

## Vierjährige Einsatzerfahrungen mit GPS und DGPS

H. AUERNHAMMER, T. MUHR, M. DEMMEL

Institut für Landtechnik, Weihenstephan, Vöttinger Str. 36 D-85350 Freising

### ZUSAMMENFASSUNG

Für eine stärker umweltorientierte Landnutzung sind Ortungssysteme eine unabdingbare Voraussetzung. In den militärischen "Globalen Positionierungssystemen" steht zivilen Nutzern weltumspannend ein kostenfreies System zur Verfügung. In Verbindung mit Referenzstationen zur Fehlerreduzierung sind damit Genauigkeiten zwischen  $\pm 1$  und  $\pm 5$  m möglich. Sie reichen für die Teilschlagtechnik in der landwirtschaftlichen Produktion aus.

Stichwörter: GPS, DGPS, Genauigkeit

### SUMMARY

#### *Four years of field work experience with GPS and DGPS*

Improved farming systems protecting soil and environment better than today requires positioning systems. The military developed "Global Positioning Systems" provide also civil users a free of any charge positioning and navigation system all around the world. Used with base stations for better positioning accuracy the deviations can be reduced to between  $\pm 1$  and  $\pm 5$  m. This accuracy fulfills the requirements of site specific farming.

Key words: GPS, DGPS, Accuracy

### I EINLEITUNG

Militärische Anforderungen führten Anfang der 70er Jahre zur Entwicklung von globalen Positionierungssystemen. Nach ersten Versuchen mit Testinstallationen sind mittlerweile zwei Systeme nahezu vollständig aufgebaut. Sie können mit Garantie der Eigentümer für die nächsten 10 bzw. 15 Jahren kostenfrei zivil genutzt werden.

Mit diesen Systemen eröffnet sich für die Landwirtschaft erstmals ein exaktes und zugleich preisgünstiges "Georeferenzierung-System". Damit wird die räumliche Informationsgewinnung und Dokumentation möglich. Positionsbezogene Umsetzungen können für Ausbringerarbeiten und als Schutzmaßnahmen für Technik und Umwelt realisiert werden. Navigatorische Maßnahmen für einzelne Fahrzeuge und Fahrzeuggruppen rücken in den Bereich einer möglichen Umsetzung.

All dies setzt voraus, daß mit diesen Systemen Mindestgenauigkeiten erbracht und längerfristig gewährleistet werden können. Diese Fragestellung sollte in den nunmehr vierjährigen Versuchsanstellungen untersucht und abgeklärt werden.

### II EINORDNUNG UND AUFBAU GLOBALER POSITIONIERUNGSSYSTEME

Ortungssysteme für die Landwirtschaft lassen sich in fahrzeugautonome Systeme und in Sender-/Empfängersysteme einordnen (Abb. 1).

Die globalen Positionierungssysteme, allgemein als GPS (Global Positioning Systems) bezeichnet, sind den Sender-/Empfängersystemen zuzuordnen. Sie arbeiten nach dem Prinzip der Einwegortung. Fest installierte Sender im Weltraum senden ständig synchrone Zeitsignale und spezifische Positionsdaten. Auf der Erde, auf See und in der Luft befindliche Empfänger können daraus über Laufzeitmessung und Trilateration die eigene Position bestimmen. Für eine zweidimensionale Positionierung müssen mindestens drei, für die dreidimensionale mindestens vier Satelliten verfügbar sein.

## Ortungstechniken für landwirtschaftliche Fahrzeuge

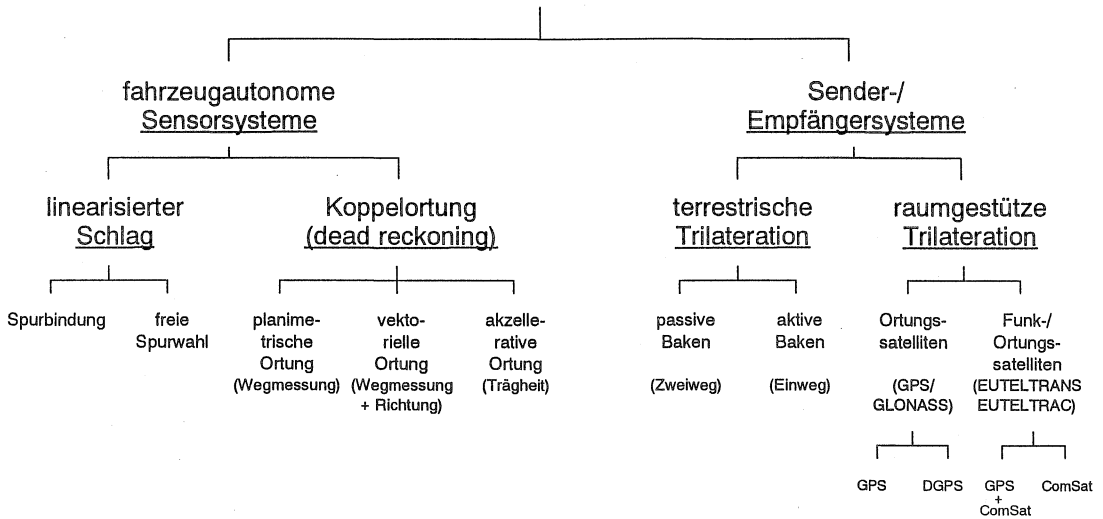


Abb. 1: Systematik der Ortungssysteme für die Landwirtschaft  
 Figure 1: System of Positioning Systems in Agriculture

