

#### Indizes:

A	Antrieb	T	Radstand
B	Frontballast, Fronttilger	h	Hinterrad
F	Fahrersitz	m	Ruhelage
L	Reifenlatsch	v	Vorderrad
O	Fahrbahnoberfläche	x	Koordinatenachse
R	Rad	z	Koordinatenachse
S	Schwerpunkt, Fahrzeug		

#### Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] *Schrogl, H.*: Dynamische Eigenschaften von Ackerschlepper-Triebradreifen bei höheren Rollgeschwindigkeiten. Forsch.-Ber. Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Nr. 159; Diss. Univ. Hohenheim 1989.
- [2] *Siefkes, T.*: Dynamische Kennwerte von AS-Reifen im Prüfstandsversuch und im Freiland. VDI/MEG Kolloquium Landtechnik: Reifen landwirtschaftlicher Fahrzeuge, München 1989.
- [3] • *Magnus, K. u. H.H. Müller*: Grundlagen der Technischen Mechanik. Stuttgart: B.G. Teubner, 1982.
- [4] *Schrottmaier, J.*: Schutz des Menschen vor vertikalen Schwingungen bei Traktoren und Motorkarren. Forschungsberichte der Bundesversuchs- und Prüfungsanstalt für landwirtschaftliche Maschinen und Geräte, Heft 3, Wiesenburg, 1974.
- [5] *Langenbeck, B.*: Nichtlineares Reifenmodell. VDI/MEG-Kolloquium Landtechnik: Reifen landwirtschaftlicher Fahrzeuge, München 1989.
- [6] ISO-Norm: Smooth-Track. Technical Report, Ref. No. ISO/TR 5007-1980.
- [7] *Ulrich, A.*: Untersuchungen zur Fahrdynamik von Traktoren mit und ohne Anbaugeräte. Forsch.-Ber. Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft, Diss. TU Berlin 1983.
- [8] GTA-Freischichttraktoren. Werksprospekt der Firma Fendt, Marktoberdorf, 1989.
- [9] *Weigelt, H.*: Schwingungseigenschaften vorderachsgefederter landwirtschaftlicher Traktoren. Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 14, Nr. 33, Düsseldorf: VDI-Verlag; Diss. TU Berlin, 1987.

---

## Ergonomische Arbeitsplatzgestaltung zur Erhöhung der Arbeitssicherheit

Von Wilfried Hammer, Heinrich Beutnagel, Udo Schmalz und Gertrud Thaeer, Braunschweig-Völkenrode\*)

Mitteilung aus dem Institut für Betriebstechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode (FAL)

DK 631.5:614.8

Die Entwicklung von Betriebs- und Arbeitsmitteln muß den Anforderungen des Menschen angepaßt sein, d.h. seine Körpermaße, seine normalen Körperhaltungen und -bewegungen und sein artieigenes Verhalten beachten; denn der ergonomisch günstige Arbeitsplatz ist eine wesentliche Voraussetzung für den sicheren Arbeitsplatz.

Analysen von Unfallanzeigen und Erhebungen über Beinahe-Unfälle weisen auf Gefährdungen am einzelnen Arbeitsplatz hin. Verhaltensbeobachtungen sind besonders bei Routinetätigkeiten, die weitgehend automatisiert ausgeführt werden, aufschlußreich. Mehrfaktorielle Bewegungs- und Arbeitsversuche ermöglichen, die verschiedenen Komponenten eines Arbeitsplatzes systematisch zu bewerten und zu optimieren.

---

Übersichtsreferat über ein vom BMFT gefördertes Forschungsvorhaben.

---

\*) Prof. Dr. agr. W. Hammer, Dipl.-Ing. agr. H. Beutnagel, Dipl.-Wirtsch.-Ing. U. Schmalz und Frau Dipl.-Math. G. Thaeer sind derzeitige und ehemalige Mitarbeiter des Instituts für Betriebstechnik (Leiter: Prof. Dr. H. Schön) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

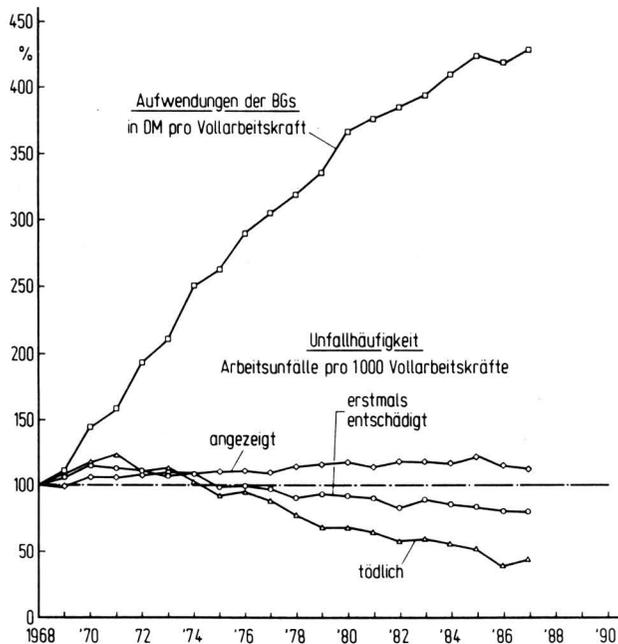
### 1. Allgemeine Unfallsituation in der Landwirtschaft

Vergleicht man die Unfallhäufigkeit der verschiedenen Wirtschaftszweige in der Bundesrepublik Deutschland, dann muß man feststellen, daß sich die Landwirtschaft mit mehr als 90 Unfällen pro 1000 Vollarbeitskräfte und Jahr im oberen, d.h. unfallträchtigsten Drittel befindet.

Wenn man ferner die Entwicklung der Unfallzahlen seit 1968 betrachtet, Bild 1, so erkennt man:

- daß die tödlichen Unfälle erfreulicherweise wesentlich seltener geworden sind,
- daß sich aber die Häufigkeit aller angezeigten und auch der erstmals entschädigten schweren Unfälle kaum geändert hat und
- daß die Aufwendungen der Berufsgenossenschaften für Heilbehandlung, Rehabilitation und Renten um mehr als 300 % gestiegen sind. Groh [1] und Hartmann [2] haben schließlich alle direkten und indirekten Unfallkosten berechnet. Diese machen demnach allein 9 % der landwirtschaftlichen Nettowertschöpfung aus.

