

Einsatz des Globalen Positionierungssystems in der Landwirtschaft

Nutzungsmöglichkeiten und Anforderungen

KTBL-Arbeitsgruppe "Globales Positionierungssystem"



EINGEGANGEN

11. Jan. 1994

**Inst. f. Landtechnik
Weihenstephan**

Dr. H. Auernhammer

Einsatz des Globalen Positionierungssystems in der Landwirtschaft

Nutzungsmöglichkeiten und Anforderungen

KTBL-Arbeitsgruppe "Globales Positionierungssystem"

© 1994 by Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Bartningstr. 49, D-64289 Darmstadt

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministers
für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Nachdruck, auszugsweise Wiedergabe, Vervielfältigung,
Übernahme auf Datenträger und Übersetzung nur mit
Genehmigung des KTBL

Autorenverzeichnis

Muhr, Thomas	Adelschlag Gut Wittenfeld
Auernhammer, H. PD Dr.Dr.habil.	TU München-Weihenstephan Institut für Landtechnik
Böttinger, S.	Claas oHG TE-VM
Kloepfer, Florian Dr.	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
Resch, H.-N. Dr.	Landes Lehr- und Versuchsanstalt Inst. für Bodenkunde, Trier
Schnug, Ewald Prof. Dr.	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Inst. für Pflanzenernährung
Welsch, Winfried OAR	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Referat 315
Werner, Armin Dr.	ZALF Müncheberg Inst. für Landnutzungssysteme
Schneider, W. Dr.	Landes Lehr- und Versuchsanstalt Trier Inst. für Bodenkunde

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Anwendung von GPS in der Landwirtschaft	11
3	Technische Anforderungen an das GPS aus Sicht der Landwirtschaft	18
4	Erfahrungen und laufende Projekte	19
5	Zusammenfassung	21
6	Ausblick und Forschungsbedarf	22
7	Literatur	23

1 Einleitung

Die Berufung einer KTBL-Arbeitsgruppe, die sich mit dem Einsatz des Globalen Positionierungssystems in der Landwirtschaft befaßt, beruht auf einer Anregung der KTBL-Arbeitsgemeinschaft "Elektronik in der Landwirtschaft". Dort wurde die Notwendigkeit gesehen, für eine neue Technologie, die vor der Einführung in verschiedenen Bereichen steht, die Einsatzmöglichkeiten in der Landwirtschaft darzustellen und die technischen Anforderungen aufzuzeigen, damit in der augenblicklichen Diskussion die Position der Landwirtschaft vertreten werden und aktueller Forschungsbedarf aufgezeigt werden kann.

Die Anforderungen der Gesellschaft an die Landwirtschaft hinsichtlich des Einsatzes von Produktionsmitteln machen eine weitere Verbesserung der Produktionstechnik unabdingbar. Mengenkontingierung und sinkende Preise bei gleichzeitig steigenden Kosten für Produktionsmittel sind für viele landwirtschaftliche Betriebe kaum noch zu tragende ökonomische Belastungen. Diese werden sich in Zukunft voraussichtlich progressiv verstärken, wenn die Nutzung von Produktionsmitteln aus hygienischen oder ökologischen Gesichtspunkten untersagt (z.B. Wachstumsregler im schwedischen Getreidebau; Dünge- und Pflanzenschutzmittel in Wasserschutzgebieten) oder die von landwirtschaftlicher Produktion ausgehenden ökologischen Belastungen als Kosten für die Nutzung natürlicher Ressourcen auf der Seite des Aufwandes verbucht werden müssen. Insbesondere die Vorgaben des Boden- und Wasserschutzes erfordern in immer stärkeren Umfang die Nutzung der Technik.

1.1 Technische Grundlagen

Das Global Positioning System (GPS) ist, wie der Name schon sagt, ein weltweit verfügbares System zur Bestimmung der exakten geographischen Position. Es basiert auf einer Konstellation von 21 Satelliten (+ 3 Reservesatelliten) im Endausbau von ca. 1993 an, die auf sechs Bahnen in einer Höhe von 20 183 km die Erde innerhalb von zwölf Stunden einmal umkreisen. Sie ermöglichen es, jederzeit und an jeder Stelle der Erde die eigene Position genau zu ermitteln. GPS wurde vom US-Verteidigungsministerium mit einem Kostenaufwand von mehr als 10 Milliarden Dollar aufgebaut. Es können Genauigkeiten von unter 1 m erzielt werden (Precise Positioning Service). Für den zivilen Bereich beträgt die bestmögliche Genauigkeit etwa 20 m (Standard Positioning Service).

Das GPS-System besteht zum einem aus dem *Raumsegment*; das sind die Satelliten, die ständig synchrone Zeitsignale und Daten über die eigene Position sowie weitere Hilfsinformationen für den Nutzer (z.B. Systemstatus, Uhrenkorrekturen usw.) aussenden. Das *Nutzersegment* besteht aus dem GPS-Empfängern, die sich nach den Vorstellungen der Systemdesigner zu Lande, zu Wasser oder in der Luft befinden können. Die Empfänger arbeiten rein passiv wie ein Radioempfänger, d.h. sie empfangen die Satellitensignale, messen die Laufzeitdifferenz und ermitteln daraus ihre eigene Position. Da die Trägerfrequenz des GPS-Signales bei 1,56 GHz liegt, müssen sich die Satelliten quasi im Sichtbereich des Empfängers befinden, damit eine Übertragung möglich ist. Die Anzahl der Empfänger unterliegt keiner systembedingten Beschränkung. Das dritte Segment ist das *Bodensegment*. Es ist für die Aufrechterhaltung der Systemfunktion zuständig. Hier werden von festen Punkten von der Erde aus die Satellitenpositionen vermessen und dem Satelliten mitgeteilt. Ebenso werden dem Satelliten die neuesten Informationen über die Satellitenbahn, das Borduhrenverhalten,

Ausbreitungskorrekturen usw. übertragen. Hier wird auch die GPS-Systemzeit erzeugt und überwacht.

Die eigentliche Entfernungsmessung geschieht durch die Messung der Laufzeit eines Signales vom Satelliten zum Empfänger. Dazu wird ein Satellit und im Empfänger zugleich ein Pseudo-Zufallscode erzeugt, mit einer Wiederholrate von 1 msec. Die Zeitdifferenz von der Erzeugung des Codes im Empfänger bis zum Eintreffen desselben Codes vom Satelliten ergibt die zeitliche Entfernung, multipliziert mit der Lichtgeschwindigkeit die räumliche Entfernung.

In der Praxis sind dazu für die dreidimensionale Positionsbestimmung vier Satelliten erforderlich. Der vierte Satellit dient zur Synchronisierung der Borduhr des Empfängers. Um Genauigkeiten von ± 10 m zu erreichen, dürfen die Satellitenuhren nicht mehr als 30 nsec voneinander abweichen. Dies erfordert selbst bei einer Neusynchronisation alle 24 Stunden hochgenaue Atomuhren an Bord der Satelliten. Durch die Nutzung des vierten Satelliten ist es möglich, in den Empfängern wesentlich ungenauere Uhren bei gleicher Genauigkeit der Positionsbestimmung einzubauen.

Die Genauigkeit des Systems wird z.T. durch die Abweichung der Satellitenuhren bestimmt. Weiterhin ergibt sich die sogenannte geometrische Abschwächung der Genauigkeit (GDOP) aus der augenblicklichen Satellitenposition. Liegen zwei Satelliten weit auseinander, so ergibt sich ein engerer Schnittpunkt, als wenn sie nah beieinander liegen.

