

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

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Problemstellung | 3 |
| 3 | Stand des Wissens und der Technik | 8 |
| 3.1 | Prinzipien der lokalen Ertragsermittlung und Fehlerquellen | 8 |
| 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 |
| 3.2 | Datennachbearbeitung | 24 |
| 3.3 | Methoden der Ertragskartierung | 27 |
| 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 |
| 4 | Ziele der Arbeit | 35 |

| | | |
|------------|--|----|
| 5 | Material und Methoden | 36 |
| 5.1 | Datenquellen | 36 |
| 5.2 | Arbeitsschritte | 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 |
| 6 | Experimentelle Fehleranalyse für die lokale Ertragsermittlung | 47 |
| 6.1 | Fehler bei der Durchsatzmessung | 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 |
| 6.2 | Fehler bei der Ortung | 72 |
| 6.2.1 | Datenaufzeichnung und –auswertung..... | 72 |
| 6.2.2 | Ergebnisse..... | 73 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 7 | Analyse und Bereinigung der Ertragsdaten | 80 |
| 7.1 | Unbereinigte Ertragsdaten | 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 |
| 7.2 | Bereinigung der Ertragsdaten | 113 |
| 7.2.1 | Vorgehen | 114 |
| 7.2.2 | Ergebnisse | 116 |
| 8 | Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen | 125 |
| 8.1 | Bewertung und Einordnung der Ergebnisse | 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 |

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