Trotz erheblicher Anstrengungen der Berufsgenossenschaften und der Landmaschinenindustrie, trotz eingehender Unfallverhütungsvorschriften und anderer Regelwerke ist die Unfallsituation der gesamten Landwirtschaft also unbefriedigend. Für den einzelnen bäuerlichen Familienbetrieb kommt noch hinzu, daß der Ausfall einer Person sogar existenzbedrohend sein kann. Somit muß es ein klares Unternehmensziel sein, die Arbeitssicherheit zu verbessern.

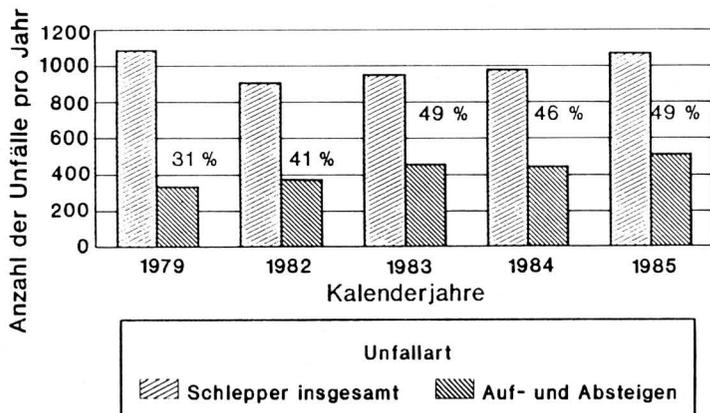


**Bild 1.** Entwicklung der Unfallhäufigkeit in der Landwirtschaft und der Aufwendungen der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften seit 1968; Quelle: Bundesarbeitsblatt.

## 2. Auswahl eines Unfallschwerpunktes: Auf- und Absteigen am Schlepper

Um einen Beitrag zu den umfassenden Aufgaben bei der Verbesserung der Arbeitssicherheit zu leisten, wurde am Institut für Betriebstechnik der FAL neben anderen Unfallschwerpunkten das Auf- und Absteigen an landwirtschaftlichen Fahrzeugen, insbesondere an Ackerschleppern ausgewählt. Dafür waren folgende Gesichtspunkte maßgebend:

- Die Unfallhäufigkeit in diesem Bereich ist hoch und hat in den Jahren von 1979 bis 1985 sogar zugenommen, **Bild 2**.
- Beim Auf- und Absteigen tragen nicht nur technische Maßnahmen zur Sicherheit bei, sondern in hohem Maße das Verhalten des Menschen. Dieses ist nämlich bei der Unfallverhütung immer mehr zum Engpaßproblem und damit zur vordringlichen Forschungsaufgabe geworden.
- Steigen ist eine der Grundtätigkeiten nicht zuletzt am landwirtschaftlichen Arbeitsplatz. Gewinnt man deshalb allgemeine und übertragbare Erkenntnisse, dann sind diese auf mannigfaltige Arbeiten und Arbeitsplätze anzuwenden.



**Bild 2.** Unfallhäufigkeit bei Schlepperarbeiten insgesamt und beim Auf- und Absteigen; Bereich der Hannoverschen landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft.

## 3. Feststellen von Gefährdungspotentialen

Ein Unfall beruht in der Regel nicht nur auf einer einzigen Ursache. Zumeist sind es mehrere Faktoren und Bedingungen, die gemeinsam wirken, untereinander zusammenhängen und sich oft in ihrer Wirkung auf das Unfallgeschehen verstärken.

Um nun mit eigener experimenteller Arbeit gezielt an einem zentralen Problem ansetzen zu können, mußte dieses Wirkungsgefüge vorher durch geeignete Analysen aufgeklärt werden. Dies geschah auf zwei Wegen:

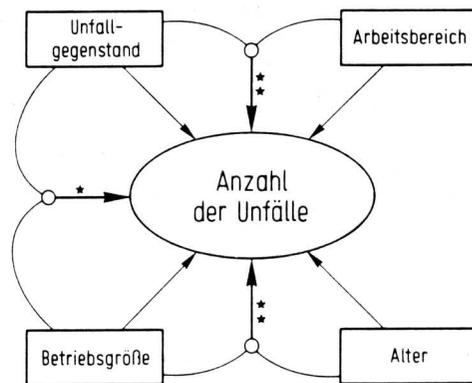
1. Analyse von Unfallanzeigen der Hannoverschen landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft aus den Jahren 1979 und 1982 bis 1985 mit Hilfe mehrfaktorieller statistischer Analysen (log-lineare Analysen multivariater Häufigkeitstabellen [3] und logistische Regressionsanalysen [4]).
2. Erhebung von Daten über Beinahe-Unfälle mit Hilfe von standardisierten Interviews und deren Analyse mit den unter 1. genannten statistischen Verfahren.

### 3.1 Analyse von Unfallanzeigen

Ziel dieser Analysen [5,6] war es, die multiple und simultane Wirkung von mehreren Einflußgrößen auf die zwei Zielgrößen Unfallhäufigkeit und Unfallschwere festzustellen.

Als Einflußgrößen wurden Unfallgegenstand (= Arbeitsmittel), Arbeitsbereich, Jahres- und Tageszeit, Betriebsgröße, Bodenart und -zustand, Geländeform, Geschlecht und Alter der verletzten Personen berücksichtigt.

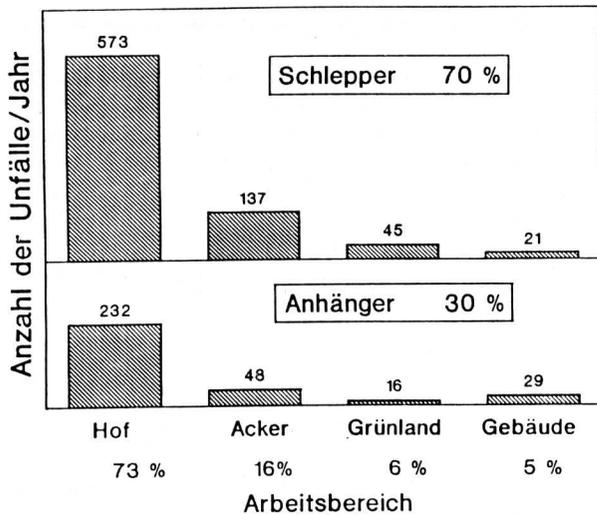
Aus der Vielfalt dieser Faktoren soll als erstes Beispiel die Unfallhäufigkeit bei Männern in Abhängigkeit von Unfallgegenstand, Arbeitsbereich, Betriebsgröße und Alter dargestellt werden. Nach **Bild 3** beeinflussen diese vier Variablen als Hauptwirkungen und außerdem als Wechselwirkungen miteinander verknüpft die Anzahl der Unfälle.