Im Aufbau sind die Systeme der USA und der früheren UdSSR weitgehend identisch (Tab. 1)

Tab. 1: Kenndaten von NAVSTAR-GPS und GLONASS  
 Table 1: Data of NAVSTAR-GPS and GLONASS

GPS - NAVSTAR	GLONASS
<b>NAV</b> igation System with Time And Ranging	<b>GLO</b> bal <b>NAV</b> igation Satellit System
21 + 3 Satelliten (23 verfügbar)	24 Satelliten (15 verfügbar)
6 Bahnebenen	3 Bahnebenen
20183 km Höhe	19100 km Höhe
11h 56min Umlaufzeit	11h 16min Umlaufzeit
WGS 84 Koordinatensystem (World Geodetic System 1984)	SGS 85 Koordinatensystem (Soviet Geodetic System 1985)
Möglichkeit der Signalverschlechterung (SA; AS)	K e i n e Signalverschlechterung
10 Jahre garantierte Nutzungszeit	15 Jahre garantierte Nutzungszeit

Beiden ist gemeinsam, daß die zivilen Signale gegenüber den militärischen vorsätzlich verschlechtert werden. Nach Angaben des Betreibers ist die Signalbeeinflussung bei GLONASS weitgehend konstant. Dagegen kann sie bei NAVSTAR-GPS durch die "Selective Availability (S/A)" wahlweise vorgenommen und nach Belieben gestaltet werden (Uhren- und Positionsbeeinflussung). Der S/A-Effekt ist in der Auswirkung zufällig und in der bisherigen Ausprägung relativ träge in seiner Veränderung.

Technisch läßt sich die Nutzung von GPS durch den Einsatz von Referenzstationen verbessern (Abb. 2).

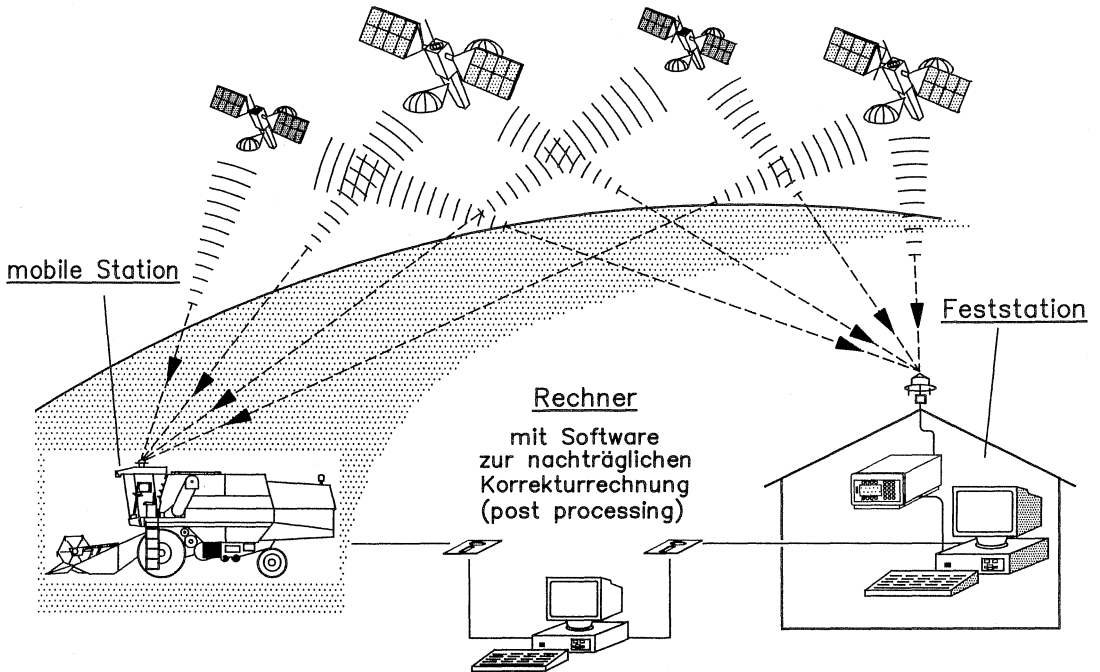


Abb. 2: Schematische Darstellung eines "Differential Global Positioning Systems (DGPS)" im "post processing mode"

Figure 2: Schematic Description of a "Differential Global Positioning System (DGPS)" in Post-Processing Mode

Dazu wird ein Empfänger auf einer geodätisch vermessenen Position plaziert. Er errechnet dafür die Position aus den Satellitendaten. Die Differenz zur realen Position stellt den systematischen GPS-Fehler dar. Er kann online per Telemetrie oder offline im Zuge des "post processing" zur Fehlerkorrektur des mobilen Empfängers herangezogen werden.

Abhängig von der erforderlichen Genauigkeit können unterschiedliche Korrekturverfahren zum Einsatz gelangen (Abb. 3).

Aufgrund des größeren Einsatzbereiches einer Referenzstation und geringerer Probleme bei Signalabschattung und der Standardisierung (RTCM 104) des Datenprotokolls weist für den landwirtschaftlichen Einsatz das "pseudo range Verfahren" die größten Vorteile auf.

