



Wiegemöglichkeiten
im Schlepperheckkraftheber
und in Transportfahrzeugen

H. Auernhammer

H. Stanzel

M. Demmel

(Herausgeber)

2

1990

1943

...

...

...



**Wiegemöglichkeiten
im Schlepperheckkraftheber
und in Transportfahrzeugen**

H. Auernhammer

H. Stanzel

M. Demmel

(Herausgeber)

© 1990 by Landtechnik Weihenstephan, Am Staudengarten 3, D-8050 Freising
Nachdruck, auszugsweise Wiedergabe, Vervielfältigung, Übernahme auf Daten-
träger und Übersetzung nur mit Genehmigung der Landtechnik Weihenstephan

Printed in Germany

Vorwort

Die Landtechnik der Vergangenheit hatte ihre Grenzen in der Informationsgewinnung und in der Informationsverarbeitung. Diese Grenzen können nun mit Hilfe der Elektronik überwunden werden. Landtechnik wird dadurch zur "Intelligenten Technik" und damit zum unverzichtbaren Helfer für den Landwirt in seinem Bemühen um kostengünstigere und zugleich umweltfreundlichere Produktion.

Als wesentliche Herausforderung in der Außenwirtschaft steht dabei die Kontrolle der Aufwands- und Ertragsmengen im Mittelpunkt des Interesses. Nicht mehr die stationäre Wiegemöglichkeit mit ihrem hohen Investitionsbedarf und ihrem nicht unerheblichen Zeitaufwand für den Wiegevorgang ist gefragt. Vielmehr muß die Verwiegung in die Fahrzeuge verlegt werden und dabei sowohl das Anbaugerät am Schlepper, wie auch die Transporteinheit erfassen. Darüber hinaus ist aber auch die Ortsbestimmung der Fahrzeuge zu integrieren, damit in Zukunft die umweltgerechte Teilschlagbehandlung ermöglicht wird.

Basierend auf dieser Zielsetzung werden in diesem Band der Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan alle bisher erarbeiteten Versuchsergebnisse zusammengefaßt. Damit stehen diese Ergebnisse nach deren Vorstellung in einem Industriefachgespräch am 25.9.1990 in Weihenstephan nunmehr allen Interessierten zur Verfügung.

Prof. Dr. H. Schön
(Institutsdirektor)

Dr. Dr. habil. H. Auernhammer
(Projektleiter)

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Gewichtsermittlung in der pflanzlichen Produktion - Systematische Ansätze und technische Möglichkeiten - H. Auernhammer, Weihenstephan	3
Sensoren zur Gewichtsermittlung Dr. H. Stanzel, Weihenstephan	19
Gewichtsermittlung in der Schlepperdreipunkthydraulik M. Demmel, J. Rottmeier, K. Wild und H. Auernhammer, Weihenstephan	27
Praxiseinsatz mit der Wiegeeinrichtung "System Weihenstephan" in der Schlepperdreipunkthydraulik M. Demmel, P. Grundler und H. Auernhammer	46
Gewichtsermittlung in landwirtschaftlichen Transportfahrzeugen Rottmeier J. und H. Auernhammer, Weihenstephan	58
Positionsbestimmung von Fahrzeugen im Feld T. Muhr, M. Demmel und H. Auernhammer, Weihenstephan	72

Gewichtsermittlung in der pflanzlichen Produktion

- Systematische Ansätze und technische Möglichkeiten -

H. Auernhammer, Weihenstephan

1. Einleitung

Umwelt- und ertragsorientierte Maßnahmen in der pflanzlichen Produktion erfordern mehr denn je die exakte Überwachung der Ausbring- und der Erntemengen. Dabei kann auf die Verwiegung der Güterströme nicht mehr verzichtet werden. Nur damit ist ein minimaler Aufwand bei Dünger möglich und nur damit können die erzielten Erträge in der Betriebsführung exakt beurteilt und verplant werden.

2. Systematische Ansätze

Die Erzeugung pflanzlicher Produkte darf heute nur noch in einem in sich geschlossenen Regelkreis gesehen werden, welcher stärker als je zuvor auch die Umwelt einbezieht. Bodenschonende Maßnahmen, eine weitgehend chemielose Unkrautbekämpfung und eine nach Möglichkeit rückstandslose Düngung sind wesentliche Bestandteile in einem derartigen Konzept. Dabei hat die Düngung als zentrale bestandesbildende Maßnahme eine herausragende Bedeutung. Sie muß nach der Strategie des Entzuges erfolgen und dabei die örtlichen Bodenvorräte und die örtliche Bodenfruchtbarkeit mit den gegebenen Wasserverhältnissen einbeziehen. Aufbauend auf den jeweiligen Witterungsverlauf sind danach die erforderlichen Düngungsmaßnahmen wiederum örtlich angepaßt durchzuführen und es ist der erzielte Ertrag in Biomasse als Entzugsgröße für die Folgefrucht zu ermitteln. Zusätzliche Überprüfungen der jeweiligen Nährstoffvorräte im Boden stellen dann lediglich noch die Überwachungsgröße für eine ausgewogene Bilanzierung innerhalb der gesamten Produktion dar. Am Beispiel der Getreideproduktion ist der daraus resultierende Regelkreis in Abbildung 1 dargestellt.

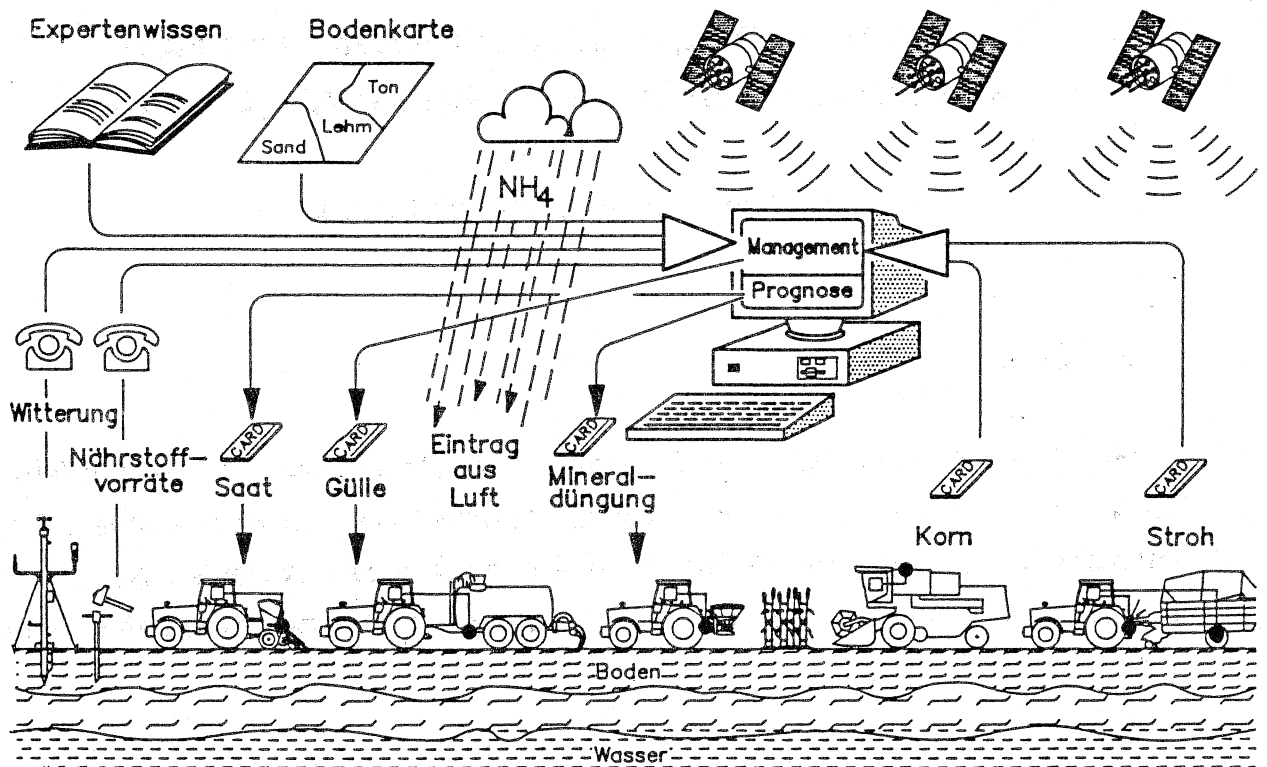


Abbildung 1: Die Düngung im Regelkreis der pflanzlichen Produktion

Im Zentrum stehen dabei Boden, Wasser, Pflanze und Luft. Sie werden umgeben von den technischen Maßnahmen und der Betriebsführung. Deren Ansätze liegen in der Ertragsermittlung (Korn und Stroh) und sie münden im Verbund mit den erforderlichen Informationen aus dem Betrieb und von Experten in die Düngungsmaßnahme.

Wird dieser vereinfachend dargestellte Regelkreis akzeptiert, dann sind daran die erforderlichen Aktivitäten für die jeweilige Gewichtsermittlungen vorgegeben. Sie liegen einerseits bei der Erfassung der Erträge und sie liegen andererseits bei der Überwachung und Steuerung der Düngerausbringmenge. Dabei ist zu unterscheiden zwischen einer jeweils summarischen Kenngröße je Flächeneinheit und einer auf Teilflächen ausgerichteten und damit mehr ertrags- und umweltbezogenen Vorgehensweise. Gerade letztere muß für die Zukunft angestrebt werden, denn nur dann kann die Landwirtschaft im Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie überleben, wobei Elektronik als Schlüsseltechnik die Maßstäbe setzen kann und muß.

3. Güterstrom gestern und heute

In der Vergangenheit erfolgte die jeweilige Gewichtsermittlung ausschließlich summarisch. Dafür standen einerseits exakt verwogene Gebinde zur Verfügung (Säcke mit 50 oder 100 kg) oder es wurde eine zentral gelegene Verwiegungsmöglichkeit ganzer Fahrzeuge auf Brückenwaagen vorgenommen. Kleinere Betriebe bedienten sich gemeinsamer Einrichtungen oder des Landhandels. Großbetriebe hatten eigene Techniken.

Betrachtet man die Situation heute, dann ist ein vollständiger Wandel festzustellen. Das Einzelgebilde ist aus organisatorischen Gründen und aus Gründen des "Handlings" weitgehend aus dem landwirtschaftlichen Betrieb verschwunden. Mähdrescher ernten die gesamte Getreidefläche und sie sind ausschließlich für die "Fließkette" mit Korntanks ausgestattet. Auch bei der Düngung hat die "Lose Düngerkette" sehr stark um sich gegriffen (Tab. 1).

Tabelle 1: Anteil der Lose-Düngerkette bei Mineraldünger in der BR-Deutschland (mündliche Mitteilungen der Mineraldüngerindustrie 9/1990)

Düngerform als Reinnährstoff	Gesamtverbrauch 1000 t	Anteil lose %	Importanteil* %
N	1 500 000	70	30
P ₂ O ₅	640 000	85	65
K ₂ O	848 000	85	35
Summe gewichtetes Mittel	2 988 000	77,5	39,9

* ausschließlich in loser Form

Gütertransport im landwirtschaftlichen Betrieb ist demnach gleichzusetzen mit Transport "losen Gutes". Eine Überwachung von Teilmengen ohne wiegetechnische Hilfsmittel ist dabei nicht möglich. Diese Hilfsmittel können stationär oder mobil angeordnet sein, wobei die mobile Form statisch oder aber dynamisch zum Einsatz kommen kann (Abb. 2).

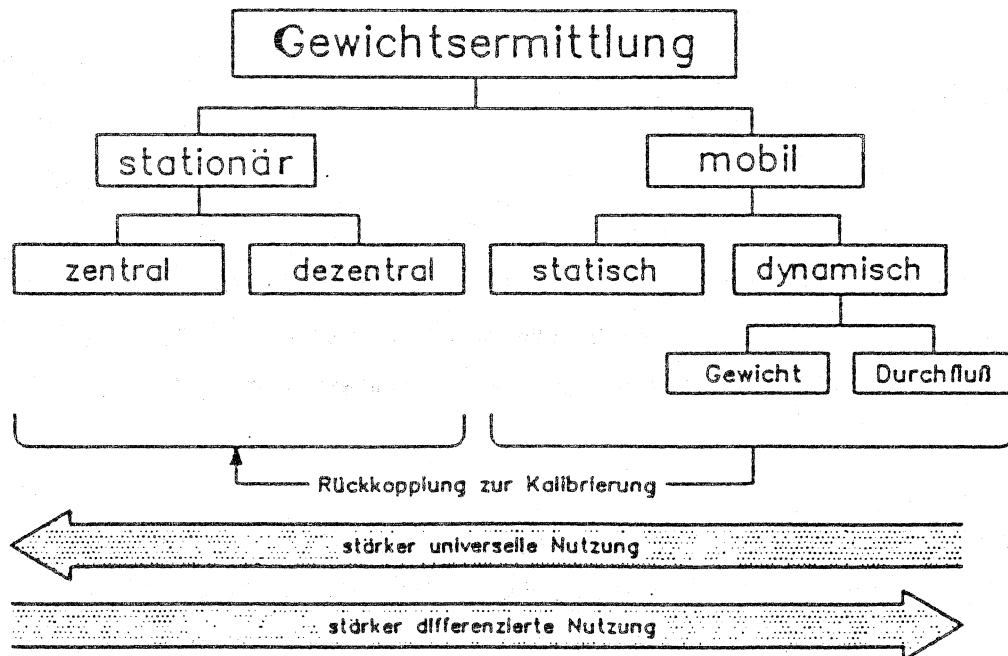


Abbildung 2: Systematik der Gewichtsermittlung in der pflanzlichen Produktion

4. Stationäre Wiegetechnik

Stationäre Wiegetechnik ist heute die einzige Möglichkeit, Erträge und Aufwandsmengen zu kontrollieren. Dazu stehen derzeit drei unterschiedliche Techniken zur Verfügung (Abb. 3).

Dabei übernimmt die Brückenwaage - mittlerweile auf Basis von Biegestäben und elektronischer Auswerte- und Anzeigeeinheiten - die zentrale Stellung. Nur sie ist eichfähig und damit auch für den Handel mit Gütern zugelassen.

Für rein innerbetriebliche Güterströme steht mittlerweile in relativ preiswerten Achslastwaagen eine nicht zu verachtende Alternative gegenüber, zumal diese in direkter Kopplung mit dem Betriebsrechner erstmals auch einen weitgehend papierlosen Datentransfer ermöglicht.

Nur für Einzelfälle können auch Radlastwaagen (sog. Polizeiwaagen) interessant sein, vor allem wenn damit auch Behälter oder andere Gebinde mit geeigneten Vorrichtungen verwogen werden und der Einsatz an Fahrzeugen eher die Ausnahme darstellt.

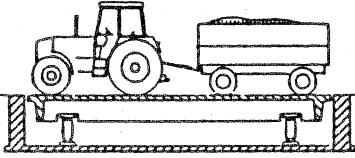
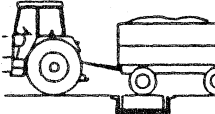
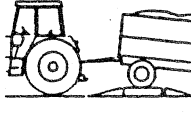
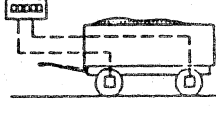
Form	 Fahrwerkswaage	 Achslastwaage	 Radiastwaage	 eingebaute Sensoren
Einsatzform	stationär	stationär, aber versetzbar	versetzbar	im Fahrzeug
Vorteil	ermittelt Gesamtgewicht eichfähig	In Grenzen mobil geringere Beeinträchtigung des Betriebsablaufes	kann an Stelle des Bedarfes gebracht werden	teilschlagbezogene Ertragsermittlung möglich
Nachteil	muß angefahren werden (stört den Betriebsablauf) teilschlagbezogene Ertragsermittlung schwierig	nicht eichfähig kann den Betriebsablauf stören teilschlagbez. Ertragsermittlung schwierig	stört den Betriebsablauf immer teilschlagbez. Ertragsermittlung schwierig	wird in jedem Fahrzeug benötigt
Investitionsbedarf	~ 40-60000 DM	~ 12-20000 DM	~ 8-12000 DM	~ 5-10000 DM

Abbildung 3: Formen stationärer Gewichtsermittlungen

Allen diesen Techniken ist aber gemeinsam:

- Sie müssen zur Gewichtsermittlung angefahren werden, wobei Störungen des Arbeitsablaufes bei einer Verringerung der Verfahrensleistung in Kauf zu nehmen sind.
- Sie erlauben keinen Bezug zur kleinen Teilfläche (unter 0,5 ha).
- Sie ermöglichen keine direkte Einbeziehung in eine laufende Maschinenüberwachung oder -steuerung.

Sowohl der fehlende Bezug zur Teilfläche, wie auch die totale Trennung von der Ernte- oder Ausbringmaschine erfordern deshalb künftig eine zweigeteilte Technik (hier summarische stationäre Gewichtsermittlung und dort maschineninterne Gutstromüberwachung) oder sie fordern die Integration der Verwiegung in der mobilen Technik.

5. Mobile Gewichtsermittlung

Mobile Gewichtsermittlung kann auf zwei Arten durchgeführt werden. Sie kann zum einen statisch (also absätzig) erfolgen. Als solche stört sie den Arbeitsablauf kaum, weil z.B. der entsprechende Gewichtserfassungsvorgang direkt am Feldende oder an jeder anderen beliebigen Stelle durchführbar ist, wobei lediglich das Fahrzeug kurz anzuhalten ist.

Daneben kann die Gewichtsermittlung aber auch in dynamischer Form "online" Bestandteil des Be- oder Verarbeitungsablaufes sein. Dieser Fall muß dann realisiert werden, wenn der Parameter "Gewicht" als Stellgröße in einem Regelkreis herangezogen wird.

5.1 Statische mobile Gewichtsermittlung

Die statische mobile Gewichtsermittlung stellt ein absätziges Verfahren dar. Ihr Haupteinsatz dürfte bei obiger Zielstellung vor allem in der Verfahrensüberprüfung hinsichtlich der vorgenommenen Stellgrößen liegen und sie muß bei sehr kleinen Strukturen zum Einsatz gelangen, wenn die verfügbaren Behältergrößen mehrere Schläge abdecken können. Auch bei Teilbeerntungen kann sie eine sehr willkommene Hilfe sein. Generell stört sie den Verfahrensablauf nicht oder nur sehr wenig. Für sie ergibt sich folgendes Anwendungsfeld:

- Überprüfung der Düngerstreuereinstellung nach dessen exakter Kalibrierung während der Arbeit.
- Ermittlung der Gewichte bei Großballenernte- und Fütterungstechnik.
- Überwachung der absätzig eingebrachten Silagemengen in den Stall am Blockschneider.
- Ermittlung der Gewichte bei der täglichen Futterernte im Ladewagen.
- Ermittlung der Erntemengen bei Silomais.
- Ermittlung der Erntemengen bei Hackfrüchten (Kartoffeln, Rüben).

Während dabei die Kontrolle der Erntegüter eine Maßnahme für die Betriebsführung darstellt, ist die Überwachung der Düngerausbringmenge eine kosten- und umweltorientierte Herausforderung allererster Ordnung. Dies verdeutlichen Untersuchungen in ausgewählten Ausbildungsbetrieben in Bayern. Danach wurde im Mittel das vorgegebene Soll um 7,5 % überschritten, obwohl jeweils vor dem Ausbringvorgang eine exakte Kalibrierung durchgeführt wurde (Abb. 4).

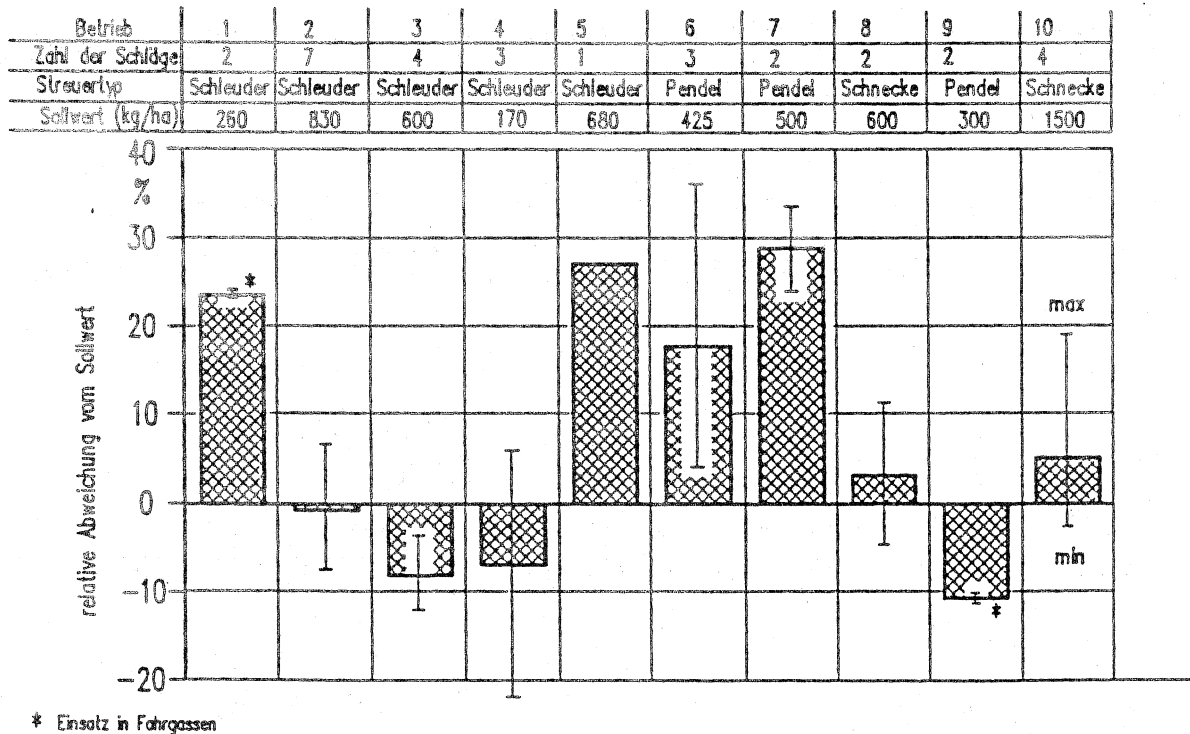


Abbildung 4: Abweichungen der Ausbringmengen bei Dünger in ausgewählten Ausbildungsbetrieben Bayerns

Gleiches gilt für die Überwachung der Erntemengen und der Futtermengen. Dafür werden derzeit exakte Kontrollen überhaupt nicht durchgeführt, obwohl deren Notwendigkeit von niemandem bezweifelt wird.

Stellt man sich nun die Frage, wie die erforderliche Problemlösung aussehen könnte, dann kommt dafür der Schlepper als Träger von Anbaugeräten, es kommen die erforderlichen Transporteinheiten und es kommen die Erntemaschinen in Betracht.

5.1.1 Dreipunktwaage

Mit Einführung der Dreipunkthydraulik wurde der Traktor zum universellen "Geräte-träger". Daneben ergab sich auch die Möglichkeit, Transporte in aufgesattelter Form durchzuführen, wie z.B. im Siloblocksneider, im Anbaudüngerstreuer oder in der Rundballentransporteinrichtung.

Systemtechnisch entstand zugleich aber auch die Möglichkeit einer Lastüberwachung. Diese ist an mehreren Stellen im System denkbar (Abb. 5).

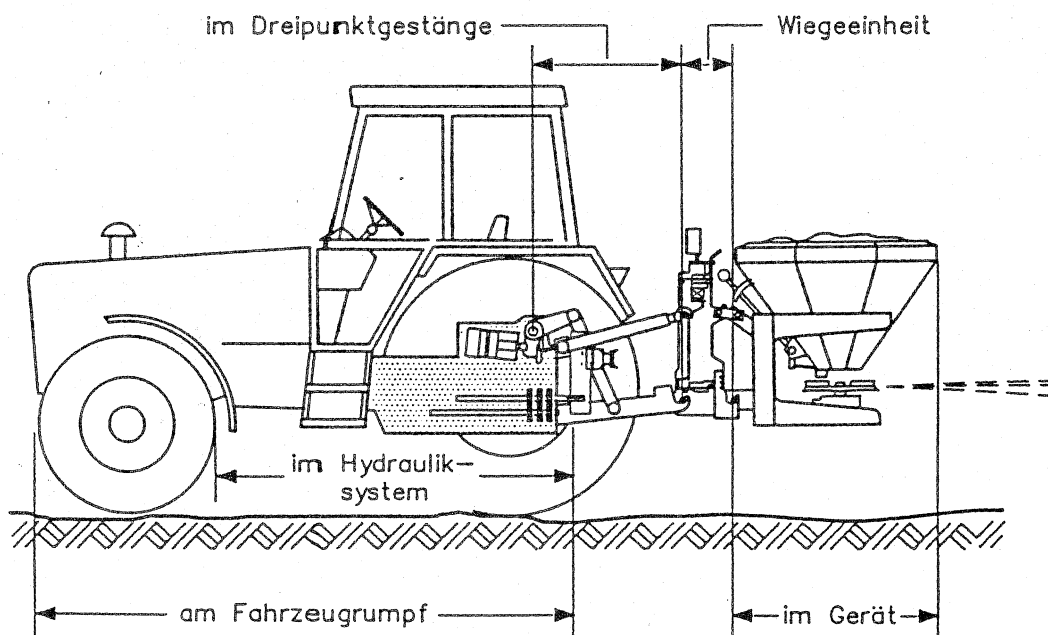


Abbildung 5: Systeminterne Möglichkeiten der Gewichtsermittlung in der Schlepperdreipunkthydraulik

Eine erste Möglichkeit eröffnet sich am Schlepperrumpf. Sie könnte eine umfassende Problemlösung darstellen und die gesamte Schlepperballastierung im Hinblick auf die optimierte Zugkraftübertragung einschließen. Folglich würde dieser Lösungsansatz vor allem den Zug- und weniger den Pflegeschlepper ansprechen.

Eine zweite Möglichkeit ergibt sich im Hydrauliksystem. Allerdings liegen zwischen ihm und der Last am Anbaugerät viele Störgrößen in Form von Gelenken, seitlichen Kraftschlüssen und sich verändernder Kinematik.

Diese Nachteile beseitigt weitgehend eine dritte Möglichkeit, welche die Lastermittlung in das Dreipunktgestänge verlagert. Sowohl die Hubarme, wie auch die Hubstreben sind dabei prädestinierte Bauteile.

Unabhängig von allen Störgrößen ist letztlich aber nur ein eigenes Gerät zwischen Dreipunktgestänge und Anbaugerät. Es erbringt aber einen zusätzlichen Geräteversatz und damit eine höhere Belastung der Hinterachse mit daraus folgendem höherem Bodendruck bei gleichzeitiger Entlastung der Vorderachse und eventuellen Problemen bei der Lenksicherheit.

Die Beseitigung dieser Nachteile wiederum ist nur über eine geräteinterne Gewichtsermittlung möglich. Sie geht je doch zu Kosten einer universellen und damit kostengünstigen Lösung.

Somit haben alle systeminternen und systemexternen Möglichkeiten jeweils spezifische Vor- und Nachteile. Für den Landwirt dürften im einzelnen Betrieb folgende Merkmale den Ausschlag bei der jeweiligen Bevorzugung geben:

- Universelle Nutzung,
- einfache Nachrüstbarkeit,
- Einbindung in vorhandenes Elektroniksystem (mobiler Agrarcomputer) und
- niedriger Preis.

5.1.2 Wiegemöglichkeit im Transportfahrzeug

Alle anderen Güter werden dagegen mit universellen oder speziellen Fahrzeugen transportiert. Eine Ausnahmestellung besitzt dabei der Ladewagen. Er erntet in den rinderhaltenden Betrieben fast das gesamte Grünfutter und den überwiegenden Teil an Grassilage und Heu. Zudem wird er vielfach bei der Bergung von Stroh eingesetzt und nicht zuletzt nimmt er oft an der Maissilagebergung teil. Vorsichtig geschätzt können deshalb in diesen Betrieben in Verbindung mit diesem Fahrzeug weit mehr als 50 % der Erntegüter kontrolliert werden. Gleichzeitig könnte ein dafür entwickeltes

System weitgehend problemlos auf die anderen Transportfahrzeuge übertragen werden, wodurch dann nahezu alle Erträge und auch alle Aufwendungen zu kontrollieren wären.

Als geeignete Sensoren kommen Dehnungsmeßstreifen in unterschiedlichster Ausführung und Druckdosen in Frage. Ihre Anordnung kann zum einen in einer Direktapplikation erfolgen. Zum anderen ist eine Anordnung in sich geschlossener Baugruppen zwischen bestehenden Bauteilen oder auf diesen möglich.

Bei einachsigen Fahrzeugen ist zusätzlich die Deichselstützlast in die Gewichtserfassung einzubeziehen, es sei denn, das Zugmaul wird universell mit einem Stützlastsensor ausgestattet (Abb. 6).