**Bild 3.** Beispiel für die Analyse von Unfallanzeigen: Strukturmodell für die Unfallhäufigkeit beim Auf- und Absteigen der Männer in Abhängigkeit von verschiedenen Haupt- und Wechselwirkungen.

Die Wechselwirkung von Unfallgegenstand und Arbeitsbereich ist zum Beispiel aus **Bild 4** abzulesen.

Für den Unfallgegenstand ergibt sich: An Schleppern geschehen im allgemeinen, d.h. betrachtet man partiell nur diese Hauptwirkung, etwa 70 % aller Auf- und Absteigeunfälle, bei Anhängern



**Bild 4.** Unfallhäufigkeit beim Auf- und Absteigen der Männer, aufgliedert nach dem Unfallgegenstand und dem Arbeitsbereich.

etwa 30 %. Diese Relation ist sicher mit wesentlich häufigerem Besteigen von Schleppern als von Anhängern zu erklären. Dagegen dürften Schlepperaufstiege an sich nicht spezifisch gefährdender sein als die an Anhängern.

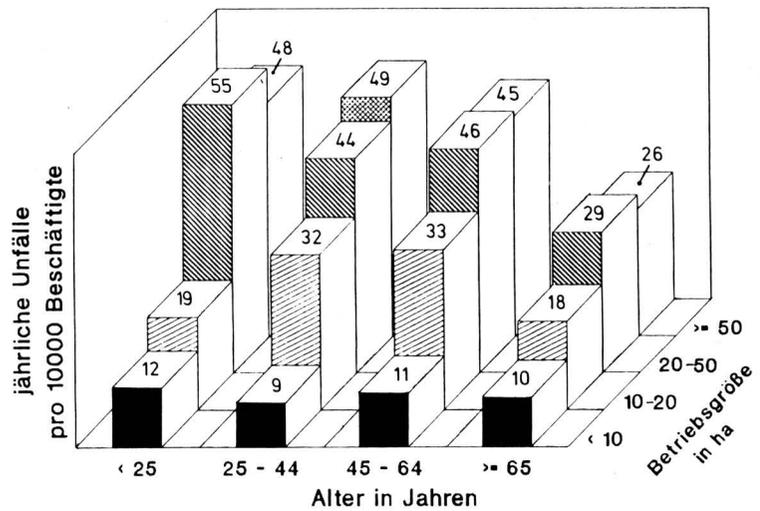
In den verschiedenen Arbeitsbereichen verteilen sich die Unfälle wie folgt: Hof 73 %, Acker 16 %, Grünland 6 % und Gebäude 5 %. Die Unfallzahl auf dem Hof ist beträchtlich. Sie deutet im wesentlichen auf besonders häufiges Auf- und Absteigen bei Rüst-, Neben- und Wartungsarbeiten hin. Ob vergleichsweise harter Boden oder räumliche Enge ungünstig wirken, kann mit den vorhandenen Daten nicht nachgewiesen werden.

Über diese beiden Hauptwirkungen hinaus besteht aber auch eine hoch signifikante Wechselwirkung zwischen ihnen (s. Bild 3). Während auf Hof, Acker und Grünland etwa 2,5mal soviel Schlepper- wie Anhängerunfälle geschehen, ist das Verhältnis bei Gebäuden kleiner als 1. Als Erklärung dafür mag dienen, daß die Gebäude Ausgangspunkt und Ziel von Transporten mit Be- und Entladevorgängen und entsprechend häufigem Auf- und Absteigen von Anhängern sind.

Als zweites Beispiel soll die in Bild 3 ersichtliche hoch signifikante Wechselwirkung zwischen dem Alter der Verletzten und der Betriebsgröße erläutert werden, Bild 5. Zu ihrer sachgerechten Analyse war es notwendig, die Zahl der Beschäftigten in den einzelnen Alters- und Betriebsgrößenklassen als weitere Bezugsgröße einzuführen. Dabei deuten sich folgende Tendenzen an:

Für die Abhängigkeit von der Betriebsgröße ergibt sich ein klares Bild: Bis zu 50 ha LF ist bei allen Altersklassen ein starker Anstieg der Unfallhäufigkeit mit wachsender Betriebsgröße festzustellen. Über 50 ha LF hinaus setzt sich dieser eindeutige Trend nicht mehr fort. Wahrscheinlich steigt das Arbeitsvolumen pro Beschäftigten und damit auch die Unfallgefahr bis zu 50 ha LF an, um darüber hinaus etwa auf gleicher Höhe zu bleiben. Die Arbeitskräfte sind offensichtlich von etwa 50 ha LF an bei den Arbeiten mit Schleppern und Anhängern voll ausgelastet. Bei höherem Arbeitsbedarf werden jeweils weitere Personen beschäftigt.

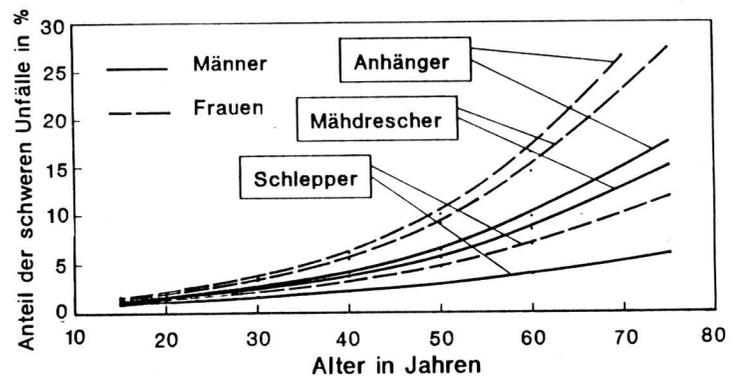
In den Betrieben bis zu 10 ha LF trat mit jährlich 9 bis 12 Unfällen pro 10000 Beschäftigte die geringste Unfallhäufigkeit auf. Dabei zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Altersgruppen. Die Daten der beiden mittleren Altersgruppen (25 bis 64 Jahre) differieren in allen Betriebsgrößenklassen nur in geringem Ausmaß. Dagegen fällt auf, daß die Männer, die älter als 65 Jahre sind und in Betrieben mit mindestens 10 ha LF arbeiten, verglichen mit den 25- bis 64-jährigen nur 54 bis 64 % der Unfallhäufigkeit aufweisen.



