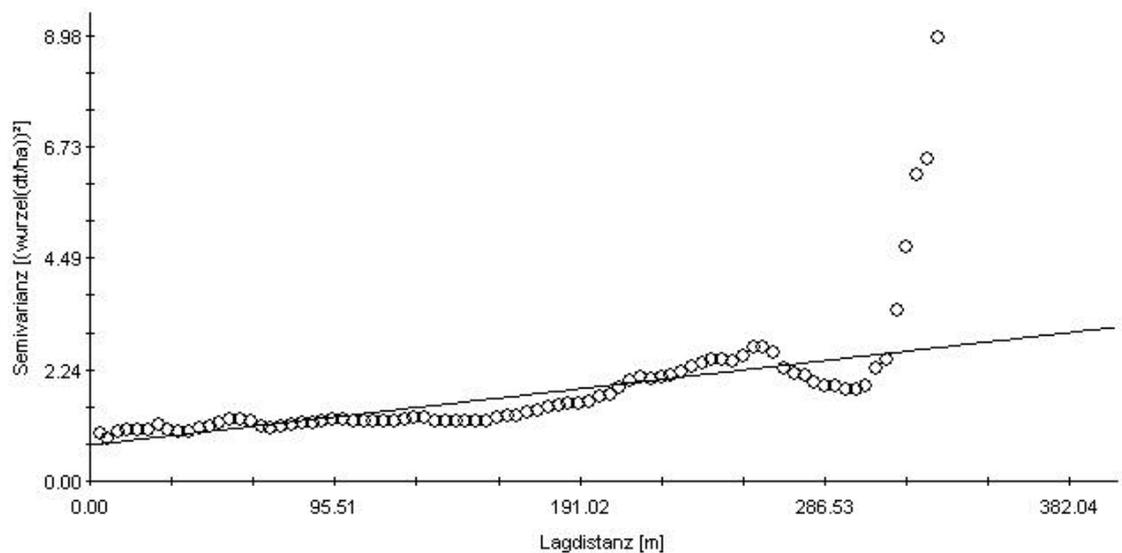
**Abbildung 51:** Anisotrope Semivariogramme (120° und 210°) der Erbsenertragswerte D04 1999 (Ag-Leader) mit maximaler Lagdistanz von 484 m (Ertragswerte transformiert)

Anisotropisches Variogramm (120°)



Linear model ( $C_0 = 0.728$ ;  $C_0 + C = 9.706$ ;  $A_1 = 1513.00$ ;  
 $A_2 = 1513.00$ ;  $r^2 = 0.772$ ;  $RSS = 99.2$ )

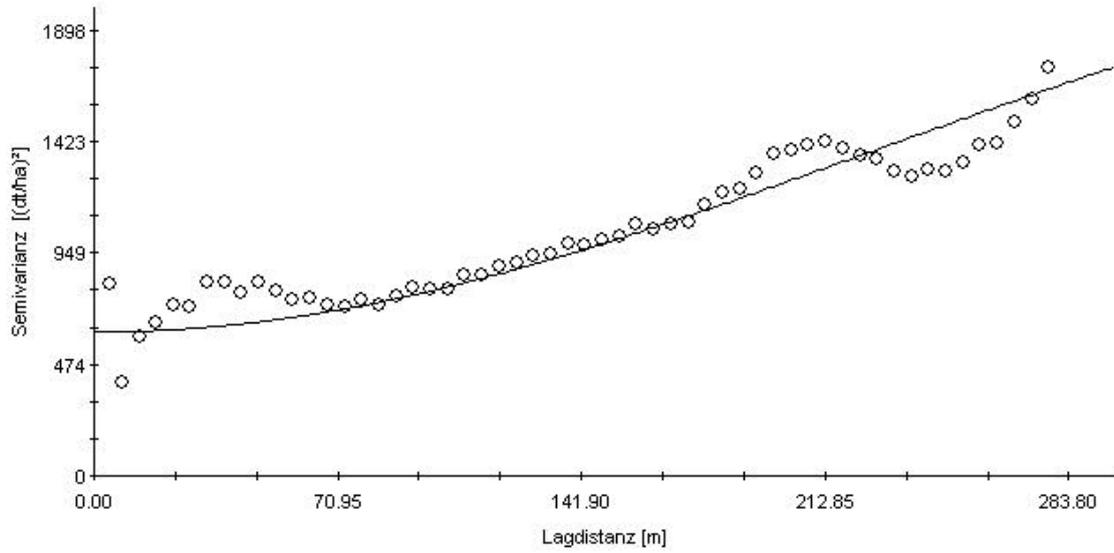
Anisotropisches Variogramm (210°)



Linear model ( $C_0 = 0.728$ ;  $C_0 + C = 9.706$ ;  $A_1 = 1513.00$ ;  
 $A_2 = 1513.00$ ;  $r^2 = 0.772$ ;  $RSS = 99.2$ )

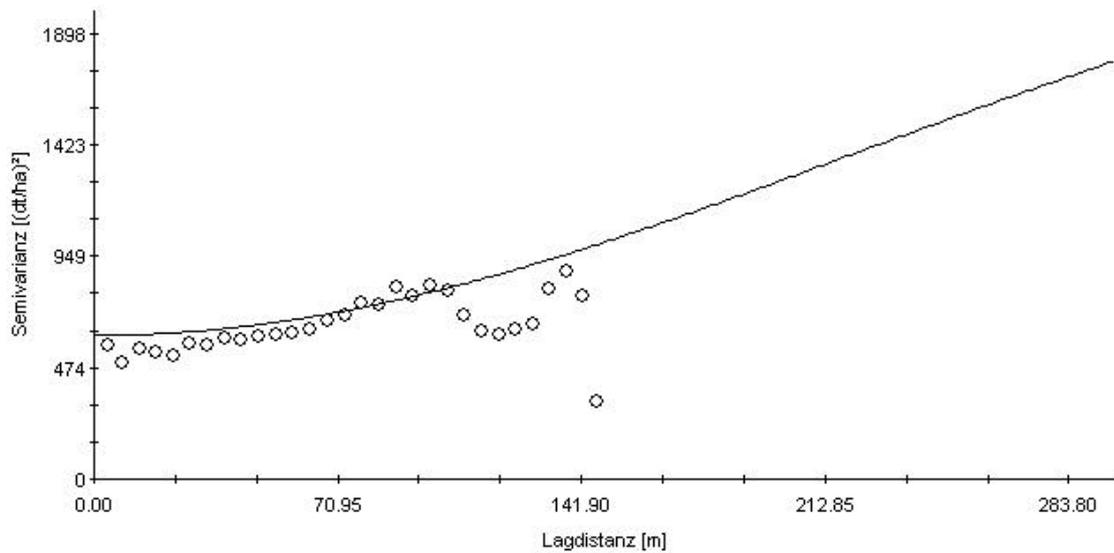
**Abbildung 52:** Anisotrope Semivariogramme (120° und 210°) der Erbsenertragswerte D04 1999 (Flowcontrol) mit maximaler Lagdistanz von 382 m (Ertragswerte transformiert)

Anisotropisches Variogramm (17°)



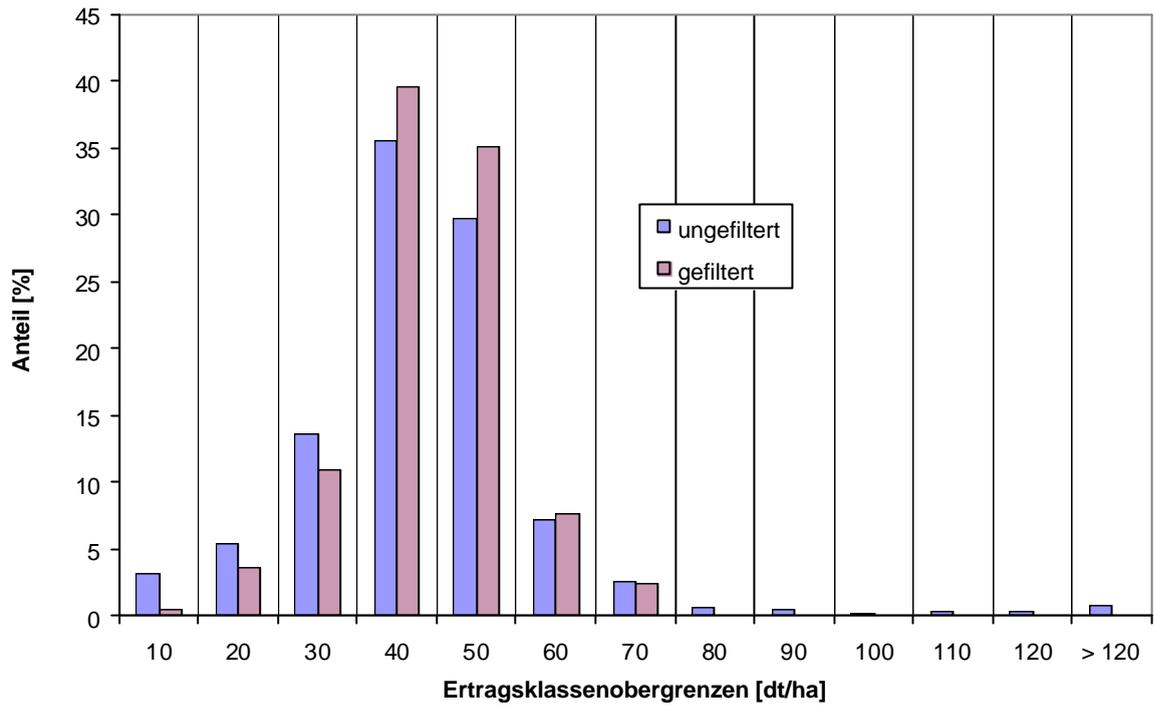
Gaussian model (Co = 612.0000; Co + C = 2577.8461; A1 = 321.50;  
A2 = 313.00; r2 = 0.664; RSS = 4.926E+06)

Anisotropisches Variogramm (107°)

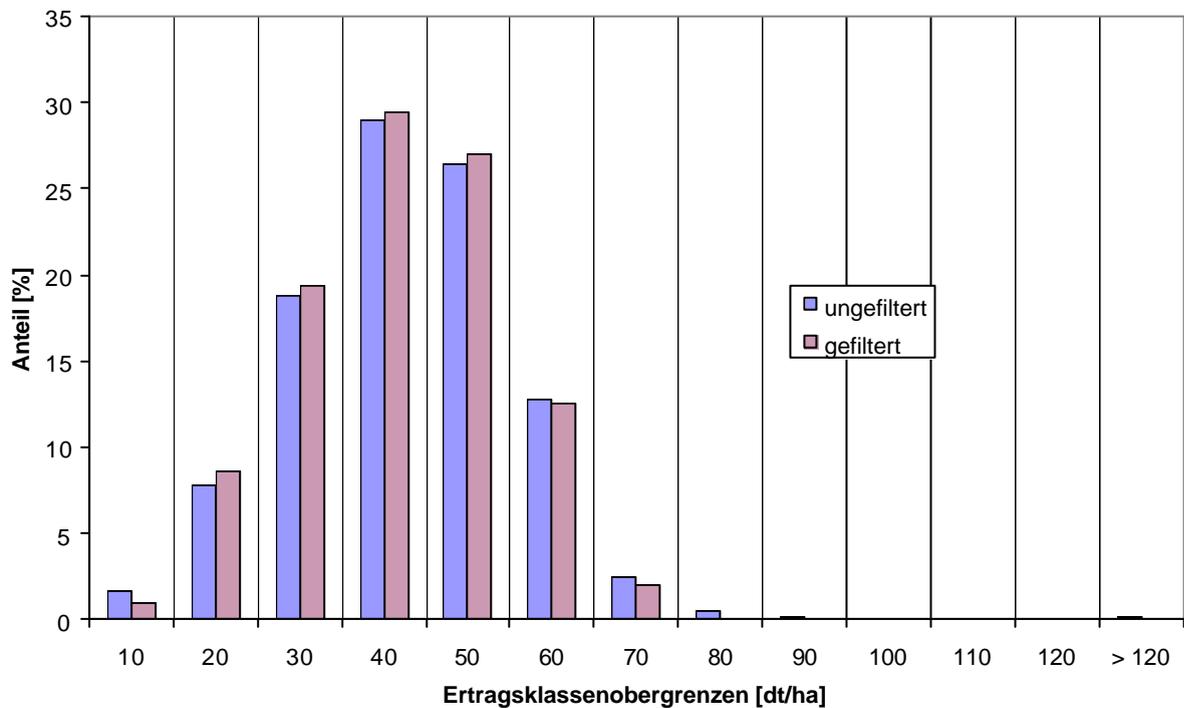


Gaussian model (Co = 612.0000; Co + C = 2577.8461; A1 = 321.50;  
A2 = 313.00; r2 = 0.664; RSS = 4.926E+06)

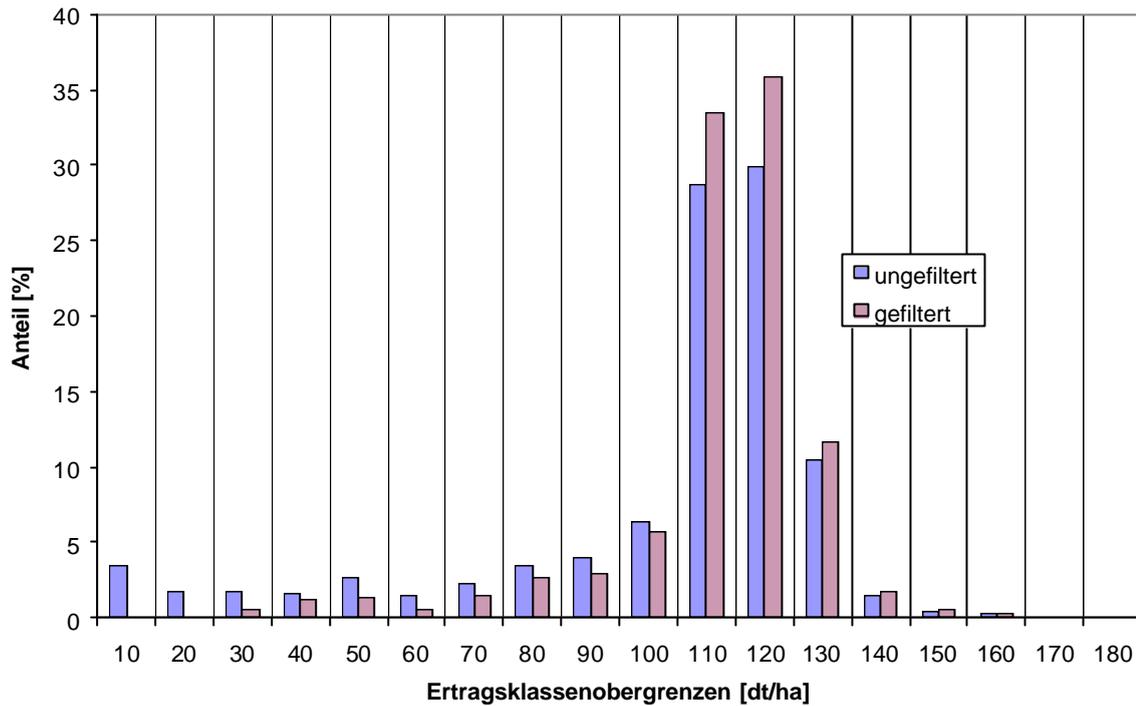
**Abbildung 53:** Anisotrope Semivariogramme (17° und 107°) der Körnermaisertragswerte D08 1998 (Claas-Agrocom) mit maximaler Lagdistanz von 284 m (Ertragswerte nicht transformiert)