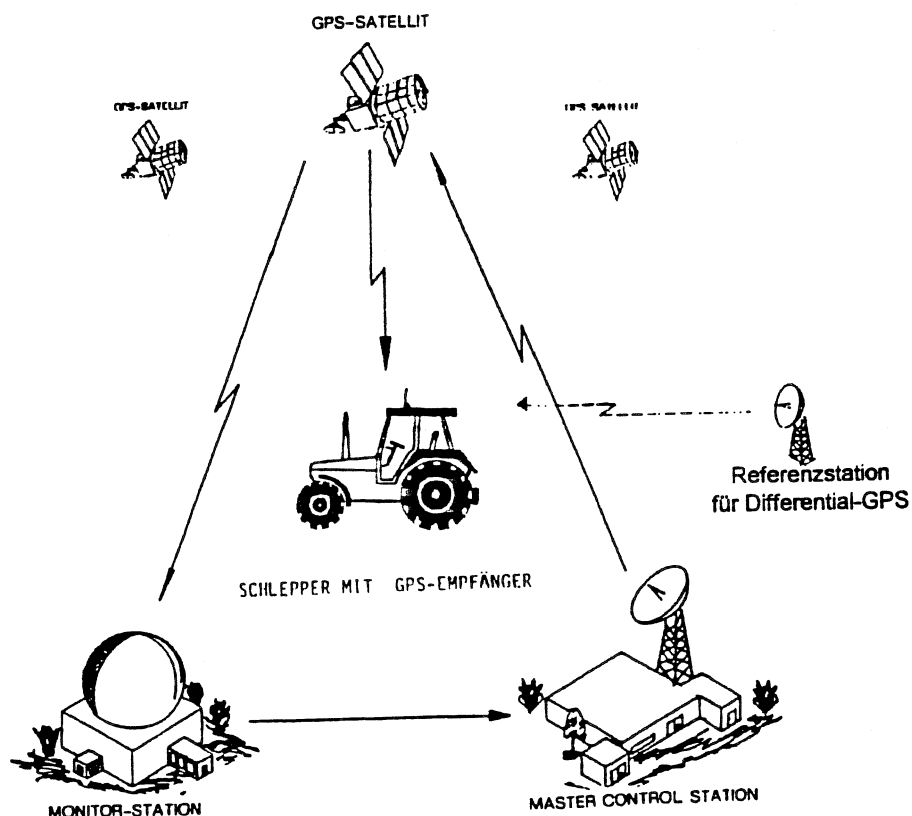


Abb.1: Funktion des Globalen Positionierungssystems

Bei der Nutzung des zweiten, militärischen Kanals können einige dieser Fehler eliminiert werden, wodurch die hohe Genauigkeit von 1 m erreicht werden kann.

Im zivilen Bereich wird durch das US-Verteidigungsministerium eine gewollte Verschlechterung des Signals (C/A-Code) durch die Einschaltung der sogenannten Selective Availability (S/A) erreicht,

um einen Mißbrauch des Systems zu verhindern. Eine höhere Genauigkeit kann durch den Einsatz des differentiellen GPS erreicht werden. Hier wird von einem ortsfest vermessenen Empfänger die Eigenposition über GPS ermittelt und mit der tatsächlichen verglichen. Die Differenz wird als Korrektursignal über Funk ausgestrahlt und kann von den mobilen GPS-Empfängern im Umkreis von etwa 300 km - abhängig von der Sendeleistung - bei der Ermittlung ihrer Position berücksichtigt. Eine Übersicht über verschiedene Fehler gibt Tabelle 1.

Prinzipiell besteht die Möglichkeit GPS sowohl online als auch offline zu betreiben. Im online-Betrieb erfolgt die Feststellung des Standortes während der Fahrt und die Positionssignale werden zusammen mit anderen Messwerten zeitgleich verarbeitet. Beim offline-Betrieb werden die registrierten Positionssignale erst nachträglich in Bezug zu anderen Messwerten gesetzt (post-processing). Es ist dabei die einfache Möglichkeit der Einbeziehung weiterer Positionsdaten zur Verbesserung der Genauigkeit gegeben. Steuerungs- und Regelungsaufgaben können damit aber nicht erfüllt werden.

Tab. 1: Fehlerquellen des GPS-Systems (Hoßfeld 1992)

Uhrenfehler	0,6 m	
Bahnfehler	0,6 m	
Empfängerfehler	1,2 m	
atm. / ionosph. Fehler	3,6 m	
S/A Fehler	7,5 m	
Summe (quadratischer Mittelwert)	ohne S/A 4,5 m	mit S/A 9,0 m
Geometrischer Fehler		
GDOP 4 - 6 (gut)	18 - 27 m	36 - 54 m
GDOP 10 - 12 (schlecht)	45 - 54 m	90 - 118 m

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Genauigkeit der Positionsbestimmung durch GPS besteht durch verschiedene Möglichkeiten der Koppelortung, bei der durch Einbeziehung anderer Ortungssysteme der Fehler deutlich gesenkt werden kann.

Der Aufbau eines flächendeckenden Netzes mit ortsfesten Bezugsstationen ist in Planung. Wesentliches Anwendungsgebiet wird im Automobilbereich liegen, wo mit Empfängern im Auto ein Leitsystem realisiert werden kann. Dies wird eine deutliche Verbilligung der Technik durch Fertigung in hohen Stückzahlen bewirken. Der Preis wird dann unter 2000 DM liegen. Dies ermöglicht auch den rentablen Einsatz in der Landwirtschaft.

2 Anwendung von GPS in der Landwirtschaft

Die Hauptanwendungsgebiete des GPS sind in einem Regelkreis der pflanzlichen Produktion zu sehen. Sie gehen von der Ertragsermittlung aus, setzen sich über Bodenanalysen fort und münden schließlich in die computergestützte Verteilung von Mineraldünger und Pflanzenschutzmitteln. Zur Abstimmung aller Arbeiten ist die eindeutige Identifizierung der Flächen und die Zuordnung der er-

hohenen Werte und durchgeführten Maßnahmen mit Hilfe der Satellitenortung einfach und automatisierbar möglich. Durch die kontinuierliche Erfassung aller Werte ergibt sich die Möglichkeit, den Kreislauf der pflanzlichen Produktion genau zu überwachen und entsprechend mit den produktionstechnischen Maßnahmen zu reagieren.

Bisher nicht genutzte Möglichkeiten zur ökonomischen und ökologischen Optimierung pflanzenbaulicher Produktionstechnik liegen neben der exakten Steuerung von Verteilarbeiten in der Berücksichtigung der kleinräumigen Variabilität von Standortmerkmalen. Eingehende Studien (z.B. in Schleswig-Holstein) haben gezeigt, daß die Variabilität einzelner Merkmale der Bodenfruchtbarkeit bereits innerhalb eines Schlates von kaum mehr als 10 ha die Größenordnungen ganzer Landschaftsräume erreicht (LAMP und SCHNUG 1987). Die Konsequenzen, die sich hieraus für den traditionellen, gleichmäßig über Flächen verteilenden Einsatz von Produktionsmitteln aus ökonomischer und ökologischer Sicht ergeben, sind bemerkenswert. Mit Hilfe der genauen Positionsbestimmung auf dem Feld sind erhebliche Verbesserungen durch punktgenaue Abstimmung des Produktionsmitteleinsatzes auf die räumlich zum Teil stark variablen Merkmale des Bodens und des Pflanzenbestandes zu erreichen. Zukünftig wird die Landwirtschaft in der Pflanzenproduktion daher nicht umhin kommen, verstärkte Anstrengungen zur Anpassung des produktionstechnischen Aufwandes an die natürlichen Gegebenheiten des Standortes und den Bedarf der Pflanzen zu unternehmen. Insbesondere im ökologischen Landbau ist die Anpassung der Produktionstechnik an die natürlichen Gegebenheiten von grundlegender Bedeutung, da durch den Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutz- und Düngemittel relativ einfache Korrekturmöglichkeiten entfallen.