**Bild 5.** Unfallhäufigkeit beim Auf- und Absteigen der Männer in Abhängigkeit von Betriebsgröße und Alter der Verletzten.

Wahrscheinlich ist es in diesen Betriebsgrößenklassen möglich, die "Senioren" weitgehend von den Arbeiten mit Schleppern und Anhängern zu entlasten. Dagegen sind sie wohl in den kleinsten Betrieben bis 10 ha LF, die häufig Nebenerwerbsbetriebe sind, gezwungen, diese Arbeiten noch zu übernehmen.

Die mit dem Alter verbundene Gefährdung läßt sich aber nicht allein mit der Unfallhäufigkeit bewerten. Die Unfallchwere muß als weiteres Kriterium hinzugenommen werden. Dazu bietet Bild 6 ein anschauliches Beispiel: Der Anteil der schweren Unfälle steigt allgemein mit zunehmendem Alter an, bei den Frauen jeweils stärker als bei den Männern. Außerdem wächst die Gefährdung beginnend bei Schleppern, über Mährescher bis zu einer höchsten Quote bei Anhängern.



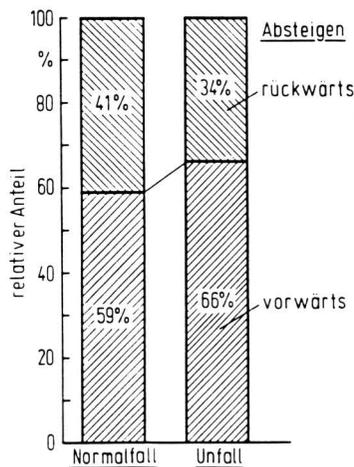
**Bild 6.** Anteil der schweren Unfälle in Abhängigkeit vom Alter der Verletzten, Unfallgegenstand und Geschlecht als Parameter.

Versucht man diese Ergebnisse zu erläutern, so ist die mit zunehmendem Alter eintretende Verminderung von Beweglichkeit, Fähigkeit der Bewegungskoordination und Belastbarkeit des Skeletts zu erwähnen. Die höhere Gefährdung besonders älterer Frauen durch Osteoporose ist allgemein bekannt. Die Aufstiege an Mähreschern sind im allgemeinen höher als bei Schleppern, an Anhängern fehlen sie oft völlig.

### 3.2 Erhebung und Analyse von Beinahe-Unfällen

Die Auswertung der Unfallanzeigen bietet nur sehr wenig Informationen über den Einfluß der arbeitenden Personen. Um über ihr Befinden, Verhalten, ihre Gefährdungswahrnehmung und -einschätzung Erkenntnisse zu gewinnen, interviewte *Beutnagel* [6] 237 Landwirte über erlebte Beinahe-Unfälle. – Ein Beinahe-Unfall entsteht durch ein oder mehrere kritische Ereignisse, die unerwartet auftreten und zu einer Abweichung vom normalen Arbeitsablauf sowie zu einer akuten Gefährdung führen, ohne daß eine tatsächliche oder schwerwiegende Verletzung eintritt.

Die meisten Landwirte steigen von Schleppern vorwärts ab, obwohl deren Aufstiege dafür unzureichend ausgestattet sind. Aus **Bild 7** ist außerdem abzulesen, daß ein Teil der Landwirte, die normalerweise rückwärts absteigen, dies im Moment eines Unfalls vorwärts tun. Im folgenden wird versucht, die Ursachen für diese Verhaltensänderungen zu finden.



**Bild 7.** Häufigkeit des Vorwärts- bzw. Rückwärtsabsteigens unter normalen Bedingungen und beim Unfall.

Wenn der Produktions- und Arbeitsablauf gestört wurde, änderten 85 % der Landwirte, die einen Beinahe-Unfall schilderten, ihr Verhalten, **Tafel 1**, Zeilen 1 und 2. Ohne eine Störung taten es nur 56 %.

Zeile	Belastende Faktoren und deren Ausprägungen	Signifikanzniveau P	Anteil der Personen in %, die ihr Verhalten	
			änderten	nicht änderten
1	Störungen des Arbeitsablaufes vorhanden	< 0,01	85	15
	nicht vorhanden		56	44
3	Zeitdruck vorhanden	< 0,01	77	23
	nicht vorhanden		46	54
5	Ermüdung oder Erschöpfung keine	< 0,05	62	38
	mäßig		85	15
	stark		99	1

Lesebeispiele für die Zeilen 3 und 4: Von allen Personen, die bei einem Beinahe-Unfall unter Zeitdruck standen, reagierten 77 % mit einer Verhaltensänderung, 23 % änderten ihr Verhalten jedoch nicht. Ohne Zeitdruck änderten nur 46 % ihr Verhalten und 54 % taten dies nicht.

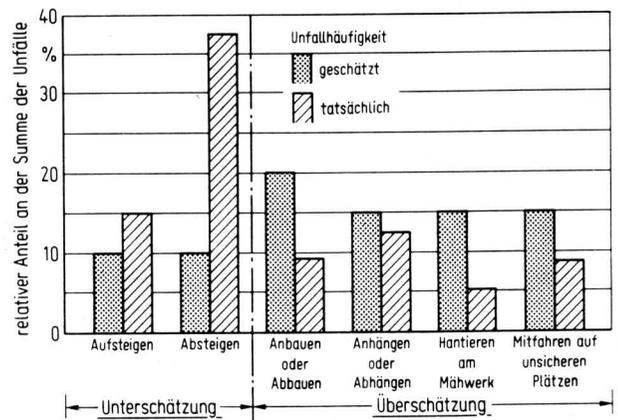
**Tafel 1.** Wirkung einiger belastender Faktoren auf Verhaltensänderungen von Landwirten, die über einen eigenen Beinahe-Unfall berichteten.