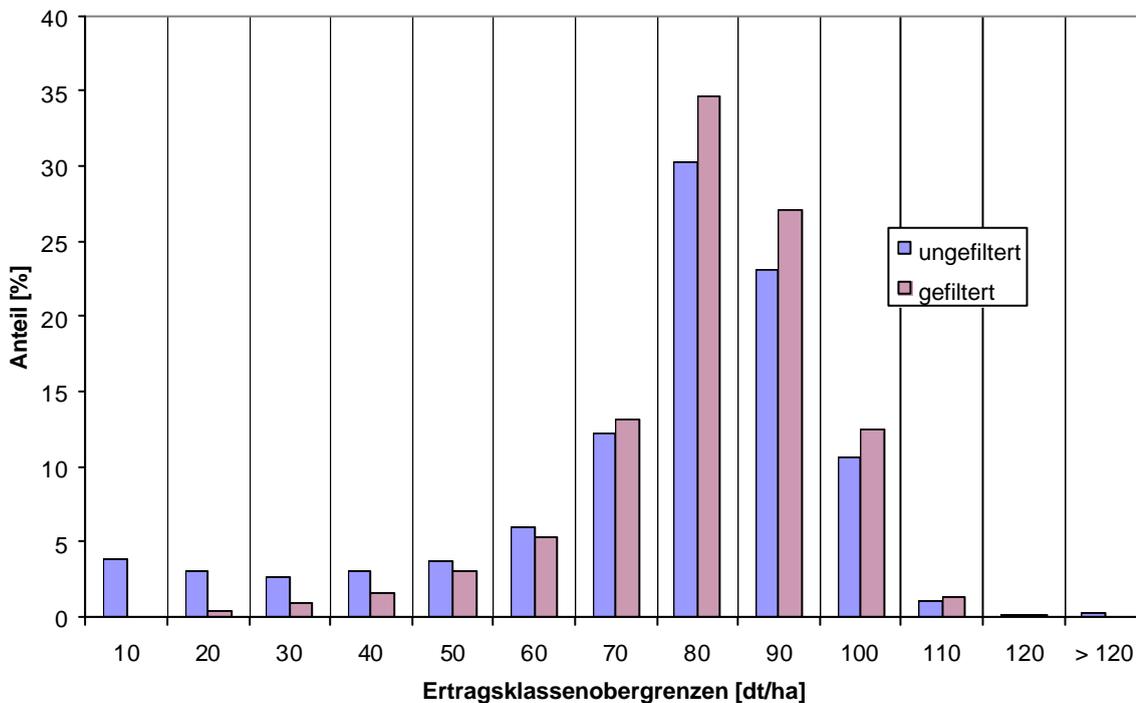
**Abbildung 54:** Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Erbsenmähdrusch auf Schlag D04 1999 (Flowcontrol)



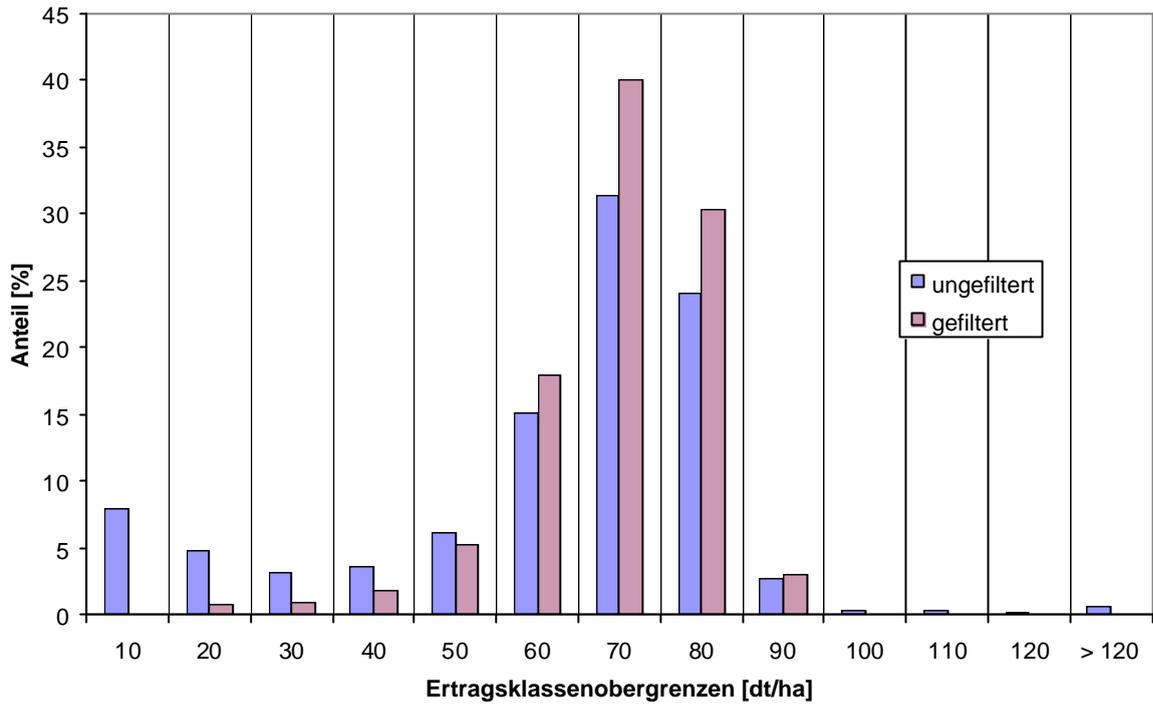
**Abbildung 55:** Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Erbsenmähdrusch auf Schlag D04 1999 (Ag-Leader)



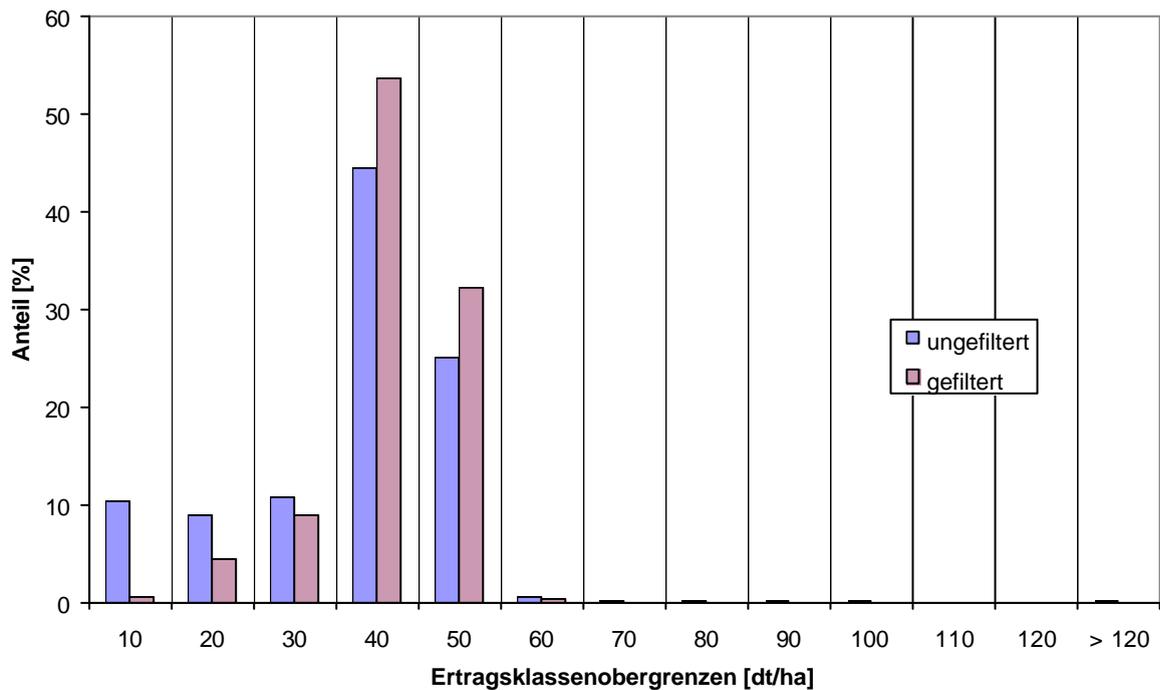
**Abbildung 56:** Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Körnermaismähdrusch auf Schlag D08 1998



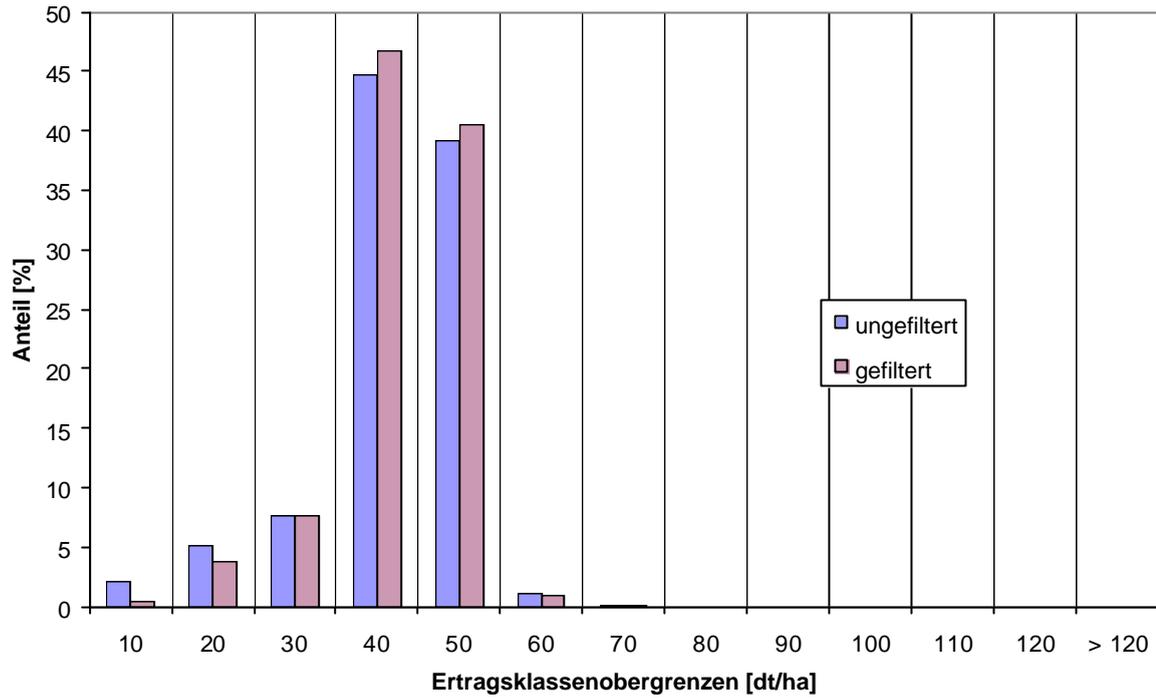
**Abbildung 57:** Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Winterweizenmähdrusch auf Schlag D01 1999 (Flowcontrol)



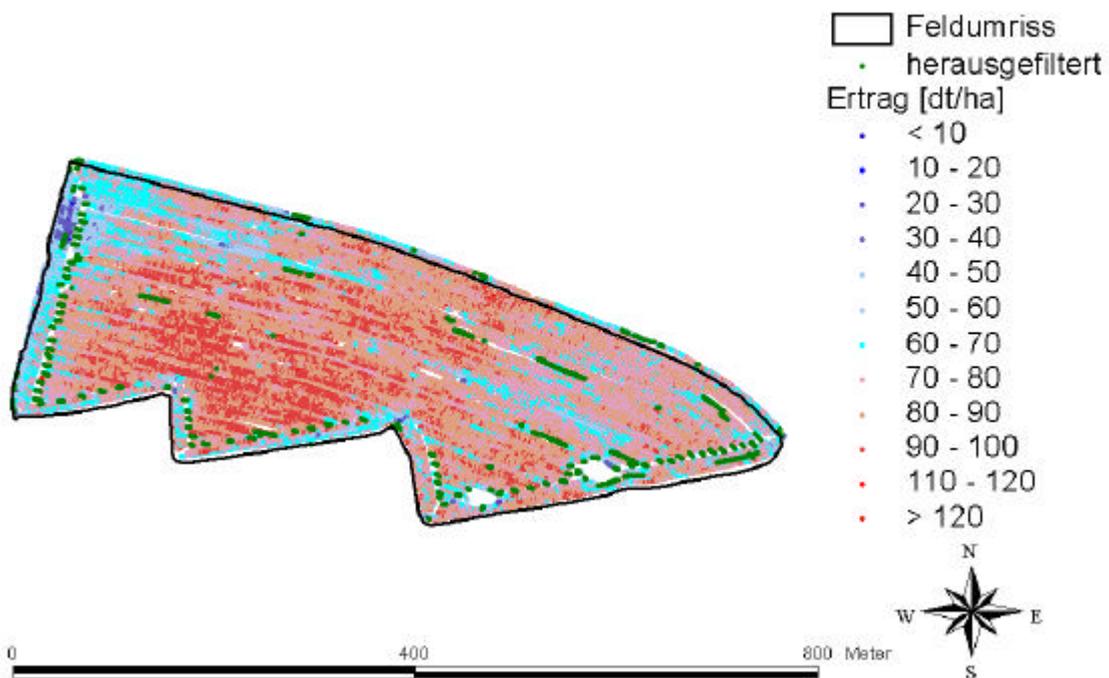
**Abbildung 58:** Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Winterweizenmähdusch auf Schlag D01 1995 (Ag-Leader)



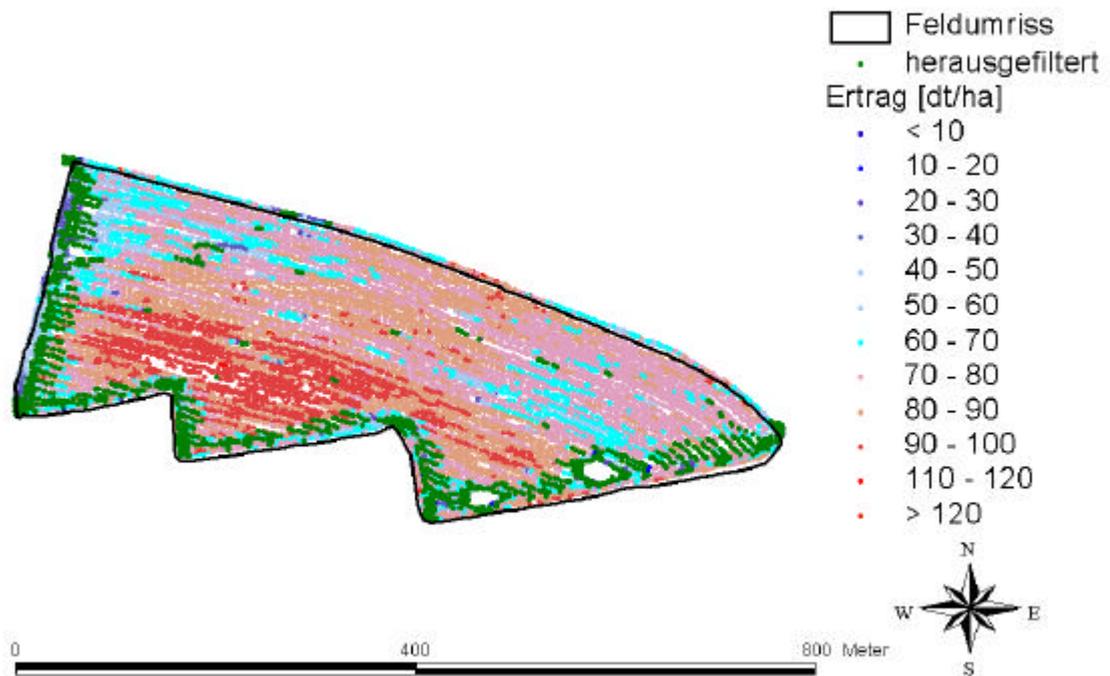
**Abbildung 59:** Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Wintergerstenmähdusch auf Schlag D13 2000 (Flowcontrol)