2.1 Einsatz von GPS zur Datenermittlung

2.1.1 Dokumentation durchgeführter Arbeiten

Die exakte Erfassung und Aufzeichnung des Betriebsmitteleinsatzes, die auch für die Landwirtschaft den zweifelsfreien Nachweis über umweltschonendes (ordnungsgemäßes) Wirtschaften bedeutet, wird durch GPS ermöglicht. Dieser Gesichtspunkt wird zunehmend von Bedeutung sein, da die Landwirtschaft von immer mehr Gesetzen und Verordnungen betroffen ist. Für den Einzelbetrieb ergeben sich daneben auch Vorteile bei der automatisierten Datenerfassung, die auch den tatsächlichen Arbeitszeitaufwand umfaßt und eine Zuordnung der Arbeitszeiten zu den bearbeiteten Flächen ermöglicht. Wesentlich exaktere betriebswirtschaftliche Kennzahlen verbessern die Planungs- und Entscheidungsgrundlagen.

Eine weiteres Ziel ist, analog zu Fahrten- oder Flugschreibern in LKW bzw. Flugzeug eine Aufzeichnungseinheit zu realisieren, mit deren Hilfe eine exakte Registrierung aller umweltkritischen Außenarbeiten möglich ist.

Mit der Positionsbestimmung über differentielles GPS (DGPS) ist dabei erstmals die exakte Registrierung von Arbeiten möglich, die nicht nur ganze Felder, sondern auch Teilflächen betreffen. Die aufgezeichneten Daten können über eine zu definierende Schnittstelle in ein geographisches Informationssystem (GIS) übernommen werden. Diese geographischen Informationssysteme werden die Nachfolge heutiger Ackerschlagkarteien antreten. Innerhalb des geographischen Informationssystems erfolgt die Analyse des Datenmaterials. Planungsdaten lassen sich so flächenbezogen gewinnen, in Kartenform ausgeben bzw. in digitaler Form an mobile Prozeßrechner weitergeben.

2.1.2 Bodenkartierung

Die Übernahme von Informationen aus Kartenmaterial ist nicht nur zeit- und kostenaufwendig; ihre Genauigkeit und Relevanz wird im landwirtschaftlichen Bereich zudem durch die sich im Zeitverlauf (z.B. durch Bearbeitungsmaßnahmen und Änderungen von Feldstrukturen oder Besitzverhältnissen)

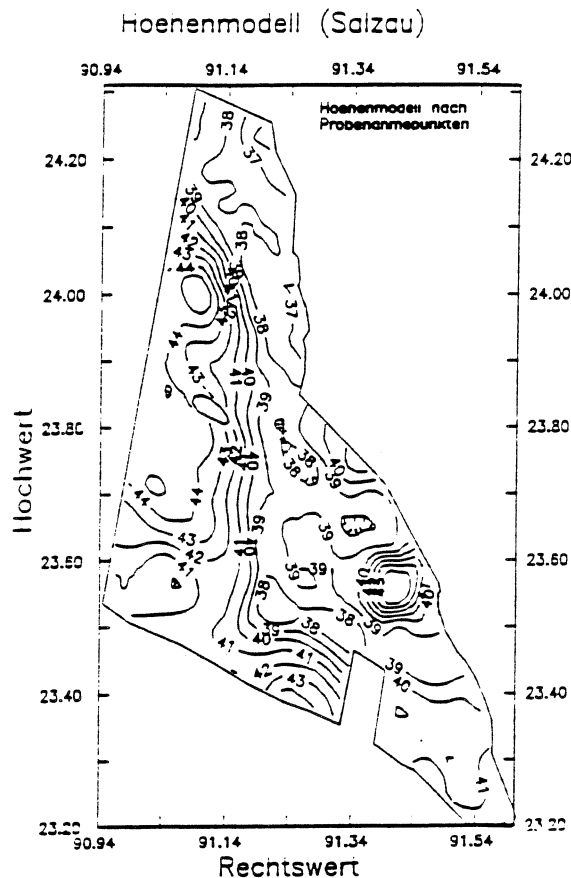


Abb. 2: Höhenmodell eines Schlags (Quelle: SCHNUG)

verändernden Begrenzungslinien der Produktionseinheiten gemindert. Besonders vorteilhaft erscheint hier die Aufnahme von geographischen Feldstrukturen mit Hilfe von GPS, wobei für die Bestimmung der Begrenzungslinien die z.Zt. mit Hilfe des Differentialverfahrens erreichbaren Genauigkeiten von ca. 3 m als ausreichend genau anzusehen sind. Digitale Geländemodelle, abgeleitet aus geographischen Grundinformationen, liefern Basisinformationen für Simulationen, die den Stofftransport in der Landschaft beschreiben. Geographische Höhe, Exposition, Inklination sind jedoch Kennwerte, die in digitaler Form bislang nur in sehr begrenztem Umfang bei offiziellen Stellen verfügbar sind. Die Extraktion dieser Daten aus Kartenmaterial erfordert einen beachtlichen Arbeitsaufwand. In der Landwirtschaft würde es sich daher als geradezu ideal anbieten, diese Daten mit Hilfe eines geeigneten Positionierungssystems während langsam ablaufender Feldarbeiten mit geringen Arbeitsbreiten (Pflügen, Drillen) auf-

zunehmen. In diese Kategorie kann auch die Aufnahme von Ertragsdaten eingeordnet werden. Diese Vorgehensweise, die man als "Natural Scanning" bezeichnet, könnte in einfacher Weise eine Vielzahl der Probleme, die bei der Übernahme von geographischen Informationen aus Kartenmaterial mittels Digitizern oder Scannern auftreten, überwinden. Neben den geographischen Positionen können mit geeignetem Gerät gleichzeitig Exposition und Inklination oder physikalische Standorteigenschaften (z.B. Bodenwiderstand etc.) in hoher räumlicher Auflösung aufgezeichnet werden. Das Beispiel eines Höhenmodells für einen Schlag zeigt Abb. 2.

Sofern nur Merkmale in der Ebene erfasst werden müssen, dürfte die mit Differential-GPS erreichbare Genauigkeit auch für das Natural Scanning genügen. Die Aufnahme von Höhendaten macht allerdings eine Genauigkeit von < 1 m erforderlich, so daß hierfür nur ein hochgenaues Differential-GPS in Frage kommen dürfte. Ein Betrieb des Differential-GPS im post-processing ist bei dieser Form der Datenaufnahme ohne weiteres möglich. Eine Steuerung von Maschinen zur Entnahme von Bodenproben oder die Aufnahme von Bestandesmerkmalen vor Ort ist jedoch nur mit Hilfe eines On-Line-DGPS möglich.