### III EINSATZ VON GPS UND DGPS ZUR LOKALEN ERTRAGSERMITTLUNG

Erstmals wurde in den eigenen Versuchen 1990 ein GPS für die lokale Ertragsermittlung beim Mähdrusch eingesetzt. Aufgrund der verfügbaren Satelliten und der speziellen Situation zu Beginn des "Golfkrieges" konnten damit nur kurzzeitig Positionsbestimmungen durchgeführt werden.

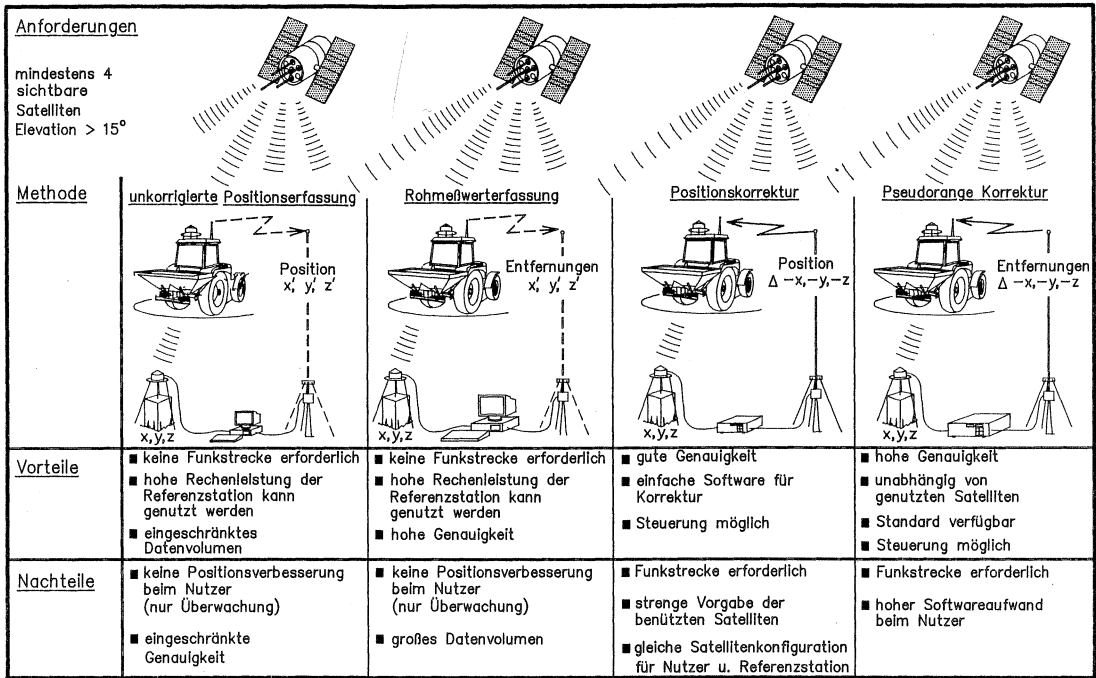


Abb. 3: Fehlerkorrekturverfahren für DGPS  
 Figure 3: Deviation - Correction - Procedures for DGPS

Eine wesentliche Verbesserung ergab sich zur Ernte 1991 durch die Installation einer Feststation in Verbindung mit zwei mobilen Empfängern. Dieses System arbeitete nach dem Prinzip des "position correction mode". Zur Ernte 1992 und 1993 konnte dieses System durch höherwertige DGPS mit "pseudo range Korrektur" ergänzt werden (Abb. 4 und 5).

Damit wurden in den beiden Versuchsjahren umfassende Untersuchungen beim Mähdrusch, beim Einsatz der Rundballenpresse, des Ladewagens und in der Schlagaufmaßung durchgeführt. Mittlerweile beläuft sich die Gesamteinsatzfläche bei Arbeiten mit DGPS alleine für die Ernte auf weit über 600 ha. Die durchgeführten Flächenaufmaßungen und Bodenbeprobungen umfassen weitere 15000 ha.

#### IV GENAUIGKEITSANALYSEN FÜR GPS UND DGPS

Die Analyse der erreichten Genauigkeiten mit GPS und DGPS gestaltet sich je nach Fragestellung sehr schwierig. Im Feld eignen sich dazu Laser-Tracking-Systeme sehr gut, allerdings erfordern diese Investitionen im Bereich mehrerer Hunderttausend DM. Deshalb muß auf einfachere, aber weniger exakte Überprüfungsmöglichkeiten zurückgegriffen werden.

