

Elektronikeinsatz in der Landtechnik zur Verringerung des Düngemiteleinsatzes und der Umweltbelastung im Futterbau

von Dr. Dr. habil. H. Auernhammer

Dipl.-Ing. agr. I. Rottmeier

Dr. H. Stanzel

Institut für Landtechnik

Freising-Weihenstephan

Herausgegeben vom

Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Referat: Landmaschinenwesen und Energiewirtschaft

September 1991

Die Beiträge in dieser Schriftenreihe geben die Auffassungen und Erkenntnisse des oder der Autoren wieder.

**Elektronikeinsatz in der Landtechnik
zur Verringerung des Düngemittelaufwandes
und der Umweltbelastung im Futterbau**

ENDBERICHT

INSTITUT FÜR LANDTECHNIK
Vöttinger Straße 36
8050 Freising Weihenstephan

Weihenstephan im März 1991

Dr. Dr. habil. H. Auernhammer
Dipl.-Ing.agr. J. Rottmeier
Dr. H. Stanzel

Vorwort

Die Elektronik hält zunehmend Einzug in die Landtechnik. Sie macht Technik intelligent und eröffnet dadurch viele neue und vielfach ungeahnte Möglichkeiten. Neben dem Prozeßrechner übernehmen dabei die Sensoren die wichtige Funktion der Datenerfassung. Erstmals erscheint damit für den Landwirt eine umfassende Datenerfassung für die Betriebsführung in den Bereich des Möglichen zu rücken.

Die nachfolgend dargestellten Untersuchungsergebnisse beschäftigten sich mit den Möglichkeiten der Gewichtserfassung in landwirtschaftlichen Transportfahrzeugen. Sie zeigen, daß mit verfügbaren Sensoren schon heute sehr hohe Genauigkeiten erzielbar sind. Als Basis bei der Futterernte und bei der Düngerausbringung könnten damit nicht nur Kosten gespart, sondern auch wesentliche Beiträge zum Umweltschutz geleistet werden.

Bei diesen sehr optimistisch klingenden Erwartungen ist es deshalb ein Leichtes, allen an diesen Ergebnissen Beteiligten sehr herzlich zu danken. Insbesondere gilt der Dank dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Bereitstellung der benötigten finanziellen Mittel. Großen Dank verdient aber auch die Industrie durch die sehr fruchtbare Zusammenarbeit und die kostenlose Überlassung der benötigten Fahrzeuge und Maschinen. Allen voran seien dabei die Firma Mengele in Günzburg, die Firma Fendt in Marktoberdorf, die Firma Pfister in Augsburg, die Firma Moba in Frankfurt und die Firma Rembe in Brilon namentlich genannt.

Bleibt zu hoffen, daß vor allem diese Firmen die gefundenen Ergebnisse sehr schnell in die Praxis umsetzen und damit dem Landwirt ein langersehntes Hilfsmittel an die Hand geben.

Weihenstephan im März 1991

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

Prof. Dr. H. Schön
(Direktor des Institutes für Landtechnik)

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Grundlagen	8
2.1	Stationäre Wiegetechnik	9
2.2	Mobile Gewichtsermittlung	10
2.3	Statische mobile Gewichtsermittlung	10
3.	Sensoren zur Gewichtsermittlung	10
3.1	Wägezellen	11
3.2	Dehnungsaufnehmer	12
3.3	Bohrlochsensoren	13
3.4	Druckmeßumformer	14
4.	Statische und dynamische Wiegemöglichkeiten in landwirtschaftlichen Transportfahrzeugen	15
4.1	Grundlagen	15
4.2	Versuchsdurchführung	17
4.2.1	Biegespannung in Achse und Deichsel	19
4.2.2	Scherspannung in der Achse	24
4.2.3	Wägezellen zwischen Achse und Rahmen	27
4.3	Dynamische Wiegeversuche	31
5.	Untersuchungen zur Genauigkeit von Wiegeeinrichtungen in der Schlepperhydraulik	35
5.1	Versuchsaufbau	36
5.1.1	Untersuchte Systeme	36
5.1.2	Versuchsdurchführung	36
5.2	Autarke Systeme	38
5.3	Integrierte Systeme	41
5.3.1	Applikation im Schlepperhydrauliksystem	42
5.3.2	Applikation an den Hubarmen	43
5.3.3	Applikation an den Hubstreben	47
5.4	Systemvergleiche zur Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber	54
5.5	Aufrüstbarkeit, Nachrüstbarkeit und Kosten	55
5.6	Dynamische Wiegeversuche am Schlepperheckkraftheber	56
6.	Diskussion und Einordnung der Ergebnisse	58
7.	Zusammenfassung	60
8.	Literatur	63

1. Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland betrug 1988 der Anteil der Hauptfutterflächen 71 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche. Alleine 56 % des Ackerlandes wurden zum Futterbau genutzt. Dabei entfallen mengenmäßig etwa 47 % auf Getreide und 47 % auf Grün- und Rauhfutter. Der Rest verteilt sich auf Hackfrüchte und Sonstiges.

Aus diesen Zahlen wird die enorme Bedeutung des Futterbaus für die landwirtschaftliche Produktion in Deutschland ersichtlich. Dies spiegelt sich auch in der Aufteilung der Betriebe nach Betriebsformen wieder: 1985 entfielen von den insgesamt 687 000 landwirtschaftlichen Betrieben 347 000 auf Futterbau und 27 000 auf Gemischtbetriebe mit Futterbau im Gegensatz zu 188 000 Marktfrucht-, 42 000 Veredelungs- und 57 000 Dauerkulturbetrieben. In Bayern hat bedingt durch geographische und klimatische, aber auch durch strukturelle Gegebenheiten, der Futterbau eine noch größere Bedeutung als im übrigen Bundesgebiet (Tab.1).

Tabelle 1: **Anbauflächen und Erträge von Futterpflanzen in Deutschland und Bayern (1988).**

Futterpflanze	Anbaufläche		
	BRD (ha)	Bayern (ha)	rel. Anteil an BRD
Klee	150 000	97 000	64,7
Luzerne	19 000	9 000	47,4
Wiesen	2 388 000	1 099 000	46,0
Mähweiden	998 000	105 000	10,5
Weiden	1 068 000	91 000	8,5
Grasanbau	96 000	11 000	11,5
Silomais	924 000	363 000	39,3
ldw. genutzte Fläche	11 874 000	2 088 000	17,6

So entfallen von den Anbauflächen der alten Bundesländer bei Klee, Luzerne und bei Wiesen mehr als jeweils die Hälfte auf Bayern. Zusätzlich trägt Bayern noch mit nahezu 40 % an der gesamten Anbaufläche von Silomais bei. Bayern ist somit ein Land der Wiesen und des Futterbaues, während für das Bundesgebiet von Süden nach generell eine Abnahme der Wiesenfläche und eine Zunahme der Weiden zu beobachten ist.

Besonders der Futterbau bereitet zunehmend ökologische und auch ökonomische Probleme. Während in den Marktfrucht- und Veredelungsbetrieben der Einsatz an Produktionsmitteln und die daraus resultierenden Erträge zumindest in der Gesamtsumme meist bekannt sind, führt dies bei den Futterbaubetrieben aufgrund der fehlenden Daten zu erheblichen Schwierigkeiten. Insbesondere die Höhe des Ertrages und der nach dessen Entzug zu gestaltende Einsatz von Düngemitteln sind sowohl aus ökonomischer, wie auch aus ökologischer Sicht von besonderer Bedeutung. Rein ökonomisch errechnete z.B. Isermeier anhand von Erhebungsdaten für Niedersachsen "Düngungsüberkosten" von 286 DM/ha im Futterbau. Sie sind in diesem Bundesland drei mal so hoch wie die "Überdüngungskosten" in den vergleichbaren Marktfruchtbetrieben.

Auch eigene Untersuchungen deuten auf derartige Gegebenheiten in der Praxis hin. Danach erreichten selbst Ausbildungsbetriebe in vielen Fällen das vorgegebene Soll bei der Düngerausbringung nur selten (Abb. 1).

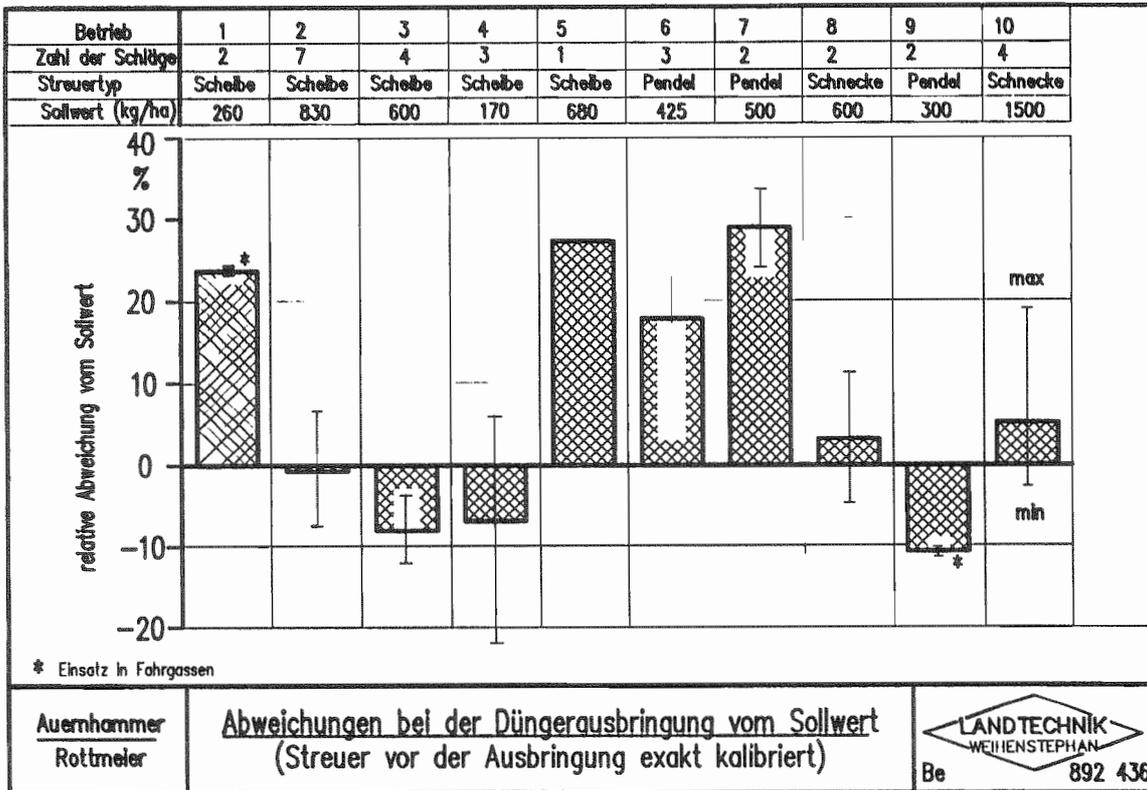


Abbildung 1: Abweichungen der Ausbringungsmengen bei Dünger In ausgewählten Ausbildungsbetrieben Bayerns.

Im Mittel wurde dabei eine Überdüngung von etwa 7 – 8 % festgestellt. Sehr groß war zudem die Streubreite mit einer Unterdüngung von 10 % bis zu einer maximalen Überdüngung von 35 %. Auch innerhalb der einzelnen Betriebe ergab sich eine überaus große Spannweite bei der Abweichung vom Soll. Sie ist dort relativ gering, wo Fahrgassen vorliegen. Fehlen dagegen diese Hilfsmittel, dann nimmt die Streuung der Abweichungen vom Soll sehr stark zu. Diese Fehler sind demnach eindeutig dem unzureichenden Anschlußfahren bei der Düngung zuzuschreiben. Gleiche Ergebnisse sind deshalb auch bei der Ausbringung von organischen Düngern in Form von Gülle und Stallmist zu erwarten.

Aufbauend auf diese Ergebnisse muß somit nach Verbesserungen gesucht werden. Sie müssen im Sinne umwelt- und ertragsorientierter Maßnahmen an der exakten Überwachung der Ausbring- und Erntemengen ansetzen. Dabei kann auf die Verwiegung der Güterströme nicht 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. Pflanzliche Erzeugung wird dadurch zu einem in sich geschlossenen Regelkreis, welcher stärker denn je die Umwelt mit einbeziehen muß (Abb. 2).

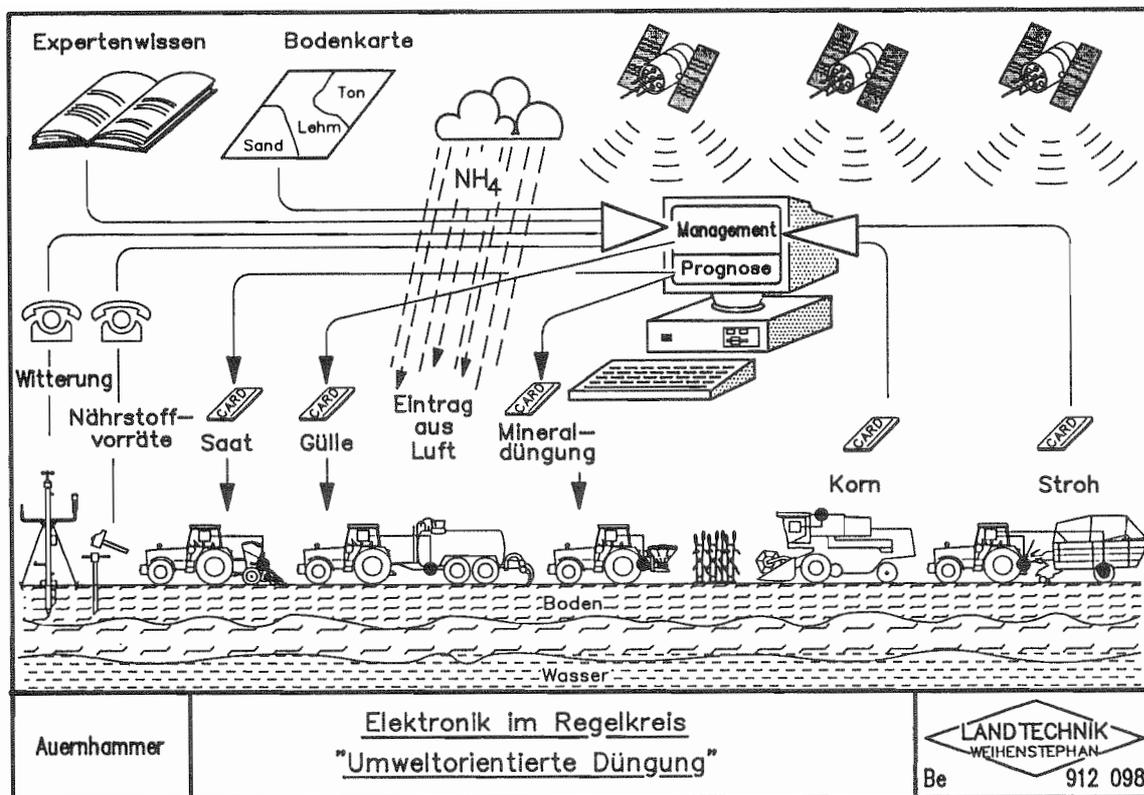


Abbildung 2: Die Düngung im Regelkreis der pflanzlichen Produktion.

Darin nimmt die Düngung als bestandesbildende Maßnahme eine zentrale Stellung ein. Sie muß nach der Strategie des Entzuges erfolgen und dabei die örtlichen Bodenvorräte und die örtliche Bodenfruchtbarkeit einbeziehen. Aufbauend auf den jeweiligen Witterungsverlauf sind danach die erforderlichen Düngemaßnahmen wiederum örtlich angepaßt durchzuführen und es ist der erzielte Ertrag in Biomasse als Entzugsgröße für die Folgefucht zu ermitteln. Zusätzliche Überprüfungen der jeweiligen Nährstoffvorräte im Boden stellen dann lediglich noch die Überwachungsgröße für eine ausgewogene Bilanzierung innerhalb der gesamten Produktion dar.

Bezogen auf die derzeitige Situation und auf die neuen Möglichkeiten durch die Nutzung der Elektronik ergeben sich daraus die Zielsetzungen landtechnischer Maßnahmen zur Verringerung des Düngemittelaufwandes und der Umweltentlastung. Sie richten sich im Futterbau auf zwei wesentliche Teilziele:

- Zum einen müssen technische Möglichkeiten einer Ertragsermittlung geschaffen werden. Besondere Rücksicht ist dabei auf die "Schlüsseltechnik Ladewagen" zu legen.
- Zum anderen muß die Düngung in der Praxis verbessert und dabei die "Überdüngung" weitgehend ausgeschlossen werden. Neben der organischen Düngung ist dabei insbesondere die mineralische Stickstoffdüngung zu beachten, weil gerade sie für die Bestandesbildung und damit für die Ertragssicherheit große Bedeutung hat und weil sie zudem nicht unbeachtliche Kosten verursacht.

Im Sinne einer schnellen Umsetzung ist bei beiden Fragestellungen sowohl die Installation geeigneter Techniken bei der Neuanschaffung der betreffenden Maschinen und Geräte zu beachten, wie auch eine Nachrüstmöglichkeit in bereits im Einsatz befindlicher Technik. Zudem muß im Sinne eines verstärkten Umweltbewußtseins auch die Umsetzung im Hinblick auf eine Teilschlagbetrachtung beachtet werden, damit eine Verbesserung auch auf sehr inhomogenen Anbauflächen ermöglicht wird.

2. Grundlagen

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 Brückenwaagen.

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. Bei der Ernte von Grünut entsteht in der Regel ausschließlich "loses" Transportgut. Auch bei der Düngung hat die "lose Düngerkette" sehr stark um sich gegriffen (Tab. 2).

Tabelle 2: Anteil der Lose-Düngerkette bei Mineräldünger in der BR-Deutschland (mündliche Mitteilungen der Mineräldüngerindustrie).

Düngerform (Reinnährstoff)	Gesamtverbrauch in 1 000 t	Anteil lose in %	Importanteil (zu 100 % lose) in %
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

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 auch dynamisch zum Einsatz kommen kann (Abb. 3).

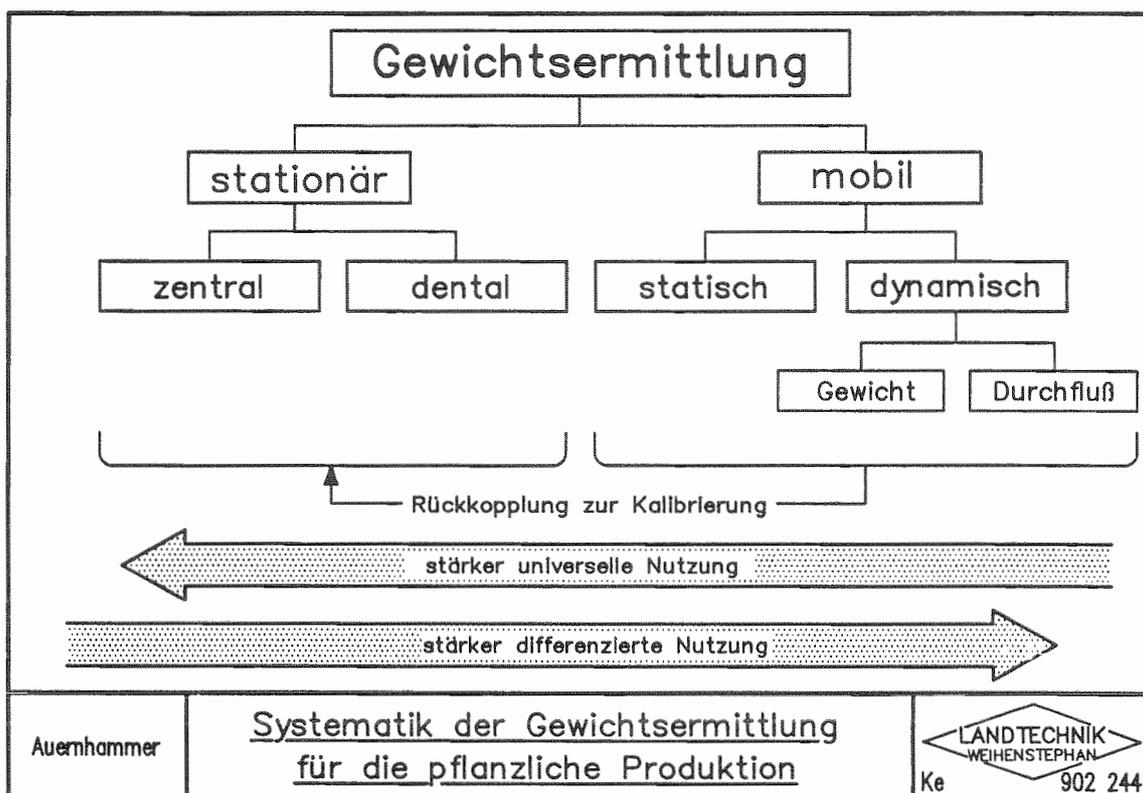


Abbildung 3: Systematik der Gewichtsermittlung in der pflanzlichen Produktion.

2.1 Stationäre Wiegetechnik

Stationäre Wiegetechnik ist heute die einzige Möglichkeit, Erträge und Aufwandsmengen zu kontrollieren. Dazu stehen derzeit drei unterschiedliche Techniken zur Verfügung (Abb. 4).

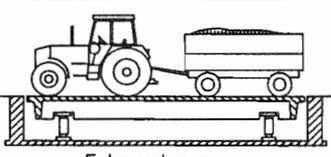
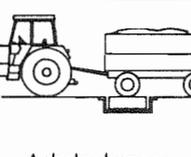
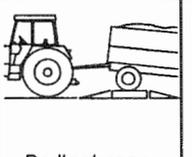
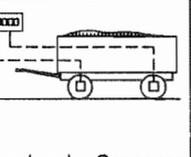
Form	 Fuhrwerkswaage	 Achslastwaage	 Radlastwaage	 eingebaute Sensoren
Einsatzform	stationär	stationär, aber versetzbar	versetzbar	im Fahrzeug
Vorteil	ermittelt Gesamtgewicht eichfähig	In Grenzen mobil geringere Beeinträchtigung des Betriebsablaufes	kann an Stelle des Bedarfes gebracht werden	teilschlagbezogene 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
Auernhammer	<u>Möglichkeiten der Ertragsermittlung</u>			 Ke 902 091

Abbildung 4: Formen stationärer Gewichtsermittlung.

Dabei übernimmt die Brückenwaage – meistens auf Basis von Biegestäben und elektronischer Auswerte- und Anzeigeeinheiten – die zentrale Stellung.

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. Polizeiwagen) 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.

Allen diesen Techniken ist aber gemeinsam:

- Sie müssen zur Gewichtsermittlung angefahren werden, also Störungen des Arbeitsablaufes und Verringerung der Verfahrensleistung sind in Kauf zu nehmen.
- 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- und 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.

2.2 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 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. Dies wird immer dann der Fall sein, wenn der Parameter "Gewicht" eine Stellgröße in einem Regelkreis darstellt.

2.3 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 mittels Siloblockschneider.
- Ermittlung der Gewichte bei der täglichen Futterernte im Ladewagen.
- Ermittlung der Erntemengen bei Silomais.
- Ermittlung der Erntemengen bei Hackfrüchten (Kartoffeln, Rüben).

Stellt man sich nun die Frage, wie die erforderlichen Problemlösungen aussehen könnten, dann kommen dafür der Schlepper als Träger von Anbaugeräten und die erforderlichen Transporteinheiten in Frage. Für sie werden spezifische Sensoren benötigt, wobei die jeweiligen Anforderungen die bestimmenden Faktoren für die Auswahl und die Applikation darstellen.

3. Sensoren zur Gewichtsermittlung

Geeignete Sensorelemente für die Gewichtsermittlung sind immer Federkörper mit Dehnmeßelementen. Sie reagieren auf die Einwirkung der Meßgröße mit einem proportionalen elektrischen Signal, welches im Signalaufbereitungsbaustein verstärkt und normiert wird. Weitere Arbeitsschritte lassen sich mit zusätzlichen elektrischen Bauelementen lösen: z. B. die Erzeugung von Impulsfrequenzen für die Eingänge der heutigen Bordcomputer oder die Realisierung von parallelen und seriellen Schnittstellen für künftige Datenverarbeitungssysteme .

Zur Gewichtsermittlung am Schlepper und in den Transportfahrzeugen sind folgende Anforderungen zu erfüllen :

- Lastbereich von 200 bis 10000 kg entsprechend dem Fahrzeug
- maximaler Fehler 2 % von der momentanen Last
- Lebensdauer 10 Jahre
- Stromversorgung aus dem Bordnetz 9 bis 16 V =
- niedriger Preis
- Beständigkeit gegen Witterungseinflüsse, Feuchtigkeit, Schwingungen, Temperaturen zwischen - 20 und + 50 Grad C und mehrfache Überlast

Für die Auswahl geeigneter Sensoren bildet diese Anforderungsliste und die Systemdefinition die Grundlage. Danach können einige Sensorprinzipien, die sich in der Wägetechnik großer Verbreitung erfreuen, gleich verworfen werden:

- Balkenwaagensysteme sind wegen des hohen Bauaufwands und der großen Abmessungen ungeeignet, vor allem aber zu teuer.
- Federwaagen mit integrierter Weg- oder Drehwinkelmessung scheiden wegen der Baugröße und der Unsicherheit im Fahrbetrieb aus.
- Die magnetoelastische Kraftmessung muß wegen der großen Fehler durch Hysterese, Nichtlinearität und Geschwindigkeitsabhängigkeit des Signals ausgeschlossen werden.
- Die piezoelektrischen Kraftsensoren verursachen schließlich hohe Kosten und Fehler.

Dagegen bieten die in der industriellen Wäge- und Kraftmesstechnik eingesetzten Sensoren auf der Basis einer Dehnungsmeßstreifenapplikation durch die Vielzahl verschiedener Typen für die unterschiedlichsten Wägeaufgaben Lösungsmöglichkeiten. Sie sind in den Gruppen der Wägezellen, Dehnungsaufnehmer, Bohrlochensoren und Druckmeßumformer einzuordnen.

3.1 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 1mm/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 Krafteinleitungen. Biegestäbe und Wägedosen werden seit 18 Jahren erfolgreich in Landmaschinen eingesetzt.

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

Elastostatische Wägezellen (Abb. 5) 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 weitgehende Eliminierung von Seitenkräften und Biegemomenten.

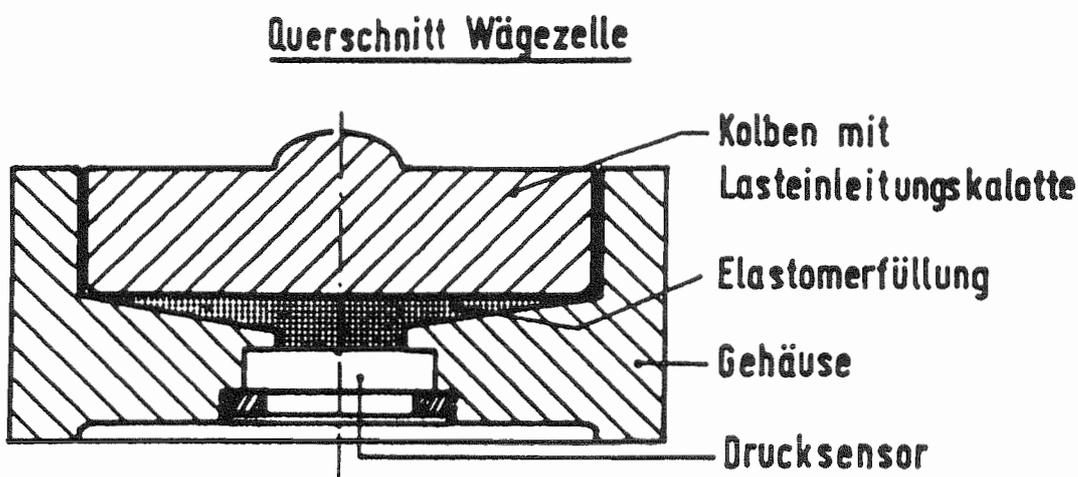


Abbildung 5: Elastostatische 5 t-Wägezelle (Bauart PFISTER).

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 einen Überlastschutz oberhalb der Nennlast.

3.2 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 Streben erfahren dabei elastische Verformungen, die an den Oberflächen Dehnungen bis 0,1 mm/m hervorrufen.

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 einen hohen Zeitaufwand.

In der Applikation wesentlich einfacher sind fertige Dehnungsaufnehmer, die auf ebene Bauteilflächen aufgeschraubt oder geklebt werden (Abb. 6 und 7). 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 dieser Dehnungsaufnehmer Siliciumhalbleiter-DMS beinhalten, die gegenüber Metallfolien-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.

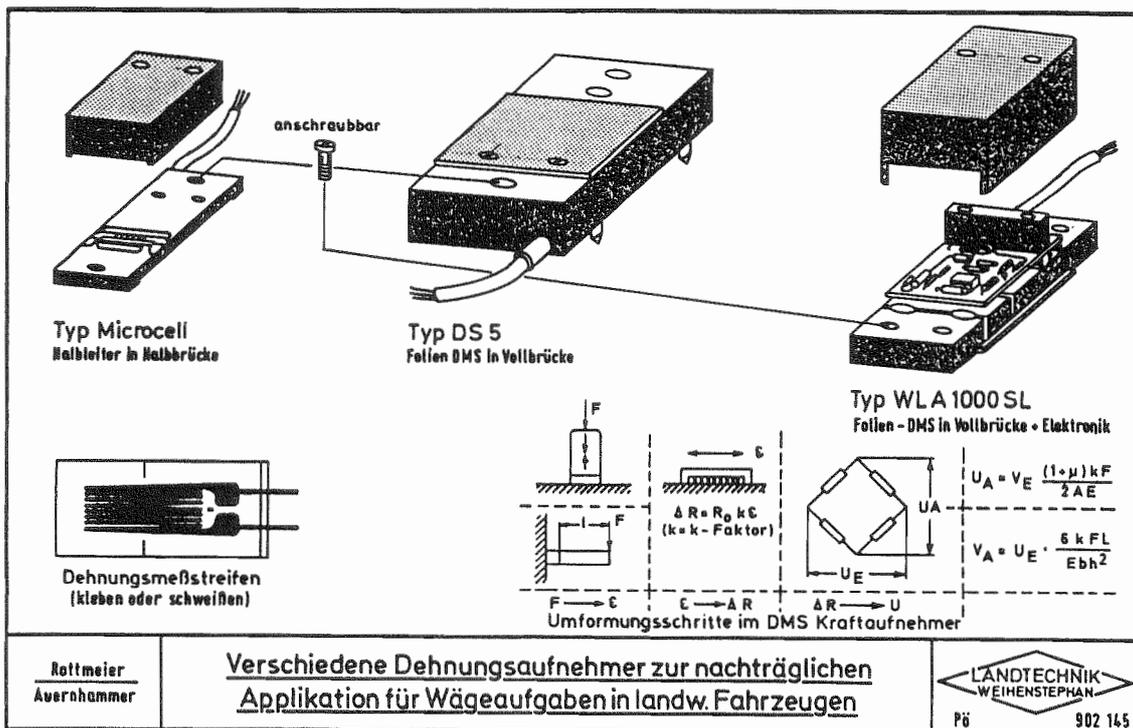


Abbildung 6: Verschiedene Dehnungsaufnehmer.

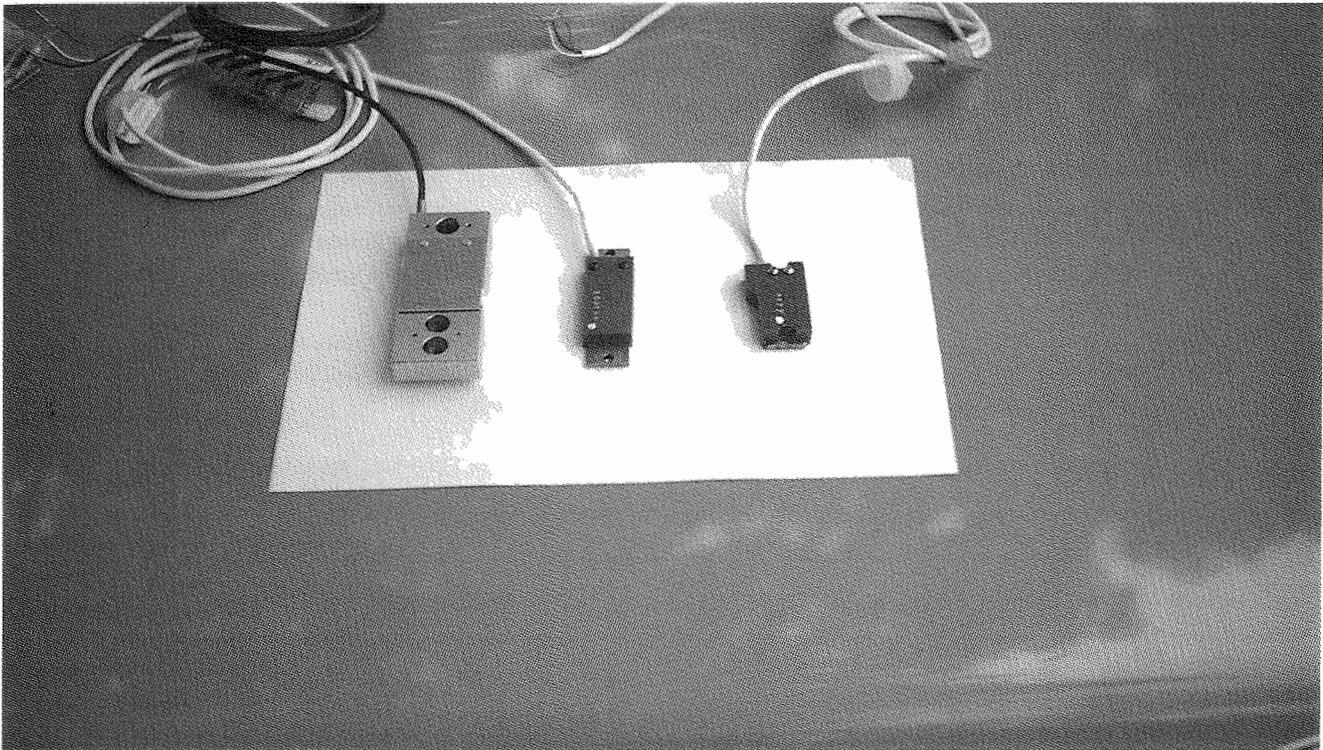


Abbildung 7: Dehnungsaufnehmer Microcell (links) und DS 5 (rechts).

3.3 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 übliche DMS-Signale (Abb. 8).