Auch Zeitdruck hat eine ähnliche Wirkung: 77 % der Schlepperfahrer änderten unter dieser Art der Belastung ihr Verhalten, anderenfalls nur 46 % (**Tafel 1**, Zeilen 3 und 4).

Physische Ermüdung und Erschöpfung scheinen ebenfalls die Selbstkontrolle einzuschränken. Denn mit zunehmender Ermüdung stieg der Anteil derjenigen deutlich, die ihr Verhalten änderten (**Tafel 1**, Zeilen 5 bis 7).

Landwirte müssen ihre Arbeit zwangsläufig unter mannigfaltigen, häufig wechselnden und oft ungünstigen Bedingungen verrichten. Deshalb ist es unerlässlich, die damit verbundenen Gefährdungen wahrzunehmen. – Nach hoher geistiger Anspannung und Aufmerksamkeit während des Schlepperführens und Maschinenbedienens neigt man oft dazu, sich bei Nebenarbeiten zu entspannen. Dabei ist man auch weniger aufmerksam. So nahmen nach sehr beanspruchenden Hauptarbeiten im Vergleich zu leichteren Aufgaben nur etwa halb so viele befragte Landwirte spezielle Gefährdungen während des Auf- und Absteigens wahr. – Eine der häufigsten solcher unbeachteten Gefährdungen ist durch verschmutzte Stufen bedingt.

Voraussetzung für die notwendige Aufmerksamkeit und Wahrnehmung ist die richtige Einschätzung der Gefährdung. Wie **Bild 8** zeigt, neigt man zu deren Unterschätzung bei Routinetätigkeiten wie z.B. dem Auf- und insbesondere dem Absteigen. Alle übrigen Arbeiten mit zum Teil deutlicher Gefahrsignalwirkung wurden dagegen hinsichtlich der Gefährdung überbewertet.



**Bild 8.** Gefährdungseinschätzung bei verschiedenen Arbeiten an oder mit Schleppern; nach *Hankers u. Dieckmann* [7].

Faßt man nach der Erörterung dieser Beispiele die Ergebnisse der Untersuchung über Beinahe-Unfälle zusammen, dann können folgende wesentliche Gefährdungspotentiale für das Auf- und Absteigen genannt werden:

- Äußere Bedingungen
  - ungünstige Witterung
  - ungünstiger Bodenzustand

- Technische Bedingungen
  - unterste Stufe zu hoch
  - verschmutzte Trittstufen
  - fehlende Aufstiege, besonders an Transportanhängern
  - ungenügende Handgriffe
  - vorstehende Teile

- Verhalten der Personen
  - Verhaltensänderung besonders durch Störung, Zeitdruck und Ermüdung

- Vorwärtsabsteigen
- nicht festhalten (können)
- mangelnde Gefährdungswahrnehmung und -einschätzung.

Mit den Analysen der Unfallanzeigen und der Beinahe-Unfälle konnten Unfallschwerpunkte und Gefährdungspotentiale ermittelt werden. Damit wurde die Ausgangsbasis für gezielte experimentelle Untersuchungen geschaffen.

#### 4. Experimentelle Untersuchungen über das Verhalten beim Steigen an Leitern

Bei fast allen Schleppern ist die Baubreite, die für einen Aufstieg zur Verfügung steht, sehr gering. Um die bis zu 1,3 m hohen Kabinenböden zu erreichen, können die Aufstiege nicht so flach wie eine Treppe, sondern müssen leiterartig steil angelegt werden. Deshalb schien es sinnvoll, Versuche über das Verhalten beim Leitersteigen durchzuführen; denn fast alle praktisch tätigen Menschen sind für diese Tätigkeit geübt. Außerdem sollten die neu zu entwickelnde Versuchs- und Meßtechnik sowie aussagekräftige Meßgrößen für anschließende Versuche am Schlepperaufstieg geprüft werden. Im Vordergrund stand jedoch die Aufgabe, Ergebnisse über mehrere Merkmale zu ermitteln:

- Zugriffshöhe am Beginn des Auf- und am Ende des Absteigens
- Hand/Fuß-Abstand während des Steigens
- Diagonal- oder Parallel-Bewegung
- 2- oder 4-Schlag-Rhythmus
- Drei-Kontakt-Anteil
- Zeitbedarf als Maß für den günstigen Verlauf der Bewegungen.

Die Punkte a) und b) erbrachten Unterlagen für die Anordnung von Handgriffen an Fahrzeugaufstiegen.

In diesem Beitrag sollen als ausgewählte Beispiele Ergebnisse zu den Merkmalen e) Drei-Kontakt-Anteil und f) Zeitbedarf vorgestellt werden.

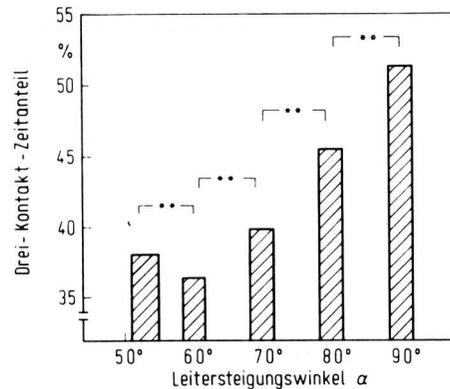
##### 4.1 Drei-Kontakt-Anteil

Seit langem ist die bewährte Drei-Kontakt-Regel bekannt: In jeder Phase des Steigens müssen mindestens drei Extremitäten gleichzeitig Kontakt zu Sprossen oder Holmen einer Leiter haben können. Unter diesem Gesichtspunkt wurde der Einfluß des Leitersteigungswinkels auf den Drei-Kontakt-Anteil untersucht, **Bild 9**. Dabei ergab sich ein Minimum bei 60° im Vergleich zu wenig höheren Werten bei 50° auf der einen Seite und ganz besonders stark und signifikant ansteigenden Werten bis zu 90° Steilheit auf der anderen Seite. Daraus folgt, daß der Bedarf sehr unterschiedlich ist, sich in jeder Phase des Steigens festhalten zu müssen, um das Gleichgewicht zu wahren. Bei 60° ist er offensichtlich am niedrigsten. Dies ist ein Hinweis, daß dieser Leiteranstellwinkel ergonomisch günstig ist.