##### 1 Analyse der Korrekturdaten von Referenzstationen

Referenzstationen ermitteln die Abweichungen zwischen GPS-Ortungsdaten und geodätisch vermessenen Positionen. Ihre Analyse kann nach zwei verschiedenen Auswertungszielen vorgenommen werden:

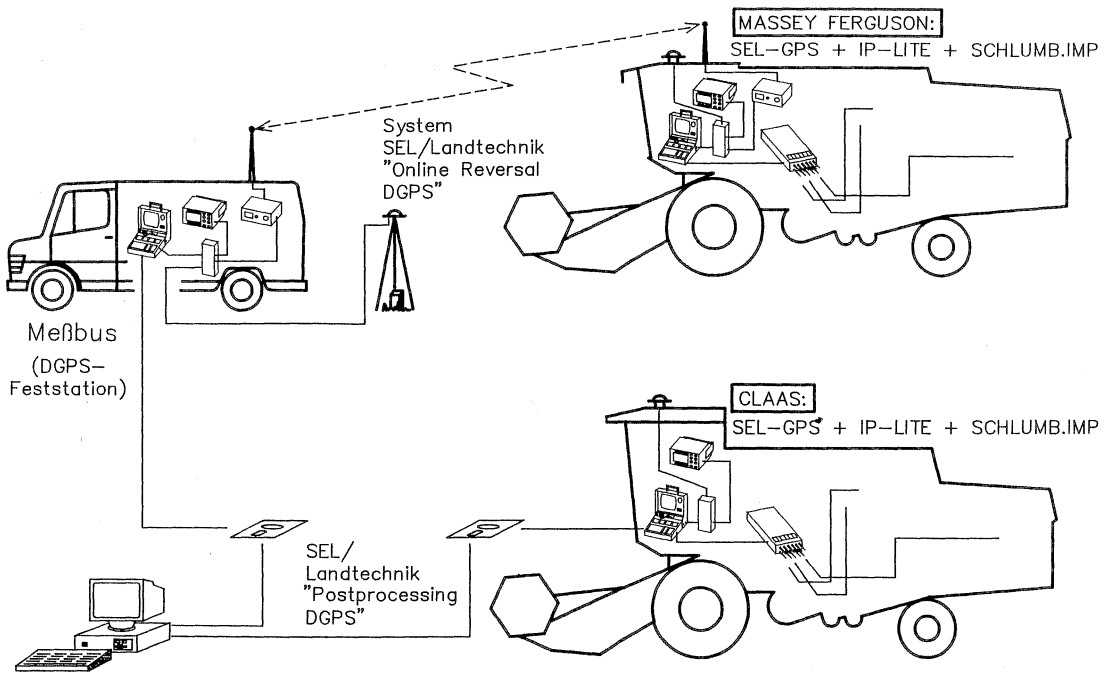


Abb. 4: Schematische Darstellung der DGPS-Nutzung zur Ernte 1991  
 Figure 4: Schematic Description of DGPS - Use in the Harvest 1991

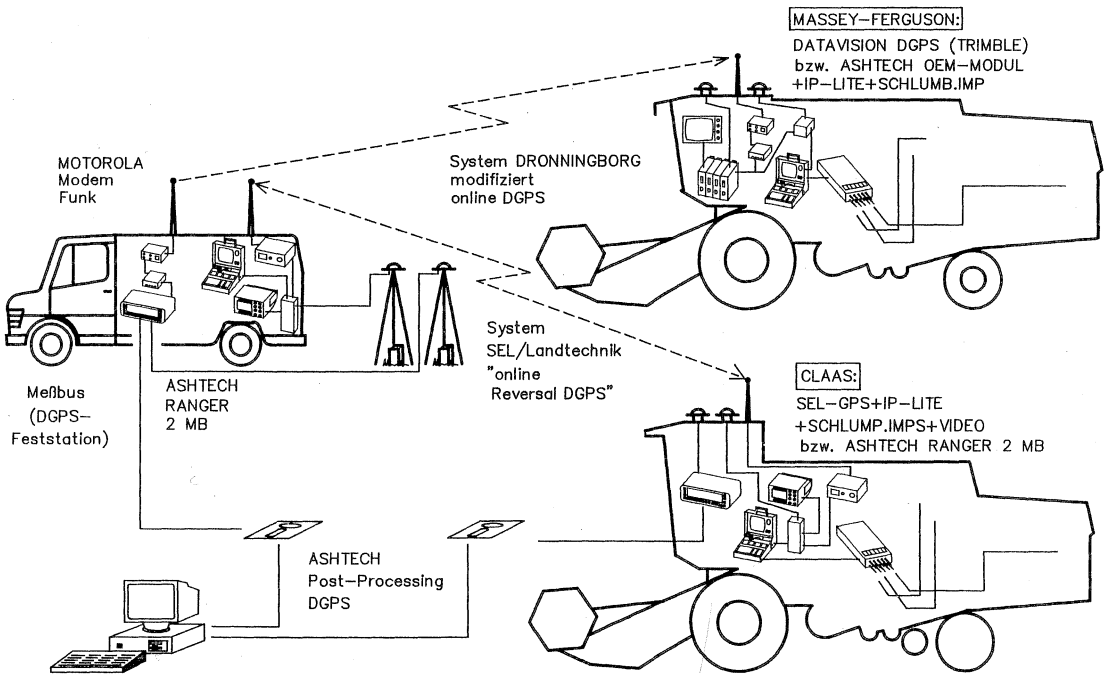


Abb. 5: Schematische Darstellung der DGPS-Nutzung zur Ernte 1992  
 Figure 5: Schematic Description of DGPS - Use in the Harvest 1992

## 1.1 Systemfehler

GPS arbeitet mit einem eigenen, weltumspannenden geodätischen System (World Geodetic System 1984 (WGS 84)). Deren Positionsdaten müssen in die jeweiligen landesspezifischen geodätischen Koordinatensysteme transformiert werden. Trotz genauester Verrechnung verbleiben Differenzen.

