

Anforderungen an GPS und DGPS aus der Sicht der Landwirtschaft

Auernhammer, Hermann, PD Dr.
Institut für Landtechnik, 85350 Freising-Weihenstephan

1. Einleitung

Viele Bürger haben ein gespaltenes Verhältnis zur Landwirtschaft. Es bewegt sich zwischen Nostalgie ("*Im Märzen der Bauer die Rößlein einspannt ...*") und wahrer oder vielfach auch nur egoistisch vorgetäuschter Sorge um die Umwelt (*Landwirte setzen bedenkenlos die Giftspritze ein !*). Fast immer werden jedoch die tatsächlichen Gegebenheiten nicht oder nur unzureichend beachtet oder sie sind unbekannt. Richtig ist:

- Zuallererst ist Landwirtschaft der Politik unterworfen. Diese definiert die Produktpreise, nicht aber die Preise für Betriebsmittel.
- Tierische Anspannung ist schön und gut, aber nicht zu bezahlen (das Tier schon, aber nicht der dafür erforderliche Mensch).
- Feldarbeit erfolgt unter freiem Himmel, die Witterung stellt die Haupteinflußgröße der Produktion dar. Ernten sind auch unter schwierigsten Bedingung einzubringen, weil davon die Existenz der Landwirtschaft abhängt.
- Die Biologie von Pflanze und Tier bestimmt den Arbeitsablauf. Die genormte Pflanze und das genormte Tier gibt es noch nicht (und wird es hoffentlich auch nie geben), obwohl in Verbindung damit verlockende Produktionsmöglichkeiten denkbar wären.
- Pflanzenschutz ist zur Ertrags- und Qualitätssicherung notwendig. Da menschliche Arbeitskraft nicht mehr bezahlbar ist, muß die billigere Chemie eingesetzt werden.

Und wozu hat all dies innerhalb von 50 Jahren geführt ?

2. Überfluß und Umweltbelastung

Zu einer nie geglaubten Überschußproduktion. Verantwortlich dafür sind im Wesentlichen:

- Der unvorstellbare Fleiß und Verzicht der landwirtschaftlichen Bevölkerung,
- Technik mit ökonomisch unvertretbaren Überkapazitäten, um den Witterungsrisiken zu begegnen,
- chemische Hilfsmittel für Düngung und Pflanzenschutz zur Ertragssicherung und
- Wissenschaft und Beratung mit gewaltigen Leistungen (und Versäumnissen).

Damit wurden immer mehr Nahrungsmittel produziert und diese wurden immer billiger. Heute kostet ein Ei nominal weniger als 1950, das kg Getreide ist nominal sogar zum halben Preis ge-

genüber 1950 zu haben (vergleichbar dazu müßte ein VW-Polo in einfachster Ausführung heute für weniger als 3000 DM produziert werden).

Um dies zu erreichen, mußte jeder Landwirt produzieren, produzieren und nochmals produzieren. Intensivierung war angesagt und gefordert. Erfahrungen und Wissen wurde geopfert, um überbetrieblich mit größeren Maschinen und höherer Auslastung die Maschinenkosten zu senken. Kannte ursprünglich jeder Landwirt jedes Feld und erlebte er über den Jahresablauf das Wachstum in den Feldern, so ging dieses lokale Wissen immer mehr verloren. Der Schlag als kleinste Einheit wurde uniform und homogen betrachtet und behandelt. Und um weitere Kosten zu sparen, wurden ganze Betriebe uniform behandelt und am Gesamtergebnis bewertet. Es war eine Auszeichnung, dem Club der "100 dt Landwirte" anzugehören, also einer Gruppe, welche auf jedem Schlag des Betriebes mindestens 100 dt/ha produziert.

Auf der Strecke blieb die Umwelt, denn Umwelt ist nicht homogen. Umwelt ist nicht großräumig sondern kleinräumig. Umwelt ist mehr als Produktionsgrundlage, Umwelt ist differenzierter Lebensraum.

3. Umwelt verlangt örtliche und räumliche Differenzierung

Die Berücksichtigung dieser Gegebenheiten verlangt deshalb nach der räumlichen Zuordnung. Jede landwirtschaftliche Maßnahme müßte danach ausgerichtet werden. Sie wären einzuordnen in ein Gesamtsystem "kleinräumige Bestandesführung" (Abb. 1).