Diese Bodenkartierung kann gleichzeitig auch als Datengrundlage für die Abschätzung von Erosionsgefahr und mögliche Trinkwassergefährdung durch Dünger und Pflanzenschutzmittel dienen.

Bereits in ihrer einfachsten Form, allein basierend auf den Kenntnissen des Betriebsleiters über lokale Unterschiede, die mit Hilfe der zusätzlichen Positionsdaten auch für die Technik genutzt werden können, ist bereits eine erhebliche Verbesserung der Abstimmung der durchgeführten Maßnahmen auf die Standortgegebenheiten möglich. Dennoch bleibt die Notwendigkeit einer exakten Erfassung geographischer Grunddaten.

2.1.3 Erntemengenermittlung

Mähdrescher

Zur Korndurchsatzmessung sind für Mähdrescher hinreichend genaue Meßgeräte auf dem Markt erhältlich (volumetrisch: Claydon Yieldometer, radiometrisch: Dronningborg Flow-Control). Unter normalen Bedingungen beträgt der Fehler bei diesen Meßgeräten $\pm 2\%$, unter schwierigen Bedingungen (stark schwankende Schüttdichten infolge von Feuchte- und Korngrößenänderungen über dem Feld) steigt der Fehler beim volumetrischen Meßverfahren an. Durch die Querrförderung eines Großteils des Gutes im Schneidtisch (Schnittbreiten von > 5 m sind bei Groß-Mähdreschern Standard) sowie die Teilung des Gutflusses an der Dreschtrommel in zwei Hauptströme (Korbabscheidung) differiert die Laufzeit des zu einem Zeitpunkt geschnittenen Kornes bis zur Meßstelle im Elevatorkopf um ca. 10 s bis ca. 20 s. Deshalb ist in Fahrtrichtung des Mähdreschers eine Genauigkeit der Positionsbestimmung mit einem Fehler von ± 3 m ausreichend. In Querrichtung sollte die Genauigkeit zur Vermeidung von sich kreuzenden Fahrspuren höher sein (Fehler maximal ± 2 m). Hier können allerdings durch eine Nachbearbeitung der aufgenommenen Ertragskarte mit entsprechenden Plausibilitätskontrollen Fehler ausgeglichen werden (z.B. kommen kreuzende Fahrspuren normalerweise nicht vor, oder es wird nicht zweimal dieselbe Fläche gedroschen).

Häcksler

Für die Erntemengenermittlung bei Häckslern wird auf dem Markt kein Verfahren angeboten. Der Zeitversatz zwischen Schneiden bzw. Aufnehmen des Erntegutes und einer eventuellen Meßstelle wäre sehr gering. Hinsichtlich den Genauigkeitsforderungen für eine Positionsbestimmung sind die für Mähdrescher angeführten Anforderungen direkt übernehmbar.

Ballenpressen

Für Rechteck-Großballenpressen sind auf dem Markt Ballenwaagen erhältlich. Eine Zuordnung vom Beginn/Ende des Pressens eines Ballens zu Positionsdaten ist realisierbar. Die während der Herstellung eines Ballens durchfahrene Strecke ist allerdings sehr groß (je nach Ballengröße, Schnittbreite, Gut und Bestand 80 m bis 150 m), so daß Bestandsschwankungen nur ungenügend erfaßt werden können. Hinsichtlich den Genauigkeitsforderungen für eine Positionsbestimmung sind die für Mähdrescher angeführten Anforderungen ebenfalls direkt übernehmbar.

Ladewagen

Versuche mit einer Gewichtsermittlungen im Ladewagen sind erfolgreich durchgeführt worden, so daß eine Verknüpfung mit Positionsdaten möglich erscheint. Dies würde auch für Grünland die Möglichkeit der Ermittlung des flächenbezogenen Ertrages bedeuten.

2.1.4 Überbetrieblicher Maschineneinsatz

Die überbetriebliche Verwendung macht diese Technik auch für kleinere Betriebe zugänglich bei gleichzeitiger Ausrichtung nicht nur auf den Einzelbetrieb sondern auf die jeweiligen Teilflächen. Fehler durch falsche Vorgaben oder Geräteeinstellungen und durch versehentliches Bearbeiten können vermieden werden (z.B. Pflanzenschutzmittel mit W-Auflage in Wasserschutzgebieten).

Die Steuerung und Abrechnung des überbetrieblichen Maschineneinsatzes wird ebenfalls durch die exakte Positionsbestimmung in Verbindung mit digitalisierten Karten und elektronisch gesteuerten Geräten erleichtert. Ein entsprechende FuE-Vorhaben wird derzeit in Trier durchgeführt.

2.2 GPS bei der Steuerung landwirtschaftlicher Arbeiten

2.2.1 Düngung und Pflanzenschutz

Bei der Anwendung von Düngemitteln geht eine unökonomische Überversorgung mit möglichen negativen Auswirkungen auf die Umwelt (Grundwasserbelastung, gasförmige Emissionen) Seite an Seite mit ebenso unökonomischer Unterversorgung (unausgeschöpftes Ertragspotential). Studien haben gezeigt, daß im variabel strukturierten Gelände bei Anwendung traditioneller Diagnose- und Applikationsmethoden kaum mehr als 20 % der Fläche auch nur annähernd bedarfsgerecht behandelt werden (LAMP und SCHNUG 1987 und Abb.3).

Ein Anwendungsgebiet ist weiterhin die Düngung von Grünland, auf dem die flächenbezogene Düngung durch fehlende Fahrspuren und oft ungenau bekannte Flächengrößen besondere Probleme bereitet. Durch den Einsatz geeigneter Meß- und Wiegetechnik und elektronisch geregelter Ausbringungstechnik in Verbindung mit der Flächen- und Positionsbestimmung kann insbesondere bei der organischen Düngung eine erheblich verbesserte Verteilung erreicht werden.

Bei Pflanzenschutzmitteln wird der ökonomische und umweltverträgliche Einsatz durch die kleinräumige Variabilität von Standortmerkmalen beeinträchtigt. Pilzinfektionen können ebenso wie bestimmte Unkräuter lokal begrenzt auftreten, wobei die Präsenz wiederum von der kleinräumigen Ausprägung von Standortmerkmalen abhängig ist. Die Wirkung von Bodenherbiziden hängt darüber hinaus vielfach von der Ausprägung bestimmter physikochemischer Merkmale ab (z.B. Metazachlor und Phenmedipham vom Humusgehalt oder Isoproturon von der Textur). Durch neue Entwicklungen in der Gerätetechnik (z.B. Pflanzenschutzspritzen mit Direkteinspeisung) ist eine erheblich differenziertere Ausbringung, wie zum Beispiel durch unterschiedliche Zumischungen von Pflanzenschutzmitteln, denkbar.

Die Vermeidung des Einsatzes von Unkrautbekämpfungsmitteln durch automatisch gesteuerte mechanische Maßnahmen stellt hohe Anforderungen an die Positionsbestimmung, die nur durch Koppelortungssysteme erfüllt werden können. In vielen Fällen wird auch für Verteilarbeiten der Einsatz eines zusätzlichen Koppelortungssystems notwendig sein. Technische Anforderungen an das GPS-System ergeben sich aus den pflanzenbaulichen Voraussetzungen, der Arbeitsgeschwindigkeit, der Leistung der zusätzlichen Koppelortung und der Schnelligkeit der Prozeßsteuerungstechnik.