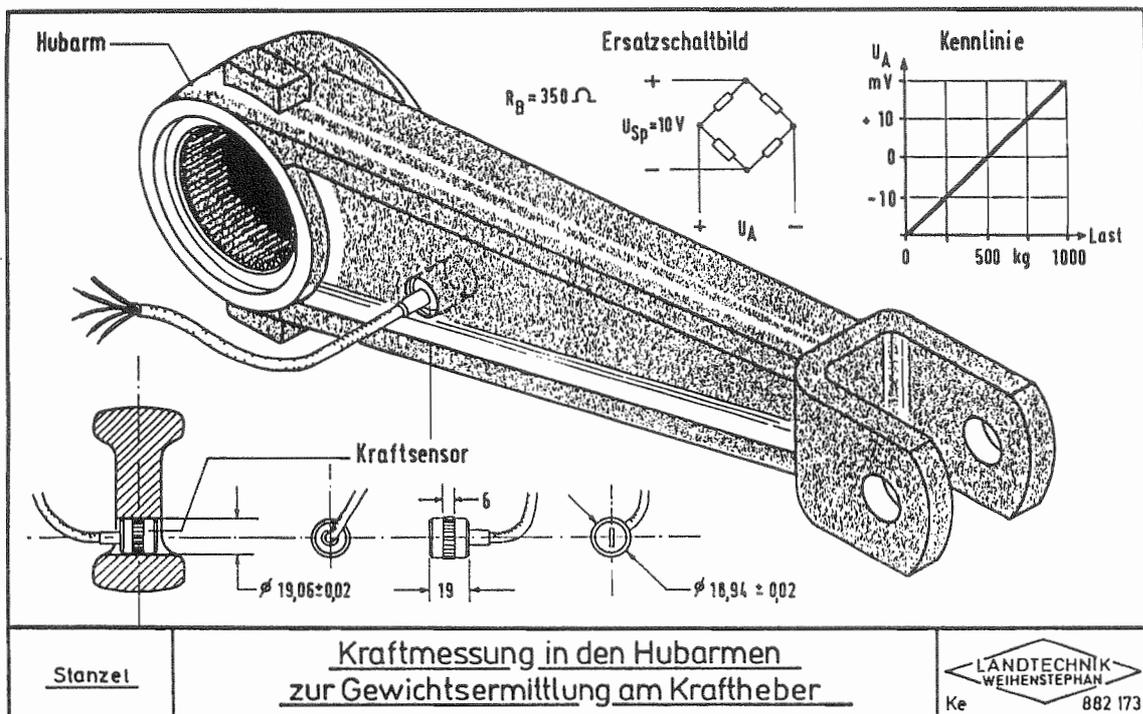


Abbildung 8: Bohrlochensensor GOZINTA in einem Hubarm zur Gewichtsermittlung am Traktor.

3.4 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 für diesen Sektor die Druckmeßumformer, die eine weitgehende Signalaufbereitung schon im Sensorgehäuse bieten. Anwendungstechnische Probleme bereiten nur die großen Temperaturspannen der Hydraulikanlage (bis 110 Grad 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 der untersuchten Gewichtsermittlung im Bereich von 5 bis 100 bar bewegt.

Die Tabelle 3 zeigt eine Zusammenfassung der bei den unterschiedlichen Versuchen eingesetzten Sensoren. Für den robusten Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis erwiesen sich einige dieser Sensoren jedoch für ungeeignet.

Tabelle 3: Liste der benutzten Sensoren zur Gewichtsermittlung.

Hersteller	Typ	Meßbereich	Preisklasse in DM
1 Wägezellen			
.1 Bongshin/Korea	3000 TRU	3 000 kg	1 000
.2 Bongshin/Korea	DBC	2 000 kg	700
.3 Pfister/Augsburg	Elastomer-Wägezelle	5 000 kg	1 000
.4 1 WZ im Landsberger Wiegerahmen		1 500 kg	
.5 3 WZ im MOBA-Wiegerahmen		2 500 kg	
2 Dehnungsaufnehmer			
.1 Hottinger/Darmstadt	DMS XY 11-6/120	2 mm/m	50
.2 Hottinger/Darmstadt	DS 5	0,6 mm/m	900
.3 Kistler Morse/USA	Microcell	0,4 mm/m	900
.4 Data Instruments/USA	WLA 1000 SL	0,25 mm/m	800
3 Bohrlochensoren			
.1 Revere/USA	Gozinta GZ 10	2 mm/m	400
.2 MOBA Elektronik/Elz	Prototyp	?	?
4 Druckmeßumformer			
.1 Hottinger/Darmstadt	P 9 V	200 bar	800
.2 Bell & Howell/USA	BHL 4201-03	250 bar	1 700
.3 Transamerica/USA	BHL 4410	160 bar	900
.4 VDO Dresser	330 408 2207	160 bar	?

Ebenso wie die Sensoren muß auch die Elektronik zur Signalverarbeitung auf den rauen Betrieb in der landwirtschaftlichen Praxis ausgelegt sein. Da die Stromversorgung aus dem Bordnetz mit seiner großen Schwankungsbreite von 9 – 16 V und eingestreuten Störimpulsen erfolgt, ist eine Filterung und sorgfältige Aufbereitung der internen Hilfsspannungen mit potentialtrennenden Spannungswandlern unerlässlich. Eine beispielhafte Auslegung für zwei Kraftsensoren soll dies aufzeigen (Abb. 9).

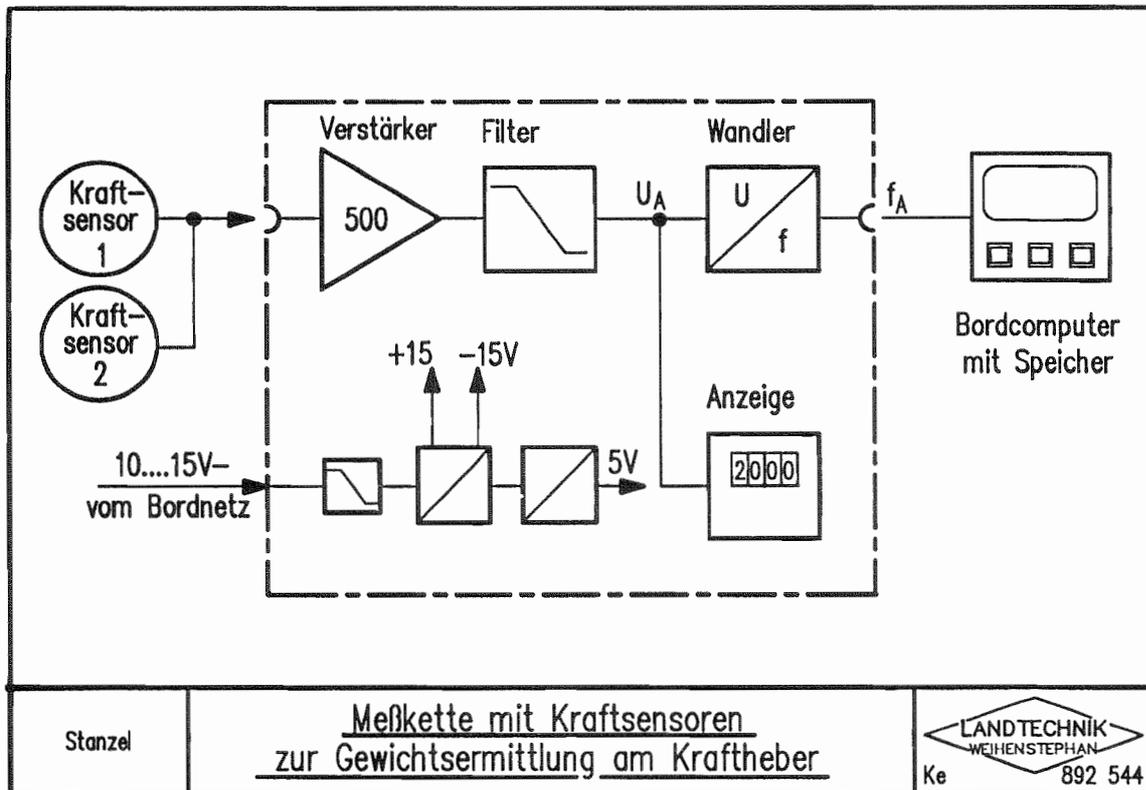


Abbildung 9: Anlage mit 2 Kraftsensoren zur Gewichtsermittlung im Traktorkraftheber.

Darin besteht die Meßkette für das Summensignal von zwei Kraftsensoren aus Verstärker, Tiefpassfilter und Spannungsfrequenzwandler, der dem Bordcomputer eine lastproportionale Pulsfrequenz zur Verfügung stellt. Diese Wiegeelektronik liefert eine hochstabile Spannung zur Speisung der DMS – Brücke (meistens 5 oder 10 V Gleichspannung). Das dabei entstehende lastproportionale Brückenausgangssignal muß aufgrund seines geringen Wertes von üblicherweise 15 – 30 mV von der Verstärkerstufe auf ein Niveau von 0 – 5 V oder 0 – 10 V angehoben werden. Ein aktives Filter befreit das Großsignal von Schwankungen. Der Spannungsfrequenzwandler wandelt das hohe Spannungssignal in ein proportionales Frequenzsignal um. Die Anzeigeeinheit bei dieser Meßkette erscheint entbehrlich, weil diese Funktion der Bordcomputer besser erfüllen kann.

4. Statische und dynamische Wiegemöglichkeiten in landwirtschaftlichen Transportfahrzeugen

Neben der Ertragsermittlung in den selbstfahrenden Erntemaschinen muß künftig auch die Transporttechnik in die Gewichtsermittlung eingeschlossen werden. Dabei ist ausgehend von der stationären Wiegung 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.

4.1 Grundlagen

Als Transporteinheiten werden in der Landwirtschaft die Anhänger und Kipper 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, welche 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 Anhängerkupplung als Ansatzpunkt für ein Wiegesystem an (Abb. 10). Da diese Bauteile bei fast allen Transportanhängern in ähnlicher Form vorhanden sind könnten gefundene Lösungsansätze universell eingesetzt werden.

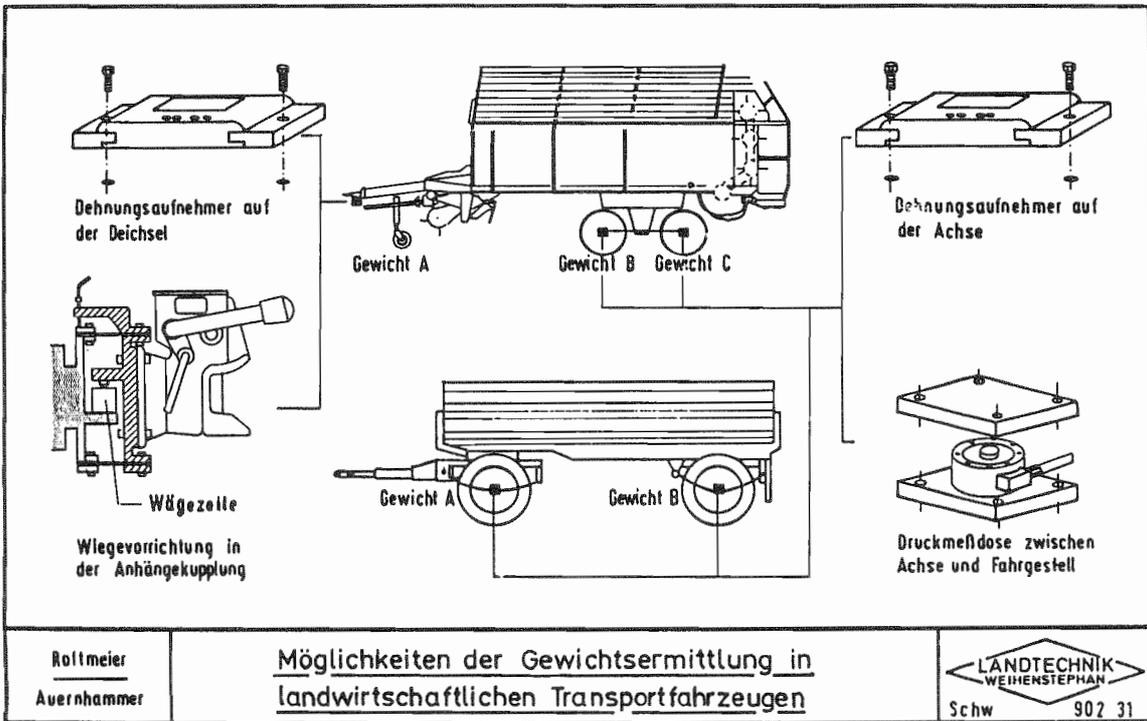


Abbildung 10: Möglichkeiten der Gewichtsermittlung in landwirtschaftlichen Transportfahrzeugen.

Bei der Suche nach geeigneten Sensoren bzw. Sensorsystemen ist das Hauptaugenmerk darauf zu richten, daß die Gewichtskraft als Meßgröße weitgehend ohne Störeinflüsse wie Kraftnebenschlüsse, Dreh- und Biegemomente, Temperaturwechsel oder Wärmestrahlung erfaßt wird. Erste Versuche zeigten, daß die in der industriellen Wägetechnik übliche Gewichtsermittlung auf der Basis von einer Dehnungsmeßstreifenapplikation auch für diesen Einsatzzweck recht gut geeignet ist. Ihre Anwendung im Fahrzeug kann im wesentlichen in drei verschiedenen Applikationsformen erfolgen (Abb. 11).

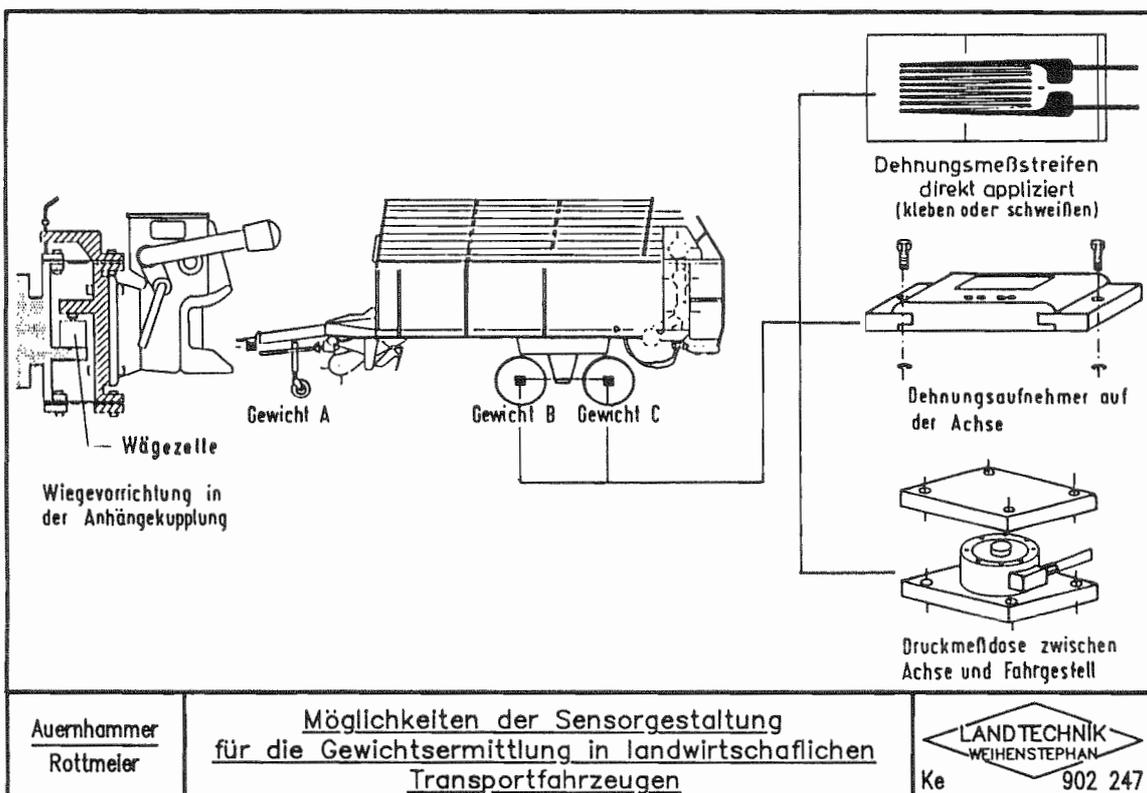


Abbildung 11: Mögliche Sensorgestaltung für das Wiegen in landwirtschaftlichen Transportfahrzeugen.

- Direktapplikation von Dehnungsmeßstreifen, welche die Verformung eines Bauteils unter der Gewichtskraft als Biege-, Scher- oder Druckspannung aufnehmen.
- Anwendung fertiger Dehnungsaufnehmer, die auf der Bauteiloberfläche aufgeschraubt werden. (Wird dabei auch die Signalaufbereitung einbezogen, dann entstehen kompakte intelligente Sensoreinheiten für eine einfache und weitgehend problemlose Anbringung vor Ort.)
- Nutzung von Dehnungsmeßstreifen direkt in einer Wägezelle. (Bei der Verwendung von Wägezellen ist allerdings abhängig von der Bauform ein mehr oder weniger großer Aufwand für die exakte Kräfteinleitung und einen konstruktiven Überlastschutz zu berücksichtigen.)

Für die Untersuchungen zur Gewichtsermittlung in landwirtschaftlichen Fahrzeugen wurden alle drei Applikationsformen herangezogen. Aus dem jeweiligen Anbringungsort und der damit verbundenen spezifischen Belastungsart ergeben sich unterschiedliche Anforderungen. In einem einachsigen Transportfahrzeug wie dem Ladewagen treten sowohl Biegespannung, Scherspannung als auch Druckspannungen auf (Abb. 12).

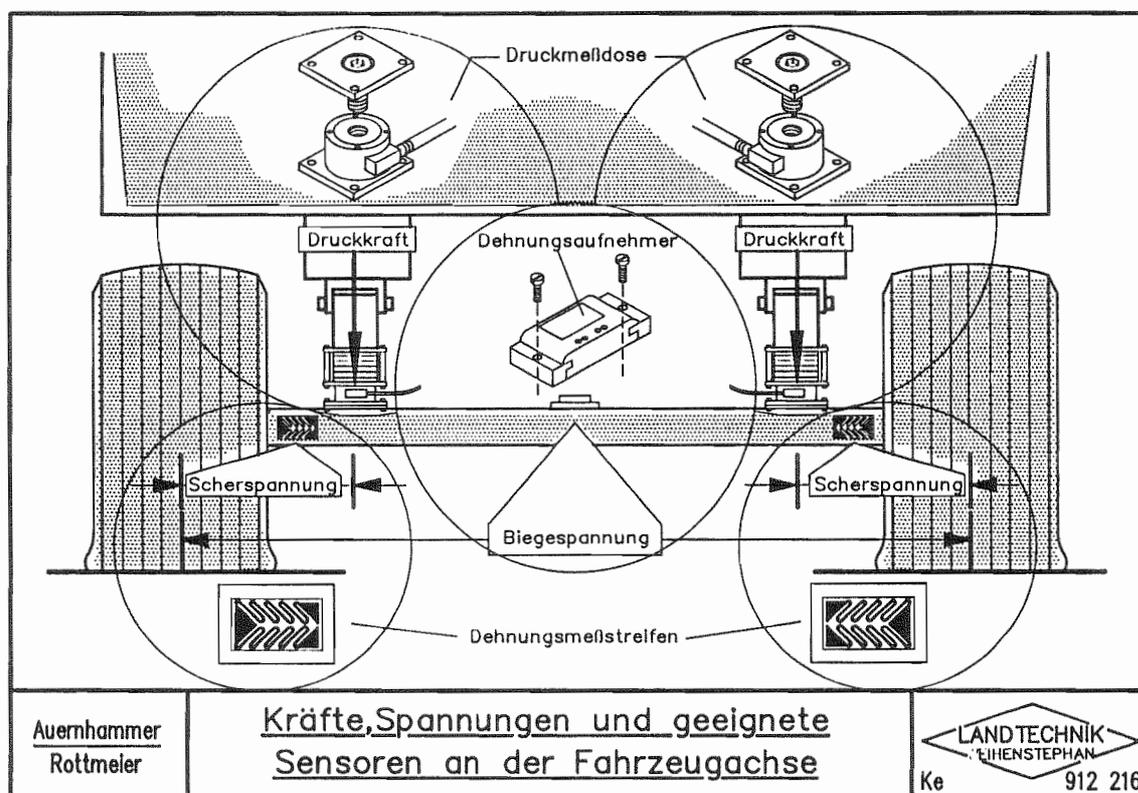


Abbildung 12: Meßbare Kräfte und Spannungen an der Fahrzeugachse.

In Hinblick auf die dynamische Gewichtsermittlung ist zu berücksichtigen, daß während der Fahrt nicht nur die Gewichtskraft auf die Fahrzeugbauteile wirkt, sondern daß auch in Abhängigkeit von der Bodenoberfläche und der Fahrgeschwindigkeit erhebliche Beschleunigungskräfte auftreten. Zur Ermittlung dieser Beschleunigungskräfte wird ein Beschleunigungsaufnehmer benötigt, der im Prinzip die Auslenkung einer ruhenden Masse mit Hilfe von Dehnungsmeßelementen erfaßt. Diese Sensoren sind mittlerweile durch kostengünstige Massenfertigung mit geringen Abmessungen und niedrigem Gewicht erhältlich.

4.2 Versuchsdurchführung

Entsprechend den unterschiedlichen Möglichkeiten wurden die statischen Versuche an einem ungefederten einachsigen Ernteladewagen, einem gefederten Tandemachs-Ladewagen und einem gefederten Zweiachs-Dreiseitenkipper durchgeführt.

Dazu erfolgte nach der jeweiligen Applikation der Sensoren die Be- und Entlastung der Ladefläche mit 30-kg-Gewichten (0,05% Genauigkeit) in Schritten von 60 kg (Abbildung 13). Bei jedem Durchgang wurden in der

Regel 4 Wiederholungen gemacht. Als Referenz für die einzelnen Rad- und Deichsellasten dienten Radlastwaagen mit einem Lastbereich von 2000 kg und 0,1 % Genauigkeit (Abbildung 14).



Abbildung 13: 30-kg-Gewichte auf der Ladefläche des Ladewagens.

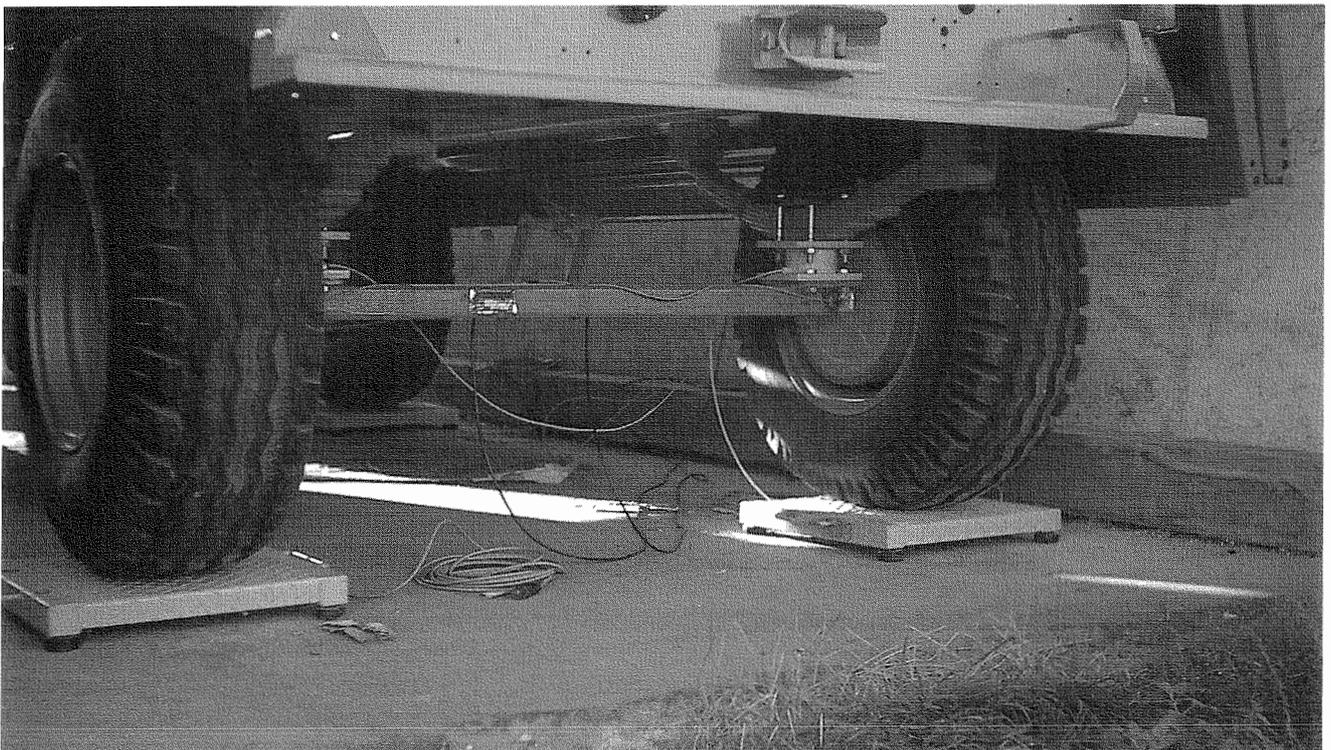


Abbildung 14: Meßanordnung am Kipper mit Radlastwaagen.

Die modifizierte Anhängerkupplung wurde mit einer Radlastwaage und mit einer 2-to Präzisionszuglastzelle überprüft.

Die Meßwerterfassung erfolgt hierbei über einen PC 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.

Die dynamischen Messungen erfolgten ausschließlich an den beiden Ladewagen. Zum einen wurden Fahrten mit bestimmten Gewicht auf verschiedenen Böden und mit verschiedenen Geschwindigkeiten durchgeführt. Zum anderen wurden aber auch Messungen während des Be- und Entladens von Grünfutter vorgenommen. Die Aufzeichnung dieser Daten erfolgte mit einem Billig-PC (Atari-Portfolio) auf dem Schlepper (Abb. 15) und einem Zweikanal-Multimeter mit Schnittstelle.



Abbildung 15: PC Portfolio auf dem Schlepper.

4.2.1 Biegespannung in Achse und Deichsel

Zur Erfassung der Biegespannung in den Achsen und in der Deichsel wurden direkt applizierte DMS und aufgeschraubte Dehnungsaufnehmer eingesetzt (Abbildung 16 und 17). Diese Aufnehmer wurden in der Mitte der Achse und auf der Ober- und Unterseite der Deichsel (DMS) angebracht.

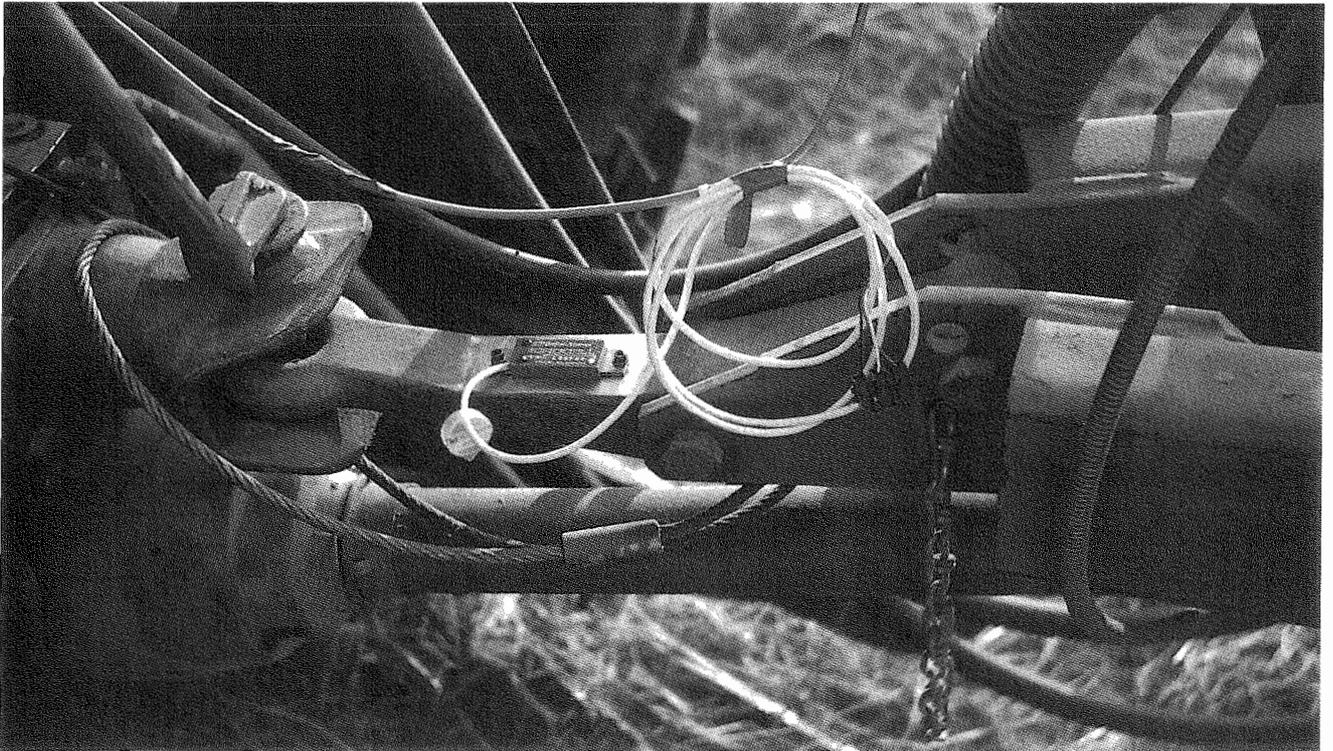


Abbildung 16: **Dehnungsaufnehmer Microcell auf der Deichsel.**

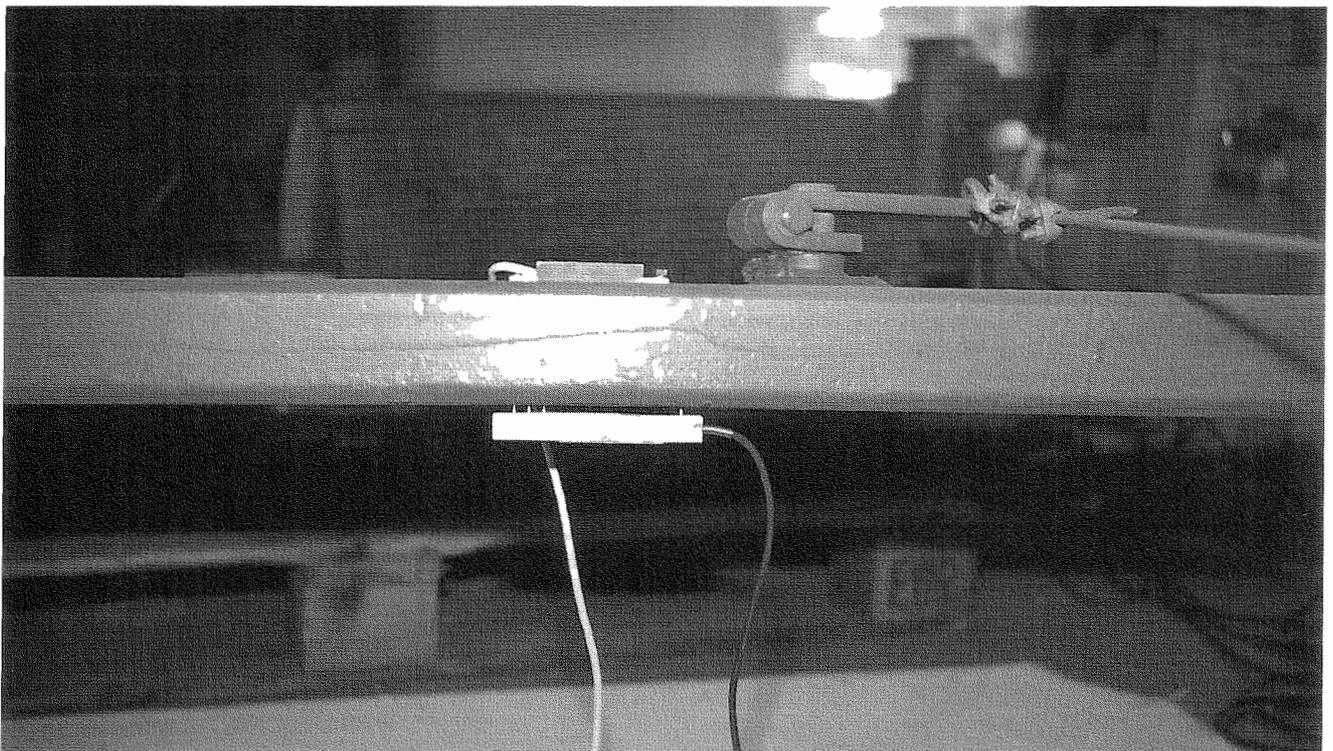


Abbildung 17: **Dehnungsaufnehmer Microcell (oben) und DS 5 auf der Achse.**

Durch das stufenweise Aufbringen der Last von vorne nach hinten ist der Verlauf der Gewichtsanzeige der Achse und der Deichsel nicht linear (Abb.18). Die Deichsel wird nach einem gewissen Punkt wieder entlastet. Dagegen ergibt die Summe aus beiden kalibrierten Signalen eine weitgehend lineare Gerade.

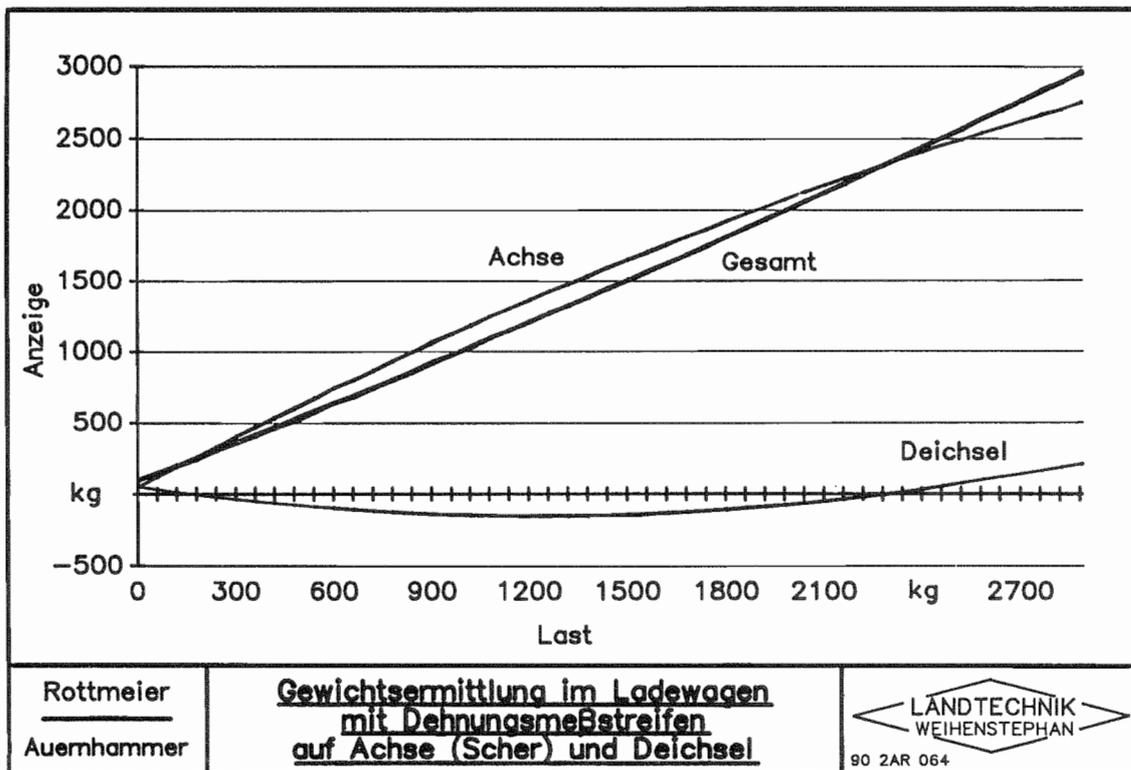


Abbildung 18: Gewichtsermittlung am Ladewagen mit DMS auf Achse und Deichsel.

