

3.6 Automatisierte Korrektur und Verarbeitung von Ertragsdaten

Teilprojektleiter : Dipl. Ing. agr. Thomas Muhr
Bearbeiter : Dipl. Ing. agr. Patrick O. Noack
Einrichtung : geo-konzept GmbH, Gut Wittenfeld, 85111 Adelschlag

3.6.1 Ursprüngliche Aufgabenstellung

Das Teilprojekt II-5 hat sich im Rahmen des Projektantrages folgende Arbeitsziele gesteckt :

I. Auswertung aller gängigen Datenformate

Ertragsdaten, die auf Erntemaschinen erfasst und nach dem Abschluss der Erntearbeiten auf Desktopcomputer übertragen werden, sind in verschiedenen Datenformaten gespeichert. Für die Auswertung und Interpretation der Ertragsdaten müssen diese Daten in eine einheitliche Datenstruktur überführt werden. Dabei sollte die unterschiedliche Informationstiefe der Datenformate berücksichtigt werden.

II. Fehlerkorrektur von Ertrags- und Positionsdaten

Während der GPS gestützten Erfassung von Erträgen mit Erntemaschinen treten Fehler bei der Bestimmung der Position und bei der Messung des Ertrages und der Feuchte auf. Diese Fehler haben verschiedene Ursachen und eine unterschiedlich starke Auswirkung auf das Ergebnis der resultierenden Ertragskarte. Im Rahmen des Teilprojektes sollten zunächst diese Fehler identifiziert und bewertet werden, um schließlich eine Methode für die Korrektur dieser Fehler zu entwickeln.

III. Ausgabe von Ertrags- und Zusatzinformationen in einem gängigen GIS Format

Die aus der Konvertierung der Ertragsdaten resultierenden Informationen (Ertrag, Feuchte, Position, Datum, Uhrzeit, u.a.) sollten in einem gängigen GIS Format bereit gestellt werden. Die Bereitstellung soll die Weiterverarbeitung und Verrechnung dieser Daten mit anderen geographischen Informationen ermöglichen. Geplant war ebenfalls die GIS Daten auf einem Datenserver für die Projektpartner zur Verfügung zu stellen.

3.6.2 Durchgeführte Maßnahmen und Forschungsarbeiten

Im Rahmen des Teilprojektes wurden folgende Maßnahmen durchgeführt :

- I. *Entwicklung von Importfiltern* für alle im Projekt und in den Versuchen verwendeten Datenformate.
- II. *Entwicklung eines Moduls*, dass die automatische und unüberwachte *Zuordnung von Ertragsrohdaten* zu den Regionen, Betrieben, Schlägen und Anbaujahren anhand der Schlagumringe ermöglicht.
- III. *Literaturrecherche* zu den bearbeiteten Themenblöcken.
- IV. Durchführung von *Feldversuchen*
 - a. Vergleichbarkeit von Ertragsrohdaten, die mit verschiedenen Ertragsmesssystemen auf einem Mähdrescher erfasst wurden.
 - b. Genauigkeit von D/GPS Empfängern unter Erntebedingungen.
- V. *Entwicklung und Bewertung von Methoden* zur Identifikation und Korrektur von fehlerhaften Ertragsmesswerten und zur Erstellung von aussagekräftigen Ertragskarten.
- VI. Während der Projektlaufzeit wurden die laufenden Forschungsergebnisse im Rahmen von redaktionellen *Artikeln und Vorträgen* vorgestellt.

3.6.3 Zielerfüllung/-erreicherung

Es wurde eine Software entwickelt, die den Import aller gängigen Ertragsdatenformate erlaubt. Die importierten Ertragsrohdaten werden mit in der Literatur beschriebenen Verfahren korrigiert und gefiltert und können abschließend im ESRI Shape Format (Quasi-Standard für GIS Systeme) als Rasterkarten ausgegeben werden. Ebenso stehen diese Daten in Form einer Microsoft Access Datenbank für weitere Analysen zur Verfügung.

Insofern können die unter 1.1.1.I und 1.1.1.III genannten Aufgaben als vollständig erfüllt angesehen werden.

Die unter 1.1.1.II beschriebene Aufgabe (Korrektur von Ertragsdaten) wurde insofern erfüllt, als dass in der Literatur beschriebenen Verfahren zur Korrektur und Filterung von Ertragsdaten umgesetzt wurden.

Im Rahmen der Arbeiten des Teilprojektes wurde eine neue Methode für die Korrektur von einzelnen Ertragsmesswerten entwickelt. Diese Methode konnte bis zum heutigen Stand noch nicht vollständig in Software umgesetzt und für die Erstellung von Ertragskarten eingesetzt werden.

Die Bereitstellung der Ertragskarten auf einem Datenserver wurde in Abstimmung mit der Projektleitung zurückgestellt.

3.6.4 Übersicht und Zusammenfassung

Aussagekräftige Ertragskarten spielen sowohl als Grundlage für die Ableitung von Maßnahmen als auch für die Erfolgskontrolle dieser Maßnahmen eine wichtige Rolle in Precision Agriculture Prozessen. Da die Erfassung und Verarbeitung der Ertragsdaten herstellerabhängig unterschiedlich gehandhabt wird, ist deren Einbindung unter praktischen Bedingungen relativ aufwändig und umständlich. Im Rahmen des Verbundforschungsprojektes wurde durch das Teilprojekt II-5 sichergestellt, dass bereits zu Projektbeginn aus allen erfassten Ertragsdaten Ertragskarten in einem einheitlichen Format zur Verfügung gestellt werden konnten.

Für die Erfassung von Ertrags-, Feuchtedaten und Positionen werden auf unterschiedlichen Mähdreschermodellen verschiedene Sensoren eingesetzt. Es ist bekannt, dass diese Sensoren unter Erntebedingungen dem Einfluss von Störgrößen unterliegen, die die Qualität der Messwerte in unterschiedlichem Maß beeinflusst. Das Teilprojekt II-5 hat sich während der Projektlaufzeit mit der Untersuchung der Fehler befasst, die im Rahmen der Ertragskartierung auftreten. Neben eigenen Versuchsanstellungen, wurden Daten von Fremdversuchen ausgewertet und die auf den Projektbetrieben erfassten Ertragsdaten berücksichtigt. Über die reine Untersuchung der Fehler hinaus sollte eine Methode entwickelt werden, die die Identifikation und Korrektur solcher Fehler erlaubt.

3.6.5 Einleitung und Problemstellung

Bereits in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts wurden Sensoren entwickelt, die die Erfassung von Erträgen auf Mähdreschern erlauben. Die ursprüngliche Zielgröße war damals weniger die ortsgenaue Erfassung von Einzelerträgen, sondern vielmehr die flächen- oder schlagbezogene Erfassung von Gesamterträgen. Diese wurde durch die Integration aller Einzelmesswerte auf einem Schlag erreicht.

Alle eingesetzten Sensoren bestimmen entweder den Massen- oder den Volumenstrom des Erntegutes im Körnerelevator des Mähdreschers. Der Massenstrom wird über Prallplatten am Elevatorkopf, der Volumenstrom über Lichtschranken oder die Absorption von radioaktiver Strahlung durch das Erntegut auf den Elevatorpaddeln bestimmt. Die Mehrzahl der Ertragsmesssysteme erfasst neben dem Volumen-/Massenstrom des Erntegutes auf unterschiedliche Art und Weise dessen Wassergehalt (DEMMELE (1997)).

Aus der aktuellen Vorfahrtsgeschwindigkeit, der Schnittbreite des Mähdreschers und der Kornfeuchte wird der Trockenertrag als abgeleitete Größe bestimmt. Insofern sind die Bezeichnungen ‚Ertragsmesssystem‘ und ‚Ertragsmesswert‘ streng genommen nicht korrekt, werden jedoch der Einfachheit halber weiter so verwendet.

Nachdem das amerikanische Verteidigungsministerium das Satellitennavigationssystem GPS für die zivile Nutzung freigegeben hatte, wurden seit Anfang der 90er Jahre Versuche unternommen diese Technologie für die Positionsbestimmung von landwirtschaftlichen Nutzfahrzeugen zu

verwenden. In diesem Zusammenhang entstand auch die Idee aus den Positionen von Mähdreschern und den Einzelmesswerten von Ertragsmesssystemen Karten der Verteilung von Erträgen innerhalb eines Schlages zu erstellen.

Anfänglich stellte die Positionierung die größte Herausforderung dar. Die zivil nutzbaren GPS Signale wurden durch das amerikanische Verteidigungsministerium aus Sicherheitsgründen künstlich verschlechtert (*Selective Availability*) und erlaubten die Bestimmung der Position mit einer Genauigkeit von nur ca. 100 m. Durch die Verwendung von differentiellen Korrekturen konnten die Positionsgenauigkeiten in den Folgejahren auf ca. 5 m verbessert werden.