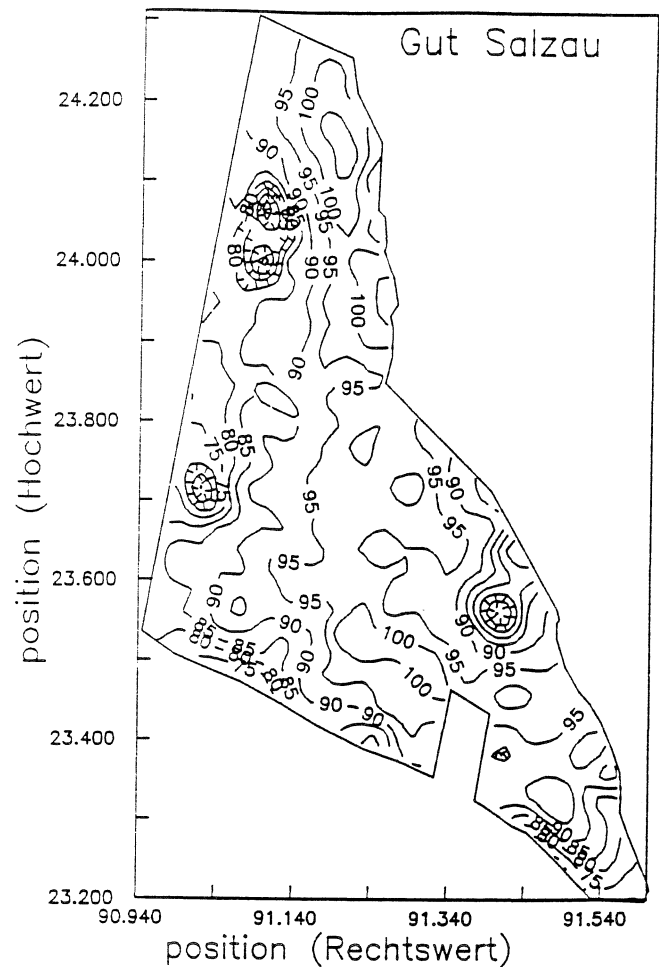
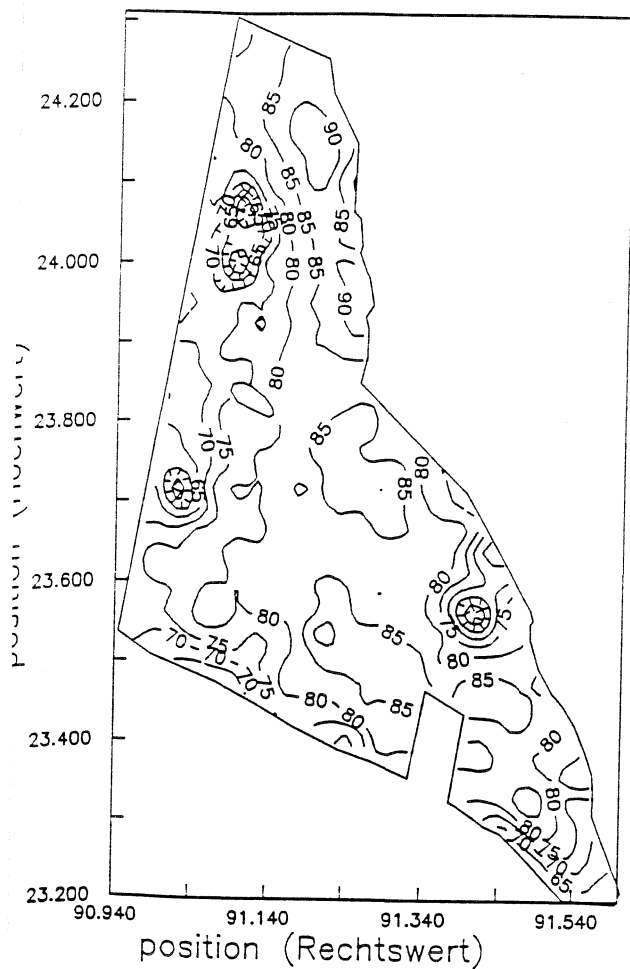


Abb. 3: Variabilität von Stickstoffdüngung (links) und Entzug (rechts) auf einem Schlag auf Grund von Bodenunterschieden (Quelle: SCHNUG)

2.3 GPS zur Navigation

In vielen Fällen ist bereits das eindeutige Auffinden des Feldes für ortsfremde Personen ein Problem, das mit Hilfe der Positionsbestimmung zu lösen ist. Dies gilt besonders für den überbetrieblichen Maschineneinsatz. Für verbesserte Verfahren von Düngung und Pflanzenschutz sind exakt arbeitende Navigationssysteme notwendig, die unterschiedliche Anforderungen an die Genauigkeit haben (Abb.4).

Für zukünftige Anwendungen ist auch an die Selbststeuerung von landwirtschaftlichen Maschinen zur Entlastung des Fahrers zu denken, insbesondere bei Arbeiten, die hohe Anforderungen stellen (z.B. Mähdrusch), oder an fahrerlose Systeme bei einfachen und monotonen Arbeiten.

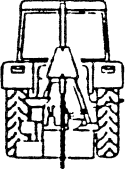
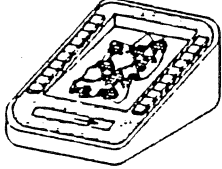
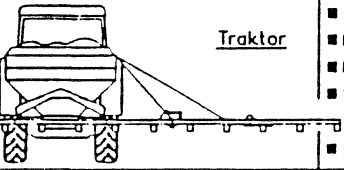
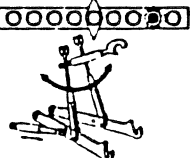
Art	Anwendung	Beispiele	Navigationshilfen	erforderliche Genauigkeit
Grobnavigation	 <u>Fahrzeug</u>	■ Bodenproben ziehen ■ Auffinden von Spurschächten		$\pm 1 \text{ m}$
Feinnavigation	 <u>Traktor</u>	■ Mineraldüngung ■ Flüssigmistausbringung ■ Festmistausbringung ■ Unkrautbekämpfung ■ Bodenbearbeitung		$\pm 10 \text{ cm}$
Feinnavigation	 <u>Gerät</u>	■ drillen ■ hacken ■ pflügen		$\pm 1 \text{ cm}$

Abb.4: Genauigkeitsanforderungen an Navigationssysteme in der Landwirtschaft (AUERNHAMMER 1992)

2.4 Kosten und Nutzen

Sowohl die Kosten als auch der Nutzen lassen sich nur schwer quantifizieren. Auf der Kostenseite stehen die Anschaffungskosten für den GPS-Empfänger. Die Verarbeitung der Daten setzt einen mobilen Agrarcomputer voraus. Zur geregelten Ausbringung sind weiterhin elektronisch gesteuerte Pflanzenschutzgeräte und Düngerstreuer notwendig. Daher sind diese Systeme vor allem für den überbetrieblichen Einsatz oder größere Betriebe geeignet. Im überbetrieblichen Einsatz dürfte die Rentabilität immer gegeben sein. Nach Modellrechnungen von SCHNUG und HOLST (1993) liegt die Rentabilitätsschwelle bei einem satellitengestützten Anbausystem von Winterweizen, das sich an der kleinräumigen Variabilität von Standortmerkmalen orientiert (Computer Aided Farming), bei ca. 100 ha. Es wurden Einsparungen an Stickstoffdünger von 15 bis 20% unterstellt. Unter Einbeziehung der Einsparungseffekte an Pflanzenschutzmitteln und Grunddünger und weiterer Nebeneffekte (z.B. geringere Trocknungskosten durch weniger Lager) ergibt sich eine Rentabilitätsschwelle von 50 ha. Es wurden jedoch nicht die Kosten für den Betriebs-PC und elektronisch geregelte Düngerstreuer und Pflanzenschutzgeräte berücksichtigt.