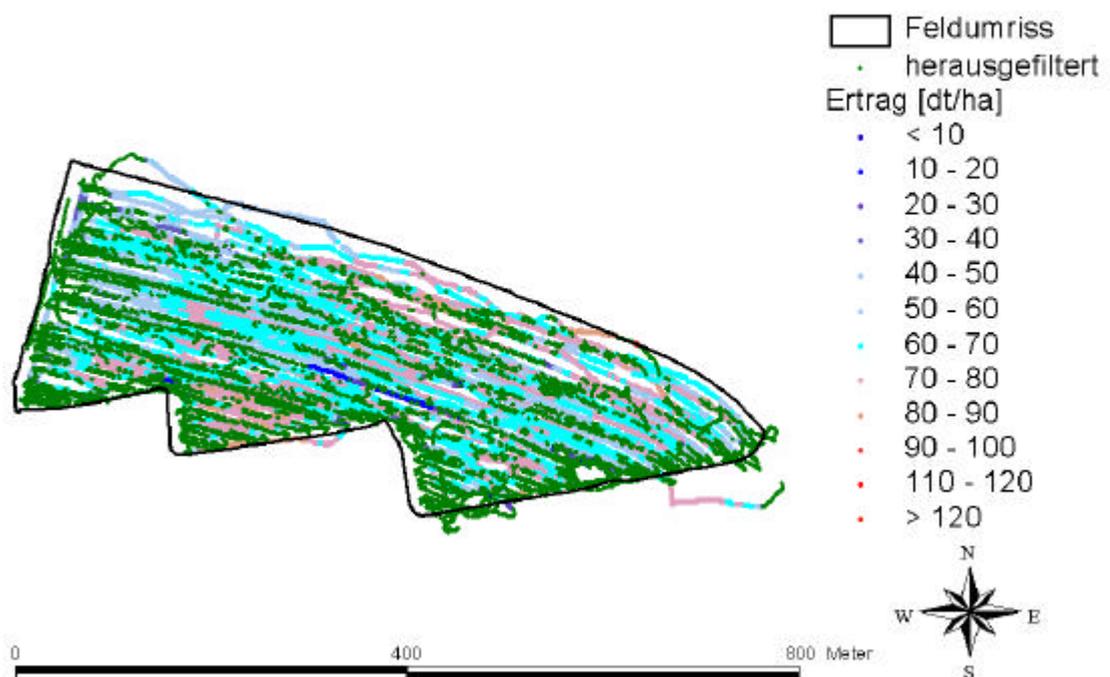
**Abbildung 60:** Relative Häufigkeitsverteilung der ungefilterten und gefilterten Ertragswerte des Wintergerstenmähdusch auf Schlag D13 2000 (Ag-Leader)



**Abbildung 61:** Bereinigte Ertragswerte des Winterweizenmähdusch Schlag D01 1999 (Ag-Leader)

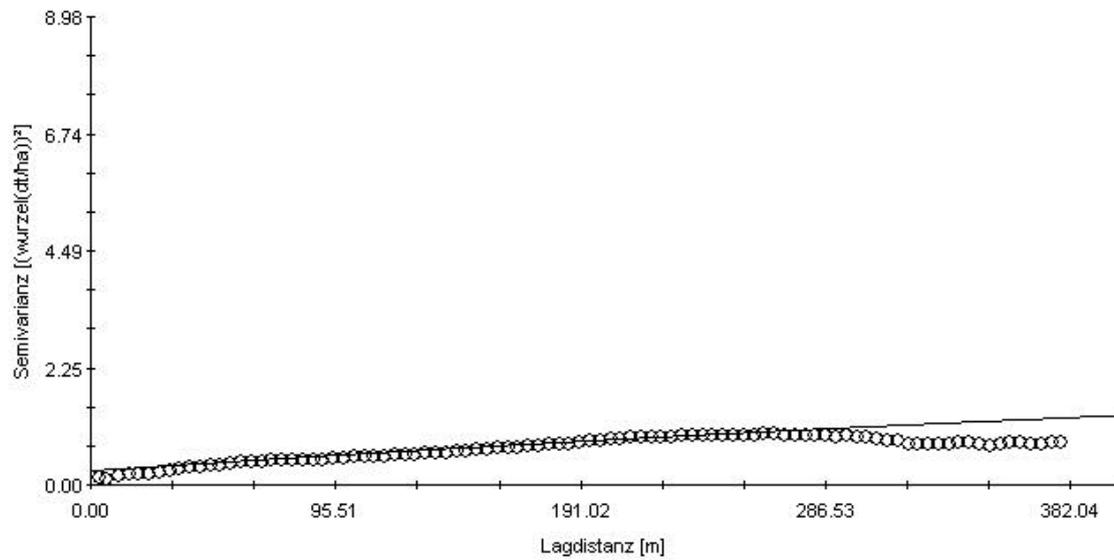


**Abbildung 62:** Bereinigte Ertragswerte des Winterweizenmähdrusch Schlag D01 1999 (Flowcontrol)



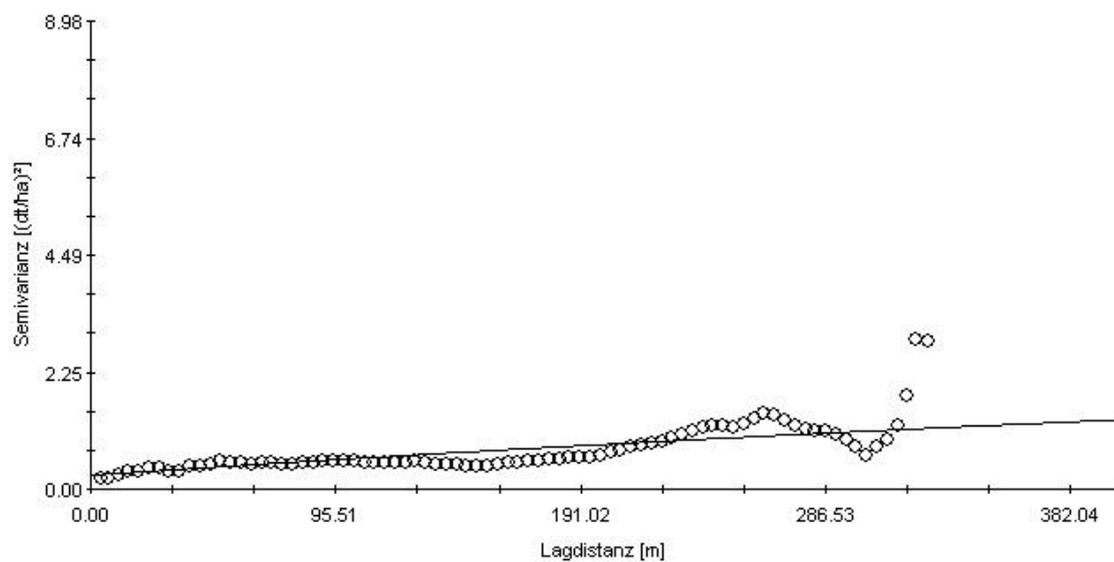
**Abbildung 63:** Bereinigte Ertragswerte des Winterweizenmähdrusch Schlag D01 1995 (Ag-Leader)

Anisotropisches Variogramm (120°)



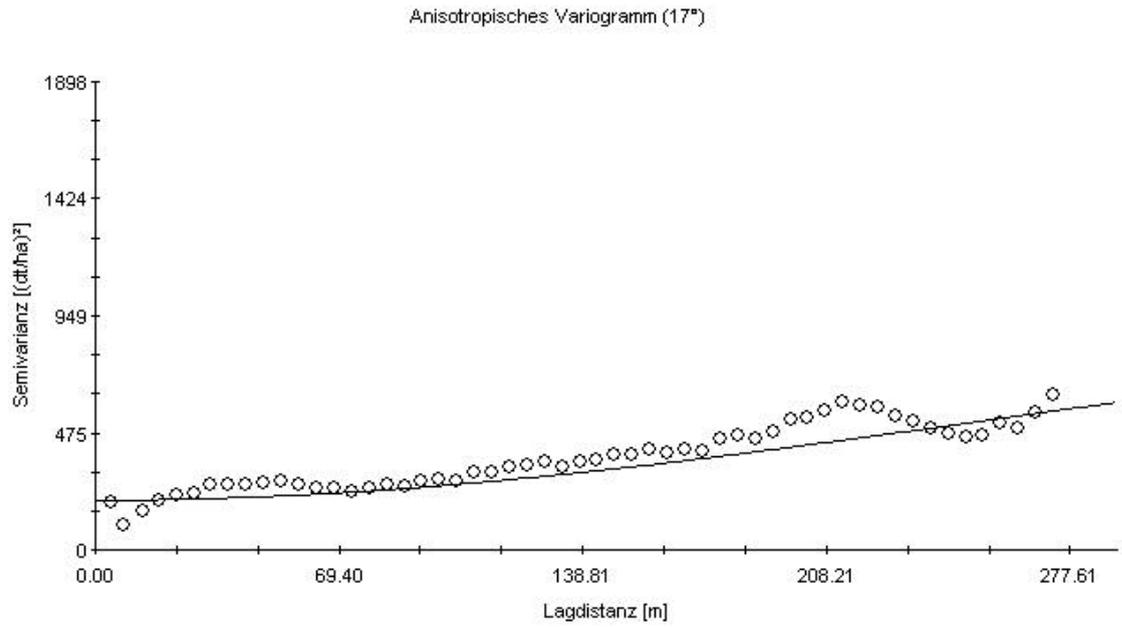
Exponential model ( $C_0 = 0.2660$ ;  $C_0 + C = 3.1639$ ;  $A_1 = 875.80$ ;  
 $A_2 = 875.80$ ;  $r_2 = 0.745$ ;  $RSS = 15.1$ )

Anisotropisches Variogramm (210°)

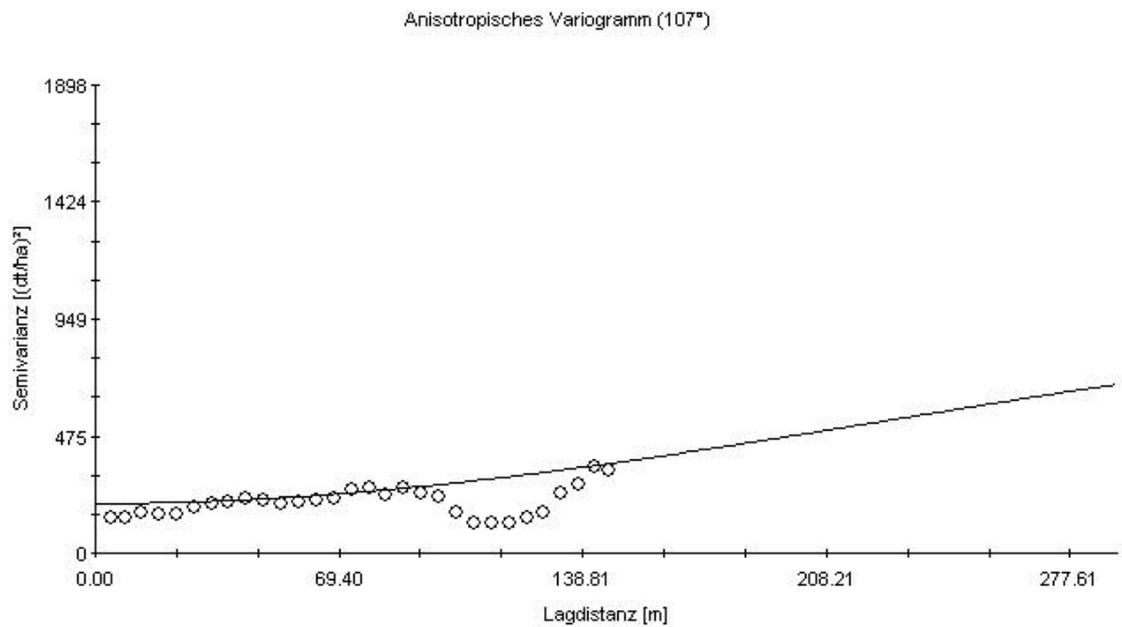


Exponential model ( $C_0 = 0.2660$ ;  $C_0 + C = 3.1639$ ;  $A_1 = 875.80$ ;  
 $A_2 = 875.80$ ;  $r_2 = 0.745$ ;  $RSS = 15.1$ )

**Abbildung 64:** Anisotropische Semivariogramme (120° und 210°) der bereinigten Erbsenertragswerte D04 1999 (Flowcontrol) mit maximaler Lagdistanz von 382 m (Ertragswerte transformiert)



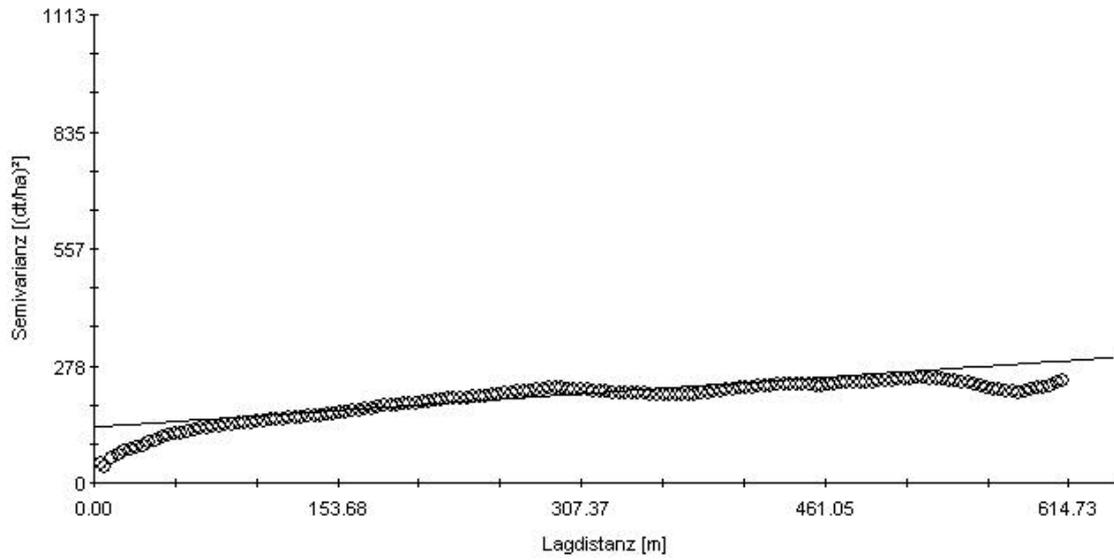
Gaussian model (Co = 201.3000; Co + C = 1065.5690; A1 = 370.60;  
A2 = 321.30; r2 = 0.452; RSS = 3.073E+06)