Die Abschaltung der *Selective Availability* im Mai 2000 und der technische Fortschritt erlauben heute in der Regel die Bestimmung der Position mit Genauigkeiten von besser als einem Meter, wenn differentielle Korrekturen und entsprechende GPS Empfänger eingesetzt werden. Obwohl für die Ertragskartierung in der Praxis teilweise Empfänger ohne differentielle Korrektur eingesetzt werden, ist der Einfluss der Positionsgenauigkeit auf die Qualität von Ertragskarten als gering einzuschätzen.

Alle der Bestimmung des Trockenertrages zugrundeliegenden Messgrößen unterliegen verschiedenen Einflüssen :

- I. Die tatsächlich genutzte Schnittbreite unterschreitet in der Regel die für die Berechnung des Ertrages verwendete Arbeitsbreite des Mähdeschers. Die Abweichung hängt vom Fahrer, der Arbeitsbreite der Erntemaschine und den Erntebedingungen ab.
- II. Die Bestimmung der Vorfahrtsgeschwindigkeit erfolgt entweder über Radsensoren oder GPS.
- III. Kornfeuchtemessungen werden durch starke Verunkrautung des Pflanzenbestandes beeinflusst. Bei einigen Ertragskartierungssystemen werden die Feuchtemessungen nur in größeren Abständen im Korntank durchgeführt.
- IV. Die Erfassung des Volumen-/Massenstromes des Erntegutes erfolgt zeitlich versetzt zur Aufnahme des Erntegutes am Schneidwerk. Der zeitliche Versatz muss bei der Bestimmung der Position des Ertrages berücksichtigt werden, variiert jedoch mit Änderungen der Vorfahrt, des Durchsatzes und des Ausdrusches (MAERTENS (2001)).
- V. Die Neigung des Mähdeschers beeinflusst die Messgenauigkeit. Vor allem durch Längsneigung wird die Massenbestimmung an Prallplatten beeinflusst, Längs- und Querneigung können zum Abrutschen des Erntegutes von den Elevatorpaddeln führen.
- VI. Vor und während der Ernte sollten die Sensoren durch Gegenwiegungen auf Fuhrwerkswaagen kalibriert werden. Diese Kalibrierungen werden in der Praxis nur unregelmässig durchgeführt.

Die oben genannten Einflüsse auf die Messgrößen, aus denen der Ertragsmesswert berechnet wird, führen zu mehr oder weniger großen Fehlern der Zielgröße.

Wenn die einzelnen Ertragsmesswerte akkumuliert werden, um beispielsweise den Gesamtertrag eines Schlages zu schätzen, spielen diese Fehler eine untergeordnete Rolle, da die Anzahl wenig fehlerbehafteter Messwerte die der fehlerbehafteten deutlich überwiegt. So können grob aufgelöste Ertragskarten mit einer Rasterweite von 50 Metern meist ohne Beeinträchtigung durch fehlerhafte Messwerte erstellt werden, da auch hier der Einfluss der fehlerbehafteten Messwerte auf den Schätzwert für die Rasterzelle gering ist.

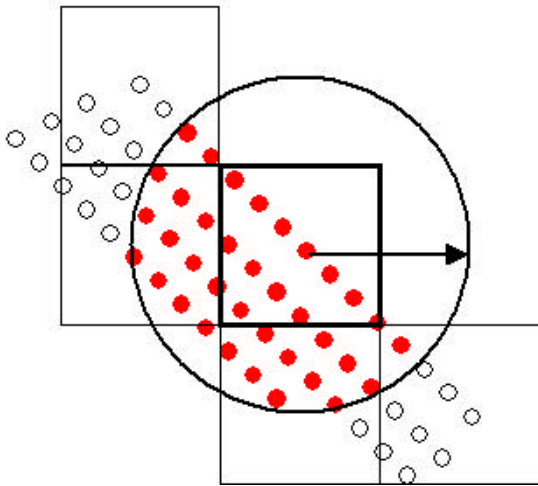


Abb. 3.6- 1: Erstellung von Ertragskarten aus Ertragsdaten. Alle Ertragsmesswerte innerhalb des Suchradiuses werden in Abhängigkeit Ihrer Entfernung vom Zellmittelpunkt gewichtet für die Berechnung des Schätzwertes verwendet, der der Rasterzelle zugewiesen wird.

Die Erstellung von Ertragskarten aus Ertragsdaten erfolgt durch die flächenhafte Interpolation der gemessenen bzw. abgeleiteten Ertragsmesswerte. Hierzu stehen verschiedene geostatistische Verfahren zur Verfügung. Diese Verfahren basieren grundsätzlich darauf, dass ein Raster aus Quadraten über die Messpunkte gelegt wird und dass für jede Rasterzelle ein distanzgewichteter Mittelwert aus den Punkten berechnet wird, die einen festzulegenden Abstand vom Zentrum der Rasterzelle (Suchradius) unterschreiten (Abbildung 3.6-1).

Hoch aufgelöste Ertragskarten werden nicht nur für Precision Agriculture sondern auch im universitären und industriellen Versuchswesen benötigt. Vor der Erstellung hoch aufgelöster Ertragskarten (mit geringen Rasterweiten) müssen die fehlerbehafteten Messwerte identifiziert und eliminiert werden, da sie wegen der insgesamt geringeren Anzahl der für die Schätzung verwendeten Werte den Schätzwert des Ertrages für eine Rasterzelle verfälschen würden.

Um die Rasterweiten ohne einen Verlust an Genauigkeit des Schätzwertes verringern zu können, müssen fehlerhafte Ertragsmesswerte vor der Erstellung von Ertragswerten korrigiert oder eliminiert werden. Hierzu sind aus Literatur bereits verschiedene Ansätze bekannt (EBERT (1999), BECK (2001), RANDE (1995)). Im Teilprojekt II-5 sollte eine neue Methode entwickelt werden, die zusätzlich zu den räumlichen Beziehungen der Messwerte die zeitliche Komponente mit einbezieht.

3.6.6 Methoden/Vorgehensweisen

Softwareentwicklung für den Import und die Zuordnung von Ertragsdaten

Bereits zu Beginn des Projektes stand fest, dass die zu entwickelnden Methoden die Entwicklung von Software bedingen. Schnell stellte sich heraus, dass schon vor der Methodenentwicklung für die Erstellung der Ertragskarten im Rahmen des Projektes eine eigene Software erstellt werden muss : die große Anzahl zu verarbeitender Rohertragsdaten und vor allem deren Zuordnung zu den Projektschlägen hätte mit am Markt verfügbaren Softwareprodukten nicht geleistet werden können.

Für eine konsistente Verarbeitung der Ertragsdaten, die im Rahmen des Projektes und der angestellten Versuche anfielen, war zunächst die Überführung der Daten in eine einheitliche Datenstruktur erforderlich. Als Datenformat wurden Access 97 Datenbanken gewählt. Datenbanken erlauben einen schnellen Zugriff auf einzelne Datensätze oder die Auswahl mehrerer Datensätze nach bestimmten Kriterien (z.B. Position, Ertrag, GPS Qualität).

Die Ertragsrohdaten werden im Rahmen des Importprozesses in eine Tabelle geschrieben, deren Felder alle Informationen, die in den verschiedenen Rohdatenformaten enthalten sind, aufnehmen können. Zwar werden so einzelne Datenbankfelder beim Import einiger Ertragsdatenformate nicht gefüllt, es entsteht jedoch eine einheitliche Containerstruktur, auf die von den folgenden Verarbeitungsprozessen einheitlich zugegriffen werden kann.

Nach dem Import können die Rohdaten frei konfigurierbar nach verschiedenen Kriterien gefiltert werden. Mögliche Ausschlusskriterien sind :

- fehlende Ertragsmessung
- fehlende Feuchtemessung
- Über- oder Unterschreitung fester Grenzwerte für Ertragsmesswerte
- Über- oder Unterschreitung variabler Grenzwerte für Ertragsmesswerte (2.5 % Quantile der Normalverteilung)
- unkorrigierte GPS Positionen

Anschließend werden die Positionen der gefilterten Datensätze in das Gauß-Krüger Koordinatensystem transformiert.

Die automatische Zuordnung der Datensätze zu den Projekt- und Versuchsschlägen erfolgt über die Schlagumringe, die entweder in ellipsoidischen Koordinaten oder in Gauß-Krüger Koordinaten im ESRI Shape Format vorliegen. Die Dateien werden ähnlich dem *premis* in einer Verzeichnisstruktur abgelegt, die Regionen, Betrieben, Schlägen und Anbaujahre abbildet. Der Zugriff auf die Dateien und Verzeichnisse wird über eine Metadatenbank verwaltet.