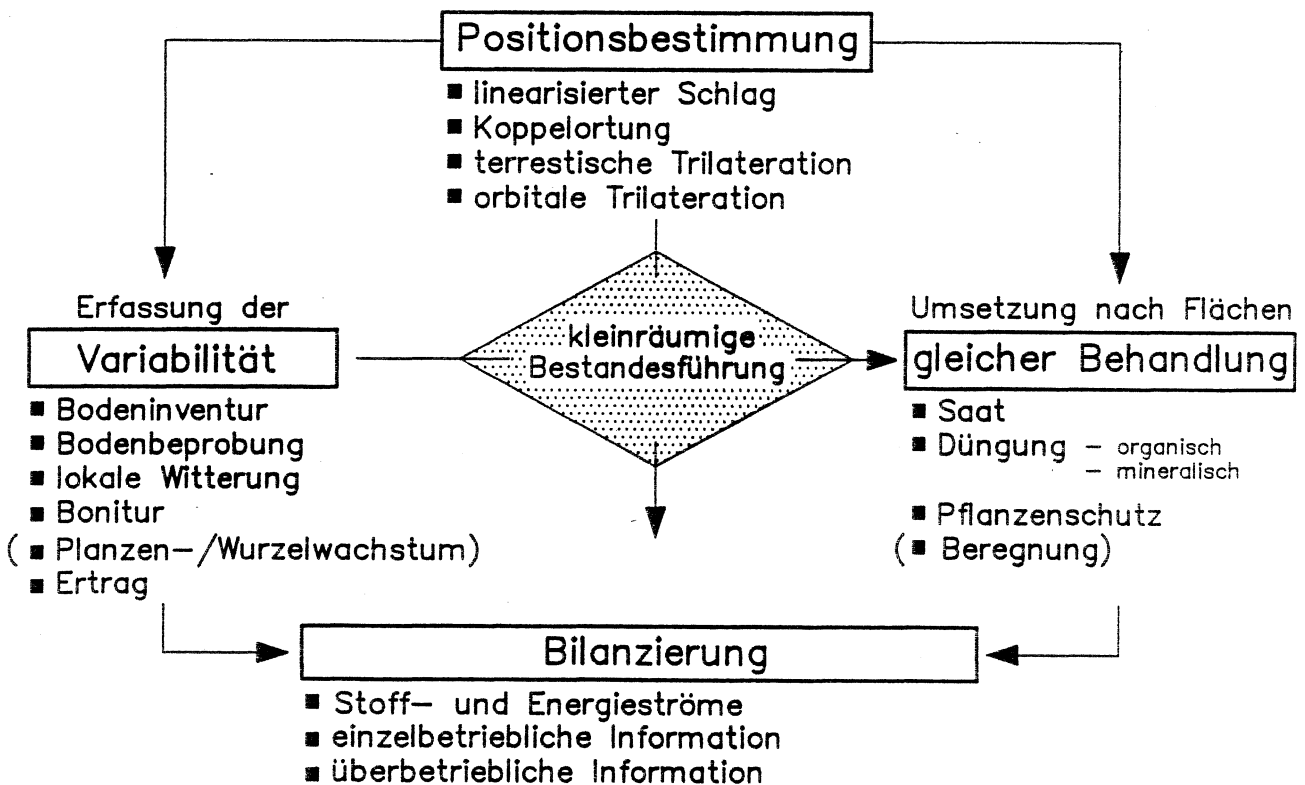


Abbildung 1: Maßnahmen für eine "kleinräumige Bestandesführung".