Gaussian model (Co = 201.3000; Co + C = 1065.5690; A1 = 370.60;  
A2 = 321.30; r2 = 0.452; RSS = 3.073E+06)

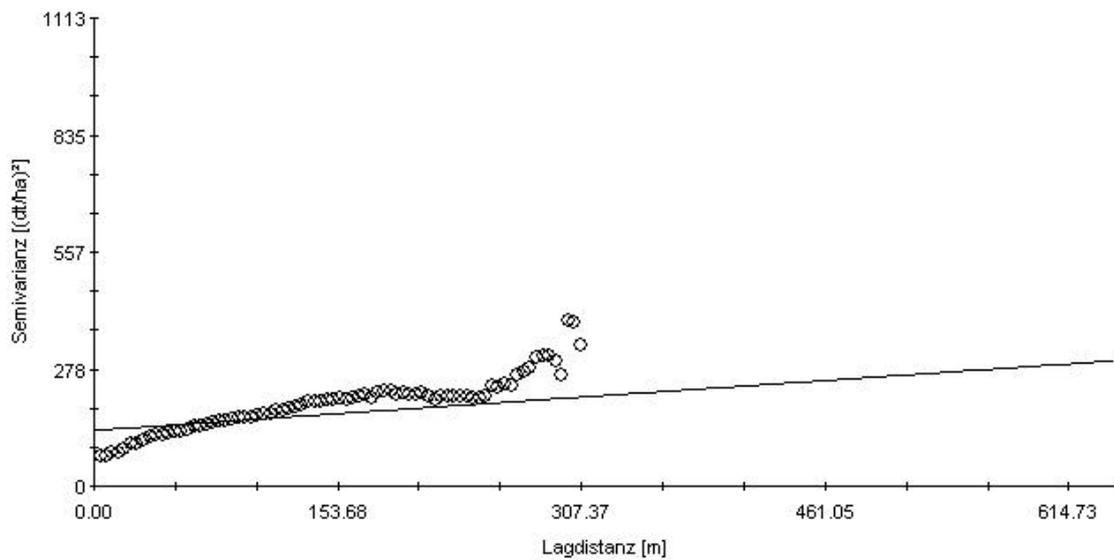
**Abbildung 65:** Anisotropische Semivariogramme (17° und 107°) der bereinigten Körnermaisertragswerte D08 1998 (Claas-AC) mit maximaler Lagdistanz von 278 m

Anisotropisches Variogramm (113°)



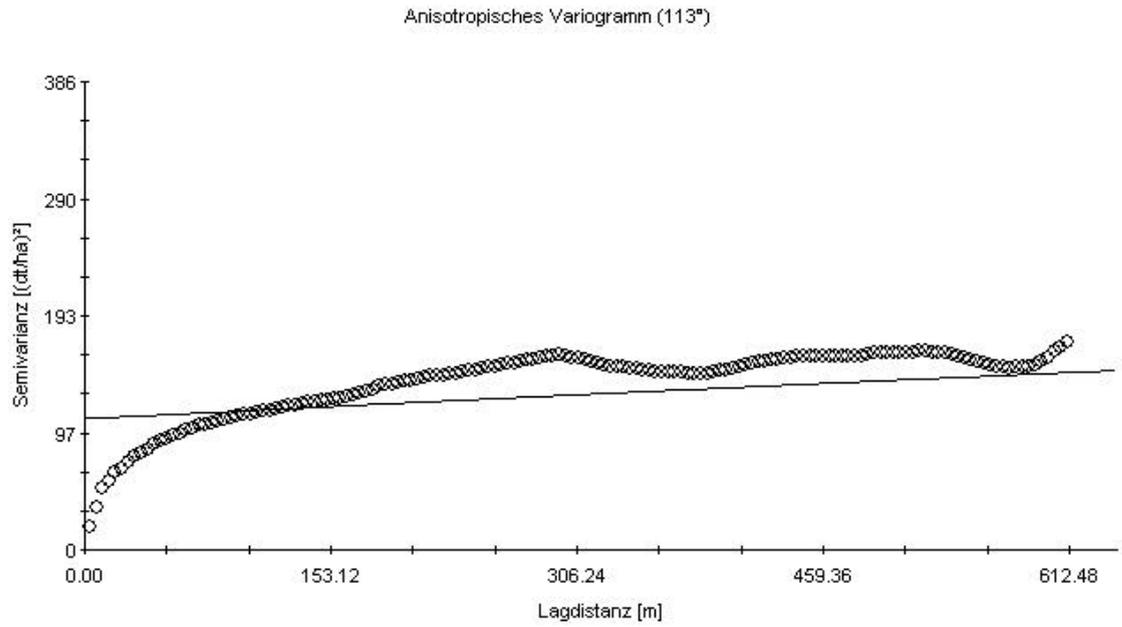
Linear to sill model (Co = 132.8000; Co + C = 528.3367; A1 = 1539.00;  
A2 = 1539.00; r2 = 0.646; RSS = 1.072E+06)

Anisotropisches Variogramm (203°)

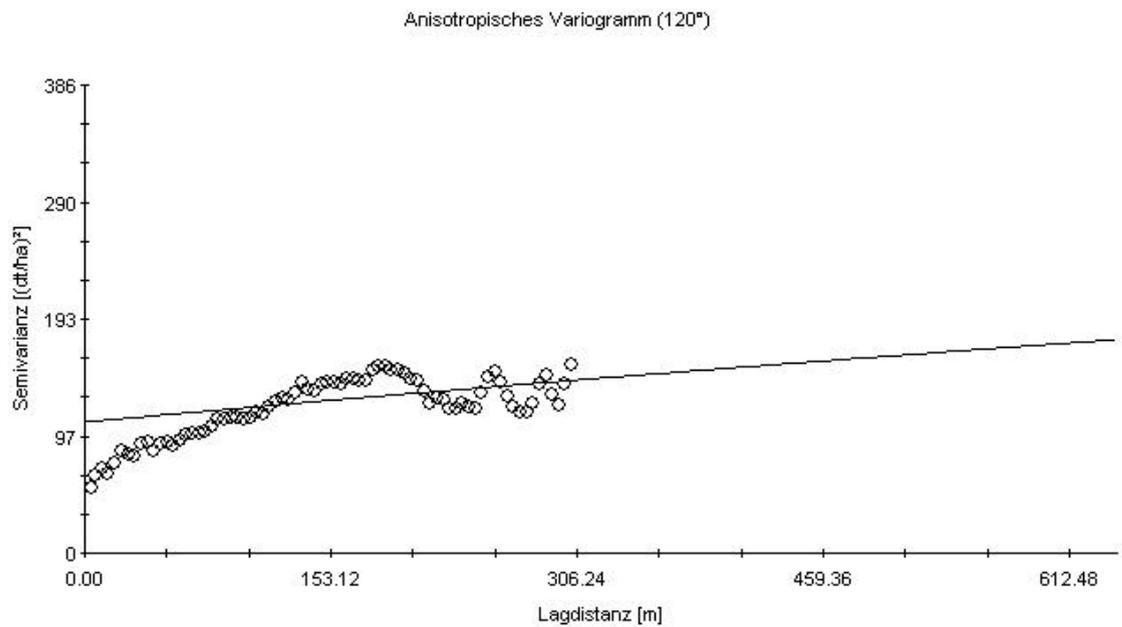


Linear to sill model (Co = 132.8000; Co + C = 528.3367; A1 = 1539.00;  
A2 = 1539.00; r2 = 0.646; RSS = 1.072E+06)

**Abbildung 66:** Anisotropische Semivariogramme (113° und 203°) der bereinigten Winterweizen-  
ertragswerte D01 1999 (Flowcontrol) mit maximaler Lagdistanz von 615 m



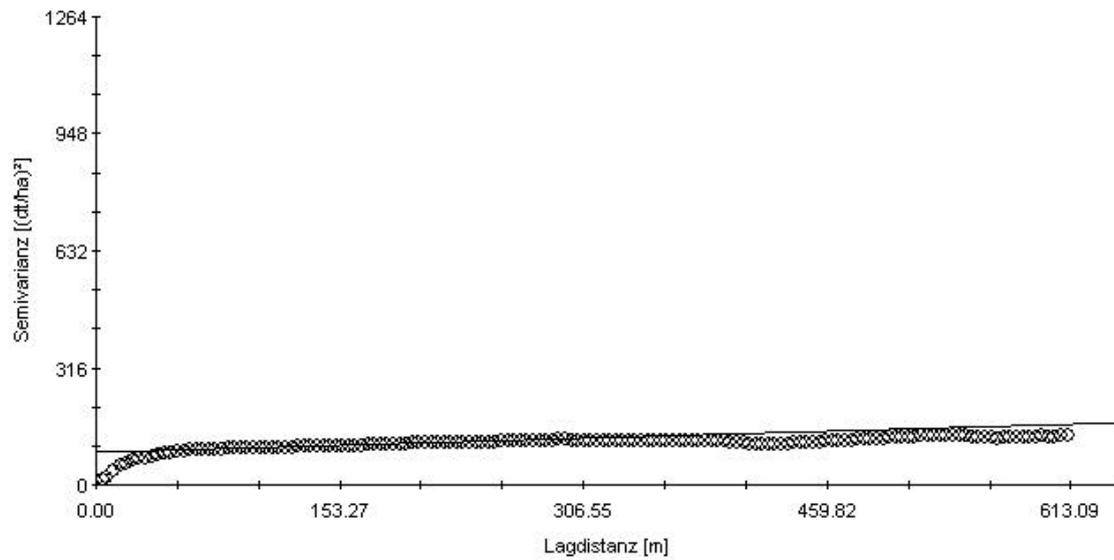
Exponential model ( $C_0 = 108.1000$ ;  $C_0 + C = 391.1618$ ;  $A_1 = 4231.00$ ;  
 $A_2 = 2342.00$ ;  $r^2 = 0.460$ ;  $RSS = 416803$ .)



Exponential model ( $C_0 = 108.1000$ ;  $C_0 + C = 391.1618$ ;  $A_1 = 4231.00$ ;  
 $A_2 = 2342.00$ ;  $r^2 = 0.460$ ;  $RSS = 416803$ .)

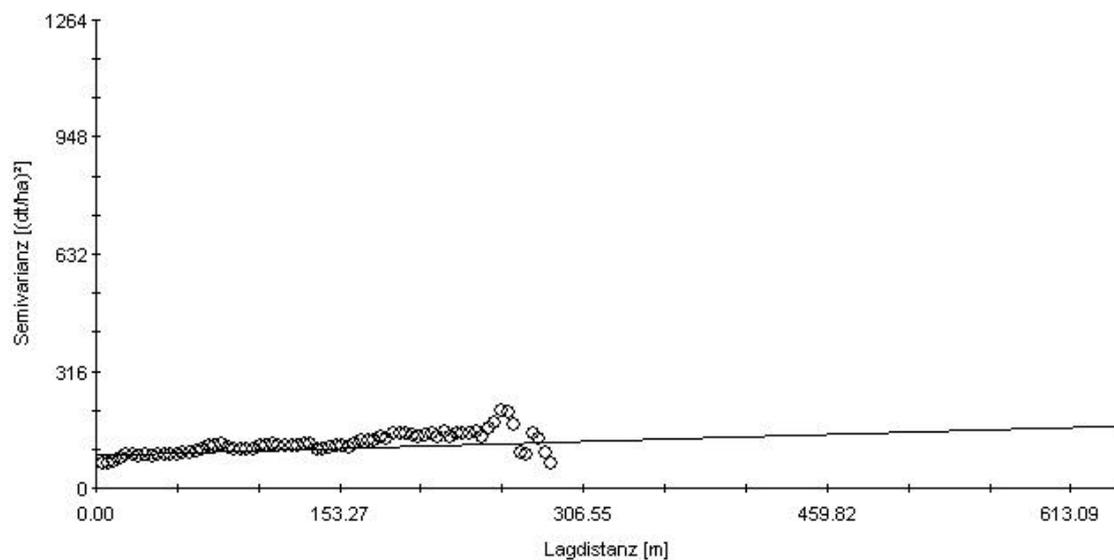
**Abbildung 67:** Anisotropische Semivariogramme (113° und 203°) der bereinigten Winterweizen-ertragswerte D01 1999 (Ag-Leader) mit maximaler Lagdistanz von 615 m

Anisotropisches Variogramm (113°)



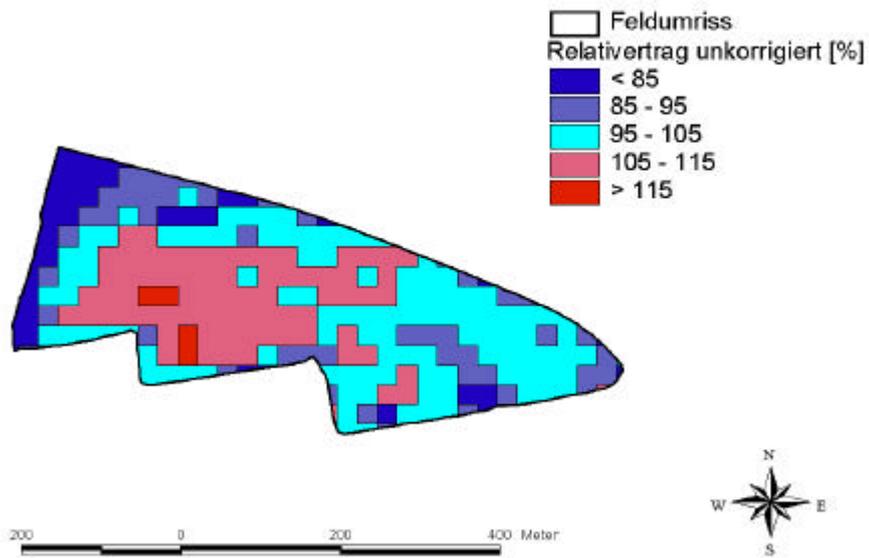
Linear model (Co = 88.0000; Co + C = 299.5732; A1 = 1708.00;  
A2 = 1708.00; r2 = 0.410; RSS = 425459.)

Anisotropisches Variogramm (203°)

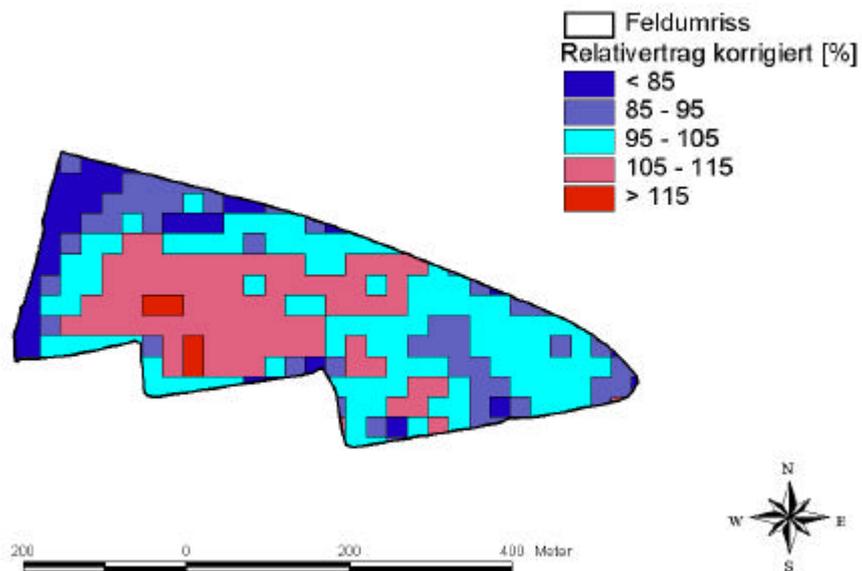


Linear model (Co = 88.0000; Co + C = 299.5732; A1 = 1708.00;  
A2 = 1708.00; r2 = 0.410; RSS = 425459.)