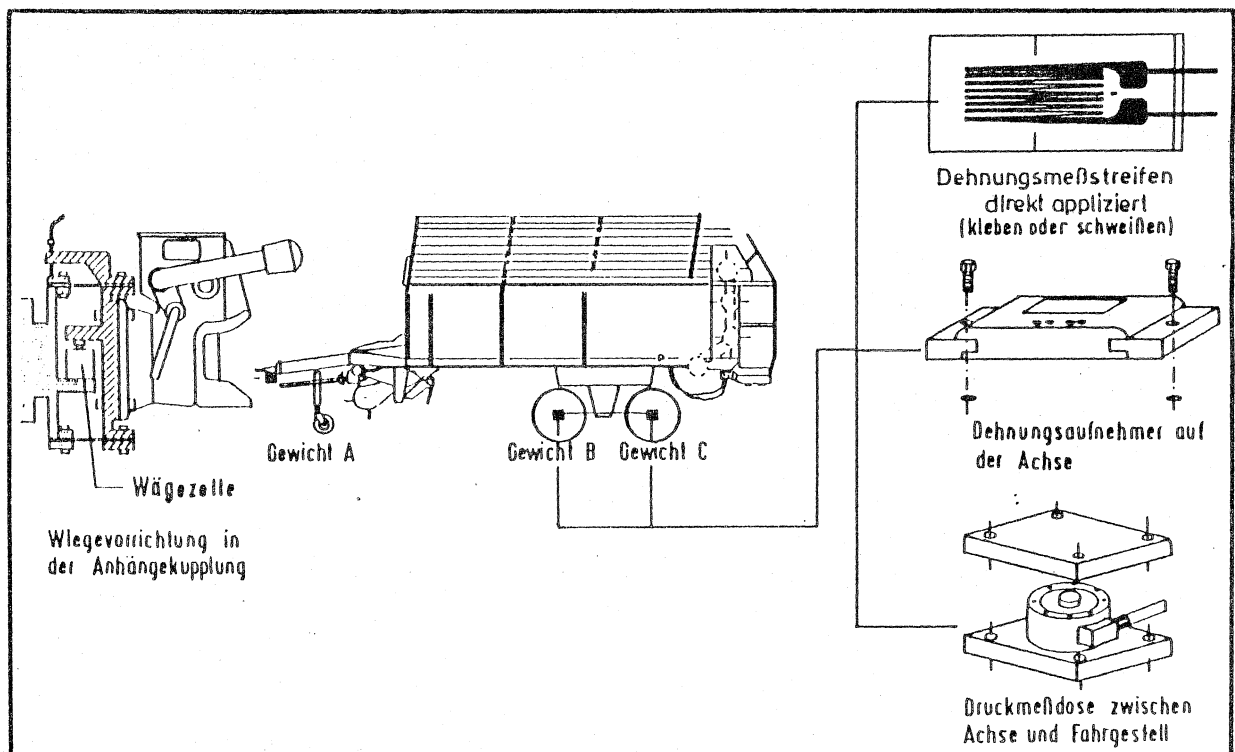


Abbildung 6: Mögliche Applikationsformen von Gewichtserfassungssensoren in Transportfahrzeugen

Auch bei diesen Sensoren muß die Anbindung an den mobilen Agrarcomputer gesucht werden, weil nur dann auf eine aufwendige zusätzliche Bedien- und Auswertelektronik verzichtet werden kann.

5.2 Dynamische mobile Gewichtsermittlung

Die dynamische Gewichtsermittlung ist dagegen ein Teil innerhalb einer prozeßge- steuerten Maschinenführung. Sie kann die Verteiltechniken und sie muß vor allem die Erntetechniken erfassen. Realisierbar ist sie direkt über Verwiegung oder indirekt über das Volumen. Für die Gewichtsermittlung kommen die gleichen Sensoren wie bei der statischen Form zum Einsatz. Für die Volumenstromermittlung kann sowohl das reine Volumen, wie auch der Massestrom bestimmt werden (Beispiele für den Mähdrescher in Abbildung 7).

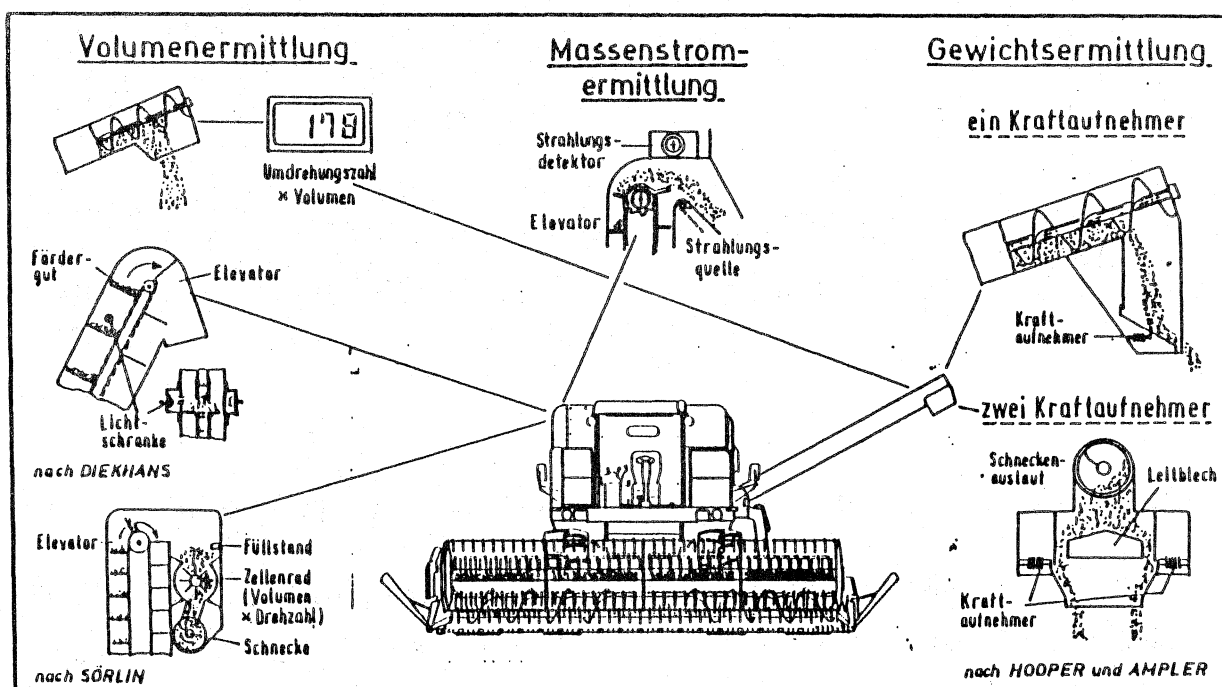


Abbildung 7: Möglichkeiten der Ertragsermittlung im Mähdrescher

Ungeachtet der gewählten Technik erfordert aber die dynamische Gewichtsermittlung im Sinne einer verbesserten Betriebsführung immer die Anbindung an die Positionsbestimmung der Maschine oder des Gerätes. Auch dafür stehen mehrere methodische Ansätze zur Verfügung:

5.2.1 Vorgegebene Ablaufstruktur

Bei der Arbeit in vorgegebenen Reihen bzw. in Reihenkulturen kann weitgehend problemlos eine Verbindung zwischen Fahrzeugposition und Gewicht hergestellt werden. Voraussetzung dazu ist lediglich ein zuverlässiger Wegsensor und eine willige und zugleich sorgfältig arbeitende Arbeitsperson (Abb. 8).

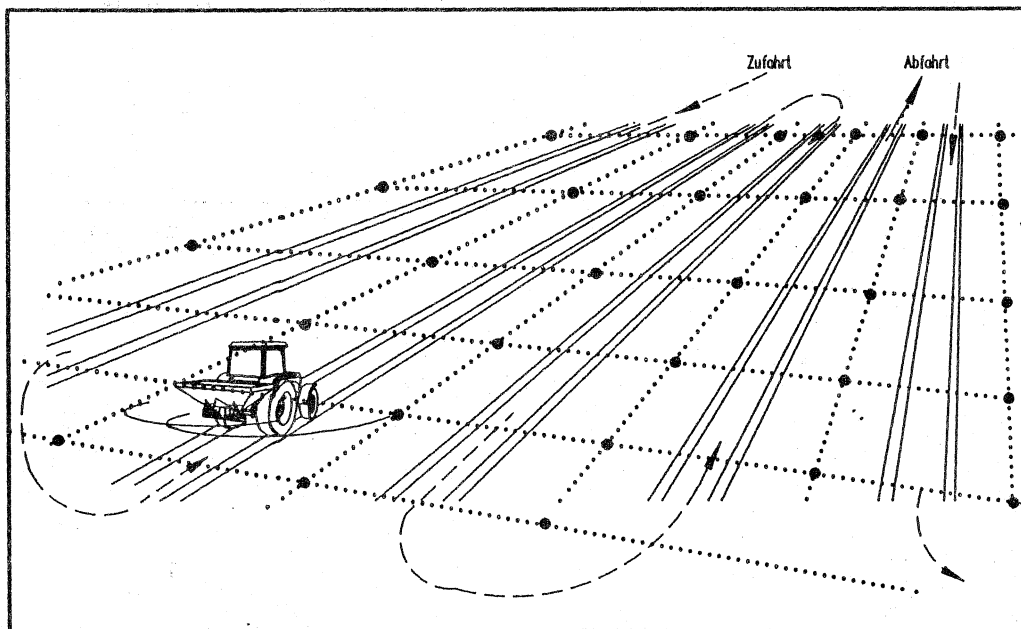


Abbildung 8: Positionsbestimmung des Fahrzeuges über Fahrgassen

Haupteinsatzgebiet ist dabei die Fahrgasse in Getreidebeständen oder die Arbeit in Hackfrüchten. Bei geringem technischen Aufwand dürfte dabei jedoch in der Regel die Steuerungseinheit "Mensch" den hohen Anforderungen nicht gerecht werden. Deshalb kann diese Form allenfalls eine Übergangslösung sein, zumal dieses System sowohl auf Grünland wie auf den noch nicht bestellten Flächen nicht zum Einsatz gelangen kann.

5.2.2 Unabhängige Ablaufstruktur

Weit universeller dürften deshalb künftig Systeme mit einer zuverlässigen Positionsbestimmung ohne hohen Aufwand an erforderlicher Infrastruktur sein. Dabei ist allen voran das "Global Positioning System (GPS)" des amerikanischen Verteidigungs-

ministeriums zu nennen. Aber auch Funkortungssysteme und Koppelnavigationssysteme auf der Basis des "dead reckoning" fallen darunter und bedürfen der intensiven wissenschaftlichen Bearbeitung (Abb. 9).

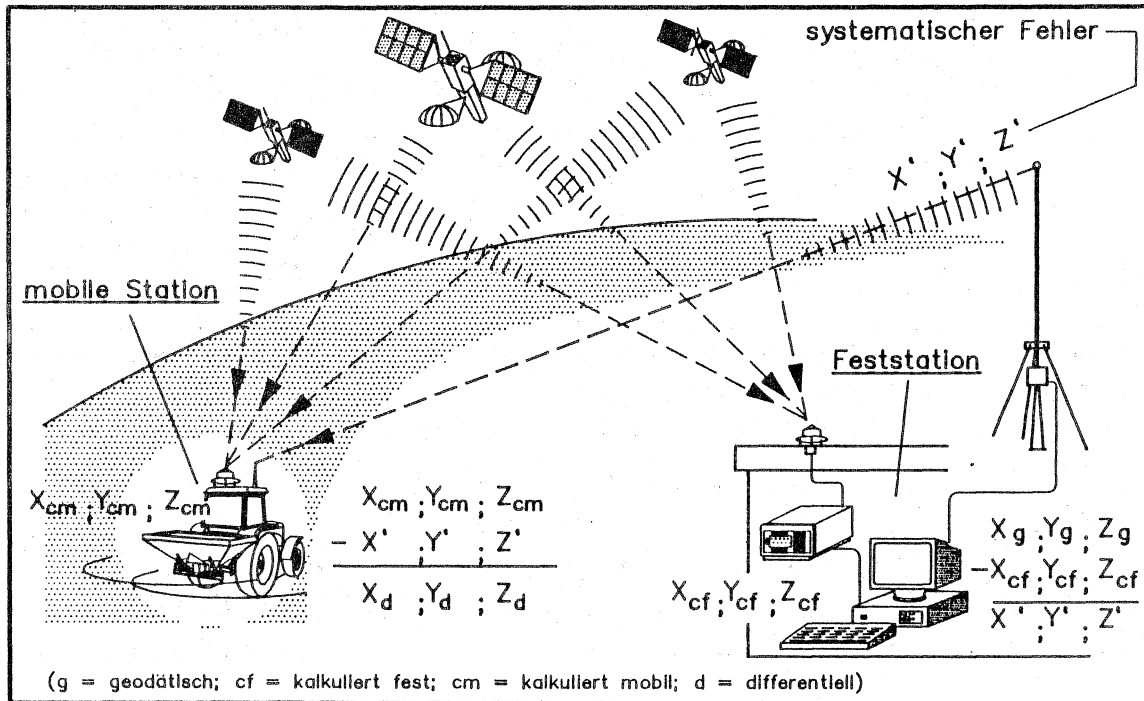


Abbildung 9: Systematische Darstellung des "Differentiellen Global Positioning Systems (DGPS)"

Aus Gründen der Sicherheit wird dabei neben einem immer verfügbaren und zuverlässigen Rückgratsystem (back up) die Koppelung von Systemen erforderlich sein, um auch bei Teilsystemausfällen und Funkschatten eine immer verfügbare Positionsbestimmung zu gewährleisten. Erst dann kann über die örtliche Ertrags- und Aufwandsdatenermittlung eine verbesserte Betriebsführung erreicht und ein in sich geschlossener Datenfluß im Betrieb aufgebaut werden.

6. Datenfluß im Betrieb

Voraussetzung für einen unbeschränkten und allgemein verwendbaren Datenstrom im Betrieb ist die Standardisierung der Datenwege. Über den mobilen Agrarcomputer eröffnet dann die Gewichtsermittlung innerhalb der pflanzlichen Produktion vollständig

neue Möglichkeiten (Abb. 10).

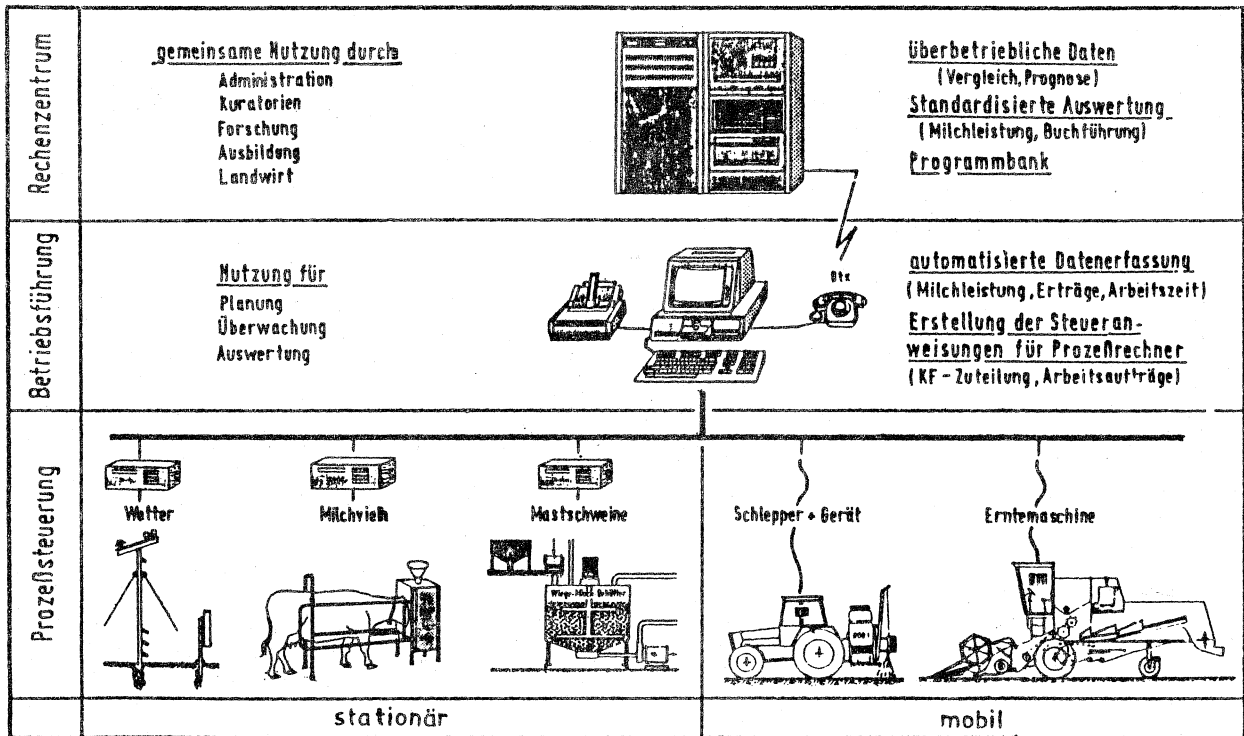


Abbildung 10: Datenfluß im landwirtschaftlichen Betrieb zwischen den Ebenen Prozeßsteuerung, Betriebsrechner und Rechenzentrum

Allen voran ist dabei die umfassende und weitgehend automatisierbare Datenerfassung zu nennen. Sie muß aber auf exakte Daten aufbauen, weshalb für Produktionsabweichungen von 5 % maximal ± 2 % Meßfehler tolerierbar sind. Längerfristig müßte für eine verfeinerte Steuerung und Regelung sogar eine Reduzierung auf maximal 1 % angestrebt werden. Erst dann können diese Daten die täglichen Entscheidungen verbessern und ihren Hauptniederschlag im betrieblichen Rechnungswesen finden.

Gleichzeitig wird damit erstmals eine ertragsbezogene Handlungsreaktion des Betriebsleiters ermöglicht, wodurch Kosten zu senken und wodurch die Umwelt zu entlasten ist.

Nicht zuletzt aber wird sie die automatisierte Maschinensteuerung in den Bereich des Möglichen rücken und damit

- den Landwirt bei seiner täglichen Arbeit entlasten,
- die Zeitbindung verringern,
- die verfügbaren Ressourcen, also die Umwelt, schonen,
- technische Leistungen optimieren,
- Maschinenschäden reduzieren

und damit die gesamte Produktion im landwirtschaftlichen Betrieb effektiver und zuverlässiger gestalten als bisher.

Literatur

1. Auernhammer, H.:
Landtechnische Entwicklungen für eine umwelt- und ertragsorientierte Düngung.
Landtechnik 45 (1990), H. 7/8, S. 272 - 278
2. Auernhammer, H.:
Elektronik in Traktoren und Maschinen.
München: BLV-Verlag 1989
3. Auernhammer, H. und H. Stanzel:
Betriebseigene elektronische Wetterstation für den Einsatz von Prognosemodellen für bedarfsgerechte Pflanzenschutzmaßnahmen und betriebsspezifische Düngung.
In: Mikroelektronik in der Agrartechnik für den Umweltschutz. VDI/MEG Kolloquium Landtechnik Völkenrode 1987, H. 4, S. 161 - 184
4. Auernhammer, H., M. Demmel und H. Stanzel:
Wiegemöglichkeiten in der Schlepperdreipunkthydraulik.
Landtechnik 43 (1988), H. 10, S. 414 - 418
5. Haimerl, J. und J. Bergermeier:
Das Netz der agrarmeteorologischen Meßstationen in Bayern - Stand und Entwicklung -.
Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan 1989, H. 1, S. 39 - 46
6. Hardegg, M.:
Ertragsmessung am Mähdrescher.
Seminararbeit: Institut für Landtechnik 1990
7. Schueller, J.K., Mailänder, J.P. und G.W. Krutz:
Combine Feedrate Sensors.
Transactions of the ASAE 28, 1985

Sensoren zur Gewichtsermittlung

H. Stanzel, Weihenstephan

Sensoren für diese Aufgabe haben ein elektrisches Signal zu bilden, das der Gewichtskraft einer Last auf der Landmaschine proportional ist. Bei der Formulierung der Aufgabe hilft das Funktionsbild eines Sensorsystemes:

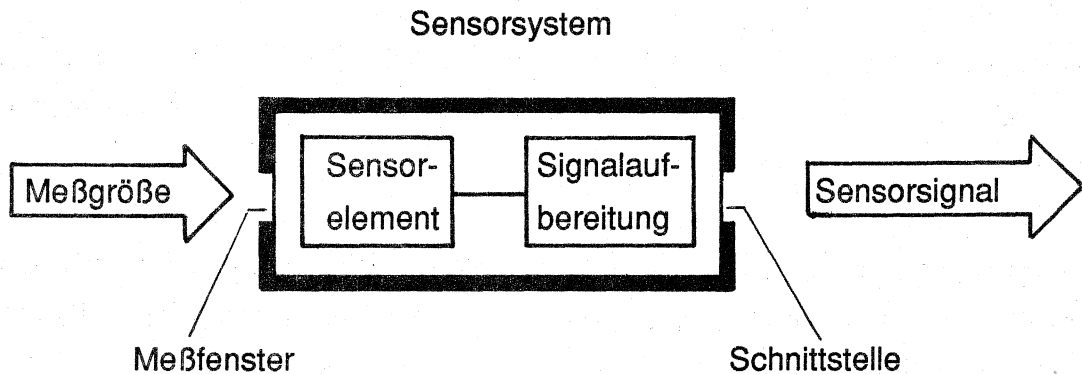


Abbildung 1: Begriffe

Die **Meßgröße** "Gewichtskraft" wirkt über das Meßfenster auf das Sensorelement ein. Dieses Fenster und das Sensorelement und Signalaufbereitung umschließende Gehäuse müssen so gestaltet sein, daß nur die Meßgröße im gewählten Meßbereich durchkommt, nicht aber Störgrößen wie Überlastungen, Kraftnebenschlüsse, Dreh- und Biegemomente, Temperaturwechsel, Wärmestrahlung und andere.

Das **Sensorelement** für die Kraftmessung ist immer ein Federkörper mit adaptierten Dehnmeßelementen. Er reagiert auf die Einwirkung der Meßgröße mit einem proportionalen elektrischen Signal, das im folgenden **Signalaufbereitungsbaustein** verstärkt und normiert wird. Weitere Arbeitsschritte lassen sich hier mit zusätzlichen Funktionsblöcken lösen, z.B. die Erzeugung analoger Pulsfrequenzen für die Eingänge der heutigen Bordcomputer oder die Realisierung von parallelen oder seriellen Schnittstellen für künftige Bussysteme zum Datenverkehr.

Für die Suche nach geeigneten Sensorsystemen wurde folgendes Anforderungsprofil erstellt:

Wägebereich typisch	200 bis 10.000	kg
Maximalfehler	2	% v.EW
Überlastfestigkeit	500	% v.EW
Stromversorgung aus dem Bordnetz	10 bis 15	V =
Toleranzbereich	6,5 bis 25	V =
Lebensdauer	10	Jahre
Beständigkeit gegen	Freiwitterung und Wasserstrahl	
	Lufttemperatur	-20 bis +50 °C
	Luftfeuchte	30 bis 95 %
	korrosive Gase	

Der Einbau sollte an der fertigen Landmaschine möglich sein, so daß auch die Nachrüstbarkeit gegeben ist. Die Marktakzeptanz muß durch einen niedrigen Preis initiiert werden können.

Anforderungsliste und Systemdefinition bilden die Grundlage für die Auswahl von geeigneten Sensoren. Danach können einige Sensorprinzipien, die sich in der Wägetechnik großer Verbreitung erfreuen, gleich verworfen werden:

1. Balkenwaagensysteme wegen des hohen Bauaufwands und der großen Abmessungen;
2. Federwaagen mit integrierter Weg- oder Drehwinkelmessung wegen der Baugröße und der Unsicherheit im Fahrbetrieb;
3. die magnetoelastische Kraftmessung wegen der großen Fehler durch Hysterese, Nichtlinearität und Geschwindigkeitsabhängigkeit des Signals;
4. die piezoelektrischen Kraftsensoren wegen der Kosten und der Fehler.

Es gab zwar in den letzten Jahren Autoren, die sich damit befaßt haben, die negativen Ergebnisse waren aber vorauszusehen.

Die folgenden Gruppen von Sensoren rechtfertigen eingehende Untersuchungen, die seit 1986 durchgeführt wurden.

1. Wägezellen

Wägezellen gibt es in großer Zahl mit vorteilhaften Einbauhilfen auf dem Markt. Sie bestehen im Prinzip aus einem Federkörper, der sich unter der Nennlast bis 1 mm/m verformt. Über Dehnungsmeßstreifen auf den Oberflächen der Feder wird aus der Verformung ein elektrisches Signal gebildet.

Wägezellen in Dosenform sind durch steife Gehäuse besonders robust und haben oft Einrichtungen zur Ableitung aller Störgrößen (Querkräfte, Biege- und Drehmomente).

Biegestäbe sind besonders einfach gebaut, erfordern jedoch präzise Einspannvorrichtungen und Krafterleitungen. Biegestäbe und Wägedosen werden seit 18 Jahren erfolgreich in Landmaschinen eingesetzt.

Scherstäbe, bei denen statt Zug- und Druckspannungen die Scherspannungen an den Oberflächen des rechteckigen Federkörpers abgegriffen werden, erleichtern die Adaption in Maschinen etwas, weil die Krafterleitung nicht so präzise erfolgen muß.

Elastostatische Wägezellen sind neu auf dem Markt. Sie bestehen aus Zylinder und Kolben, der den steifen Zylinder fast vollständig ausfüllt. Der Spalt zwischen den Teilen ist mit einem Elastomer gefüllt. Bei Lasteinleitung baut sich im Elastomer ein Druck auf, den ein Drucksensor im Gehäuseboden in ein lastproportionales Signal überführt. Diese Konstruktion erlaubt eine vollständige Eliminierung von Seitenkräften und Biegemomenten.

Für alle Wägezellen gilt, daß sie für beliebige Anforderungen in vielen Varianten erhältlich und deshalb leicht in Landmaschinen einzubauen sind. Konstruktive Überlegungen erfordern die Einleitungsstellen für Kraft und Gegenkraft und der Überlastschutz oberhalb der Nennlast, keine Wägezelle hält Stöße der 5-fachen Nennkraft aus.

Querschnitt Wägezelle

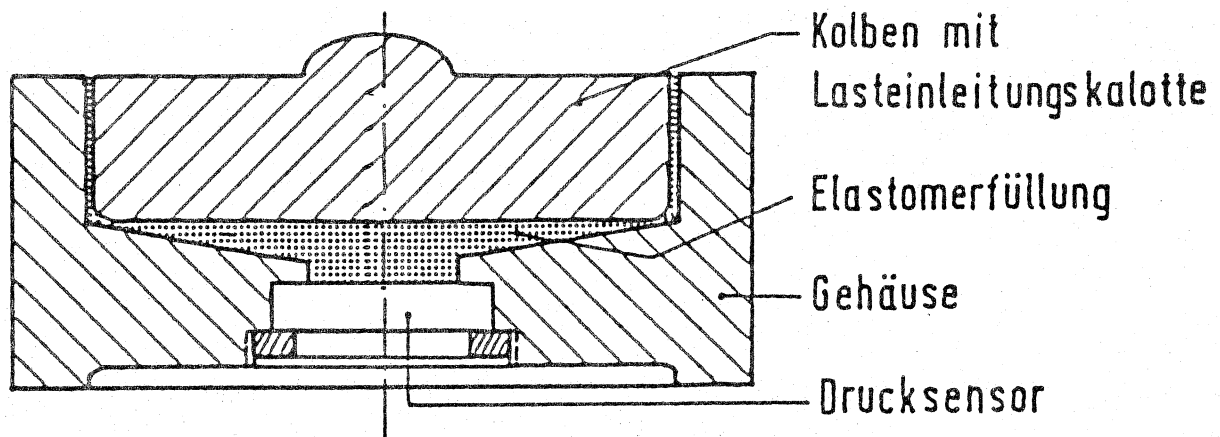


Abbildung 2: Elastostatische 5 t-Wägezelle (Bauart PFISTER)

2. Dehnungsaufnehmer

Der Anwendung zur Gewichtsermittlung liegt die Beobachtung zugrunde, daß sich unter Lasteinwirkung jedes Fahrzeugteil als Federkörper verhält. Hoch belastete Teile, wie Achsen, Hubarme und Stangen erfahren dabei elastische Verformungen, die an den Oberflächen Dehnungen bis 0,1 mm/m hervorbringen.

Diese Dehnungen lassen sich mit **Dehnungsmeßstreifen** messen. Wichtig für die Platzierung der Meßstellen ist, daß Zonen auf dem bestgeeigneten Bauteil gefunden werden, die eine hohe und in Richtung und Homogenität stabile Dehnung aufweisen. Der Ort muß zudem für eine perfekte Installation der DMS und der Kabel prädestiniert sein. Dieser Forderung kommen die winzigen Abmessungen der Folien-DMS entgegen. DMS sind sehr billig, ihre Installation erfordert jedoch hohen Zeitaufwand.

In der Applikation wesentlich einfacher sind fertige **Dehnungsaufnehmer**, die auf ebene Bauteilflächen aufgeschraubt oder geklebt werden. Sie enthalten eigene kleine Federkörper, die durch mechanische Einrichtungen eine verstärkte Dehnung erfahren und dadurch auch an gering belasteten Bauteilen große Meßsignale erzeugen. Solche

Sensorsysteme sind deshalb grundsätzlich überlastfest, wenn das Trägerbauteil für diese Kräfte ausgelegt wurde.