Der Mittelwert aus den Korrekturdaten einer Referenzstation stellt somit den Offset zwischen dem WGS 84 und dem landesspezifischen Koordinatensystem dar. Die dazugehörige Standardabweichung beschreibt dagegen die Genauigkeit der Ortung. Sie hat sich in den vergangenen vier Jahren durch die Verdichtung der verfügbaren Satelliten und durch die Aufschaltung der S/A-Degradation ständig verändert und mittlerweile 100 % erreicht (Tab. 2).

Tab. 2: Datenverfügbarkeit (%) und Genauigkeit von NAVSTAR-GPS

Table 2: Data Availability and Accuracy of NAVSTAR-GPS

1990	1991	1992	1993
<b>GPS</b> <b>SEL GLOBOS LN 2000</b> <b>41 % (Scheyern)</b> 45595 Datensätze <b>38 % (Schlüter)</b> 33426 Datensätze <b>48 % (Hardegg)</b> 15121 Datensätze	<b>DGPS</b> <b>SEL GLOBOS LN 2000</b> <b>(Position Correction)</b> <b>75 % (60 -97 %)</b> 16412 Datensätze <b>Feststationskorrekturen:</b> $\Delta x = -15,7 \text{ m}$ $s = 7,1 \text{ m}$ $\Delta y = -10,2 \text{ m}$ $s = 7,6 \text{ m}$ $\Delta h = 17,9 \text{ m}$ $s = 14,7 \text{ m}$	<b>DGPS</b> <b>SEL GLOBOS LN 2000</b> <b>(Position Correction)</b> <b>76 % (60 - 86 %)</b> 6517 Datensätze <b>Feststationskorrekturen:</b> $\Delta x = 23,2 \text{ m}$ $s = 23,0 \text{ m}$ $\Delta y = 88,0 \text{ m}$ $s = 31,7 \text{ m}$ $\Delta h = -30,2 \text{ m}$ $s = 42,5 \text{ m}$	
		<b>DGPS</b> <b>ASHTECH MXII +</b> <b>ASHTECH SENSOR</b> <b>(Pseudo-Range Correct.)</b> <b>90 % (75 - 98 %)</b> 98936 Datensätze <b>Anteil mit:</b> 3 Satelliten 3 % 4 Satelliten 11 % 5 Satelliten 38 % 6 Satelliten 35 % 7 Satelliten 13 % 8 Satelliten 1 %	<b>DGPS</b> <b>ASHTECH M XII +</b> <b>ASHTECH SENSOR</b> <b>(Pseudo-Range Correct.)</b> <b>100 %</b> 13042 Datensätze <b>Anteil mit:</b> 5 Satelliten 8 % 6 Satelliten 47 % 7 Satelliten 39 % 8 Satelliten 6 %

Zur Korrektur im DGPS-Einsatz werden die jeweiligen Abweichungen, abzüglich des positionsbedingten Offsets verwendet.

## 1.2 Korrekturfehler durch Zeitversatz bei online DGPS

DGPS arbeitet im online Einsatz über Telemetrie, nie im Realtime-Mode. Vielmehr wird die Korrektur erst nach einem Zeitversatz in der Übertragung, also mit zurückliegenden Korrekturdaten ausgeführt. Entsprechend der Größe des Zeitversatzes nimmt der Korrekturfehler und damit die "online" vor Ort erreichbare Genauigkeit ab (Tab. 3 und Abb. 6).

Aus beiden Darstellungen wird die Verschlechterung der Ortungsgenauigkeit durch S/A-Degradation erkennbar. Für den praktischen Einsatz muß deshalb der Zeitversatz in der Übertragung der Korrekturdaten drastisch verringert werden.

## 2 Fahrspurenanalyse

Die Ortungsgenauigkeit kann vereinfachend auch aus der Aufzeichnung von Fahrspuren abgeleitet werden. Treten bei der Arbeit mit konstanten Arbeitsbreiten keinerlei Überlagerungen auf, dann liegt die damit erreichte Ortungsgenauigkeit unterhalb der halben Arbeitsbreite.

Tab. 3: Korrekturfehler bei DGPS an ausgewählten Tagen  
 Table 3: Correction Errors of DGPS on Selected Days

		Update - Zyklus						
		1 s	2 s	3 s	4 s	5 s	6 s	7 s <small>derzeit genutzt</small>
Anzahl Werte		160697	158721	160292	160743	161008	161070	161152
Mindestzahl/Zyklus		1	3	3	3	3	3	3
nördl. Breite (m) (Latitude)	$\bar{x}$	0,11	0,14	0,08	0,05	0,04	0,04	0,05
	s	4,421	5,222	6,049	6,895	7,741	8,419	8,976
östl. Länge (m) (Longitude)	$\bar{y}$	0,11	0,14	0,08	0,05	0,04	0,04	0,05
	s	4,421	5,222	6,049	6,895	7,741	8,419	8,976
Höhe über NN (m) (Altitude)	$\bar{z}$	0,08	0,11	0,06	0,05	0,06	0,06	0,02
	s	6,868	8,785	10,357	12,003	13,505	14,805	15,703

