

# Computergestützte Methoden zur Projektierung von Sicherheitskabinen für Schlepper

Von Eugeniusz Rusiński, Breslau\*)

DK 631.372:614.8:519.673

Beim Entwurf von Fahrerkabinen steht neben der ergonomischen Gestaltung die Sicherheit der Konstruktion gegen die Belastungen bei einem eventuellen Schlepperumsturz im Vordergrund.

In dieser Arbeit wird für den Entwurf ein zweistufiges Vorgehen vorgeschlagen. Dabei werden in der ersten Stufe in zyklischem Vorgehen die Konstruktionsvarianten entwickelt und über die Berechnung der Festigkeits- und Verformungseigenschaften der Kabine mit dem Finite-Elemente-Verfahren auf einem Personalcomputer die beste Lösung erarbeitet. Für diese Lösung wird als zweite Stufe ein Prototyp erstellt, an dem die Festigkeits- und Verformungseigenschaften entsprechend den jeweiligen Prüfvorschriften experimentell ermittelt werden.

## 1. Einleitung

Zu den gefährlichsten Unfällen in der Land- und Forstwirtschaft zählt der Umsturz von Schleppern mit ungünstiger Struktur auf Feldern und Wegen. Diese Unfälle treten sehr oft, aber nicht ausschließlich, in bergigem Gelände auf. In der ganzen Welt wird nach Sicherheitsstrukturen für Schlepperkabinen gesucht, und dementsprechend werden sie auch in großem Ausmaß projektiert.

Eine der ersten übernationalen Gesellschaften, die sich mit Sicherheitsproblemen befaßten, war die Europäische Gemeinschaft, die die internationalen Sicherheitsvorschriften der ISO erarbeitete. Sie beziehen sich auf die Anforderungen, die an Sicherheitskonstruktionen gestellt werden.

In der Zwischenzeit entwickelten sich auch experimentelle Methoden, mit denen die Wirksamkeit von Sicherheitskabinen zu prüfen ist [1, 2]. Aber schon in der Phase der Vorprojektierung besteht die Notwendigkeit, festzustellen, ob die ins Auge gefaßte Lösung für die Sicherheitskabine den Anforderungen gerecht wird.

Eine solche Voraussage kann man erhalten, indem man u.a. Computer Aided Design (CAD) auf Personal-Computern in der Projektierung verwendet.

## 2. Projektierungszyklus

In der Projektierungsphase einer neuen Sicherheitskabine verfügt der Projektant über eine Datenbank, in der die bisherigen Erfahrungen aus dem Bau ähnlicher Kabinen gespeichert sind. Diese Informationen sollen natürlich bei den verschiedenen Projektierungsphasen berücksichtigt werden. Im Hinblick auf eine den Sicherheitsanforderungen gerecht werdende Konstruktion soll die Projektierung einer Sicherheitskabine in zwei Stufen verlaufen.

Die erste Stufe, linke Schleife in Bild 1, soll mit den Eingaben von Zeile 1 die Möglichkeiten ausschöpfen, die sich aus der Verwendung neuer Werkzeuge, neuer Werkstoffe für die Sicherheitsstrukturen von Kabinen und genaueren Berechnungsmethoden ergeben. Außerdem sollen hier auch alle Faktoren berücksichtigt werden, die die Bequemlichkeit und die Arbeitssicherheit beeinflussen.

In der zweiten Stufe, rechte Schleife in Bild 1, werden, nachdem die Sicherheitskabine konstruiert worden ist, die Methode und der Projektierungszyklus überprüft. Die experimentellen Untersuchungen der Kabinen werden entsprechend den Bestimmungen von ISO oder OECD durchgeführt.

Die theoretische Analyse besteht aus folgenden Hauptblöcken (Bild 1):

- äußere Belastung, Werkstoffe . . . , Abmessungen,
- Berechnungsmodelle,
- Festigkeitsanalyse.