Als Besonderheit sei vermerkt, daß einige der verwendeten Dehnungsaufnehmer Siliciumhalbleiter-DMS beinhalten, die gegenüber Metall-DMS die 10- bis 20-fache Signalhöhe erreichen. Sie weisen aber auch einen großen Temperaturkoeffizienten auf, so daß ihre Anwendung in frei bewitterten Fahrzeugen wohl überlegt sein muß.

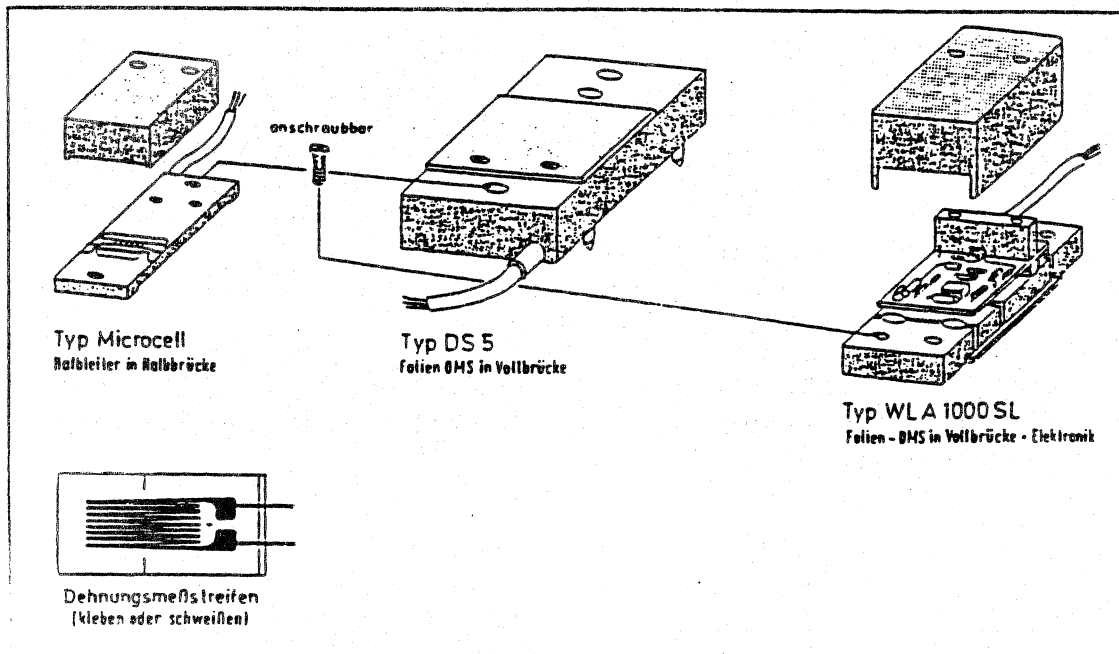


Abbildung 3: Verschiedene Dehnungsaufnehmer

3. Bohrlochensoren

Belastete Bauteile von Fahrzeugen weisen nicht nur an den Oberflächen Dehnungen auf, die Verformung erfaßt aufgrund der im inneren herrschenden Spannungen vielmehr den ganzen Querschnitt. Diesen Effekt benutzen **Bohrlochensoren** zur Kraftmessung. Es sind kleine hermetisch dichte Körper, die mehr oder weniger kraftschlüssig in Bohrungen in der Nähe der neutralen Faser eingebracht werden. Über die Mantelfläche nehmen sie dann Zug- und Druckspannungen auf und formen daraus die üblichen DMS-Signale.

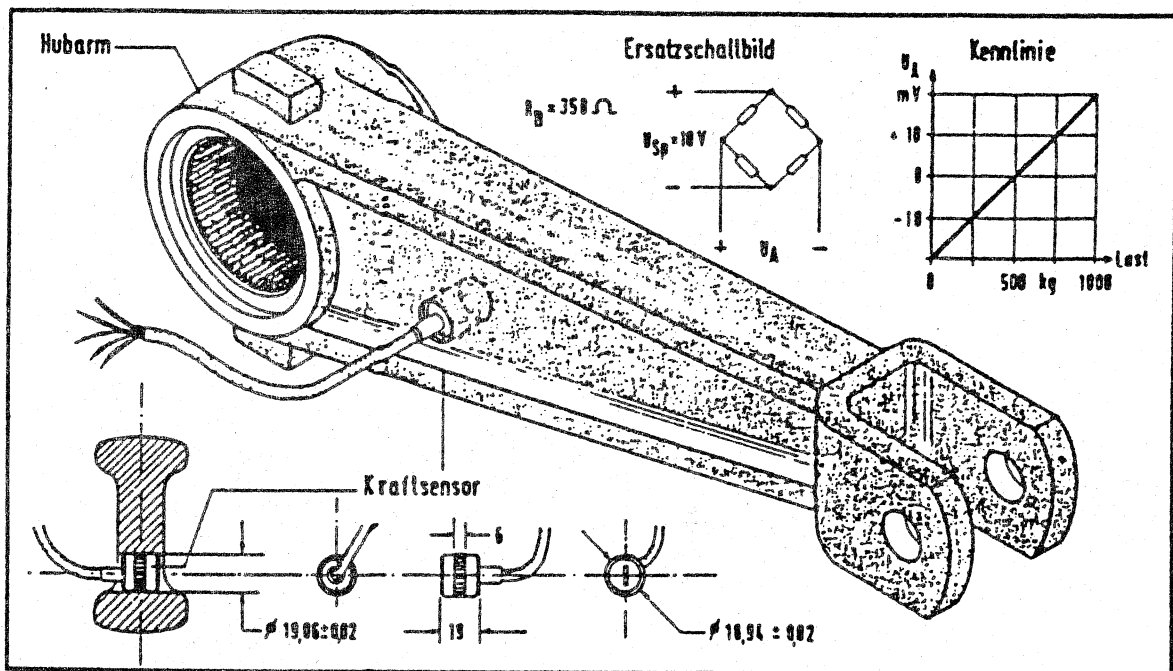


Abbildung 4: Bohrlochsensor GOZINTA in einem Hubarm zur Gewichtsermittlung am Traktor

4. Druckmeßumformer

Viele Lasten an landwirtschaftlichen Maschinen werden mit hydraulischen Hubzylindern bewegt und getragen. Die Haltekräfte führen dabei zu proportionalen Drücken im Zylinder, die mit **Drucksensoren** zu messen sind. Preiswert sind in diesem Sektor auch die **Druckmeßumformer**, die eine weitgehende Signalaufbereitung schon im Sensorgehäuse bieten. Anwendungstechnische Probleme bereiten nur die großen Temperaturspannen der Hydraulikanlage (bis 110 °C) und das regelmäßige Auftreten von Druckstößen, die weit über die maximalen Systemdrücke (160 oder 200 bar) hinausgehen können. Die Druckmeßbereiche müssen deshalb regelmäßig sehr viel größer gewählt werden als der Haltedruck, der sich bei den Versuchen zur Gewichtsermittlung im Bereich von 5 bis 50 bar bewegte.

Tabelle: Liste der zur Gewichtsermittlung benutzten Sensoren

Hersteller		Typ	Meßbereich		Preis-klasse DM
1	Wägezellen				
1.1	Bongshin/Korea	3000 TRU	3000	kg	1000
1.2	Bongshin/Korea	DBC	2000	kg	700
1.3	Pfister/Augsburg	Elastomer-Wägezelle	5000	kg	1000
1.4	1 WZ im Landsberger Wiegerahmen		1500	kg	
1.5	3 WZ im Moba Wiegerahmen		2000	kg	
2	Dehnungsaufnehmer				
2.1	Hottinger/Darmstadt	DMS XY 11-6/120	2	mm/m	50
2.2	Hottinger/Darmstadt	DS 5	0,6	mm/m	1000
2.3	Kistler Morse/USA	Microcell	0,4	mm/m	1000
2.4	Data Instruments/USA	Strain Link WLA 1000 SL	0,25	mm/m	1000
3	Bohrlochsensoren				
3.1	Revere/USA	Gozinta GZ 10	2	mm/m	400
3.2	Moba Elektronik/EIz	Prototyp	?		?
4	Druckmeßumformer				
4.1	Hottinger/Darmstadt	P 9 V	200	bar	800
4.2	Bell & Howell/USA	BHL 4201-03	250	bar	1700
4.3	Transamerica/USA	BHL 4410	160	bar	900
4.4	VDO Dresser	330 408 2207	160	bar	?

Die oben stehende Auswahl von Sensoren hat sich aus unserem Versuchsinteresse ergeben und soll zeigen, mit welcher Vielfalt von Sensorsystemen die Aufgabe der Gewichtsermittlung angegangen werden kann. Sie darf nicht als Empfehlung zur einschlägigen Anwendung verstanden werden. Etwa die Hälfte der Sensoren ist dem Robusteinsatz an Fahrzeugen erkennbar nicht gewachsen und müßte besser ausgerüstet werden.

Das gilt grundsätzlich auch für die Signalverarbeitungsstufen, die auf dem rauhen Fahrzeugbetrieb vorbereitet sein muß. Da die Stromversorgung aus dem Bordnetz mit seiner großen Schwankungsbreite von 10 bis 15 V und eingestreuten Störimpulsen erfolgt, ist eine Filterung und sorgfältige Aufbereitung der internen Hilfsspannungen mit potentialtrennenden Spannungswandlern unerlässlich.

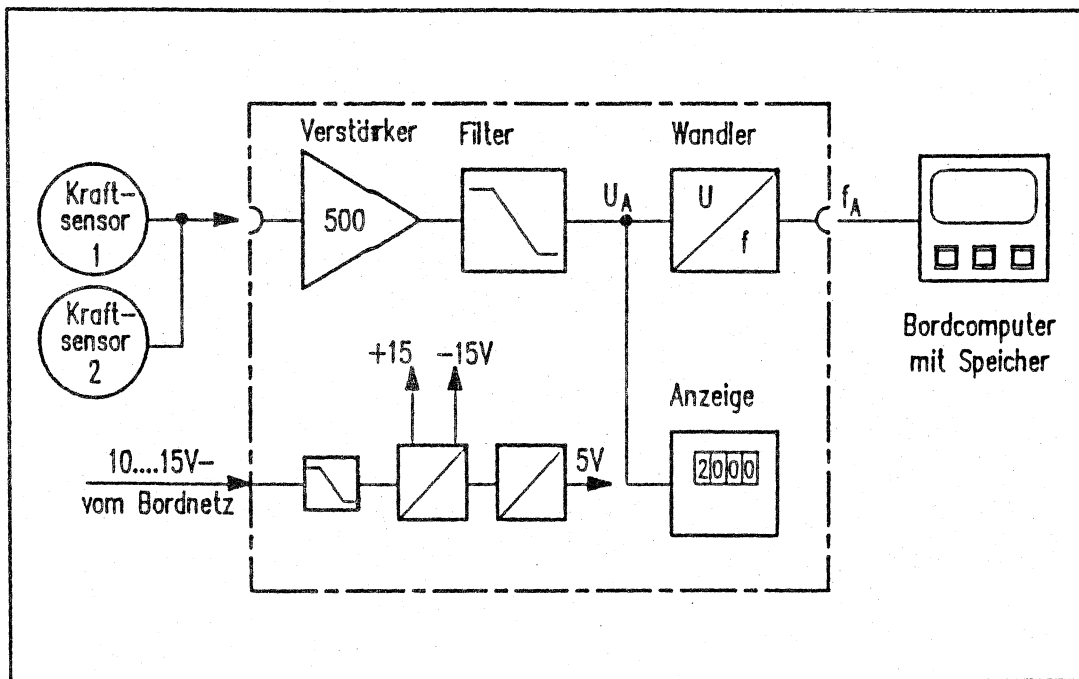


Abbildung 5: Anlage mit 2 Kraftsensoren zur Gewichtsermittlung im Schlepperkraftheber

Die Meßkette für das Summensignal von zwei Kraftsensoren besteht aus Verstärker, Tiefpaßfilter und Spannungsfrequenzwandler, der dem Bordcomputer eine lastproportionale Pulsfrequenz zur Verfügung stellt. Die Anzeigeeinheit bei dieser Meßkette erscheint entbehrlich, weil diese Funktion der Bordcomputer besser erfüllen kann.

Gewichtsermittlung in der Schlepperdreipunkthydraulik

M. Demmel, J. Rottmeier, K. Wild und H. Auernhammer, Weihenstephan

1. Einleitung

Der Schlepper als zentrale Maschine im landwirtschaftlichen Betrieb und "Trägerfahrzeug" von vielen, für eine Gewichtserfassung in Frage kommenden Geräten wie z.B. Mineraldüngerstreuer, Siloblockschneider, Ballengabel, Transportbehälter u.a. bietet in seiner genormten Schnittstelle "Dreipunkthydraulik" gute Möglichkeiten Systeme zur Gewichtsermittlung zu integrieren.

Am Institut für Landtechnik wurde bereits 1986 mit ersten Versuchen zur Gewichtsermittlung in der Dreipunkthydraulik begonnen (1/2/3). Als ein praktisches Ergebnis dieser Arbeiten stellte ein Schlepperproduzent auf der Agritechnika 1987 ein, in Zusammenarbeit mit einem Bordcomputerhersteller entwickeltes Wiegesystem "Weihenstephan" vor. Aufgrund der geringen Nachfrage und der Beschränkung auf mehr oder minder einen Schleppertyp wurde dieses, auf in die Hubarme eingepresste Sensoren basierende System, nicht weiter angeboten.

In der Zwischenzeit haben sich auf der einen Seite die Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft weiter verschärft, andererseits hat die Sensorentwicklung große Fortschritte gemacht. Immer neue, robuste, einfach zu applizierende und kostengünstige Sensoren erscheinen am Markt. Dies und die hohe Genauigkeit der 1986/87 erprobten Anordnungen waren der Anlaß dafür, im Herbst 1989 damit zu beginnen, eine sehr große Anzahl unterschiedlichster Sensorapplikationen auf ihre Eignung zur Gewichtsermittlung in der Schlepperdreipunkthydraulik zu untersuchen. Mit in die Untersuchungen aufgenommen wurden natürlich auch die am Markt befindlichen Systeme.

2. Versuchsaufbau

2.1 Untersuchte Systeme

Die für die Gewichtsermittlung in der Dreipunkthydraulik in Frage kommenden Systeme lassen sich wie folgt unterteilen:

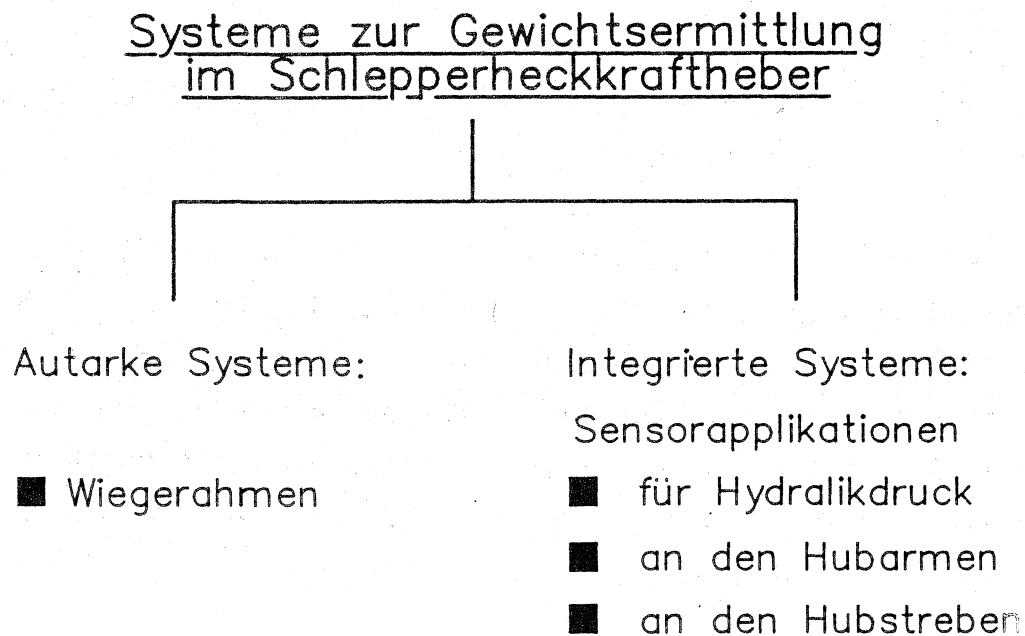


Abbildung 1: Autarke und integrierte Systeme zur Gewichtsermittlung in der Schlepperdreipunkthydraulik

2.2 Versuchsdurchführung

Als Versuchsfahrzeug stand ein 59 kW Allradgeräteträger mit konventionell-mechanischer Hydraulikhubwerksregelung zur Verfügung. Als Last wurden Stahlplattengewichte von je 100 kg (auf 0,1 kg verwogen) auf eine Palettengabel (Eigengewicht etwa 100 kg) aufgelegt.

Die Gesamtlast wurde jeweils von 0 kg in Stufen von 100 kg bis zu 2000 kg erhöht. Der Meßwertaufnahme, die nach jeder Lasterhöhung durchgeführt wurde, ging in

jedem Falle das vollständige Ausheben und Absenken der Last auf eine bestimmte Hubwerksstellung (definierte Hubwerkshöhe) voraus. Ober- und Unterlenker standen in dieser Position parallel. Vier Wiederholungen bilden die Datengrundlage für die Auswertungen.

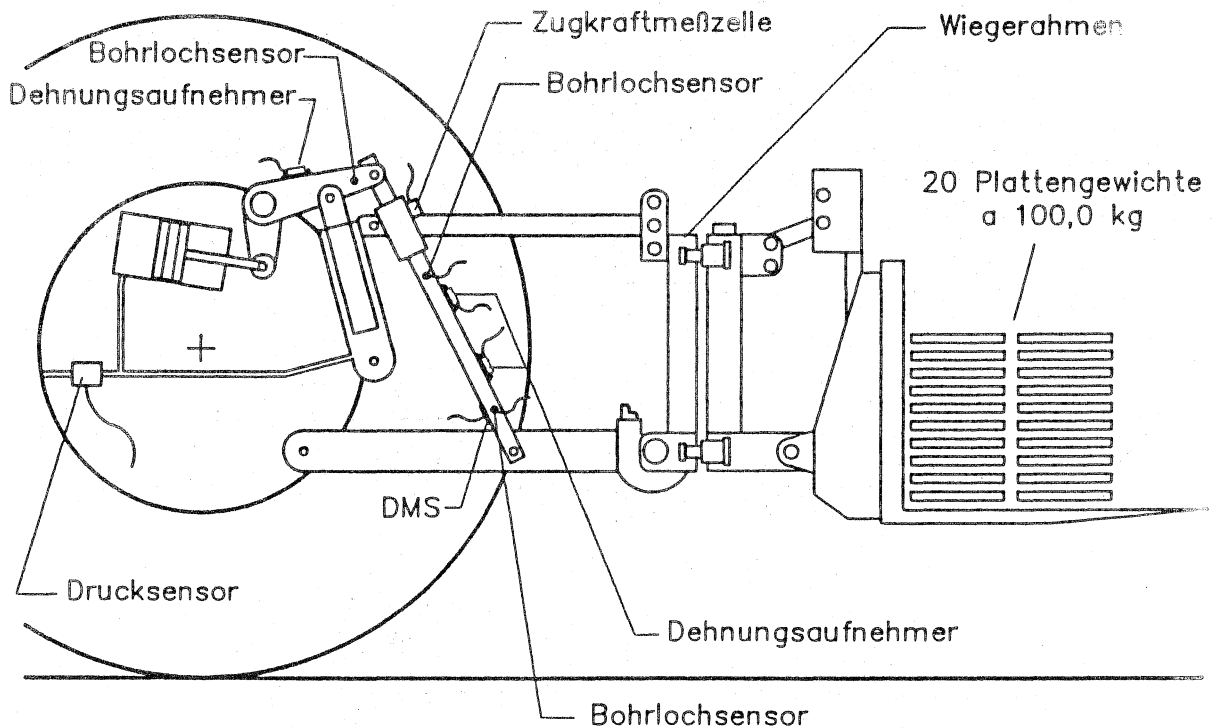


Abbildung 2: Versuchsaufbau und Anordnung unterschiedlicher Sensoren bei der Gewichtsermittlung in der Dreipunkthydraulik

In der Auswertung der so gewonnenen Daten werden als charakteristisch für die Systeme, die 95 Prozent Vertrauensbereiche der absoluten und relativen Fehler aller Meßwerte für die jeweiligen Laststufen und für alle Laststufen größer 200 kg Last angegeben. Diese Art der Fehlerangabe unterscheidet sich von der in der Wägetechnik sonst üblichen Form. Dort wird der relative Fehler im Verhältnis zum größtmöglichen Gewichtswert des Wiegesystems (Endwert) angegeben, eine Betrachtungsweise, die uns für die speziellen landtechnischen Bedürfnisse nicht aussagekräftig genug erschien.

3. Autarke Wiegesysteme

Zu dieser Gruppe zählen die unabhängig von einem bestimmten Schlepper einzusetzenden unterschiedlichen Formen von Wiegerahmen.

Die Wiegerahmen werden zwischen Schlepper und Anbaugerät in die Dreipunktanhangung gekoppelt. Die einzige Anforderung für eine korrekte Funktion ist die Einhaltung einer annähernd lotrechten Stellung beim Wiegevorgang.

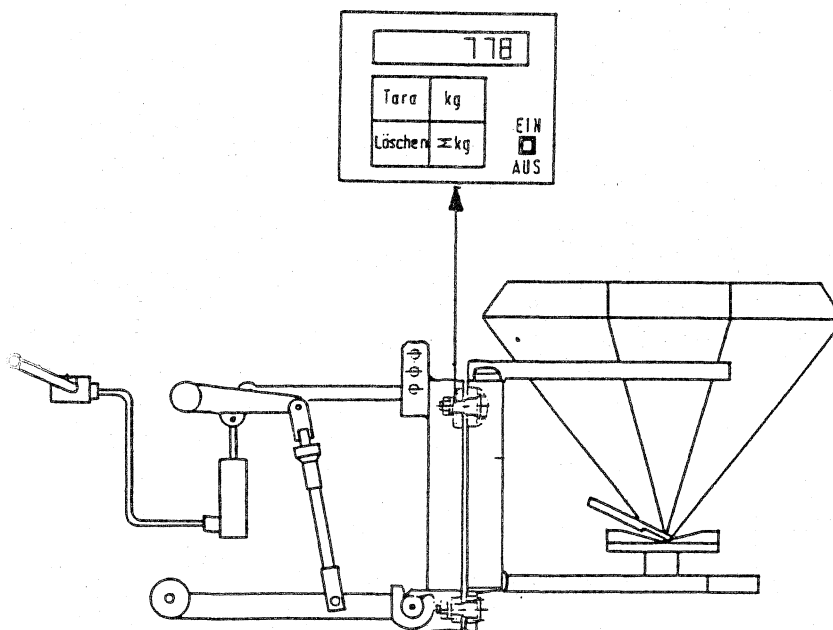


Abbildung 3: Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mittels Wiegerahmen

Auf dem Markt sind derzeit zwei Systeme erhältlich. Der LANDSBERG-Wiegerahmen ist ein an Blattfedern geführtes Parallelogramm, das sich auf eine Wägezelle abstützt. Der MOBA-Wiegerahmen ist als starrer Doppelrahmen ausgebildet, dessen Rahmenhälften mit Biegestäben verbunden sind.

Diese beiden Systeme besitzen eigene Elektroniken, Anzeigen und z.T. eine autarke Stromversorgung. Ein gravierender Nachteil, der zusammen mit den hohen Preisen bisher eine größere Verbreitung verhindert haben dürfte, ist die Tatsache, daß die Anbaugeräte um 20 - 40 cm vom Schlepper weg nach hinten verlagert werden und damit eine nicht mehr tollerierbare Verminderung der Vorderachsbelastung am Schlep-

per einhergeht, die zumeist zu einer Reduzierung der Zuladung zwingt.

Dennoch müssen die Wiegerahmen als sehr leistungsfähige Systeme zur Gewichtsermittlung an Schleppern eingeordnet werden, denn ihre Genauigkeit ist sehr hoch (95 % VB der relativen Fehler bei LANDSBERG $\pm 0,6\%$, bei MOBA $\pm 1,4\%$) und wird nur von einigen integrierten Systemen erreicht.

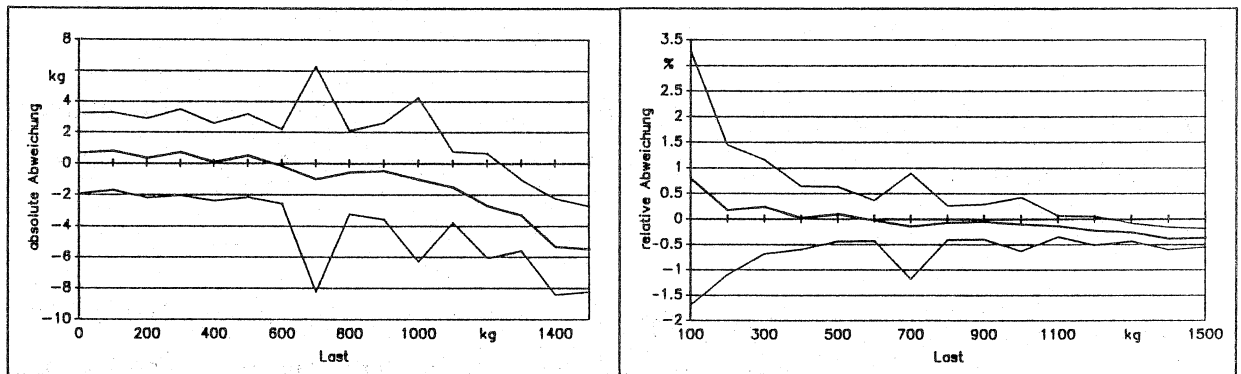


Abbildung 4: Absolute und relative Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit "LANDSBERG-Wiegerahmen"

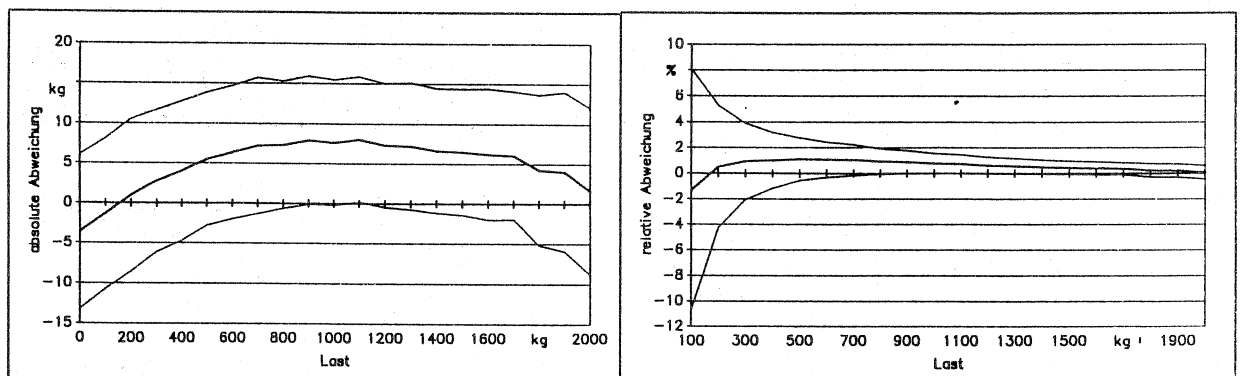


Abbildung 5: Absolute und relative Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit "MOBA-Wiegerahmen"

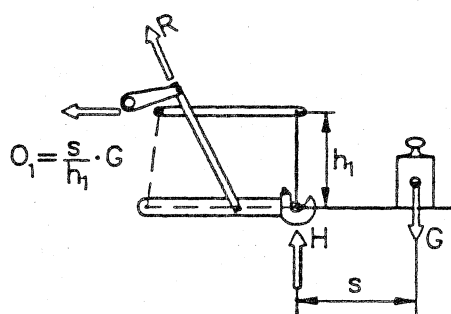
4. Integrierte Systeme

Die in den Schlepperheckkraftheber integrierten und damit nur im entsprechend ausgerüsteten Schlepper verfügbaren Systeme lassen sich je nach dem Ort ihrer Applikation unterscheiden in Systeme

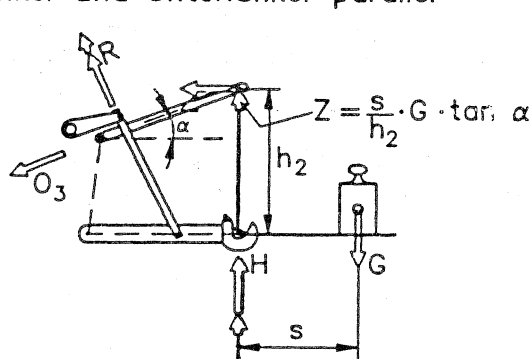
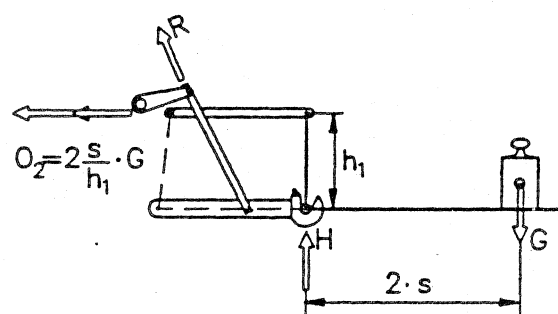
- in der Hydraulik,
- in oder an den Hubarmen und
- in oder an den Hubstreben.