Nach der Zuordnung der Ertragsmesswerte zu einem Schlag und einem Anbaujahr können aus diesen Ertragsdaten Ertrags- und Feuchtekarten mit variablen Rastergrößen erstellt werden. Als zusätzliche Informationen werden den Rasterzellen auch die Anzahl der zur Berechnung des Schätzwertes verwendeten Werte sowie deren Standardabweichung als Attribut zugewiesen. Die Ertragskarten werden im ESRI Shape Format als Polygondateien erzeugt.

Im Rahmen des Teilprojektes wurden bis zum jetzigen Stand mit der entwickelten Software ca. 900 Rohertragsdateien importiert und gefiltert. Aus diesen Daten wurden nach Zuordnung zu einem der 130 Projekt- und Versuchsschläge ca. 800 Ertragskarten erzeugt. Der verwaltete Ertragsdatenbestand hat einen Umfang von ca. 3 GB.

Durchführung von Feldversuchen

Während der Ernte 2000 wurde in Gut Wittenfeld ein Versuch zur Genauigkeit von D/GPS Empfängern unter Feldbedingungen durchgeführt. Dabei sollte unter anderem der Frage nachgegangen werden, ob auch nach der Abschaltung der *Selective Availability* noch differentielles GPS für die Positionserfassung während der Ertragskartierung benötigt wird. Als Referenzsystem kamen drei hochgenaue RTK GPS Empfänger (Genauigkeit ca. 2 bis 5 cm) zum Einsatz. Während ein Empfänger als Referenzstation am Feldrand betrieben wurde, waren die Antennen der beiden anderen Systeme an einem stabilisierten Querträger parallel zum Schneidtisch auf dem Dach des Mähdreschers angebracht (Abbildung 3.6-2).



Abb. 3.6-2: Versuchsaufbau Gut Wittenfeld 2000

Im Rahmen dieses Versuches wurde ein Mähdrescher (Deutz Fahr 3670) eingesetzt, der mit zwei Ertragskartierungssystemen (RDS Ceres und LH 565) ausgestattet war. Die Ertragsmessungen der beiden Systeme sollten miteinander verglichen werden. Beide Systeme waren an den gleichen GPS Empfänger angeschlossen, um den Einfluss fehlerhafter Positionierung zu egalisieren.

Im Jahr 2001 wurden nach der Anschaffung eines neuen Mähdreschers die beiden Ertragskartierungssysteme vom Deutz Fahr auf einen MF 72 mit integriertem FieldStar II Ertragskartierungssystem umgesetzt. Auch auf diesem Mähdrescher werden alle eingesetzten Systeme mit den Positionsdaten eines GPS Empfängers versorgt.

Neben den in Gut Wittenfeld erhobenen Daten standen ebenfalls Ertragsdaten der Technischen Universität München (Fachgebiet Technik im Pflanzenbau, DFG Forschergruppe IKB Dürnast) für die Auswertung zur Verfügung. Dort wird auf dem Versuchsgut Dürnast seit 1999 Jahre ein Mähdrescher (MF 32) mit zwei Ertragskartierungssystemen eingesetzt (Datavision Flowcontrol und LH 665).

Ebenfalls zusammen mit der Technischen Universität München (Fachgebiet Technik im Pflanzenbau, DGF Forschergruppe IKB Dürnast) wurde ein Versuch geplant, bei dem im Rahmen der Beerntung von Streifenversuchen die handgewogenen Ertragsmessungen des Parzellenmähdreschers mit denen eines parallel eingesetzten Mähdreschers mit Ertragsmesssystem verglichen werden sollte. Die Versuchsplanung wurde auf mehreren Treffen besprochen und festgelegt. Der Versuch selber konnte schließlich aus Termingründen nicht durchgeführt werden.

Entwicklung und Bewertung von Methoden zur Korrektur von Ertragsdaten

Geostatistische Methoden zur Analyse und Aggregation von Messdaten betrachten lediglich die räumliche Verteilung von Messpunkten. Bei der Ertragsdatenerfassung auf Mähdreschern entsteht jedoch auch ein zeitlicher Zusammenhang zwischen den Messwerten. Dieser Zusammenhang kann als Zusatzinformation bei der Betrachtung von Fehlern berücksichtigt werden.

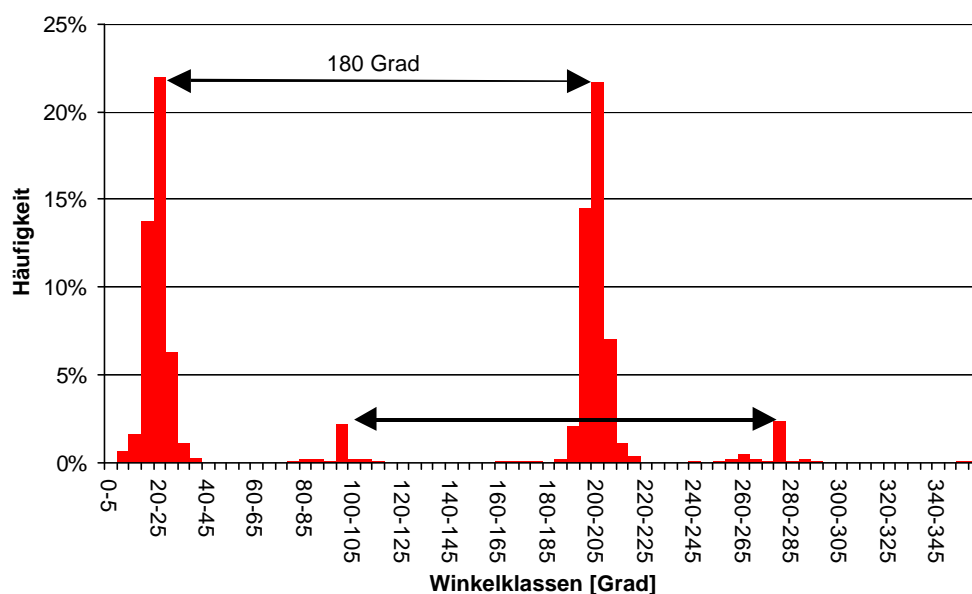


Abb. 3.6-3: Häufigkeit von Fahrrichtungen während der Ernte

Der Abstand von einem Messpunkt zu einem zweiten innerhalb einer Fahrspur kann zwar gleich dem Abstand zu einem dritten Messpunkt in der Nachbarfahrspur sein, der zeitliche Abstand zwischen diesen Messpunkten ist in diesem Fall jedoch erheblich.

Der hier vorgestellte Ansatz macht sich die Tatsache zunutze, dass die Fahrspuren von Erntefahrzeugen meist parallel zueinander verlaufen. In Abbildung 3.6-3 sind die Häufigkeiten des Auftretens von Fahrtrichtungen auf dem Schlag Finkenherd (Ernte 2000) dargestellt. Man kann erkennen, dass das Erntefahrzeug überwiegend in eine Richtung (20 bis 25 Grad) bzw. die in die entgegengesetzte Richtung (220 bis 225 Grad) gefahren ist.



Abb. 3.6-4: gepufferte Fahrspuren

In den Ertragsrohdaten werden die Positionen des Erntefahrzeugs erfasst. Die Positionen alleine erlauben jedoch nicht die Zuordnung dieser Positionen zu einer Fahrspur. Deshalb wurde zunächst eine Methode entwickelt, die die Erkennung von Fahrspuren und die Zuordnung der Positionen zu diesen Fahrspuren erlaubt. Die Methode basiert auf der Berechnung der Fahrtrichtung aus der aktuellen, den vorhergehenden und den folgenden Positionen. Anhand der Änderung der Fahrtrichtung können Wendevorgänge, die den Beginn einer neuen Fahrspur darstellen, erkannt werden.

Nach der Zuordnung von Positionen und den an diesen Positionen erfassten Messwerten (Ertrag, Feuchte) zu Fahrspuren, wird mittels einer ebenfalls neu entwickelten Methode festgestellt, welche Fahrspuren einander benachbart sind.

Die Fahrspuren werden zunächst gepuffert: um die Fahrspur wird ein Korridor mit einer einstellbaren Breite erzeugt. Wenn zwei Korridore überlappen, sind die beiden Fahrspuren, die diese Korridore repräsentieren, möglicherweise benachbart (Abbildung 3.6-4).