Es zeigte sich, daß bei Betrachtung der Belastung eine sehr gute Linearität und Wiederholbarkeit erzielt werden kann. Der absolute Fehler bewegte sich bei der Belastung von 0 – 3000 kg je nach Aufnehmer zwischen 5 kg und 15 kg (Abb. 19 und 20). Allerdings stellte sich heraus, daß sowohl am Ladewagen als auch am Kipper an den Achsen eine große Hysterese von annähernd 100 kg zwischen Belastungs- und Entlastungsvorgang zu verzeichnen ist (Abb. 21 und 22). Die Ursache der großen Umkehrspanne ist wohl begründet durch die Abhängigkeit der Druck- und Zugspannungen in der Achse von deren Geometrie. Weiterhin zeigte sich, daß die einseitig aufgeschraubten Dehnungsaufnehmer eine mehr oder weniger starke Temperaturabhängigkeit aufweisen.

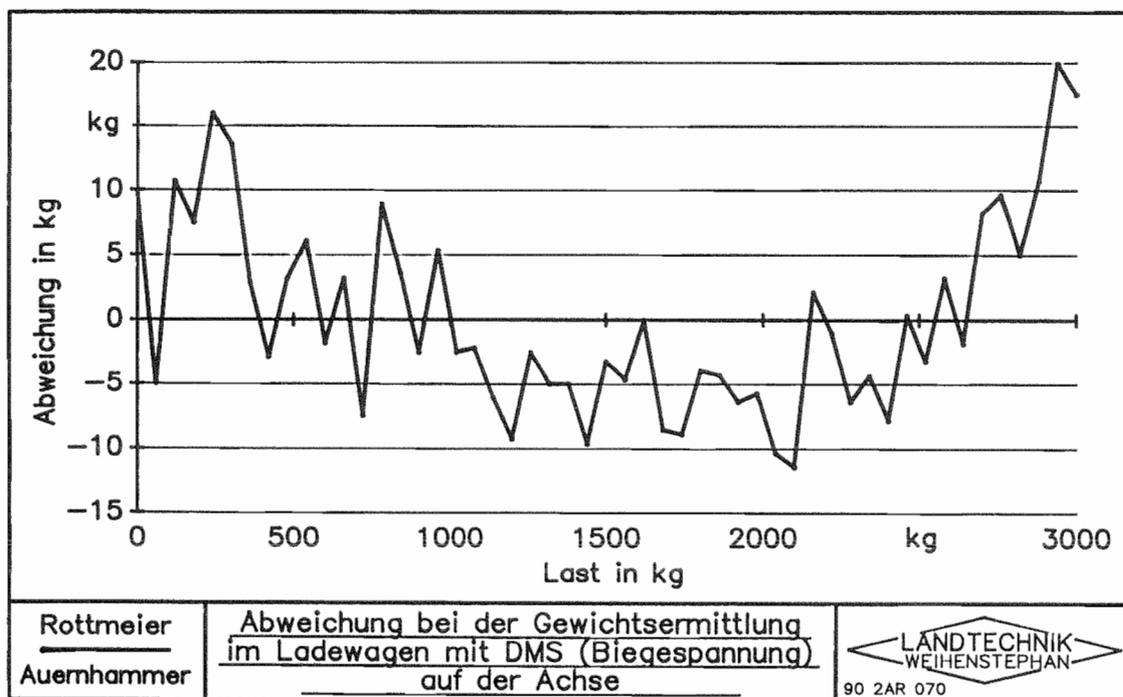


Abbildung 19: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung im Ladewagen mit DMS (Biegespannung) auf der Achse.

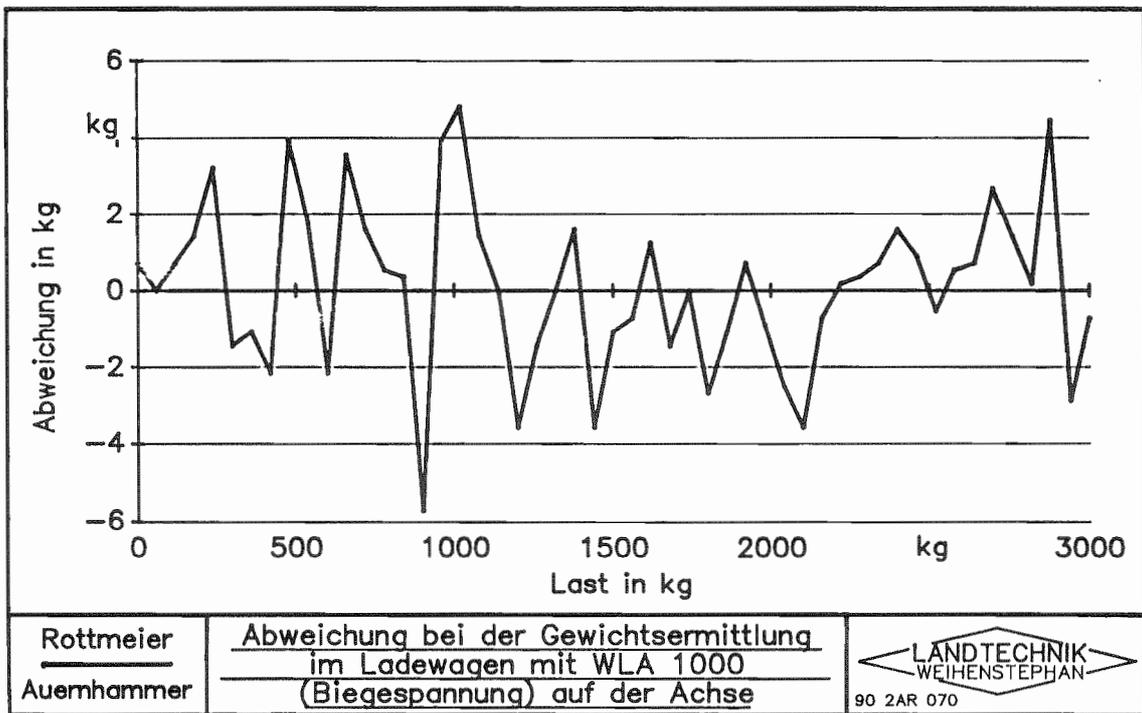


Abbildung 20: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung am Ladewagen mit WLA 1000 (Biegespannung) auf der Achse.

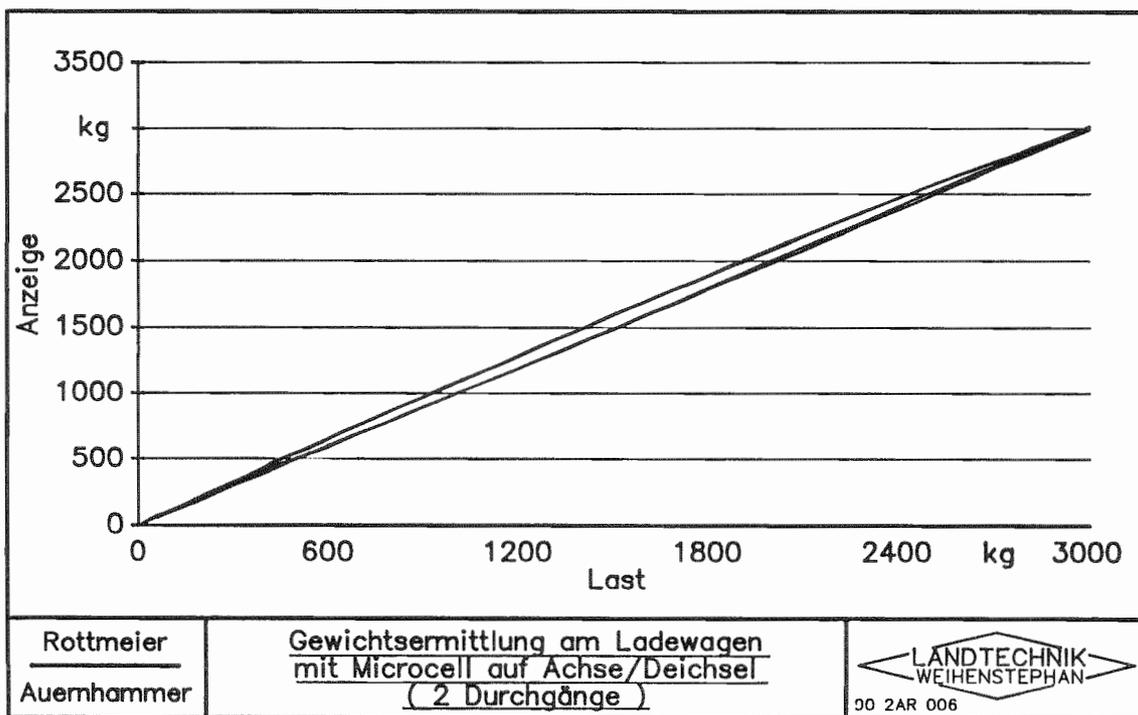


Abbildung 21: Gewichtsermittlung am Einachsladewagen mit Microcell auf Achse und Deichsel .

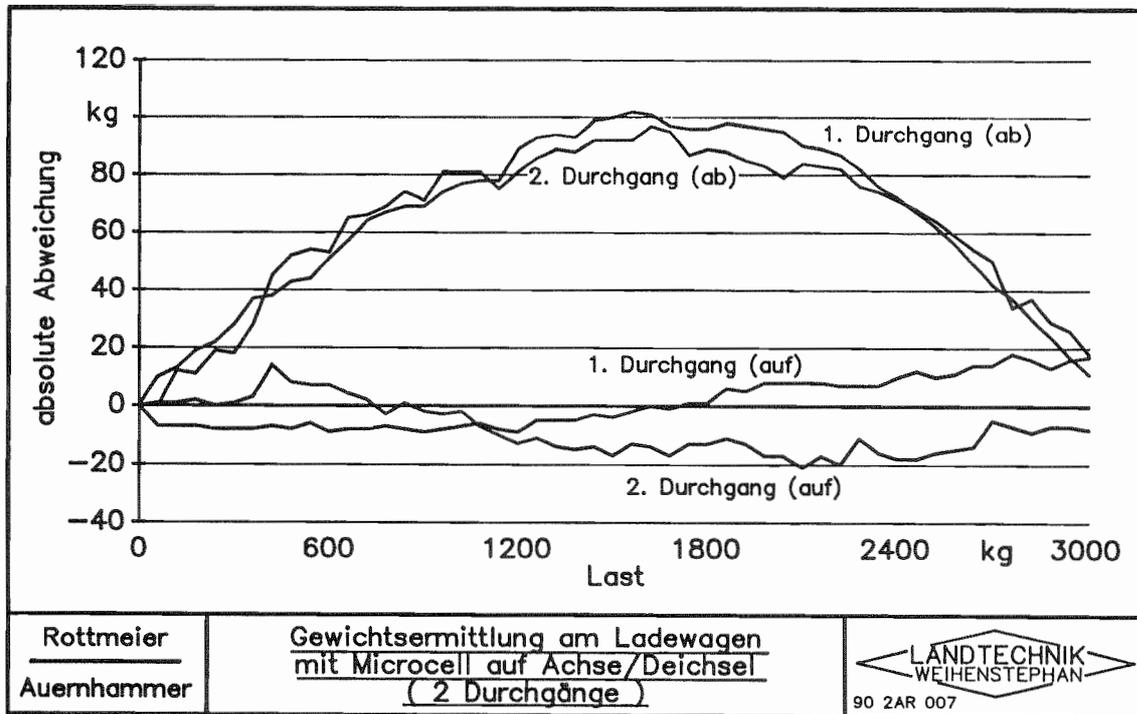


Abbildung 22: Absolute Abweichung bei 2 Durchgängen am Ladewagen mit Microcell auf Achse (Scherspannung) und Deichsel.

Sehr genau waren jedoch die Meßergebnisse mit dieser Anordnung an der Deichsel (Abb. 23). Der absolute Fehler (95 % Vertrauensbereich) von $\pm 1,6$ kg bezieht sich auf eine Belastung der Deichsel bis ca 900 kg bei einer Gesamtlast von 3000 kg auf dem Ladewagen.

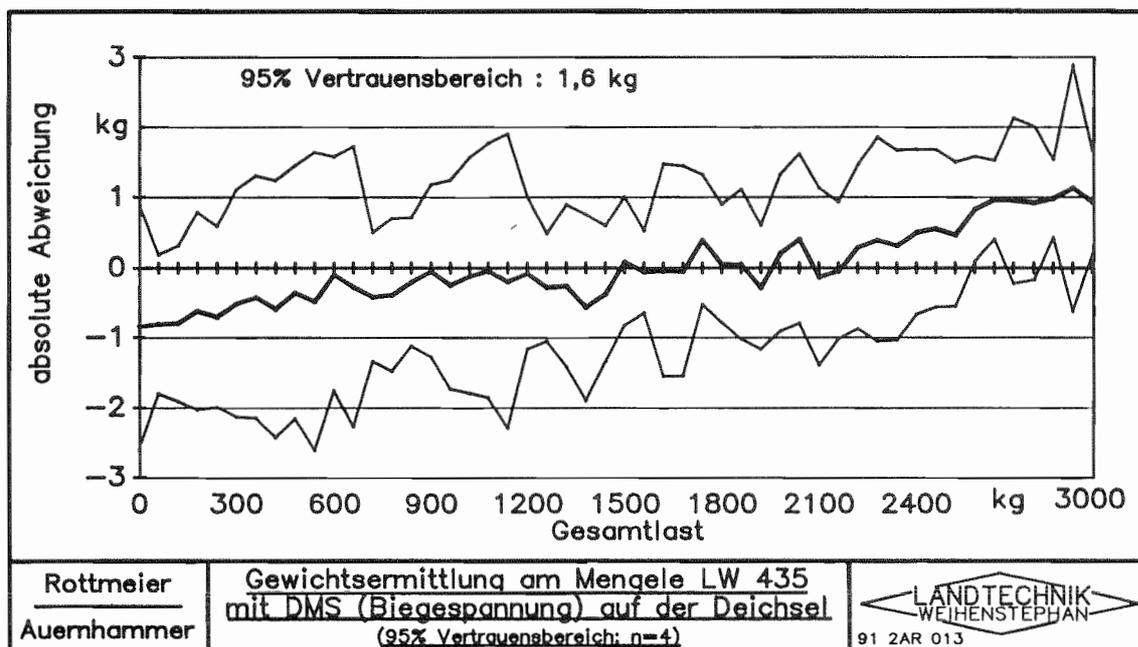


Abbildung 23: Gewichtsermittlung am Mengele LW 435 mit DMS (Biegespannung) auf der Deichsel.

4.2.2 Scherspannung in der Achse

Als Ausweg aus den Hysteresisproblemen an den Achsen erschien die Erfassung der Scherspannung, die in dem Achsenabschnitt zwischen dem Rad und der Befestigung der Achse am Rahmen wirkt.

In diesem Fall sind allerdings pro Achse zwei Meßstellen erforderlich, weil die Scherspannung auf jeder Achsenseite je nach der Lastverteilung auf dem Fahrzeug unterschiedlich ist. Bereits aus Kostengründen und zur besseren Temperaturkompensation ist die direkte DMS-Applikation gegenüber anderen Aufnehmern günstiger (Abb. 24).



Abbildung 24: DMS- Applikation auf der Achse (Scherspannung).

Die Versuche am Tandemachsladewagen (Abb. 25 und 26) zeigen, daß mit dieser Anordnung eine Genauigkeit von absolut ± 37 kg (95 % Vertrauensbereich) und von relativ 4,4 % erreichbar ist. Die Hysterese stellt bei dieser Anordnung kein Problem mehr dar.

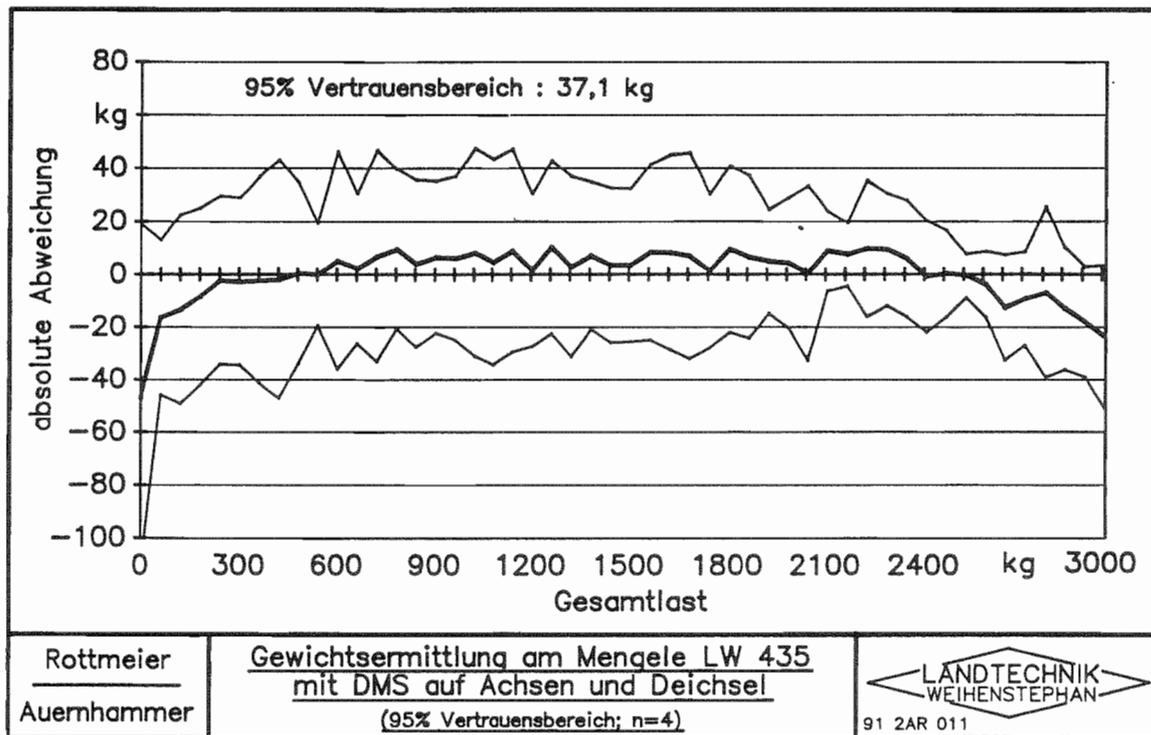


Abbildung 25: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung am Mengele LW 435 mit DMS auf Achsen (Scherspannung) und Deichsel.

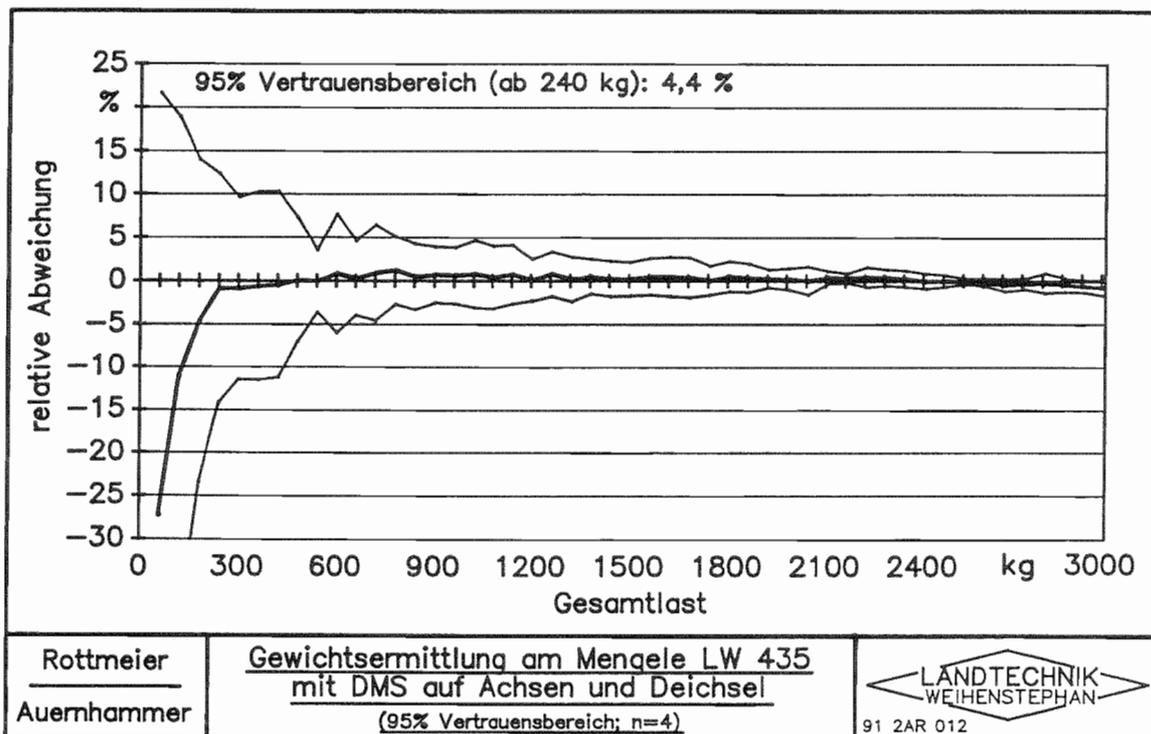


Abbildung 26: Relativer Fehler bei der Gewichtsermittlung am Mengele LW 435 mit DMS auf Achsen (Scherspannung) und Deichsel.

Diese Meßergebnisse können sicherlich durch eine vom Spezialisten durchgeführte DMS-Applikation mit Abgleich der Meßbrücken und einer zusätzlichen Temperaturkompensation noch verbessert werden. Der Einfluß der Güte der Applikation ist auch daran zu erkennen, daß die 1. Achse mit einem Fehler von nur 20,5 kg ein wesentlich besseres Ergebnis als die zweite Achse mit 33,3 kg zeigte (Abb. 27 und 28).

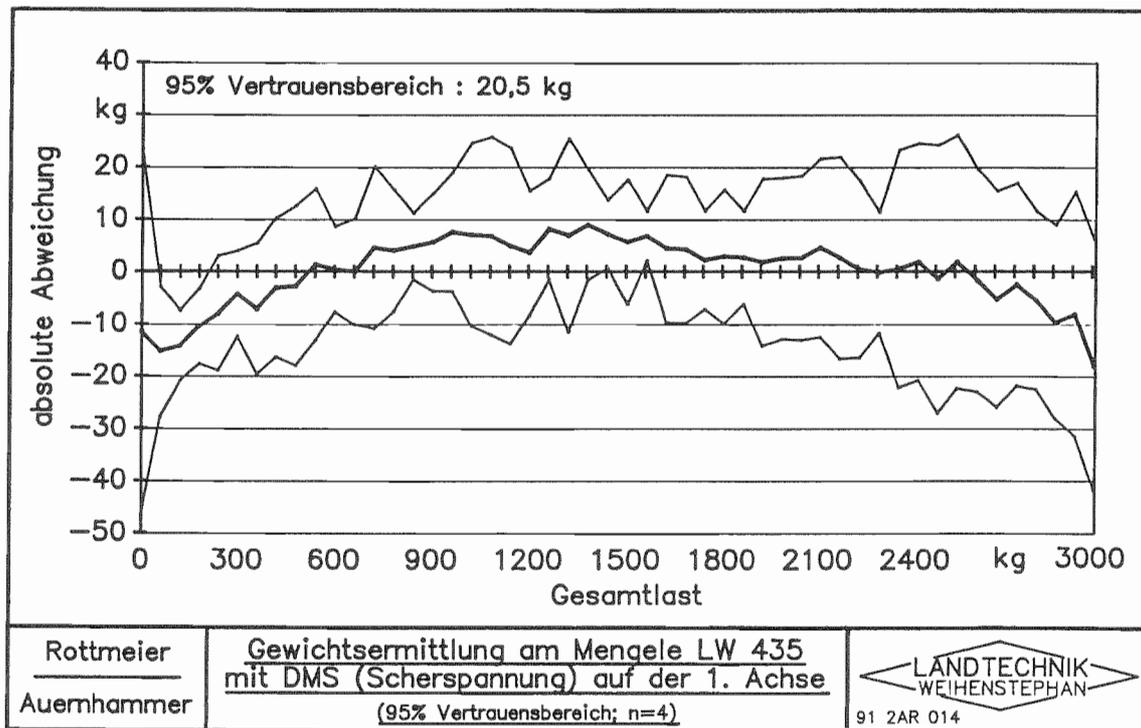


Abbildung 27: Absoluter Fehler am LW 435 mit DMS auf der 1. Achse (Scherspannung).

Die zu beobachtende geringe Nichtlinearität an der ersten Achse dürfte auf die spezielle Federung beim Mengele Ladewagen zurückzuführen sein. Durch die Einfederung ändert sich der Winkel der Achse zur Horizontalen und damit auch die Richtung der Kraft geringfügig.

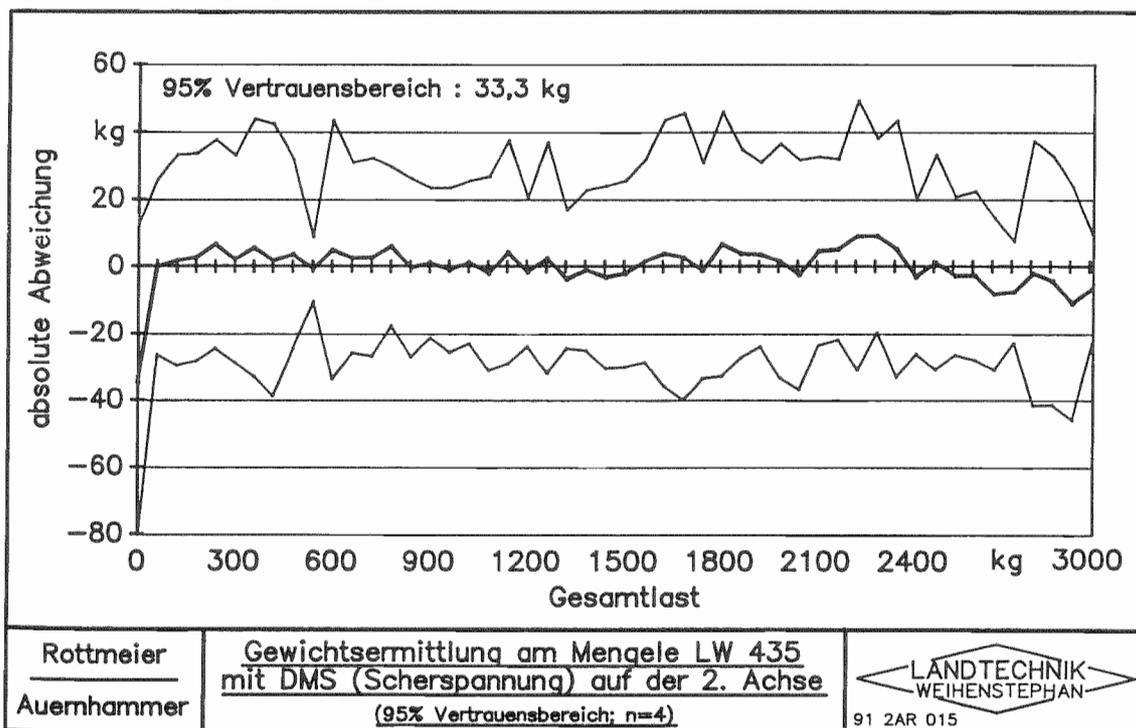


Abbildung 28: Absoluter Fehler am Mengele LW 435 mit DMS auf der 2. Achse (Scherspannung).

Eine Verbesserung wäre durch einen geringeren Achsquerschnitt oder eine hochwertige Auswertelektronik zu erreichen, um den Fehler bei der Verstärkung des extrem niedrigen Ausgangssignals zu verringern. Wie hoch die Genauigkeit unter günstigen Bedingungen sein kann zeigt die Abbildung 29. Dieses Ergebnis bezieht sich auf einen Meßdurchgang am Einachsladewagen. Der absolute Fehler bewegt sich für das gesamte Fahrzeug bei einer Belastung bis 3 to innerhalb ± 10 kg.

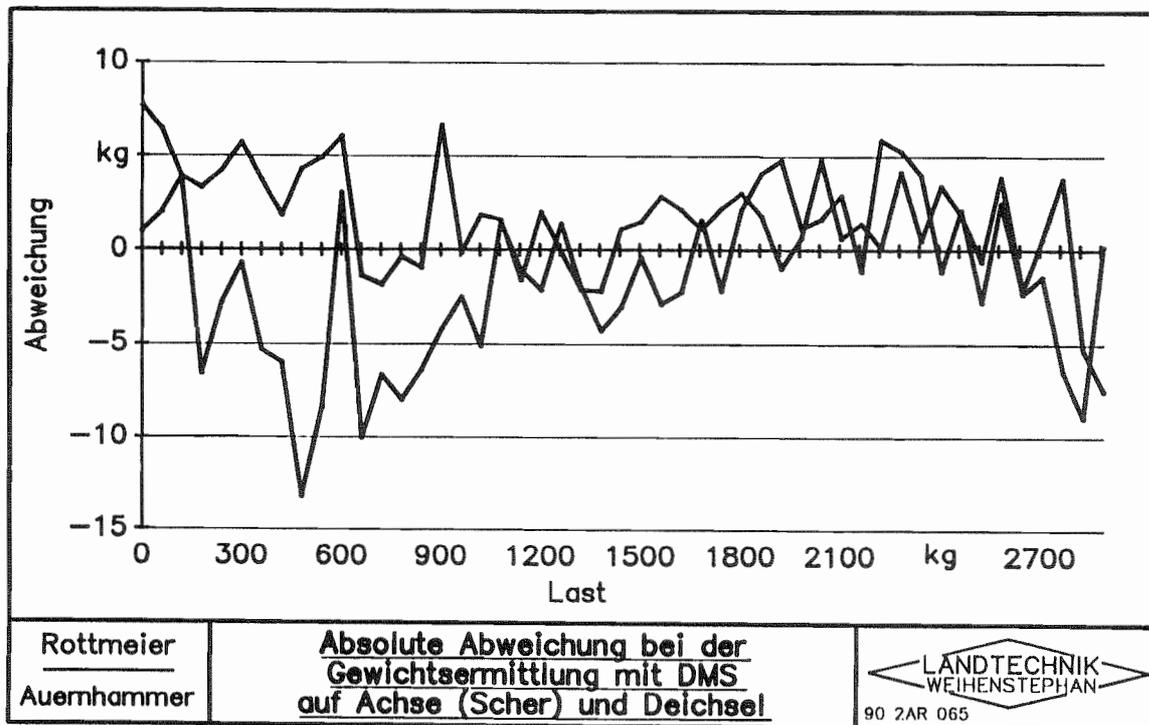


Abbildung 29: **Absolute Abweichung bei der Gewichtsermittlung mit DMS auf Achse (Scher) und Deichsel.**

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. Deshalb bietet sich mit dem Einsatz von geeigneten Wägezellen eine weitere Alternative.

4.2.3 Wägezellen zwischen Achse und Rahmen

Zur Ermittlung der Achslasten bietet sich wie bereits erwähnt die Verbindung zwischen Achse und Federung bzw. zwischen Achse und Rahmen als geeignete Meßstelle an. Verfügbare Druckkraftwägezellen müssen dazu soweit abgeändert werden, daß sie verwindungsfrei eingebaut werden können (Abb. 30). Dabei muß eine je nach Aufnehmer optimale Kräfteinleitung gewährleistet sein. 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. Im durchgeführten Versuch wurden damit die höchsten absoluten und relativen Genauigkeiten von 4,3 kg bzw. 0,5 % erreicht (Abb. 31 und 32). Mit dieser Sensorapplikation wurden die gestellten Genauigkeitsanforderungen weit unterschritten.

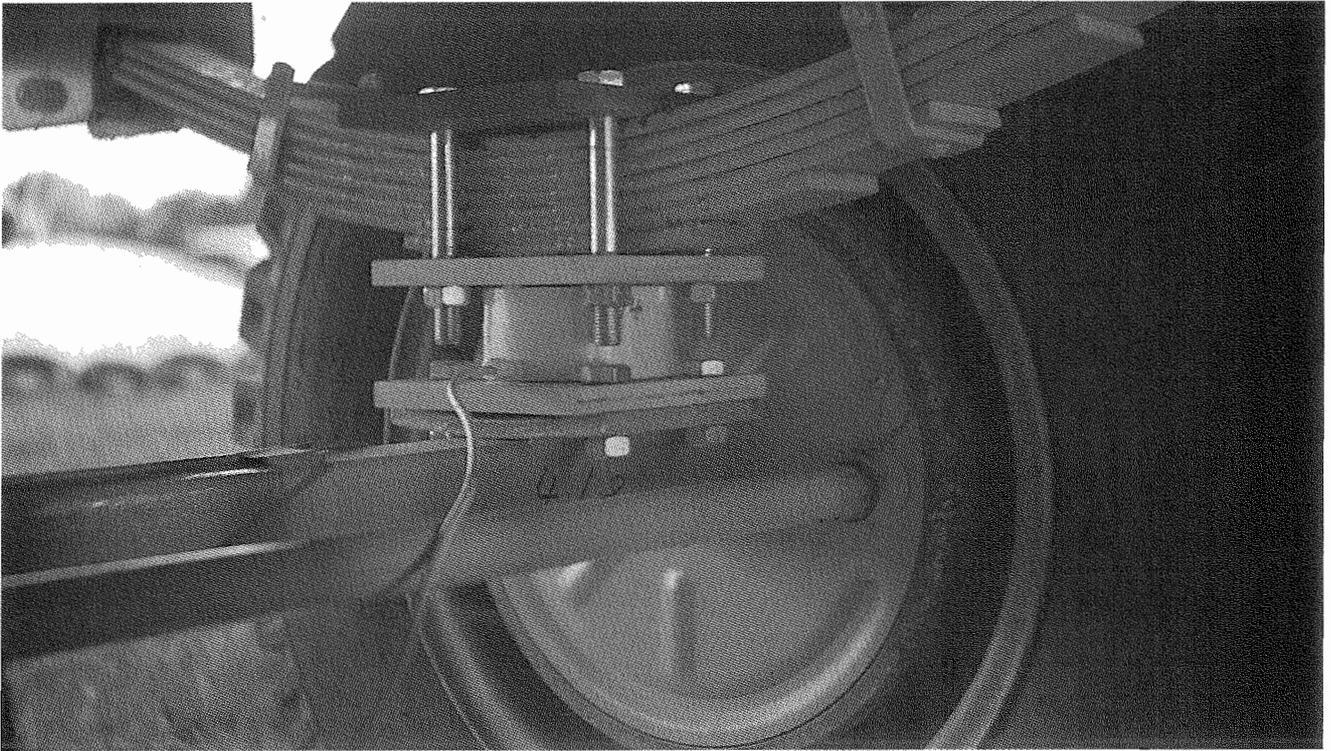


Abbildung 30: Elastomer-Wägezelle zwischen Achse und Federung.