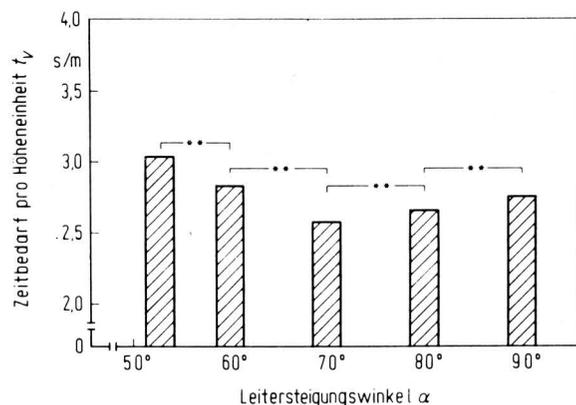
##### 4.2 Zeitbedarf des Auf- und Absteigens

Nach einem von *Fitts* [8] theoretisch und experimentell begründeten Konzept ist der Zeitbedarf für einen bestimmten Bewegungsvorgang bei gleicher Leistungsbereitschaft und -fähigkeit der tätigen Personen um so niedriger, je weniger störende oder hemmende Faktoren und Bedingungen wirken oder, anders ausgedrückt, je günstiger der Arbeitsplatz gestaltet ist. Für die vorliegende Untersuchung stellt sich somit die Frage: Bei welchem Anstellwinkel kann man an einer Leiter mit den geringsten Behinderungen auf- und absteigen und benötigt daher den geringsten Zeitaufwand.

Die gewonnenen Ergebnisse, **Bild 10**, belegen deutlich und signifikant den niedrigsten Zeitbedarf pro Höheneinheit bei einem Anstellwinkel der Leiter von 70°. Damit wird ein klassisches arbeitsphysiologisches Ergebnis von *Lehmann* [9] bestätigt, wonach eben bei diesem Anstellwinkel der Leiter der Energiebedarf zur Überwindung eines bestimmten Höhenunterschiedes am geringsten ist.



**Bild 9.** Drei-Kontakt-Anteil, d.h. Zeitanteil im Bewegungszyklus, bei dem mindestens drei Extremitäten Kontakt zur Leiter haben, beim Leiteraufsteigen in Abhängigkeit vom Leitersteigungswinkel; 28 Versuchspersonen (VPn),  $p < 0,05$ .



**Bild 10.** Zeitbedarf des Leiteraufsteigens in Abhängigkeit vom Leitersteigungswinkel, 28 VPn,  $p < 0,01$ .

Über diese Beispiele hinaus wurden Ergebnisse gewonnen, die wie folgt zusammenzufassen sind:

- Für die oben genannten das Bewegungsverhalten beeinflussenden bzw. charakterisierenden Merkmale (Zugriffshöhe, Hand/Fuß-Abstand, Diagonal- oder Parallel-Bewegung, 2- oder 4-Schlag-Rhythmus und Drei-Kontakt-Anteil) wurden klare Abhängigkeiten vom Steigungswinkel der Leiter ermittelt. Außerdem gelangen einige grundlegende Erkenntnisse über Bewegungsmuster des Menschen.

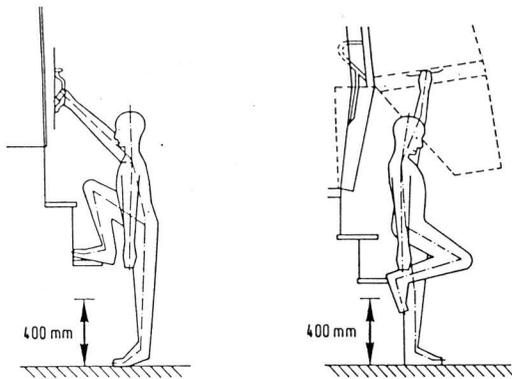
- Der Zeitbedarf erwies sich als aussagekräftiges Maß zur Bewertung der Bewegungsbedingungen. Er konnte deshalb als Kriterium für die Versuche an Schlepperaufstiegen übernommen werden.

#### 5. Somatographische Beurteilung von Schlepperaufstiegen

An ausgewählten Schleppern moderner Bauart wurden alle Teile vermessen und gezeichnet, die für das Auf- und Absteigen wesentlich sind. Mit Hilfe von maßstäblichen Schablonen [10] kann man die Umrisse des menschlichen Körpers in seinen verschiedenen Größen und Stellungen auf den technischen Zeichnungen eintragen. Damit läßt sich die jeweilige durch unterschiedliche Anordnung von Handgriffen, Stufen und Türen verursachte Körperhaltung darstellen. Das folgende Beispiel möge dies verdeutlichen.

Auf Bild 11 ist klar zu erkennen, daß die mit ihrer Körpergröße maßstäblich gezeichnete 5-Perzentil-Frau den Oberschenkel ihres Steigbeins sehr stark anheben und das Knie extrem und anthropometrisch ungünstig beugen muß. Demnach ist diese erste Stufe zu hoch über dem Boden angeordnet.

Die Somatographie erweist sich damit als einfache und anschauliche Methode für eine erste annähernde Beurteilung von Körperhaltungen. Für komplexere biomechanische Prozesse wie das gesamte Auf- und Absteigen bedarf es jedoch realer Versuche.



**Bild 11.** Somatographische Beurteilung der Höhe der untersten Stufe über dem Boden, die Bodenfreiheit bis zur untersten Stufe sollte 400 mm nicht wesentlich übersteigen.