Aus einer Vielzahl von möglichen Sensorapplikationen wurden nach Vorversuchen fünfzehn als erfolgversprechend einzuschätzende Systeme für die weiteren Versuche ausgewählt.

Alle im Schlepperheckkraftheber integrierten Applikationen sind in ihrer Funktion sehr stark von der Geometrie des Dreipunktgestänges beim Wiegevorgang abhängig.



Oberlenker und Unterlenker parallel



Oberlenker und Unterlenker nicht parallel

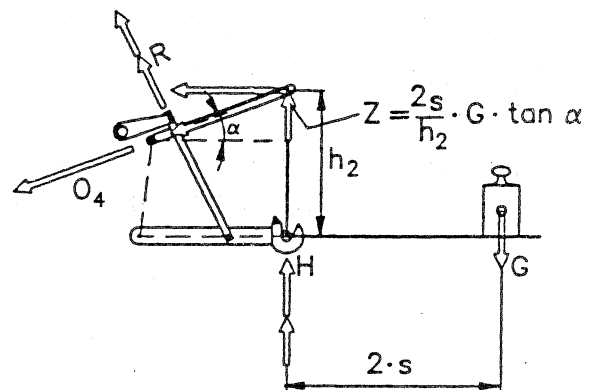


Abbildung 6: Kräfte in der Dreipunkt hydraulik

Nur wenn bei der Kalibrierung, wie auch bei der eigentlichen Wiegung, Ober- und Unterlenker im Moment der Gewichtsermittlung parallel stehen, ist eine Unabhängigkeit der im Dreipunktgestänge registrierten Gewichtskraft von der Lage des Lastschwerpunktes gegeben. Die Gültigkeit der Kalibrierung ist davon abhängig, daß sich das Dreipunktgestänge bei den Wiegungen immer in der gleichen Position (Höhe und Winkel) befindet.

Diese Voraussetzungen müssen auch im praktischen Einsatz erfüllt werden. Von ihrer Einhaltung hängt ganz entscheidend die Genauigkeit dieser Systeme ab. Ob sich diese Forderungen im Feld erfüllen lassen, welche Spielräume einzuräumen sind oder wie sich die daraus resultierenden Probleme lösen lassen, muß noch geprüft werden.

Die untersuchten Systeme selbst bauen sich aus handelsüblichen Sensoren auf, welche an geeigneten Stellen angebracht und je nach Art des Sensors in unterschiedlichem Maße geschützt werden müssen. Ferner ist jeweils eine Elektronik notwendig, die eine stabile Stromversorgung sicherstellt, die Meßwertverstärkung durchführt und eine Analog/Digital-Wandlung vollzieht.

Das digitale Ausgangssignal kann zur Weiterverarbeitung (Kalibrierung, Anzeige und Tara), sowohl in eine einfache Auswerteeinheit (Insellösung) als auch in einen mobilen Agrarcomputer eingespeist werden.

Im einzelnen wurden die in Abbildung 7 dargestellten Applikationen untersucht.

Sensoren, die aus noch nicht geklärten Ursachen bestimmte Fehlergrenzen nicht einhalten konnten, sollen aus Gründen der Fairness ohne Nennung des Produktnamens besprochen werden.

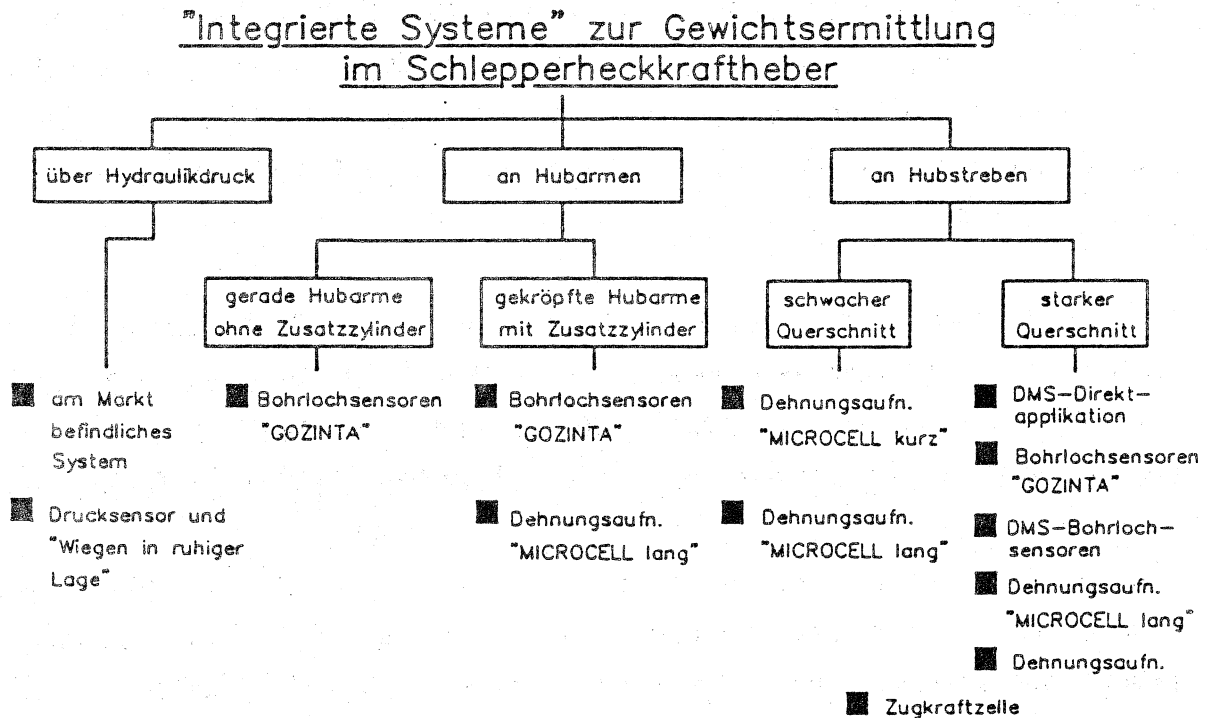


Abbildung 7: Integrierte Systeme zur Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber

4.1 Applikationen im Schlepperhydrauliksystem

Diese Art der Gewichtsermittlung baut auf der Annahme auf, der Druck im Hubzylinder des Heckkrafthebers sei streng proportional abhängig von der Gewichtskraft des im Dreipunktgestänges angebauten Gerätes. Aufgrund dieser Tatsache wäre es möglich, ein einfach nachzurüstendes und darüber hinaus auch kostengünstiges System zur Gewichtsermittlung aufzubauen.

Wie jedoch eine größere Anzahl Untersuchungen an unterschiedlichen Schleppertypen verschiedener Hersteller und variierenden Alters gezeigt hat, ist das Verhalten des Hydraulikdruckes im Hubzylinder bezüglich seiner Wiederholbarkeit und seiner zeitlichen Konstanz von Typ zu Typ, von Marke zu Marke und von Baujahr zu Baujahr sehr unterschiedlich (4).

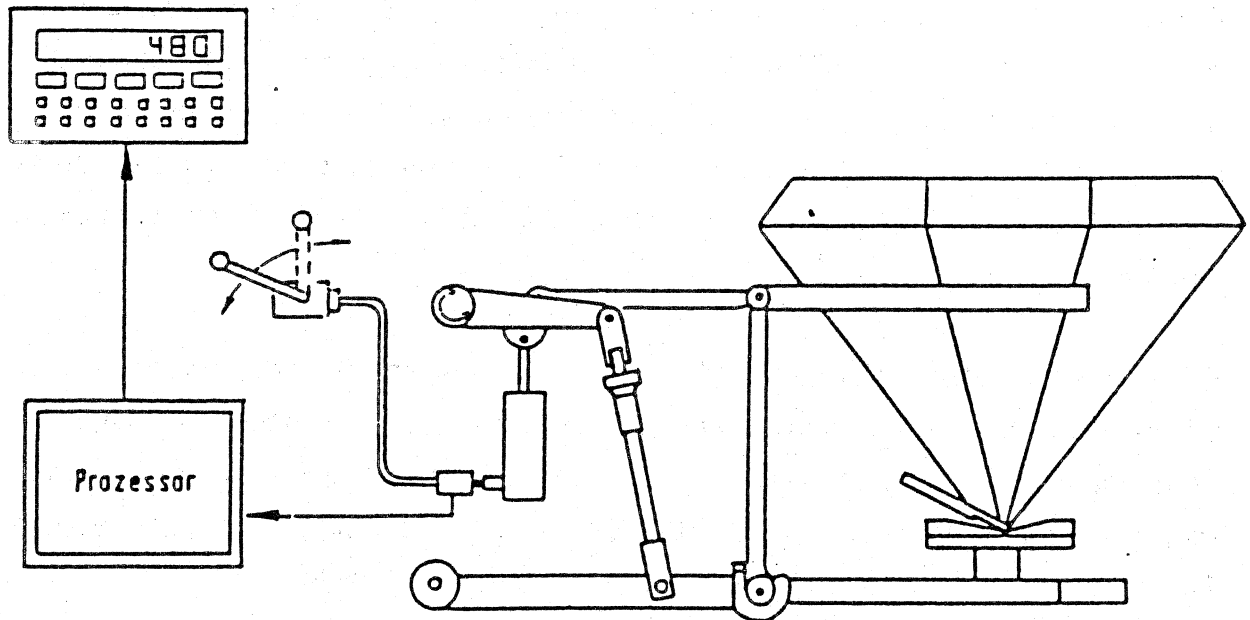


Abbildung 8: Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber über den Hydraulikdruck

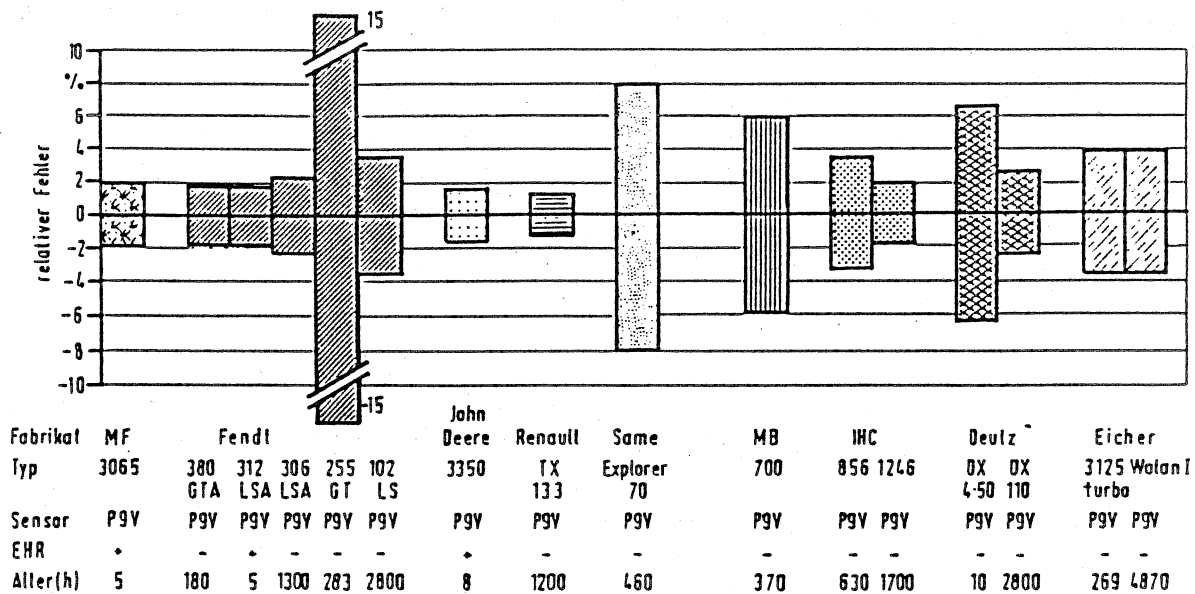


Abbildung 9: Vertrauensbereiche der relativen Fehler bei der Gewichtsermittlung in der Dreipunkthydraulik mittels Hydraulikdruck

Relative Fehler im geforderten Bereich bis zu maximal $\pm 2\%$ werden sowohl von einzelnen Schleppern mit EHR als auch von wenigen Neu- bzw. auch Gebrauchtschleppern mit mechanischer Hubwerksregelung erreicht. Nur in acht von 16 Fällen kann diese Fehlergrenze eingehalten werden. Die Ursachen für diese Tatsache konnte auch in verschiedenen Gesprächen mit Hydraulikspezialisten nicht vollständig geklärt werden.

Eine am Markt befindliche Wiegeeinrichtung, die das Gewicht über den Hydraulikdruck während des Absenkvorganges bestimmt, konnte bei unseren Versuchen nicht annähernd die geforderte Genauigkeit erreichen. Die notwendige Einstellung einer gleichmäßigen Senkgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Lasten und ein Aufschaukeln des Schleppers bei hohen Lasten könnten die Ursachen hierfür sein.

4.2 Applikationen an den Hubarmen

Bereits in den Versuchen der Jahre 1987/88 konnten mit den Bohrlochensensoren "GOZINTA" in den Hubarm eines MB-tracs (gerade Form, ohne Zusatzhubzylinder) sehr gute Ergebnisse bei der Gewichtsermittlung in der Dreipunkthydraulik erzielt werden (2/3). Der Vertrauensbereich der Fehler blieb deutlich unter der 2 %-Marke ($\pm 1,8\%$).

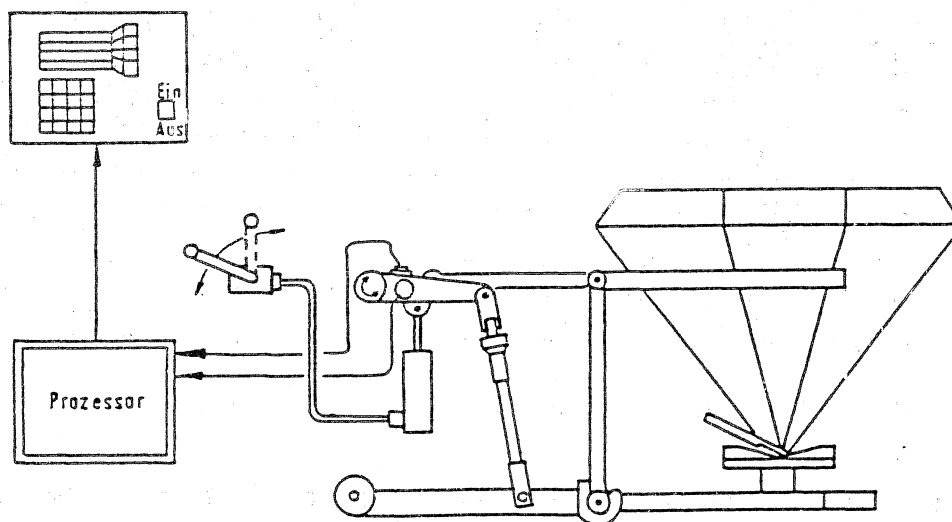


Abbildung 10: Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber über Sensoren an den Hubarmen

Aufbauend auf diese Erfahrungen wurde auch der Hubarm des FENDT Geräteträgers (gekröpfte Form, mit Zusatzhubzylindern) mit den "GOZINTA"-Sensoren bestückt, wobei wiederum der Schlepperhersteller mittels Finite-Elemente-Methode die Bestimmung des Einbauortes durchführte. Zugleich wurden die Hubarme mit Dehnungsaufnehmern des Types "MICROCELL" versehen.

Bei beiden Applikationen wird eine deutliche Nichtlinearität des Signals über den Lastanstieg sichtbar, ein Effekt, die bei den geraden Hubarmen ohne Zusatzhubzylinder nicht auftrat.

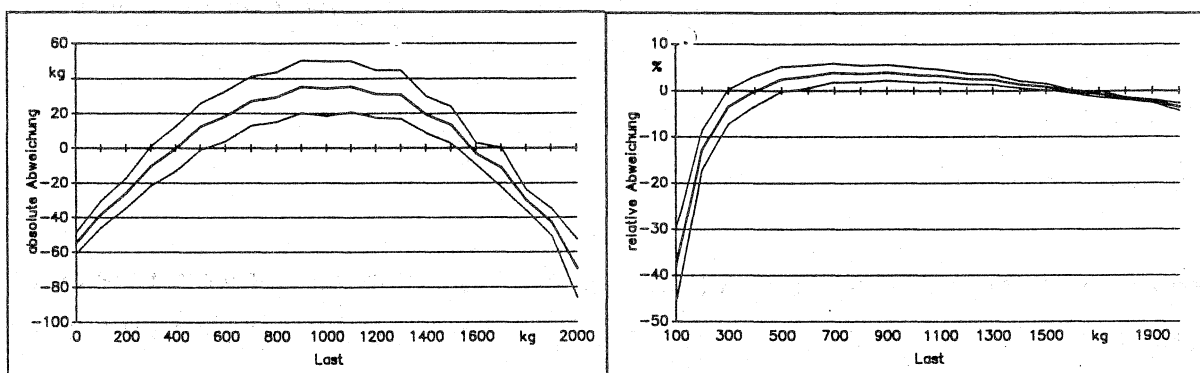


Abbildung 11: Absolute und relative Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit Bohrlochensensoren GOZINTA in den Hubarmen

Auch beläuft sich der Vertrauensbereich der relativen Fehler bei den "GOZINTA" Sensoren auf $\pm 5,0$ %, während mit den "MICROCELL" $\pm 1,8$ % Fehler eingehalten werden können.

Als Ursache für diese unerwartet hohen Fehler scheint die komplizierte Form der Hubarme sowie die seitlich an den Hubarmen angreifenden Zusatzhubzylinder in Frage zu kommen.

Ein anderer, optimierter Einbauort des GOZINTA-Sensors sowie eine Anpassung der Auswertung an die nicht linearen Signalverläufe könnte diese Ergebnisse noch verbessern.

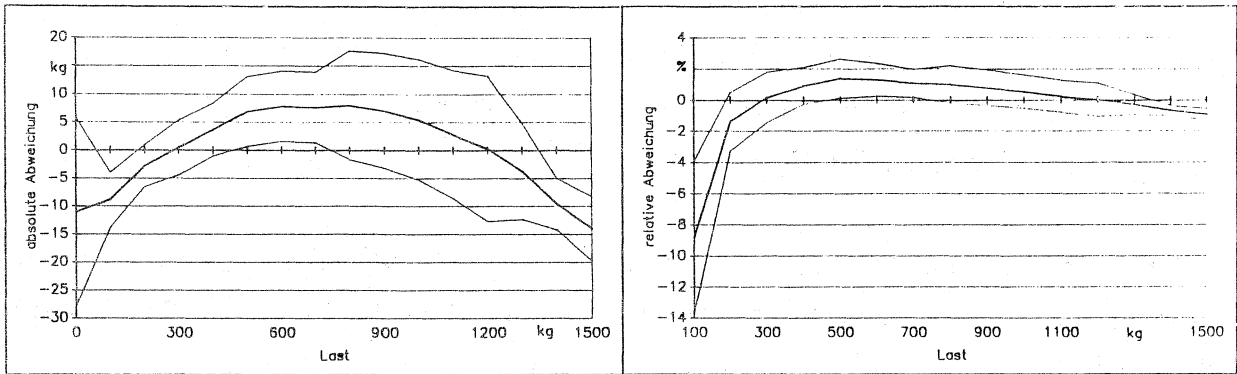


Abbildung 12: Absolute und relative Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit Dehnungsaufnehmern MICROCELL auf den Hubarmen

4.3 Applikationen an den Hubstreben

Zehn verschiedene Sensorapplikationen wurden an den Hubstreben untersucht, nachdem sich in den Vorversuchen herausgestellt hatte, daß Messungen an diesen Bauteilen sehr gute Ergebnisse hervorbringen können.

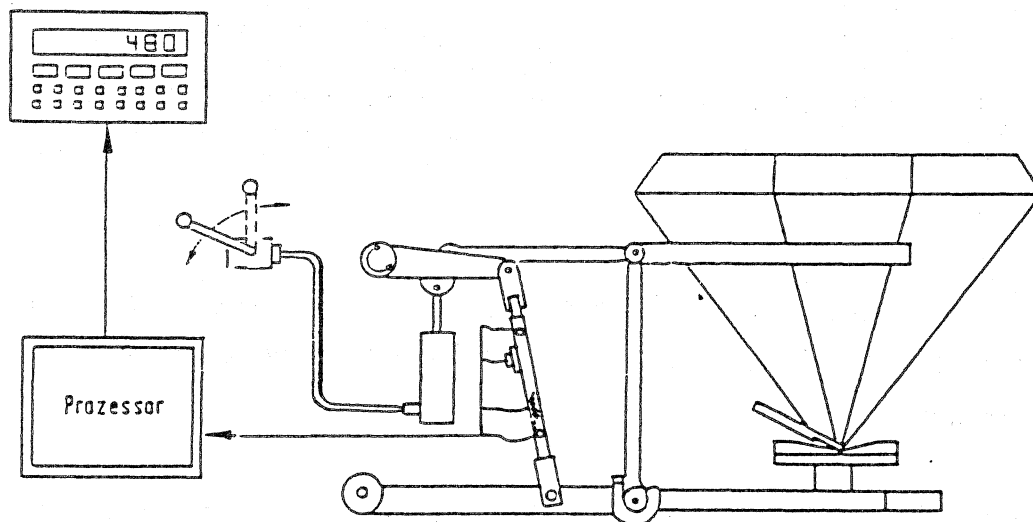


Abbildung 13: Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber über Sensoren an den Hubstreben

Hierzu wurden die serienmäßigen Hubstreben mit Spindel-Längenverstellung gegen Eigenbauten ersetzt, die auf Grund von Materialquerschnitt und Bauteilform eine günstige Anbringung der Sensoren ermöglichen. Die Dimensionierung erfolgte dabei mehr oder minder empirisch, eine Optimierung im einen oder anderen Fall ist bei konstruktiver Berechnung sicherlich noch möglich.

Untersucht wurden direkt auf die Hubstreben (45 x 45 mm Vollmaterial St 37) applizierte Dehnungsmeßstreifen, Bohrlochsensoren "GOZINTA", Bohrlochsensoren eines weiteren Herstellers, Dehnungsaufnehmer "MICROCELL" in langer und kurzer Bauform, auch auf schwächerem Material (40 x 40 x 4 mm Rechteckrohr St 37), Dehnungsaufnehmer auf DMS-Basis und eine gekapselte Zugkraftzelle.

Die ermittelten Ergebnisse sind sehr interessant und zeigen, daß die Hubstreben als Applikationsort für Sensoren zur Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber teilweise sehr hohe Genauigkeiten ermöglichen.

Die gesetzten Anforderungen konnten von den eingeklebten Bohrlochsensoren nicht erfüllt werden (95 % VB der rel. Fehler $\pm 9,0$ %).

Auch die Dehnungsaufnehmer auf DMS-Basis zeigten ein indifferentes Bild. Während ein Sensor einen Fehler von $\pm 5,5$ % erreichte, wies der andere Sensor bei allen Wiederholungen Fehler $> \pm 10$ % auf. Dieses unterschiedliche Verhalten konnte eindeutig den Sensoren zugeordnet werden, da sie zur Kontrolle auf den Hubstreben gewechselt wurden.

Die Halbleiter-Dehnungsaufnehmer MICROCELL erreichen in der Sensor/Materialpaarung "kurzer MICROCELL" und "schwache Hubstrebe" ihre höchste Genauigkeit mit einem Fehler von $\pm 1,4$ %.

Deutlich wird bei diesem Sensortyp, in welchem Umfang eine unterschiedliche Materialauslegung die Genauigkeit beeinflusst. Während der lange MICROCELL-Sensor auf dem schwachen Bauteil schon mit einem Fehler von $\pm 2,0$ % behaftet ist, erhöht sich dieser noch bei Anbringung auf dem Vollmaterial auf $\pm 6,7$ %.

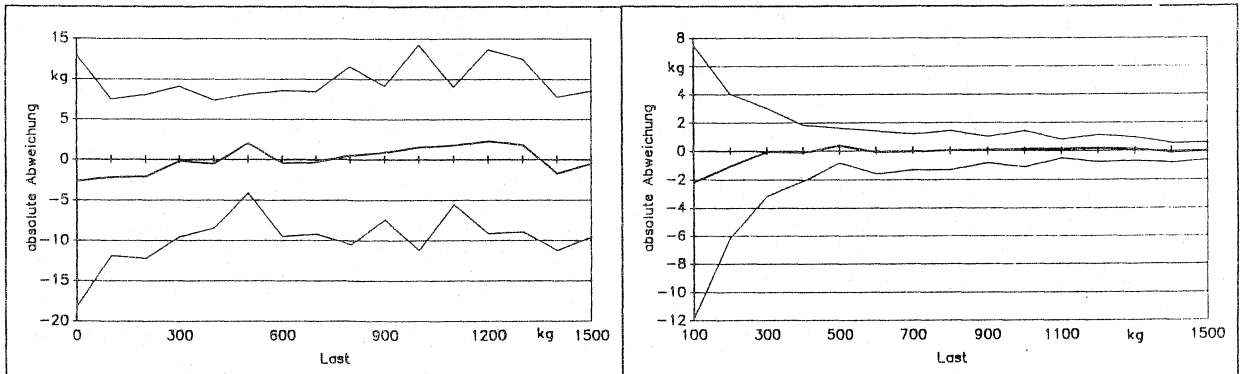


Abbildung 14: Absolute und relative Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mittels Dehnungsaufnehmer "MICROCELL kurz" auf den Hubstreben

Die Direktapplikation einer DMS-Halbbrücke auf dem Vollmaterial führt zu Fehlern von $\pm 2,7\%$. Hier können sicher eine bessere Abstimmung DMS-Materialquerschnitt, der Einsatz einer Vollbrücke und eine bessere Applikationstechnik zu einer noch höheren Genauigkeit führen.

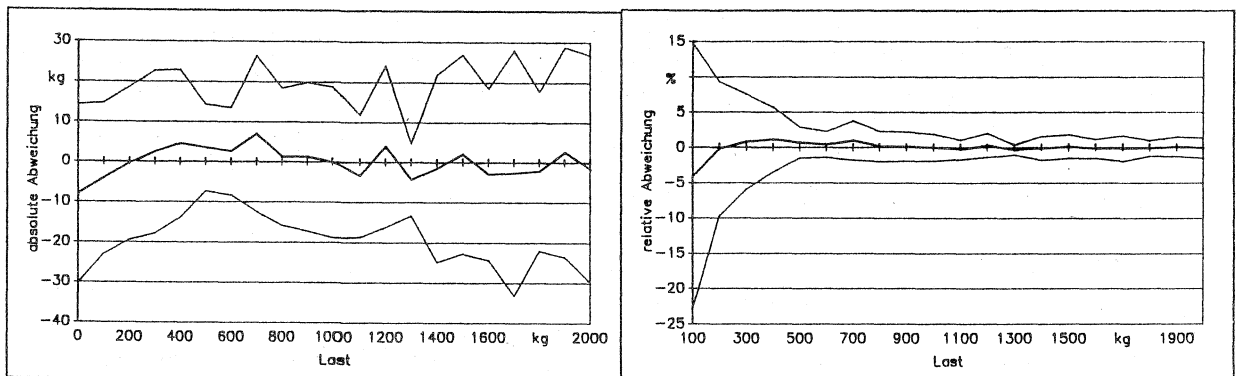


Abbildung 15: Absolute und relative Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mittels DMS auf den Hubstreben

Der Bohrlochsensor GOZINTA erreicht in der Hubstrebe aus Vollmaterial mit $\pm 1,0\%$ Vertrauensbereich der relativen Fehler eine höhere Genauigkeit als in den Hubarmen.

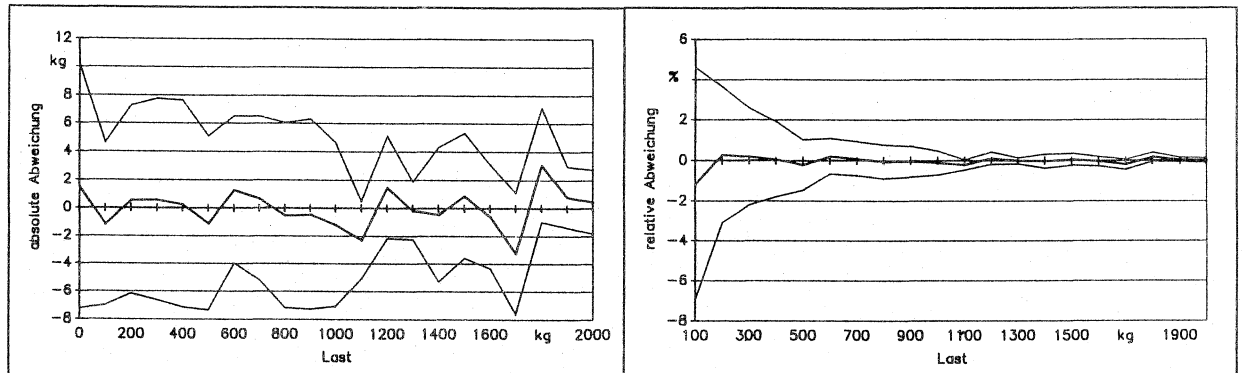


Abbildung 16: Absolute und relative Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mittels Bohrlochensensoren GOZINTA in den Hubstreben

Schließlich erreichten die Zugkraftzellen, die $\pm 0,4$ % Fehler aufweisen, in der Gruppe der integrierten Systeme zur Gewichtsermittlung die höchste Genauigkeit.