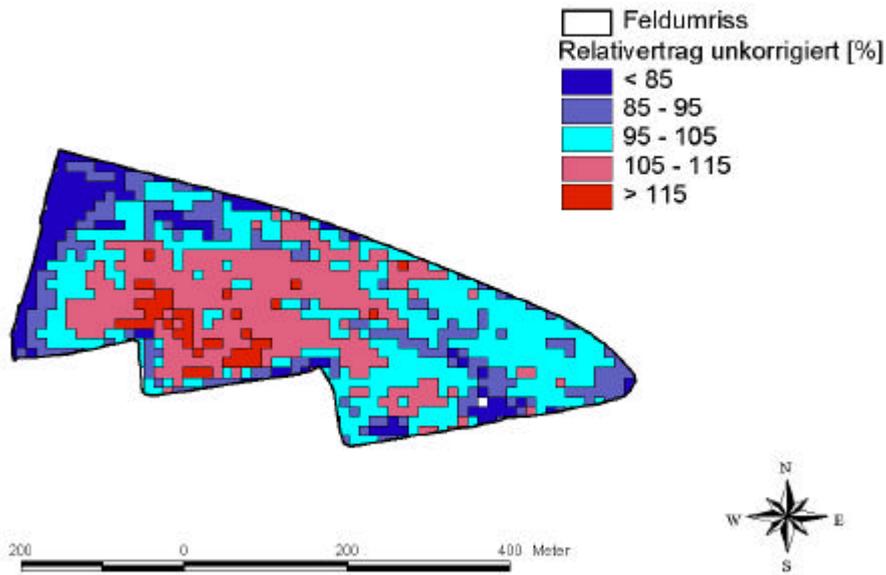
**Abbildung 68:** Anisotropische Semivariogramme (113° und 203° der bereinigten Winterweizen-ertragswerte D01 1995 (Ag-Leader) mit maximaler Lagdistanz von 615 m



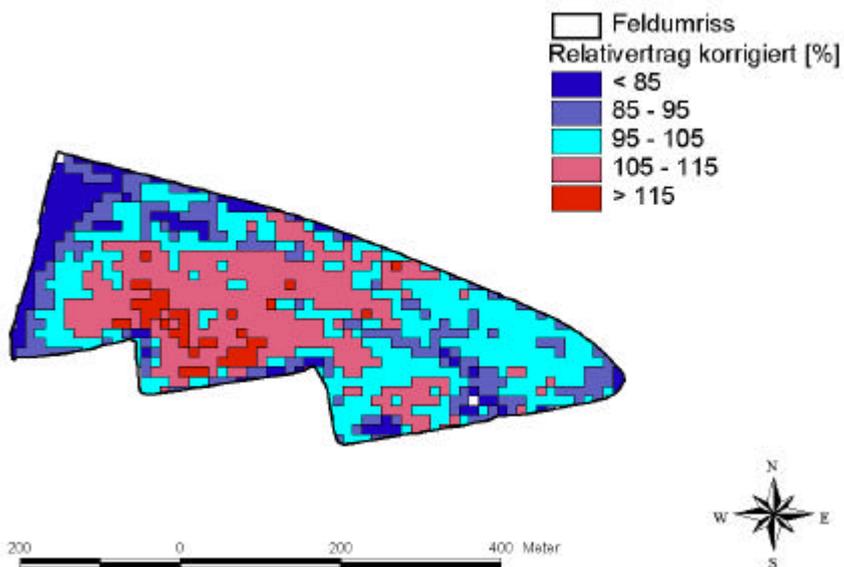
25 m-Raster, ungefiltert, Ag-Leader,  $\emptyset = 79$  dt/ha



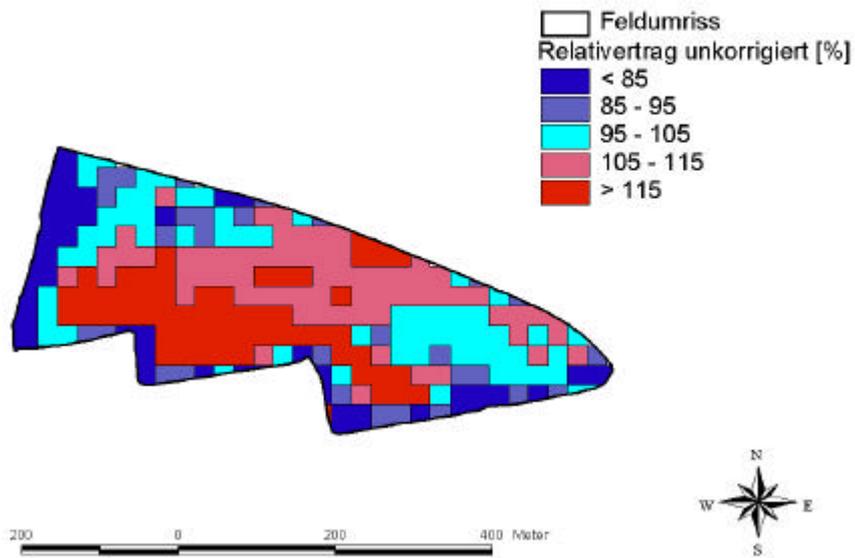
25 m-Raster, gefiltert, Ag-Leader,  $\emptyset = 79$  dt/ha



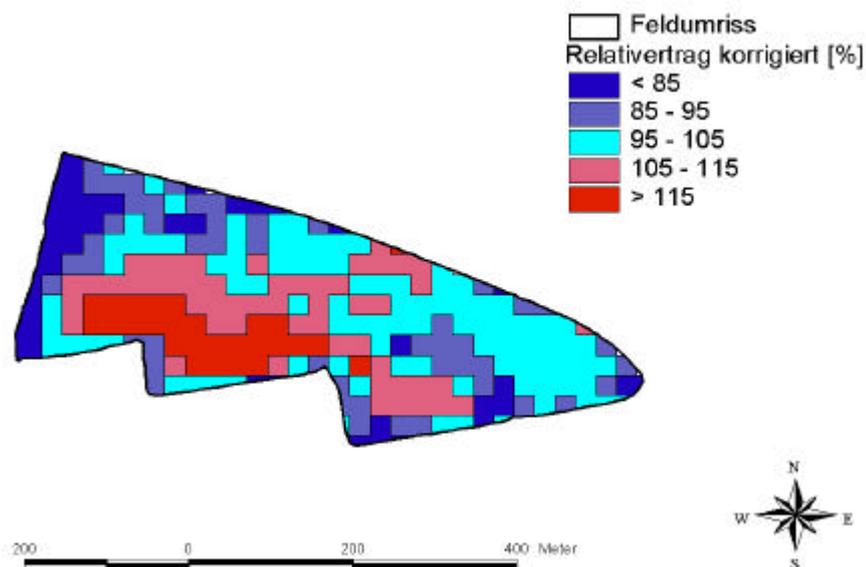
12 m-Raster, ungefiltert, Ag-Leader,  $\emptyset = 79$  dt/ha



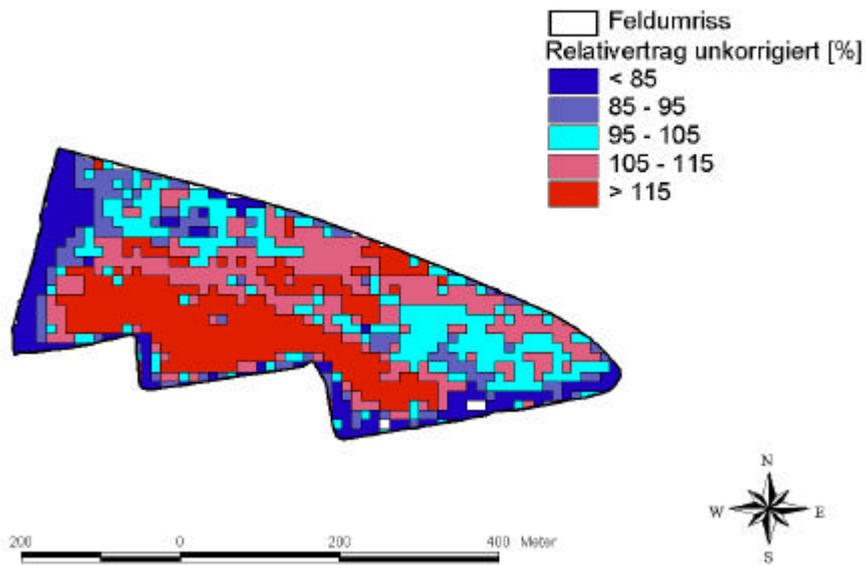
12 m-Raster, gefiltert, Ag-Leader,  $\emptyset = 79$  dt/ha



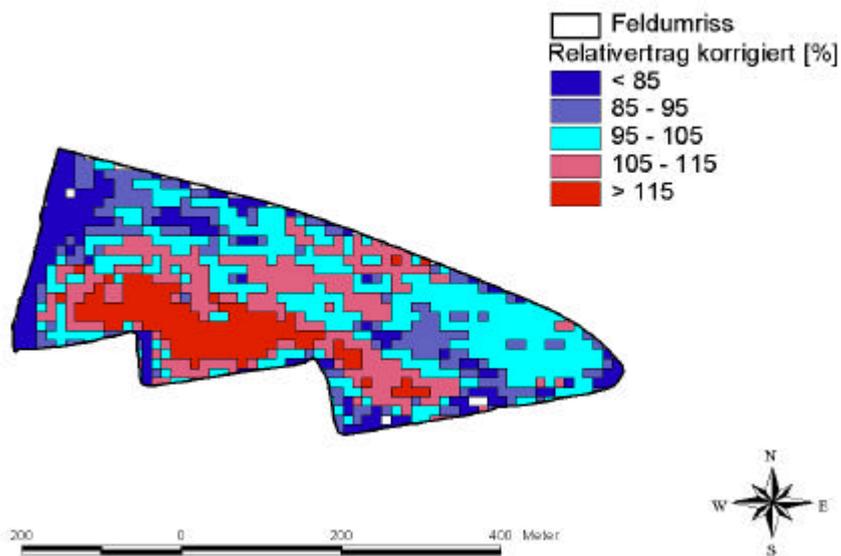
25 m-Raster, ungefiltert, Flowcontrol,  $\emptyset = 72$  dt/ha



25 m-Raster, gefiltert, Flowcontrol,  $\emptyset = 77$  dt/ha

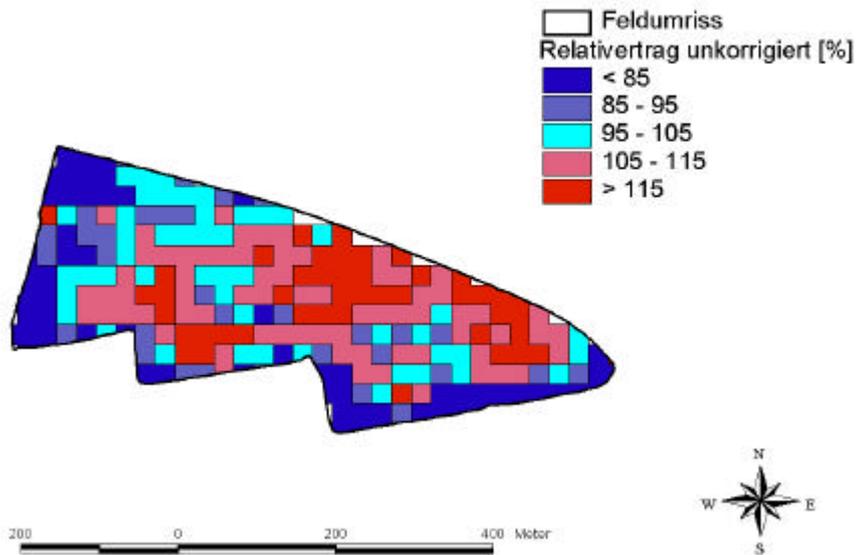


12 m-Raster, ungefiltert, Flowcontrol,  $\bar{\varnothing} = 72$  dt/ha

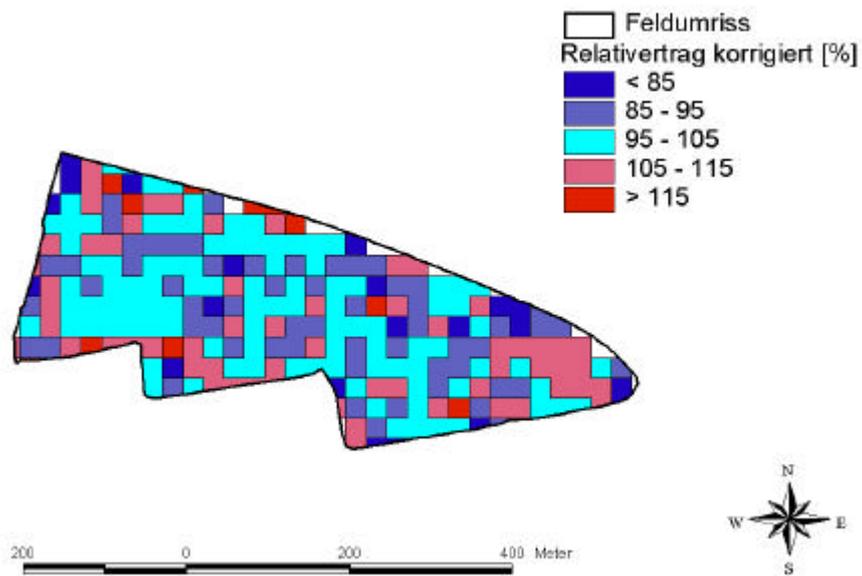


12 m-Raster, gefiltert, Flowcontrol,  $\bar{\varnothing} = 77$  dt/ha

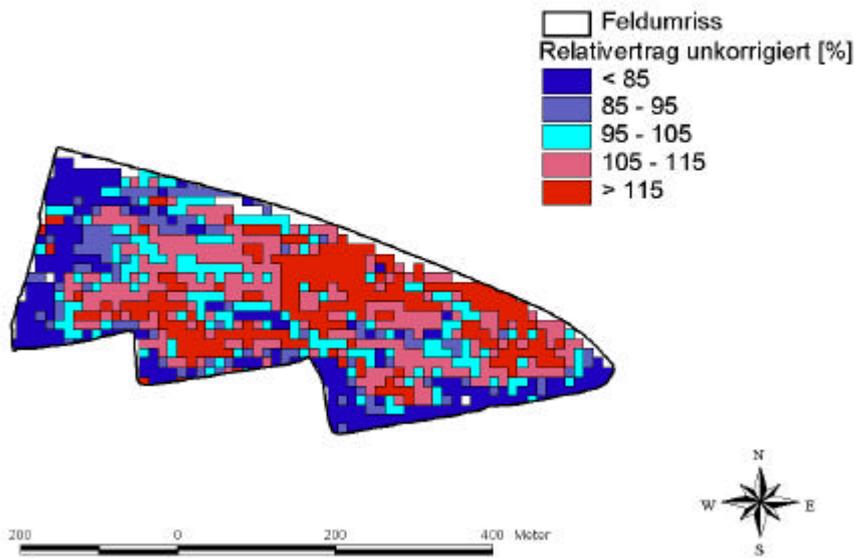
**Abbildung 69:** Relativertragskarten der Ernte D01 1999 (Winterweizen)