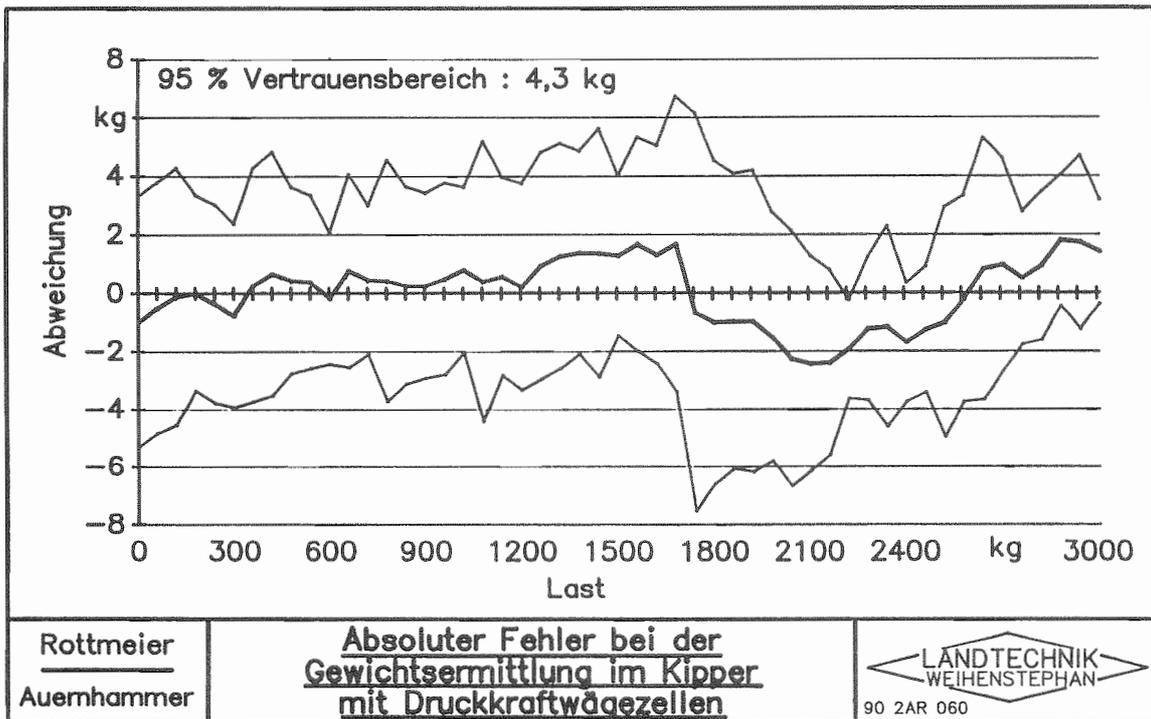


Abbildung 31: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung im Kipper mit Druckkraftwägezellen.

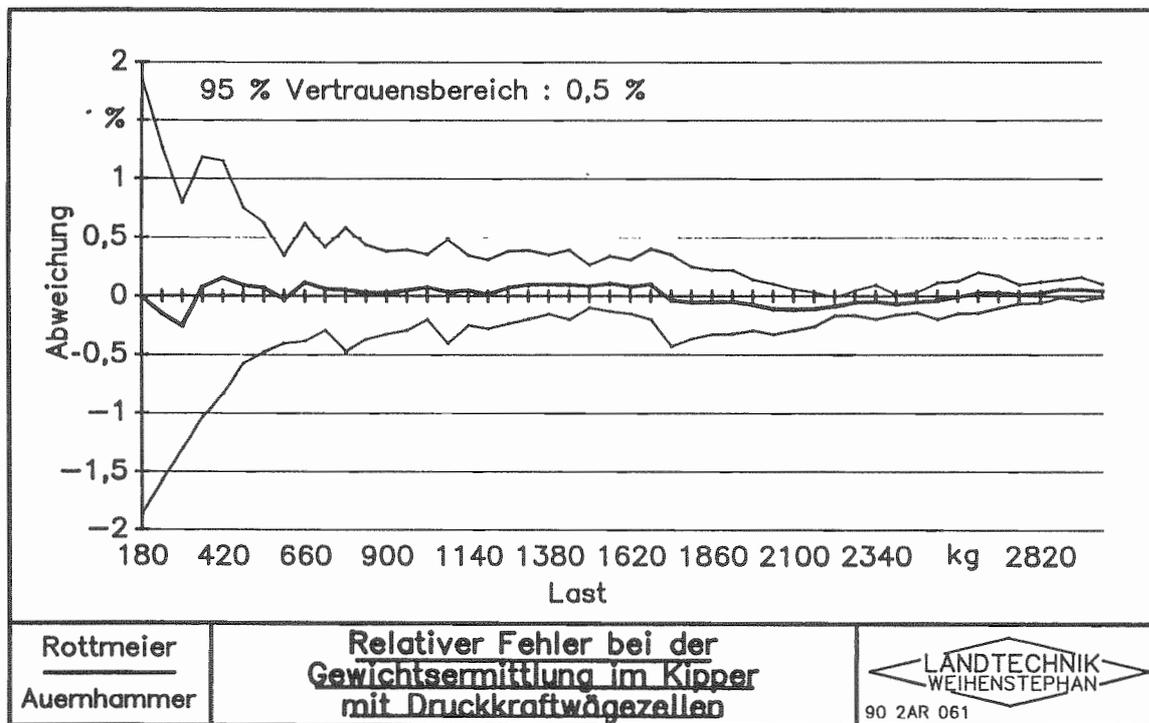


Abbildung 32: Relativer Fehler bei der Gewichtsermittlung im Kipper mit Druckkraftwägezellen.

Eine weitere Meßstelle mit einer Wägezelle bildet die bereits erwähnte Anhängerkupplung, die nach dem Prinzip des "Landsberger Wiegerahmens" gestaltet wurde (Abb. 33). Das anhängerseitige Zugmaul stützt sich dabei über eine 2-to Wägezelle auf der schlepperseitigen Anbaukonsole ab. Beide Elemente sind über Federstahlbänder verbunden, welche die horizontalen Kräfte aufnehmen. Auch bei diesem Meßprinzip sind höchste Genauigkeiten (Abb. 34 und 35) von absolut 2,5 kg oder relativ 0,6 % bei einer Belastung bis 1200 kg zu realisieren.

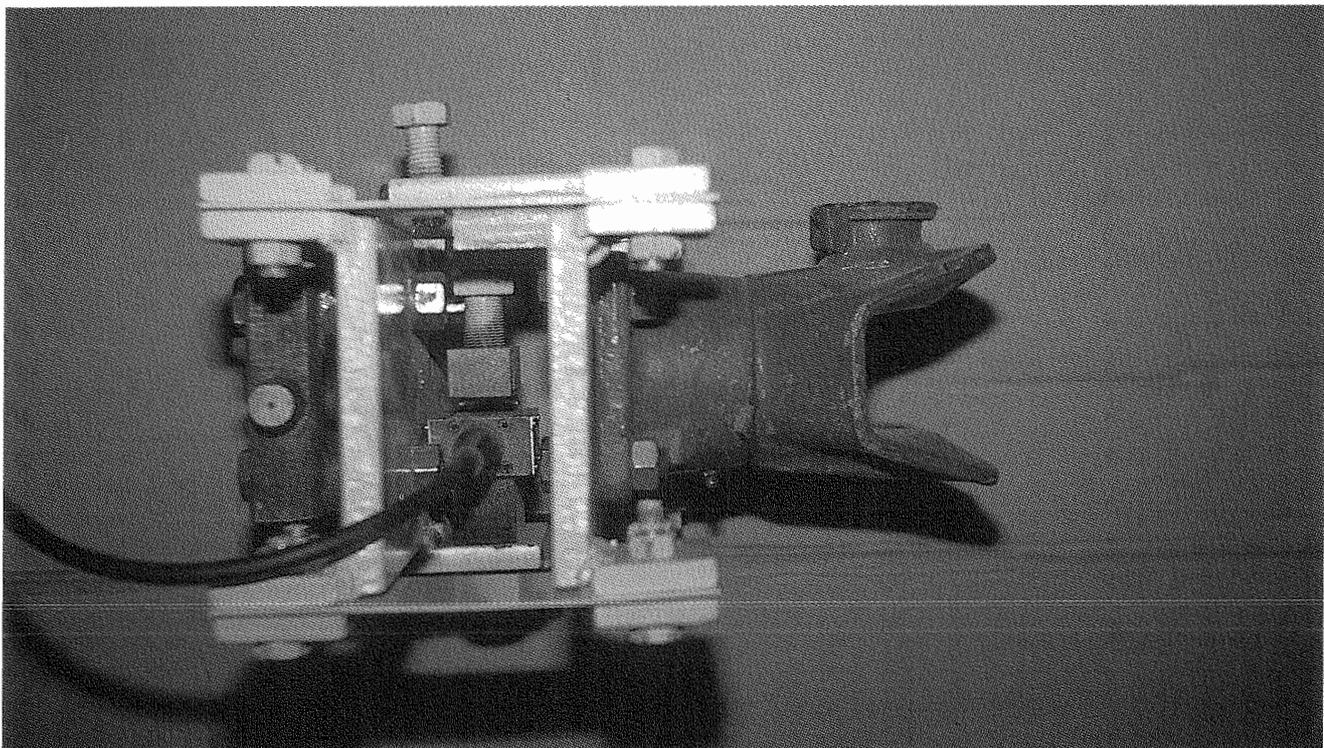


Abbildung 33: Seitenansicht der Anhängerkupplung mit Wägezelle.

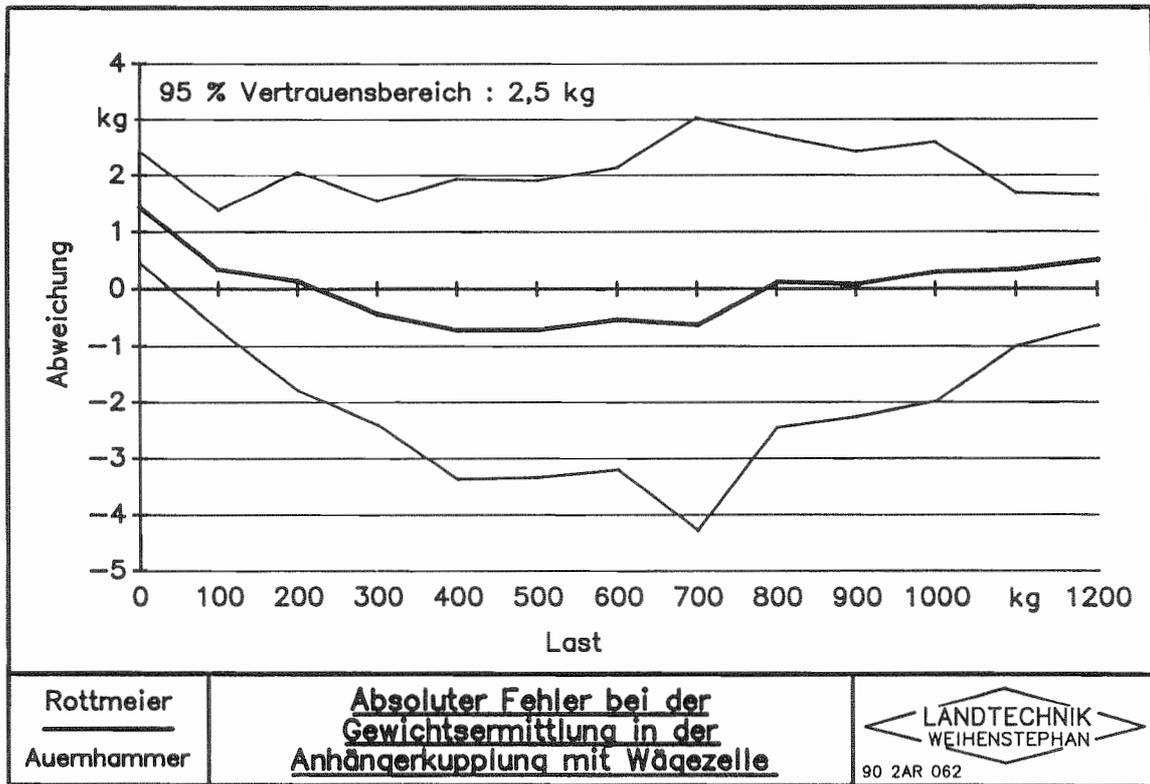


Abbildung 34: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung in der Anhängerkupplung mit Wägezelle.

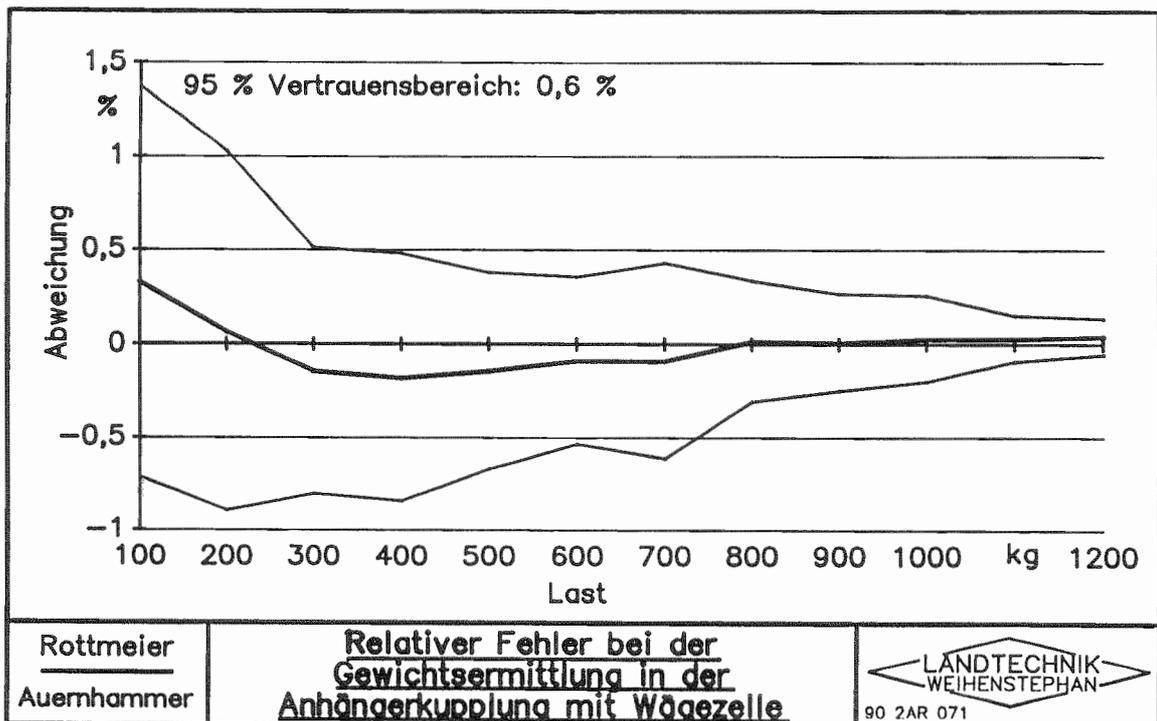


Abbildung 35: Relativer Fehler bei der Gewichtsermittlung in der Anhängerkupplung mit Wägezelle.

Hierzu 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. Erst eine technische Untersuchung über die Auslegung der Bauteile und der Verbindungselemente kann klären, wie die Verbindung zwischen Achse und Fahrzeug oder die Anhängerkupplung aussehen muß.

4.3 Dynamische Wiegeversuche

Bei den ersten Versuchen zur Erfassung des Gewichtes während der Fahrt wurde der Einachsladewagen mit einem bestimmten Gewicht belastet und die Meßanordnung kalibriert. Die maximale Abtastrate lag systembedingt bei ca 4 Hz. Aus den ersten Auswertungen lassen sich bereits mehrere Erkenntnisse ableiten (Abb. 36):

- Der Einfluß von überlagerten Störgrößen bewegt sich im Bereich von ± 1500 kg. Daraus läßt sich schließen, daß die einwirkenden Beschleunigungskräfte in einem Bereich von $\pm 1g$ liegen.
- Der Störeinfluß der Pickup auf die Achslast ist sehr gering.
- Da der Gesamtmittelwert einer Fahrt ähnlich wie bei der dynamischen Gewichtsermittlung in der Dreipunkthydraulik annähernd der aufgebrauchten Last entspricht, liegt die Schlußfolgerung nahe, durch die Berechnung des gleitenden Mittelwertes eine Verbesserung des Ergebnisses zu erzielen. Abbildung 37 zeigt die Verringerung der Schwankungen von zunächst ± 1000 kg auf ± 150 kg (gleitender Mittelwert über 12 Werte) bzw. auf ± 100 kg (gl. Mittelwert über 24 Werte).

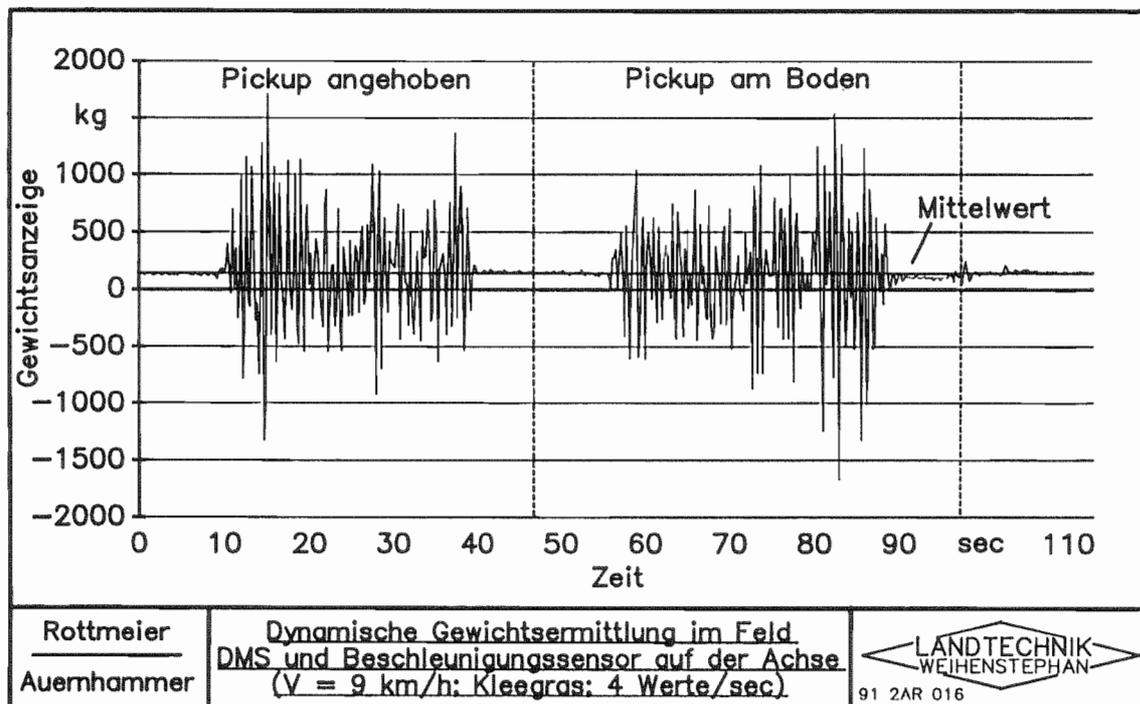


Abbildung 36: Dynamische Messung der Achslast beim Einachsladewagen mit DMS (Schersp.) auf der Achse ($v = 9$ km/h; Kleegras).

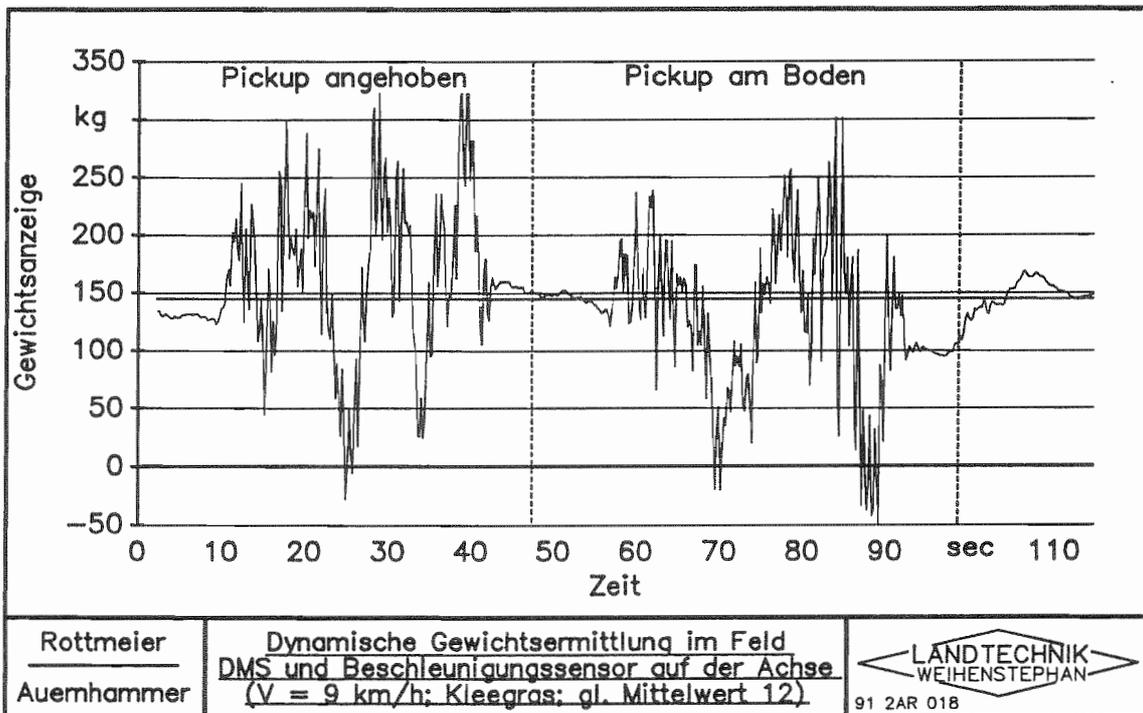


Abbildung 37: Dynamische Gewichtsermittlung am Einachsladewagen mit DMS auf der Achse ($v = 9 \text{ km/h}$; Klee gras; gleitender Mittelwert aus 12 Werten).

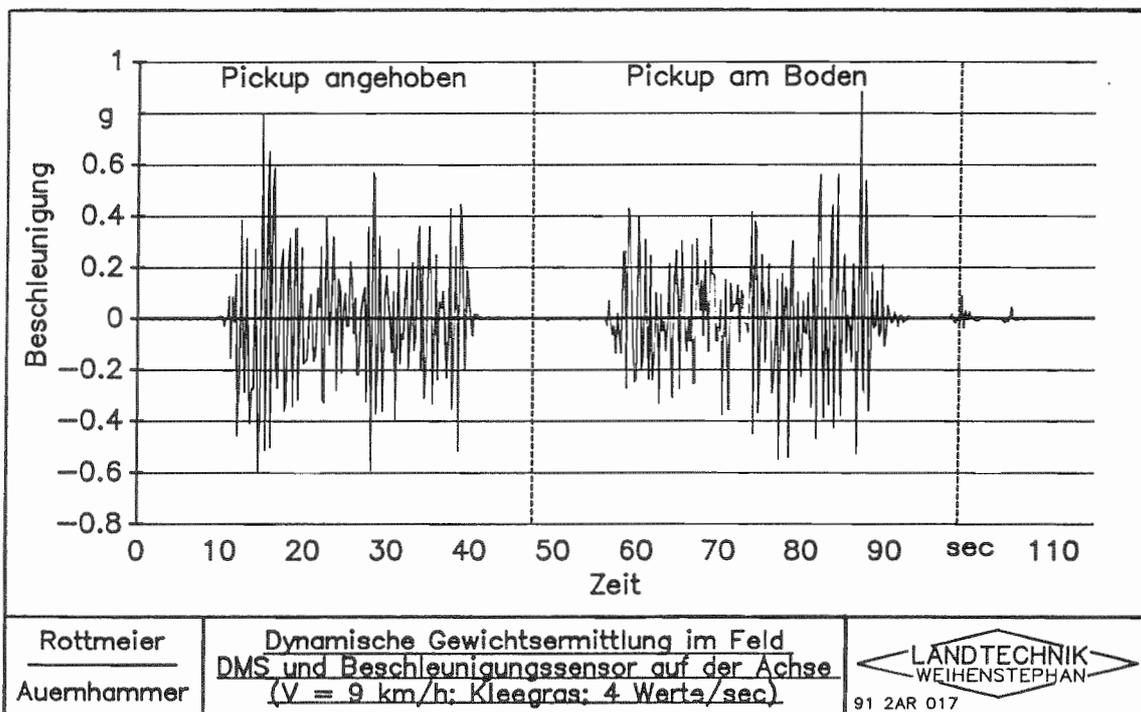


Abbildung 38: Auftretende Beschleunigungskräfte während der Fahrt beim Einachsladewagen mit Beschleunigungssensor auf der Achse ($v = 9 \text{ km/h}$; Klee gras).

Die folgenden Untersuchungen mit einem bekannten Gewicht auf der Ladefläche und einem Beschleunigungssensor auf der Achse gaben näheren Aufschluß über den Einfluß der Beschleunigungskräfte an der Achse:

- Die Beschleunigungskräfte bewegen sich im Bereich von $\pm 1g$ (Abb. 38).
- Es lässt sich ein positiver Zusammenhang zwischen der Beschleunigung und den Lastsprüngen erkennen (Abb. 39).

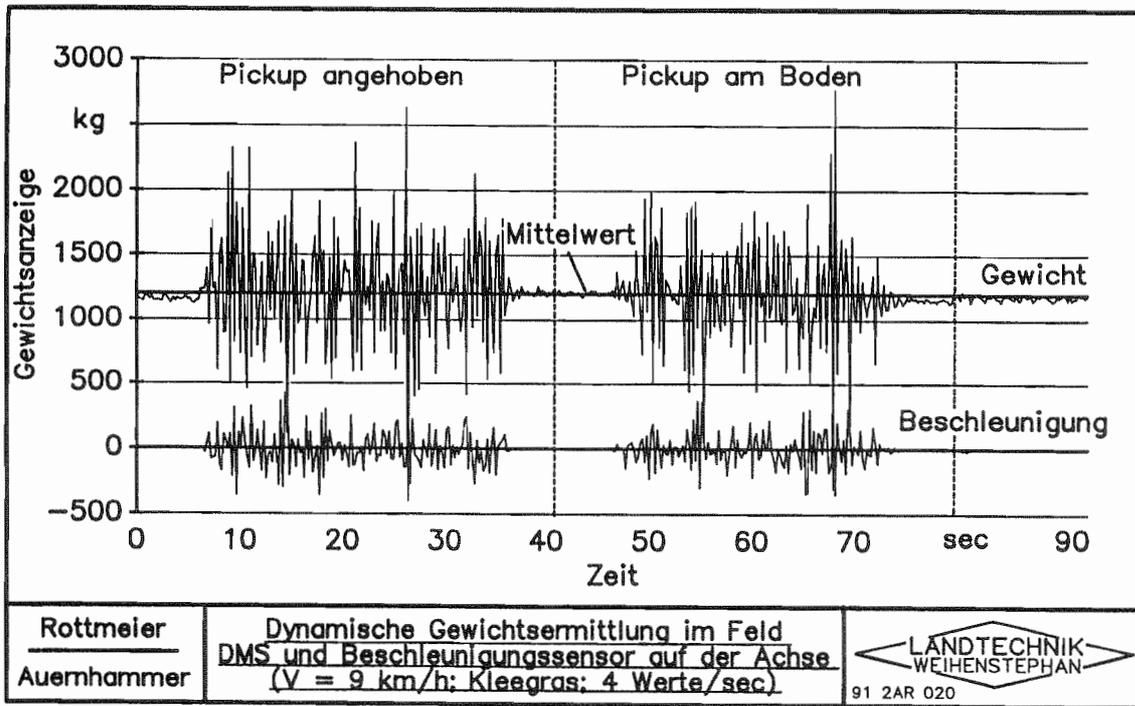


Abbildung 39: Dynamische Gewichtsermittlung im Feld mit DMS und Beschleunigungssensor auf der Achse ($v = 9 \text{ km/h}$; Klee gras).

Weitere Erkenntnisse sind von der Anbringung des Beschleunigungssensors direkt an der DMS-Meßstelle und einer schnelleren Datenerfassung zu erwarten. Erst nach diesen Untersuchungen ist zu klären, inwiefern die Verrechnung des Beschleunigungssignales zur Verringerung des Fehlers bei der dynamischen Gewichtsermittlung beitragen kann.

Die Abbildungen 40 und 41 zeigen abschließend den normalen und den geglätteten Verlauf von dynamischen Messungen während des Ladens von Grünfutter mit dem Einachsladewagen. In diesem Fall wurde sowohl die Deichsel als auch die Achslast erfaßt. Hier ist wiederum der geringe Einfluß der Pickup – Abstützung auf den Boden erkennbar. Die vorher gewonnenen günstigen Ergebnisse werden auch hier im praktischen Anwendungsfall bestätigt.

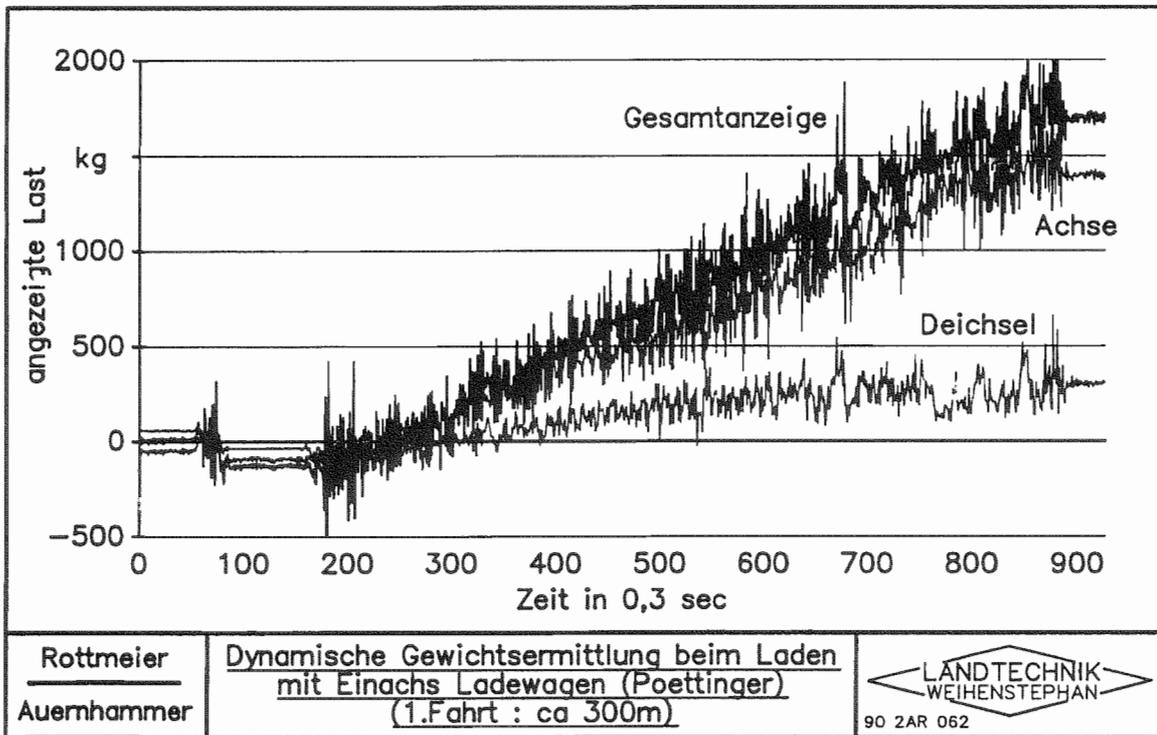


Abbildung 40: Dynamische Gewichtsermittlung beim Laden mit dem Einachsladewagen (ca 300 m).

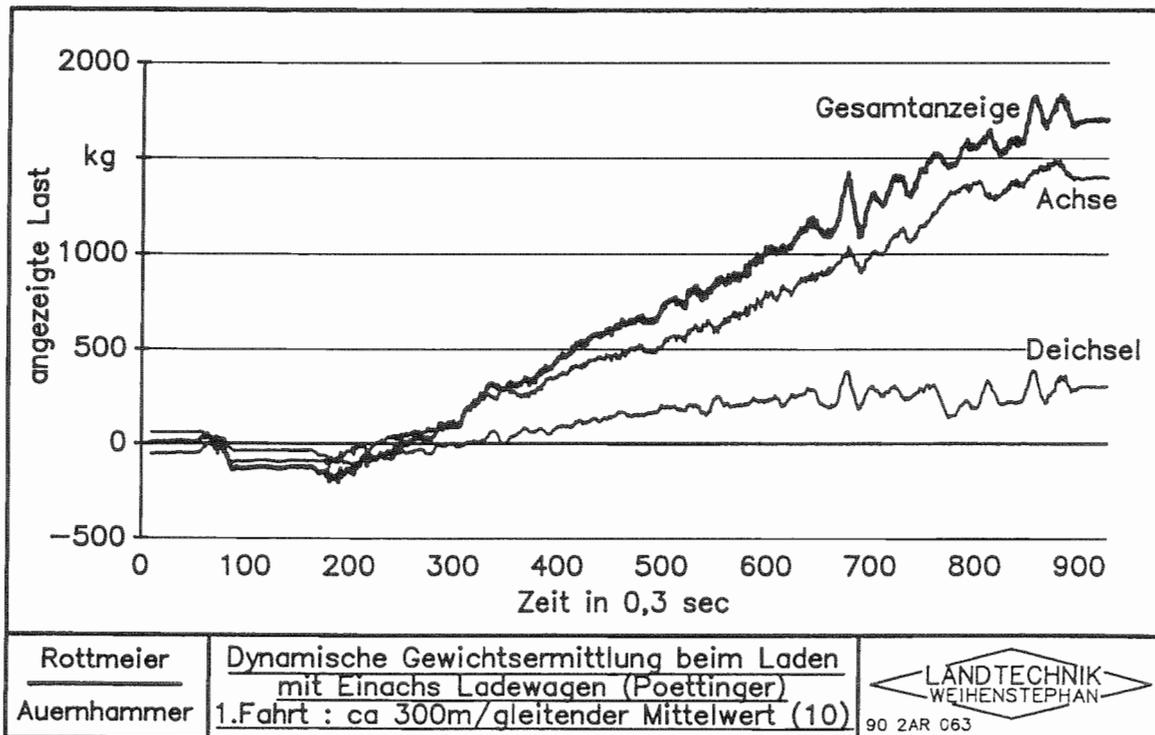


Abbildung 41: Dynamische Gewichtsermittlung beim Laden mit dem Einachsladewagen (ca 300 m; gleitender Mittelwert aus 10 Werten).