5. Systemvergleiche zur Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber

Eine direkte Gegenüberstellung der 95 % Vertrauensbereiche der absoluten und relativen Fehler aller Messungen der untersuchten Systeme und Sensorapplikationen zur Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber führt zu folgenden Ergebnissen (Abb. 17). Von fünfzehn untersuchten Anordnungen bleiben neun innerhalb der "Fehlergrenze" von $\pm 2,0$ %.

Von den verbleibenden sechs Anordnungen kann sicherlich die DMS-Applikation auf den Hubarmen durch Verbesserung diese Fehlergrenze erreichen. Bei welchen anderen Applikationen dies noch möglich sein kann, ist von dieser Stelle aus nicht zu beurteilen.

Durch einen, bei fast allen Systemen über den gesamten Lastbereich gleichen 95 % VB der absoluten Fehler werden auch bei höheren Lasten (2000 kg) bei den neun "vorzüglichen" Anordnungen die Abweichungen deutlich geringer als ± 20 kg sein.

Fünf Systeme weisen Abweichungen kleiner ± 10 kg bei Lasten bis 2000 kg auf.

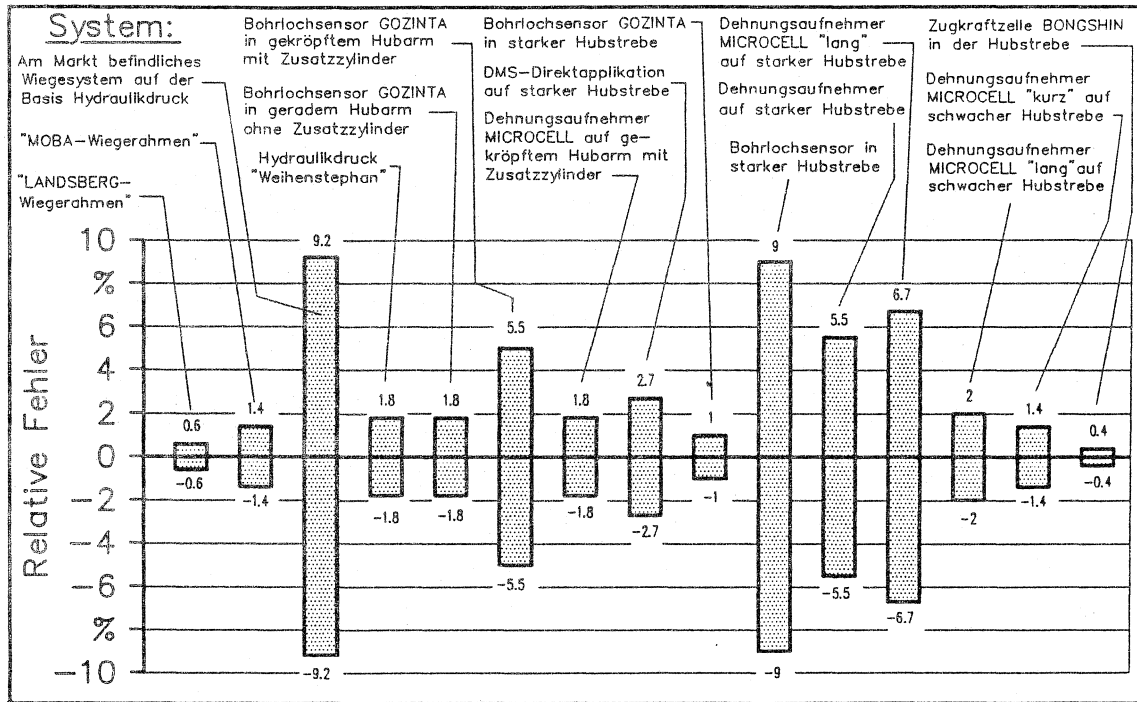


Abbildung 17: Vertrauensbereich der relativen Fehler unterschiedlicher Systeme zur Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber

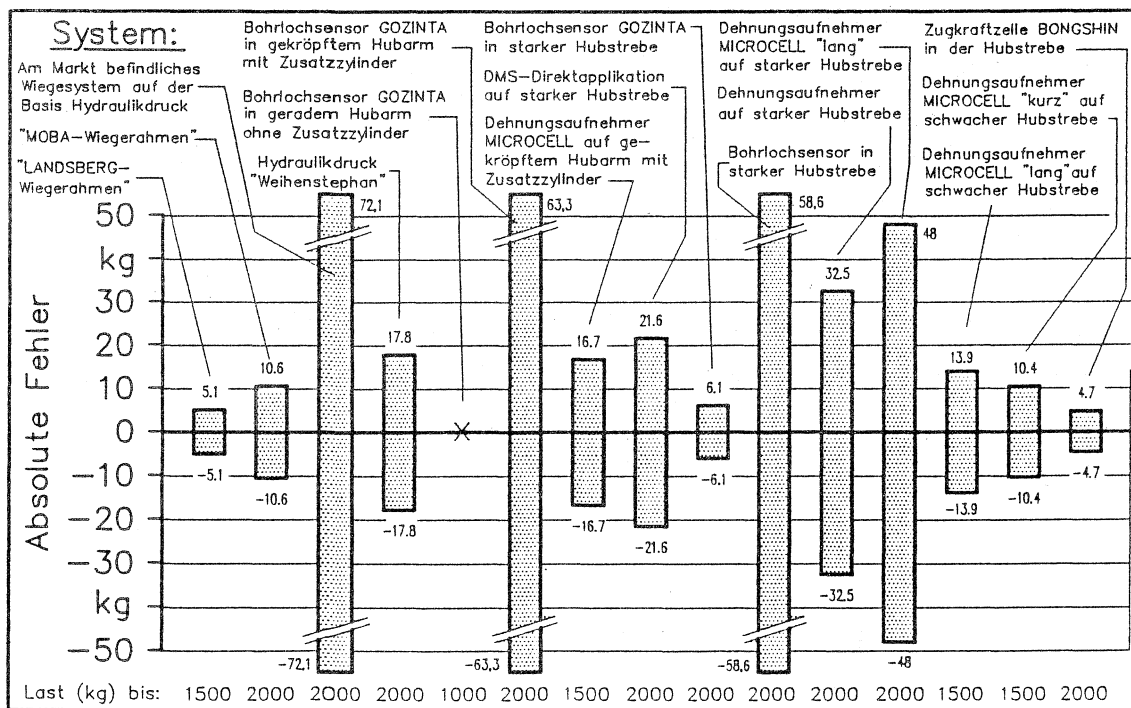


Abbildung 18: Vertrauensbereich der absoluten Fehler unterschiedlicher Systeme zur Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber

6. Ausrüstbarkeit, Nachrüstbarkeit und Kosten

Da sich die vorgestellten Untersuchungen zuerst einmal nur auf die zu erreichenden Genauigkeiten der Wiegesysteme konzentriert haben, läßt sich über die Möglichkeiten der Erstausrüstung bzw. Nachrüstung von Schleppern und den dabei entstehenden Kosten noch nicht sehr viel aussagen.

Zu den Materialkosten für die Sensorik wurden im Beitrag von STANZEL Anhaltspunkte gegeben. Die Kosten der Applikation hängen sowohl vom Aufbau der Systeme als auch von den erreichbaren Stückzahlen ab.

Die "integrierten Systeme" erfordern bezüglich ihrer Montage einen sehr unterschiedlichen Aufwand. Während sich die Lösungen für die Hubstreben universell herstellen lassen und jeweils nur durch abgestimmte Endstücke ergänzt werden müßten, bedarf es bei den Anordnungen an den Hubarmen der Anpassung an jeden einzelnen Typ. Der im Prinzip sehr einfach zu realisierende Einsatz eines Drucksensors im Hydrauliksystem bedarf jedoch einer genauen Kenntnis des Verhaltens des Hydrauliksystems beim in Frage kommenden Schlepper.

7. Zusammenfassung

In umfangreichen Versuchen wurden zwanzig Systeme und Sensorapplikationen zur Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber untersucht.

Die am Markt verfügbaren autarken Wiegesysteme - Wiegerahmen - zeichnen sich durch eine hohe Genauigkeit und durch die Möglichkeit, zwischen Schleppern ausgetauscht werden zu können, aus. Nachteilig sind der hohe Preis, eine gewisse Einschränkung im Geräteanbau und eine Zunahme des Abstandes zwischen Schlepper und Gerät.

Von den in den Schlepperheckkrafthebern integrierten Sensorapplikationen weisen sieben Varianten so geringe Fehler auf, daß eine Weiterentwicklung dieser Ansätze erfolgsversprechend scheint.

Die sehr einfach und kostengünstig nachzurüstende Möglichkeit der Hydraulikdruckmessung wird dadurch erschwert, daß sich die Hydrauliksysteme von Schleppern bezüglich störender Reaktionen nicht gleich verhalten.

Für die Sensorapplikation an den Hubarmen ist für jeden Hubarmtyp eine genaue Bestimmung der Einbaulage erforderlich und auch dann ist bei schwierig geformten Hubarmen eine genaue Gewichtsermittlung nicht immer möglich. Diese an und für sich sehr geschützte Lösung scheint demnach auf die Erstausrüstung und auf einfache Hubarmformen beschränkt zu sein.

Als sehr universelle Möglichkeit hat sich die Sensorapplikation an den Hubstreben herausgestellt. Hier kann sowohl mit fertig konfektionierten Zugkraftzellen als auch mit der Applikation geeigneter Sensorelemente ein einheitliches Bauteil geschaffen werden, das zur Erstausrüstung wie auch zur Nachrüstung nur mit den Anschlußelementen (Kugel- oder Gabelköpfe) für die einzelnen Schlepperfabrikate und Typen versehen werden muß.

8. Literatur

1. Spinner, R.: Untersuchungen über Wiegemöglichkeiten in der Schlepperdreipunkthydraulik.
Diplomarbeit Institut für Landtechnik: Weihenstephan 1987.
2. Auernhammer, H. und H. Stanzel: Untersuchungen an Sensoren für Wiegemöglichkeiten in der Schlepperdreipunkthydraulik.
Fassung der Vorträge "Landtechnik 1987", VDI und MEG in Braunschweig 1987, S. 41-43
3. Auernhammer, H., M. Demmel und H. Stanzel: Wiegemöglichkeiten in der Schlepperdreipunkthydraulik.
Landtechnik 43 (1988), H. 10, S. 414 - 418
4. Rottmeier, J., H. Auernhammer und H. Stanzel: Elektronikeinsatz in der Landtechnik zur Verringerung des Düngemittelaufwandes und der Umweltbelastung im Futterbau.
Bericht aus dem Institut für Landtechnik, Weihenstephan 1989.
5. N. N.: Diverse Informationschriften und Typenblätter der Sensor- und Wiegesystemhersteller

Praxiseinsatz mit der Wiegeeinrichtung "System Weihenstephan" in der Schlepperdreipunkthydraulik

M. Demmel, P. Grundler* und H. Auernhammer

1. Einleitung und Zielsetzung

Laboruntersuchungen zeichnen sich durch gleiche Bedingungen bei isolierter Betrachtungsweise aus. Die Praxis unterliegt hingegen täglich der Vielfalt unterschiedlicher Gegebenheiten und Zufälligkeiten. Laborergebnisse sind deshalb nicht problemlos auf die Praxis zu übertragen.

Aufgrund dieser bekannten, jedoch oft vernachlässigten Gegebenheiten sollte aufbauend auf die 1986 und 1987 durchgeführten Prüfstanduntersuchungen mit vier unterschiedlichen Sensorapplikationen zur Gewichtsermittlung in der Schlepperdreipunkthydraulik schon frühzeitig die Praxis mit einbezogen werden. Dazu bot sich auf einem Ausbildungsbetrieb bei München eine ideale Gelegenheit durch den sehr aufgeschlossenen Betriebsleiter und durch einen ebenso begeisterungsfähigen Auszubildenden. Gleichzeitig sollten mehrere Zielsetzungen verfolgt werden, deren Einzelfragestellungen wie folgt definiert wurden:

- Ist eine derartige Technik in die Praxis zu übertragen und zu integrieren?
- Fügt sich der zusätzliche Bedienungsaufwand in die bestehenden Arbeitsabläufe ein?
- Wie stark weichen die Praxisergebnisse von den Prüfstandsergebnissen ab?
- Wie stabil verhalten sich elektronische Sensoren im Langzeitversuch unter praktischen Bedingungen?
- Bringt eine verbesserte Genauigkeit bei der Überwachung die erwarteten ökonomischen und ökologischen Verbesserungen?

* P. Grundler war im Jahr 1988 landwirtschaftlicher Auszubildender im dritten Lehrjahr auf dem Praxisbetrieb.

2. Betrieb und Ausstattung

Der Praxisbetrieb liegt westlich von München im Endmoränengebiet der Voralpenseen. Er bewirtschaftet insgesamt 220 ha landwirtschaftliche Nutzfläche. Die Ackerfläche umfaßt 150 ha (60 ha W-Weizen, 30 ha W-Raps, 20 ha W-Gerste, 20 ha S-Gerste, 10 ha W-Roggen, 10 ha Grassamen) und 70 ha Grünland.

Der Tierbestand umfaßt 160 Pensionskalbinnen. Sie werden im Winter in einem Zweiraumlaufstall (Tiefstreu, kalt) und im Sommer auf der Weide gehalten. Intensive Grassilageproduktion bildet die Futtergrundlage. Ochsenmast mit derzeit 30 GV wird versuchsweise durchgeführt.

Die Mechanisierung des Praxisbetriebes ist auf eine starke Nutzung des überbetrieblichen Maschineneinsatzes ausgerichtet. Die Eigenmechanisierung deckt vor allem die Grundbodenbearbeitung und die Pflegearbeiten ab. Sie baut auf vier Schlepper mit 100 kW, 85 kW, 74 kW und 50 kW auf.

Die durchgeführten - und derzeit noch andauernden - Untersuchungen liefen in zwei Phasen ab. Im Jahre 1988 wurden die beabsichtigten Untersuchungen mit einem Konsignationsschlepper (MB-trac 900, Baujahr 1986) durchgeführt. Er war mit folgenden Wiegesystemen ausgestattet (Abb. 1).

- Für den Heckanbau zwischen Dreipunktgestänge und Gerät wurde ein Wiegerahmen der Firma LANDSBERG eingesetzt. Er verfügt über eine autonome Elektronik mit Auswerte- und Anzeige-Einheit. Der Geräteversatz beträgt dabei 30 cm.
- Ein erstes integriertes System baute auf die Messung des Druckes in der Heckdreipunkthydraulik auf.
- Ein zweites integriertes System nutzte als Geber die Bohrlochensensoren in den Hubarmen ("System Weihenstephan").

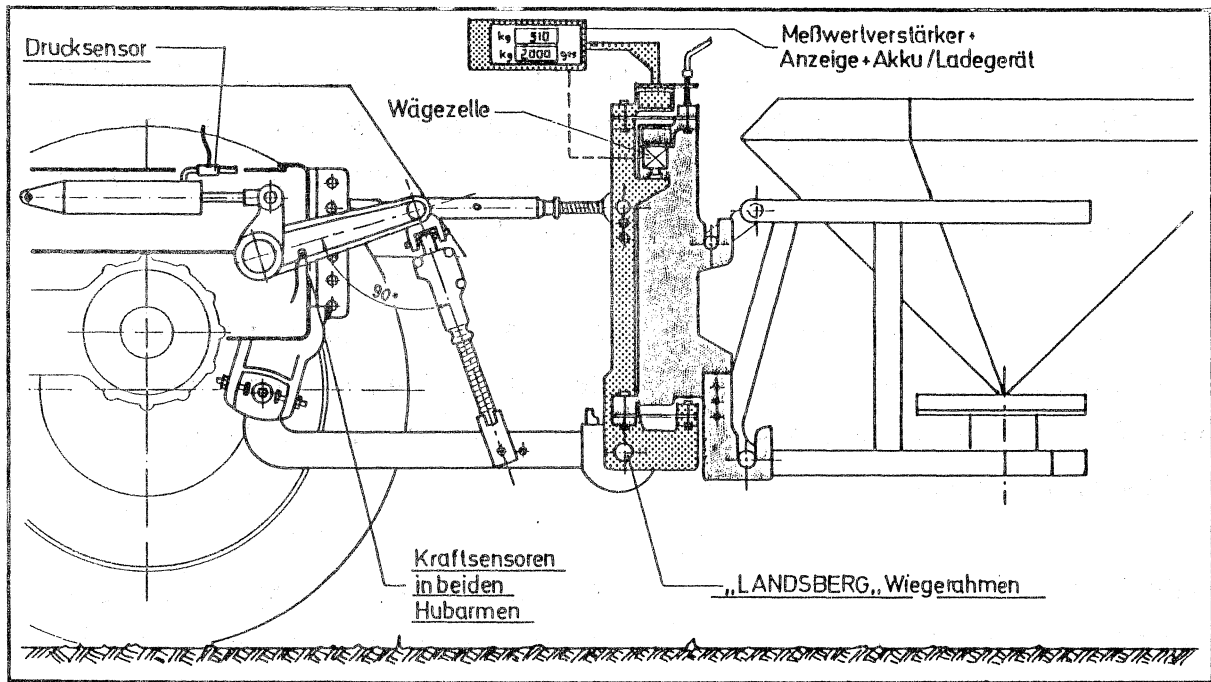


Abbildung 1: Anordnung der drei Wiegesysteme in der Schlepperdreipunkt-hydraulik

Die beiden integrierten Systeme verfügten über jeweils eigene Signalaufbereitungen. Die Signalauswertung wurde gemeinsam in einem mobilen Agrarcomputer (UNICONTROL von MÜLLER-Elektronik) mit integrierter Chipkarte ausgeführt.

Im Frühjahr 1990 wurde das Konsignationsfahrzeug abgezogen. Dabei erfolgte eine Umrüstung der auf dem Betrieb vorhandenen Eigenmaschine des gleichen Herstellers (MB-trac 700, Baujahr 1980). In sie wurden die schon vorhandenen Hubarme mit den Bohrlochensoren der Konsignationsmaschine eingebaut und mit dem ebenfalls schon genutzten mobilen Agrarcomputer zu einem Wiegesystem verbunden. Dieses Fahrzeug ist in dieser Ausführung noch heute im Einsatz.

Alle Wiegeeinsätze beziehen sich auf die Ausbringung von Mineraldünger. Dazu wird ein Wurfstreuer mit zwei Scheiben genutzt. Er hat ein Eigengewicht von 180 kg und ein Fassungsvermögen von 600 Litern.

3. Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung ist zwischen dem ersten Versuchsjahr mit den drei Wiegesystemen und den Folgejahren mit nur noch einem Wiegesystem zu unterscheiden.

3.1 Erstes Versuchsjahr

Im ersten Versuchsjahr wurde auf dem Praxisbetrieb die gesamte Frühjahrsdüngung auf den insgesamt 200 ha LN untersucht und verwogen. Als Referenzwiegesystem diente ein Frontlader mit daran befestigter Präzisionswiegezone. An sie wurde jeweils zu Beginn und zu Ende eines Streuvorganges der gesamte Düngerstreuer einschließlich des eingefüllten Düngers angehängt und verwogen. Da sich jedoch schon nach kurzer Zeit herausstellte, daß das damit ermittelte Gewicht ziemlich exakt mit der Gewichtsanzeige des eingesetzten Wiegerahmens übereinstimmte, wurde für den weiteren Versuchsablauf auf diese Referenzwiege verzichtet und der Wiegerahmen als Referenzsystem verwendet. Neben einer beschleunigten Versuchsdurchführung ergab sich daraus zudem die Möglichkeit vieler Zwischenüberprüfungen.

Bei allen durchgeführten Messungen wurde das Gewicht des ausgebrachten Mineraldüngers durch Wiegen vor und nach dem Befüllen des Streuers ermittelt. Zur regelmäßigen Kontrolle der ausgebrachten Düngermenge wurden Zwischenwiegen an ebenen Stellen der Schläge vorgenommen. Aus der Flächenmessung mittels Bordcomputer und Radarsensor wurde die gerade ausgebrachte Menge pro Fläche bestimmt.

Alle Wiegen erfolgten im Stand auf augenscheinlich ebenem Gelände mit laufendem Schleppermotor. Die Dreipunkthydraulik wurde vollkommen ausgehoben und bis auf die Wiegeposition abgelassen. In dieser Position befand sich der Wiegerahmen in annähernd lotrechter Stellung, Ober- und Unterlenker standen annähernd parallel. Die Signale des Drucksensors und des Kraftsensors wurden abgespeichert und das Referenzgewicht des Mineraldüngers am Wiegerahmen abgelesen und notiert.

Um die Feldeinsätze möglichst realistisch zu gestalten und um Rückschlüsse auf die

Bedienbarkeit der Systeme zu ermöglichen, wurden diese von einem auf dem Gut arbeitenden Auszubildenden im dritten Lehrjahr nach einer Unterweisung durchgeführt.

Zwischen den Meßreihen wurden durch die Landtechnik Weihenstephan Kontrollwiegungen mit exakt verwogenen Eisenplattengewichten durchgeführt. Sie sollten Aufschluß über die Funktionssicherheit der drei Systeme geben. Diese Kontrollwiegungen werden im folgenden auch als Kalibrierungen bezeichnet.

3.2 Folgejahre

Seit 1988 erfolgt der Einsatz der Schlepperdreipunktwaage "System Weihenstephan" ausschließlich durch den Betriebsleiter oder dessen Mitarbeiter. Nur noch zwei- bis dreimal jährlich werden die oben genannten Kalibrierungen durch die Landtechnik Weihenstephan durchgeführt. Eine erste Kalibrierung erfolgt dabei in der Regel vor dem Streubeginn im Frühjahr nach vorheriger Terminabsprache. Zwei weitere Kalibrierungen werden dann mehr zufällig nach unmittelbar vorausgehendem Anruf durchgeführt, um das Fahrzeug direkt im unbeeinflussten Zustand erfassen zu können. Bei all diesen Messungen werden die erwähnten Eisengewichte verwendet und Belastungen bis zu 700 kg aufgebracht. Jede Kalibrierung umfaßt fünf Be- und Entlastungszyklen auf geteeter, ebener Hofffläche bei laufendem Motor.

4. Ergebnisse

Entsprechend den bisherigen Praxisversuchen muß auch bei den Ergebnissen zwischen dem ersten Jahr und den Folgejahren unterschieden werden.

4.1 Erstes Versuchsjahr

Beim Feldeinsatz in den Monaten April und Mai 1988 wurden auf dem praktischen Betrieb mit dem Versuchsfahrzeug etwa 410 dt Mineraldünger ausgebracht. Für 95 Düngerstreuerfüllungen wurden Daten aufgezeichnet und standen zur Auswertung zur Verfügung.

4.1.1 Kalibrierung und Feldeinsatz

Für die drei untersuchten Systeme ergaben sich danach bei den Kontrollwiegungen (Kalibrierung) und den "Feldwiegungen" deutliche Unterschiede (Abb. 2):

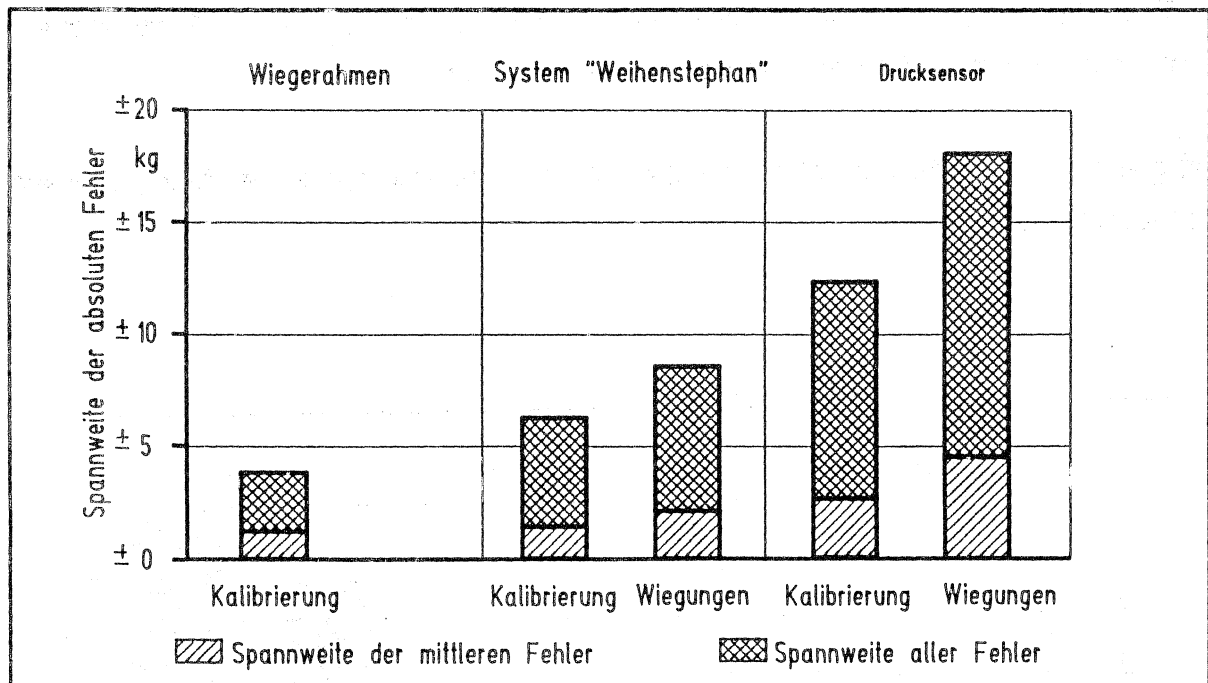


Abbildung 2: Vertrauensbereiche ($p = 95\%$) für die Spannweiten der absoluten mittleren Fehler und der gesamten absoluten Fehler von drei Systemen zur Gewichtsermittlung in der Schlepperdreipunkthydraulik

Dabei beziehen sich die Absolutwerte bei den Kalibrierungsreihen auf Lasten von 0 bis 700 kg und bei den Wiegungen auf Lasten von 0 bis 800 kg. Für den Wiegerahmen ist eine Fehlerbetrachtung nur für die Kalibrierungen möglich, da er bei den Feldwiegungen als Referenzsystem diente.

Entsprechend den Ergebnissen im Labor erweist sich der Wiegerahmen auch bei den **Kontrollwiegungen (Kalibrierung)** als das genaueste System. Er erbrachte in einem 95 % Vertrauensbereich aller Fehler nur eine Abweichung zum realen Gewichtswert von $\pm 3,8$ kg. Das System "Weihenstephan" lag mit einem Fehler von $\pm 6,2$ kg etwas ungünstiger. Wesentlich schlechter schnitt dagegen das auf dem Hydraulikdruck

basierende System mit einem Fehler von $\pm 11,6$ kg ab.

Wie nicht anders zu erwarten, erbrachte danach der **Feldeinsatz** der beiden Systeme eine weitere Ergebnisverschlechterung. Als Mittel aus 90 Wiegungen beim Düngerstreuen ergab sich für das "System Weihenstephan" nunmehr einen Fehler von $\pm 8,5$ kg. Die Ungenauigkeit nahm damit um 37 % zu.

Auch dabei schnitt das Hydraulikdruck-System wieder am ungünstigsten ab. Es zeigte im Feld eine mittlere absolute Abweichung von $\pm 17,5$ kg vom realen Gewichtswert und verschlechterte sich somit im praktischen Einsatz um 50,8 %.

Die gleichen Ergebnisse ergeben sich bei relativer Betrachtungsweise der Ergebnisse von Abbildung 3.