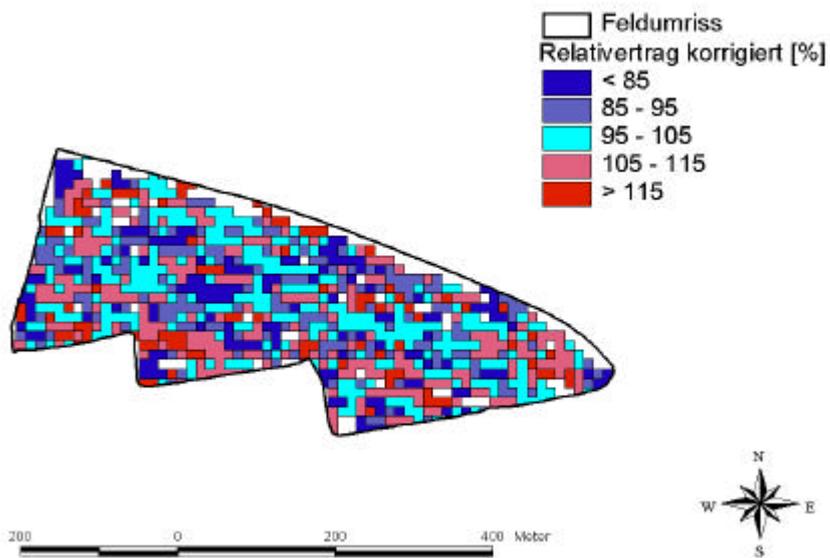
25 m-Raster, ungefiltert,  $\bar{\varnothing} = 63$  dt/ha



25 m-Raster, gefiltert,  $\bar{\varnothing} = 63$  dt/ha

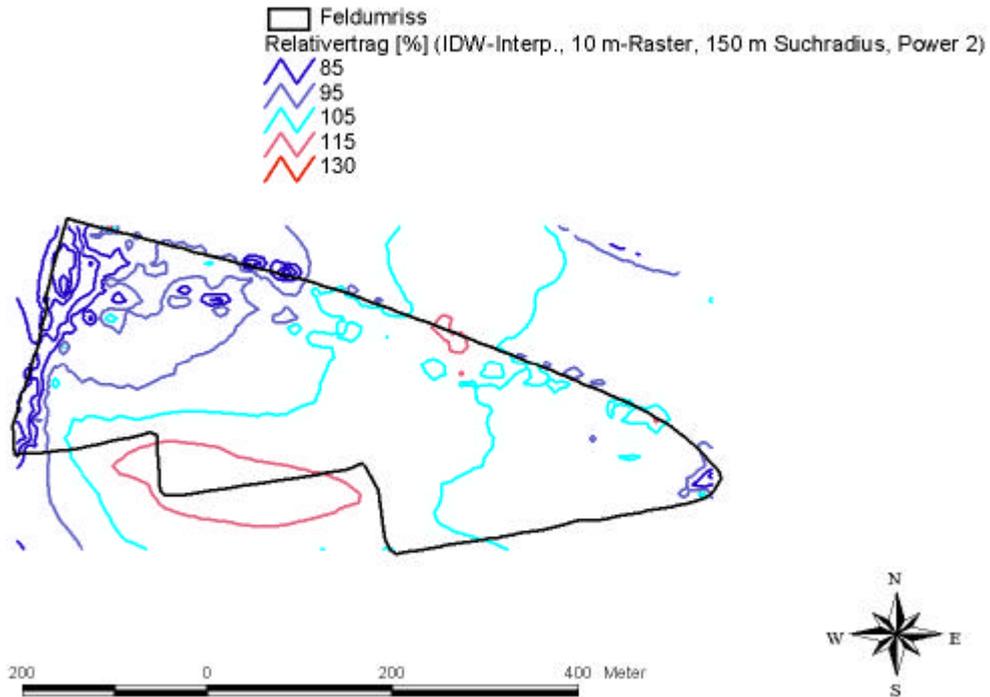


12 m-Raster, ungefiltert,  $\bar{\varnothing} = 63$  dt/ha

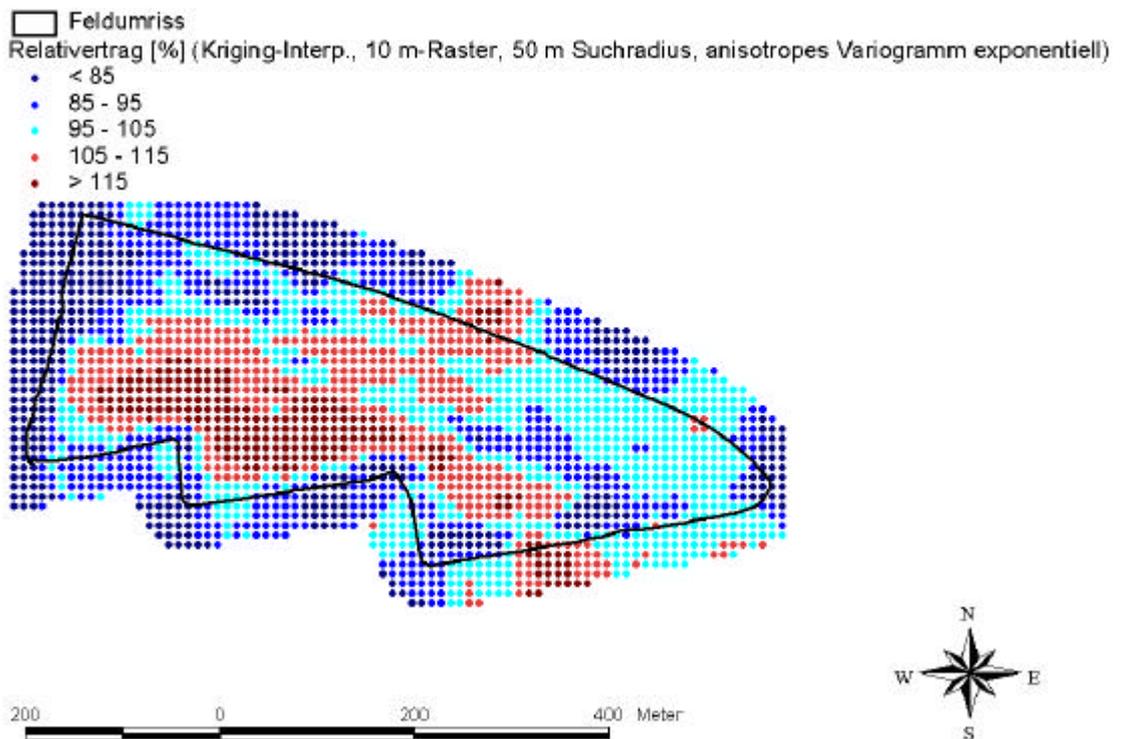


12 m-Raster, gefiltert,  $\bar{\varnothing} = 63$  dt/ha

Abbildung 70: Relativertragskarten der Ernte D01 1995 (Winterweizen)



**Abbildung 71:** Ertragskonturkarte der Ernte D01 1999 (Winterweizen, Flowcontrol, Daten bereinigt)



**Abbildung 72:** Rasterwerte der Ernte D01 1999 (Winterweizen, Flowcontrol, Daten bereinigt) (erstellt mit ArcView)

**Tabelle 1:** Schläge und vorhandene Mährescherertragsdaten in Dürnast (n = Anzahl der Datenstrings)

Schlag	Feldfläche [ha]	Jahr	Datum	mittl. Ertrag n. Brückenw. [dt/ha]	Feldfrucht	Ertragsermittlung	n
D01	14,50	1995	03.08.95		Winterweizen	ALYM2000	27769
		1997			Winterweizen	ALYM2000	15588
		1998*	04.10.98	125,80	Körnermais	Claas-Agrocom	655
		1999	24.08.99	74,40	Winterweizen	ALYM2000	23976
					Dronningborg-Flowcontrol	9707	
D02	2,70	2000	15.08.00		Winterweizen	ALPF3000	5787
D03	3,77	1996	02.08.96		Winterweizen	ALYM2000	6537
		1997			Winterweizen	ALYM2000	4466
		1998	09.08.98	74,11	Winterweizen	ALYM2000	7224
		2000	12.08.00	49,51	Winterweizen	ALPF3000	7863
					Dronningborg-Flowcontrol	3561	
D04	9,38	1996	02.08.96		Winterweizen	ALYM2000	17434
		1997			Winterweizen	ALYM2000	17434
		1998	11.08.98	76,22	Winterweizen	ALYM2000	19264
		1999	29.07.99	37,90	Winterweizen	ALPF3000	13647
					Erbsen	Dronningborg-Flowcontrol	4419
		2000	15.08.00	76,79	Winterweizen	ALPF3000	14503
					Dronningborg-Flowcontrol	3572	
D05	2,97	1997			Winterweizen	ALYM2000	4152
		2000	23.07.00	29,70	Winterweizen	ALPF3000	4169
					Erbsen	Dronningborg-Flowcontrol	1943
D07	1,60	2000	02.08.00	32,10	Winterweizen	ALPF3000	2201
					Erbsen	Dronningborg-Flowcontrol	995
D08	4,32	1998	20.10.98	97,81	Körnermais	Claas-Agrocom	1265
		1999	23.08.99	66,80	Körnermais	ALPF3000	6785
					Winterweizen	Dronningborg-Flowcontrol	3021
		2000	22.07.00	58,00	Winterweizen	ALPF3000	7342
					Wintergerste	Dronningborg-Flowcontrol	3043
D09	0,79	1996	09.08.96		Winterweizen	ALYM2000	1107
		1998	09.08.98	55,57	Winterweizen	ALYM2000	1176
		1999	18.07.99	50,20	Wintergerste	Dronningborg-Flowcontrol	887
D13	5,39	1996			Winterweizen	ALYM2000	9684
		1999	23.08.99	76,40	Winterweizen	ALPF3000	9645
					Winterweizen	Dronningborg-Flowcontrol	4125
		2000	22.07.00	34,90	Winterweizen	ALPF3000	10765
					Dronningborg-Flowcontrol	4495	
D18	0,47	1996	09.08.96		Winterweizen	ALYM2000	937
		1998			Winterweizen	ALYM2000	795
		1999	18.07.99	60,60	Wintergerste	Dronningborg-Flowcontrol	377
D20	1,60	1996	09.08.96		Winterweizen	ALYM2000	3109
		1998	09.08.98	58,57	Winterweizen	ALYM2000	3126
		1999	18.07.99	24,50	Wintergerste	Dronningborg-Flowcontrol	1702
D21	1,19	1996			Winterweizen	ALYM2000	2589
		1998	10.08.98	73,92	Winterweizen	ALYM2000	2539
		2000	12.08.00	73,96	Winterweizen	ALPF3000	5787
					Winterweizen	Dronningborg-Flowcontrol	1462
D22	3,12	1998	15.07.98	55,42	Wintergerste	ALYM2000	5850
D23	6,00	1998	15.07.98		Wintergerste	ALYM2000	11325
D24	2,12	1996	05.08.96		Winterweizen	ALYM2000	3254
		1998	09.08.98	59,14	Winterweizen	ALYM2000	2940
		1999	18.07.99	57,40	Wintergerste	Dronningborg-Flowcontrol	1369
		2000	02.08.00	28,70	Winterweizen	ALPF3000	2808
				Erbsen	Dronningborg-Flowcontrol	1264	
S04	8,78	1996	02.08.96		Winterweizen	ALYM2000	18561
		1998	08.08.98	70,38	Winterweizen	ALYM2000	16993
		2000	11.08.00	78,16	Winterweizen	ALPF3000	8234
					Dronningborg-Flowcontrol	2856	

\*ein Teil des Schlages gehäckselt, der andere gedroschen

Tabelle 2: Genäherte mittlere effektive Schnittbreiten der Erntefahrten Dürnast 1995 – 2000

Schlag	Feld- fläche [ha]	Jahr	Ertrags- ermittl.	Feldfrucht	n	Schneidwerks- breite [m]	eff. Schnittbrei- te genähert [m]	rel. Diff. [%]	
D01	14,5	1995	Ag-Leader	Winterweizen	16952	4,30	2,96	-31,11	1
	14,5	1997	Ag-Leader	Winterweizen	11225	4,30	3,94	-8,46	
	14,5	1998	Claas-AC	Körnermais	544	5,00	4,90	-1,98	
	14,5	1999	Ag-Leader	Winterweizen	18741	4,30	4,23	-1,55	
	14,5		Flowcontrol		8406	4,30	4,11	-4,34	
D02	2,7	2000	Ag-Leader	Winterweizen	4129	4,30	3,98	-7,46	
D03	3,77	1996	Ag-Leader	Winterweizen	4063	4,30	3,92	-8,80	2
	3,77	1997	Ag-Leader	Winterweizen	2106	4,30	3,78	-12,06	
	3,77	1998	Ag-Leader	Winterweizen		4,30			
	3,77	2000	Ag-Leader	Winterweizen		4,30			
	3,77		Flowcontrol			4,30			
D04	9,38	1996	Ag-Leader	Winterweizen	15006	4,30	4,05	-5,79	5
	9,38	1998	Ag-Leader	Winterweizen	12989	4,30	3,86	-10,14	
	9,38	1999	Ag-Leader	Erbsen	10697	4,30	4,00	-7,09	
	9,38		Flowcontrol		3766	4,30	4,24	-1,44	
	9,38	2000	Ag-Leader	Winterweizen		4,30	4,13		
D05	2,97	1997	Ag-Leader	Winterweizen		4,30			8
	2,97	2000	Ag-Leader	Erbsen	3511	4,30	3,85	-10,38	
D07	2,97		Flowcontrol		1461	4,30	3,80	-11,55	
	1,6	2000	Ag-Leader	Erbsen	1701	4,30	3,95	-8,20	
D08	1,6		Flowcontrol		675	4,30	3,94	-8,42	
	4,32	1998	Claas-AC	Körnermais	989	5,00	4,66	-6,80	
	4,32	1999	Ag-Leader	Winterweizen	5770	4,30	4,14	-3,66	
	4,32		Flowcontrol		2231	4,30	3,99	-7,31	
	4,32	2000	Ag-Leader	Wintergerste	4952	4,30	3,97	-7,62	
D09	4,32		Flowcontrol		1823	4,30	3,91	-9,04	
	0,79	1996	Ag-Leader	Winterweizen		4,30	4,32		
	0,79	1998	Ag-Leader	Winterweizen	353	4,30	3,77	-12,33	
	0,79	1999	Flowcontrol	Wi-Gerste	609	4,30	3,84	-10,65	
	D13	5,39	1996	Ag-Leader	Wi-Weizen	7773	4,30	3,96	-7,87
5,39		1999	Ag-Leader	Winterweizen	7508	4,30	4,13	-3,90	
5,39			Flowcontrol		3235	4,30	3,90	-9,41	
5,39		2000	Ag-Leader	Wintergerste	9431	4,30	3,96	-7,88	
5,39			Flowcontrol		3603	4,30	3,84	-10,65	
D18	0,47	1996	Ag-Leader	Winterweizen	627	4,30	3,57	-17,08	
	0,47	1998	Ag-Leader	Winterweizen	473	4,30	3,77	-12,41	9
	0,47	1999	Flowcontrol	Wintergerste	247	4,30	3,87	-9,94	
D20	1,6	1996	Ag-Leader	Winterweizen	2354	4,30	3,74	-13,09	10
	1,6	1998	Ag-Leader	Winterweizen	1121	4,30	3,76		
	1,6	1999	Flowcontrol	Wintergerste	1297	4,30	3,73	-13,20	
D21	1,19	1996	Ag-Leader	Winterweizen	1986	4,30	3,88	-9,88	11
	1,19	1998	Ag-Leader	Winterweizen		4,30			
	1,19	2000	Ag-Leader	Winterweizen	2726	4,30	4,07	-5,29	
	1,19		Flowcontrol		1023	4,30	3,83	-10,82	
D22	3,12	1998	Ag-Leader	Wintergerste	3732	4,30	4,14	-3,63	
D23	6	1998	Ag-Leader	Wintergerste	7331	4,30	4,11	-4,43	
D24	2,12	1996	Ag-Leader	Wi-Weizen	2029	4,30	3,82	-11,20	
	2,12	1998	Ag-Leader	Winterweizen	1864	4,30	4,14	-3,82	
	2,12	1999	Flowcontrol	Wintergerste	1044	4,30	4,13	-3,84	
	2,12	2000	Ag-Leader	Erbsen	2377	4,30	3,78	-12,18	
	2,12		Flowcontrol		772	4,30	3,75	-12,84	
S04	8,78	1996	Ag-Leader	Winterweizen	13621	4,30	4,04	-5,96	12
	8,78	1998	Ag-Leader	Winterweizen	11076	4,30			
	8,78	2000	Ag-Leader	Winterweizen		4,30			
	8,78		Flowcontrol			4,30			
<b>Mittelwert</b>								<b>-8,76</b>	
<b>Standardabw.</b>								<b>4,97</b>	
<b>Minimum</b>								<b>-1,44</b>	
<b>Maximum</b>								<b>-31,11</b>	