Für diejenigen Fahrspuren, für die die oben genannte Bedingung zutrifft, wird punktweise überprüft, wie groß der Abstand zu den Nachbarfahrspuren links und rechts in Fahrtrichtung ist. Hierzu wird ein Vektor senkrecht zur Fahrtrichtung konstruiert und dessen Schnittpunkte mit den anderen Fahrspuren bestimmt.

Diejenigen Fahrspuren, die den geringsten Abstand (Abbildung 3.6-5) aufweisen, werden als Nachbarfahrspuren gekennzeichnet.

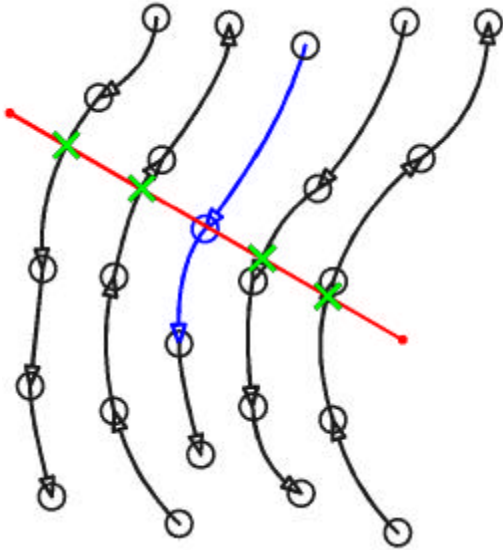


Abb. 3.6-5: Identifikation von Nachbarfahrspuren

Diese Methode erlaubt aufgrund der Betrachtung auf Punktebene die Berücksichtigung der Tatsache, dass mehr als eine Fahrspur auf einer Seite benachbart sein kann.

Schließlich sind idealerweise jeder Fahrspur zwei Nachbarfahrspuren zugeordnet und für jeden Punkt in der Fahrspur können jeweils zwei nächstgelegene Punkte in einer Nachbarfahrspur bestimmt werden. Ein bezüglich der Entfernung gewichteter Mittelwert, die an diesen Punkten gemessen wurde, kann als Schätzung für den Ertrag in der Nachbarfahrspur berechnet werden. Diese Methode wird im folgenden *H-Methode* genannt (Abbildung 3.6-6).

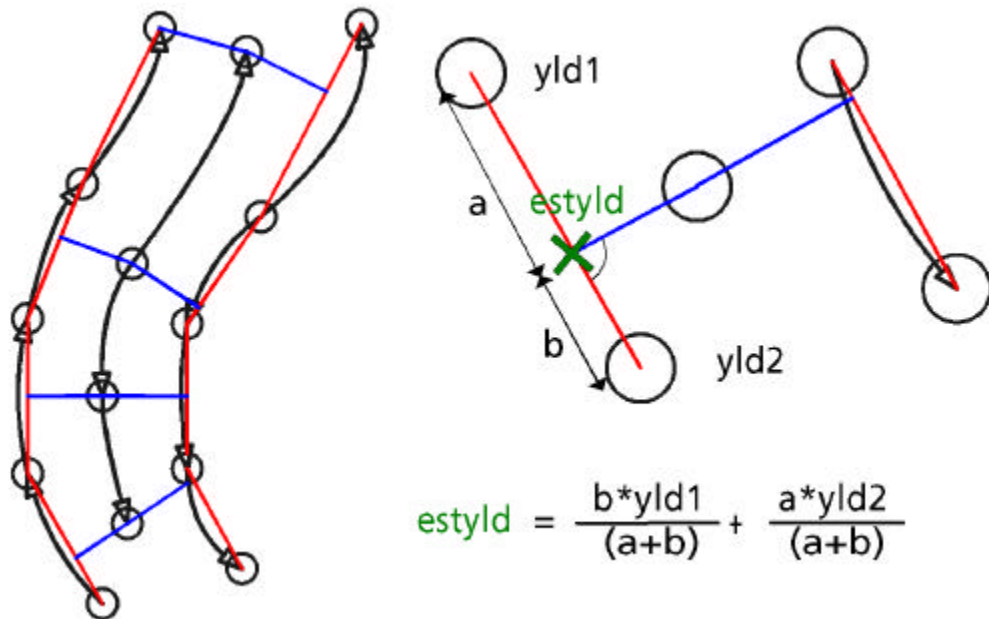


Abb. 3.6-6: Die H-Methode

Die Ertragsmesswerte weisen über die Zeit mehr oder weniger starke Schwankungen auf, die nicht nur durch die Änderungen der lokalen Erträge, sondern durch das Messsystem bedingt sind. Das Ausmaß des Messrauschens ist von Ertragsmesssystem zu Ertragsmesssystem unterschiedlich stark ausgeprägt. Das Messrauschen und einzelne fehlerhafte Messwerte können die direkte Vergleichbarkeit der Ertragsmesswerte beeinträchtigen. Vor dem Vergleich der Erträge in einer Fahrspur mit den Erträgen in den benachbarten Fahrspuren müssen deshalb Filter angewendet werden, um den Verlauf der Erträge zu glätten.

Es wurden verschiedene Methoden für die Reduktion des Messrauschens getestet.

1. **Gleitender Mittelwert** : Durch eine gleitende Mittelwertbildung wird der Verlauf der Erträge je nach der Anzahl der Perioden mehr oder weniger stark geglättet. Schwankungen in den Ertragsverläufen werden jedoch so geglättet, dass relevante Ertragsunterschiede nicht mehr erkennbar bleiben. Gleitende Mittelwerte werden von verschiedenen Autoren bei der Aufbereitung von Ertragsdaten verwendet (ISENSEE (2001)) und führen durch die Aggregation von Daten zu aussagefähigeren Ergebnissen. Allerdings gehen bei der Mittelwertbildung zeitliche bzw. räumliche Auflösung der Ertragsinformation verloren.
2. **Fast Fourier Transformation** : Mittels Fast Fourier Transformation geglättete Ertragsverläufe unterschätzen lokal höhere Erträge und überschätzen lokal niedrigere Erträge, so dass wie beim gleitenden Mittelwert relevante Ertragsunterschiede abgeschwächt werden. In Abbildung 3.6-7 sind im oberen Diagramm Ertragsmesswerte entlang einer Fahrspur (schwarz) und den benachbarten Fahrspuren (rot und blau) über die Zeit dargestellt. Im unteren Diagramm sind dieselben Ertragsverläufe nach Filterung mittels Fast Fourier Transformation dargestellt. Die Ertragswerte wurden nach der Transformation in den

Frequenzraum unter Ausschluss von Frequenzen kleiner 0.05 Hz wieder in den Zeitraum überführt. Der Ertragseinbruch, der bei 78 s in allen Fahrspuren erkennbar ist, ist nach der Filterung nur noch in stark abgeschwächter Form erkennbar, die Erträge werden an dieser Stelle um 100 Prozent überschätzt.