5. Untersuchungen zur Genauigkeit von Wiegeeinrichtungen in der Schlepperhydraulik

Für die Düngung und das Handling von Rundballen oder Silageblöcken stellt jeweils der Schlepper die Transporteinheit dar. Folglich kann dort die Verwiegung in der Dreipunkthydraulik eine universelle Lösung darstellen. In Verbindung mit dem mobilen Agrarcomputer besteht die Möglichkeit die zusätzlich erforderliche Technik auf die Sensorik und die Signalaufbereitung einzuschränken. In Frage kommen vier unterschiedliche Systeme (Abb. 42).

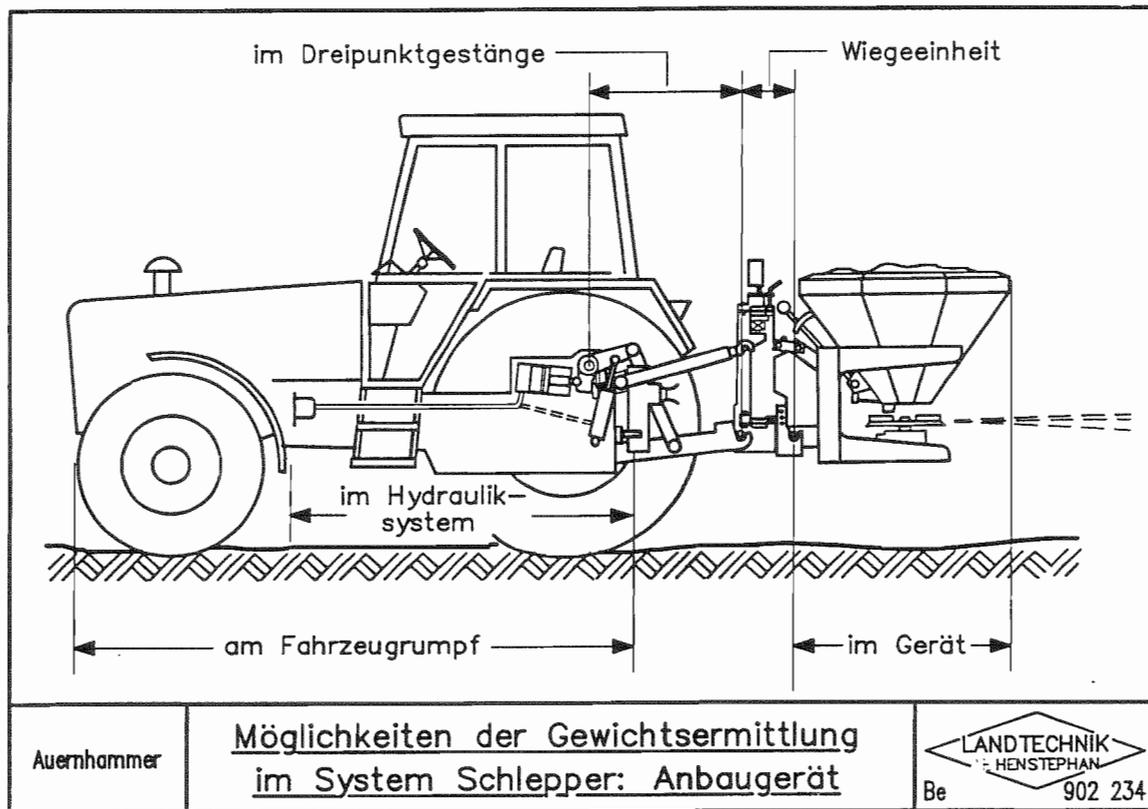


Abbildung 42: Systeminterne Möglichkeiten der Gewichtsermittlung in der Schlepperdreipunkthydraulik.

Eine erste Möglichkeit eröffnet sich bei der Erfassung der Lastverteilung am Schlepperrumpf. Dies 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 Saat- und Pflegeschlepper ansprechen.

Die wohl einfachsten Möglichkeiten bieten sich im Hydrauliksystem. Allerdings liegen zwischen ihm und der Last am Anbaugerät viele Störgrößen in Form von Gelenken, seitlichen Kraftnebschlüssen und sich verändernder Kinematik.

Eine weitere Möglichkeit bietet danach das Dreipunktgestänge, welches schon näher an der zu erfassenden Gewichtslast liegt und damit weniger Störgrößen enthält. Sowohl die Hubarme, wie auch die Hubstreben sind dabei prädestinierte Bauteile.

Völlig unabhängig von all diesen Störgrößen ist letztlich aber nur ein eigenes Gerät zwischen Dreipunktgestänge und Anbaugerät.

Alle diese Möglichkeiten haben systeminterne 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),
- niedriger Preis.

5.1 Versuchsaufbau

5.1.1 Untersuchte Systeme

Die genannten vier Systeme für die Gewichtsermittlung in der Dreipunkthydraulik können auch nach der Integration in den Traktor eingeordnet werden (Abb. 43).

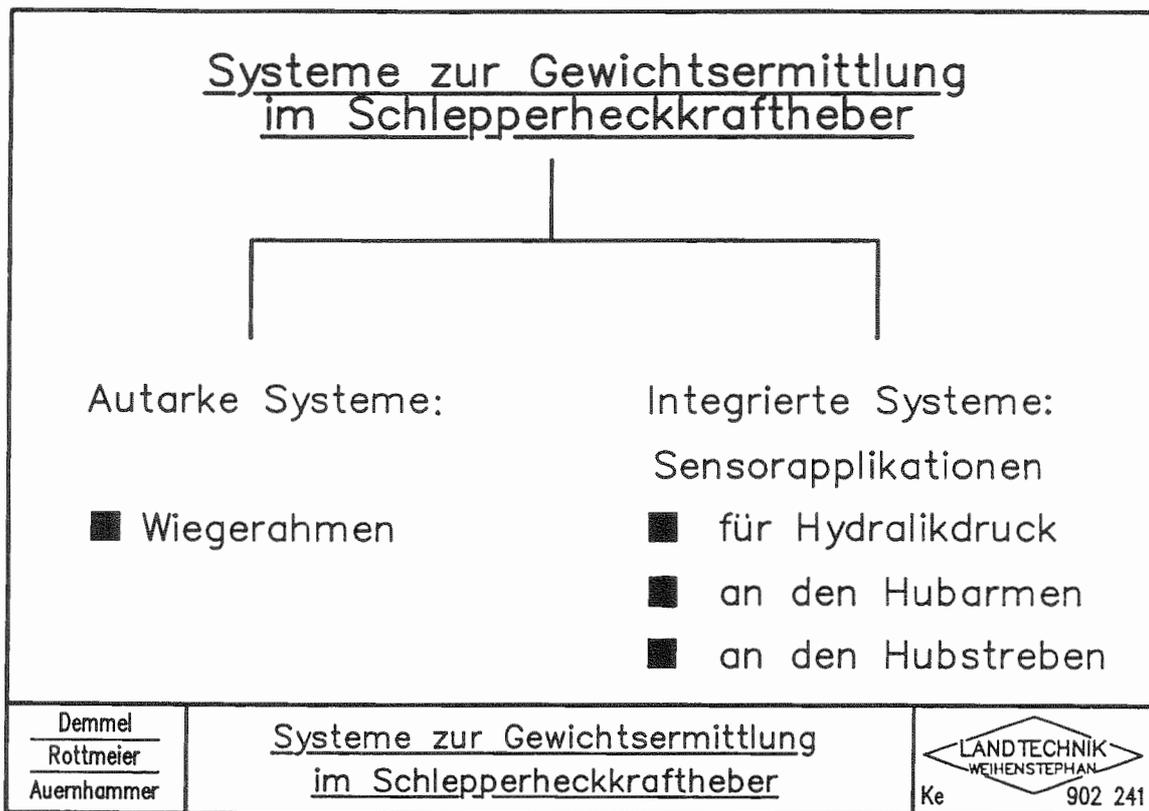


Abbildung 43: **Autarke und integrierte Systeme zur Gewichtsermittlung in der Schlepperdreipunkthydraulik.**

5.1.2 Versuchsdurchführung

Als Versuchsfahrzeuge standen ein 59 kW Allradgeräteträger mit konventionell – mechanischer Hydraulikhubwerksregelung und ein 121 kW Allradschlepper mit EHR IV 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 (Abb. 44 und 45).

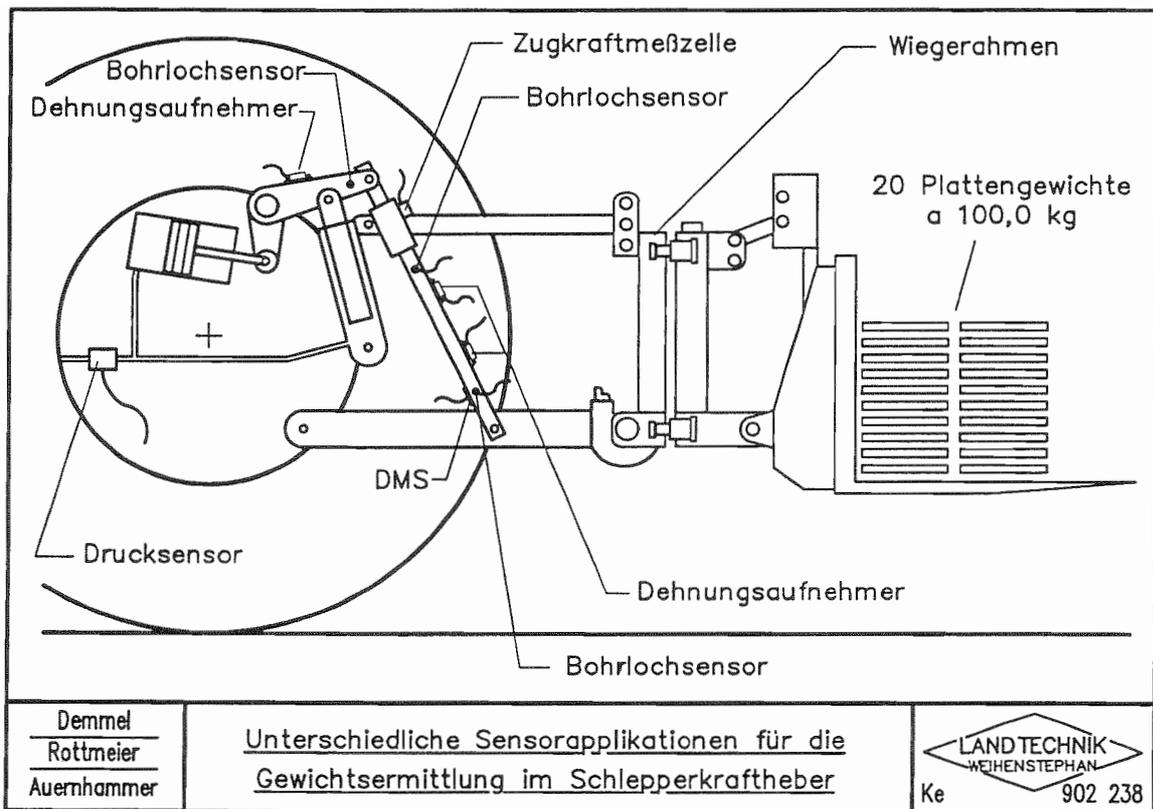


Abbildung 44: Versuchsaufbau und Anordnung unterschiedlicher Sensoren bei der Gewichtsermittlung in der Dreipunkthydraulik.

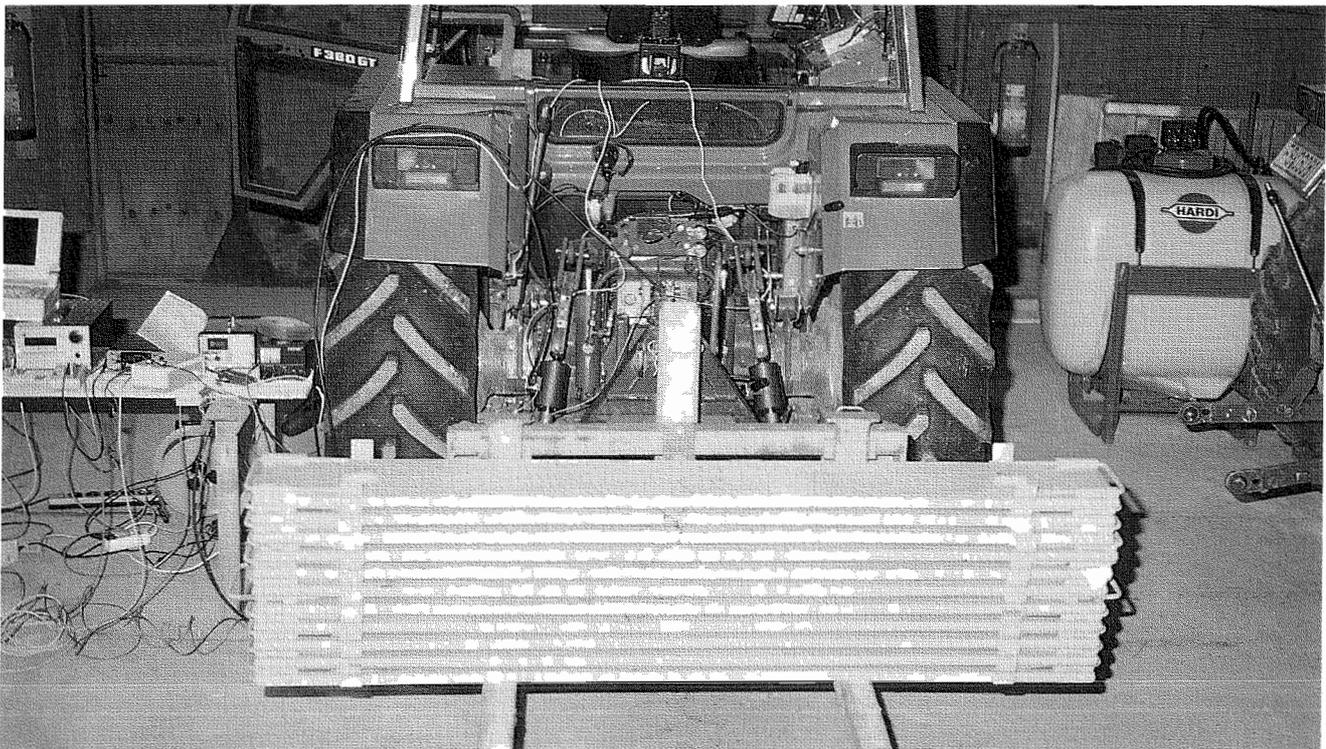


Abbildung 45: Versuchsfahrzeug mit 2000 kg Last.

In der Auswertung der so gewonnenen Daten werden ebenfalls als charakteristisch für die Systeme die 95 Prozent Vertrauensbereiche (VB) 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.

5.2 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 Dreipunktanhängung gekoppelt. Die einzige Anforderung für eine korrekte Funktion ist die Einhaltung einer annähernd lotrechten Stellung beim Wiegevorgang (Abb. 46).

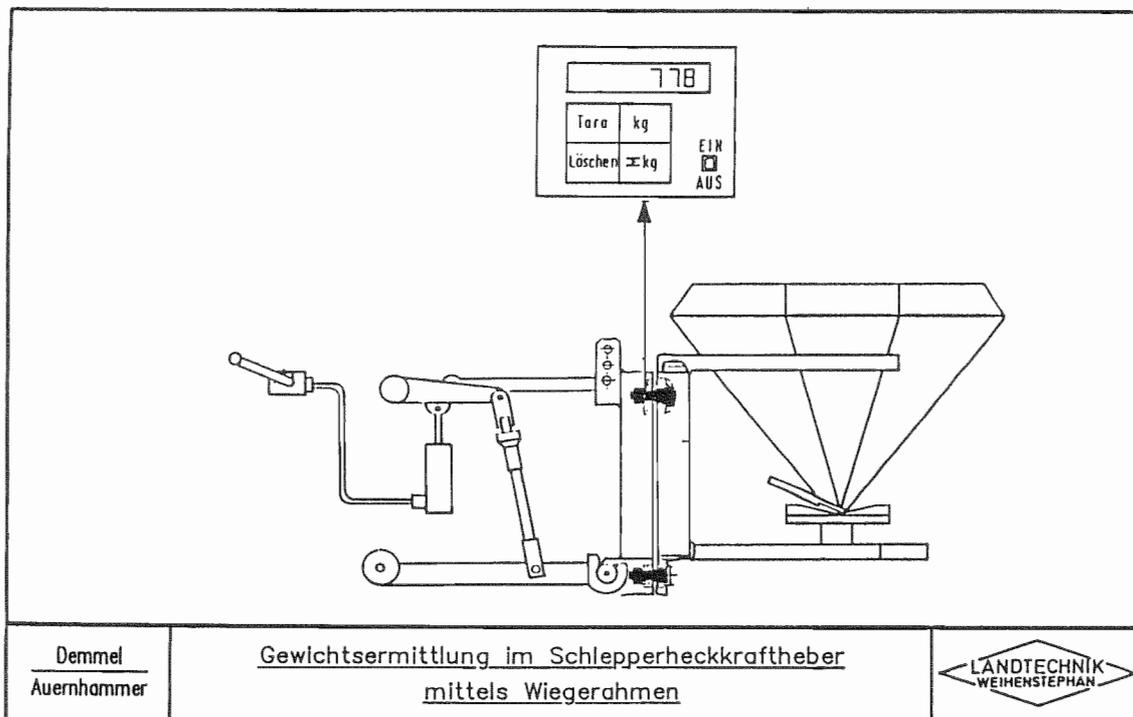


Abbildung 46: **Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mittels Wiegerahmen.**

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 Scherstäben verbunden sind.

Diese beiden Systeme besitzen eigene Elektroniken, Anzeigen und z.T. eine autarke Stromversorgung. Ein gravierender Nachteil, der zusammen mit dem hohen Preis 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 tolerierbare Verminderung der Vorderachsbelastung am Schlepper einhergeht, die zumeist zu einer Reduzierung der Zuladung zwingt.

Dennoch müssen die Wiegerahmen als sehr leistungsfähige Systeme zur Gewichtsermittlung an Traktoren 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 (Abb. 47 bis 50).

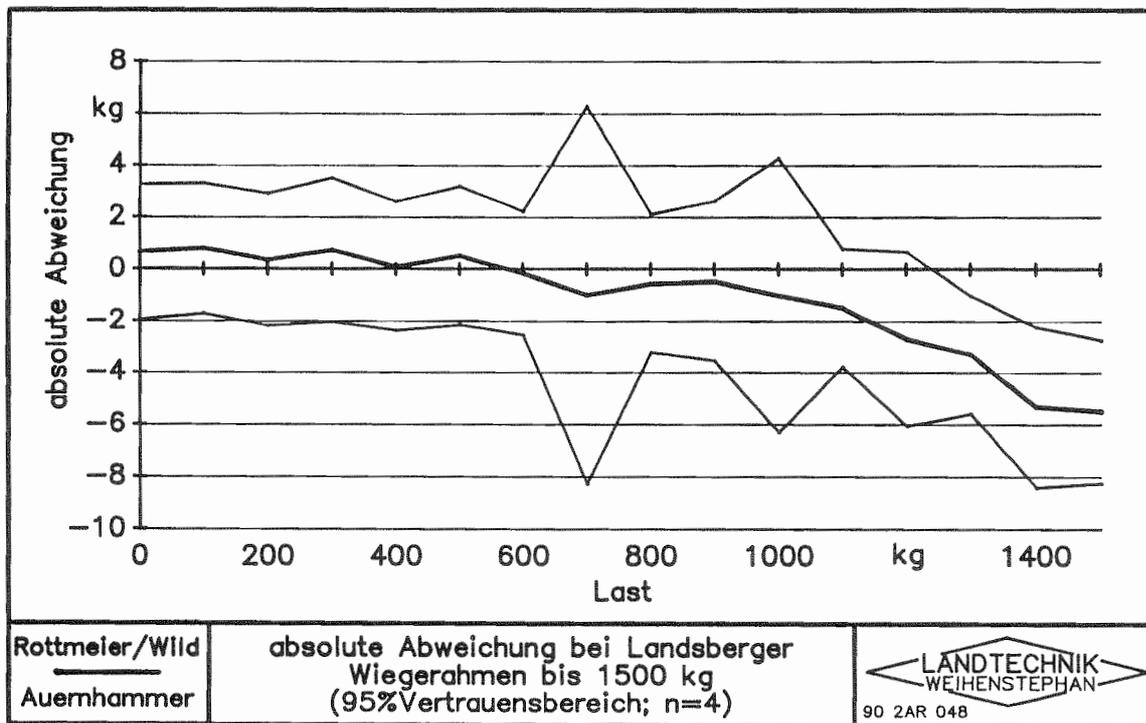


Abbildung 47: **Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit "LANDSBERG-Wiegerahmen".**

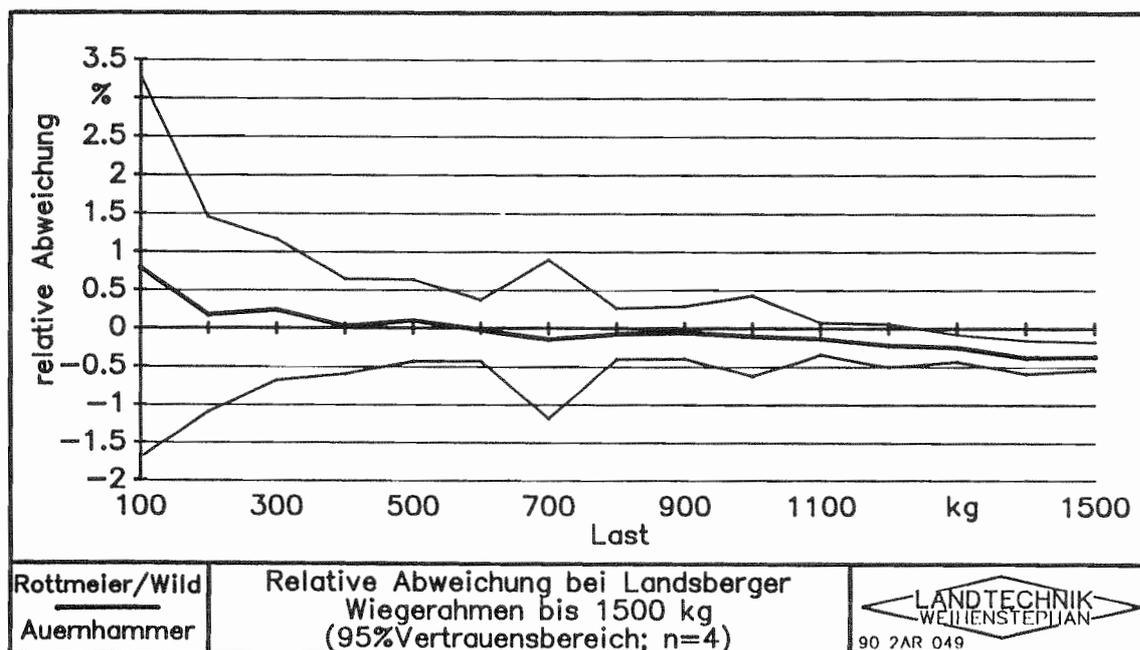


Abbildung 48: **Relativer Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit "LANDSBERG-Wiegerahmen".**

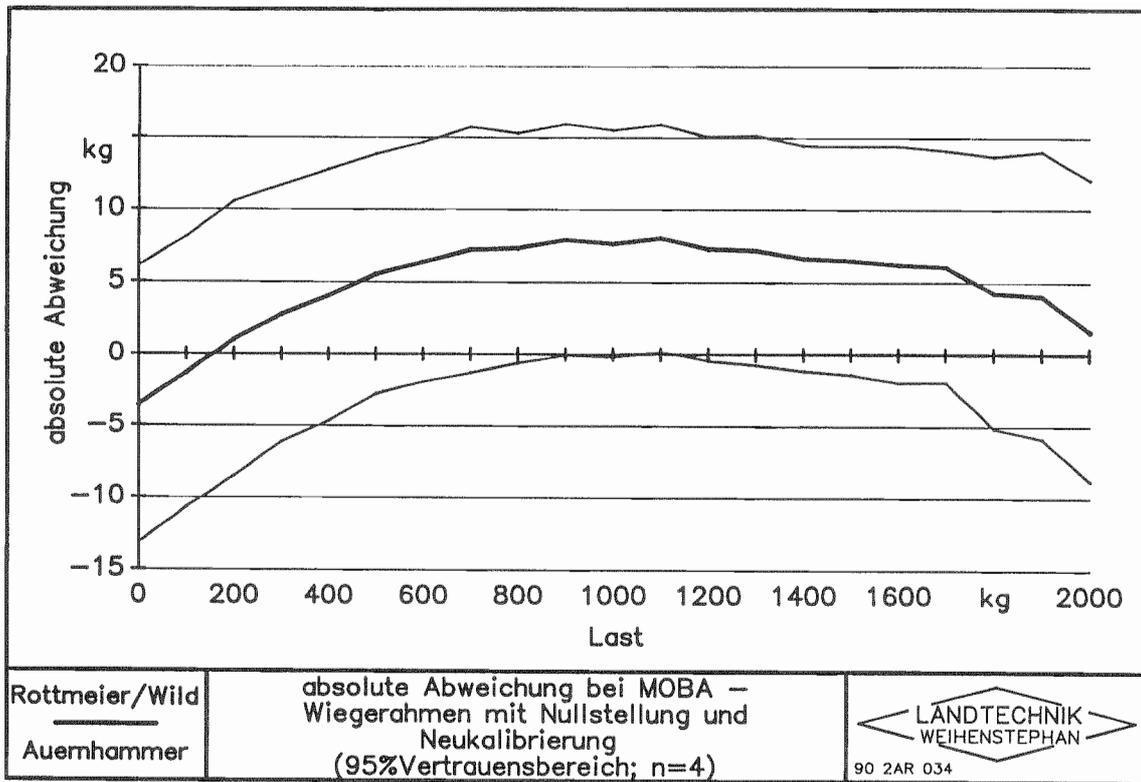


Abbildung 49: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit "MOBA-Wiegerahmen".

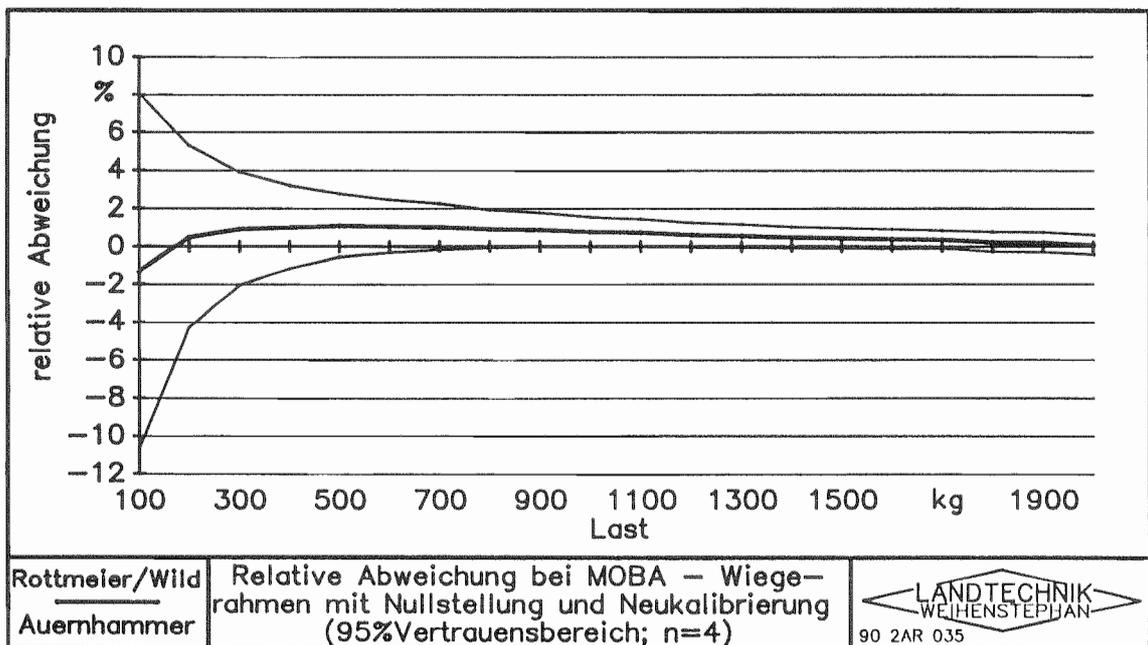


Abbildung 50: Relativer Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit "MOBA-Wiegerahmen".

5.3 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 (Abb. 51).

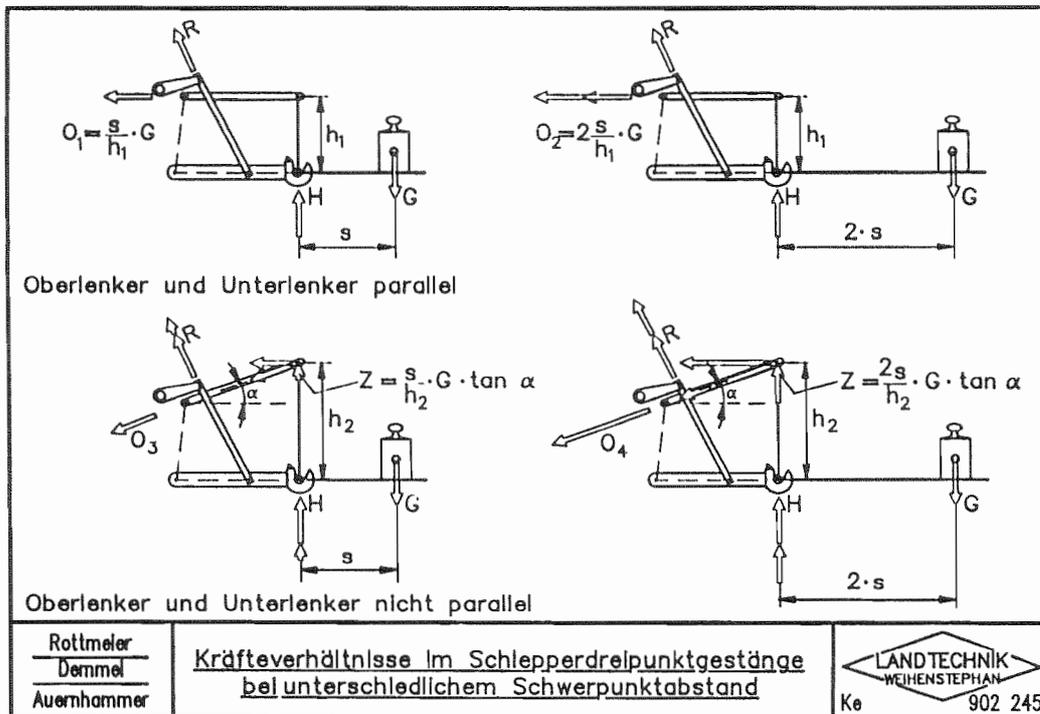


Abbildung 51: Kräfte in der Dreipunkt hydraulik.

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, 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 sich erst in praktischen Versuchen zeigen.

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, Tara) sowohl in eine einfache Auswerteeinheit (Insellösung) als auch in einen mobilen Agrarcomputer eingespeist werden.

Folgende Applikationen wurden im einzelnen untersucht (Abb. 52):

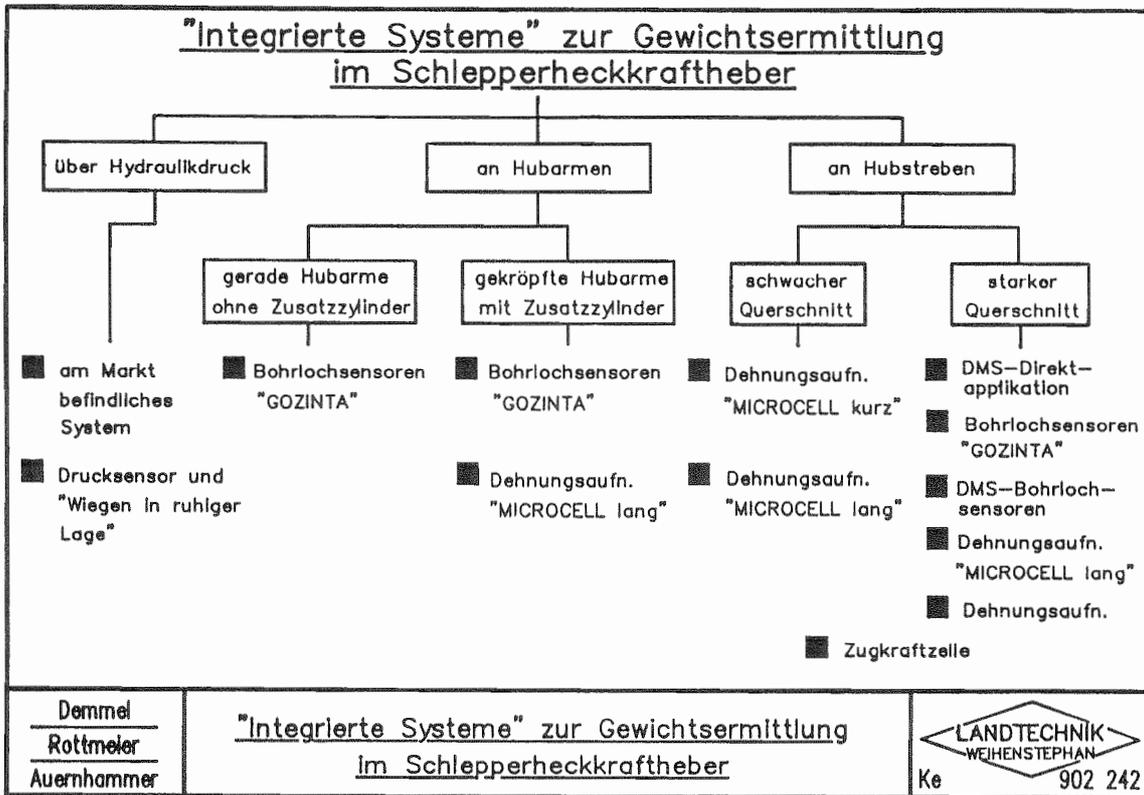


Abbildung 52: Integrierte Systeme zur Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber.

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

5.3.1 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 Dreipunktgestänge angebauten Gerätes. Auf Grund dieser Tatsache wäre es möglich, ein einfach nachzurüstendes und darüber hinaus auch kostengünstiges System zur Gewichtsermittlung aufzubauen (Abb. 53).