rel. Diff. [%] = 0,5 \* Feldfläche - 10,59; R<sup>2</sup> = 0,32

1 schlechte Ortungsqualität

8 sehr schlechte Ortungsqualität

2 häufiger Ortungsausfall

9 schlechte Ortungsqualität

3 sehr schlechte Ortungsqualität

10 sehr schlechte Ortungsqualität

4 sehr schlechte Ortungsqualität

11 sehr schlechte Ortungsqualität

5 schlechte Ortungsqualität

12 schlechte Ortungsqualität

6 häufiger Ortungsausfall

13 sehr schlechte Ortungsqualität

**Tabelle 3:** Genäherte mittlere Ertragsmessfehler bedingt durch die Entleerphasen bzw. Werte außerhalb der Fahrspuren (% Abweichung vom wirklichen Schlagmittel) für einige Erntefahrten

Schlag	Jahr	Ertrags- erm.	n (Rest)	n (Entleer- zeit)	Ertrag [dt/ha] (Rest)	Mittel Entleer- zeitwerte [dt/ha]	gew. Mittel [dt/ha]	Diff. [%]
D01	1995	Ag-Leader	23978	3314	61,14	23,06	56,52	-7,56
D01	1998	Claas-AC	611	8	127,18	2,85	125,57	-1,26
D01	1999	Ag-Leader	23629	88	78,74	63,10	78,68	-0,07
		Flowcontrol	9449	219	70,82	29,42	69,88	-1,32
D04	1999	Ag-Leader	12460	122	37,65	43,47	37,71	0,15
		Flowcontrol	4267	140	38,52	47,33	38,80	0,73
D08	1998	Claas-AC	1184	16	98,73	13,02	97,59	-1,16
D08	2000	Ag-Leader	7211	105	57,13	42,05	56,91	-0,38
		Flowcontrol	2850	153	65,16	35,14	63,63	-2,35
D13	2000	Ag-Leader	10630	86	36,83	27,86	36,75	-0,20
		Flowcontrol	4282	164	32,14	19,70	31,69	-1,43

**Tabelle 4:** Statistik der beim Mähdrusch ermittelten Feuchtwerte 1995 bis 2000

Schlag	Jahr	Feldfrucht	Ertrags- ermittl.	n	Mittelw. [%]	Min. [%]	Max. [%]	Standard- abw. [%]
D01	1995	Wi-Weizen	ALYM2000	27292	14,6	8,0	25,1	1,1
D01	1997	Wi-Weizen	ALYM2000	15027	13,8	12,6	23,2	1,0
D01	1998	Koe-Mais	Claas-AC	619	45,1	0,0	48,7	8,7
D01	1999	Wi-Weizen	ALYM2000	23717	15,1	12,6	19,8	0,7
D02	2000	Wi-Weizen	ALPF3000	5639	14,6	5,0	18,6	2,7
D03	1996	Wi-Weizen	ALYM2000	6198	17,0	14,7	21,4	0,9
D03	1997	Wi-Weizen	ALYM2000	4241	17,5	15,5	21,4	0,8
D03	1998	Wi-Weizen	ALYM2000	7050	11,4	10,1	13,2	0,6
D03	2000	Wi-Weizen	ALPF3000	7648	13,8	13,2	15,2	0,3
D04	1997	Wi-Weizen	ALYM2000	16522	16,3	13,6	26,2	1,2
D04	1998	Wi-Weizen	ALYM2000	18640	10,9	9,9	14	0,7
D04	1999	Erbsen	ALPF3000	12582	13,4	5,0	19	1,4
D04	2000	Wi-Weizen	ALPF3000	14337	16,0	3,0	18,7	1,6
D05	1997	Wi-Weizen	ALYM2000	3945	15,1	13,4	20,8	0,9
D05	2000	Erbsen	ALPF3000	4107	14,1	5,0	22,4	2,5
D07	2000	Erbsen	ALPF3000	2152	15,5	8,0	17,1	1,0
D08	1998	Koe-Mais	Claas-AC	1200	45,0	0,0	48,3	8,2
D08	1999	Wi-Weizen	ALPF3000	6697	13,8	11,6	16,4	0,6
D08	2000	Wi-Gerste	ALPF3000	7316	14,9	11,1	31,3	1,5
D09	1996	Wi-Weizen	ALYM2000	1014	17,5	16,0	20	0,5
D09	1998	Wi-Weizen	ALYM2000	1171	10,4	9,4	13,5	0,5
D13	1996	Wi-Weizen	ALYM2000	9299	15,4	12,6	24,7	1,2
D13	1999	Wi-Weizen	ALPF3000	9489	14,7	11,7	17,9	0,8
D13	2000	Wi-Gerste	ALPF3000	10716	14,9	5,0	26	0,9
D18	1996	Wi-Weizen	ALYM2000	859	18,1	15,1	20,3	0,5
D18	1998	Wi-Weizen	ALYM2000	794	11,1	9,9	14	0,8
D20	1996	Wi-Weizen	ALYM2000	2799	16,6	14,8	19,1	0,8
D20	1998	Wi-Weizen	ALYM2000	3029	10,4	8,9	12,5	0,6
D21	1996	Wi-Weizen	ALYM2000	2545	17,1	14,4	22,5	1,5
D21	1998	Wi-Weizen	ALYM2000	2531	11,7	10,9	13,7	0,4
D21	2000	Wi-Weizen	ALPF3000	5639	14,6	5,0	18,6	2,7
D22	1998	Wi-Gerste	ALYM2000	4928	17,1	14,6	23,1	0,8
D23	1998	Wi-Gerste	ALYM2000	10392	17,0	15,1	26,5	1,1
D24	1996	Wi-Weizen	ALYM2000	2984	15,4	13,5	17,9	0,5
D24	1998	Wi-Weizen	ALYM2000	2926	11,0	10,3	13,4	0,4
D24	2000	Erbsen	ALPF3000	2789	15,5	13,5	17,9	0,6
S04	1996	Wi-Weizen	ALYM2000	16862	15,8	12,1	40	3,4
S04	1998	Wi-Weizen	ALYM2000	15927	10,9	9,8	18,1	0,6
S04	2000	Wi-Weizen	ALPF3000	8071	15,9	15,2	16,9	0,4
<b>R(s/n)</b>				<b>-0,16</b>				

**Tabelle 5:** Gegenüberstellung der mittleren relativen Rastererträge nach Ag-Leader und Datavision-Flowcontrol 1999

Schlag	Feldfrucht	Raster [m]	n	R <sub>sys</sub>	mittl. Diff. [%]	s(Differenz) [%]	R (R <sub>sys</sub> /Raster)	R (s/Raster)
D01	Winterweizen	5	4673	0,43	-1,64	14,55	0,82	-0,89
		10	1400	0,66	-0,72	12,38		
		15	635	0,77	-0,35	11,47		
		20	362	0,80	0,14	11,24		
		25	230	0,84	0,02	10,60		
		30	161	0,84	0,22	10,72		
		35	120	0,85	0,44	10,65		
		40	89	0,88	-0,61	8,98		
		45	70	0,88	-0,13	8,69		
		50	59	0,88	0,23	9,93		
D04	Erbsen	5	2916	0,18	0,90	35,08	0,78	-0,92
		10	866	0,28	1,15	28,08		
		15	391	0,37	1,33	23,62		
		20	223	0,40	1,92	21,23		
		25	142	0,46	1,78	19,72		
		30	100	0,47	1,79	17,78		
		35	76	0,49	2,30	17,15		
		40	55	0,39	1,92	16,60		
		45	45	0,48	1,55	15,14		
D08	Winterweizen	5	1303	0,59	-2,35	13,52	0,85	-0,90
		10	346	0,78	-1,61	9,35		
		15	155	0,80	-1,72	8,46		
		20	86	0,84	-1,48	7,59		
		25	56	0,90	-0,71	6,82		
		30	41	0,92	-0,84	6,00		
		35	28	0,89	-1,10	5,50		
		40	22	0,93	-0,60	6,25		
		45	17	0,91	-1,04	5,02		
		50	13	0,96	-1,69	4,02		
D13	Winterweizen	5	1807	0,26	-0,05	18,96	0,76	-0,83
		10	519	0,55	-0,09	11,63		
		15	232	0,65	0,31	9,56		
		20	131	0,68	-0,03	8,03		
		25	80	0,67	0,88	7,33		
		30	59	0,77	0,27	6,60		
		35	41	0,65	0,15	6,42		
		40	32	0,76	0,84	5,81		
		45	25	0,76	0,32	5,67		
		50	21	0,76	0,84	5,62		

**Tabelle 6:** Gegenüberstellung der mittleren relativen Rastererträge nach Ag-Leader und Datavision-Flowcontrol 2000

Schlag	Feldfrucht	Raster [m]	n	R <sub>sys</sub>	mittl. Diff. [%]	s(Differenz) [%]	R (R <sub>sys</sub> /Raster)	R (s/Raster)
D04	Winterweizen	5					-0,49	-0,40
		10	457	0,12	2,38	17,36		
		15	255	0,17	2,88	15,36		
		20	160	0,15	2,02	14,17		
		25	108	0,24	1,68	12,66		
		30	79	0,01	0,30	15,96		
		35	61	0,29	1,52	11,24		
		40	47	-0,06	-1,04	15,94		
		45	41	0,05	-0,47	14,29		
		50	32	-0,01	0,27	13,54		
S04	Winterweizen	5	1158	0,62	1,41	21,24	0,92	-0,96
		10	640	0,62	2,85	20,65		
		15	320	0,72	2,63	15,83		
		20	187	0,73	2,47	13,76		
		25	126	0,80	2,16	10,34		
		30	89	0,78	1,67	9,57		
		35	67	0,79	1,61	9,22		
		40	51	0,86	1,47	6,91		
		45	40	0,81	1,61	7,36		
		50	33	0,86	1,23	5,70		
D08	Wintergerste	5	980	0,43	-9,62	21,50	0,86	-0,91
		10	335	0,63	-10,30	15,49		
		15	155	0,76	-10,75	12,09		
		20	86	0,77	-10,93	11,62		
		25	56	0,85	-10,77	9,11		
		30	41	0,87	-10,62	8,56		
		35	28	0,91	-10,83	7,63		
		40	22	0,92	-10,30	7,74		
		45	17	0,89	-10,05	5,97		
		50	13	0,91	-11,38	5,99		
D03	Winterweizen	5	1152	0,40	-1,63	31,03	0,82	-0,87
		10	354	0,65	0,34	19,16		
		15	160	0,71	0,60	15,64		
		20	92	0,75	1,12	12,78		
		25	55	0,81	0,59	11,10		
		30	40	0,82	0,60	8,56		
		35	30	0,87	0,97	7,37		
		40	23	0,86	1,32	7,47		
		45	17	0,88	0,72	6,23		
		50	17	0,82	1,25	7,22		

Tabelle 7: Auswirkung der Ertragsdatenbereinigung auf die statistischen Kennwerte