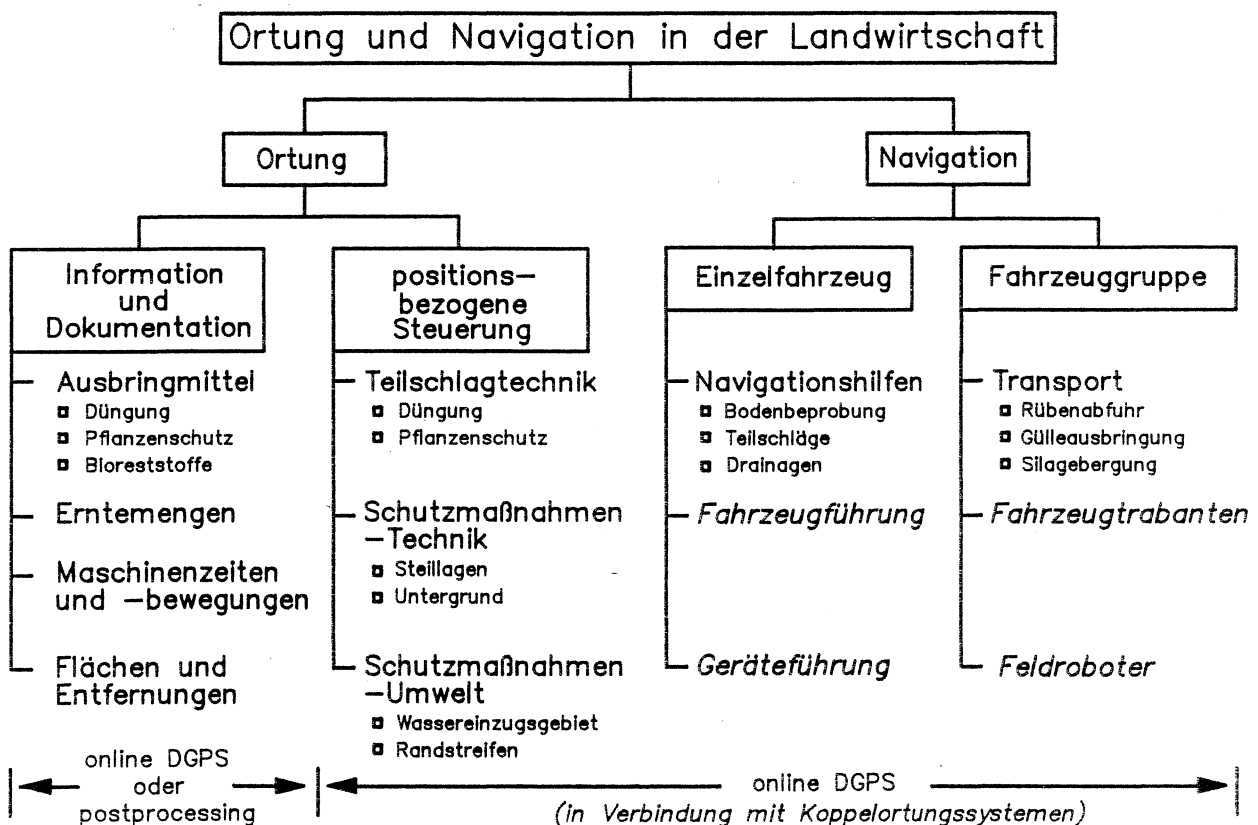
Ausgehend von der Erfassung der lokalen Gegebenheiten über die Umsetzung nach Flächen mit gleicher Behandlung bis hin zur Bilanzierung stellt darin die Positionsbestimmung die Schlüsselgröße dar. Hinzu kommen nicht explizit genannte navigatorische Anforderungen zur Durchführung der einzelnen Prozesse.

Dabei ist zu beachten, daß Landwirtschaft flächendeckend erfolgt. Von den möglichen Systemen der Positionsbestimmung scheidet deshalb jene aus, welche:

- Aufgrund der aufgezeigten finanziellen Gegebenheiten in der Landwirtschaft zu teuer sind,
- eine räumlich eigenständige Infrastruktur (Baken oder Sender) benötigen,
- empfindlich gegen die Einsatzbedingungen in der Landwirtschaft sind und
- an einzelbetriebliche Gegebenheiten gebunden sind.

Einzig die Satellitenortung (in Verbindung mit ausgewählten Formen der Koppelortung) scheint geeignet. Deren Einsatz läßt sich in Anlehnung an die oben aufgezeigten Aufgaben in die Ortung und Navigation unterteilen (Tab. 1).

Tabelle 1: Systematische Einordnung der Satellitenortung für die Anwendung in der Landwirtschaft.



Alle Einzelbereiche stellen eigene Anforderungen an die erforderliche Genauigkeit. Die Genauigkeit wird hier als Bezugsgröße zu einem real existierenden Punkt im landwirtschaftlichen Betrieb verstanden. Üblicherweise liegt er auf einer Schlaggrenze, auf einer Pflanzenreihe, einer Wegstelle oder in einer Hoffläche. Er kann in der Regel einfach zur Korrektur einer systematischen Abweichung (Offset) herangezogen werden.