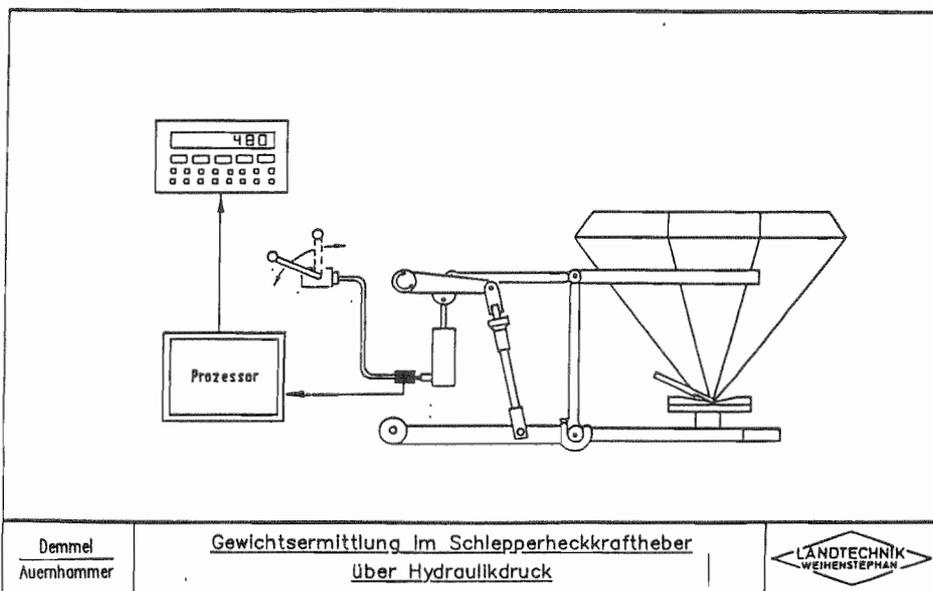


Abbildung 53: Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber über den Hydraulikdruck.

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 (Abb. 54).

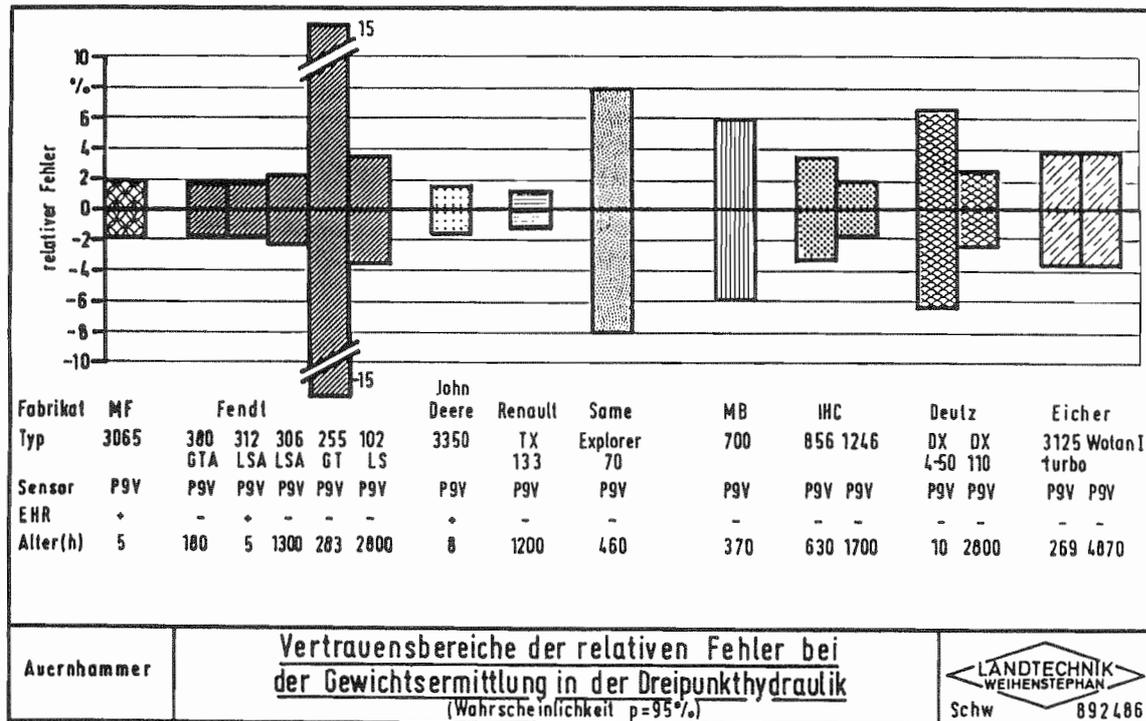


Abbildung 54: Vertrauensbereiche der relativen Fehler bei der Gewichtsermittlung in der Dreipunkthydraulik mittels Hydraulikdruck.

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 konnten 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.

5.3.2 Applikationen an den Hubarmen

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

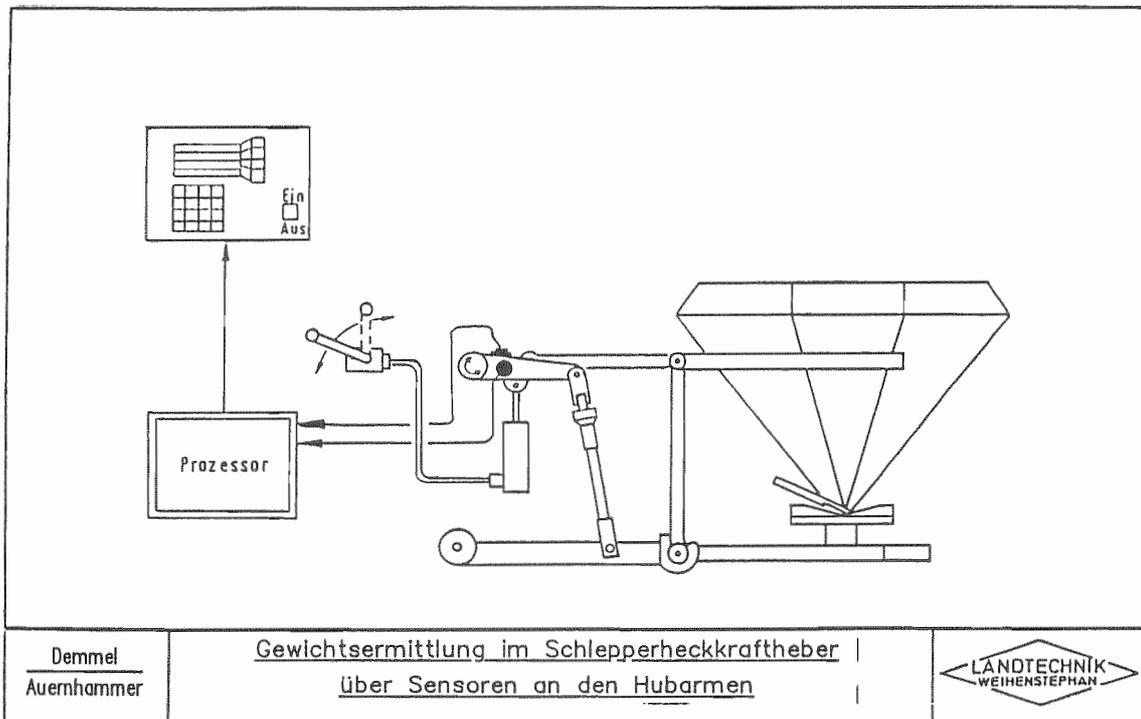


Abbildung 55: **Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber über Sensoren an den Hubarmen.**

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 (Abb. 55 und 56).

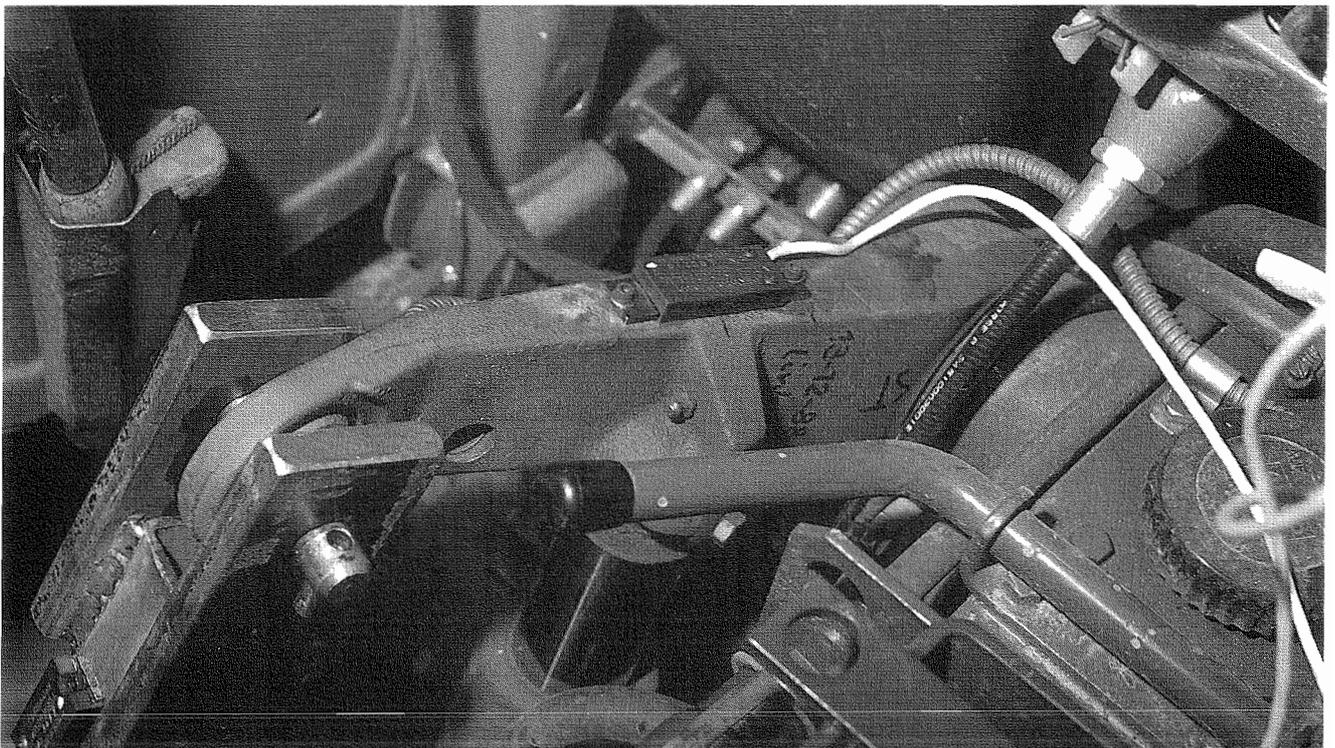


Abbildung 56: **"Gozinta" und "Microcell" am Hubarm.**

Bei beiden Applikationen wird eine deutliche Nichtlinearität des Signals über den Lastanstieg sichtbar, ein Effekt, der bei den geraden Hubarmen ohne Zusatzhubzylinder nicht auftrat (Abb. 57 bis 60).

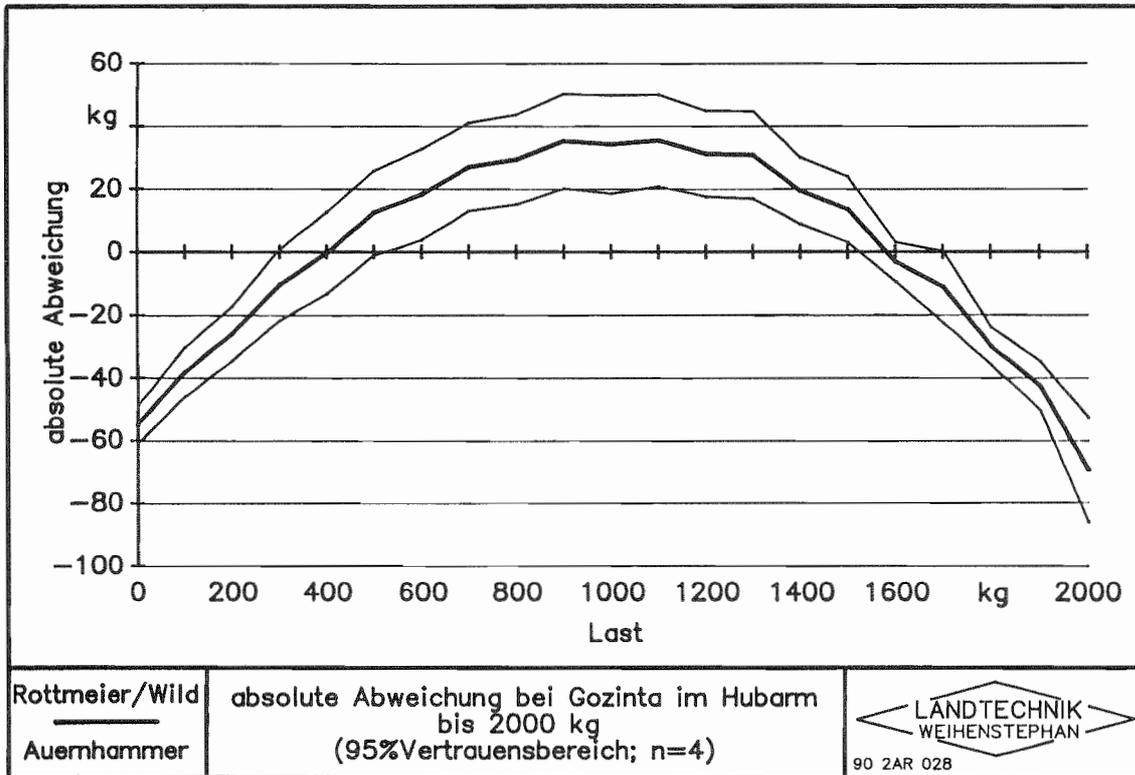


Abbildung 57: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit Bohrlochensensoren GOZINTA in den Hubarmen.

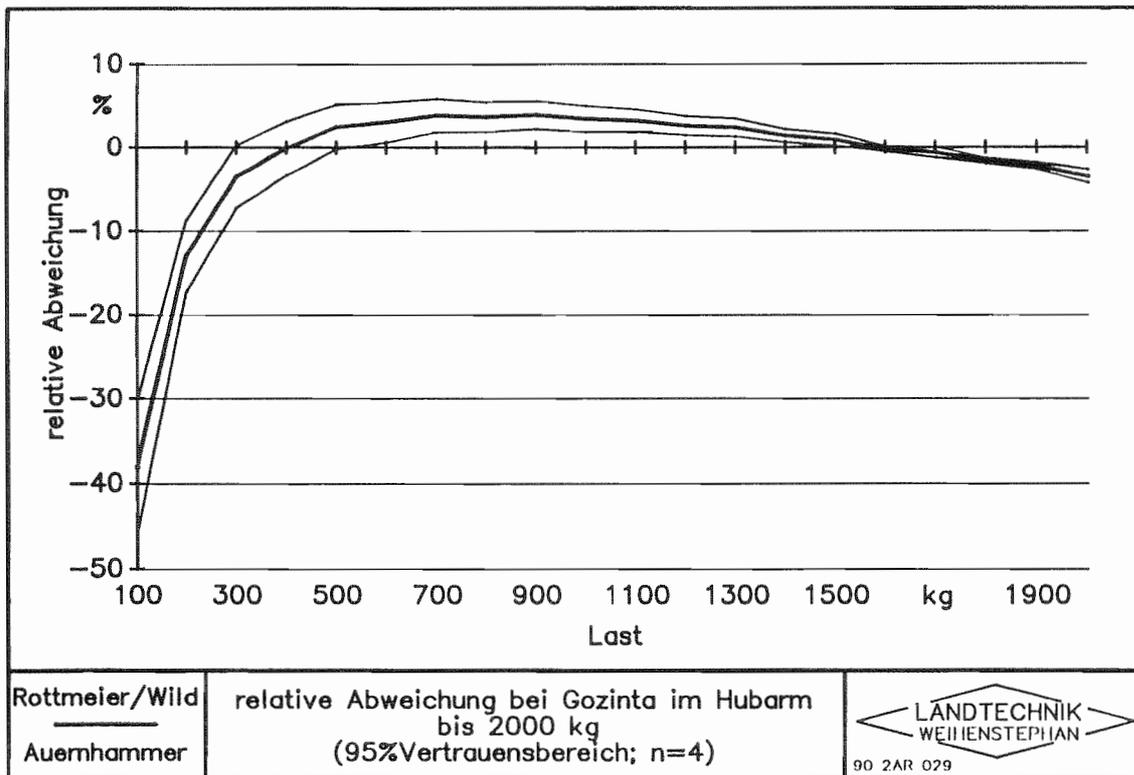


Abbildung 58: Relativer Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit Bohrlochensensoren GOZINTA in den Hubarmen.

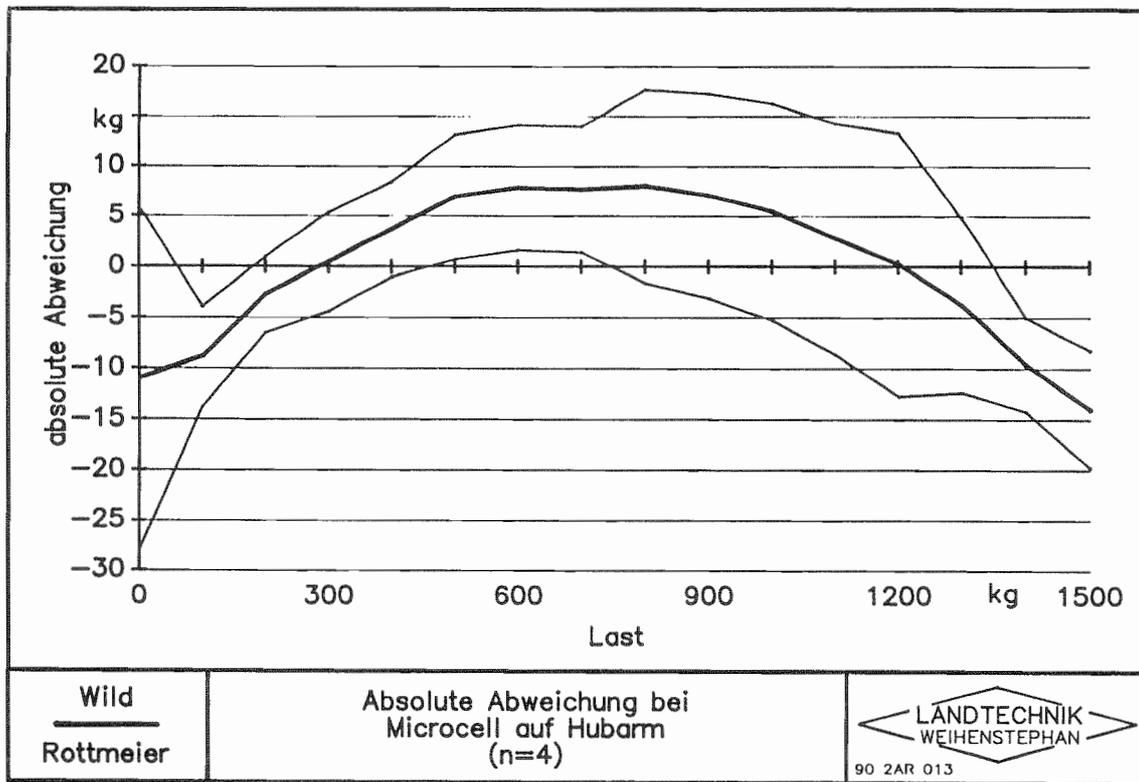


Abbildung 59: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit Dehnungsaufnehmern MICROCELL auf den Hubarmen.

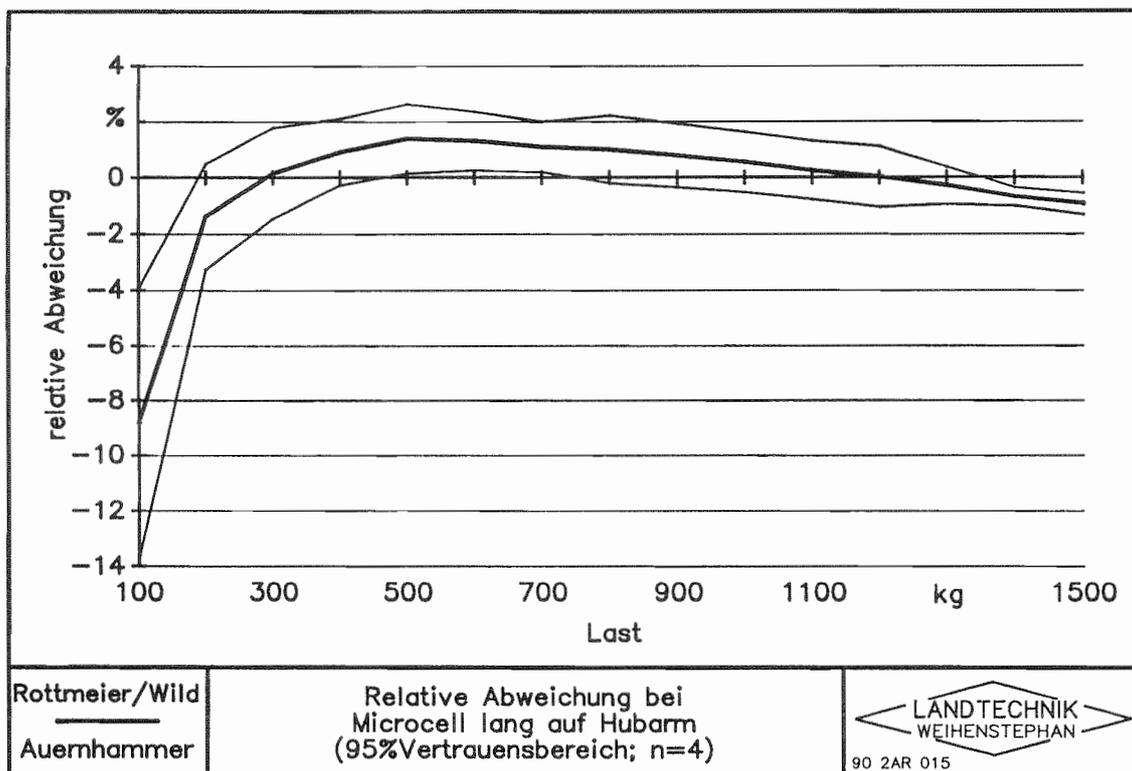


Abbildung 60: Relativer Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit Dehnungsaufnehmern MICROCELL auf den Hubarmen.

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 konnten.

Als Ursache für diese unerwartet hohen Fehler scheinen 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 sicher verbessern.

5.3.3 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 (Abb. 61).

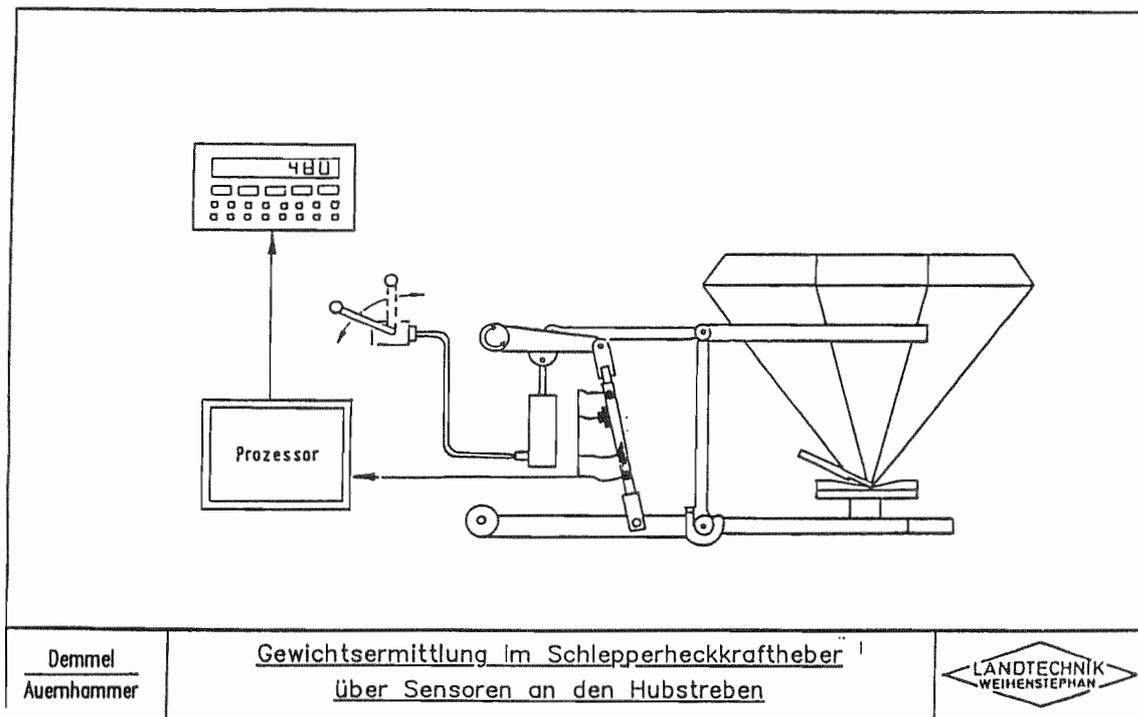


Abbildung 61: Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber über Sensoren an den Hubstreben.

Hierzu wurden die serienmäßigen Hubstreben mit Spindel-Längenverstellung gegen solche ersetzt, die auf Grund von Materialquerschnitt und Bauteilausformung 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, Bohrlochensoren "GOZINTA", Bohrlochensoren eines weiteren Herstellers, Dehnungsaufnehmer "MICROCELL" in langer und kurzer Bauform (Abb. 62); auch auf schwächerem Material (40 x 40 x 4 mm Rechteckrohr St 37) Dehnungsaufnehmer auf DMS-Basis und zwei verschiedene Zugkraftzellen (Gekapselte Zuglastzellen Bongshin und Elastomerzuglastzellen der Firma Pfister (Abb. 63)).

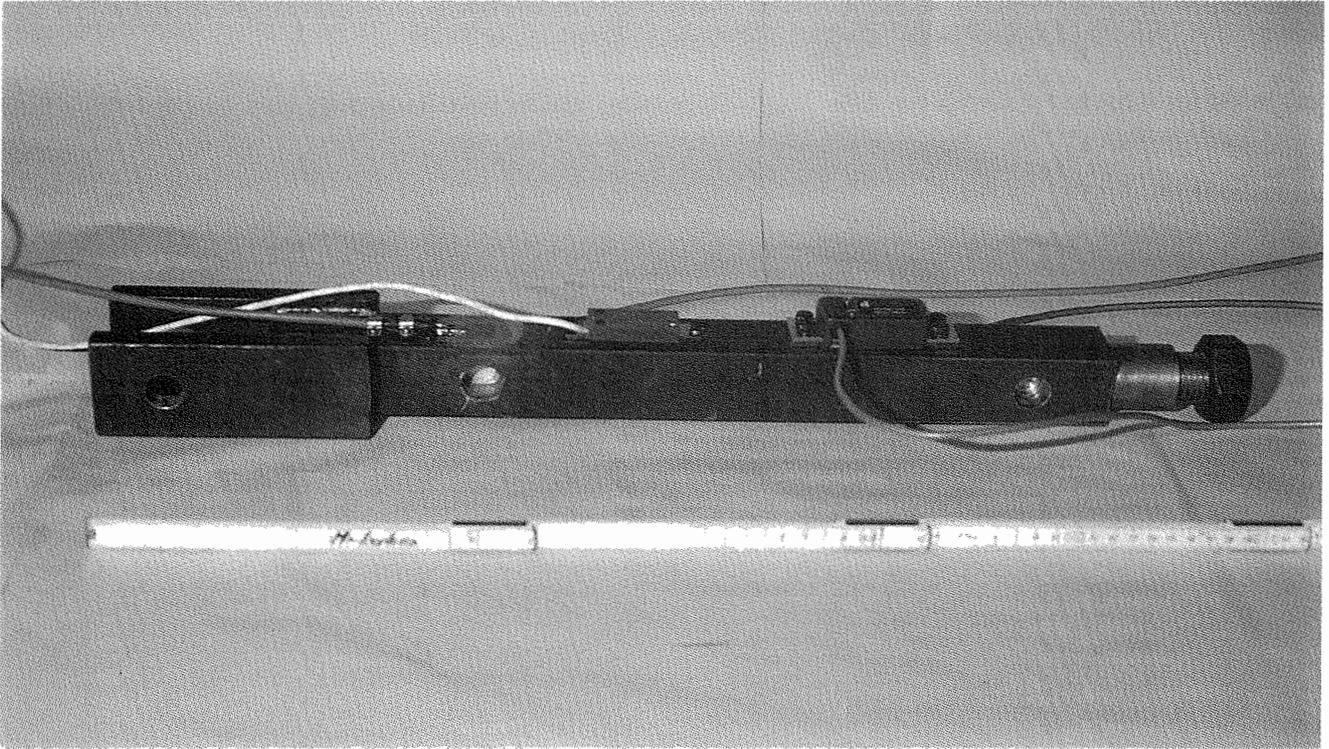


Abbildung 62: Dehnungsaufnehmer und Bohrlochssensoren auf einer Hubstrebe.

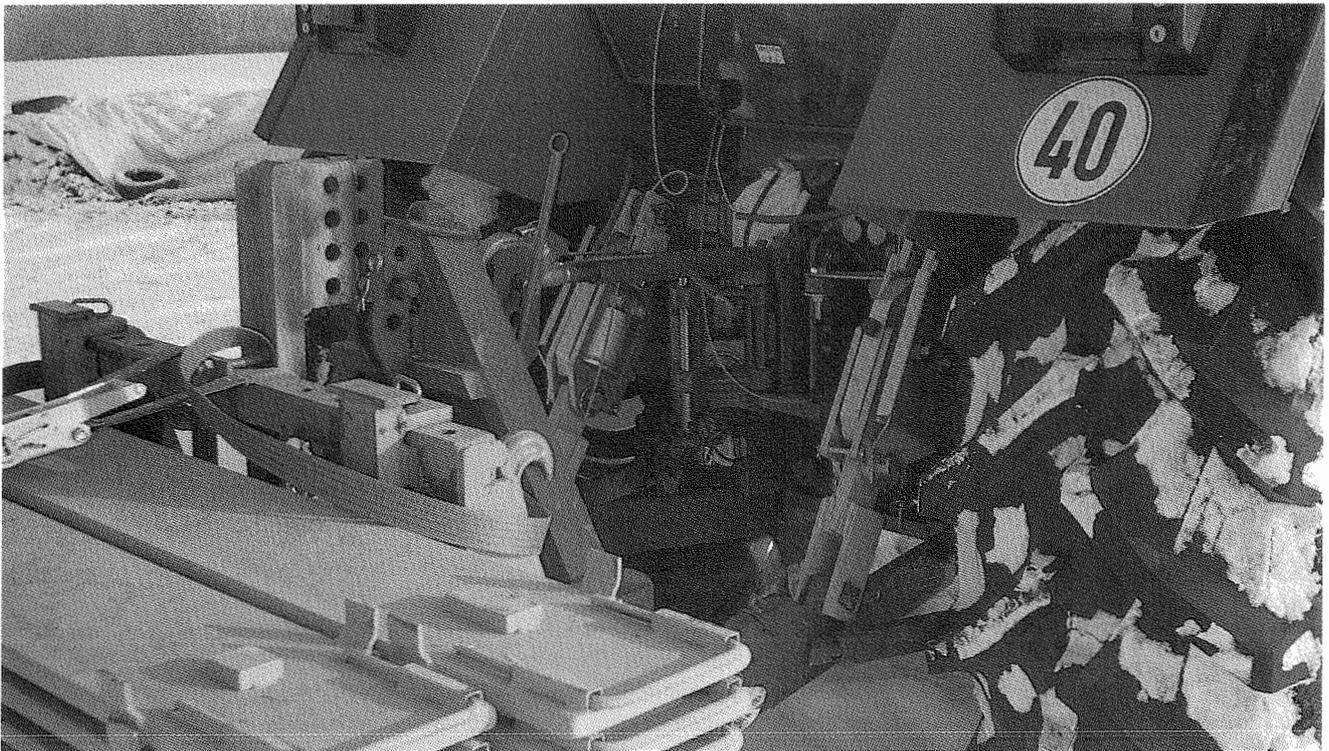


Abbildung 63: Pfister Zuglastzellen und MOBA – Wiegerahmen.

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 Bohrlochensoren 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 $\pm 1,4\%$ (Abb. 64 und 65).

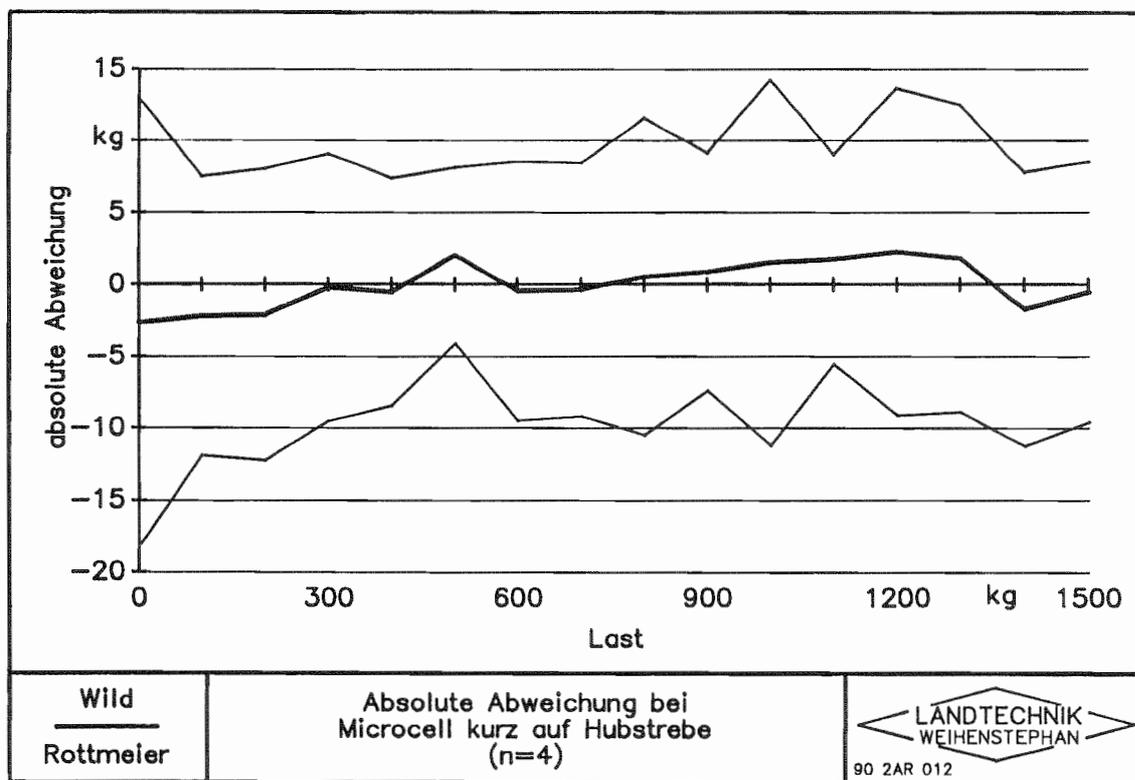


Abbildung 64: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mittels Dehnungsaufnehmer "MICROCELL" kurz auf den Hubstreben.