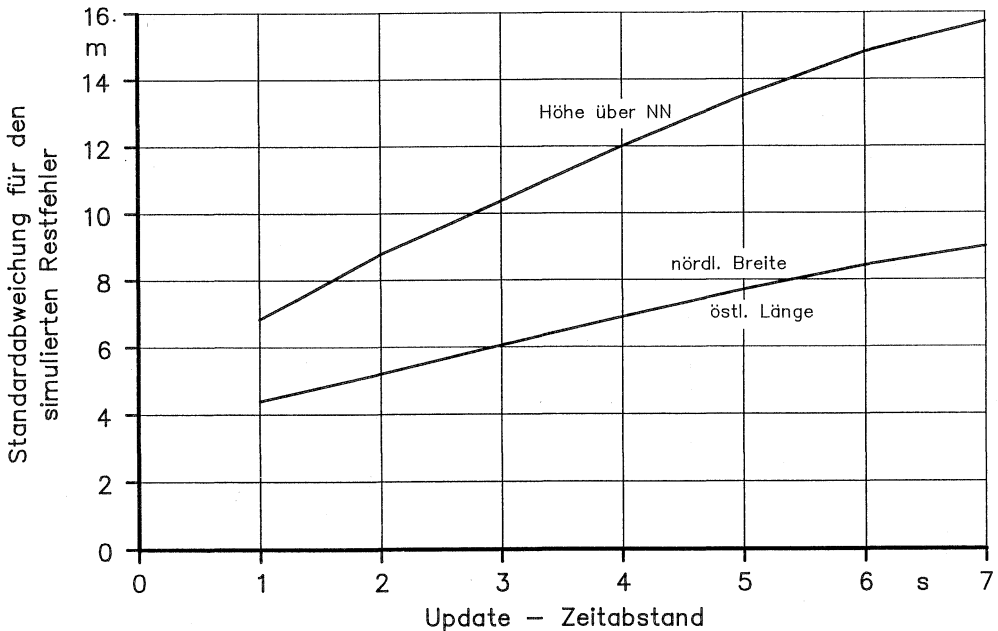


Abb. 6: Einfluß des Übertragungszeitversatzes auf die erreichbare Genauigkeit bei DGPS (Positionskorrektur)

Figure 6: Influence of the Transmission Delay on the Accuracy of DGPS (Position Correction)

Die Verbesserung der Ortungsgenauigkeit mit den eingesetzten Systemen zwischen 1990 und 1993 zeigt sich

deutlich in Abbildung 7 bis 10 (Abb. 8 und 9 stellen den selben Schlag in Scheyern dar). Eine direkte Veränderung ist zwischen 1992 und 1993 nicht mehr erkennbar.

Die Abweichungen lassen sich auch rein rechnerisch analysieren, indem ausschließliche Linearität für die Fahrspur zugrundegelegt oder diese auf Inkremente einer linearen Fahrspur bezogen wird.

Nach dieser Methode errechnet sich für die Ernteinsätze 1993 bei einer linearen inkrementalen Weglänge von je 15 Metern eine Genauigkeit der Ortung über die Fahrspuren von  $\pm 1,4$  m ( $\alpha = 5\%$ ).

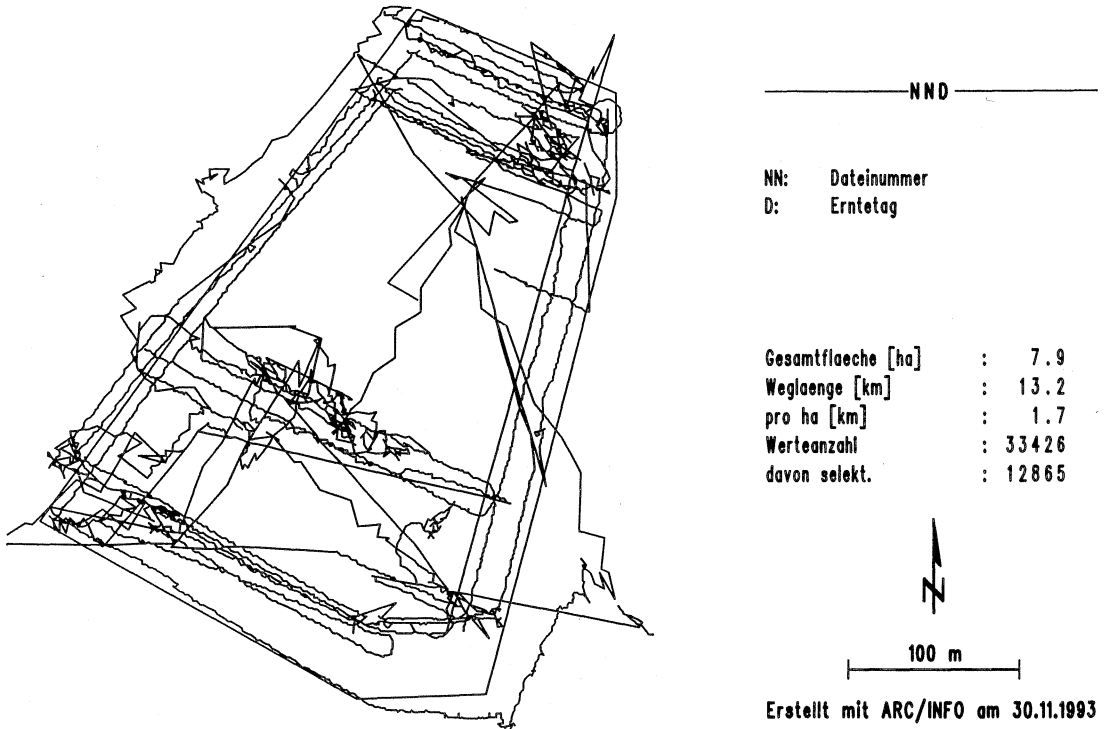


Abb. 7: Fahrspuren "Schlüterhof" 1990  
Figure 7: Trace-Map "Schlüterhof" 1990

## V SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aus den bisherigen Einsätzen von GPS und DGPS lassen sich folgende Folgerungen ableiten:

- GPS ist längerfristig verfügbar und kostenfrei zu nutzen. Damit eröffnet sich für die Landwirtschaft ein universelles "Geo-Referenz-System".
- Über eine Referenzstation kann die Ortungsgenauigkeit auf etwa  $\pm 1$  bis  $\pm 5$  m gesteigert werden.
- Die Verfügbarkeit hat mittlerweile 95 % erreicht und deckt damit die Bedürfnisse der Landwirtschaft über 24 Stunden je Tag ab.
- Damit lassen sich über eine telemetrische DGPS-Nutzung die örtlich erforderlichen Steuerungsmaßnahmen hinreichend genau realisieren.
- DGPS stellt somit eine Basistechnologie für die teilschlagorientierte Flächenbehandlung dar.



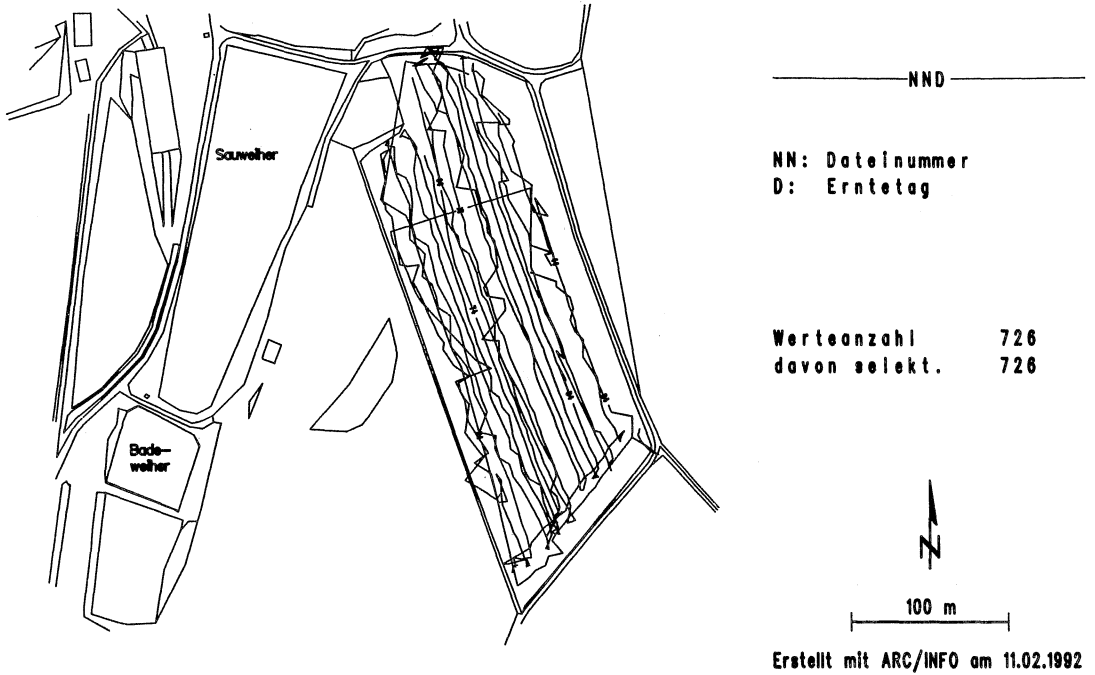


Abb. 8: Fahrspuren "Unteres Geißwegfeld" in Scheyern 1991  
Figure 8: Trace-Map "Unteres Geißwegfeld" in Scheyern 1991