Die Kosten für die einmalige Erhebung standortspezifischer Daten können je nach betriebenem Aufwand sehr unterschiedlich sein. Im einfachsten Fall, in dem nur das vorhandene Wissen des Betriebsleiters genutzt wird, sind sie sehr gering. Bei Nutzung umfangreicher Informationen unter Zuhilfenahme geographischer Informationssysteme sind sowohl die Kosten für die erforderlichen Geräte (Digitizer, Plotter, leistungsfähige Computer, Software) als auch das notwendige Wissen so hoch, daß die Datenverwaltung und -auswertung dem Betrieb als Dienstleistungen angeboten werden müssen.

Für den landwirtschaftlichen Betrieb sind über die Verknüpfung von Arbeits- mit Positionsdaten, der dadurch ermöglichten teilflächenbezogenen Analyse der Arbeitsdaten und der resultierenden hohen Effektivität des Produktionsmitteleinsatzes erhebliche Einsparungen zu erwarten. Bei flächendeckendem Einsatz scheint darüber hinaus durch die verbesserte Kontrolle des Produktionsmitteleinsatzes auch eine deutliche Erhöhung der Umweltverträglichkeit und damit eine Reduzierung der von der

Landwirtschaft verursachten Folgekosten für die Allgemeinheit (z.B. erhöhter Aufwand zur Wasseraufbereitung) realistisch zu sein.

3 Technische Anforderungen an das GPS aus Sicht der Landwirtschaft

Für die Bodenkartierung ist die Genauigkeit des Differential-GPS im post-processing (einschließlich der Positionsbestimmung im Zusammenhang mit der Ertragerfassung) mit ca. 3 m als ausreichend genau zu bezeichnen, sofern die Verfügbarkeit des Systems während der gesamten Aufzeichnungsphase gegeben ist. Die Erfassung dreidimensionaler Geländedaten erfordert allerdings Genauigkeiten, die nur durch die Verwendung des militärischen Codes zu realisieren sein dürften. Soll mit Hilfe von GPS ein automatisches Probenahmegerät nach Karten gesteuert werden, oder Bestandsmerkmale vor Ort aufgezeichnet werden, so wird für das Differential-GPS der On-Line Betrieb unbedingt erforderlich. Das für die Ertragskartierung notwendige differentielle GPS sollte frei verfügbar und das Netz der Referenzstationen nicht weitmaschiger als 200 km sein.

Für die eigen- und überbetriebliche Datenermittlung könnte in vielen Fällen GPS mit einer Genauigkeit von ± 20 bis 30 m ausreichend sein. Zu erfassen wären damit in Verbindung mit anderen Sensoren (z.T. in den Maschinen schon vorhandenen) Maschinenlaufzeiten mit ihrer Zuordnung zu Aufträgen, Unterbrechungszeiten und Gesamteinsatzzeiten. Diese Daten wären danach die Ausgangsdaten für eine weitgehend automatisierte Auftragsabwicklung und -abgeltung. Gefordert ist die Positionsbestimmung vor allem auf dem Traktor oder der selbstfahrende Arbeitsmaschine, die Überwachung von einer zentralen Stelle ist eher die Ausnahme.

Für die Verteilarbeiten sind Genauigkeiten von ± 1 bis 5 m zu fordern. Dies entspricht bei einer mittleren Arbeitsgeschwindigkeit von 1,5 bis 2,0 m/s einer Ortungsfrequenz von 2 bis 3 s. Wichtig ist außerdem die Anforderung an die Höhenbestimmung zur exakten Flächenermittlung. Sie sollte mit einer Genauigkeit von ± 2 bis 8 m realisierbar sein. Alle Ortungen sind auf den mobilen Einheiten zu realisieren. Eine Einsatz zur Überwachung des Fahrzeugstandortes an einer zentralen Stelle kann bei großen Lohnunternehmen, in Maschinenringen und evtl. auf großen Betrieben in den neuen Bundesländern erfolgen.

Die Anforderungen an die Genauigkeit der Positionierung bei der Steuerung landwirtschaftlicher Arbeiten richtet sich nicht zuletzt nach der zu erwartenden räumlichen Variabilität der Merkmale im Gelände und nach der Validität der geostatistischen Verfahren, mit deren Hilfe Werte zwischen den realen Meßwerten interpoliert werden müssen. Diese Werte müssen für unterschiedliche Landschaftsräume jeweils abgeschätzt werden. Für die Geest und das östliche Hügelland Schleswig-Holsteins kann hier ein Wert von etwa 20 bis 30 m zugrunde gelegt werden (OTTE 1988).

DGPS in Verbindung mit einer Koppelortung und Koppelnavigation ist den künftigen automatisierten Arbeiten vorbehalten. Dabei ist insbesondere die Gerätesteuerung als Haupteinsatzgebiet zu nennen (z.B. mechanische Unkrautbekämpfung zur Verminderung oder Vermeidung chemischer Pflanzenschutzmittel). Daneben ist auch die fahrerlose Fahrzeugsteuerung zu berücksichtigen. Die jeweils geforderten Genauigkeiten liegen im Bereich von ± 5 cm in den x/y-Koordinaten. Die Frequenz der Ortung muß aus Sicherheitsgründen relativ hoch sein. In Abbildung 5 ist der zwischen zwei Positionsbestimmungen zurückgelegte Weg in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und der Meßfrequenz dargestellt.

Momentan stehen primär Fragen der zeitlichen Verfügbarkeit und Trägheit des Systems im Vordergrund. Besonders das Problem der Abschattung von Satelliten bereitet in der praktischen Anwendung Schwierigkeiten.

Wichtig für die Anwendung von GPS-Systemen sind normierte Schnittstellen für die Positionsdaten, aber auch für die erhobenen Werte.

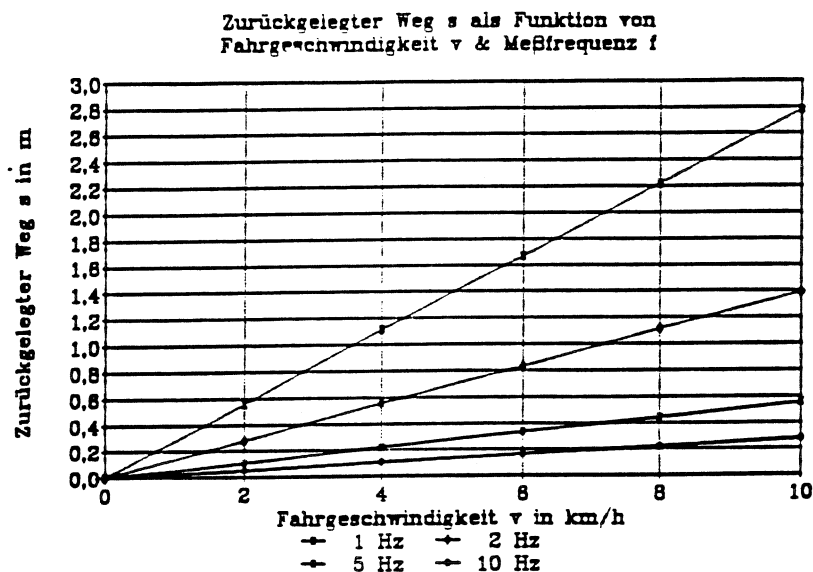


Abb. 5: Zurückgelegter Weg zwischen zwei Positionsbestimmungen (JÜRSCHIK und BEUCHE 1992)

4 Erfahrungen und laufende Projekte

Die Anwendung der Steuerungs- und Regelelektronik in Verbindung mit der Produktionsplanung am PC wurde im FuE-Vorhaben "Einführung der Elektronik für die Außenwirtschaft in die Praxis" auf elf praktischen Betrieben untersucht.