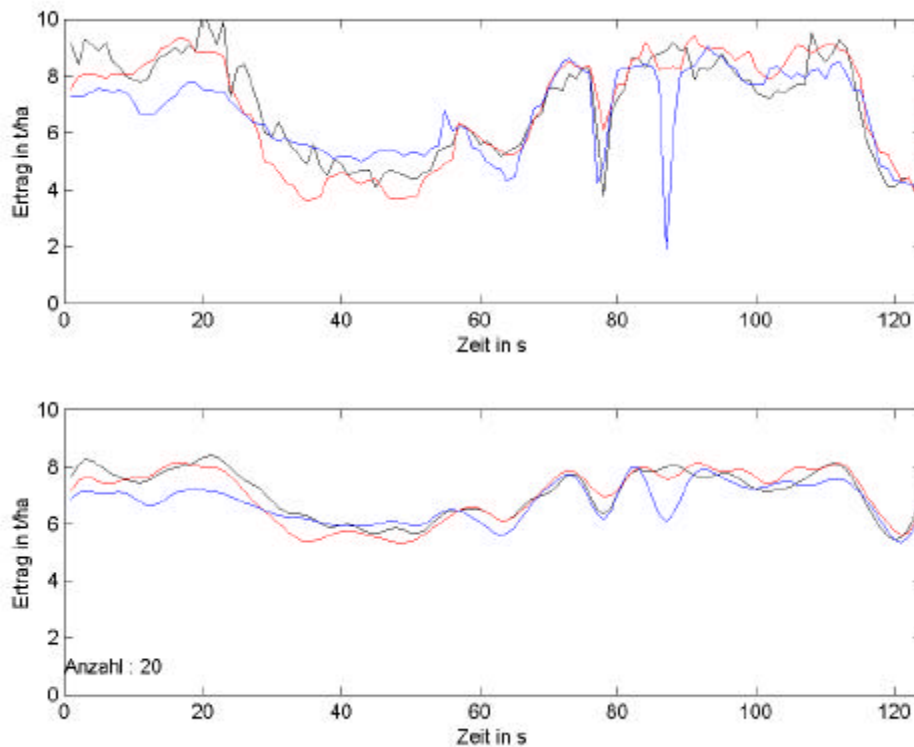


Abb. 3.6-7: Filterung durch Fast Fourier Transformation

- Polynomiale Regression** : Für einen lokalen Ausschnitt der Ertragsmesswerte können mittels polynomialer Regression Kurvenanpassungen berechnet werden. Darüber hinaus können für den ausgewählten Bereich die Residuen der Messwerte bezüglich der Regression ermittelt und als Maß für das lokale Messrauschen verwendet werden. Auf der Basis der Standardabweichung aller Residuen lassen sich sowohl für die Fahrspur als auch für die Nachbarfahrspuren Vertrauensintervalle für die Ertragsmesswerte berechnen. Diese Vertrauensintervalle können anschließend als Entscheidungskriterium bei der Fehlerbeurteilung verwendet werden. In Abbildung 3.6-8a sind die polynomialen Anpassungen und die Standardabweichung der Residuen für eine Fahrspur an zwei Positionen dargestellt. In Abbildung 3.6-8b ist der geglättete Ertragsverlauf sowie das aus den Standardabweichungen der Residuen berechnete Vertrauensintervall als Ober- und Untergrenze dargestellt.

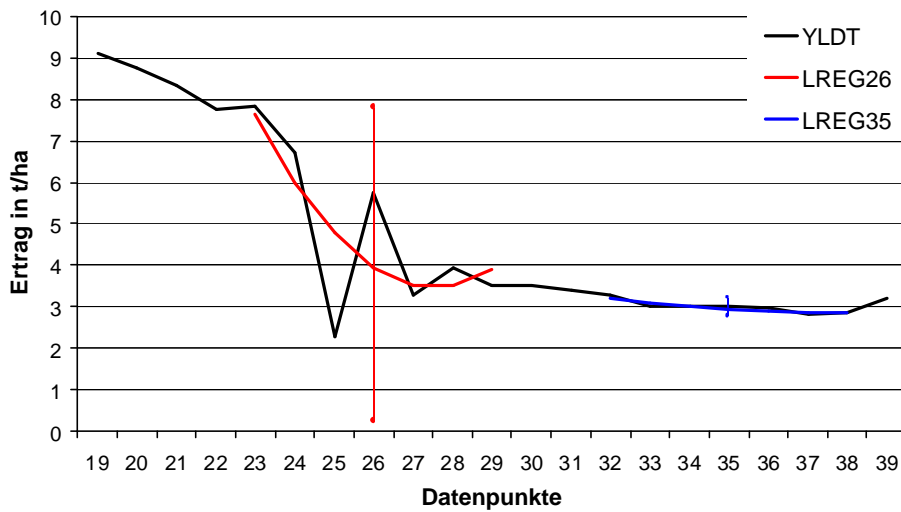


Abb. 3.6-8a : Ertragsverlauf (schwarz), polynomiale Regressionen (blau und rot) und Standardabweichungen der Residuen

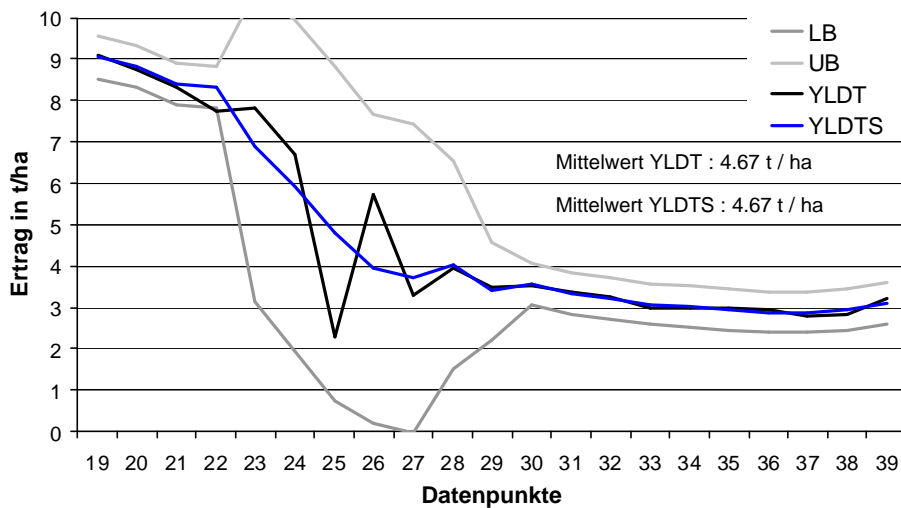


Abb. 3.6-8b: Geglätteter Ertragsverlauf (blau) und Vertrauensintervall (grau)

Das Verfahren der Glättung durch die Schätzwerte der polynomialen Regression hat den Vorteil, dass die durchschnittlichen Erträge für eine Fahrspur oder den Abschnitt einer Fahrspur nicht verändert werden. So sind die durchschnittlichen Erträge des gemessenen Ertragsverlaufes und des geschätzten Ertragverlaufes für den hier gewählten Ausschnitt einer Fahrspur gleich (4.67 t/ha).

Aus den Ober- und Untergrenzen der Vertrauensintervalle für die beiden Nachbarfahrspuren kann eine Ober- und Untergrenze für die Erträge in der Fahrspur gebildet werden. Hierzu werden die jeweils größeren Beträge der Standardabweichungen zu den geschätzten Werten innerhalb der Fahrspur hinzugezählt oder abgezogen. Wenn Ertragsmesswerte in der Fahrspur diese Gren-

zen über- oder unterschreiten, werden sie auf der Basis der letzten und der folgenden Werte korrigiert, die sich innerhalb dieser Grenzen bewegen.

In Abbildung 3.6-9 ist der Verlauf der Ertragsmesswerte entlang einer Fahrspur schwarz dargestellt. Die aus den Ertragsverläufen in den Nachbarfahrspuren berechneten Ober- und Untergrenzen werden durch die grauen Linien markiert. Schließlich ist der Verlauf der korrigierten Ertragsmesswerte entlang der Fahrspur blau dargestellt. Für das Diagramm wurden dieselben Daten verwendet wie für das Diagramm in Abbildung 3.6-6 (Fast Fourier Transformation).

Der Ertragseinbruch, der bei Datenpunkt 75 auftritt, ist auch im korrigierten Ertragsverlauf deutlich dargestellt, da an dieser Stelle auch in den Nachbarfahrspuren ein Ertragseinbruch auftrat. Der niedrige Ertragsmesswert bei Datenpunkt 80 wird korrigiert, da die Ertragsmessungen in den Nachbarfahrspuren bei geringer Standardabweichung der Residuen einen vergleichsweise höheren Wert ausweisen.

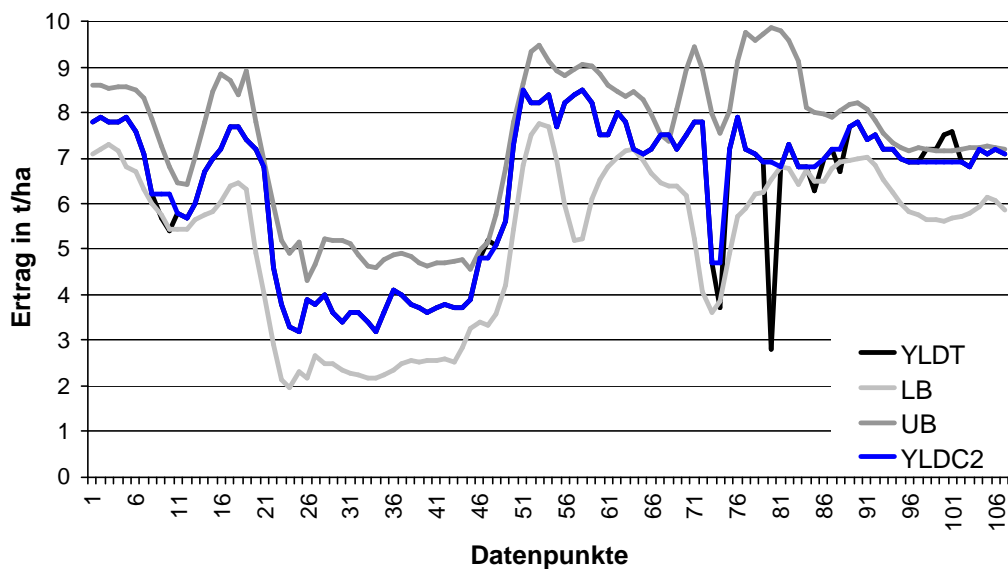


Abb. 3.6-9: Korrigierter und unkorrigierter Ertragsverlauf mit Vertrauensintervallen

Die oben beschriebene Methode für die Korrektur von fehlerhaften Ertragsmesswerten wurde während der Projektlaufzeit schrittweise entwickelt und an einzelnen Fahrspuren erfolgreich getestet. Die einzelnen Methoden (Fahrspurerkennung, Polynomiale Regression) sind in Visual Basic 6.0 umgesetzt worden. Die automatisierte Korrektur ist allerdings zur Zeit noch nicht voll in den Prozess zur Ertragskartenerstellung eingebunden. Diese Umsetzung soll in den nächsten Monaten erfolgen und bis zum Ende der Projektlaufzeit abgeschlossen sein.