Schlag	Jahr	Feld- frucht	Ertrags- ermittl.	n	Min. [dt/ha]	Max. [dt/ha]	Mittelw. [dt/ha]	VK [%]	Schiefe- koeff.	Brückenw. [dt/ha]*	n	Min. [dt/ha]	Max. [dt/ha]	Mittelw. [dt/ha]	VK [%]	Schiefe- koeff.
D01	1995	Winterw.	Ag-L.	27292	0,07	200,26	56,52	41,83	-0,47		10158	11,32	101,64	61,07	25,13	-1,37
D01	1997	Winterw.	Ag-L.	15027	9,38	187,00	67,20	21,70	-0,79	73,2	12181	14,67	119,66	67,07	20,80	-0,81
D01	1998	Körnerm.	Claas-AC	619	2,03	192,10	125,58	27,87	-2,33	125,8	453	47,79	170,76	138,42	8,05	-2,72
D01	1999	Winterw.	Ag-L.	23717	15,01	195,71	78,68	15,28	-0,90	74,4	22993	19,10	131,72	79,00	14,84	-0,92
D01	1999	Winterw.	Flowc.	9668	1,25	275,00	69,88	33,32	-1,15	74,4	8202	15,00	130,00	76,63	18,62	-1,12
D03	1996	Winterw.	Ag-L.	6198	11,32	109,95	67,90	20,45	-1,10		5613	14,34	109,95	68,22	19,62	-1,07
D03	1997	Winterw.	Ag-L.	4241	10,65	110,75	67,07	18,58	-1,39	69,3	3768	13,87	110,75	67,35	17,42	-1,44
D03	1998	Winterw.	Ag-L.	7050	33,50	244,28	77,73	19,43	1,21	74,11	4613	33,50	122,34	76,85	18,56	-0,01
D03	2000	Winterw.	Ag-L.	7648	0,89	205,59	44,48	41,20	-0,32	49,51						
D03	2000	Winterw.	Flowc.	3540	0,89	132,75	43,36	51,36	-0,16	49,51						
D04	1996	Winterw.	Ag-L.	16522	10,32	313,09	68,79	20,22	0,43		14386	13,80	82,75	67,35	16,96	-1,44
D04	1998	Winterw.	Ag-L.	18640	27,07	142,51	85,45	13,62	-0,21	76,22	15016	32,90	134,67	85,68	13,73	-0,24
D04	1999	Erbsen	Ag-L.	12582	2,40	393,36	37,71	40,52	4,38	37,9	11580	7,67	67,85	37,24	31,61	0,09
D04	1999	Erbsen	Flowc.	4407	0,92	202,40	38,80	44,83	2,71	37,9	3429	8,28	68,08	38,88	25,41	-0,07
D04	2000	Winterw.	Ag-L.	14337	1,02	406,60	70,70	29,27	0,17	76,79	12709	15,45	134,00	71,99	23,34	-0,95
D04	2000	Winterw.	Flowc.	3532	1,20	264,00	67,93	37,91	-0,23	76,79	2499	15,60	138,00	75,74	20,78	0,20
D05	1997	Winterw.	Ag-L.	3945	7,24	112,29	72,26	22,33	-1,35	71,9	3143	14,74	112,29	73,18	20,72	-1,25
D05	2000	Erbsen	Ag-L.	4107	0,90	194,48	27,39	48,37	0,69	29,7	3560	6,00	53,10	28,99	36,86	-0,20
D05	2000	Erbsen	Flowc.	1901	1,09	184,21	28,26	60,62	1,79	29,7	1119	6,54	53,41	33,11	35,56	-0,55
D07	2000	Erbsen	Ag-L.	2152	1,15	105,80	30,78	37,40	-0,59	32,1	1866	6,45	56,76	32,07	30,27	-0,66
D07	2000	Erbsen	Flowc.	980	1,32	110,88	29,67	53,29	0,41	32,1	602	6,60	56,76	35,28	32,58	-0,69
D08	1998	Körnerm.	Claas-AC	1200	0,85	157,96	97,59	31,52	-1,70	97,81	934	20,90	157,96	107,04	16,89	-2,07
D08	1999	Winterw.	Ag-L.	6697	1,00	247,00	65,45	21,36	-1,46	66,8	6324	14,00	120,00	66,71	16,14	-1,96
D08	1999	Winterw.	Flowc.	2983	1,26	274,68	59,53	41,54	-0,64	66,8	2230	13,86	100,80	70,11	16,38	-1,63
D08	2000	Winterg.	Ag-L.	7316	1,00	326,00	56,91	27,16	-0,31	58	6598	12,00	95,00	58,88	20,47	-1,19
D08	2000	Winterg.	Flowc.	3003	1,42	272,64	63,63	46,23	-0,46	58	2013	12,78	103,66	76,79	21,63	-1,38
D09	1996	Winterw.	Ag-L.	1014	16,15	135,21	72,58	22,27	-0,66		953	16,15	114,64	72,80	21,75	-0,73
D09	1998	Winterw.	Ag-L.	1171	30,82	113,43	71,45	18,23	0,04	55,57	1102	30,82	99,56	71,40	17,44	-0,19
D09	1999	Winterg.	Flowc.	884	1,14	212,04	50,11	42,91	0,49	50,2	533	11,40	86,64	57,63	23,15	-0,98
D13	1996	Winterw.	Ag-L.	9299	10,52	163,21	69,82	20,79	-0,91		8151	14,54	113,83	70,39	19,86	-0,93
D13	1999	Winterw.	Ag-L.	9489	1,00	430,00	70,92	23,45	-0,50	76,4	8568	16,00	131,00	72,72	16,73	-1,60
D13	1999	Winterw.	Flowc.	4080	1,27	274,32	70,88	37,37	-0,99	76,4	3135	16,51	133,35	80,71	18,21	-1,53
D13	2000	Winterg.	Ag-L.	10716	0,54	73,98	36,75	24,68	-1,52	34,9	10021	7,02	62,10	37,71	19,64	-1,23
D13	2000	Winterg.	Flowc.	4446	0,57	122,55	31,69	39,79	-0,82	34,9	3409	7,41	57,57	36,36	19,97	-1,32
D18	1996	Winterw.	Ag-L.	859	12,80	113,10	69,10	22,42	-1,05		727	14,34	113,10	70,82	18,96	-0,79
D18	1998	Winterw.	Ag-L.	794	39,33	111,35	65,97	20,49	0,29	64,8	702	39,33	111,35	66,13	20,82	0,25
D18	1999	Winterg.	Flowc.	376	1,45	319,00	59,51	47,85	1,48	60,6	235	24,65	102,95	72,79	18,38	-1,11
D20	1996	Winterw.	Ag-L.	2799	12,06	176,01	64,17	30,20	-0,19		2412	14,87	114,37	65,25	27,96	-0,28
D20	1998	Winterw.	Ag-L.	3029	29,01	123,41	68,72	18,95	0,09	58,57	1985	29,88	104,72	69,00	19,85	-0,04
D20	1999	Winterg.	Flowc.	1685	0,59	109,74	23,16	43,83	0,53	24,5	1211	5,31	41,89	25,68	27,98	-0,22
D21	1996	Winterw.	Ag-L.	2545	11,19	120,87	64,21	28,63	-0,82		2225	13,00	109,21	64,58	28,01	-0,85
D21	1998	Winterw.	Ag-L.	2531	30,08	141,37	80,45	18,46	-0,09	73,92	1820	31,96	130,85	81,44	17,62	-0,09
D21	2000	Winterw.	Ag-L.	5639	1,00	524,00	61,69	44,34	2,91	73,96	4863	15,00	132,00	64,32	29,31	-0,24
D21	2000	Winterw.	Flowc.	1459	0,84	184,80	58,00	45,46	0,05	73,96	984	15,96	121,80	67,76	24,66	-0,17
D22	1998	Winterg.	Ag-L.	4928	7,44	258,62	51,93	38,28	0,27	55,42	4518	11,12	99,63	52,25	36,09	-0,23
D23	1998	Winterg.	Ag-L.	10392	8,20	187,32	61,33	20,35	-0,23	60,8	8760	12,92	107,91	60,92	17,64	-0,88
D24	1996	Winterw.	Ag-L.	2984	9,18	123,48	57,66	31,59	-0,26		2364	11,66	103,65	58,37	30,09	-0,25
D24	1998	Winterw.	Ag-L.	2926	27,00	129,44	68,01	18,56	0,20	59,14	2830	27,00	106,26	68,12	18,45	0,15
D24	1999	Winterg.	Flowc.	1362	1,21	210,54	57,00	39,01	-0,32	57,4	991	13,31	95,59	65,36	18,92	-1,18
D24	2000	Erbsen	Ag-L.	2789	0,87	223,60	28,80	38,27	3,25	28,7	2473	6,09	50,96	29,64	26,66	-0,49
D24	2000	Erbsen	Flowc.	1252	1,20	182,40	28,75	54,20	2,50	28,7	855	6,00	50,40	31,60	30,65	-0,66
S04	1996	Winterw.	Ag-L.	16862	10,45	245,56	70,26	21,47	-0,80		13638	14,47	123,08	71,31	18,95	-0,99
S04	1998	Winterw.	Ag-L.	15927	28,68	195,10	76,92	17,43	-0,01	70,38	8308	39,73	122,68	77,60	15,59	0,00
S04	2000	Winterw.	Ag-L.	8071	1,00	680,00	62,12	31,26	3,83	78,16	7489	16,00	134,00	63,15	26,03	-0,74
S04	2000	Winterw.	Flowc.	2838	1,40	299,60	72,01	36,17	-0,48	78,16	1907	18,20	92,40	71,17	24,62	-1,01

\*14% H2O

**Tabelle 8:** Nach bestimmten Kriterien gelöschte Ertragswerte (D04 1999, Ag-Leader, Schlagmittel 38,8 dt/ha)

Kriterium	Status	n	Ertrag [dt/ha]			
			Mittelwert	Stabw.	Min.	Max.
Relativertrag	nicht gelöscht	12285	37,26	11,90	7,67	67,86
	gelöscht	297	56,46	60,63	2,40	393,36
	rel. Ant.bzw. Diff.	2%	52%	410%	-69%	480%
Schnittbreite	nicht gelöscht	12221	37,57	13,66	2,40	393,36
	gelöscht	361	41,24	38,54	3,60	354,64
	rel. Ant.bzw. Diff.	3%	10%	182%	50%	-10%
Maschinenfüllzeit	nicht gelöscht	12177	37,56	14,50	2,40	393,36
	gelöscht	405	40,32	25,55	7,20	271,40
	rel. Ant.bzw. Diff.	3%	7%	76%	200%	-31%
Maschinenentleerzeit	nicht gelöscht	12460	37,65	15,00	2,40	393,36
	gelöscht	122	43,47	32,89	9,68	288,64
	rel. Ant.bzw. Diff.	1%	15%	119%	303%	-27%
Feuchte	nicht gelöscht	12466	37,55	15,24	2,40	393,36
	gelöscht	116	55,08	6,71	30,69	69,54
	rel. Ant.bzw. Diff.	1%	47%	-56%	1179%	-82%

**Tabelle 9:** Nach bestimmten Kriterien gelöschte Ertragswerte (D01 1999, Flowcontrol, Schlagmittel 74,4 dt/ha)

Kriterium	Status	n	Ertrag [dt/ha]			
			Mittelwert	Stabw.	Min.	Max.
Relativertrag	nicht gelöscht	9158	73,15	18,16	15,00	132,50
	gelöscht	510	11,14	26,64	1,25	275,00
	rel. Ant.bzw. Diff.	5%	-85%	47%	-92%	108%
Schnittbreite	nicht gelöscht	8939	74,11	18,10	1,25	275,00
	gelöscht	729	31,66	28,68	1,25	153,75
	rel. Ant.bzw. Diff.	8%	-57%	58%	0%	-44%
Maschinenfüllzeit	nicht gelöscht	8795	74,51	18,26	1,25	275,00
	gelöscht	873	34,54	25,11	1,25	153,75
	rel. Ant.bzw. Diff.	9%	-54%	37%	0%	-44%
Maschinenentleerzeit	nicht gelöscht	9449	70,82	22,25	1,25	275,00
	gelöscht	219	29,42	30,01	1,25	200,00
	rel. Ant.bzw. Diff.	2%	-58%	35%	0%	-27%

**Tabelle 10:** Nach bestimmten Kriterien gelöschte Ertragswerte (D01 1999, Ag-Leader, Schlagmittel 74,4 dt/ha)

Kriterium	Status	n	Ertrag [dt/ha]			
			Mittelwert	Stabw.	Min.	Max.
Relativertrag	nicht gelöscht	23714	78,67	11,98	15,01	131,72
	gelöscht	3	159,08	26,03	137,62	195,71
	rel. Ant.bzw. Diff.	0,01%	102%	117%	817%	49%
Schnittbreite	nicht gelöscht	23386	78,84	11,87	17,42	195,71
	gelöscht	331	71,70	16,82	15,01	101,77
	rel. Ant.bzw. Diff.	1,40%	-9%	42%	-14%	-48%
Maschinenfüllzeit	nicht gelöscht	23461	78,85	11,95	15,01	195,71
	gelöscht	256	68,25	10,79	20,84	102,78
	rel. Ant.bzw. Diff.	1,08%	-13%	-10%	39%	-47%
Maschinenentleerzeit	nicht gelöscht	23629	78,74	11,99	15,01	195,71
	gelöscht	88	63,10	11,54	27,60	89,58
	rel. Ant.bzw. Diff.	0,37%	-20%	-4%	84%	-54%
Feuchte	nicht gelöscht	23613	78,77	11,93	15,01	195,71
	gelöscht	104	58,44	15,64	17,42	97,62
	rel. Ant.bzw. Diff.	0,44%	-26%	31%	16%	-50%

**Tabelle 11:** Nach bestimmten Kriterien gelöschte Ertragswerte (D01 1995, Ag-Leader)

Kriterium	Status	n	Ertrag [dt/ha]			
			Mittelwert	Stabw.	Min.	Max.
Relativertrag	nicht gelöscht	24630	60,51	16,30	11,19	102,64
	gelöscht	2662	19,37	41,97	0,07	200,26
	rel. Ant.bzw. Diff.	10%	-68%	157%	-99%	95%
Schnittbreite	nicht gelöscht	21063	60,40	17,11	0,20	184,18
	gelöscht	6229	62,62	16,34	0,47	182,31
	rel. Ant.bzw. Diff.	23%	4%	-5%	133%	-1%
Maschinenfüllzeit	nicht gelöscht	24966	63,89	14,21	0,67	184,18
	gelöscht	2326	35,48	23,26	0,20	161,20
	rel. Ant.bzw. Diff.	9%	-44%	64%	-70%	-12%
Maschinenentleerzeit	nicht gelöscht	23978	61,14	17,48	0,20	184,18
	gelöscht	3314	23,06	33,47	0,07	200,26
	rel. Ant.bzw. Diff.	12%	-62%	91%	-67%	9%
Geschwindigkeit	nicht gelöscht	25039	58,27	22,31	0,07	200,26
	gelöscht	2253	37,02	28,77	0,13	167,17
	rel. Ant.bzw. Diff.	8%	-36%	29%	100%	-17%
Feuchte	nicht gelöscht	27134	56,42	23,63	0,07	200,26
	gelöscht	158	72,81	19,69	4,69	131,86
	rel. Ant.bzw. Diff.	1%	29%	-17%	6900%	-34%

**Tabelle 12:** Nach bestimmten Kriterien gelöschte Ertragswerte (D13 2000, Flowcontrol, Schlagmittel 34,9 dt/ha)

Kriterium	Status	n	Ertrag [dt/ha]			
			Mittelwert	Stabw.	Min.	Max.
Relativertrag	nicht gelöscht	4094	33,93	9,58	7,41	60,99
	gelöscht	352	5,54	14,02	0,57	122,55
	rel. Ant.bzw. Diff.	8%	-84%	46%	-92%	101%
Schnittbreite	nicht gelöscht	3978	34,73	9,15	0,57	91,20
	gelöscht	468	11,25	11,43	0,57	91,77
	rel. Ant.bzw. Diff.	11%	-68%	25%	0%	1%
Maschinenfüllzeit	nicht gelöscht	3799	34,80	9,71	0,57	91,20
	gelöscht	647	17,21	12,43	0,57	91,77
	rel. Ant.bzw. Diff.	15%	-51%	28%	0%	1%
Maschinenentleerzeit	nicht gelöscht	4282	32,14	11,96	0,57	91,77
	gelöscht	164	19,70	20,55	0,57	122,55
	rel. Ant.bzw. Diff.	4%	-39%	72%	0%	34%

**Tabelle 13:** Relative Fehler bedingt durch die Fehlereinflussgrößen im Vergleich zu den relativen Abweichungen vom wirklichen Schlagmittel

Schlag	Jahr	Ertragsermittlung	Abweichungen Ertragsmittel - Brückenwaage	Fehler durch					verbleibende Differenz [%]
				Schnittbreite	Befüllzeit [%]	Entleerzeit [%]	Feuchte [%]	Geschwindigkeit [%]	
D01	1995	Ag-Leader		-31,11	-4,31	-7,56	0,17	27,88	14,94
D01	1998	Claas-AC	-0,18		-7,17	-1,26	-0,86		9,12
D01	1999	Ag-Leader	5,75	-1,55	-0,15	-0,07	-0,11		7,63
D01	1999	Flowcontrol	-6,07	-4,34	-4,96	-1,32			4,55
D04	1999	Ag-Leader	-0,50	-7,09	0,24	0,15	0,43		5,76
D04	1999	Flowcontrol	2,38	-1,44	-1,74	0,73			4,83
D08	1998	Claas-AC	-0,23		-6,75	-1,16	-0,86		8,54
D08	2000	Ag-Leader	-1,87	-7,62	-0,79	-0,38	-0,63		7,54
D08	2000	Flowcontrol	9,71	-9,04	-9,80	-2,35			30,90
D13	2000	Ag-Leader	5,31	-7,88	-0,35	-0,20	0,09		13,66
D13	2000	Flowcontrol	-9,21	-10,65	-7,64	-1,43			10,50