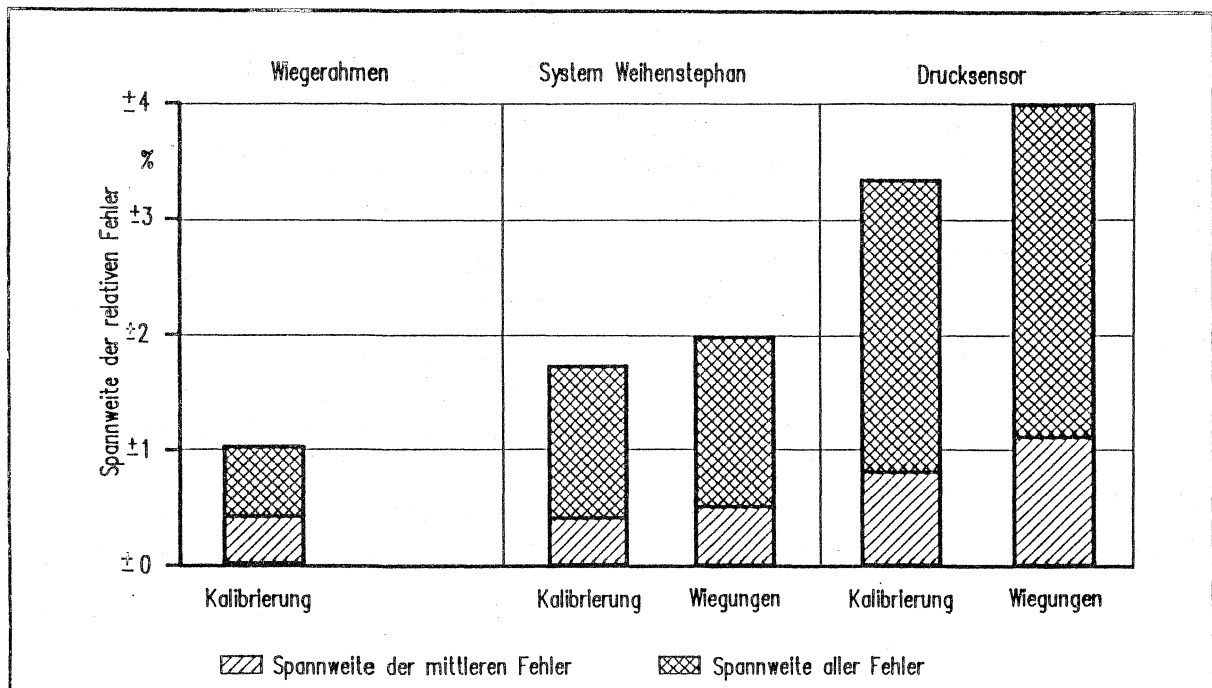


Abbildung 3: 95 %-Vertrauensbereiche für die Spannweiten der relativen mittleren Fehler und der gesamten relativen Fehler für drei Systeme zur Gewichtsermittlung in der Schlepperdreipunkthydraulik

Demnach beträgt bei den Kalibrierungen der relative Fehler beim Wiegerahmen $\pm 1,0$ % zur Prüflast. Das "System Weihenstephan" weicht dagegen um $\pm 1,7$ % von

der Prüflast ab. Für das Hydraulikdruckmeßsystem ergeben sich demgegenüber Abweichungen von $\pm 3,3$ % zur Prüflast.

Zwangsläufig sind die vergleichbaren Werte im Feldversuch auch bei der relativen Betrachtungsweise ungünstiger. Sie erbringen für das "System Weihenstephan" einen relativen Fehler von $\pm 2,0$ % und damit eine Verschlechterung um 0,3 Prozentpunkte. Ihm gegenüber steht beim Hydraulikdrucksystem ein relativer Fehler von $\pm 4,2$ % oder eine Verschlechterung um 0,8 Prozentpunkte.

Eine systematische Analyse aller Einzelergebnisse zeigte darüber hinaus weitere interessante Zusammenhänge. So ist danach zu erkennen, daß beim Wiegerahmen in Verbindung mit dem eingesetzten Schlepper mit zunehmender Last ein negativer systematischer Fehler auftritt. Dieser läßt sich nur durch eine verwendete gefederte Vorderachse erklären. Sie federt mit zunehmender Last immer stärker aus, wodurch sich der Wiegerahmen immer stärker aus dem vorgegebenen Lot entfernt. Schlepper mit ungefederter Vorderachse und mit ausreichendem Frontballast müßten demnach mit diesem Wiegesystem noch bessere Ergebnisse bringen. Bei gefederten Vorderachsen könnten allenfalls hydraulische Oberlenkerverstellungen diese Nachteile ausgleichen (zusätzliche Kosten).

Demgegenüber sind beim "System Weihenstephan" die auftretenden Fehler rein zufällig, also unabhängig von der verwogenen Last. Ursache hierfür dürften zufällig auftretende und konstruktiv nicht zu vermeidende Reibungen und Verspannungen im Dreipunktsystem sowie eine nicht waagrechte Stellung des Schleppers beim Wiegen sein.

Die Gewichtsermittlung mit Hilfe des Druckes im Schlepperheckkraftheber erwies sich als das ungenaueste der drei untersuchten Systeme. Auch bei diesem System waren die auftretenden Fehler zufälliger Art. Die Fehlerursachen dürften außer den schon angesprochenen Reibungen und Verspannungen im Dreipunktgestänge (zwei zusätzliche Hebel und Umlenkungen gegenüber den Bohrlochensoren in den Hubarmen) in den Eigenarten des Verhaltens von Hydrauliksystemen zu suchen sein. Dagegen scheidet ein Temperatureinfluß des Hydrauliköles als Fehlerursache aus, weil im Versuch auf die Ausschaltung dieses Einflusses großer Wert gelegt wurde.

4.1.2 Auftretender Schlupf

Die installierte Radargeschwindigkeitsmessung und die Schlupfanzeige am mobilen Agrarcomputer erlaubte die Beobachtung des Radschlupfes beim Düngerstreuen. Schon im ebenen Gelände stellte sich ein zwischen 3 % und 5 % schwankender Schlupf ein. Auf hängigen Flächen erreichte der Schlupf Werte von 7 % bis 15 %.

Da bei den Abdrehproben am Hof der Schlupf nicht berücksichtigt werden konnte und auch keine elektronische Ausbringmengenregelung (in Abhängigkeit von der tatsächlichen Fahrgeschwindigkeit) vorhanden war, führten die Kontrollwiegungen am Feld immer zu einer Veränderung (Reduzierung) der erforderlichen Schieberstellung. Sehr schnell wurde dadurch eine den Vorgaben entsprechenden Sollmengenausbringung ermöglicht.

4.1.3 Bedienung

Die Feldeinsätze zur Gewichtsermittlung in der Dreipunkthydraulik bei der Ausbringung von Mineraldünger wurden von einem Auszubildenden des Versuchsbetriebes durchgeführt. Er war schon nach einer kurzen Einweisung im Stande, sowohl die Wiegungen, wie auch die Datenaufzeichnungen und die Kontrolle der ausgebrachten Düngermenge eigenverantwortlich durchzuführen.

4.1.4 Nutzen für den Betrieb

Als entscheidenden Vorteil einer Wiegeeinrichtung im Schlepperheckkraftheber empfand der Betriebsleiter, der selbst auch mit der Wiegeeinrichtung arbeitete, die ständige Möglichkeit der Ausbringkontrolle. So läßt sich zu jeder Zeit über die gemessene Fläche und aus der gewogenen Düngermenge die tatsächlich je Flächeneinheit ausgebrachte Istmenge errechnen. Damit ergibt sich wiederum die Möglichkeit, die in der Abdrehprobe ermittelte Schieberstellung zu kontrollieren und zu korrigieren. Dies wurde bei den Feldversuchen immer wieder notwendig, besonders gravierend zeigt es sich jedoch in einem speziellen Fall:

Dabei veränderte sich die ausgebrachte Düngermenge bei gleicher Schieberstellung, gleicher Düngersorte aus ein- und derselben Lieferung und bei gleicher Fahrgeschwindigkeit von den geforderten 200 kg/ha am einen Tag auf 270 kg/ha am nächsten. Diese durch das Kontrollwiegen entdeckte Abweichung um + 35 % war durch unterschiedliche Feuchtegehalte des Mineraldüngers bedingt; ein Anhänger mit Dünger war in der Maschinenhalle, der andere unter dem Vordach abgestellt worden. Ohne Wiegeeinrichtung und Flächenmessung wäre diese starke Abweichung von der Sollausbringungsmenge, wenn überhaupt, dann sicher nicht so schnell zu erkennen gewesen.

4.2 Folgejahre

Gegenüber dem ersten Versuchsjahr ist das "System Weihenstephan" nunmehr als alleiniges System seit Anfang 1989 auf dem praktischen Betrieb in Einsatz. Jährlich zwei- bis dreimal wurde in dieser Zeit von der Landtechnik Weihenstephan eine Überprüfung der Funktionsfähigkeit und der Genauigkeit durchgeführt. Erwartet wurde, daß durch Umwelteinflüsse und durch veränderte Reibungsverhältnisse im Dreipunktgestänge der Fehler zunehmen und ein regelmäßiges Nachkalibrieren zur Folge haben würde.

Es zeigte sich jedoch, daß dies nicht der Fall ist. So wurde 1989 keinerlei Abweichung gegenüber der Umrüstung festgestellt. 1990 betrug die Abweichung gegenüber 1989 nur 2 kg und auch 1991 konnte eine weitere Abweichung nicht festgestellt werden. Demnach ist eine Nachkalibrierung, wenn überhaupt notwendig, nur einmal jährlich vorzunehmen.

Auf der anderen Seite hat sich jedoch gezeigt, daß eine mehrmalige Kontrolle im Jahr (mit nur einer bekannten Last) dem Anwender eine sehr hohe Sicherheit bei geringem Aufwand bringt und ihm so eine möglichst hohe Genauigkeit gewährleistet.

Damit haben die vier Jahre praktischen Einsatzes für eine Wiegeeinrichtung im Schlepperheckkraftheber sehr ermutigende Ergebnisse gebracht. Der Einbauort "Dreipunktgestänge" für die integrierten Systeme unterliegt nur geringen Veränderungen durch Verschmutzung bzw. Abnutzung. Er dürfte auch in längeren Zeitspannen

weitgehend konstant bleiben, so daß damit gleichbleibend genaue Wiegeergebnisse erzielt werden können.

5. Zusammenfassung

Im Jahr 1988 wurden von der Landtechnik Weihestephan auf einem landwirtschaftlichen Betrieb Feldeinsätze mit drei Wiegesystemen im Schlepperheckkraftheber unternommen. Bei der Ausbringung von insgesamt 410 dt Mineraldünger konnten 195 Wiegungen durchgeführt werden.

Die untersuchten Systeme zeigten unterschiedliche Genauigkeiten. Der Wiegerahmen überschritt bei den Kontrollwiegungen in keinem Fall einen Fehler größer $\pm 1,0$ %. Das "System Weihestephan" blieb bei den Feldwiegungen innerhalb der noch zu akzeptierenden Fehlergrenze von $\pm 2,0$ %, während das auf dem Hydraulikdruck aufbauende System diesen Grenzwert mit einem Fehler von $\pm 4,2$ % deutlich überschritt.

Der große Vorteil einer in der Dreipunkthydraulik angeordneten Gewichtsermittlung wurde durch die Versuche bestätigt. So kann die ausgebrachte Düngermenge fortwährend kontrolliert und danach, falls erforderlich, die Einstellung der Dosierorgane entsprechend korrigiert werden.

Die Bedienung wurde von den damit betreuten Praktikern als sehr einfach eingestuft. Schon eine kurze Einweisung genügte für eine fehlerfreie und zugleich zeitsparende Anwendung.

Mehrmals jährlich durchgeführte Kontrollen ergaben, daß eine Nachkalibrierung nur notwendig wird, wenn eine Überprüfung mit einem bekannten Gewicht eine Abweichung größer 2 % der Last ergeben hat. Diese Überprüfung sollte jedoch mehrmals jährlich durchgeführt werden, um dem Anwender die erforderliche Sicherheit zu geben.

Die Genauigkeit des beobachteten Systems hat sich in den drei Jahren des Einsatzes nahezu nicht verändert.

Literatur:

Spinnler, R.:

Untersuchungen über Wiegemöglichkeiten in der Schlepperdreipunkthydraulik.

Diplomarbeit Weihenstephan: Institut für Landtechnik 1987.

Auernhammer, H., H. Stanzel und M. Demmel:

Wiegemöglichkeiten in der Schlepperdreipunkthydraulik.

Landtechnik 43 (1988), H. 10, S. 414 - 418

Gewichtsermittlung in landwirtschaftlichen Transportfahrzeugen

Rottmeyer J. und H. Auernhammer, Weißenstephan

1. Einleitung

Neben der Ertragsermittlung in den selbstfahrenden Erntemaschinen muß künftig auch die Transporttechnik in die Gewichtsermittlung eingeschlossen werden. Dabei ist ausgehend von der stationären Verwiegung zukünftig das geladene Gewicht mit Hilfe geeigneter Sensoren direkt in den landwirtschaftlichen Transportfahrzeugen zu ermitteln. Dieses Bestreben des Wiegens im Fahrzeug wird auch von der industriellen Wägetechnik zunehmend angestrebt. Man denke dabei an Müllfahrzeuge, Gabelstapler oder Radlader.

Bei der angespannten wirtschaftlichen Lage in der Landwirtschaft stellen allerdings die Kosten für integrierte Fahrzeugwiegesysteme das größte Problem dar. Bei einer Größenordnung von 10000.- bis 30000.- DM für landwirtschaftliche Kippanhänger und 15000.- bis 50000.- DM für Ladewagen ist davon auszugehen, daß der Landwirt höchstens 10 bis 20 % der Anschaffungskosten als Aufpreis für die Wägetechnik ausgeben wird. Daraus leitet sich die Forderung ab, bei der Entwicklung eines Wiegesystems im Transportfahrzeug auf möglichst niedrige Kosten zu achten und dabei im ersten Lösungsansatz eventuell sogar Zugeständnisse hinsichtlich der geforderten Genauigkeit zuzugestehen.

Das Ziel dieser Arbeit soll es sein, Techniken und Sensoren zu untersuchen, die dem Landwirt eine ständige Kontrolle des Ladegewichtes auf der benutzten Transporteinheit ermöglichen. Aus diesem Grund soll nach dem ersten Teilschritt des statischen Wiegens im Stand auch das dynamische Wiegen während des Beladens untersucht werden. Besonderes Augenmerk ist bei diesen Untersuchungen auf folgende Punkte zu richten:

- Die Technik muß aus Gründen der Wirtschaftlichkeit preiswert verfügbar sein.
- Den erhöhten Anforderungen an die Robustheit im landwirtschaftlichen Alltag ist Rechnung zu tragen.
- Eine Genauigkeit des gesamten Systems (Sensor und Elektronik für eine Transporteinheit) von mindestens 2 % ist anzustreben.
- Die Möglichkeit der Nachrüstung in bereits vorhandene Fahrzeuge oder Anhänger sollte gewährleistet sein.

2. Grundlagen

Als Transporteinheiten werden in der Landwirtschaft überwiegend Anhänger und Kippanhänger als Einachser, Zweiachser und Tandemachser eingesetzt. Während sich beim Zweiachser die gesamte Last über die Achse als Achslast bzw. über die Räder als Radlast abstützt, ergibt sich beim aufgesattelten Anhänger (Ein- oder Tandemachser) eine Aufteilung in die Achslast und die Stützlast, die über die Deichsel auf die Anhängervorrichtung am Schlepper aufgebracht wird. Somit bieten sich die Achsen und deren Verbindungselemente zum Rahmen sowie die Deichsel und die Anhängerkuppelung als Ansatzpunkt für ein Wiegesystem an. Da diese Bauteile bei fast allen Transportanhängern in ähnlicher Form vorhanden sind, könnten gefundene Lösungsansätze universell eingesetzt werden.

Grundsätzlich ergeben sich 2 Möglichkeiten, die aufgebrachte Last im Anhänger zu ermitteln:

- Die direkte Messung der Verformung eines durch die aufgebrachte Last beanspruchten Bauteils mit Hilfe von Sensoren, die an der Oberfläche oder im Bauteil appliziert werden.
- Das Einbringen eines Kraftaufnehmers (Wägezelle) in den Kraftfluß der Last.

Während im ersten Fall, wie die Abbildung 2 zeigt, keine konstruktive Änderung am Fahrzeug vorzunehmen ist, müssen im zweiten Fall zwei Bauteile getrennt und so abgeändert werden, daß eine Wägezelle eingefügt werden kann.

In beiden Fällen müssen die Bauteile die Kräfte aus der Gesamtlast aufnehmen bzw. übertragen. Nur so ist gewährleistet, daß die Verformung des Bauteils oder des Kraftaufnehmers auch in Relation zur Last steht. Eventuelle Kraftnebenschlüsse und die Einwirkung von Fremdkräften sind so gering wie möglich zu halten.

3. Versuchsdurchführung

Bei den Versuchen zur statischen Gewichtsermittlung standen folgende Anhänger zur Verfügung:

- Zweiachs-Dreiseitenkipper MZDK 8000 der Fa. Mengele mit 8 t zulässigem Gesamtgewicht; gefedert
- Tandemachs-Ladewagen LW 435 der Fa. Mengele; gefedert
- Einachs-Ernteladewagen; ungefedert

Außerdem wurde eine Wiegeeinrichtung für die Anhängerkupplung am Fendt Geräteträger GTA 380 entwickelt und eingebaut.

Die Be- und Entlastung der Anhänger wurde mit 30-kg-Gewichten (0,05% Genauigkeit) auf festgelegte Standorte auf der Ladefläche vorgenommen. Pro Durchgang wurde in Schritten von 30 kg oder 60 kg von 0 bis 3000 kg be- und entlastet.

Die Ermittlung der Radlasten erfolgte über Radlastwaagen (2000 kg Lastbereich; 0,1 % Genauigkeit). Die Deichsellast wurde entweder rechnerisch oder mit einer 2 t Präzisionszuglastzelle ermittelt. Diese Zuglastzelle wurde auch bei der Überprüfung der umgebauten Anhängerkupplung eingesetzt. Die Sensorsignale wurden zunächst mit einer üblichen Verstärkerschaltung aufbereitet. Mittlerweile erfolgt die Messwerterfassung über einen Personal Computer mit einer 16-Kanal Analog-Meßkarte (Verstärkung bis Faktor 1000; Auflösung bis 16 bit; Fehler bei Verstärkung 100 beträgt maximal 50 ppm). Damit ist es möglich, mehrere Sensoren und Sensorsysteme im direkten Vergleich mit der Referenzmessung (Achslastwaage, Zuglastzelle) zu untersuchen.

4. Untersuchte Systeme

4.1. Direkt applizierte Dehnungsaufnehmer zur Erfassung der Biegespannung

Wie bereits dargestellt, wurden die ersten Versuche am Ladewagen mit applizierten Dehnungsaufnehmern (Microcell der Fa. Rembe; WLA 1000 der Fa. Data Instruments und DS 5 der Fa. Hottinger sowie 350-Ohm Dehnungsmeßstreifen) durchgeführt. Bei den aufschraubbaren Dehnungsaufnehmern war vor allem die einfache Nachrüstmöglichkeit von Interesse. Die Montage erfolgte zum einen auf der Oberseite der Achsen in der Achsmitte, zum anderen auf der Oberseite der Deichsel. Lediglich 4 Dehnungsmeßstreifen wurden in Vollbrückenschaltung auf die Ober- und Unterseite der Achse in Achsmitte geklebt. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen, daß mit diesen Sensoren bei Betrachtung der Belastung eine sehr gute Linearität und auch Wiederholbarkeit erzielt werden kann.

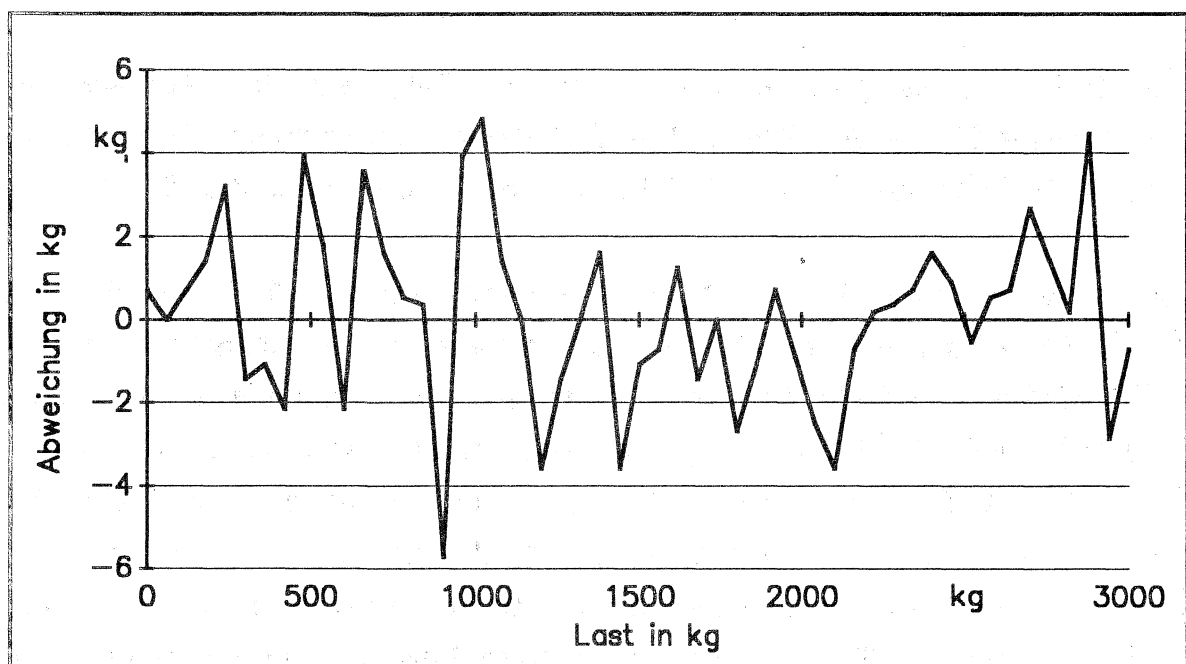


Abbildung 3: Gewichtsermittlung am Ladewagen mit WLA 1000 auf der Achse (Belastung von 0 bis 3000 kg)

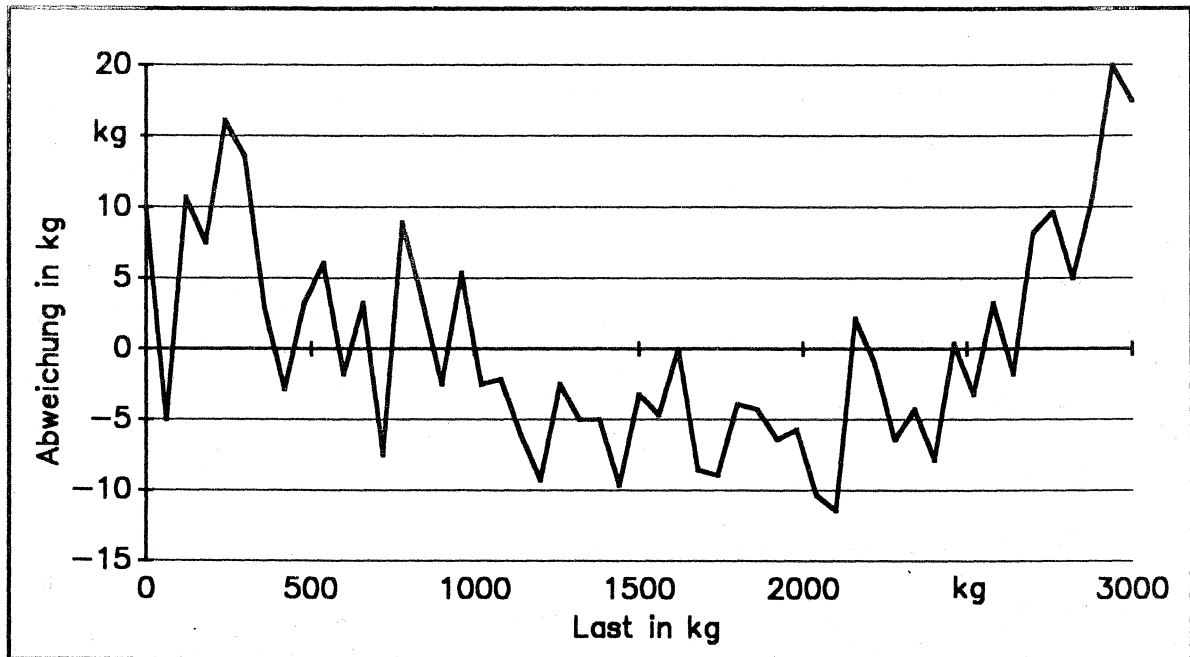


Abbildung 4: Gewichtsermittlung am Ladewagen mit DMS auf der Achse (Belastung von 0 bis 3000 kg)

Allerdings stellte sich heraus, daß sowohl am Ladewagen als auch am Kipper eine relativ große Hysterese zwischen dem Belastungs- und Entlastungsvorgang zu verzeichnen ist. Während die Abbildung 5 am Verlauf der Gesamtanzeige beim Einachsladewagen mit Dehnungsaufnehmern auf Achse und Deichsel diesen Sachverhalt zeigt, wird in Abbildung 6 die Größenordnung dieser Umkehrspanne recht deutlich.

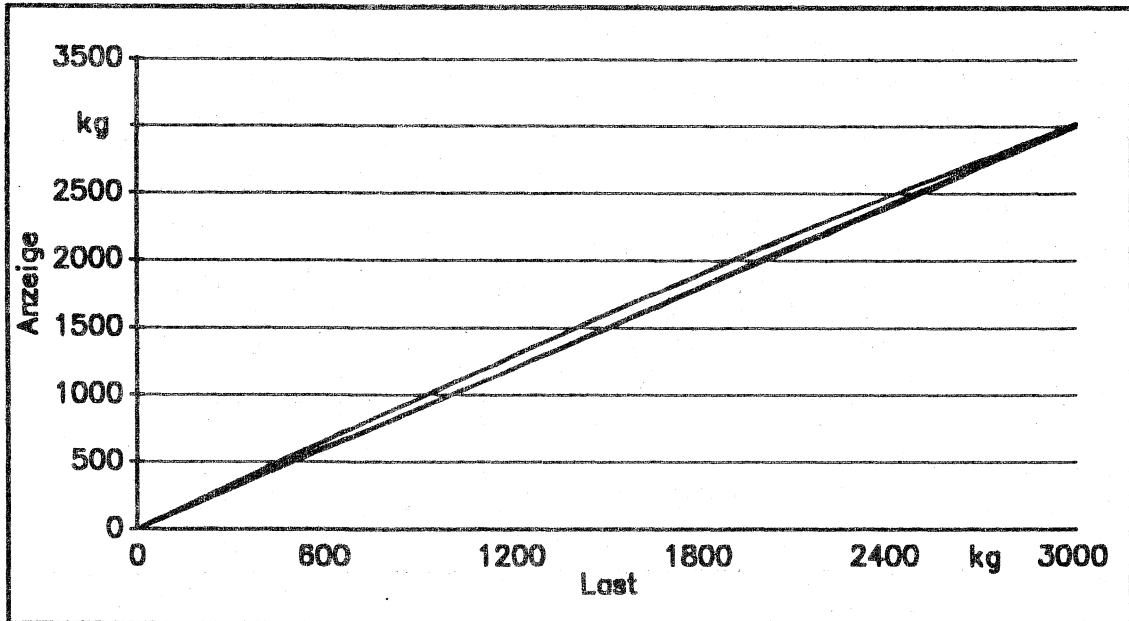


Abbildung 5: Gewichtsermittlung am Ladewagen mit Microcell auf Achse und Deichsel (4 Durchgänge)

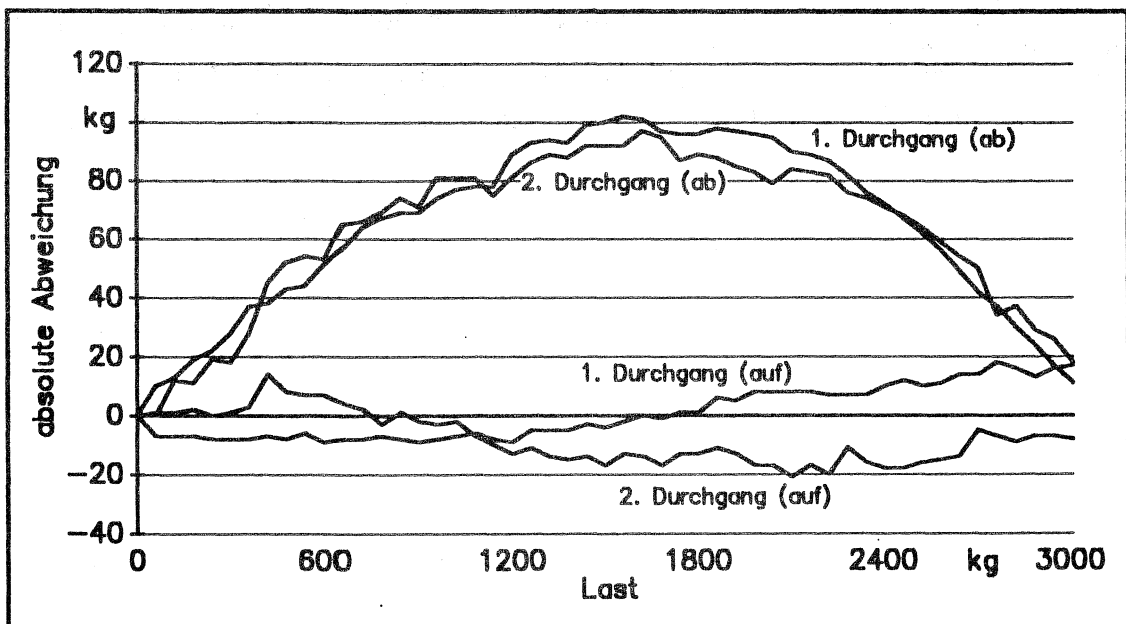


Abbildung 6: Absolute Abweichung bei 4 Durchgängen am Ladewagen mit Microcell auf Achse und Deichsel

Weiterhin stellte sich heraus, daß die einseitig aufgeschraubten Dehnungsaufnehmer eine mehr oder weniger starke Temperaturabhängigkeit aufwiesen.