Alternative Gridformen für Ertragsdaten

Im Rahmen der Auseinandersetzung mit geostatistischen Verfahren wurden Ertragskarten mit hexagonalen Rasterzellformen als Alternative zu quadratischen Rasterzellformen untersucht. Die

Ergebnisse sind im Zwischenbericht beschrieben. Der Ansatz wurde aus Zeitgründen nicht weiter verfolgt.

3.6.6 Ergebnisse und Diskussion

Feldversuche Ertragskartierung

Die Ertragsdaten, die mit verschiedenen Ertragsmesssystemen auf einem Mähdrescher im Rahmen der Feldversuche in Gut Wittenfeld und Dürnast (Technische Universität München) erhoben wurden, sind auf verschiedenen Aggregationsebenen miteinander verglichen worden.

Beim Vergleich der Einzelmessungen wurden Ertragsmessungen miteinander verglichen, die an Positionen mit weniger als einem Meter Abstand voneinander aufgezeichnet wurden. Dabei wurden Daten aus Dürnast (1999, Datavision Flow Control und LH/AgLeader 665) und Daten aus Wittenfeld (2000, RDS Ceres und LH/AgLeader 565) betrachtet. Um kalibrierungsbedingte Fehler zu eliminieren, wurden die Daten jeweils eines Systems mit dem Quotienten der Durchschnittserträge der beiden Ertragsmesssysteme normalisiert. Schließlich wurden die berechneten Differenzen klassifiziert.

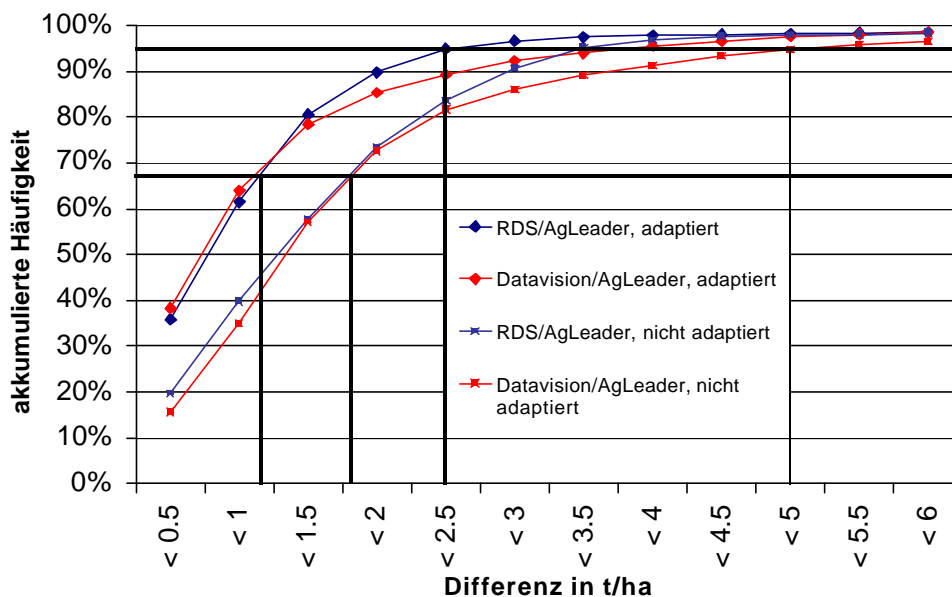


Abb. 3.6-10: Vergleich von Ertragsmesswerten zweier Ertragsmesssysteme auf Punktebene

In Abbildung 3.6-10 sind die akkumulierten Häufigkeiten der Ertragsdifferenzen an den betrachteten Datenpunkten für die beiden Versuche dargestellt. Die Kurven der normalisierten und der nicht normalisierten Messwerte verlaufen weitgehend parallel. Dies deutet darauf hin, dass die Fehler, die bei der Ertragerfassung auftreten, unabhängig von den eingesetzten Ertragsersfassungssystemen und unabhängig von den eingesetzten Mähdrescherfabrikaten sind. Insofern soll-

te das oben beschriebene Verfahren zur Korrektur von Ertragsmesswerten universell einsetzbar sein.

Der Versatz zwischen den normalisierten und nicht normalisierten Kurven resultiert aus dem Unterschied zwischen den mittleren Erträgen, die mit den Ertragsfassungssystemen ermittelt wurden. Beim Vergleich der Daten aus Gut Wittenfeld wiesen 95 % der betrachteten Datenpunkte eine Differenz von weniger als 2.5 t/ha auf, wenn die Daten auf der Basis der mittleren Erträge normalisiert wurden. Ohne die Normalisierung lag die Differenz nur bei 83 % der Werte unter 2.5 t/ha. Dieser Versatz verdeutlicht wie wichtig die Kalibrierung der Ertragsmesssysteme für die absolute Genauigkeit der Ertragsfassung ist. Fehlende oder fehlerhafte Kalibrierung können softwareseitig nicht erkannt und somit auch nicht korrigiert werden.

In Abbildung 3.6-11 sind die Ertragsdifferenzen für den Versuch in Gut Wittenfeld dargestellt. Ertragsdifferenzen treten verstärkt an den Feldrändern auf, sind jedoch auch in der Mitte von Fahrspuren zu finden.

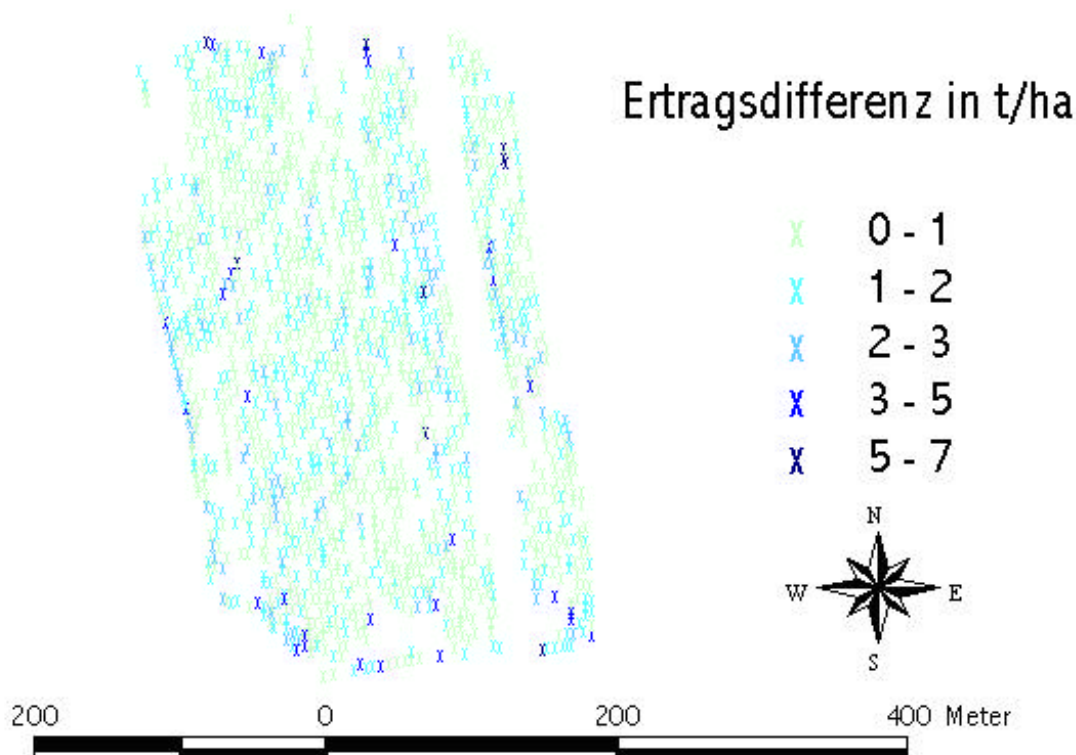


Abb. 3.6-11: Ertragsdifferenzkarte

Aus den Vergleichen der Ertragsmesswerte auf der Ebene einzelner Punkte können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden :

- i. Die Ergebnisse legen nahe, dass fehlerhafte Ertragsmesswerte unabhängig von Ertragsmesssystemen und Mähdreschern auftreten.
- ii. Eine gründliche Kalibrierung ist für die korrekte Erfassung absoluter Ertragswerte unabdingbar.
- iii. Fehlerhafte Messwerte treten gehäuft an den Feldrändern (Vorgewende) auf.
- iv. Einzelne Ertragsmesswerte sind für Aussagen über Erträge in bestimmten Teilen eines Schlages ungeeignet.