## 6. Experimentelle Untersuchungen über das Verhalten beim Steigen an Schleppern

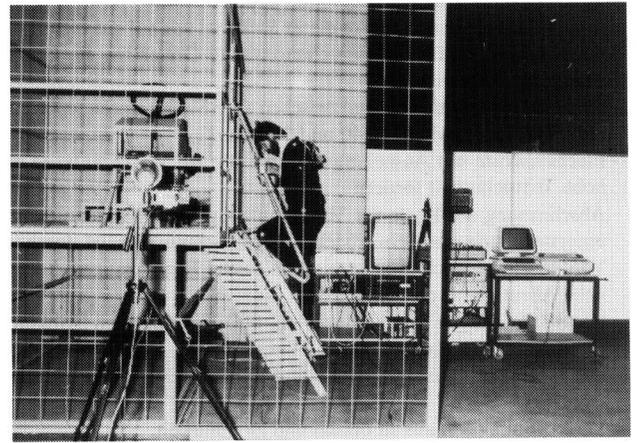
Für die Durchführung dieser Versuche waren aussagekräftige und reproduzierbare Kriterien notwendig, um verschiedene Varianten von Aufstiegen bewerten und beurteilen zu können. Es wurden herangezogen:

- Messung des Zeitbedarfs, der, wie im Kapitel über das Leitersteigen beschrieben und nachgewiesen, ein geeignetes Maß zur Bewertung der Bewegungsbedingungen ist.
- Subjektive Bewertung, d.h. gemäß den Erfahrungen von *Bottoms u.a.* [11] gaben alle Versuchspersonen ihre subjektive Bewertung auf einer ordinalen Skala zwischen den Extremen "bequem" und "unbequem" für die verschiedenen Gestaltungsalternativen ab.
- Beobachtung des Bewegungsablaufs mit einer Videoanlage [12]. Mit Hilfe eines eingblendeten Rasters konnten die zweidimensionalen Koordinaten ausgewählter Körperpunkte bestimmt werden, **Bild 12**.

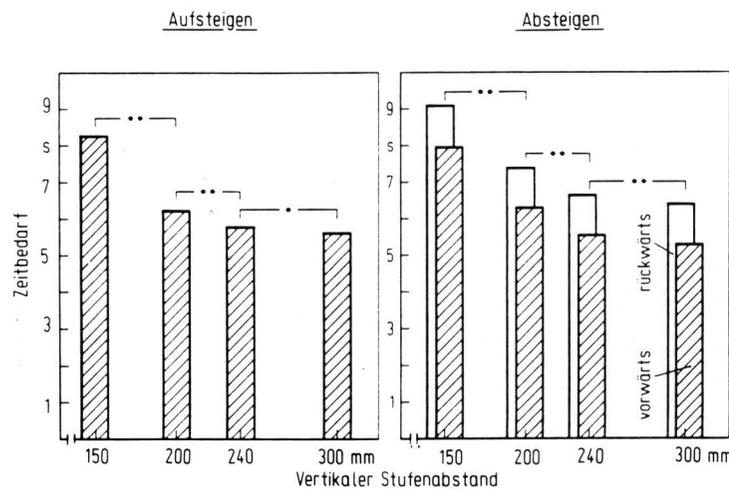
Diese Bewertungsverfahren wurden angewendet, um den Einfluß auf das Bewegungsverhalten für die folgenden Konstruktionsgrößen festzustellen: Stufenbreite, Höhe der untersten Stufe, vertikaler Zwischenstufenabstand, Neigung des Aufstiegs, Türbreite, Tür/Sitz-Zuordnung, Sitz/Lenkrad-Zwischenraum. Im folgenden werden nur die Ergebnisse über den vertikalen Stufenabstand dargestellt. In den anschließenden Schlußfolgerungen sind jedoch alle wesentlichen Ergebnisse aufgeführt.

### Vertikaler Stufenabstand als Beispiel

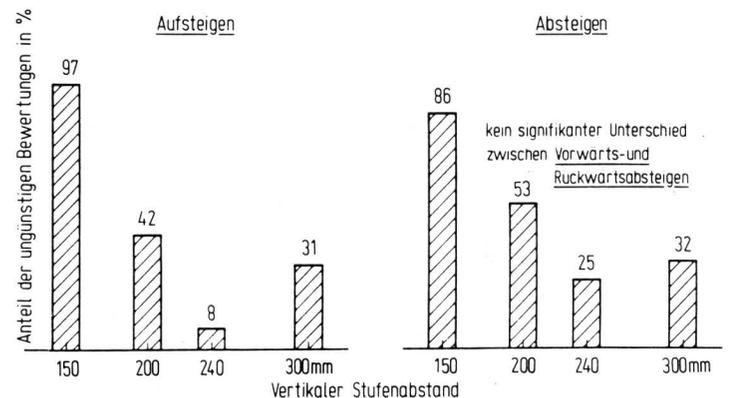
Der Zeitbedarf für das Auf- und Absteigen sinkt mit zunehmendem Stufenabstand. Wegen des degressiven Verlaufs dieser Wirkung nimmt der Zeitbedarf jedoch zwischen 240 und 300 mm nur noch wenig ab, **Bild 13**. Zur weiteren Differenzierung wurde die subjektive Bewertung der Versuchspersonen herangezogen. Wie in **Bild 14** zu erkennen ist, bevorzugen sie eindeutig einen Stufenabstand von 240 mm Höhe.



**Bild 12.** Videoaufzeichnung des Bewegungsablaufs und von markierten Körperpunkten hinter einem Koordinatenraster.



**Bild 13.** Zeitbedarf beim Schlepperauf- und absteigen in Abhängigkeit vom vertikalen Stufenabstand, 6 VPn,  $p < 0,01$ .



**Bild 14.** Subjektive Bewertung des Schlepperauf- und -absteigens in Abhängigkeit vom vertikalen Stufenabstand, 6 VPn,  $p < 0,05$ .

Schmalz [13] hat ausführlich über die Gesamtheit dieser Versuche und deren Ergebnisse berichtet. An dieser Stelle sei nur auf die wichtigsten Schlußfolgerungen für die menschengerechte Gestaltung der Schlepperaufstiege hingewiesen:

- Gleichmäßiger Stufenabstand zwischen allen Stufen einschließlich des Kabinenbodens zwischen 240 und 300 mm
- Flachstaprobste mit Ausnehmungen, die geringe Verschmutzung und hohe Trittsicherheit fördern
- Abschirmung der Roste vor Verschmutzung durch Kotflügel bis zur untersten Stufe und Schutzbacken gegen Schmutzbewurf durch die Vorderräder. Gleichzeitig verhindern solche Begrenzungen das seitliche Abrutschen von den Stufen
- Handläufe anstelle von Haltegriffen, 900 mm über den Trittschritten parallel zum Aufstieg
- Die Höhe der untersten Stufe soll 400 mm nicht wesentlich überschreiten
- Türen vom Boden aus zu öffnen und zu schließen
- Keine hervorstehenden Teile im Zugangsbereich
- Signalfarbanstrich der Zugänge oder der Zugangselemente.