4. DGPS ist für die landwirtschaftliche Anwendung unumgänglich

Für die Definition der erforderlichen Genauigkeiten zur Positionsbestimmung in der Landwirtschaft liegen nur wenige Veröffentlichungen vor. Sie besitzen zudem nur einen einordnenden Charakter an ausgewählten Einsatzbeispielen. Deshalb sollen hier die getroffenen Grundannahmen für die nachfolgend definierten Werte explizit genannt werden:

- Positionsbestimmungen für Arbeiten in der Landwirtschaft sind fast immer an mobile Einheiten (Schlepper oder selbstfahrende Maschinen) gebunden.
- Die Fahrgeschwindigkeiten sind generell als "langsam" einzuordnen. Im Feld bewegen sie sich zwischen 4 und 12 km/h (etwa 1 - 3 m/s). Im Garten- und Feldgemüsebau sind sie mit 1 - 6 km/h (etwa 0,3 - 2 m/s) noch niedriger. Fahrten auf den Straßen werden im Mittel mit Geschwindigkeiten zwischen 12 und 40 km/h ausgeführt, wobei mittlere Geschwindigkeiten zwischen 20 und 30 km/h (6 - 8 m/s) üblich sind.
- Die Arbeitsbreiten landwirtschaftlicher Maschinen schwanken in einem weiten Bereich von etwa 0,5 m (2-schariger Pflug) bis hin zu 36 m bei großen Feldspritzen. Bei letzteren wird jedoch mit einzeln ab- und zuschaltbaren Teilbreiten gearbeitet, weshalb sich die Gesamt- und/oder Teilbreiten selten über 5 - 7 m hinaus bewegen.
- Ein großer Teil landwirtschaftlicher Flächen grenzt an Wälder oder ist von Hecken umgeben. Signalabschattungen stellen deshalb in der Praxis ein ernst zu nehmendes Problem dar.
- Üblicherweise reichen Positionen in der Fläche mit 2 Dimensionen aus. Lediglich bei der Erfassung absoluter Positionen müssen die Höhen mit einbezogen werden.

Auf diese Gegebenheiten aufbauend können folgende Systemanforderungen an die Positionsgenauigkeiten in der Landwirtschaft abgeleitet werden (Tab. 2).

Tabelle 2: Systemanforderungen an die Satellitenortung in der Landwirtschaft.

Aufgabe	Anwendung	Genauigkeit [m]	Verfügbarkeit		tolerierb. Abschatt. [s]	Ortungs- intervall [s]
			Raum [dim]	Zeit [%]		
Ortung für Information und Dokumentation						
- Ausbringmengenüberwachung		5 - 10	2	99	5	3
- Erntemengenüberwachung		2 - 5	2	99	5	3
- Maschineneinsatzüberwachung		2 - 5	2	99,9	5	3
- Flächeninventur		0,5 - 1	3	99,9	<1	1
Ortung für lokale Steuerungsmaßnahmen						
- lokale Applikationsmaßnahmen		2 - 5	2	99	5	3
- technische Schutzmaßnahmen		1 - 2	3	99,9	<1	1
- Umweltschutzmaßnahmen		1 - 2	3	99,9	300	3
Navigation von Einzelfahrzeugen						
- Zielsuche im Feld		0,5 - 1	2	99	300	1
- Fahrzeugführung		0,05-0,1	2	99,9	<1	1
- Geräteführung		0,02-0,05	2	99,9	<1	1
Navigation von Fahrzeuggruppen						
- Zielsuche auf Feldwegen		10 - 20	2	98	300	3
- Flottenmanagement		50 - 100	2	98	300	>600
- Trabantenfahrzeuge		0,05 - 0,10	3	99,9	<1	1
- Feldroboter		0,05 - 0,10	3	99,9	<1	1

4.1 Ortung für Information und Dokumentation

Ausbring- und Erntemengenüberwachung unterscheiden sich durch die unterschiedlichen Arbeitsbreiten. Wird eine erforderliche Genauigkeit $< \text{Arbeitsbreite (AB)}/2$ unterstellt, dann kann damit immer eine Position innerhalb eines quadratischen Rasters mit der Seitenlänge AB erreicht werden. Fahrspuranalysen beim Mähdrusch in den Jahren 1990 bis 1993 zeigen, daß diese Anforderungen heute mit DGPS problemlos erfüllbar sind (Abb. 2)