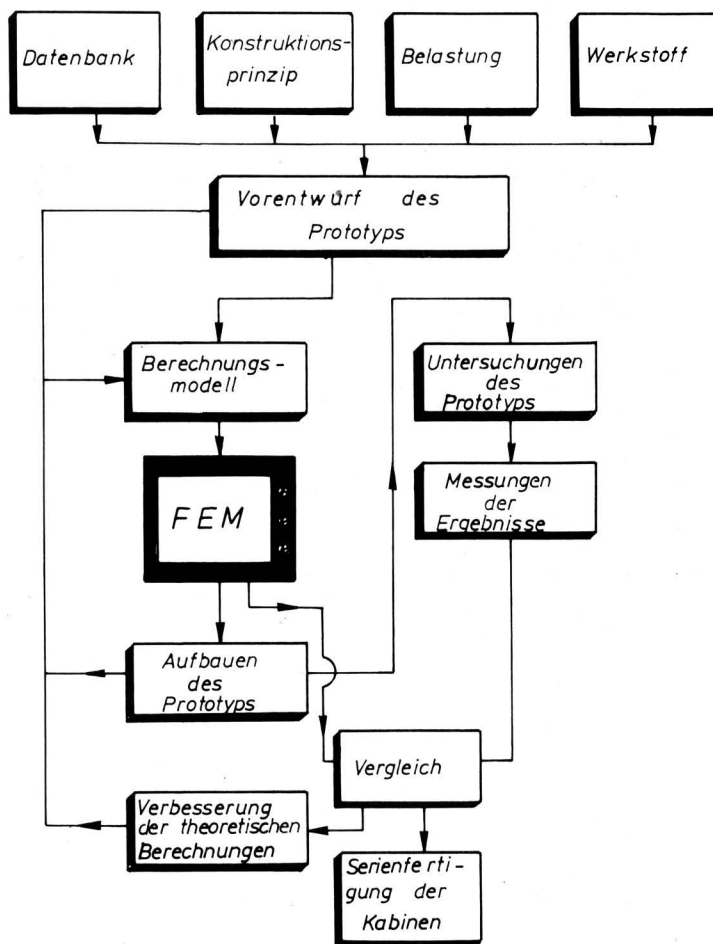


Bild 1. Vorschlag für die Abläufe bei der Projektierung einer Sicherheitskabine.

\*) Dr.-Ing. Eugeniusz Rusiński ist wissenschaftlicher Oberassistent am Institut für Konstruktion und Maschinenbetrieb der Politechnika Wroclawska, Breslau.

### 3. Äußere Belastungen und Berechnungsmodell

Äußere Belastungen ergeben sich aus den möglichen Fällen des Schlepperumsturzes (seitlicher Sturz, rückwärtiger Sturz, Sturz nach vorn). Diese üblichen Umsturzvarianten lassen sich simulieren, wenn zuvor die äußeren Belastungen definiert sind, die nach Normen der ISO [3] und der OECD [4] bestimmt werden.

Die Berechnungsweise für die einzelnen Stoßenergien wird eingehend in [5, 6] besprochen. Die Angriffsstellen der äußeren Kräfte während eines "statischen Test" stellt Bild 2 dar.

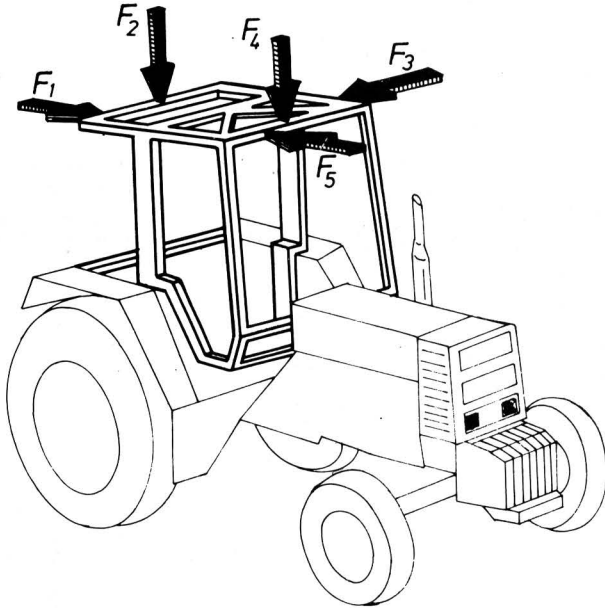


Bild 2. Angriffstellen der Kräfte beim "statischen Test" einer Sicherheitskabine.