**Bild 15.** Ergonomisch günstig gestalteter und sicherer Schlepperaufstieg; Umbau.

## 7. Anwendung der Ergebnisse zur Arbeitsplatzgestaltung

Die bisher mitgeteilten Ergebnisse betreffen jeweils nur Teile des gesamten Steigvorgangs und der technischen Einrichtungen dafür. Außerdem bedürfen alle arbeitswissenschaftlichen Empfehlungen für ihre Anwendung in der Praxis der Zustimmung der Betroffenen, also der schlepperehenden Frauen und Männer.

Deshalb wurde ein im Institut für Betriebstechnik der FAL vorhandener Schlepper entsprechend umgebaut, **Bild 15**, und im Arbeitsalltag erprobt. Danach kann dieser ergonomisch günstig gestaltete und zugleich sichere Aufstieg der Landmaschinenindustrie, den Berufsgenossenschaften und praktischen Landwirten zur Anwendung empfohlen werden.

## 8. Zusammenfassung

Die Unfallsituation in der deutschen Landwirtschaft erwies sich sowohl im Vergleich zu anderen Bereichen der Volkswirtschaft als auch mit Rücksicht auf ihre Entwicklung seit 1968 als dringend verbesserungsbedürftig.

Neben den sicherheitstechnischen Maßnahmen wird das menschliche Verhalten oder Fehlverhalten immer mehr zum Engpaß. Deshalb wurde mit dem Auf- und Absteigen eine Routinetätigkeit ausgewählt und untersucht, die fast automatisch, ohne direkte Zuwendung des Bewußtseins ausgeführt wird.

Statistische Auswertung von Unfallanzeigen und Interviews über Beinahe-Unfälle stellten Rahmeninformationen über Schwerpunkte der Gefährdung bereit.

Versuche über die natürlichen und gewohnheitsmäßigen Bewegungsvorgänge erbrachten grundlegende Erkenntnisse über Bewegungsmuster und -rhythmen sowie über Bedingungen für sicheres Verhalten bei der Arbeit.

Für die Untersuchung konstruktiver Varianten in ihrem Einfluß auf das Bewegungsverhalten bedurfte es aussagekräftiger und reproduzierbarer Bewertungsgrößen, die die direkte bzw. komplexe Abhängigkeit möglichst quantitativ beschreiben. Dazu waren im allgemeinen mehrere dieser Kriterien notwendig, die gleichzeitig und sich gegenseitig ergänzend erfaßt und ausgewertet wurden. Als Ergebnis konnte eine ganzheitliche Lösung eines ergonomisch günstigen und damit sicheren Arbeitsplatzes geschaffen werden. Er ist menschengerecht und menschenwürdig, wenn die Vielfalt der arbeitenden Individuen und ihr art-eigenes Verhalten repräsentativ berücksichtigt werden.

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] Groh, G.: Das Unfallgeschehen in der Rindviehhaltung und Ableitung baulich-technischer Unfallverhütungsmaßnahmen. Landbauforschung Völknerode Sonderheft 85, 1987.
- [2] Hartmann, W.: Analyse des Unfallgeschehens in landwirtschaftlichen Gebäuden und Hofanlagen und Ableitung baulich-technischer Unfallverhütungsmaßnahmen. ILB-Institutsbericht Nr. 63/89, Institut für landw. Bauforschung der FAL, Braunschweig, 1989.
- [3] • Brown, M.B.: P4F - Two-Way and multiway frequency tables - measures of association and the log-linear model. Biomedical Computer Programs, Berkeley-Los Angeles-London: University of California Press 1983.
- [4] • Engelman, L.: PLR - Stepwise Logistic Regression. Biomedical Computer Programs, Berkeley-Los Angeles-London: University of California Press 1983.
- [5] Hammer, W., G. Thauer, P. Kemeny: Indirekte Gefährdungsanalysen mit Hilfe multivariater statistischer Verfahren: Unfälle beim Aufsteigen auf und beim Absteigen von landwirtschaftlichen Schleppern und Anhängern. Journ. Occup. Accidents (Amsterdam) Bd. 10 (1988) S. 39/68.
- [6] Beutnagel, H.: Untersuchungen von unfallträchtigen Gefährdungen beim Besteigen und Absteigen von landwirtschaftlichen Fahrzeugen. Bericht aus dem Institut für Betriebstechnik der FAL Nr. 182/1989, Braunschweig, Juli 1989.
- [7] Hankers, M. u. J. Dieckmann: Psychologische Ursachen für Unfälle bei landwirtschaftlichen Routinearbeiten. Landtechnik Bd. 37 (1982) Nr. 11, S. 520/22.
- [8] Fitts, P.M.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. Journ. Experimental Psychology Bd. 47 (1954) Nr. 6, S. 381/91.
- [9] • Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie (1962). Neuauflage: Rohmert, W. u. J. Rutenfranz (Hrsg.): Stuttgart: G. Thieme Verlag 1983.
- [10] Jenik, P.: Somatographie - Gestaltungsmethode von Arbeitsplätzen und Arbeitsmitteln. REFA-Lehrunterlagen, REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V., Darmstadt, 1979.
- [11] Bottoms, D.J., T.S. Barber u. C.J. Christolm: Improving access to the tractor cab: An experimental study. Journ. Agric. Engng. Research Bd. 24 (1979) S. 267/84.
- [12] Ihle, W., W. Hammer u. U. Schmalz: Aufzeichnen von Arbeitsbewegungen mit einem Tastsensor- und einem Videogerät. Grundl. Landtechnik Bd. 37 (1987) Nr. 1, S. 12/16.
- [13] Schmalz, U.: Entwicklung ergonomisch günstiger und sicherer Zugänge an landwirtschaftlichen Fahrzeugen, insbesondere an Ackerschleppern. Bericht aus dem Institut für Betriebstechnik der FAL Nr. 183/1989, Braunschweig, August 1989.