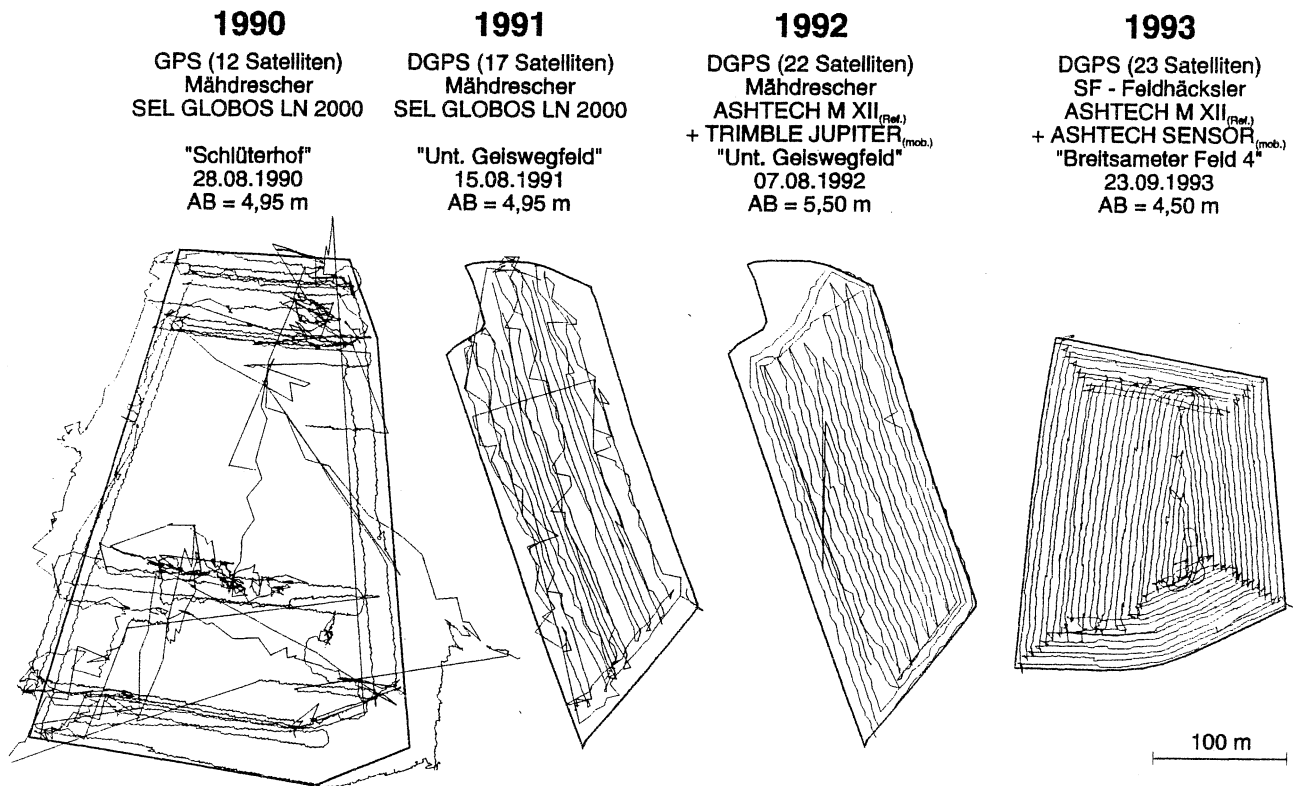


Abbildung 2: Fahrspuranalysen mit GPS/DGPS bei Mähdruscharbeiten zwischen 1990 und 1993 (SCHLÜTER-Gut Freising und FAM, Scheyern)

Für die *Erfassung der Prozeßdaten* ergibt sich daraus der Bereich der jeweiligen Untergrenzen.

Lediglich für die *Flächeninventur* (Feldaufmaßung zur Flächenermittlung) als Nachweis für geleistete überbetriebliche Arbeit oder für Stilllegungsnachweise werden höhere Genauigkeiten gefordert. Mit 0,5 - 1 m und Erfassungsintervallen <3 m dürften gute Auswertelgorithmen einen gegen Null gehenden Gesamtfehler erreichen.

Es gilt:

- Diese Genauigkeitsanforderungen können von GPS-Systemen im "stand alone Einsatz" nicht erbracht werden.
- Real time DGPS ist nicht erforderlich, da vor Ort keine positionsbezogenen Reaktionen ausgeführt werden müssen.

4.2 Ortung für lokale Steuerungsmaßnahmen

Lokale Applikationsmaßnahmen (Saat, organische und mineralische Düngung) orientieren sich wie die Erntearbeiten an den Arbeitsbreiten und Teilbreiten.