Die DMS-Applikation war durch die Vollbrückenschaltung dagegen weitgehend temperaturstabil. Diese Temperaturabhängigkeit würde sich bei kurzen Wiegen mit ständiger Neutarierung jedoch nur unwesentlich auswirken. Wesentlich größer ist jedoch bei der Gewichtsermittlung über die Aufnahme der Biegespannung das Problem der direkten Abhängigkeit der Druck- und Zugspannungen an der Oberfläche der Achse von deren Geometrie. Dies bedeutet, daß sich bei der gleichen Last auf der Ladefläche bei unterschiedlichen Auflagepunkten der Reifen auch die Spannungsverhältnisse auf der Achsoberfläche ändern. Dieser rechnerisch leicht nachzuvollziehende Umstand führte zu der Überlegung, daß besonders bei der beabsichtigten dynamischen Wägung mit einem hohen systematischen Fehler zu rechnen ist, weil sich die Abstützung der Reifen besonders bei den heute gerne verwendeten Breitreifen im Feld ständig ändert. Bei der Deichsel besteht dieses Problem durch die weitgehend fixierte Anhängung am Schlepper dagegen nicht.

Als Ausweg erschien die Ermittlung der Scherspannung, die in dem Achsabschnitt zwischen dem Rad und der Befestigung der Achse am Rahmen wirkt.

4.2. Direkt applizierte Dehnungsmeßstreifen zur Ermittlung der Scherspannung

In diesem Fall sind allerdings im Gegensatz zum vorhergehenden Fall pro Achse zwei Meßstellen erforderlich. Da die Scherspannung auf jeder Radseite je nach der Lastverteilung auf dem Fahrzeug unterschiedlich ist, müssen zwischen jedem Rad und der jeweiligen Achsaufhängung DMS zur Ermittlung der Scherspannung aufgebracht werden. Bereits aus Kostengründen und auch aus Gründen der Temperaturkompensation scheint in diesem Fall die direkte DMS-Applikation gegenüber anderen Aufnehmern am günstigsten.

Die ersten Versuche am Einachsladewagen bestätigen dieser Meßanordnung in Verbindung mit einer weiteren DMS-Applikation auf der Deichsel (Vollbrücke zur Ermittlung der Biegespannung) eine hohe Genauigkeit (Abb.7 und 8), die sicherlich durch eine vom Spezialisten durchgeführte Applikation mit Abgleich der Meßbrücken

und zusätzlicher Temperaturkompensation noch verbessert werden könnte.

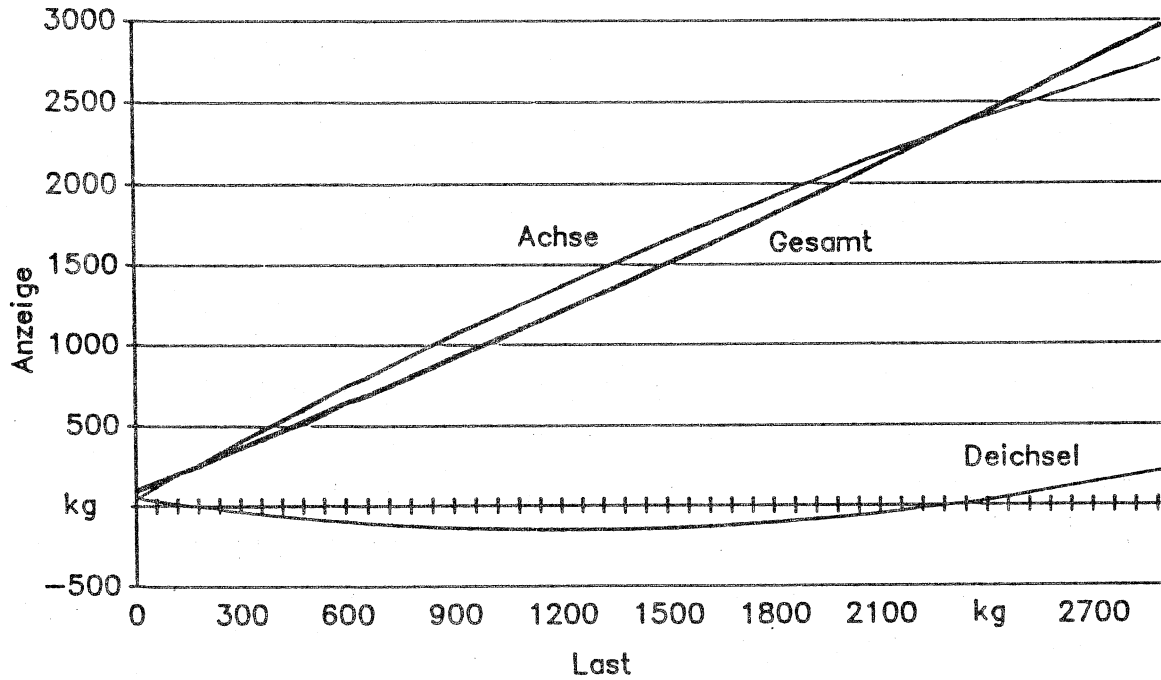


Abbildung 7: Gewichtsermittlung am Ladewagen mit DMS auf Achse und Deichsel

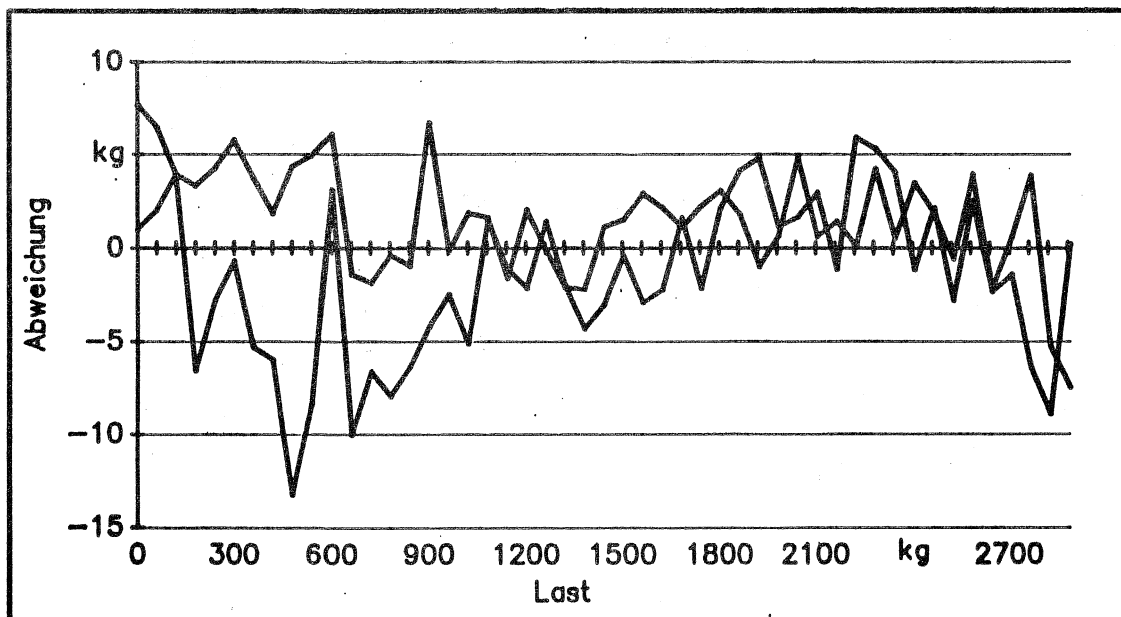


Abbildung 8: Absolute Abweichung bei Gewichtsermittlung mit DMS auf Achse und Deichsel

Noch keine Aussagen können dagegen über die Haltbarkeit und die Robustheit gemacht werden. Probleme bereitet auch die Kalibrierung bei dieser Form der Gewichtsermittlung, weil zum Erreichen der höchsten Genauigkeit jede Meßstelle einzeln kalibriert werden muß. Zu umgehen wären diese Schwierigkeiten durch den Einsatz von fertigen Wägezellen, die direkt in den Kraftfluß der aufgebrachten Last eingesetzt werden.

4.3 Einsatz von Kraftaufnehmern (Wägezellen) zur Ermittlung der Last

Zur Ermittlung der Achslasten bietet sich, wie bereits erwähnt, die Verbindung zwischen Achse und Federung bzw. zwischen Achse und Rahmen als geeignete Meßstelle an. Geeignete Druckkraftwägezellen müssen soweit abgeändert werden, daß sie verwindungsfrei eingebaut werden können. Dabei muß eine je nach Aufnehmer optimale Krafteinleitung gewährleistet sein. Noch nicht geklärt ist, wie robust eine Wägezelle ausgelegt sein muß, um den Stoßbelastungen, die vor allem bei der Fahrt im Feld auftreten, standzuhalten. Prinzipiell sollte der Kraftaufnehmer durch einen konstruktiven Überlastschutz (Anschlag) gesichert werden. Bei gefederten Fahrzeugen wirkt sich die Dämpfung der Stoßbelastungen durch die Federung mit Sicherheit günstig auf die Haltbarkeit der Wägezellen aus. Die Genauigkeit dieser Systeme ist besonders von den verwendeten Wägezellen abhängig. Dabei ist zu erwarten, daß bei der Verwendung präziser Wägezellen höchste Genauigkeiten erreicht werden können (Abb. 9 und 10).

Eine weitere Meßstelle mit einer Wägezelle bildet die bereits erwähnte Anhängerkupplung, die nach dem Prinzip des "Landsberger Wiegerahmens" gestaltet wurde. Das anhängerseitige Zugmaul stützt sich dabei über eine 2 t Wägezelle auf der schlepperseitigen Anbaukonsole ab. Beide Elemente sind über Federstahlbänder verbunden, die somit die horizontalen Kräfte aufnehmen. Die Abbildungen 11 und 12 stellen die hohe Genauigkeit dieses Systems unter Beweis.

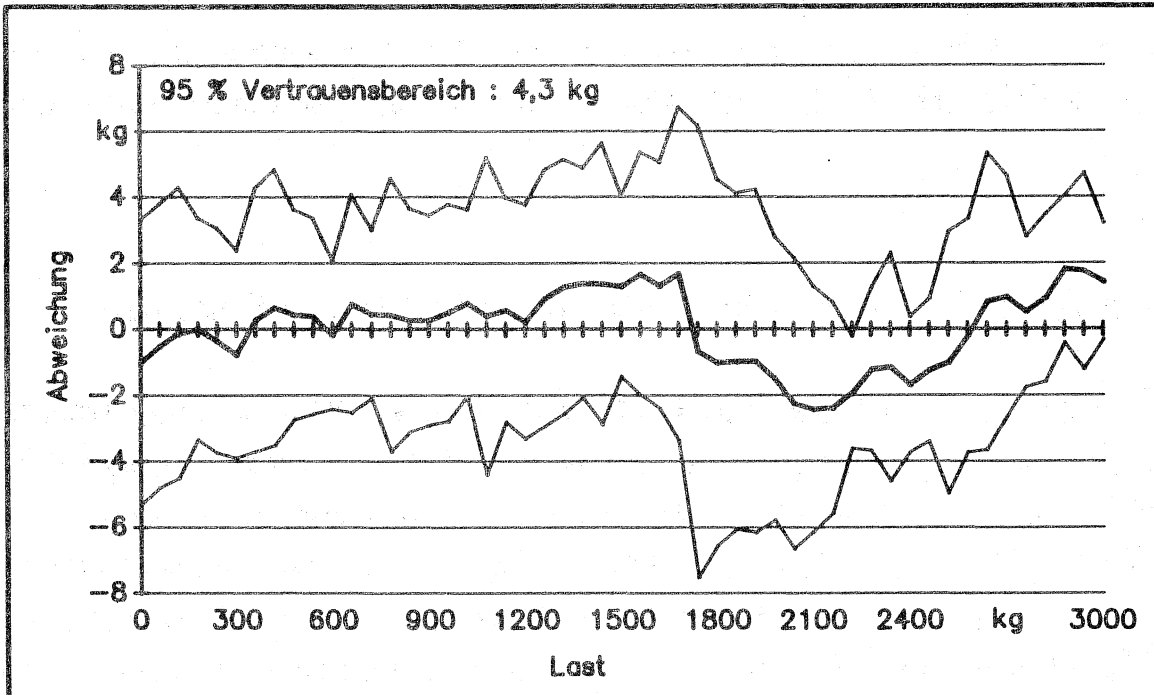


Abbildung 9: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung im Kipper mit Druckkraftwägezellen (95 % Vertrauensbereich)

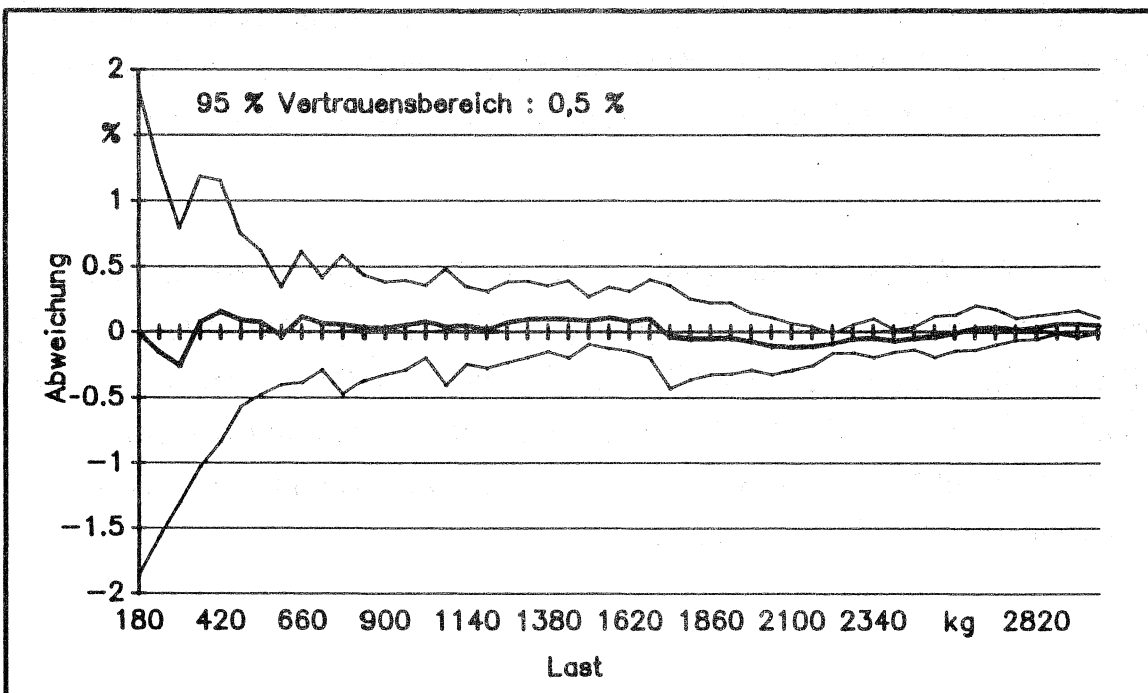


Abbildung 10: Relativer Fehler bei der Gewichtsermittlung im Kipper mit Druckkraftwägezellen (95 % Vertrauensbereich)

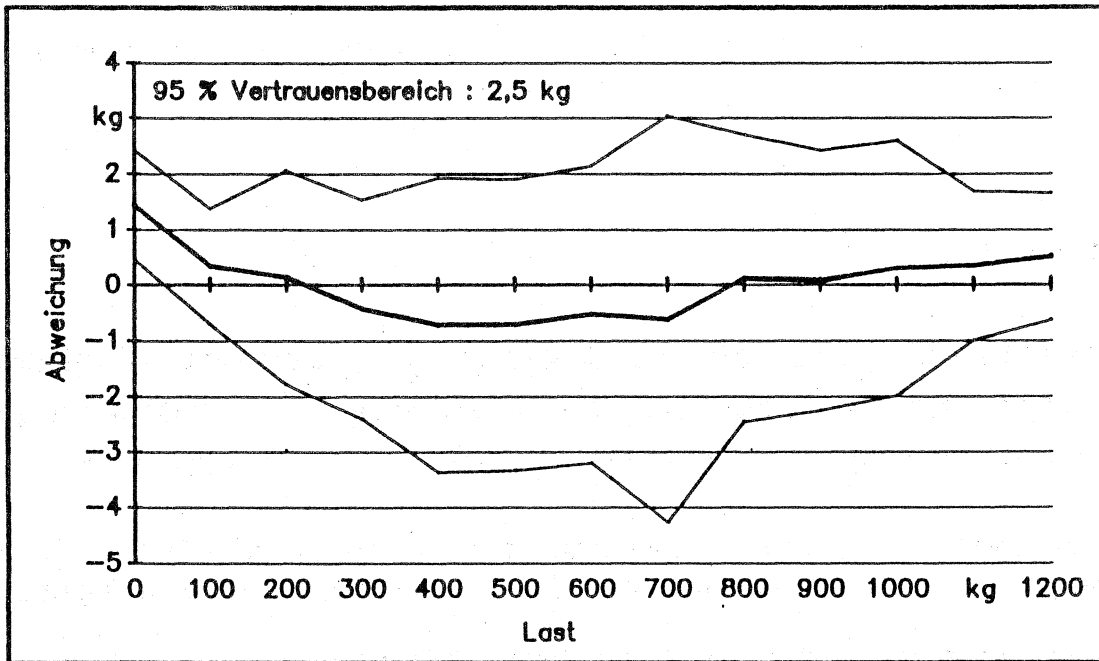


Abbildung 11: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung in der Anhängerkuppelung mit Wägezelle

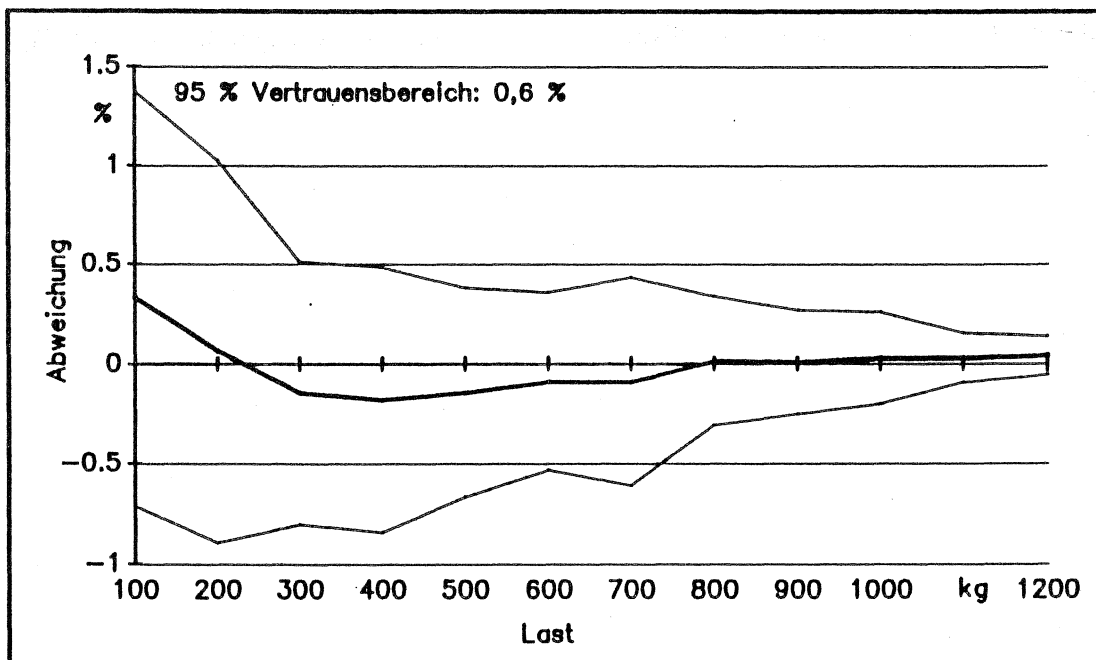


Abbildung 12: Relativer Fehler bei der Gewichtsermittlung in der Anhängerkuppelung mit Wägezelle

An dieser Stelle muß jedoch erwähnt werden, daß bei allen konstruktiven Änderungen am Fahrwerk des Anhängers bzw. an der Anhängerkupplung des Schleppers eine Überprüfung durch den TÜV nötig sein wird. Hier kann erst eine technische Untersuchung über die Auslegung der Bauteile und der Verbindungselemente klären, wie die Verbindung zwischen Achse und Fahrzeug oder die Anhängerkupplung aussehen muß.

5. Zusammenfassung

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die bisherigen Untersuchungen sehr günstige Ansätze für die statische Gewichtsermittlung im Ladewagen und im Kipper aufzeigen. Aufgrund der Ergebnisse kristallisieren sich zwei Systeme besonders heraus:

- Die Direktapplikation von Dehnungsmeßstreifen zur Erfassung der Scherspannung in der Achse und der Biegespannung in der Deichsel (beim Einachsanhänger).
- Der Einsatz von modifizierten Kraftaufnehmern (Wägezellen) zwischen Achse und Rahmen oder Federung und in der Anhängerkupplung.

Entscheidend auf eine mögliche Einführung in die landwirtschaftliche Praxis werden sich jedoch die Kosten des Wiegesystems für den Landwirt auswirken. Aus diesem Grunde scheint die direkte DMS-Applikation zur Zeit günstiger als die Lösung mit Wägezellen zu sein.

Literatur

1. Auernhammer, H.:
Elektronik in Traktoren und Landmaschinen.
BLV Verlagsgesellschaft mbH: München 1989
2. Hoffmann, K.:
Eine Einführung in die Technik des Messens mit Dehnungsmeßstreifen.
Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH: Darmstadt 1987
3. Potma, T.:
Dehnungsmeßstreifen-Meßtechnik.
Deutsche Philips GmbH: Hamburg 1968
4. Rödel, H.:
Technische Mechanik.
Vogel Verlag: Würzburg 1977
5. Rottmeier, J.:
Ansätze zur Gewichtsermittlung in Transportfahrzeugen.
BML-Arbeitstagung '90, KTBL-Arbeitspapier 145: Darmstadt 1990
6. Rottmeier, J., H. Auernhammer und H. Stanzel:
Elektronikeinsatz in der Landtechnik zur Verringerung des Düngemittelaufwandes und der Umweltbelastung im Futterbau.
Berichte aus dem Institut für Landtechnik 1989, 1990
7. Schuster, A.:
Industrielle Wägetechnik.
Carl Schenck AG: Darmstadt 1983
8. VDI-Bericht Nr. 137:
Präzisionsmessungen mit Dehnungsmeßstreifen für Kraftmessung und Wägung.
VDI-Verlag: Düsseldorf 1970
9. Verschiedene Produktinformationen und Prospekte diverser Firmen

Positionsbestimmung von Fahrzeugen im Feld

T. Muhr, M. Demmel und H. Auernhammer, Welhenstephan

1. Einleitung

Ebenso wie der exakten Verwiegung von Güterströmen im landwirtschaftlichen Betrieb kommt auch der Positionsbestimmung landwirtschaftlicher Fahrzeuge im Feld eine Schlüsselstellung in ökologisch und ökonomisch optimierten Pflanzenbauverfahren zu: damit lassen sich teilschlagbezogene Daten erfassen und in Maschinensteuerungen so miteinander verknüpfen, daß der Prozeß der pflanzlichen Erzeugung - unter besonderer Berücksichtigung der Umwelt - weitgehend in einem geschlossenen Regelkreis ablaufen kann. Außerdem lassen sich in Zukunft vielfach benötigte Managementdaten nur auf diese Weise weitgehend automatisiert erfassen. Innerhalb unserer Arbeitsgruppe werden deshalb auch Untersuchungen zu dieser Fragestellung angestellt.

2. Systematik der Ortungsverfahren

Generell ist zwischen fahrzeugautonomen Ortungssystemen und solchen Systemen zu unterscheiden, die ganz oder teilweise auf eine vorgegebene Infrastruktur angewiesen sind.

2.1 Fahrzeugautonome Ortungssysteme

2.1.1 Linearisierter Schlag

Zu den fahrzeugautonomen Ortungssystemen zählt zunächst das Verfahren "Linearisierter Schlag": dabei bilden Fahrgassen, Reihen oder andere vorgegebene Strukturen die erste und der exakt gemessene Weg die zweite Koordinate einer zweidimensionalen Positionsbestimmung.

2.1.2 Koppelnavigation ("Dead reckoning")

Unter dem Begriff Koppelnavigation werden alle Verfahren zusammengefaßt, bei denen ausgehend von einem Ortungsnullpunkt mittels einer fahrzeugeigenen Sensorik die Eigenbewegung möglichst genau erfaßt und daraus die aktuelle Fahrzeugposition berechnet wird.

2.2 Ortungssysteme mit fahrzeugexternen Hilfsmitteln

2.2.1 Erdgestützte Trilateration

Für eine eindeutige zweidimensionale Positionsbestimmung mittels Trilateration sind mindestens drei externe Baken oder Responder an bekannten Festpunkten zu errichten. Aus den Laufzeiten von Signalen zwischen Fahrzeug und Festpunkten wird die Position des Fahrzeugs berechnet.

2.2.2 Raumgestützte Trilateration

In Analogie zur erdgestützten Trilateration werden als "Baken" künstliche Erdsatelliten auf Umlaufbahn oder in geostationärer Position benutzt. Das modernste System dieser Art ist das derzeit im Aufbau befindliche "Global Positioning System" (GPS) des Amerikanischen Verteidigungsministeriums.

3. Beschreibung der einzelnen Verfahren

3.1 Linearisierter Schlag

Das Verfahren "Linearisierter Schlag" stellt die geringsten Ansprüche an die einzusetzende Technik: die berührungslos arbeitende und deshalb eventuellen Schlupf bereits berücksichtigende Wegmessung ist in Form eines Radarsensors oftmals schon im Zusammenhang mit einer Spritzensteuerung auf dem Schlepper installiert. Bestehende Hardware müßte also kaum erweitert werden, falls Rechnerleistung und

Speichertiefe ausreichen. In größerem Maße ist allerdings Software zu entwickeln, die es dem Anwender erlaubt, komfortabel An- und Abfahrtswege festzulegen und manuell oder automatisch von Fahrgasse zu Fahrgasse weiterzuschalten. Daneben ist sicherzustellen, daß auf dem Fahrzeug teilschlagbezogene Daten mit einer Ortsinformation der Form "Fahrgasse Nr.3, 250 m" vorliegen.

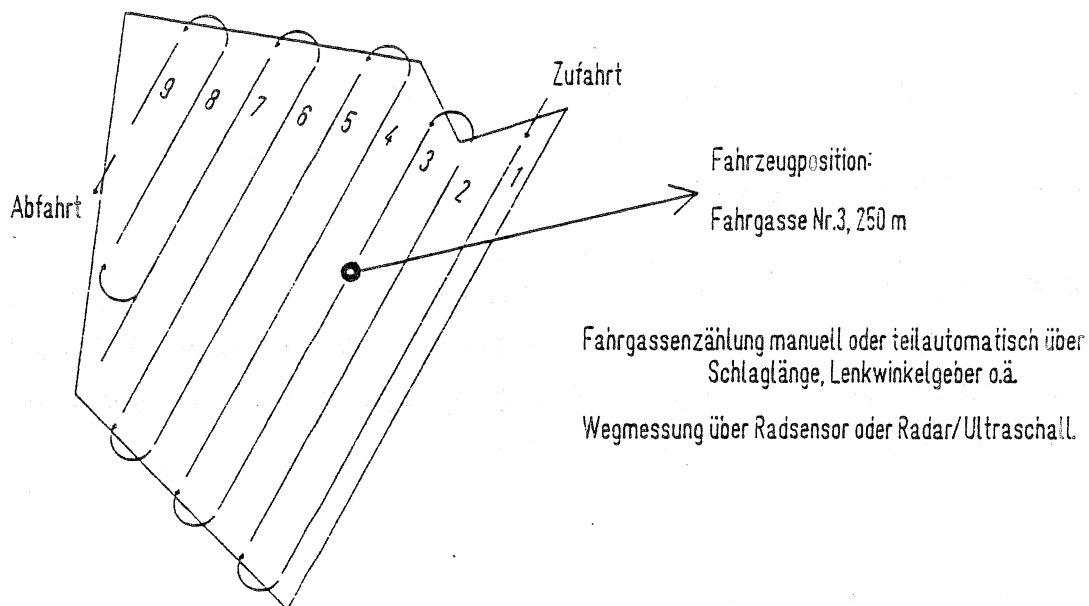


Abbildung 1: Ortungsverfahren "linearisierter Schlag"

Dem geringen technischen Aufwand steht allerdings ein hoher organisatorischer Aufwand entgegen: An- und Abfahrtspunkte müssen festgelegt werden, und der Durchfahrungssinn im Fahrgassenraster muß über die Jahre gleich bleiben, um eine "lineare" Bearbeitung des Schlages und damit eine exakte Zuordnung der teilflächenbezogenen Information zu gewährleisten. Darüber hinaus ist die Positionsauflösung quer zur Fahrgasse durch den Fahrgassenabstand und damit durch die Arbeitsbreite z.B. des Düngerstreuers vorgegeben. Die Zuordnung von während des Druschs erfaßten Ertragsdaten ist wegen der geringeren Arbeitsbreite des Mähdreschers schwierig, wenn nicht unmöglich. Trotz der genannten Schwierigkeiten wird dieses System heute schon in einigen Betrieben eingesetzt - stellt es doch einen ersten Schritt zur teilschlagbezogenen Bewirtschaftung dar.