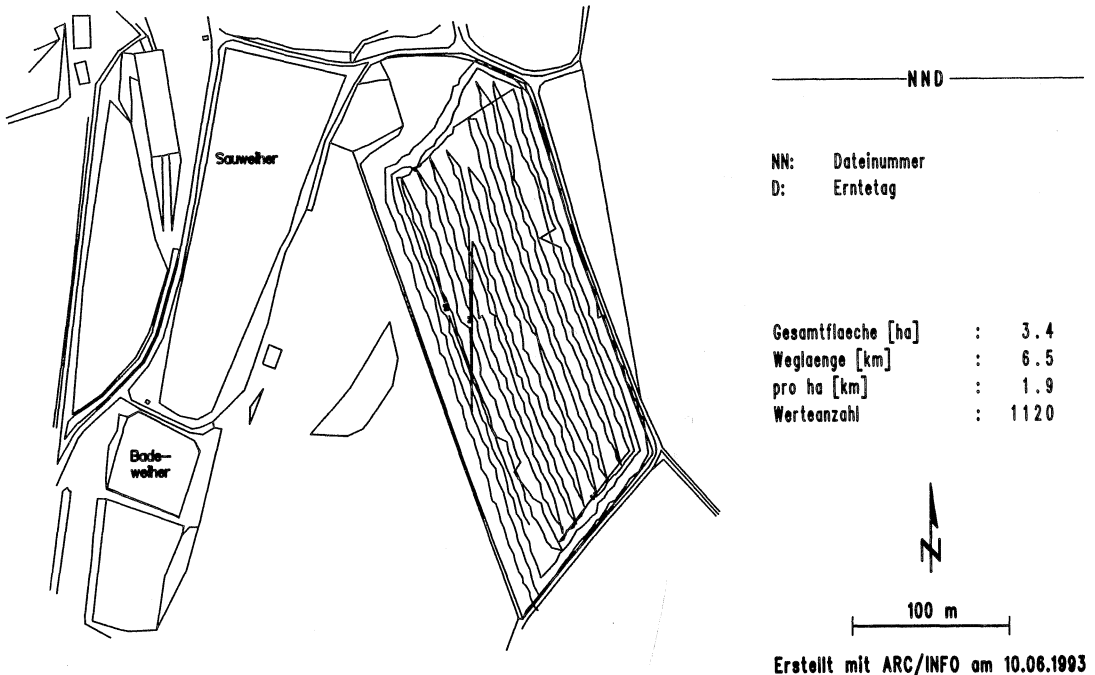


Abb. 9: Fahrspuren "Unteres Geißwegfeld" in Scheyern 1992  
Figure 9: Trace-Map "Unteres Geißwegfeld" in Scheyern 1992

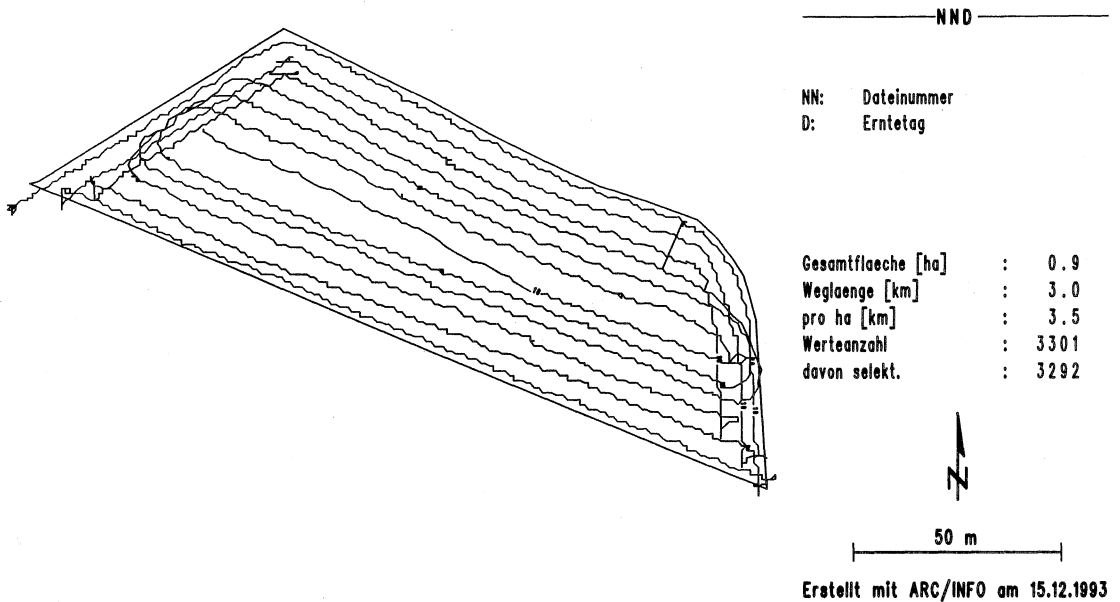


Abb. 10: Fahrspuren "Breitsameter Feld 1" 1993

Figure 10: Trace-Map "Breitsameter Feld 1" 1993

#### DANK

Die Untersuchungen über die Eignung unterschiedlicher Ortungsverfahren für die Landwirtschaft wurden vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unterstützt.

Die Forschungsaktivitäten des Forschungsverbundes Agrarökosysteme München (FAM) werden durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT 0339370) unterstützt. Die Pacht- und Betriebskosten des FAM-Versuchsgutes Scheyern trägt das Bayerische Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst.

#### LITERATUR

- AUERNHAMMER H. 1992: Ortung und Navigation landwirtschaftlicher Fahrzeuge. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik, Heft 14, Düsseldorf.
- AUERNHAMMER H. In Druck: GPS in Agriculture. Special Issue of "Computers and Electronics in Agriculture", Elsevier Pub. Amsterdam (Netherlands).
- AUERNHAMMER H., MUHR T. 1991: GPS in a Basic Rule for Invironment Protection in Agruculture. Proceeding of the 1991 Symposium "Automated Agriculture in the 21st Century", pp. 494 - 402, St. Joseph (USA).
- AUERNHAMMER H., DEMMEL M., MUHR T., ROTTMEIER J. 1993: Wie gut hat mein Weizen denn gedroschen? Ertrag im Mähdescher ermitteln.- dlz, Heft 6, 12-18.
- KTBL, In Druck: Einsatz des Globalen Positionierungssystems in der Landwirtschaft - Nutzungsmöglichkeiten und Anforderungen. KTBL ad-hoc-Gruppe, Darmstadt 1993.