Im Bereich *technischer Schutzmaßnahmen* müssen dagegen höhere Anforderungen gestellt werden. Zu hohe Ungenauigkeiten würden unvermeidliche Gefahren oder technische Probleme nach sich ziehen. Zudem ist bei diesen die Höhe als dritte Dimension erforderlich.

Vergleichbare Anforderungen stellen die Maßnahmen im Bereich des *Umweltschutzes* dar. Auch dabei wird die Höhe als dritte Dimension benötigt, weil Umweltschutzmaßnahmen schwerpunktmäßig in unwegsamem Gelände durchgeführt werden. Da es sich dabei aber nicht um betriebswirtschaftlich erfolgsorientierte Maßnahmen handelt, können längere Abschattungen toleriert werden.

Für diesen Bereich gilt:

- Alle Genauigkeitsanforderungen können nur von DGPS erbracht werden.
- Immer ist real time DGPS erforderlich. Updatezyklen der Korrekturinformationen von 7 s sind vermutlich ausreichend.
- In Verbindung mit Totmannschaltungen ist bei der üblichen Einmannarbeit, insbesondere in Verbindung mit technischen Schutzmaßnahmen (gefährvolle Bereiche, Forstarbeit) eine Datenkommunikation zur Zentrale erforderlich.

4.3 Navigation von Einzelfahrzeugen

Für dieses Einsatzfeld erhöhen sich die Genauigkeitsanforderungen um eine weitere Potenz.

Für die *Zielsuche im Feld* ist eine Genauigkeit von einem Meter ausreichend. Längere Abschattungen können in Kauf genommen werden.

Die *Fahrzeugführung* (damit der Fahrer die Geräteführung manuell übernehmen kann) orientiert sich an praxisüblichen Reihenabständen. Der dm-Bereich ist als Genauigkeit anzustreben, hohe Verfügbarkeit des Systems und kürzeste Ortungsintervalle sind Voraussetzung. Die üblichen Arbeitsgeschwindigkeiten bewegen sich zwischen 0,5 und 2 m/s.

Noch höhere Anforderungen stellt die *Geräteführung* (der Fahrer führt in diesem Falle das Fahrzeug). Die weiteren Anforderungen entsprechen jenen der Fahrzeugführung.

Für diesen Bereich ist zu folgern:

- Die genannten Genauigkeitsanforderungen können derzeit durch alleinige Nutzung von real time DGPS nicht erbracht werden.
- Eine Verbindung mit Koppelnavigationssystemen scheint unerlässlich.
- Durch die Anwesenheit einer Bedienperson ist neben der Positionsbestimmung eine Datenkommunikation zur Zentrale nicht erforderlich.

4.4 Navigation von Fahrzeuggruppen

Dieser Anwendungsbereich entspricht der zentralen Fahrzeuglenkung und -überwachung im Landverkehr.

Zielsuche auf Feldwegen ist die Anforderung des überbetrieblichen Maschineneinsatzes. Fehlende Wendemöglichkeiten, fehlende Wegübergänge und Wendingungen mit geringer Tragfähigkeit fordern eine sichere Unterscheidung des zu netzenden Weges. Dafür sind allerdings gewisse zeitliche Zugeständnisse möglich, weil die erforderlichen Entscheidungen nur in größeren zeitlichen Abständen (üblicherweise dem Halbtage) getroffen werden müssen.

Dem üblichen Verkehrswesen vergleichbare Anforderungen finden sich im reinen *Flottenmanagement* bei der Zuckerrübenabfuhr oder beim Transport voluminöser Ernte- bzw. Ausbringmengen. Nahezu immer müssen sie jedoch mit den Anforderungen der Zielsuche auf Feldwegen kombiniert werden.

Mehr visionären Charakter besitzen Konzepte für *Satellitenfahrzeuge* in Verbindung mit einem bemannten Führungsfahrzeug (Abb. 3) und ausschließlich unbemannte *Feldroboter* für Spezialarbeiten (z.B. Pflügen). Entsprechend dem Einsatz gelten jedoch für beide Gruppen die Anforderungen der Einzelfahrzeug- und -geräteführung.