Bei einem computergestützten Verfahren (CAD) für den Entwurf von Sicherheitskabinen stellt die Aufstellung eines Berechnungsmodells eine der wichtigsten Etappen dar. Ein solches Modell hat zwei Bedingungen zu erfüllen: erstens soll es möglichst wahrheitsgetreu die Kabine beschreiben und zweitens das Gewinnen von Zahlenwert-Informationen über das analysierte Problem ermöglichen.

Die Beschreibung des Kabinenaufbaus in den Berechnungsmodellen wird durch Aufteilung der Konstruktion in finite Elemente vorgenommen.

Die Sicherheitskabine ist meist ein räumlicher Rahmen, der aus Stäben mit geschlossenen Profilen ausgeführt wird.

In der Projektierungsphase sollen auch Parameter, die mit den Abmessungen der Kabine sowie ihrer Form, Bild 3, verbunden sind, berücksichtigt werden. Diese Parameter haben einen großen Einfluß auf den Wert der realen Stoßkraft,

$$F = f(m, \beta, \gamma, \delta, A, B, C, D, E)$$

Außerdem muß die optimale Verteilung der Säulen im Auge behalten werden, damit dem Fahrer die beste Sicht gewährleistet wird, sowohl in vertikaler ( $A_V$ ) wie in horizontaler Erstreckung ( $A_H$ ). Der Sichtbereich ist eine Funktion der Zahl der Säulen und ihres Anbringensortes. Bei deren Wahl ist besonders zu berücksichtigen, daß die Form der Kabine auch das Weiterrollen des Schleppers verhindern soll.

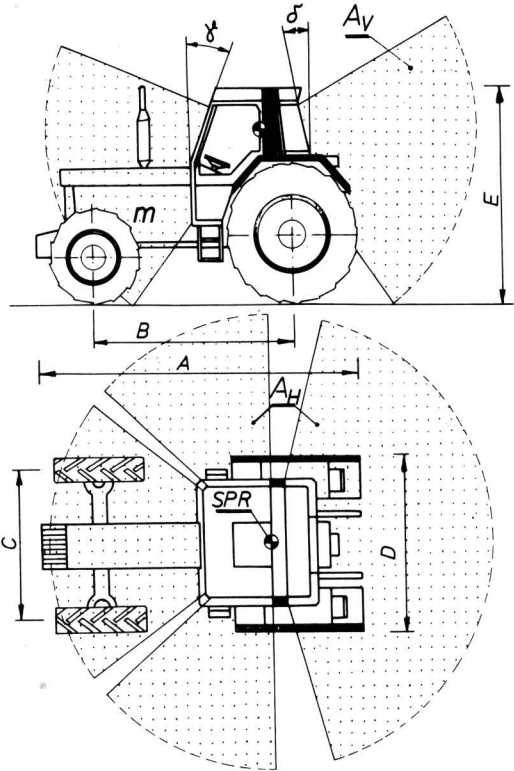


Bild 3. Beispiele für Parameter, die bei der Projektierung einer Sicherheitskabine analysiert werden sollen.

### 4. Die rechnerische Festigkeit

Zuverlässige Voraussagen kann man nur erhalten, wenn eine möglichst vollständige rechnerische Simulation des Testablaufes erfolgt. Als Rechenverfahren für komplexe Gebilde bietet sich die Methode der finiten Elemente an [7].

Bewährte Programmsysteme existieren für Analysen in der Statik, der linearen Dynamik und teilweise auch im elasto-plastischen Bereich [8].

$$\Delta \{R\} = [K^e - K^p] \Delta \{r\} \quad (1)$$

darin bedeuten:

- $[K^e]$  globale Steifigkeitsmatrix der Konstruktion, die aus finiten Elementen besteht,
- $[K^p]$  globale Plastizitätsmatrix der Konstruktion,
- $\Delta \{R\}$  Vektor der äußeren Kräfte der Konstruktion,
- $\Delta \{r\}$  Vektor der Knotenverschiebungen der ganzen Konstruktion.

Diese Gleichung wird durch schrittweises Aufbringen der statischen bzw. dynamischen Belastung erfüllt. Nach jedem Schritt werden die Spannungen der kritischen Teile überprüft [8, 9], sowie die Verformungsarbeit der Konstruktion bestimmt, die der Energie des Schlags gleich ist.