Anhand der Ertragsdaten des Projektschlages Finkenherd aus dem Jahr 2000 wurden die mittleren Erträge von Fahrspuren mit den mittleren Erträgen der benachbarten Fahrspuren verglichen. Die Fahrspurenenerkennung und Zuordnung wurde mit dem oben beschriebenen Modul durchgeführt.

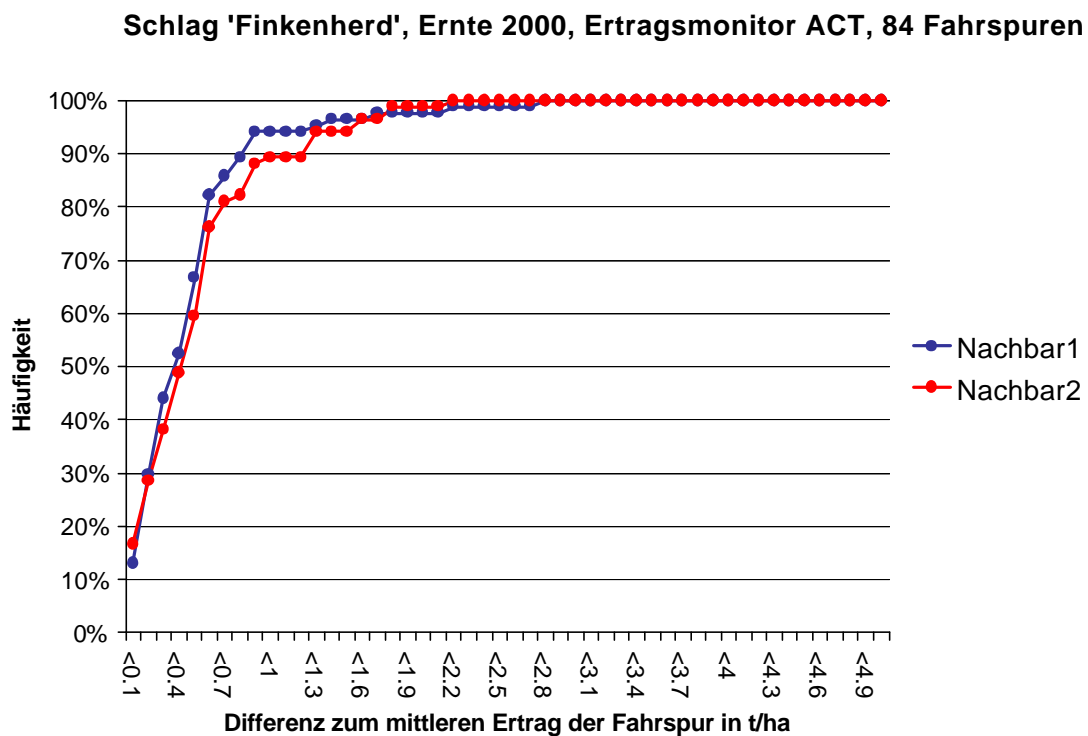


Abb. 3.6-12: Differenz zwischen den mittleren Erträgen in Fahrspuren und benachbarten Fahrspuren

In Abbildung 3.6-12 sind die Häufigkeiten des Unterschreitens von Mittelwertdifferenzen klassifiziert dargestellt. In 95 % der Fälle waren die Differenzen zwischen den mittleren Erträgen kleiner als 0.9 t/ha (Nachbar 1) bzw. kleiner als 1.3 t/ha (Nachbar 2). Pro Fahrspur wurden zwischen 12 und 130 Datenpaare miteinander verglichen. Die Abweichungen können zum Teil durch die natürliche Variabilität der Erträge und schwankende Schnittbreiten erklärt werden.

Die hier untersuchten Daten deuten darauf hin, dass die Mittelwerte der Ertragsmessungen über Fahrspuren konsistent sind und dass die Aggregation von Ertragsmessungen über Zeit und Raum zu einer besseren Aussagekraft führen. ISENSEE (2001) und AL-MAHASHNEH (2000) kommen bei Feldversuchen zu ähnlichen Aussagen.

Im Jahr 2001 wurden im Rahmen der Feldversuche in Gut Wittenfeld auf drei Schlägen die Ertragsmessungen mit drei verschiedenen Ertragsfassungssystemen auf einem Mähdrescher durchgeführt. Anschließend wurden aus den Ertragsdaten Rasterertragskarten mit unterschiedlichen Rastergrößen erstellt und verglichen. Es wurden dabei die Korrelationskoeffizienten ortsgleicher Rastererträge berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3.6-13 dargestellt.

Die Beziehungen werden, wie zu erwarten, mit steigender Rastergröße enger. Die Korrelationen zwischen dem Datavision und dem AgLeader System sind auf allen Schlägen und für alle Rastergrößen am engsten während die Beziehungen zwischen den Rastererträgen der Systeme Agleader und RDS Ceres auf allen Schlägen und für alle Rastergrößen am geringsten sind.

Die Vergleiche zwischen den Rastererträgen deuten darauf hin, dass bei der Erstellung von Rasterertragskarten aus unkorrigierten Ertragsdaten mindestens eine Rastergröße von 25 m gewählt werden sollte, wenn die Ertragskarten eine vergleichbare Aussagekraft besitzen sollen.

		Zellgröße			
		5	10	25	50
Ertragsmesssysteme	Seminar				
	X_YLD	0.29	0.41	0.55	0.71
	X_FSY	0.54	0.64	0.72	0.82
	YLD_FSY	0.72	0.77	0.84	0.88
	Schlag 4				
	X_YLD	0.25	0.22	0.41	0.49
	X_FSY	0.45	0.57	0.64	0.66
	YLD_FSY	0.57	0.65	0.73	0.77
	Meilenhofer Acker				
	X_YLD	0.55	0.60	0.70	0.79
	X_FSY	0.62	0.65	0.75	0.83
	YLD_FSY	0.66	0.70	0.79	0.87

Abb. 3.6-13 : Vergleich von Rasterertragskarten auf der Basis von Ertragsdaten, die mit drei verschiedenen Ertragsfassungssystemen auf einem Mähdrescher erfasst wurden (Gut Wittenfeld, 2001). X = RDS Ceres, YLD = AgLeader, FSY = Datavision II.

Einfluss von Hangneigung auf Ertragsmessungen

Die durch Hangneigung bedingte Längsneigung des Erntefahrzeuges kann einen Einfluss auf das Ertragsmesssystem ausüben. Dieser Einfluss ist abhängig von den verwendeten Ertragsensoren.

Mithilfe des digitalen Geländemodells, das von Teilprojekt II-1b erstellt wurde, konnten für den Schlag Kamp Ost (2000) die Längsneigungen der Erntemaschine mit den Ertragsmessungen verglichen werden. Es konnte bei Längsneigungen von -2.3 Grad bis 2.2 Grad kein Zusammenhang zu den Ertragsmessungen festgestellt werden (Bestimmtheitsmaß der Regression : 0.5%).

Die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Fahrzeuglängs- und querneigung und Ertrag sollen mit anderen Ertragsdatensätzen und für verschiedene Ertragsmesssysteme fortgeführt werden.

Feldversuche zur Genauigkeit von GPS unter Feldbedingungen

Seit der Abschaltung der *Selective Availability* im Mai 2000 sind mit unkorrigiertem GPS wesentlich bessere Positionsgenauigkeiten zu erzielen. In diesem Zusammenhang wurde diskutiert, ob differentiell korrigiertes GPS für die Ertragskartierung erforderlich ist oder nicht.

GPS Sensoren sind ebenso wie Ertragssensoren unter Feldbedingungen störenden Einflüssen ausgesetzt (z.B. Vibrationen, elektromagnetische Felder, Abschattung an Waldrändern). Deshalb wurden in Gut Wittenfeld während der Ernte 2000 marktgängige GPS Empfänger zusammen mit einem hochgenauen RTK GPS System auf einem Mähdrescher eingesetzt.