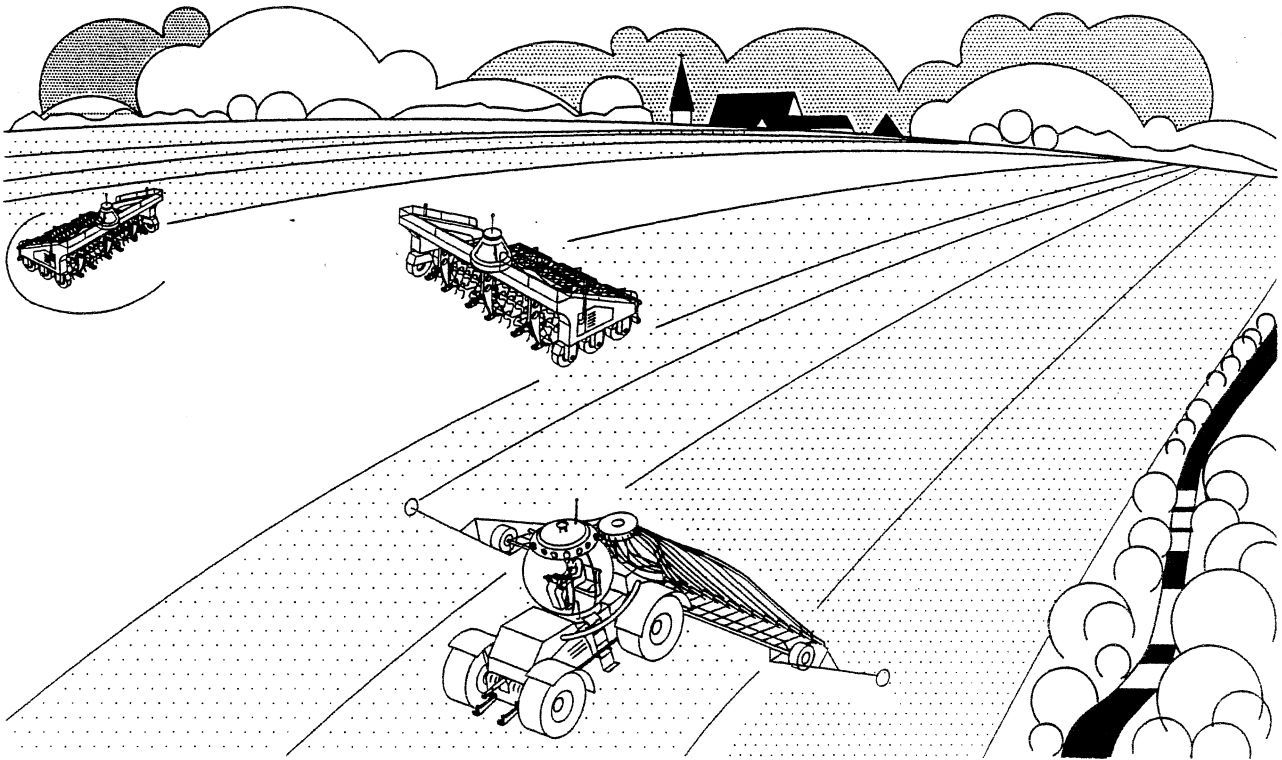


Abbildung 3: Landtechnikvision: Leitschlepper mit fahrerlosen Trabanten.

Für den gesamten Bereich ist zu fordern:

- Die genannten Genauigkeitsanforderungen können derzeit durch alleinige Nutzung von real time DGPS nicht erbracht werden.
- Eine Verbindung mit Koppelnavigationssystemen scheint unerlässlich.
- Alle Systeme benötigen neben der kontinuierlichen Positionsbestimmung eine Datenkommunikation zur Zentrale.

5. Flächendeckung mit Referenzsignalen ist unerlässlich

Werden alle Einzelanforderungen zusammengefaßt, dann ergeben sich für die Genauigkeitsanforderungen an GPS/DGPS für die Landwirtschaft klare Folgerungen:

- Die lokale Positionierung bei landwirtschaftlichen Arbeiten kann nur mit DGPS erreicht und sichergestellt werden.
- In der Phase der Informationsgewinnung und der Dokumentation kann zugunsten von post processing auf online DGPS verzichtet werden.
- Die Anforderungen an die Ortung für lokale Steuerungsmaßnahmen können durch online DGPS erfüllt werden.
- Die navigatorischen Anforderungen werden durch DGPS alleine nicht mehr abgedeckt.
- Schutzmaßnahmen und zentrale Überwachung und Lenkung von Fahrzeuggruppen erfordert neben online DGPS immer eine Datenkommunikation zu einer Zentrale.

Allgemein leitet sich daraus die Forderung nach einer flächendeckenden Versorgung mit DGPS-Referenzsignalen ab. Dies würde die schnelle Umsetzung der Satellitenortung und Satellitennavigation in die Landwirtschaft ermöglichen und damit einen aktiven Beitrag zum Umweltschutz garantieren.