Zur Simulation des OECD-Sicherheitstestes (Bild 2) werden folgende Festigkeitsberechnungen ausgeführt:

- Pendelschlag von hinten,
- Dachdruckbelastung hinten,
- Pendelschlag von der Seite,
- Pendelschlag von vorn,
- Dachdruckbelastung vorn.

Nach dieser numerischen Prozedur wird der noch zur Verfügung stehende Kabinenfreiraum mit dem Soll-Überlebensfreiraum verglichen.

## 5. Numerisches Beispiel

Der oben beschriebene und in Bild 1 dargestellte Projektierungszyklus wurde mit einem Programm versehen. Die einzelnen Programme bilden ein Spezialsystem für CAD für den Personal-Computer PC-XT/AT.

Eine für die CAD-Anwendung besonders vorteilhafte Arbeitsplatzkonfiguration zeigt Bild 4. Das beschriebene System wurde zur Konzeptionsprojektierung einer neuen Sicherheitskabine genutzt. Es wird vorgeschlagen, die Tragstruktur der Kabine als räumlichen Rahmen aus Sandwich-Stäben zu fertigen. Grundelemente sind dünnwandige Rohre mit quadratischem und rechteckigem Profil mit den Abmessungen 50 x 50 x 2 mm und 50 x 100 x 3 mm, ausgefüllt mit PUR-Schaum. Dach und Fußboden sollen aus Sandwich-Platten ausgeführt werden, Türrahmen und Kotflügel dagegen aus Kunststoff. Die Verwendung von Kunststoffen beim Bau einer Sicherheitskabine erfordert vom Konstrukteur entsprechende Informationen über diese Elemente sowie spezielle Programme für die Festigkeitsberechnungen [10, 11].

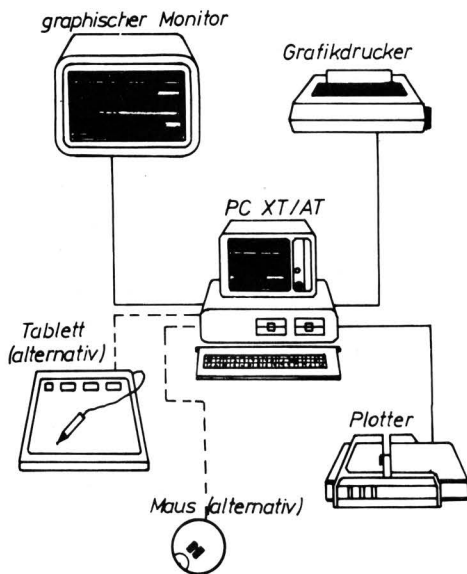


Bild 4. Arbeitsplatz für CAD mit einem Personalcomputer.



Bild 5. Konzeption für eine Sicherheitskabine aus Sandwich- und Kunststoffelementen.

Bild 5 stellt das Konzeptionsmodell einer Sicherheitskabine dar, die aus Sandwich-Elementen ausgeführt wurde. Die Kabine ist für einen Schlepper mit einer Masse von 5000 kg, einem Achsabstand von 2840 mm, einer Spurweite von 1520–1820 mm und einer Gesamthöhe von 2908 mm bestimmt. Ein Beispiel für die Verformung der Kabine bei seitlichem Umsturz stellt Bild 6 dar.

Diese Kabine bietet im Vergleich mit einer Kabine aus Stahl folgende Vorteile:

- die Fähigkeit zur Aufnahme von Energie ist um 40–80 % größer
- Sandwich-Elemente sind gute Schalldämpfer, so daß die Lärmbelastung beachtlich verringert wird
- die Kabinenmasse ist um 30–50 % kleiner
- bei Verwendung einer Beplankung aus Kunststoff entfällt das Problem der Korrosion.

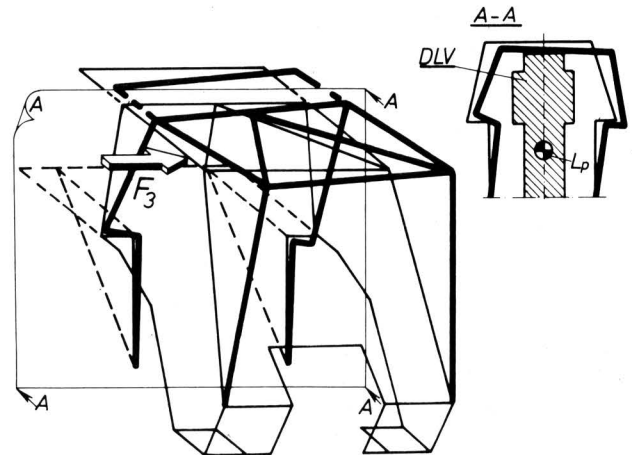


Bild 6. Verformung der Kabine bei seitlichem Umsturz.