Seit nunmehr 20 Jahren existieren Methoden zur Regionalisierung von Variablen und damit der exakten Quantifizierung der Merkmalsvariabilität im Raum (MATHERON 1971). Seit mehr als zehn Jahren finden sich Anwendungen dieser Verfahren auf Probleme landwirtschaftlicher Standortkunde (BURGESS und WEBSTER 1980). 1988 wurde dann erstmals das geschlossene Konzept zur Realisierung einer an der kleinräumigen Variabilität von Standortmerkmalen orientierten Produktionstechnik (CAF = Computer Aided Farming; siehe Beitrag SCHNUG et al.) der Öffentlichkeit vorgestellt. Die Demonstration des ersten lauffähigen Systems erfolgte 1989. Im Rahmen von Technologietransferprojekten wurde CAF in Deutschland auf vier konventionellen Ackerbaubetrieben erprobt. In Dänemark und Großbritannien laufen entsprechende Vorhaben auf je zwei Betrieben an. Die Erprobung des Systems zur Optimierung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe (Miscanthus) ist geplant.

Im Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig-Völkenrode wurde ein neues Arbeitsgebiet - Lokales Ressourcen-Management landwirtschaftlicher Böden (LRM) - eingerichtet, welches die im Rahmen von CAF initiierten Projekte fortsetzt und darüber hinaus in den neuen und alten Bundesländern weitere Betriebe, dem Konzept von LRM folgend, ausrustet und wissenschaftlich betreut.

Das Institut für Bodenkunde in Trier erprobt den GPS-Einsatz in folgenden Bereichen :

Bodenlabor

- Positionsbestimmung bei der Bodenprobenahme (justiziable Werte z.B. bei Klärschlamm, in Wasserschutzgebieten)
- wiederholte Identifikation beprobter Flächen (Klärschlammverordnung)
- automatische Einbindung der Ergebnisse der Bodenanalytik in ein geographisches Informationssystem
- Abruf bodenkundlich relevanter Daten (z.B. Ackerzahl, Bodenart) vom Liegenschaftskataster (Düngemittelanwendungsverordnung).

Überbetrieblicher Maschineneinsatz

- In der ersten Ausbaustufe sollen vom Mähdrescher der Ertrag und die Position des Schlages automatisiert in die Düngeplanung übernommen werden. Die empfohlenen Düngeraufwandmengen werden entsprechend an den Düngerstreuer übermittelt. Mit der zweiten Ausbaustufe soll eine differenzierte Behandlung von Teilschlägen angestrebt werden.
- Einsatz zur Schlagidentifikation
- schlagspezifischer Nachweis der Ausbringmengen beim überbetrieblichen Einsatz.
- Steuerung und Abrechnung des überbetrieblichen Maschineneinsatzes.

Die Landtechnik Weihestephan arbeitet seit Ende 1989 an möglichen Verfahren der Ortung landwirtschaftlicher Fahrzeuge (Abb. 6). Dabei steht GPS bzw. DGPS wegen seiner universellen Einsetzbarkeit im Mittelpunkt des Interesses. Versuche der Landtechnik Weihestephan (positionsbezogene Ertragserfassung auf dem Mähdrescher, diverse Fahrversuche in typischen Einsätzen mit dem

VDI-Kolloq Abb 14, S.119

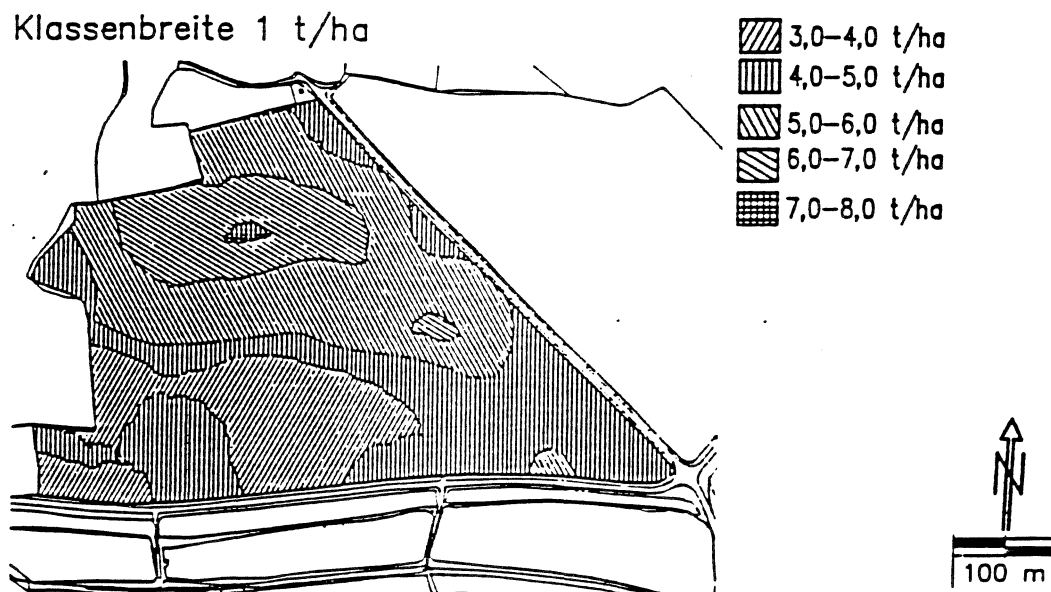


Abb.6: Ertragskarte Scheyern Flachfeld 1991 (DEMME et al. 1992)

Ackerschlepper) zeigen bereits im alleinigen Betrieb eines einzigen GPS-Empfängers bei nicht zu langen Beobachtungszeiten hohe Genauigkeiten. Zentrales technisches Problem scheint derzeit die im landwirtschaftlichen Einsatz besonders hohe Wahrscheinlichkeit von Antennenabschattungen zu sein im Gegensatz zum Einsatz im Flugzeug oder Schiff. Deshalb werden derzeit erste Versuche mit einem fahrzeugautonomen Koppelortungssystem durchgeführt. Damit sollen für kürzere Signalausfälle von GPS ausreichend genaue Stützpunkte berechnet werden. Diese Versuche sollen zum Prototypen eines landwirtschaftlichen Ortungssystems aus DGPS und Koppelortung führen. Erfahrungen liegen weiterhin vor mit der Ertragskartierung beim Mähdrusch und der Steuerung der Ausbringungsmengen. Ein Schwerpunkt wird im Bereich Grünland gesehen, wo über die Gewichtsermittlung im Ladewagen und der Rundballenpresse sowie über die elektronische Steuerung der Ausbringungsmengen auch von organischen Düngern eine ähnliche Qualität der Arbeit erreicht werden soll wie im Ackerbau.

Am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim liegt der Schwerpunkt bei der positionsbezogenen Ertragsermittlung am Mährescher, während am Institut für Agrartechnik in Potsdam Grundlagen des GPS-Einsatzes erarbeitet werden.