3.2 Koppelnavigation

Bei der Koppelnavigation wird die Fahrzeugbewegung hinsichtlich Weg und Richtung aufgezeichnet. Daraus wird im Rechner mittels spezieller Algorithmen - der Koppelrechnung - die relative Fahrzeugposition in Bezug zum Startpunkt berechnet.

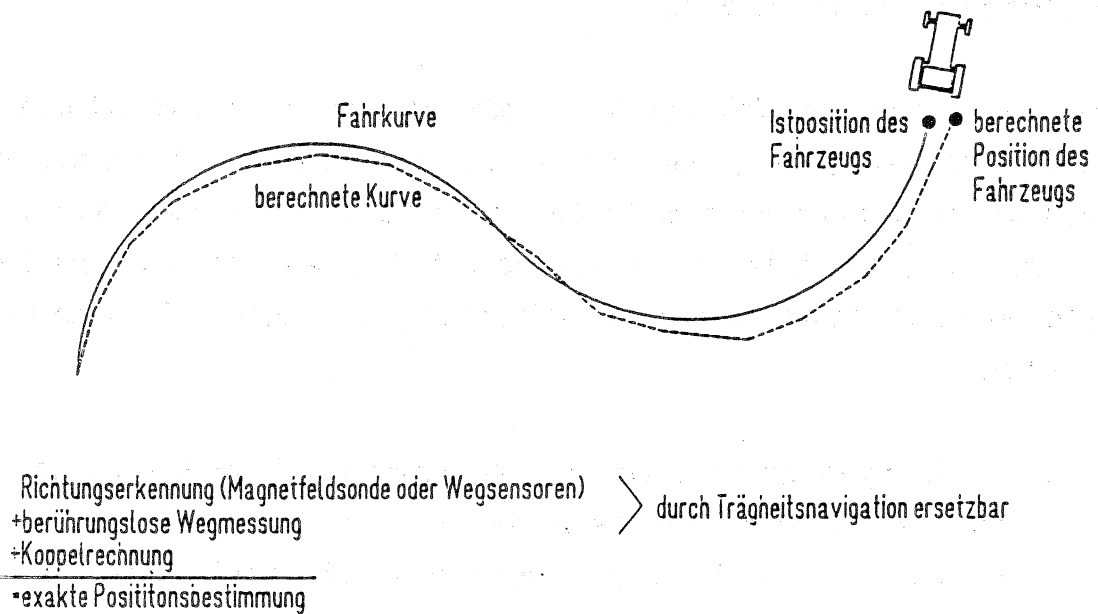


Abbildung 2: Ortungsverfahren Koppelnavigation

Solche Systeme werden für PKW bereits auf dem Markt angeboten: Die Weginformation wird dabei aus den Raddrehzahlsensoren des ABS gewonnen, während die Bewegungsrichtung durch eine Magnetfeldsonde erfaßt wird. Die Richtungserkennung ist darüber hinaus auch mittels der Differenzgeschwindigkeit des rechten und linken Rades einer Achse möglich. In der Landwirtschaft scheiden Fahrzeugräder wegen des i.a. hohen Schlupfes als Weg- und Richtungsgeber aus. Am Institut für Landtechnik, Weihenstephan, führen wir derzeit erste Versuche mit zwei berührungslos arbeitenden Wegsensoren durch, die links und rechts am Fahrzeug angebracht sind und daher neben der Weg- auch eine Richtungserkennung ermöglichen sollen. Einfache potentiometrische Lenkwinkelgeber und aufwendige faseroptische Trägheitsnavigationssysteme markieren in etwa die Endpunkte einer großen Spannweite von Sensoren, die möglicherweise als Weg- und/oder Richtungsgeber geeignet scheinen. Doch selbst ein optimal arbeitendes Koppelnavigationssystem liefert immer nur relative, auf

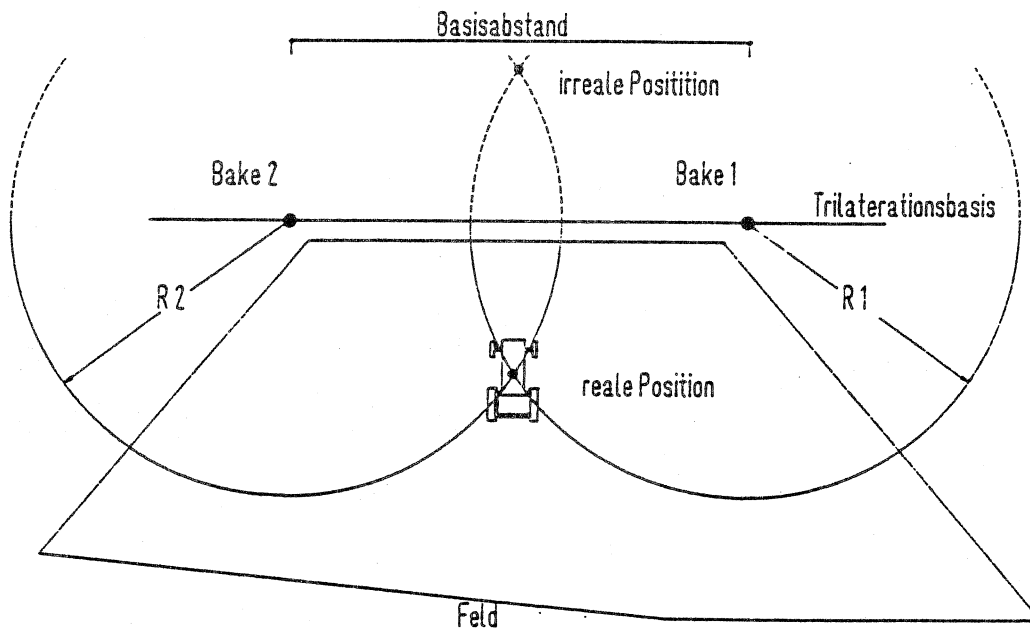
den Ortungsnullpunkt bezogene Daten. Diesen Ortungsnullpunkt könnten z.B. Grenzsteine darstellen. Zudem ist Koppelnavigation ein summierendes Verfahren, dessen Fehler mit zunehmendem Weg stark ansteigt. Diese Tatsache scheint derzeit einen sinnvollen Einsatz als alleiniges Ortungssystem auszuschließen, da die Rücksetzung des Systems an bekannten Punkten im Gelände ein aufwendiges Verfahren darstellt.

3.3 Erdgestützte Trilateration

Für eine eindeutige zweidimensionale Positionsbestimmung mittels Trilateration sind mindestens drei bekannte Festpunkte im Gelände erforderlich. Gemessen wird die Laufzeit von Signalen zwischen Festpunkt und Fahrzeug. Als Signale kommen v.a. elektromagnetische Wellen zur Anwendung, Schall ist wegen seiner temperaturabhängigen Ausbreitungsgeschwindigkeit weniger geeignet. Dabei sind folgende Techniken denkbar:

1. Die Triangulationspunkte werden von zeitsynchronisierten Sendern gebildet, deren Trägerwelle als Information die Sendezeit und die Senderposition aufmoduliert ist. Der Empfänger besitzt seinerseits eine hochgenaue Uhr und vergleicht diese mit den Zeitinformationen der empfangenen Signale. Daraus läßt sich die Signallaufzeit berechnen (Einwegmessung).
2. Die Triangulationspunkte werden von Respondern gebildet, die das vom Fahrzeug gesendete Signal zurücksenden. Der Empfänger - ebenfalls auf dem Fahrzeug - vergleicht bei Eintreffen des reflektierten Signals die aktuelle Zeit mit der Sendezeit und berechnet daraus die Entfernung des Responders. Jedem Responder muß dabei ein Kanal der Fahrzeuganlage zugeordnet werden. Dieses Verfahren wird als Zweiwegmessung bezeichnet.

Schueller, 1987 [9] hat in den USA Untersuchungen mit einem auf Zweiwegmessung beruhenden System mit zwei Festpunkten durchgeführt. Er fand als maximalen Fehler der Positionsbestimmung auf einem 640 m langen Schlag 8 m, d.h. einen relativen Fehler von 1,25 %.



R1, R2: Aus der Signalgeschwindigkeit und -laufzeit berechnete Entfernung des Fahrzeugs von Bake 1 bzw. Bake 2

Abbildung 3: Geometrie der 2D-Trilateration

Hauptnachteil dieses Verfahrens ist der extrem hohe Aufwand, falls technische Anlagen an den Festpunkten neu errichtet werden müssen. Im Falle der Nutzung, z.B. von zeitsynchronisierten Rundfunksendern, die bereits bestehen, reduziert sich dieser Nachteil, allerdings ist auch die erzielbare Genauigkeit um einen Faktor 20 - 30 geringer als die von Schueller, 1987 [9] gefundene.

Generell steigt der Ortungsfehler dieses Verfahrens mit Annäherung des Fahrzeugs an die gedachte Verbindungslinie zweier Festpunkte. Deshalb ist das Fahrzeug möglichst weit von dieser Verbindungslinie entfernt zu halten.

3.4 Raumgestützte Trilateration

Die Forderung nach einer großen Entfernung der Verbindungslinie der Trilaterationspunkte wird in besonderem Maß von der Satellitentrilateration erfüllt. Das zur Zeit am häufigsten diskutierte "Global Positioning System" des amerikanischen Verteidigungsministeriums stellt nur eines von mehreren Satellitennavigationssystemen dar. Allerdings liegen die Genauigkeiten dieses im Aufbau befindlichen Systems 5 - 10 mal

höher als die der älteren Systeme.

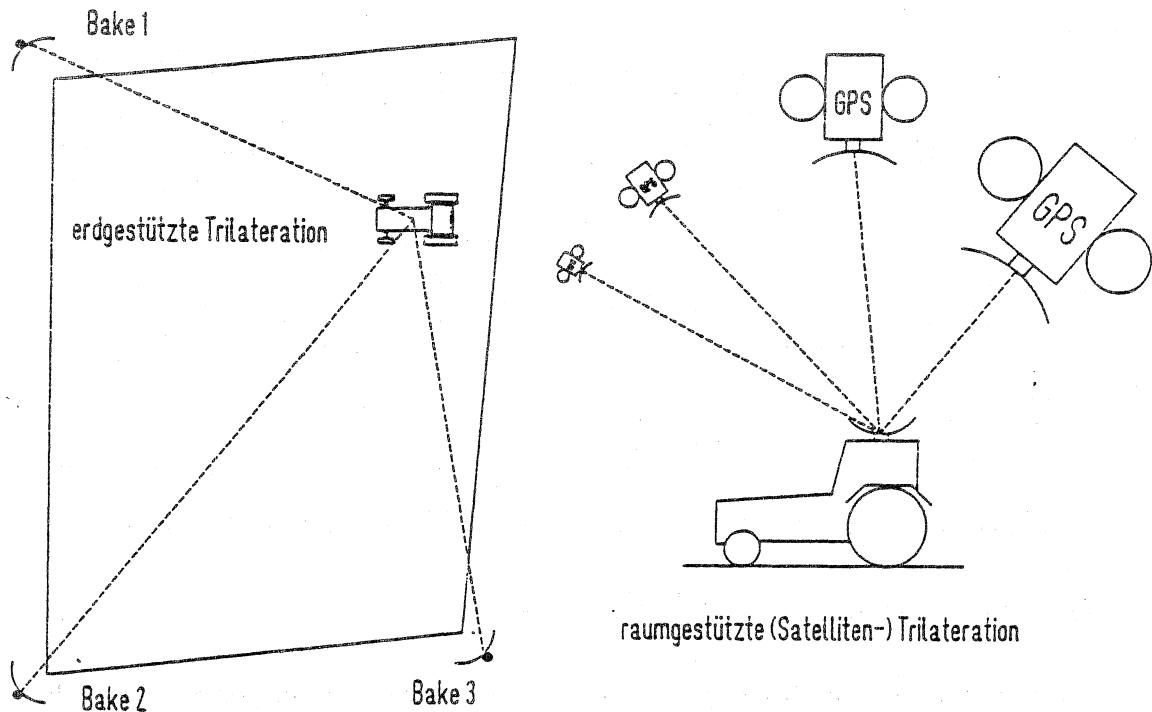


Abbildung 4: Erdgestützte und raumgestützte Trilateration

Das Raumsegment dieses Systems besteht bei Vollausbau Ende 1992 aus 18 Satelliten auf 6 Umlaufbahnen in 20.200 km Höhe. Das sog. "Bodenkontrollsegment" besteht aus fünf global verteilten Monitorstationen, die die Satellitenposition überwachen und Abweichungen an eine Hauptkontrollstation weiterleiten. Diese kann die veränderten Grunddaten über eine Nachrichtenverbindung an die Satelliten weitergeben. Das ist notwendig, weil das System auf einer Einwegmessung beruht.

Das ganze System arbeitet vollständig in digitaler Technik, was eine starke Miniaturisierung bei gleichzeitig gesteigerter Intelligenz der Empfängerbausteine erlaubt. Serienmäßig sind die Geräte mit Standardschnittstellen ausgestattet, über die die Empfängerposition in absoluten Koordinaten aus- oder Signale von Hilfssensoren in die Signalverarbeitung eingelesen werden können. Die Anbindung an Fahrzeugrechner wird dadurch sehr erleichtert.

Größter Vorteil des Systems ist die maximal erzielbare Genauigkeit (absolute Weltkoordinaten): sie liegt heute bei etwa 40 m bzw. bei etwa 1 m im Differentialbetrieb. Dabei gibt ein an einem vermessenen Punkt betriebener Empfänger die Abweichung zwischen gemessener und tatsächlicher Position über eine Datenfunkstrecke an den Fahrzeugempfänger weiter.

Die angegebenen Genauigkeiten entsprechen dem Stand August '90. GPS steht heute als offiziell nicht operables System unter militärischer Hoheit zivilen Nutzern zur Empfängerentwicklung zur Verfügung. Der Betreiber (U.S. Air Force) behält sich jedoch das Recht vor, jederzeit und ohne Vorankündigung das System umzustellen.

Die Signale der neueren Satelliten (Block II und III) sind darüber hinaus vom Betreiber künstlich zu verschlechtern. Dadurch ist insbesondere die Genauigkeit im stand-alone Betrieb vermindert, im Differentialbetrieb läßt sich die Verschlechterung bis zu einem gewissen Grad aufheben.

Die bekannten Schwierigkeiten mit dem SHUTTLE-Programm der NASA haben die Vollverfügbarkeit des Systems auf Ende 1992 verschoben. Derzeit sind 13 Satelliten in der Umlaufbahn, die in unserer Region einen Probetrieb für ca. 2 - 4 h am Tag (abhängig von der aktuellen Konfiguration des Raumsegments) ermöglichen.

Die extrem kurzweilige Trägerstrahlung mit einer Frequenz von ca. 1 GHz macht eine "Sichtverbindung" zum Satelliten notwendig, d.h. insbesondere in stark kupertem Gelände oder am Waldrand ist zeitweise mit dem Ausfall der Positionsbestimmung zu rechnen. Für diesen Fall wird der Einsatz des bereits genannten Koppelnavigationssystems mit berührungsloser Wegmessung unerlässlich sein, das für die Zeit des Ausfalls ausreichend gute Überbrückungsdaten liefern kann.

4. Bisherige Versuche

Die ersten Versuche mit GPS wurden sowohl auf einem von der MERCEDES-BENZ AG gestellten UNIMOG, als auch im August auf einem Mähdrescher der Firma CASE durchgeführt.

4.1 Versuche zu GPS auf UNIMOG

4.1.1 Methodisches Vorgehen

Die bisher durchgeführten Versuche zu GPS auf UNIMOG umfaßten sowohl Untersuchungen zur Verfügbarkeit von GPS, als auch praxisnahe Wiederholungsversuche auf verschiedenartigen Fahrstrecken.

Die Verfügbarkeit von GPS wurde durch eine 48 h dauernde Beobachtung an einer fixen Position im Feld durchgeführt. Wie bereits oben gesagt, muß bei der Auswahl des Beobachtungsortes besonders auf gute "Einsehbarkeit", d.h. Erreichbarkeit durch die Satelliten geachtet werden. Über die Beobachtungszeit wurden die Daten des sog. NAV-Strings auf einem mobilen PC aufgezeichnet. Dieser Daten-String stellt mit einer Frequenz von 3 Hz neben der eigentlichen Ortungsinformation auch Daten über die jeweils empfangenen Satelliten und die Signalgüte zur Verfügung.

Die Versuche zur Wiederholungsgenauigkeit wurden auf einem Straßenkurs bei ca. 60 km/h und auf zwei ausgesteckten Kursen auf dem Feld bei ca. 7 km/h durchgeführt. Die Datenaufzeichnung erfolgte auch hier auf einen PC, wobei Start- und Zielpunkt dem System manuell mitgeteilt wurden.

4.1.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Versuche zur Verfügbarkeit der Satelliten, die im Frühjahr durchgeführt wurden, sind wegen einer Umstrukturierung der Satellitenbesetzungen auf den einzelnen Orbits durch den Betreiber im Mai dieses Jahres nicht mehr gültig. Damals ergab sich eine Verfügbarkeit von ca. 6 - 8 h am Tag (d.h. mindestens 4 Satelliten mit

einer Elevation größer 30 Grad). Derzeit ist tagsüber nur zwischen 11 und 14 Uhr mit einer für die Ortung ausreichenden Empfangssituation zu rechnen.

Zusätzlich wurde im Juli die Hard- und Software des Empfängers durch den Hersteller so stark verbessert, daß die damals gefundene räumliche Verteilung der Streuung der Positionsdaten ($\sigma_{alt} = 2 * \sigma_{long} = 4 * \sigma_{lat}$, wobei σ die Standardabweichung für Höhe (altitude), Länge (longitude) und Breite (latitude) der gemessenen Position ist) heute nicht mehr beobachtet werden kann.

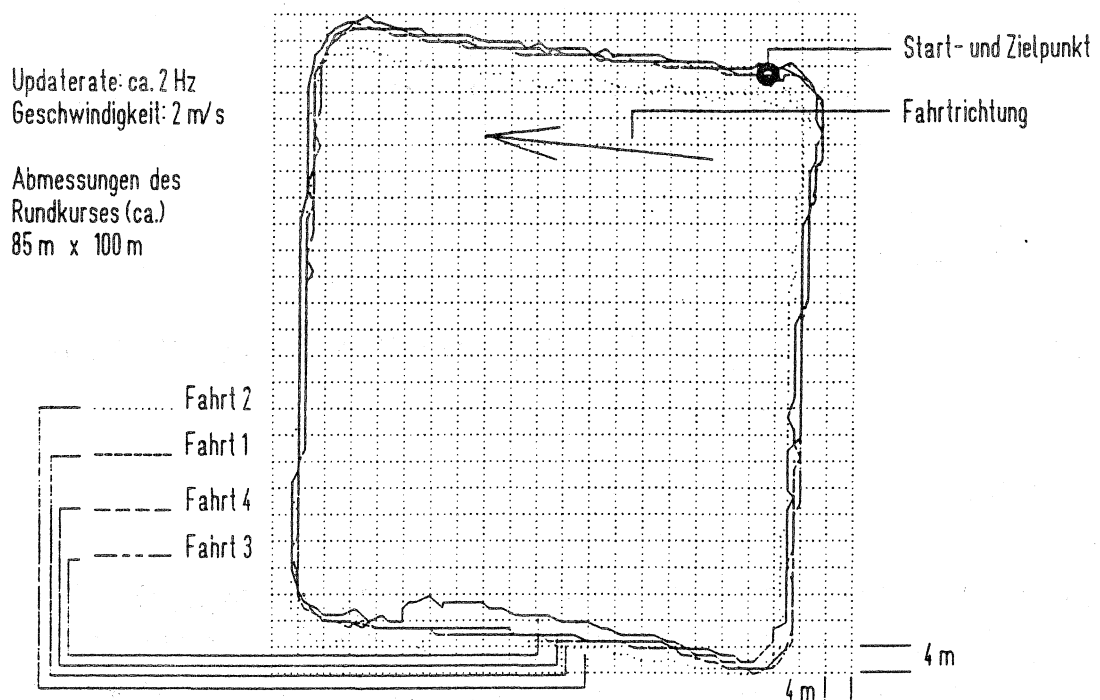


Abbildung 5: Aufzeichnung einer Meßfahrt mit GPS (Fahrt Spur in Spur)

Die Wiederholbarkeit auf den verschiedenartigen Fahrkursen erbrachte überraschend gute Ergebnisse mit Fehlern im Bereich von 2 - 20 m. Diese Ergebnisse sind aber nur dadurch zu erklären, daß es sich um relativ kurzfristige Beobachtungen handelt und sich dabei die ausgewertete Satellitenbesetzung nicht veränderte. Außerdem muß bemerkt werden, daß die Fahrkurse i.a. ohne zeitweise Abschattung durch Gelände, Bäume o.ä. waren.

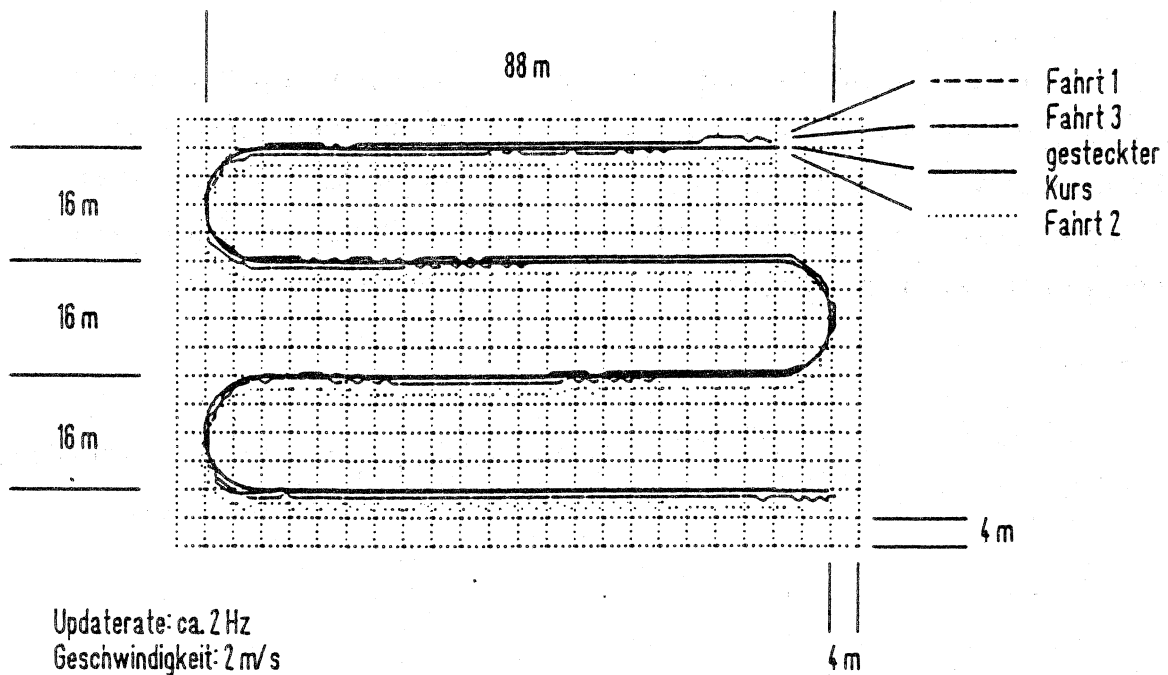


Abbildung 6: Aufzeichnung einer Meßfahrt mit GPS (ausgesteckter Kurs)

4.2 Versuche zu GPS auf dem Mährescher

Im August wurden auf dem Versuchsgut Scheyern des Forschungsverbundes Agrar-
ökosysteme München (FAM) Versuche mit GPS auf einem Mährescher mit Ertrags-
meßsystem gefahren. Dabei wurden die vom Bordrechner des Mähreschers zur
Verfügung gestellten Ertragsdaten (Updaterate 1 Hz) zusammen mit der aktuellen
Position des Mähreschers (Updaterate 3 Hz) auf einem PC aufgezeichnet. Insgesamt
wurden dabei an 5 Tagen auf einer Fläche von 30 ha ca. 5 MByte Daten erfaßt. Die
Auswertung dieser Versuche hat gerade erst begonnen. Doch scheint sich bereits jetzt
abzuzeichnen, daß für diese Anwendung die Ortungsgenauigkeit eines Empfängers
nicht ausreicht, um die einzelnen Fahrten des Mähreschers exakt abzubilden.

Da auf diesem Versuchsgut jedoch zahlreiche geodätisch exakt vermessene und
darüber hinaus zugängliche Punkte vorhanden sind, wird derzeit schon mit der Vor-
bereitung von Versuchen mit differentielltem GPS (DGPS) begonnen, mithilfe dessen

im nächsten Jahr eine - innerhalb des Fehlers des Ertragsmeßsystems - exakte Ertragskarte erstellt werden soll.

5. Schluß

Das Verfahren "Linearisierter Schlag" scheint derzeit der Forderung nach einem universellen Positionsbestimmungsverfahren für die Landwirtschaft nicht zu genügen. Vielmehr stellt es bis zur Verfügbarkeit eines einfacher zu handhabenden Verfahrens einen Weg dar, bestimmte Arbeitsgänge schon mit der heute gängigen Technik teilflächenbezogen zu erledigen.

Die "erdgestützte Triangulation" scheidet augenblicklich aufgrund des hohen apparativen Aufwandes als Ortungssystem für die landwirtschaftliche Praxis aus. Für spezielle Einsätze kann dieses Verfahren allerdings - bei optimierter Geometrie der Festpunkte in Bezug zum Fahrzeug - sehr genaue Positionsdaten liefern. Neuere Systeme, die im Mikrowellenbereich arbeiten, entschärfen darüber hinaus wegen ihrer begrenzten Reichweite das Problem der postalischen Zulassung, so daß in Zukunft die "erdgestützte Trilateration" durchaus eine Alternative zu anderen Verfahren darstellen könnte.

Die bis jetzt gefundenen Ergebnisse zu GPS und die einfache Integrierbarkeit dieses Systems in verschiedenartigste Meßaufgaben ermutigen zur Fortsetzung der begonnenen Versuche mit diesem Verfahren einer universellen Positionsbestimmung in absoluten 3D-Koordinaten.

Die in früheren Arbeiten gefundene hohe Genauigkeit der Ultraschallwegsensoren und ihre Fähigkeit zur Richtungserkennung sollten den Aufbau eines Koppelnavigationssystems zur Stützung des GPS, das auch im differentiellen Betrieb durch Abschattungen zeitweise ausfallen kann, erlauben.

Aufgrund der derzeit stark abwärts orientierten Preisbewegung für GPS-Empfangsanlagen besteht Aussicht auf ein auch in der Landwirtschaft finanzierbares System, das eine Schlüsseltechnik zur Pflanzenproduktion im geschlossenen Regelkreis darstellt.

6. Literatur

- [1] Auernhammer, H.:
Elektronik in Traktoren und Maschinen.
München: BLV-Verlag 1989
- [2] Auernhammer, H.:
Landtechnische Entwicklungen für eine umwelt- und ertragsorientierte Düngung. Landtechnik 7 + 8 (1990), S. 272 - 278
- [3] Hankel, R. und W. Urbanski:
OKE - ein autarkes Ortungssystem für Einsatzfahrzeuge.
BOSCH TECHNISCHE BERICHTE 1/2 (1986) S. 57 - 65
- [4] Hardegg, M.:
Ertragsmessung am Mähdrescher.
Seminararbeit: Institut für Landtechnik 1990.
- [5] Mansfeld, W.:
Funkortungs- und Navigationssystem NAVSTAR-GPS.
Radio Fernsehen Elektronik 11 und 12 (1988) S. 723 - 727, S. 796 - 799
- [6] Muhr, T.:
Vergleich von berührungslos arbeitenden Geschwindigkeitssensoren für die Landwirtschaft.
Diplomarbeit: Institut für Landtechnik 1989.
- [7] Schueller, J.K. und Y.H. Bae:
Spatially Attributed Automatic Combine Data Acquisition.
Computers and Electronics in Agriculture, 2 (1987) S. 119 - 127
- [8] Schueller, J.K. und S. Borgelt:
Spatially Variable Control of Fertilizer Application, Pesticide Application, and Planting.
AgEng-Paper Nr. 88 - 173, Paris 1988
- [9] Schueller, J.K. et al.:
Determination of Spatially Variable Yield Maps.
ASAE-Paper Nr. 87-1533, St. Joseph MI 1987

1911
MAY 11