## 6. Schlußbemerkung

In der Arbeit wird eine Möglichkeit aufgezeigt, CAD für den Personal-Computer bei Projektierung von Sicherheitskabinen einzusetzen. Das dargestellte Schema (Bild 1) der aufeinander folgenden Projektierungsstufen hat allgemeine Gültigkeit und kann sowohl bei Schleppern als auch bei einer Reihe von Baumaschinen verwendet werden. Die Computerunterstützung bezog sich in diesem Verfahren hauptsächlich auf die Festigkeitsberechnungen der Kabine bei numerischer Simulation des Schlepper-Umsturzes.

Die dargestellten Fragen befinden sich noch in der Entwicklung und bedürfen unter unseren Bedingungen noch vieler Ergänzungen. Zugleich muß auch noch die Richtigkeit der angenommenen Modelle experimentell überprüft werden. Zusammenfassend kann man aber sagen, daß das Berechnungssystem bei der Projektierung einer realen Sicherheitskabine eines Schleppers verwendet wurde. Die Ergebnisse der numerischen Berechnungen selbst haben eine zufriedenstellende Übereinstimmung mit experimentellen Untersuchungen gezeigt [12].

Numerische Voraussagen bieten die Möglichkeit, nicht nur entsprechende Querschnitte der Kabinensäulen anzupassen, sondern machen es auch möglich, neue Stoffe für den Kabinenbau zu suchen, z.B. Sandwich-Elemente, Kunststoffe oder andere. Außerdem gibt es CAD-Aufgabenstellungen, die heute schon mit kostengünstigen Standardprogrammen (2-D- und 3-D-Grafik, Berechnungsverfahren) auf PC-XT/AT effizient bearbeitet werden können. Durch die Entwicklung der Hardware und der damit verbundenen Leistungssteigerung werden noch komplexere Programme einsetzbar sein, was zu einer größeren Anwendungsbreite des PC-CAD führen wird.

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] *Söhne, W. u. H. Schwanghart*: Stand und Entwicklung von Prüfmethode bei Schlepperumsturzschutzvorrichtungen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 28 (1978) Nr. 5, S. 178/84.
- [ 2 ] *Tidbury, G.H.*: The design of bus and truck structures for passenger and crew safety. *Int. J. of Vehicle Design* Bd. 15 (1984) Nr. 1/2, S. 67/85.
- [ 3 ] ISO 5700 – Agricultural and forestry wheeled tractors – Protective structures – Static test method and acceptance conditions.
- [ 4 ] OECD paper, Safety Cabs and Frames. DAA/T/959, May 1970.
- [ 5 ] *Schwanghart, H.*: Der statische Test als Prüfung der Festigkeit von Schlepperumsturzschutzvorrichtungen in der Europäischen Gemeinschaft. *Grundl. Landtechnik* Bd. 28 (1978) Nr. 5, S. 184/89.
- [ 6 ] *Rusiński, E.*: Numerische Berechnung von Schlepper-Sicherheitskabinen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 34 (1984) Nr. 6, S. 254/57.
- [ 7 ] • *Zienkiewicz, O.C.*: The finite element method in engineering science. London: McGraw-Hill, 1971.
- [ 8 ] *Argyris, J.H., D.W. Scharpf u. J.B. Spooner*: Die elastoplastische Berechnung von allgemeinen Tragwerken und Kontinua. *Ingenieur Archiv* Bd. 37 (1969) S. 326/52.
- [ 9 ] *Rusiński, E.*: Die elasto-plastische Berechnung von dünnwandigen Rahmen mit der Methode der finiten Elemente. Vorträge zum Problemseminar "FINITE ELEMENTE IV", Graußig 1985, Heft herausgegeben von der TU Dresden.
- [ 10 ] *Rusiński, E.*: Die elastoplastische Berechnung von Stabkonstruktionen. Programmsystem PLAS. Bericht der Preprint-Reihe Nr. 007/86 Inst. Konstr. Ekspl. Masz. Politechniki Wrocławskiej.
- [ 11 ] *Wrzecioniarz, P. u. E. Rusiński*: The analysis of frame work of sandwich beams by a finite element method. Report Nr. 8507 Cranfield Institute of Technology, Cranfield Impact Centre 1985.
- [ 12 ] *Rusiński, E.*: Numerische Voraussagen für Radlader-Sicherheitskabinen. Im Druck.