Durch Hard- und Softwarefirmen wird derzeit die Einbeziehung der Positionsdaten in die Datenverarbeitung auf dem Bordcomputer des Schleppers realisiert. Am Institut für Ackerbau und Informatik der TU München sind pflanzenbauliche Informationssysteme in der Entwicklung, die über die bisherigen Schlagkarteien hinausgehen, um die anfallenden Daten zusammenzuführen und auszuwerten. An der Universität Bonn werden pflanzenbauliche Modelle zur kleinräumigen Bestandesführung entwickelt. Es gilt allerdings noch etliche Fragen in Zusammenhang mit der Sammlung, Auswertung und Anwendung der erhobenen Daten zu klären. Dies soll in verschiedenen laufenden und beantragten Forschungsvorhaben geschehen.

Erste Erfahrungen aus den verschiedenen Vorhaben zeigen, daß die GPS-gestützte Sensorik und Landtechnik wesentlich zur Umsetzung gesetzlicher Zielvorgaben und einer Vermeidung von Umweltbelastungen beitragen können.

5 Zusammenfassung

In der Landwirtschaft ist ein vielfältiger Nutzen des GPS zu erwarten. Es ist als erster greifbarer Ansatz der Lösung der Positionsbestimmung auf dem Feld und der damit zusammenhängenden Probleme zu werten. In Verbindung mit der Nutzung der Sensorik und der Elektronik zur Steuerung und Regelung lassen sich Pflanzenschutz und Düngemittel gezielt einsetzen. Voraussetzungen wie eine exakte Kartierung der Flächen hinsichtlich der Bodeneigenschaften und der Erträge sind mit der heute vorhandenen Technik und dem Einsatz des GPS zur Positionsbestimmung möglich. Aber auch bereits durch die einfache Nutzung der vorhandenen Kenntnisse des Landwirts über Standortunterschiede, deren Flächenbezug über die Standortbestimmung hergestellt werden kann, sind deutliche Verbesserungen des Produktionsmitteleinsatzes zu erreichen.

Als ein Kernproblem der praktischen Realisierung von Modellen zur Berücksichtigung von Merkmalen mit kleinräumiger Variabilität gestaltet sich die Notwendigkeit, standortbezogene Kennwerte mit einer geographischen Referenz zu versehen und, was technisch weitaus schwieriger zur realisieren ist, das im Feld arbeitende landtechnische Gerät während des Arbeitsablaufes ständig zu lokalisieren. Im Detail schließt sich hieran die Frage nach der erforderlichen Genauigkeit sowie dem technischen und finanziellen Aufwand an. Die Auswertbarkeit des Datenmaterials nimmt dabei mit der Genauigkeit und vor allem Zuverlässigkeit des Ortungssystems zu.

Der Aufbau eines flächendeckenden Netzes von ortsfesten DGPS-Referenzstationen ist bereits in einer fortgeschrittenen Planungsphase. Sendefrequenzen und Protokolle liegen weitgehend fest, erste Systeme werden noch 1991 den Versuchsbetrieb aufnehmen. Dadurch scheint für die nahe Zukunft der Einsatz von hochgenauem DGPS auch in der Landwirtschaft möglich. Wenn auch davon ausgegangen werden kann, daß in Zukunft ein Netz von Referenzstationen zum Betrieb des Differential-GPS verfügbar sein wird, so muß doch seitens der Landwirtschaft darauf geachtet werden, daß sich diese nicht ausschließlich auf Ballungsgebiete beschränken, sondern auch landwirtschaftliche Produktionsräume abdecken.

6 Ausblick und Forschungsbedarf

In immer stärkeren Maße wird auch für die Landwirtschaft Information als Produktionsfaktor bedeutsam, um so mehr, als traditionelle Produktionsfaktoren ausgereizt sind oder bezüglich ihrer Anwendung kritisch gesehen werden. Daraus ergeben sich neue Aufgaben für die wissenschaftliche Forschung und die Umsetzung in die Praxis. Im folgenden sind einige Bereiche aufgeführt, in denen Forschungsbedarf gesehen wird.

Neue Probleme wirft die Erhebung und Verarbeitung großer Datenmengen auf. Hier muß untersucht werden, welche Daten mit welcher Häufigkeit gebraucht werden und wie diese Daten weiter verarbeitet werden. Herkömmliche Schlagkarteien oder geographische Informationssysteme sind nicht geeignet, in praktikabler Art mit diesen Daten umzugehen; daher sind geeignete Systeme zu entwickeln und zu erproben.

Zu untersuchen ist, auf welche Art die benötigten Daten effizient gewonnen werden können. "Natural Scanning" als eine Möglichkeit wurde bereits erwähnt. Die Luftbildauswertung in diesem Bereich steht noch am Anfang. Andererseits müssen auch Verfahren zur Datenreduktion auf statistischem Weg oder durch optimierte Probenahme entwickelt werden.

Nicht zuletzt sind Strategien zu entwickeln, wie auf die Variabilität von Standorten reagiert werden soll. Dies betrifft pflanzenbauliche Fragen wie z.B. Saattechnik und Saatstärke; aber auch ökologische und ökonomische Fragen sind zu untersuchen.

Die Verarbeitung großer Datenmengen stellt auch neue Anforderungen an die Steuerung und Regelung. Mit der Berücksichtigung von Teilschlageigenschaften steigt der Steuer- und Regelungsaufwand erheblich. Die Reaktionszeiten müssen zum Teil deutlich gesenkt werden. Das bedingt unter Umständen die Entwicklung neuer technischer Lösungen. Weitgehend nicht untersucht ist die Logistik des Datenflusses.

Zur Steuerung landwirtschaftlicher Arbeiten müssen Systeme zur Koppelortung entwickelt werden, die es ermöglichen kurzfristige Signalausfälle zu überbrücken und höhere Genauigkeiten, die zur Steuerung erforderlich sind, zu erhalten.

7 Literatur

AUERNHAMMER, H. (1992): Rechnergestützter Pflanzenbau am Beispiel der umweltorientierten Düngung, VDI-Kolloquium Agrartechnik Heft 14, S. 1 - 16

BURGESS, T. M. and WEBSTER, R. (1980): Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semi-variogram and punctual kriging. J. Soil Sci. 31, 315-331

DEMMELE et al. (1992): Ortung und Ertragsermittlung beim Mähdrusch in den Erntejahren 1990 und 1991, VDI-Kolloquium Agrartechnik Heft 14, S. 107-122

HOFELD, B. (1992): Absehbare Entwicklungen bei GPS und rechtliche Voraussetzungen, VDI-Kolloquium Agrartechnik Heft 14, S. 77-84

JÜRSCHIK, P. und BEUCHE, H. (1992): Anschlußfahren mit Differential-GPS, VDI-Kolloquium Agrartechnik Heft 14, S. 159 - 174

LAMP, J. und SCHNUG, E. (1987): Rechnergestützte Düngung mit Hilfe digitaler Hofbodenkarten. Schriftenreihe Agrarwiss. Fak. Kiel (Ed. Parey) 69, 61 - 70

MATHERON, G. (1971): The theory of regionalized variables and its applications. Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, Fontainebleau, 5

OTTE, F. (1988): Über die quantitative Erfassung der Bodenvariabilität und Gütemaße für großmaßstäbliche Karten. Diss. Agrarwiss. Fak. Kiel