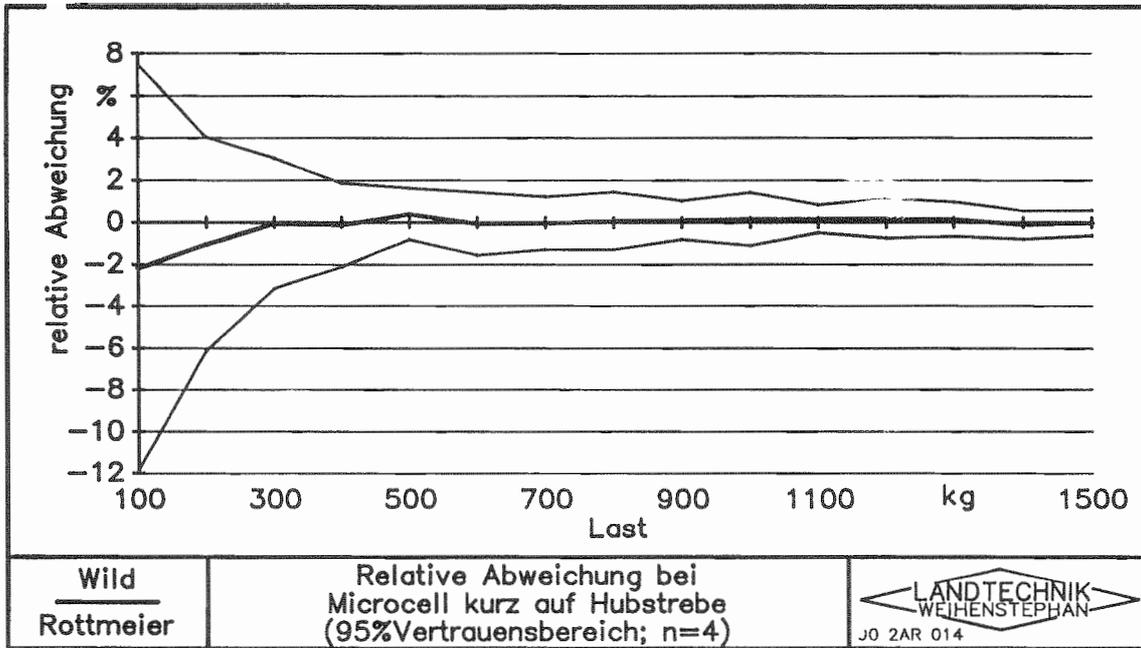


Abbildung 65: Relativer Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mittels Dehnungsaufnehmer "MICROCELL" kurz auf den Hubstreben.

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 $\pm 6,7\%$.

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 (Abb. 66 und 67).

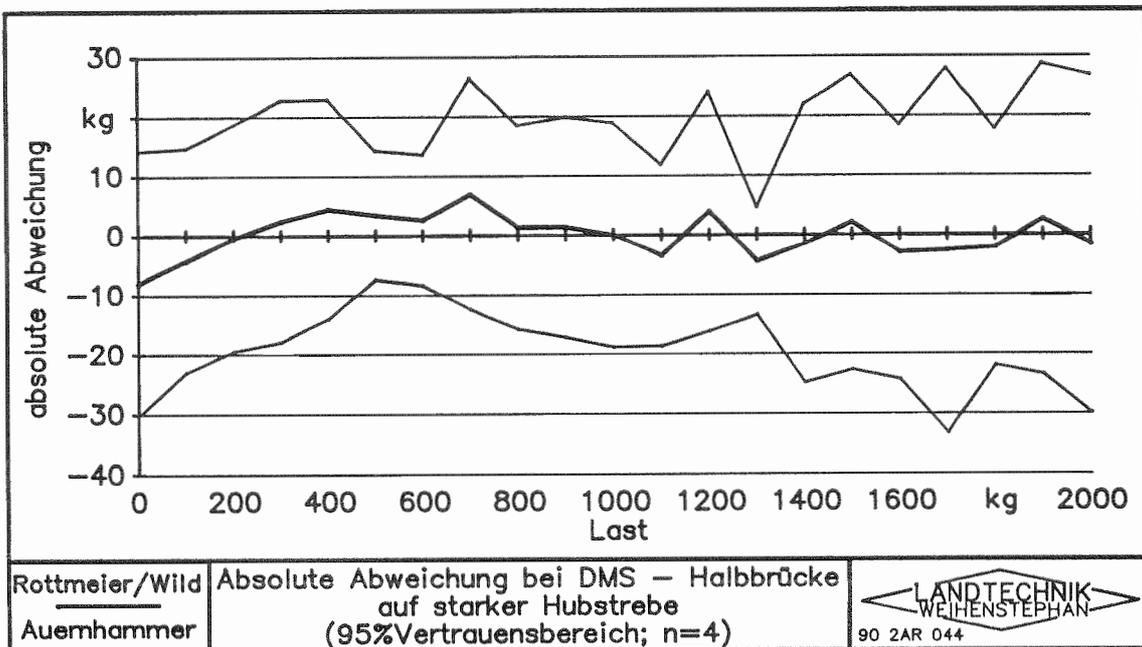


Abbildung 66: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mittels DMS auf den Hubstreben.

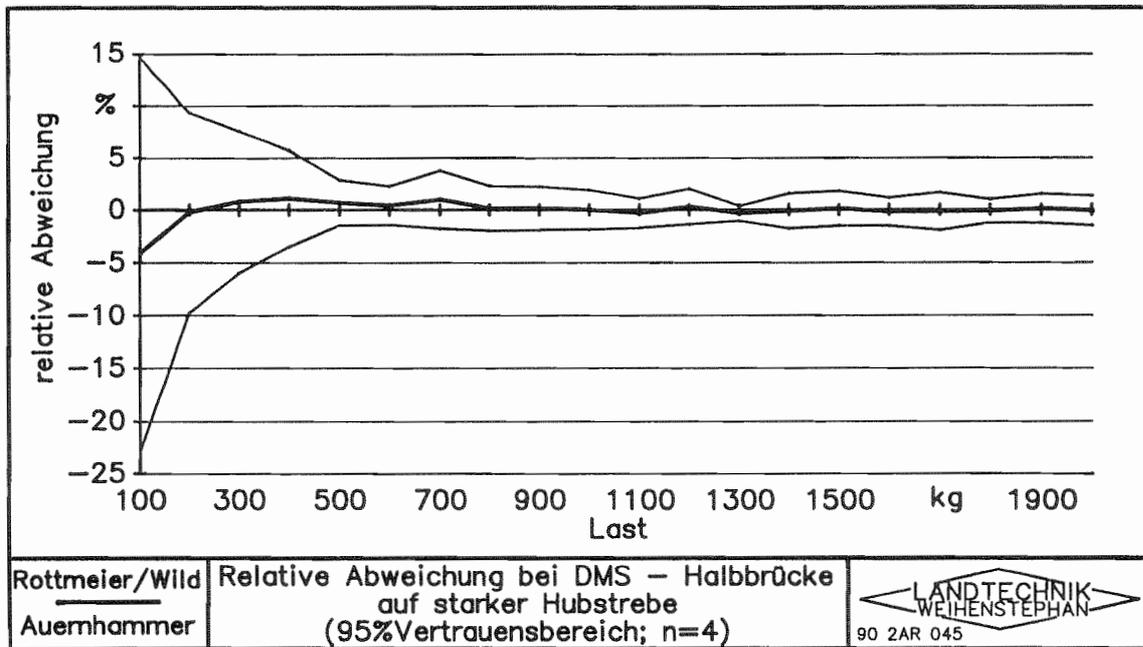


Abbildung 67: Relativer Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mittels DMS auf den Hubstreben.

Der Bohrlochsensor GOZINTA erreicht in der Hubstrebe aus Vollmaterial mit +/- 1,0 % Vertrauensbereich der relativen Fehler eine höhere Genauigkeit als in den Hubarmen (Abb. 68 und 69).

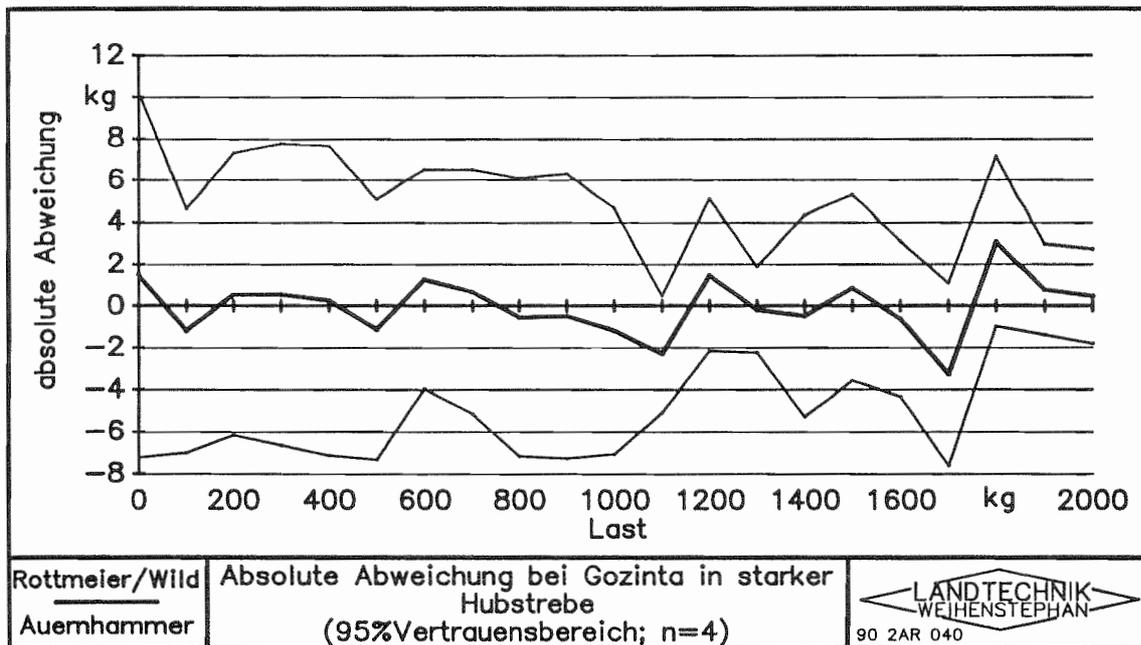


Abbildung 68: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mittels Bohrlochsensoren GOZINTA in den Hubstreben.

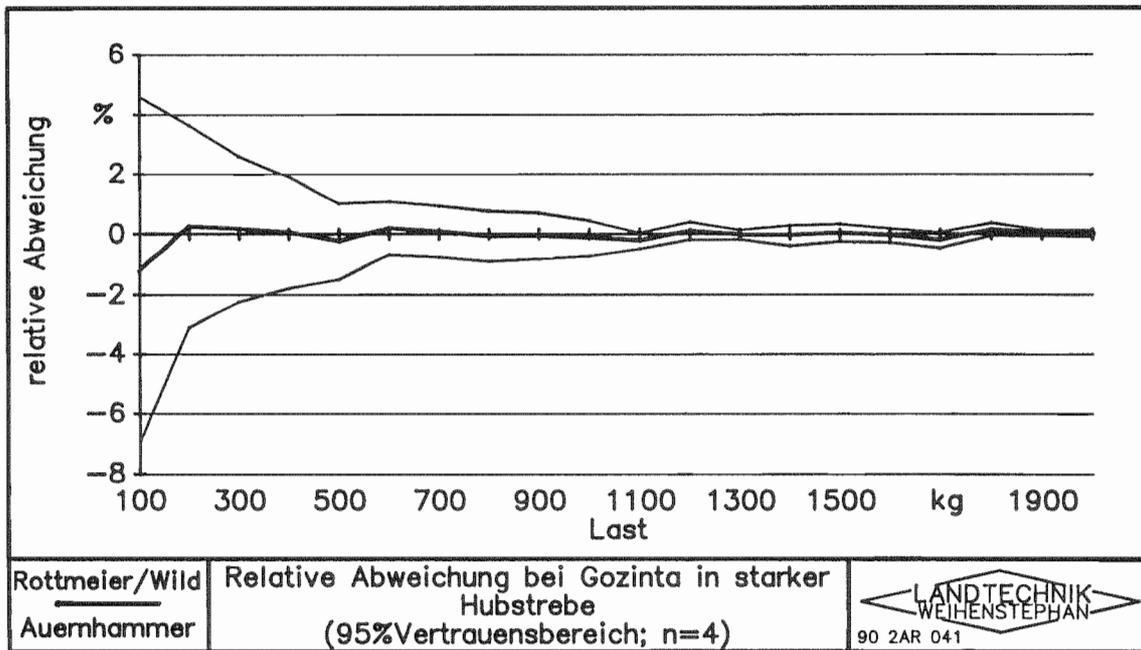


Abbildung 69: Relativer Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mittels Bohrlochensoren GOZINTA in den Hubstreben.

Schließlich erreichten die Zugkraftzellen, die $\pm 0,4\%$ Fehler (Bongshin; Abb. 70 und 71) bzw. $0,6\%$ Fehler (Pfister; Abb. 72 und 73) aufweisen, in der Gruppe der integrierten Systeme zur Gewichtsermittlung die höchste Genauigkeit.

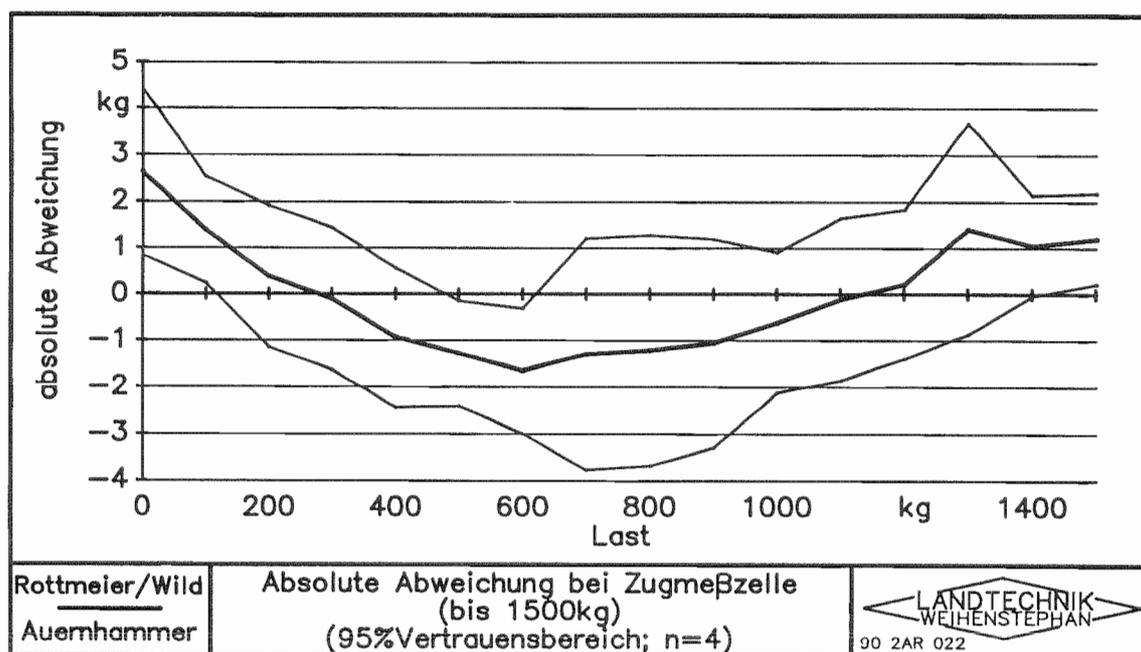


Abbildung 70: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit Bongshin Zuglastzellen.

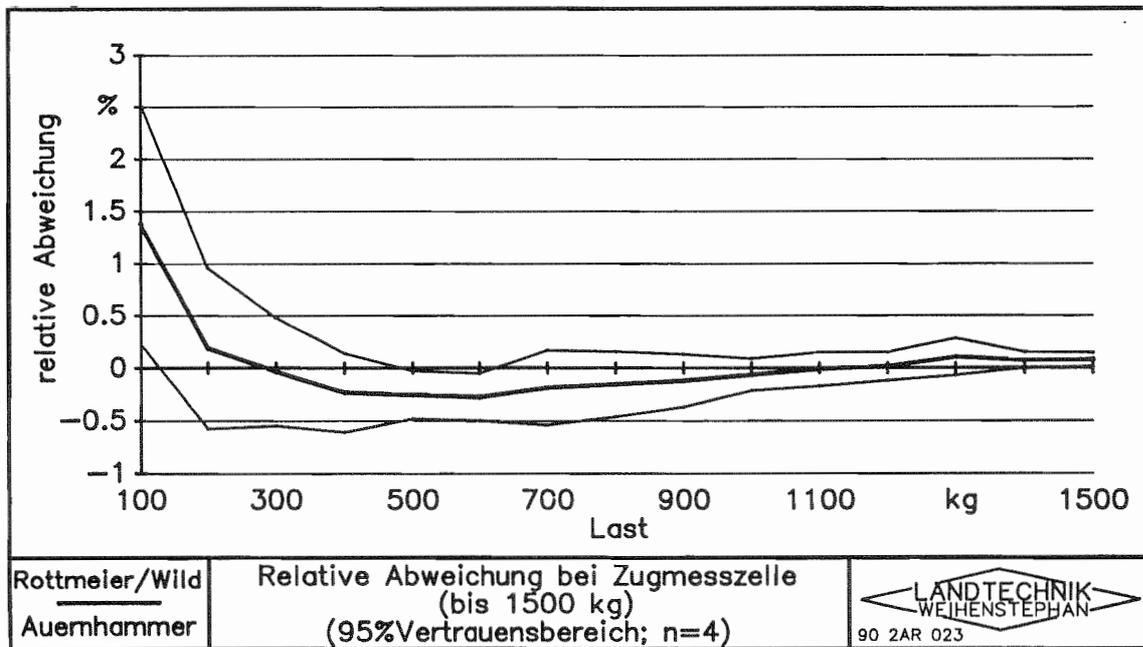


Abbildung 71: Relativer Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit Bongshin Zuglastzellen.

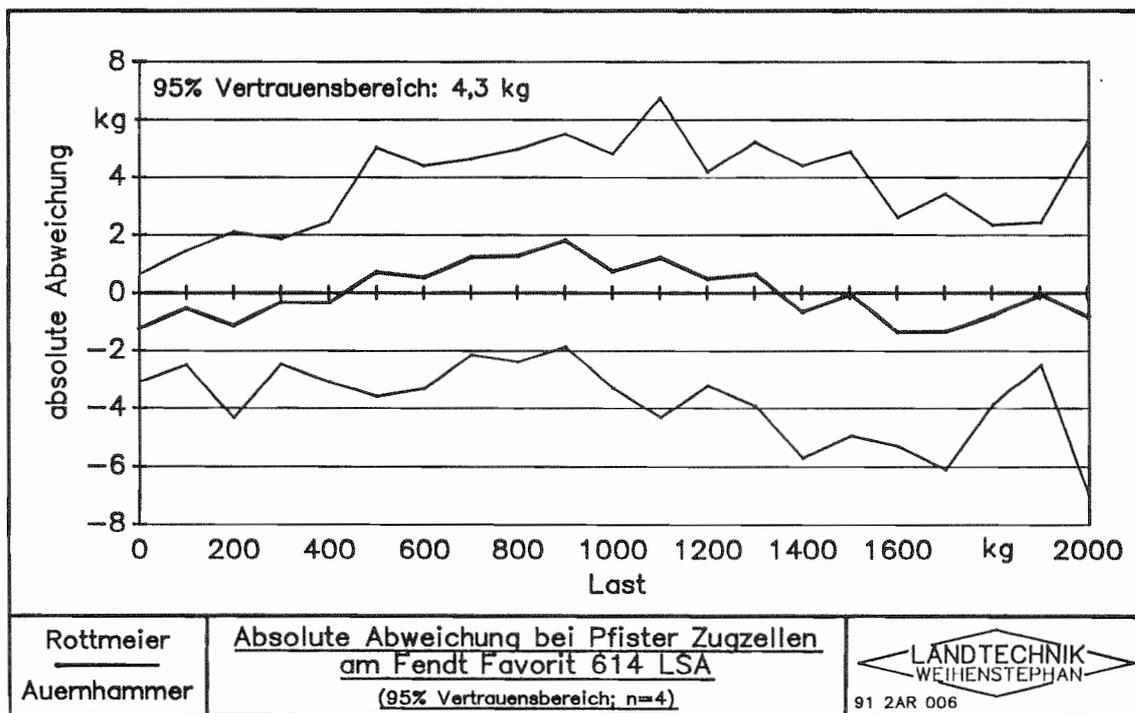


Abbildung 72: Absoluter Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit Pfister Zuglastzellen.

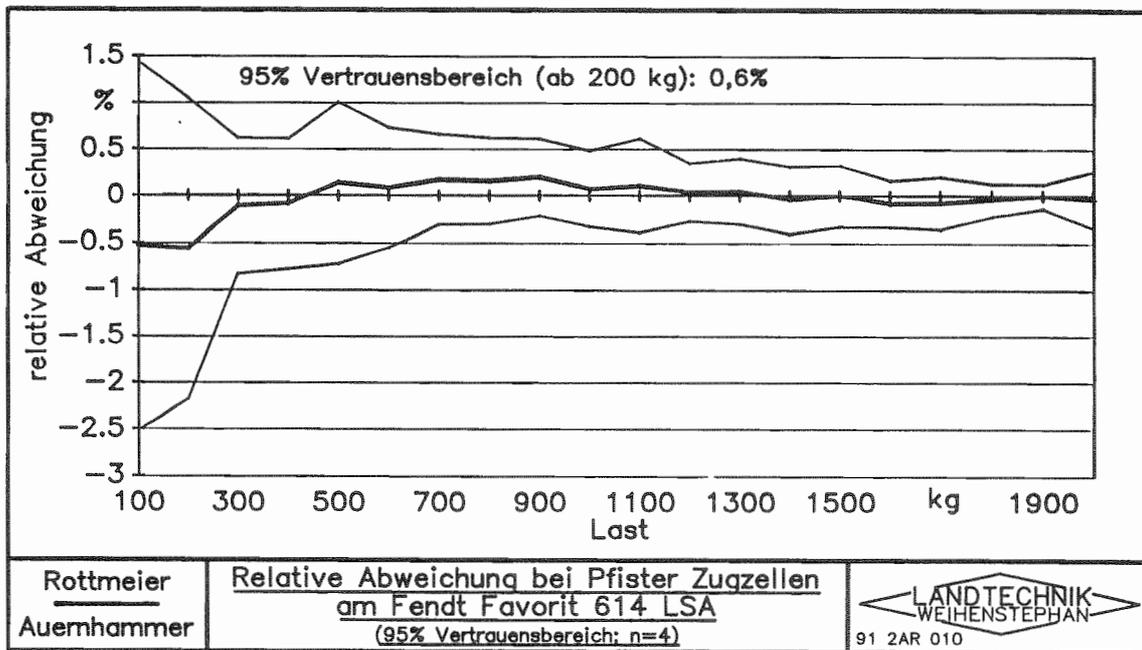


Abbildung 73: Relativer Fehler bei der Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit Pfister Zuglastzellen.

5.4 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. 74):

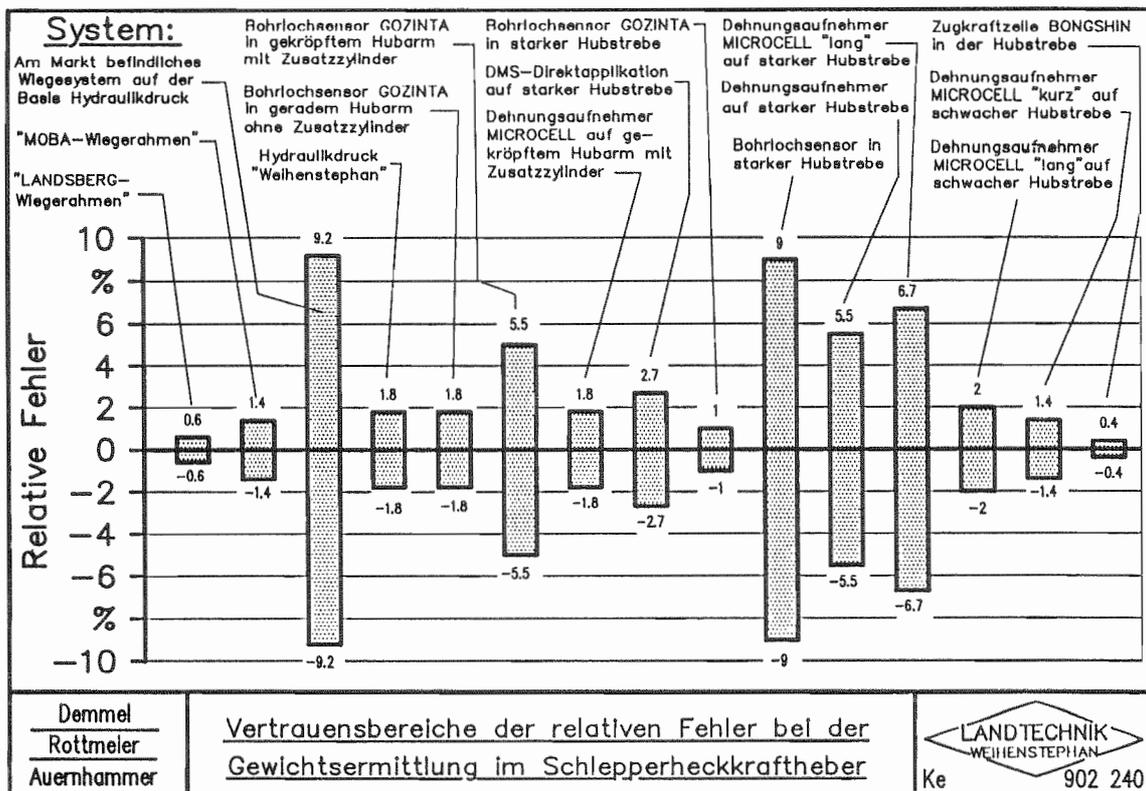


Abbildung 74: Vertrauensbereich der relativen Fehler unterschiedlicher Systeme zur Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber.

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 (Abb. 75).

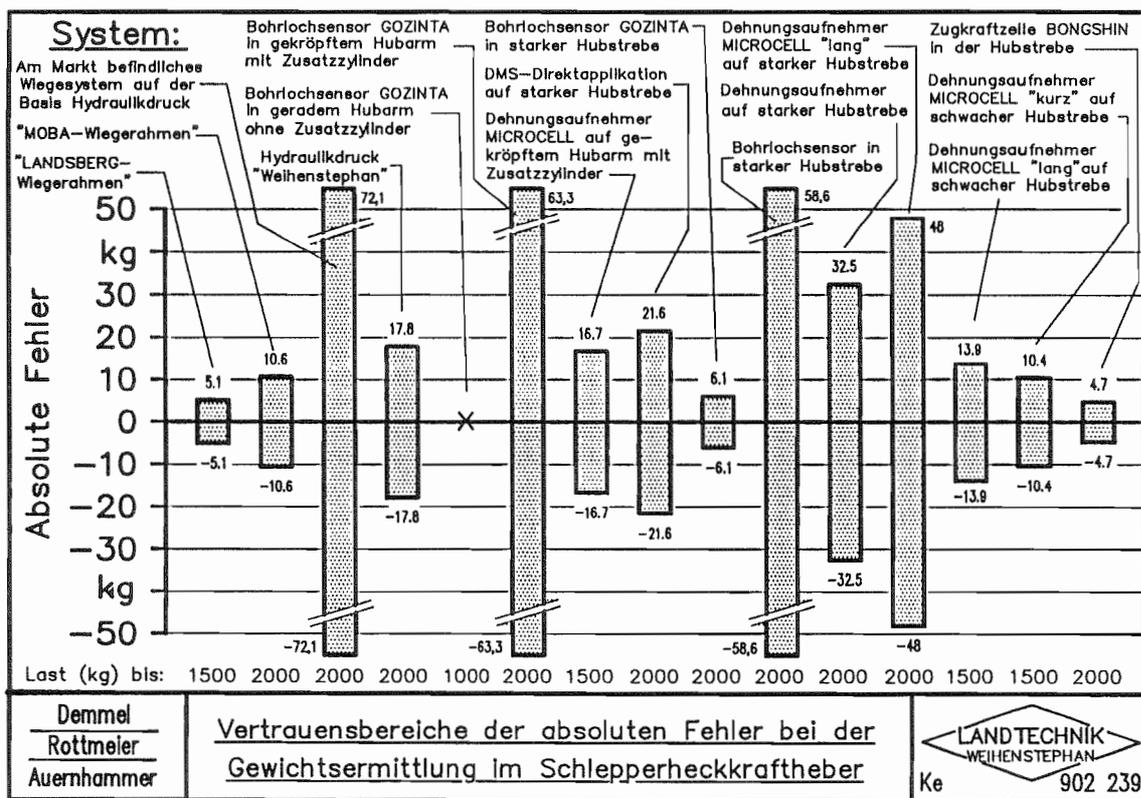


Abbildung 75: Vertrauensbereich der absoluten Fehler unterschiedlicher Systeme zur Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber.

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

5.5 Aufrüstbarkeit, 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 viel aussagen.

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.

5.6 Dynamische Wiegeversuche am Schlepperheckkraftheber

Da in Zukunft vor allem die Anpassung und Steuerung der Düngerausbringung während der Fahrt angestrebt wird, ist der Gesichtspunkt der dynamischen Gewichtsermittlung von besonderem Interesse. Hierzu wurden erste Vorversuche mit den unterschiedlichen Wiegesystemen in der Dreipunkthydraulik durchgeführt. Daraus lassen sich bereits einige interessante Erkenntnisse hinsichtlich der auftretenden Belastungsspitzen und der damit nötigen Überlastfestigkeit der Wiegetechnik und vor allem hinsichtlich der möglichen Verarbeitung der Sensorsignale für Steuer- und Regelungsaufgaben bei der Düngerausbringung ableiten.

Untersucht wurden integrierte (Hydraulikdruck, Hubarm, Hubstrebe) und autarke Systeme (MOBA Wiegerahmen). Die Meßfahrten auf jeweils unterschiedlichen Böden wurden mit unterschiedlichen Lasten (0 kg; 1000 kg; 2000 kg) und unterschiedlichen Geschwindigkeiten (5 km/h und 10 km/h) durchgeführt (Abb. 76).



Abbildung 76: Dynamische Messungen am 121-kW-Schlepper mit 2000 kg Last.

Wie auch die dynamischen Wiegungen am Ladewagen zeigten, betrug die Lastspitzen unter extremen Bedingungen das doppelte der aufgebrauchten Last und waren damit geringer als allgemein angenommen (Abb. 77).

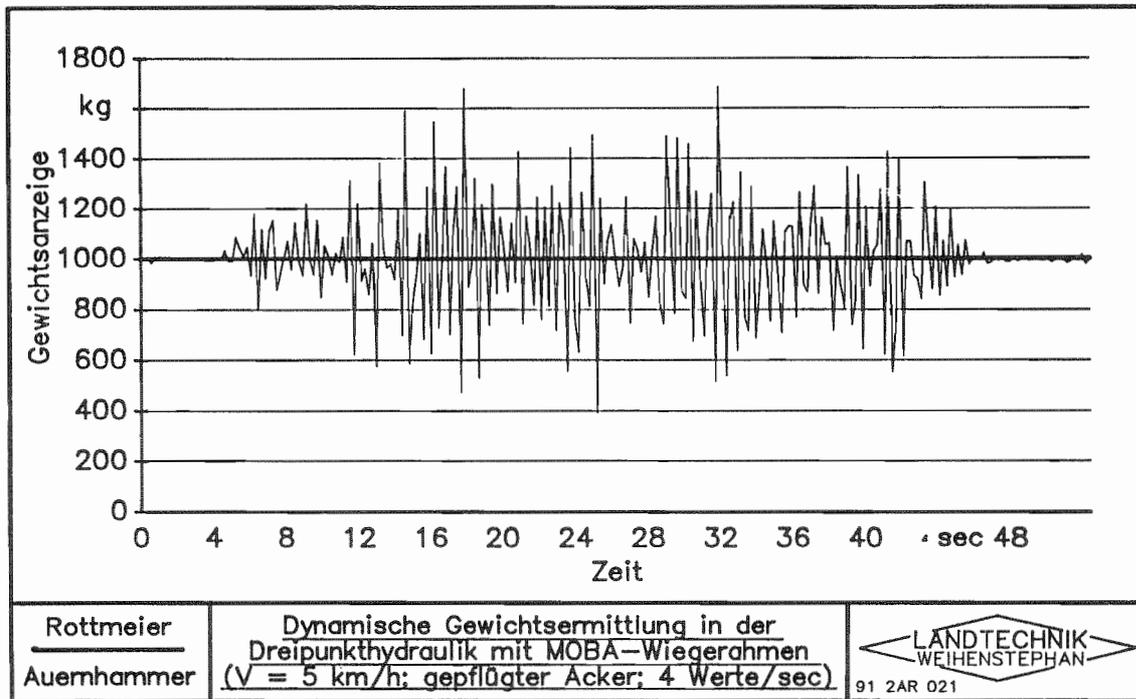


Abbildung 77: Dynamische Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit MOBA – Wiegerahmen ($v = 5 \text{ km/h}$; gepflügter Acker; 4 Werte/sec).

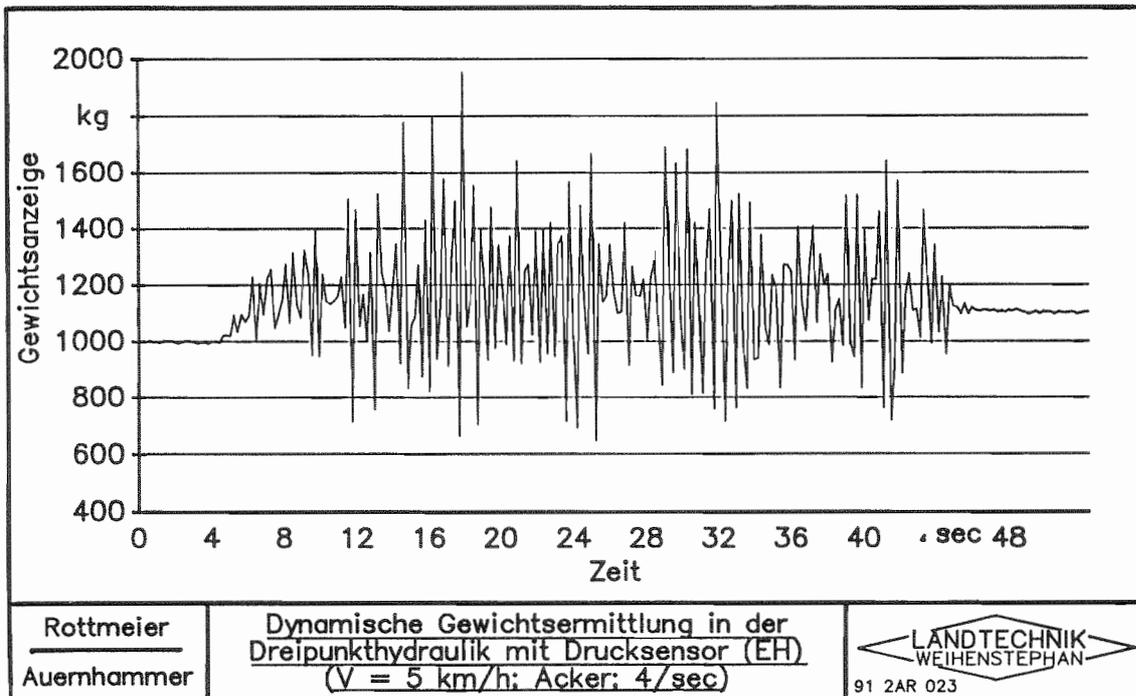


Abbildung 78: Dynamische Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit Drucksensor (EH) ($v = 5 \text{ km/h}$; gepflügter Acker; 4 Werte/sec).