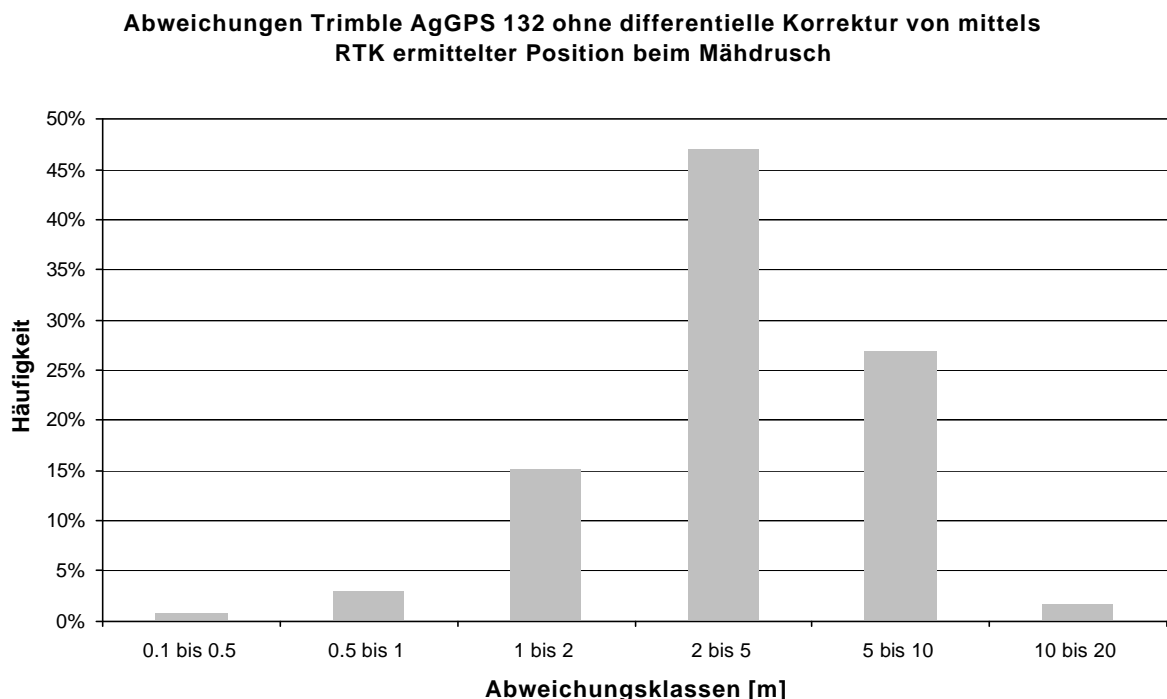


Abb. 3.6-14: Positionsfehler mit unkorrigierten GPS unter Erntebedingungen

Die Abweichungen zwischen den ermittelten Positionen wurden untersucht. In Abbildung 3.6-14 sind die Abweichungen eines Trimble AgGPS 132 ohne differentielle Korrektur von den mittels RTK GPS ermittelten Positionen dargestellt. Fast die Hälfte aller Positionen wurden mit einer Genauigkeit von 2 bis 5 Metern bestimmt. Ein Viertel der Positionen wies Fehler von 5 bis 10 m auf.

Für die Erstellung von Rasterertragskarten mit großen Rasterzellen (50 m) auf der Basis unkorrigierter Ertragsdaten können solche Positionsfehler akzeptiert werden.

Für die Erkennung von Fahrspuren ist eine zuverlässige und möglichst genaue Positionsinformation jedoch Voraussetzung. Wenn nach der Korrektur der Ertragsdaten auch höher aufgelöste Ertragskarten erstellt werden sollen (10 m), sind differentiell korrigierte GPS Positionen mit einer Genauigkeit von einem Meter unerlässlich.

3.6.7 Kooperation mit anderen Teilprojekten

Das Teilprojekt II-5 lieferte Ertragskarten für alle anderen Teilprojekte. Die Ertragskarten fanden einerseits als Inputvariable Eingang in verschiedene Rechenprozesse und wurden andererseits für die Überprüfung von Ergebnissen verwendet. So konnte z.B. das Teilprojekt II-6a auf der Basis der Ertragskarten die mittels TIR erstellten Ertragsprognosen verifizieren.

Die Ertragskarten wurden in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt V-2 in der Regel 24 Stunden nach Eintreffen der Ertragsdaten zentral im *premis* bereit gestellt.

Die digitalen Geländemodelle aus dem Teilprojekt II-1b wurden für die Berechnung von Fahrzeuglängsneigungen verwendet.

3.6.8 Ausblick

In der verbleibenden Projektlaufzeit soll die *H-Methode* so umgesetzt werden, dass eine Integration in die bestehende automatische Ertragsdatenverarbeitung möglich ist.

Es sollen die Auswirkungen des Filters auf Ertragskarten untersucht werden. Hierzu werden Ertragskarten verglichen, die aus gefilterten und ungefilterten Ertragsdaten erstellt wurden. Insbesondere werden die Ertragsdaten aus den Feldversuchen betrachtet werden.

Die *H-Methode* zur Korrektur von Ertragsdaten lässt sich auch auf andere Daten anwenden, die im landwirtschaftlichen Zusammenhang linienhaft erfasst werden.

So könnte die *H-Methode* auch für Korrektur von EM38 Messungen oder für die Nachbearbeitung von Prozessdaten verwendet werden. Die Prozessdatenerfassung auf landwirtschaftlichen Nutzfahrzeugen wird im Rahmen des Projektes Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung an der Technischen Universität München (Fachgebiet Technik im Pflanzenbau, DFG Forschergruppe IKB Dürnast) untersucht und entwickelt.

Weiterhin könnte die *H-Methode* in modifizierter Form ohne die Verwendung von klassischer Geostatistik für die Schätzung von Erträgen an bestimmten Positionen verwendet werden.

3.6.9 Literatur

- Al-Mahashneh, M.A.; Colvin, T.S. (2000) : Verification of Yield Monitor Performance for On-The-Go Measurement of Yield with an In-Board Electronic Scale. Transactions of ASAE Vol. 43(4) : pp 801 – 807.
- Auernhammer, H.; Demmel, M.; Muhr, K.; Rottmeier, J.; Wild, K. (1993) : Yield Measurements on Combine Harvesters. ASAE Paper 931506.
- Beck, A.D.; Searcy, S.W.; Roades, J.P. (2001) : Yield Data Filtering Techniques for Improved Map Accuracy. ASAE Papers, Vol. 17(4), pp. 423-431.
- Blackmore, S.; Marshall, C. (1996) : Yield mapping : Errors and Algorithms. Presented at the 3rd International Conference on Precision Agriculture, www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/papers/ymeeaa7/ymeeaa7.htm
- Demmel, M. (1997) : Ertragsermittlung im Mähdescher. DLG Merkblatt 303
- Ebert, C. (1999) : Ertragskartierung in Mecklenburg-Vorpommern. Diplomarbeit am Fachbereich Agrarökologie der Universität Rostock
- Isensee, E.; Krippahl, S. (2001) : Online-Vergleich von Ertragsmesssystemen im Mähdescher. Landtechnik (Hrsg. KTBL) , Ausgabe 4/2001, S. 274-275
- Maertens, K.; De Baerdemaker, J.; Ramon, H.; De Keyser, R. (2001) : An Analytical Grain Flow Model for a Combine Harvester, Part I : Design of the model. J. agric. Engng Res. (2001) 79(1), pp. 55-63
- Noack, P. (2002) : Aufbereitung von Ertragsdaten. Landtechnik (Hrsg. KTBL) , Ausgabe 3/2002, S. 182
- Noack, P. O.; Muhr, T.; Demmel, M. (2001): Long term studies on determination and elimination of errors occurring during the process of georeferenced yield data collection on combine harvesters. Proceedings of the "Third European Conference on Precision Agriculture" (Eds.: Grenier, G., Blackmore, S.). agro Montpellier 2001, Vol 2, pp. 833-837
- Noack, P.O.; Muhr, T.; Demmel, M. (2001) : Langzeitstudie zur Bestimmung von Fehlern während der georeferenzierten Erfassung von Ertragsdaten auf Mähdeschern. Tagung Landtechnik 2001, VDI –Berichte 1636, S. 243 - 247
- Rands, M. (1995) : The Development of an Expert Filter to improve the Quality of Yield Mapping Data. Unpublished Master Thesis, Silsoe College, Department of Agricultural and Environmental Engineering, http://www.cpf.kvl.dk/Papers/Mark_Rands_Thesis/
- Thylen, L.; Jürschik, P.; Murphy, D.P.L. (1997) : Improving the Quality of Yield Data. Precision Agriculture 1997, pp. 743-750. BIOS Scientific Publishers.