---

## Untersuchungen zur Messung der Geschwindigkeit fahrender landwirtschaftlicher Arbeitsmaschinen

Von Hermann Speckmann und Gerhard Jahns,  
Braunschweig-Völkenrode\*)

*Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode*

DK 631.372:631.3.076:531.76

Die Messung der Fahrgeschwindigkeit und des Fahrweges landwirtschaftlicher Arbeitsmaschinen kann vielseitig z.B. für die Regelung der Arbeitsprozesse und die Ermittlung von Betriebsdaten eingesetzt werden. In dieser Arbeit werden die Ergebnisse vergleichender Versuche mit berührend und berührungslos arbeitenden Geschwindigkeitsmeßverfahren mitgeteilt. Für die verschiedenen Verfahren (Peisellerrad, nichtangetriebenes und angetriebenes Fahrzeugrad, umgerechnete Motordrehzahl, drei unterschiedliche Radar-Doppler-Verfahren) werden die bei unbeschleunigter Fahrt auftretenden Abweichungen der gemessenen Geschwindigkeit vom jeweiligen aus Fahrweg und Fahrzeit ermittelten Referenzwert angegeben. Die Darstellung der Ergebnisse in Form der mittleren auf die Referenzgeschwindigkeit bezogenen Abweichung, der Standardabweichung, der Extremwerte und der auf die Referenzgeschwindigkeit bezogenen Extremwerte gibt die Möglichkeit, die Eignung der verschiedenen Verfahren für unterschiedliche Einsatzzwecke zu beurteilen.

---

\*) *Dipl.-Ing. H. Speckmann und Dr.-Ing. G. Jahns sind wiss. Mitarbeiter am Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.*

### 1. Einleitung

Die exakte Messung der Fahrgeschwindigkeit und des hieraus abgeleiteten Fahrweges landwirtschaftlicher Arbeitsmaschinen gewinnt zunehmende Bedeutung bei dem Bestreben, die Arbeitsverfahren in der Außenwirtschaft in Hinsicht auf die Wirtschaftlichkeit, die Arbeitsqualität und den Schutz der Umwelt zu verbessern. Dabei kann die Geschwindigkeitsmessung verschiedenen Zielen dienen, beispielsweise der reinen Geschwindigkeitsüberwachung aus der Anzeige der Meßwerte (Transportarbeiten) oder der Gewinnung weg- und flächenbezogener Betriebsdaten, die zu einer umfassenden Optimierung des Betriebsmittel- und Geräteeinsatzes (Feldbestellung, Ernte- und Transportarbeiten) eingesetzt werden sollen. In zunehmendem Maße wird die Meßgröße Fahrgeschwindigkeit aber auch direkt zur Regelung des Arbeitsprozesses herangezogen, z.B. zur Schlupfbegrenzung bei schwerer Bodenbearbeitung und zur Erzielung konstanter flächenbezogener Aufwandmengen bei den Verteilprozessen Düngen, Säen und Spritzen. Hier beeinflusst die Geschwindigkeitsmessung unmittelbar Effektivität, Qualität und Erfolg der durchgeführten Arbeiten.

Aus der unterschiedlichen Zielsetzung leiten sich unterschiedliche Anforderungen an die Geschwindigkeitsmeßverfahren her. Nachdem in einem vorangegangenen Aufsatz [1] die Aufgaben, Einsatzbedingungen und meßtechnischen Anforderungen an Fahrgeschwindigkeitsmeßsysteme für landwirtschaftliche Arbeitsmaschinen dargelegt sind, wird im Rahmen dieser Arbeit das meßtechnische Verhalten einer Auswahl berührend und berührungslos arbeitender Meßverfahren untersucht und deren Eignung für die unterschiedlichen Aufgaben geprüft.