Die Abbildung 78 zeigt, daß bei den integrierten Systemen aufgrund der Verspannungen im Gestänge die Anzeige nach der Fahrtstrecke um ca 10 % höher ist. Dies lässt sich durch kleine Hubspiele während der Fahrt, wie sie zum Beispiel bei der Schwingungstilgung durch die EHR IV (121 kW Schlepper) durchgeführt werden, vermeiden.

Bei den Wiegerahmen, die keine Probleme mit diesen Kraftnebenschlüssen zeigen, ist der Gesamtmittelwert nahezu identisch mit der aufgebrachten Last. Hieraus lässt sich die Möglichkeit ableiten, daß eine gleitende Mittelwertbildung einen rechnerischen Lösungsansatz für die dynamische Wiegung darstellen könnte (Abb. 79). Hierfür muß versucht werden, den bestmöglichen Algorithmus für die Verarbeitung der Daten zu finden.

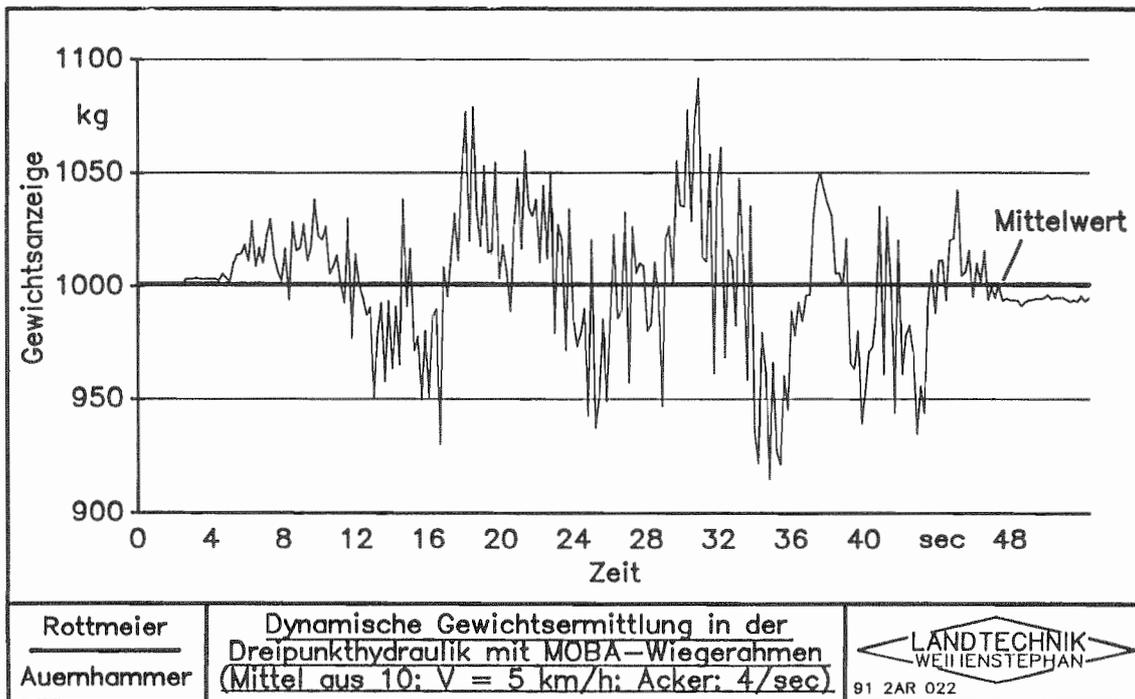


Abbildung 79: Mittelwert und gleitender Mittelwert (10 Werte) bei der dynamischen Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber mit Wiegerahmen.

6. Diskussion und Einordnung der Ergebnisse

Umweltentlastung im Futterbau kann vor allem durch zwei Maßnahmen erreicht werden. In erster Linie muß speziell für diese Produktionsrichtung eine weitgehend exakte Ertragsermittlung durchgeführt werden. Sie dient der gesamten Vorrats- und damit der Rationsberechnung. Gleichzeitig stellt sie auch die Ausgangssituation für die erforderlichen Düngungsmaßnahmen dar. Diese wiederum bedürfen in Form der mineralischen Düngung einer exakten Verwiegung, damit die heute üblichen Überdüngungen vermieden werden können. Wiegen bei der Ernte und wiegen bei der Düngung wird somit zu einer zentralen Forderung.

Bezogen auf die einsetzbaren Techniken sind dabei für die Praxis jene Lösungen vorzuziehen, welche kostengünstig sind und zugleich den Arbeitsablauf wenig stören. Wiegetechniken in den Fahrzeugen gewinnen deshalb mehr und mehr an Bedeutung, zumal gerade im Futterbau mit dem Ladewagen nur eine zentrale Technik benötigt wird. Kommt die Schlepperdreipunkthydraulik als Träger für die Anbaugeräte hinzu, dann lassen sich damit sowohl die Düngerausbringmengen, wie auch die geernteten Rundballenmengen und die in den Stall gebrachten Silagemengen mit dem Blockschneider kontrollieren und erfassen.

Für die Futterernte ist nach den vorliegenden Ergebnissen die Wiegetechnik im Ladewagen und in den Transportanhängern hinsichtlich der erforderlichen Genauigkeit heute schon problemlos realisierbar. Mit einer DMS-Direktapplikation zur Erfassung der Scherspannung zwischen Radaufstandsmitte und Rahmen oder dem Einsatz von Druckdosen zwischen Achse und Rahmen bzw. Federung bieten sich zwei relativ einfach zu realisierende Verfahren. Während die DMS-Applikation eher den Neufahrzeugen vorbehalten sein dürfte, eignet sich der Einsatz der Druckdosen sowohl für Neufahrzeuge, wie auch zur Nachrüstung in vorhandenen Fahrzeugen.

Beide Systeme erbringen überaus hohe Genauigkeiten. Mit einem Meßfehler von konstant 5 bis 30 kg über den gesamten Lastbereich beträgt der relative Fehler im Mittel weniger als zwei Prozent und übertrifft damit selbst hoch angesetzte Erwartungen sehr stark.

Auch die Kosten sind nach vorsichtiger Schätzung durchaus vertretbar. Für einen Ladewagen dürften sie sich in einer Höhe von ca 4 000 bis 5 000 DM bewegen. Im Vergleich zu einer Brückenwaage mit mindestens 20 000 DM Investitionsbedarf ist dies nur etwa ein Viertel und auch gegenüber Achslastwaagen (12 000 bis 18 000 DM) ergibt sich ein sehr starker Preisvorteil.

Während mit den eingesetzten Techniken heute schon eine summarische Gewichtsermittlung bei stehendem Fahrzeug durchgeführt werden kann, scheinen mit der gleichen Technik auch dynamische Gewichtsermittlungen möglich zu werden. Erste Versuche brachten dafür sehr günstige Ergebnisse, die jedoch einer zusätzlichen Bearbeitung bedürfen. Damit wäre dann eine erste Grundvoraussetzung für eine Ertragskartierung geschaffen. Die zweite Grundvoraussetzung dafür muß dann die Ortung des Fahrzeuges darstellen. Erfolgversprechende Ansätze zeichnen sich im parallel laufenden Forschungsvorhaben "Positionsbestimmungen von Fahrzeugen im Feld" ab. Allerdings fehlt dann noch als entscheidende Größe die Online-Erfassung der Gutsfeuchte, um letztendlich die geerntete Trockenmasse je ha zu ermitteln.

Für das Wiegen im Schlepperheckkraftheber sind rein systematisch mehrere Möglichkeiten gegeben.

Allen voran könnten geeignete Sensoren die einzelnen Radlasten erfassen und daraus die zusätzliche Be- oder Entlastung ableiten. Da sich dieser Ansatz jedoch nur auf Neufahrzeuge beschränken würde, scheidet er trotz vieler Vorteile aus.

Messungen des Hydraulikdruckes sind als zweite Möglichkeit gegeben. Umfangreiche eigene Untersuchungen zeigen jedoch eine relativ hohe Instabilität verschiedener Hydrauliksysteme. So zeigen Schlepper gleicher Hersteller bei unterschiedlichen Schleppertypen vollständig unterschiedliche Ergebnisse. Altschlepper erbringen – wiederum von gleichen Herstellern – unter Umständen zuverlässigere Signale als Neuschlepper. Qualitativ unterschiedlich sind lediglich EHR-Systeme. Sie zeigen in der Regel ein hochwertigeres Verhalten und erbringen dann sehr brauchbare Ergebnisse mit maximalen Fehlern von 2 – 3 %.

Eine Vielzahl geeigneter Meßstellen sind dagegen im Dreipunktgestänge vorhanden. Dabei zeigen die Untersuchungen als bestmögliche Anordnung für ein integriertes System die Hubarme und die Hubstreben. Mit zuverlässigen Sensoren sind an diesen Applikationsorten minimale Fehler von 1 und sogar von 0,5 % möglich. Auch preislich lassen sich diese Möglichkeiten kurzfristig und günstig lösen, wobei die reinen Sensorkosten und die Kosten für die Signalaufbereitung selbst bei kleinen Stückzahlen 1500 bis 2000 DM je Schlepper nicht überschreiten dürften. All dies gilt sowohl für Neuschlepper, wie auch zur Nachrüstung in Alt- oder Gebrauchtscleppern.

Ähnlich günstige Ergebnisse bei der Genauigkeit erreichen nur noch spezielle Wiegerahmen. Sie versetzen jedoch das Anbaugerät noch weiter nach hinten und beeinflussen damit die Belastung der Hinterachse und die Entlastung der Vorderachse sehr negativ. Auch preislich heben sich diese Möglichkeiten vom vorgenannten System sehr stark ab, obwohl selbst 5000 DM für eine derartige Wiegeeinheit nur einen Bruchteil der erforderlichen Investitionen gegenüber stationären Wiegesystemen darstellen. Unbestreitbar neben der hohen Genauigkeit ist zudem der problemlose Wechsel zu verschiedenen Schleppern, wobei dann insbesondere auch Altschlepper im spezialisierten Einsatz zur Düngung in den Genuß einer problemlosen und exakten Verwiegung kommen könnten.

Alle Ansätze der Gewichtsermittlung im Ladewagen, im Erntewagen und in der Schlepperdreipunkthydraulik fordern jedoch eine systematische Zusammenfassung der Elektronik über einen mobilen, multifunktionalen Agrarcomputer. Nur damit können die sonst wiederholt benötigten Kontroll- und Steuerorgane vermieden und auf ein universelles Gerät beschränkt werden. Neben kostenmäßigen Vorteilen spricht dafür vor allem auch die Vertrautheit an immer dem gleichen Gerät und nicht zuletzt der davon zentral ausgehende Datentransfer per Chipkarte oder RAM-Box in die Schlagkartei des Betriebsrechners.

Für die Düngung (organisch und mineralisch) bleibt anschließend an die aufgezeigten Lösungsmöglichkeiten dann noch die Problematik des exakten Anschlußfahrens offen. Nach eigenen Untersuchungen werden dabei

derzeit die größten Fehler überhaupt verursacht (dies trifft auch für den Getreidebau und auch für Fahrgassen zu). Allerdings ist zu erwarten, daß im schon erwähnten, parallel laufenden Forschungsvorhaben dafür Lösungsansätze möglich werden.

Abgesehen von dieser Fragestellung lassen jedoch alle durchgeführten Untersuchungen deutliche Erfolge für die Praxis erwarten, wobei mehrere Gesichtspunkte von Wichtigkeit sind. Sie alle bedürfen jedoch noch einer wirtschaftlichen Einordnung und einer gesonderten betriebswirtschaftlichen Beurteilung. Unabhängig davon sind folgende Vorteile und Möglichkeiten gegeben:

- Mit einer Wiegetechnik im Ladewagen würde erstmals die Erfassung der Gewichtsmengen für die Grünfütterung möglich. Damit stünden exakte betriebsinterne Daten für den Futterverbrauch und damit für eine grundfutterbezogene Leistung zur Verfügung.
- Die Wiegetechnik bei der Ernte eröffnet die Möglichkeit der gewichtsmäßigen Vorratsbewirtschaftung bei Silage, Heu und Grünfütter. Daraus resultiert erstmals eine exakte Futterplanung und Futteroptimierung.
- Die Gewichtserfassung bei der Ernte erbringt aber auch die Basis für eine Ertragskartierung im Betrieb. Ohne Fahrzeugortung führt dies zu einer Kartierung der Schläge, mit Ortung wird künftig auch die Teilschlagbetrachtung möglich.
- Die Gewichtserfassung bei der Ernte und bei der Düngung ermöglichen gemeinsam mit entsprechenden Prognosemodellen eine wesentlich exaktere Nährstoffbilanz als bisher. Damit wären aufgrund der natürlichen Gegebenheiten in Bayern mehr als die Hälfte der landwirtschaftlichen Nutzfläche anzusprechen. Verringerungen beim Düngeraufwand von bis zu 30 % erscheinen bei gleichem Ertrag möglich. Dies würde eine immense Umweltentlastung bedeuten.
- Schließlich könnte der Landwirt durch die ständige Kontrolle von Aufwand und Ertrag für seinen Betrieb ein verbessertes Rechnungswesen installieren. In künftigen Ansätzen würde daraus sogar eine weitgehend automatisierte Datenerfassung.
- Darauf aufbauend eröffnen erst diese Methoden der Gewichtserfassung bei der Düngerausbringung und bei der Ernte eine kontrollierte Produktion.

7. Zusammenfassung

Die Landwirtschaft gerät neben dem bisher schon wirkenden Kostendruck mehr und mehr in die Kritik der Umweltbelastung. Ihr werden vor allem überhohe Einträge in das Oberflächen- und Grundwasser angelastet. Da aber gerade in Bayern aufgrund der natürlichen Gegebenheiten auch künftig der Landwirt die Landschaft bewirtschaften und pflegen muß, muß nach Möglichkeiten einer Verbesserung der derzeitigen Situation gesucht werden.

Entsprechend dieser Ausgangssituation stand als Hauptziel dieser Untersuchungen die mögliche Nutzung neuer Techniken und der Elektronik für eine umweltentlastende Produktion im Futterbau im Vordergrund des Interesses. Gemäß dem Systemgedanken sollte dabei an der Ernte angesetzt und über die Düngung der Produktionskreislauf geschlossen werden. Für beide Bereiche galt es, nach exakten Methoden und Techniken für die Gewichtsermittlung zu suchen, um darauf aufbauend künftig ein verbessertes Betriebsmanagement zu realisieren.

Für das Vorhaben wurde besonderes Augenmerk auf folgende Punkte gelegt:

- Die Technik muß aus Gründen der Wirtschaftlichkeit preiswert verfügbar sein. Den erhöhten Anforderungen an die Robustheit im landwirtschaftlichen Alltag ist Rechnung zu tragen.
- Der maximale Fehler des Systems sollte höchstens 2 % betragen.

- Die Möglichkeit der Nachrüstung in bereits vorhandene Fahrzeuge muß gewährleistet sein, um damit auch die große Masse der Betriebe anzusprechen und bei verfügbarer Technik eine schnelle Umsetzung in die Praxis zu ermöglichen.

Gegenstand der Untersuchungen waren zum einen der Ladewagen als primäres Erntegerät im Futterbau, vergleich- und übertragbar auf den Transportkipper als universelles Transportfahrzeug und zum anderen der Schlepper mit seiner Dreipunkthydraulik als Träger vieler Anbaugeräte und als die zentrale Maschine für die Mineraldüngung.

Aufbauend auf die industrielle Wägetechnik wurden dort übliche Sensoren herangezogen, um bei hohen Stückzahlen auch für die Landwirtschaft erträgliche Preise zu erreichen. Als zentrales Sensorelement wurde die Dehnungsmeßstreifentechnik ausgewählt und in seinen verschiedenen Applikationsformen in die Untersuchungen einbezogen.

Für jedes Fahrzeug wurden unterschiedliche Einbauorte und unterschiedliche Sensoren untersucht und getestet. Nach entsprechenden Vorversuchen erfolgte dann die systematische Reihenuntersuchung mit ausgewählten Sensoren an wenigen Applikationsstellen.

Für den Ladewagen und den Kipper ergaben die Untersuchungen sehr gute Ergebnisse bei der statischen Gewichtsermittlung. Zwei Systeme kristallisieren sich für eine praktische Umsetzung besonders heraus:

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

Beide Systeme ermöglichen bei fachmännischer Montage Meßfehler kleiner/gleich 2 % und erfüllen damit die Anforderungen der Landwirtschaft.

Als weniger geeignet erwies sich der Einsatz von Dehnungsaufnehmern zur Erfassung der Biegespannung in den Achsen, weil sich der Einfluß der Verspannungen in der Reifenauflandfläche im praktischen Einsatz kaum kompensieren läßt.

Erste Ergebnisse bei dynamischen Wiegeversuchen deuten auf die Brauchbarkeit dieser Systeme auch für diesen Einsatzzweck. Allerdings müßte dazu die Fahrzeugbeschleunigung in die Auswertung einbezogen und es müßten geeignete Auswertungsalgorithmen erarbeitet werden.

Für die Schlepperdreipunkthydraulik wurden in umfangreichen Versuchen zwanzig Systeme und Sensorapplikationen zur Gewichtsermittlung untersucht.

Die am Markt verfügbaren autarken Wiegesysteme – Wiegerahmen – zeichnen sich durch eine hohe Genauigkeit und durch die Möglichkeit, zwischen Schleppern ausgewechselt 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 Schlepperheckkraftheber integrierten Sensorapplikationen weisen sieben Varianten so geringe Fehler auf, daß eine Weiterentwicklung dieser Ansätze und direkte Übernahme durch die Industrie erfolgversprechend scheint. Im Einzelnen können systematisch die einzelnen Systeme wie folgt eingeordnet werden:

- Die sehr einfache und kostengünstig nachzurüstende Möglichkeit der Hydraulikdruckmessung wird dadurch erschwert, daß sich die Hydrauliksysteme von Schleppern bezüglich störender Reaktionen nicht gleich verhalten. Eine derartige Lösung bleibt somit spezifischen Schleppertypen vorbehalten.
- Für die Sensorapplikation an den Hubarmen ist für jeden Hubarmtyp eine genaue Bestimmung der Einbaulage erforderlich. 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 erwiesen. Hier kann sowohl mit fertig konfektionierten Zugkraftzellen als auch mit der Applikation geeigneter Sensorelemente ein einheitliches Bauteil geschaffen werden. Damit eignet sich diese Einbaustelle sowohl für die Erstausrüstung wie auch für die Nachrüstung mit geeigneten Anschlußelementen (Kugel- oder Gabelköpfe) bei unterschiedlichen Schlepperfabrikaten und -typen.

Sowohl die Gewichtserfassung im Ladewagen, bzw. Kipper, wie auch im Schlepperheckkraftheber erfordern jedoch im Sinne der Kostenreduzierung eine gemeinsam nutzbare Bedien- und Auswerteelektronik. Dazu dürfte derzeit der mobile, multifunktionale Agrarcomputer die beste Lösung darstellen. Gemeinsam mit ihm lassen sich heute schon Wiegesysteme aufbauen, die im Gesamtpreis für einen Futterbaubetrieb wesentlich günstiger liegen als stationäre Wiegeeinrichtungen und die vom Landwirt zu fordernde Genauigkeit erbringen. Ergänzt mit entsprechenden Prognosemodellen für die benötigten Düngergaben ermöglichen sie dann eine kontrollierbare und umweltschonende Produktion zugleich.

8. Literatur

1. Auernhammer, H. und H. Stanzel:
Untersuchungen an Sensoren für Wiegemöglichkeiten in der Schlepperdreipunkthydraulik. Kurzfassung der Vorträge "Landtechnik 1987", VDI und MEG in Braunschweig 1987, S. 41 – 43
2. Auernhammer, H., M. Demmel und H. Stanzel:
Wiegemöglichkeiten in der Schlepperdreipunkthydraulik. Landtechnik 43 (1988), H.10, S. 414 – 418
3. Auernhammer, H.:
Landtechnische Entwicklungen für eine umwelt- und ertragsorientierte Düngung. Landtechnik 45 (1990), H. 7/8, S. 272 – 278
4. Auernhammer, H.:
Elektronik in Traktoren und Maschinen. München: BLV-Verlag 1989
5. Bachmann, R.:
Maschinenelemente : Grundlagen und Verbindungselemente. Würzburg: Vogel Verlag 1982
6. Baillie, K.J.:
Developments in grain weighing equipment. Workshop on grain handling, Melbourne 6-7 August 1984, Preprints of Papers, S. 14 ff
7. Bellagamba, G.P., Folladori, A. und Hvan den Berge:
In motion weighing of Vehicles: a source of savings. Science and Industry Nr 16 (1980), S. 25 – 30
8. Bernhardt, K. und W. Recker.:
Transportable Meßeinrichtung zur Bestimmung von Rad- und Achslasten. Agrartechnik; Bd 28 (1978), Nr. 7, S. 315 – 317
9. Bietry, L. und M. Kochsiek:
Praktischer Leitfaden der wägetechnischen Begriffe. Mettler Wägelexikon, Greifensee 1982
10. Böhm, E.:
Messen, Steuern, Regeln in der Landtechnik. Würzburg: Vogel Verlag 1988
11. Böhm, E. und J. A. Hansen:
Kräfte am Wagen. Agrartechnische Lehrbriefe, Agrartechnik International, Würzburg: Vogel Verlag 1975
12. Bruce, D.M., Smith, R.A. und I.R. Meeks:
Mobile feeding equipment: A weighing unit with auto taring and batching. Journal of Agricultural Engineering Research 25 (1980), Nr. 2, S. 155 – 160
13. Chedda, H.R. und F.O. Aboaba:
A mechanical device for continuous harvesting and herbage yield evaluation of tall growing foddergrass. Nigerian Agricultural Journal 10 (1973), Nr. 1, S. 13 – 24
14. Czichos, H.:
Hütte – Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag 1989
15. Erdem, U.:
Force and weight measurement. Journal of Physics: Scientific Instruments 15 (1982), Nr. 9, S. 857 – 872
16. Flerlage, B.:
Normung der Dreipunktaufhängung am Schlepper. Grundlagen der Landtechnik (1956), H.7, S. 89 – 106

17. Freytag, H.E. und R. Jäger:
Zur berührungslosen Massebestimmung von Pflanzenbeständen durch Absorption von Gammastrahlen. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 23 (1979), Nr 12, S. 757 – 764
18. Hartwig R.O. und T.S. Colvin:
Automotive weighing and moisture sampling for a field-plot combine. ASAE-Paper 83-1593
19. Have, H. und S. Sonne Kofoed:
Die Hubkraft-Kennlinien eines Dreipunktsystems. Grundlagen der Landtechnik 22 (1972), Nr. 1, S. 16 – 20
20. Hoffmann, K.:
Eine Einführung in die Technik des Messens mit Dehnungsmeßstreifen. Darmstadt: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH 1987
21. Hollinshead P.:
Microprocessors – the new wheel. Livestock farming 17 (1979), Nr. 4, S. 46 – 48
22. Hooper, A.W. und B. Ambler:
A combine harvester discharge meter. Journal of Agricultural Engineering Research 24 (1979), Nr. 1, S. 1 – 10
23. Isermeyer, F.:
Extensivieren bis zum Optimum. DLG-Mitteilungen/agrar info 105 (1990), H. 20, S. 55 – 58
24. Keil, S.:
Analyse ebener Spannungszustände mit Hilfe von Dehnungsmeßstreifen. Hottinger Baldwin Meßtechnik GmbH, Messtechnische Briefe 8 (1972), H.1, S. 1 – 4
25. Kiene, W.:
Ackerschlepper zwischen Prüfstand und Praxis. Frankfurt: DLG Verlag 1974, Band 139, S. 96
26. Kirst, T.:
Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik. Darmstadt: Hoppenstedt Verlag 1989
27. Kirnich, G.:
Traktor – Lexikon. Würzburg: Vogel Verlag 1970, S. 109 – 110
28. Kloth, W.:
Über das Messen von Kräften und Spannungen in der Landtechnik. Grundlagen der Landtechnik 3 (1952), S. 129 – 132
29. Kochsiek, M.:
Handbuch des Wägens. Braunschweig: Vieweg – Verlag 1989
30. Kreuzer, M.:
Digitale Filterfunktionen für das elektrische Messen mechanischer Größen. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Messtechnische Briefe 22, H. 2, S.53 – 61
31. Kutzbach, H.-D.:
Allgemeine Grundlagen: Ackerschlepper – Fördertechnik. Sachbuch der Agrartechnik Band 1, Hamburg, Berlin: Verlag Paul Parey 1989
32. Lane, K.:
How weigh systems needs led to a usefull pressure transducer. Control and Instrumentation 11 (1979), Nr.1, S.27 ff

33. Lift, H.:
Hydraulik in der Landtechnik. Würzburg: Vogel Verlag 1983
34. Meijer, R. und Hvan den Berge:
Electronic weighbridges. Science and Industry 16 (1980), S. 13 – 24
35. Mührel, K.:
Landwirtschaftliche Transporte und Fördertechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1974, S. 36 – 40
36. Oheimb, R. von.:
Grünfütterernte und Konservierung. KTBL-Schrift Nr. 318, Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. 1987
37. Ort, W.:
Sensoren mit Metallfolien-Dehnungsmeßstreifen. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Messtechnische Briefe 18 (1982), H. 1, S. 11 – 16
38. Paul, H.:
Drücke erfassen. Maschinenmarkt 1989, H. 11, S.46 – 51
39. Pearson, J.G. und P.J.Holligan:
Bulk bin weighing machine. New South Wales, Australia: Agricultural Engineering Centre, Technical Report 78/3 (1978), S. 5 ff
40. Pottie, M.A.:
Radio telemetry of logging truck load weights. Forest Engineering Research Institute of Canada, Technical Note TN 96 (1986), S. 8 ff
41. Potma, T.:
Dehnungsmeßstreifen – Meßtechnik. Hamburg: Deutsche Philips GmbH 1968
42. Prussia, S.E. und M. O'Brien:
A direct weighing electronic load cell system. ASAE-Paper 80-6012 (1980), S.13 ff
43. Ratschow, J.-P.:
Fütterernte mit Ladewagen. DLG – Merkblatt Nr. 215, Frankfurt: Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft 1985
44. Reich, R.:
Messung der Kräfte zwischen Schlepper und Gerät. Grundlagen der Landtechnik 28 (1978), H.4, S. 156 – 159
45. Renius, K. T.:
Traktoren – Technik und ihre Anwendung. München: BLV Verlag 1985
46. Rifai, M.:
Beitrag zur technischen Prüfung von landwirtschaftlichen Einachsanhängern. KTL-Bericht 93, Frankfurt 1965
47. Rödel, H.:
Technische Mechanik. Würzburg: Vogel Verlag 1977
48. Rottmeier, J.:
Ansätze zur Gewichtsermittlung in Transportfahrzeugen. BML-Arbeitstagung '90, KTBL-Arbeitspapier 145, Darmstadt 1990

49. 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, Weihenstephan, 1989/1990
50. Schanz, G. W.:
Sensoren – Fühler der Meßtechnik. Heidelberg: Hüthig Verlag 1988
51. Scholtysik, J.B.:
Einfluß des zugeführten Massenstroms auf das Dosierergebnis bei Kraftfutter Dosierwaagen. Grundlagen der Landtechnik 30 (1980), H. 3, S. 61 – 66
52. Schuster, A.:
Industrielle Wägetechnik. Darmstadt: Carl Schenck AG 1983
53. Skalweit, H.:
Über die Kräfte am Dreipunktanbau bei regelnden Krafthebern auf Grund von Feldmessungen mit Pflügen. Grundlagen der Landtechnik (1964), H. 20, S. 53 – 57
54. Smith, R.A. und J.R.Dawson:
A near-weight Indicator for Mobile Feeding Equipment. Journal of agric. Engineering Research 23 (1978), S. 105-107
55. Spingies, W.:
Elektronische Waagen. RKL-Schrift 1981
56. Spinnler, R.:
Untersuchungen über Wiegemöglichkeiten in der Schlepperdreipunkthydraulik. Diplomarbeit, Institut für Landtechnik, Weihenstephan 1987
57. Stanzel, H.:
Elektronische Radlastmesser. RKL-Schrift 1979, S. 307 – 312
58. Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
der Bundesrepublik Deutschland 1989. Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup 1990
59. Steinkampf, H.:
Messung räumlich wirkender Kräfte zwischen Schlepper und Gerät. Grundlagen der Landtechnik 21 (1971), H. 3, S. 53 – 57
60. Thaer, R.:
Untersuchungen über die Dreipunktaufhängung der Geräte am Schlepper. Grundlagen der Landtechnik 7 (1956), S. 72 – 88
61. Thompson, R.C.:
Equipment for weighing a tractor trailer. Proceedings: Sixth International Conference on Mechanization of Field Experiments, Dublin 1984, S. 298 – 300
62. Tränkler, H-R.:
Taschenbuch der Messtechnik. München, Wien: Oldenbourg Verlag 1987
63. Treugut, A.:
Bewegungen und Hubkräfte am System Ackerschlepper-Dreipunkt-Gerät. KTL Bericht Nr. 121, Frankfurt 1968

64. VDI-Bericht Nr. 137:
Präzisionsmessungen mit Dehnungsmeßstreifen für Kraftmessung und Wägung. Düsseldorf: VDI-Verlag 1970
65. Volkmann, V.C.:
Hilfssensoren zur Meßwertkorrektur bei Wägezellen. Technisches Messen TM 53 (1986), H. 7/8, S. 293 – 298
66. Wesley, R.A.:
A hydraulic grain weighing system for combines. ASAE-Paper Nr. 83-1592 (1983)
67. Wetzell, O.W.:
Elektrisches Messen mechanischer Größen – ein Grundlagenfach des Bauingenieurstudiums. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Messtechnische Briefe 22 (1986), H. 2, S. 37 – 40
68. Wood, K.W. und E.C. Burt:
Motion Resistance Relationships from Interface Stress Measurements. ASAE-Paper 89-1545 (1989)
69. N.N
Diverse Informationsschriften und Typenblätter der Sensor- und Wiegesystemhersteller

Die folgenden Berichte sind im Rahmen dieser Heftreihe erschienen:

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> * 1. Mechanisierungsverfahren in der Landschaftspflege, besonders für Grünflächen
Februar 1977 2. Mechanisierung der Silageentnahme und Fütterung
Februar 1978 * 3. Möglichkeiten der Strohverwertung
Dezember 1978 * 4. Grünfütterrocknung
August 1979 * 5. Energieeinsatz in der Landwirtschaft
Oktober 1980 6. Technik der Strohaufbereitung für Futterzwecke
März 1981 7. Futterbergung mit Großballenpressen
August 1981 * 8. Einsatzmöglichkeiten verschiedener Energieträger in der Landwirtschaft
August 1981 * 9. Fütterungstechnik in der Rinderhaltung
April 1982 10. Strohaufbereitung für Futterzwecke
Juli 1982 * 11. Einsatzmöglichkeiten verschiedener Energieträger in der Landwirtschaft
Dezember 1982 12. Strohaufschluß in Bayern und Strohaufschluß in Norditalien
Juli 1983 * 13. BIOGAS
Januar 1984 14. Biogaserzeugung in landwirtschaftlichen Betrieben Bayerns
Juli 1986 – 2. Auflage – 15. Möglichkeiten der Abwärmenutzung mit Wärmepumpen im landwirtschaftlichen Betrieb
März 1985 ** 16. Verbesserung der Verfahrenstechniken für die Flüssigmistaufbereitung und Ausbringung
April 1985 17. Flüssigfütterung bei Schweinen
Mai 1985 18. Wirkungen belüfteter und unbelüfteter Rindergülle unter Schnitt und Beweidung auf Dauergrünland
Dezember 1985 * 19. Demonstrationsanlagen für die Verfeuerung von Holz und Stroh
April 1986 | <ul style="list-style-type: none"> ** 20. Verbesserung der Verfahrenstechniken für die Flüssigmistaufbereitung und Ausbringung
Juni 1986 * 21. Feuchtgetreide-Konservierung
Juli 1986 22. Erosionsschutz
Landtechnische Maßnahmen zur Verminderung der Bodenerosion von Reihenfrüchten in Hanglagen
Mai 1987 * 23. Biogas
Juli 1987 * 24. Zuckerhirse
Oktober 1987 25. Demonstrationsanlagen für die Verfeuerung von Holz und Stroh
November 1987 26. Techniken zur Erzeugung von Qualitätsheu
Dezember 1987 27. Biogas
Februar 1988 28. Techniken zur Verbesserung der Grundfutterkonservierung
November 1988 29. E 5 – Ottokraftstoff
Januar 1989 30. Getreidekonservierung und Futterschäden durch Getreide
Juli 1989 31. Landtechnische Maßnahmen zur Verminderung der Bodenerosion beim Anbau von Reihenfrüchten in Hanglagen
März 1990 ** 32. Verbesserung der Aufnahmetechnik bei der Mähdruschernte
Endberichte zur Strohfederungsanlage
Berichte zu Biogasanlagen
Luft-Luftkollektor für die Tabaktrocknung
April 1990 ** 33. Produktion, Aufbereitung und energetische Nutzung von Pflanzenölen
Errichtung einer Rapsölgewinnungsanlage zum Betrieb von Ackerschleppern in der Landwirtschaft
Einsatz von Pflanzenölen in Verbrennungsmotoren und Heizungsanlagen
Quantitative Erfassung von Ammoniakemissionen in den Verfahrenstechniken der Gülleverwertung
Mechanisierung der Bodenprobenentnahme
Fachliche Betreuung bei der mechanischen Bodenprobenentnahme in landw. Betrieben Bayerns
Oktober 1990 |
|---|---|

* vergriffen

** Nur für dienstliche Zwecke

Die folgenden Berichte sind im Rahmen dieser Heftreihe erschienen:

34. Entwicklung und Erprobung einer Schnellbestimmungsmethode zur Messung von Bodenverdichtungen
Februar 1991
35. Einfluß der Zumischung von Ethanol zu Dieselmotorkraftstoff auf das Emissions- und Betriebsverhalten von Nutzfahrzeugen, insbesondere auf die Freisetzung von derzeit als krebserregend geltenden Stoffen
April 1991
- * 36. Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit von Festmistverfahren
Recycling von Kunststoffen – Erprobung von Kunststoffregeneraten für die Landwirtschaft
April 1991
- * 37. Bodenverdichtung und Zugkraftbedarf in Abhängigkeit von Bodenart und Bodenfeuchte
Juni 1991

* vergriffen

* Nur für dienstliche Zwecke