Literatur

Auernhammer, H.:

Rechnergestützte Pflanzenproduktion am Beispiel der umweltorientierten Düngung.

In: VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik "Ortung und Navigation landwirtschaftlicher Fahrzeuge", Düsseldorf 1992, Heft 14, S. 1 - 15

Auernhammer, H.:

Satellitennavigation in der Landwirtschaft.

In: DGON-Seminar SATNAV '93 "Satellitennavigationssysteme - Grundlagen und Anwendungen-". Düsseldorf 1994, S. 197 - 205

Auernhammer, H. (Editor):

GPS in Agriculture.

Computers and Electronics in Agriculture, Amsterdam: Elsevier

Publishers 1994, Vol. 11, No. 1, special issue (95 pages, ISSN 0168-1699)

Auernhammer, H., M. Demmel, J. Rottmeier und T. Muhr:

Future Developments for Fertilizing in Germany.

ASAE: Summer Meeting Albuquerque, St. Joseph 1991, Paper-No. 911040

Auernhammer, H., M. Demmel, T. Muhr, J. Rottmeier and K. Wild:

Site Specific Yield Measurement in Combines and Forage Harvesting Machines.

In: International Conference on Agricultural Engineering, Milano 1994, part 2, pp. 698 - 699

Auernhammer, H., M. Demmel, T. Muhr, J. Rottmeier und P.v. Perger:
Ortung und Ertragsermittlung in den Erntejahren 1991 und 1992.
Zeitschrift für Agrarinformatik 1 (1993), H.1, S. 26 - 29

Auernhammer, H., M. Demmel, K. Muhr, J. Rottmeier und K. Wild:
Yield Measurements on Combine Harvesters.
ASAE Wintermeeting Chicago 1993, Paper-No. 931506. ASAE, 2950 Niles Rd., St. Joseph, USA

Auernhammer, H. und T. Muhr:
The Use of GPS in Agriculture for Yield Mapping and Tractor Implement Guidance.
DGPS '91 - First International Symposium Real Time Applications of the Global Positioning System Düsseldorf
1991, Vol. II, pp 455 - 465

Auernhammer, H. and T. Muhr:
GPS in a Basic Rule for Environment Protection in Agriculture.
Proceeding of the 1991 Symposium "Automated Agriculture in the 21st Century", St. Joseph (USA) 1991, pp.
494 - 402

Auernhammer, H., T. Muhr und M. Demmel:
Vierjährige Einsatz Erfahrungen mit GPS und DGPS.
In: Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Beiträge zur 17. Deutschen Arbeitsbesprechung über
Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung vom 22. - 24.2.1994, Stuttgart-Hohenheim.
Stuttgart: Ulmer Verlag 1994, SH XIV, S. 133 - 142. (ISSN 0938-9938, 706 S.)

Auernhammer, H., T. Muhr and M. Demmel:
GPS and DGPS as a Challenge for Environment Friendly Agriculture.
3rd International Conference on Land Vehicle Navigation Dresden, Düsseldorf 1994, ppa. 81 - 91

Demmel, M., T. Muhr, J. Rottmeier, P.v. Perger und H. Auernhammer:
Ortung und Ertragsermittlung beim Mähdrusch in den Erntejahren 1990 und 1991.
In: VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik "Ortung und Navigation landwirtschaftlicher Fahrzeuge", Düsseldorf
1992, Heft 14, S. 107 - 122

Muhr, T., M. Demmel und H. Auernhammer:
Positionsbestimmung von Fahrzeugen im Feld.

In: Wiegemöglichkeiten im Schlepperheckkraftheber und in Transportfahrzeugen. Schriftenreihe der
Landtechnik Weihenstephan 1991, Heft 2, S. 72 - 84

Muhr, T. und H. Auernhammer:
Technische Möglichkeiten zur Ortung landwirtschaftlicher Fahrzeuge.
In: VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik "Ortung und Navigation landwirtschaftlicher Fahrzeuge", Düsseldorf
1992, Heft 14, S. 49 - 56

Wild, K. und H. Auernhammer:
Automatisierte Prozeßdatenerfassung bei elektronisch gesteuerten
Arbeiten in der Außenwirtschaft.
In: Elektronikeinsatz in der Außenwirtschaft. KTBL Arbeitspapier Darmstadt 1994, Nr. 175, S. 196 - 199