

# Grundlagen der Landtechnik

Herausgegeben mit Unterstützung durch die  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft  
Braunschweig-Völkenrode (FAL)

Schriftleitung: Dr. F. Schoedder, Institut  
für landtechnische Grundlagenforschung

Grundl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 2, S. 29 bis 60

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

## Testmethoden für Defrostersysteme in Fahrerkabinen landwirtschaftlicher Fahrzeuge

Von Jan Janssen und Hermann Speckmann,  
Braunschweig-Völkenrode\*)

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

DK 631.372:62-784.1:62-787

Wie für andere Fahrzeuge gilt auch für die zunehmend mit Fahrerkabinen ausgerüsteten landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen, daß beim Betrieb eine Sichtbehinderung durch eine beschlagene oder vereiste Windschutzscheibe nicht auftreten darf. Zur Festlegung einer diesbezüglichen standardisierten Testmethode werden gegenwärtig in der ISO zwei Vorschläge diskutiert. Beide Vorschläge sind für die Beurteilung von Defrostersystemen geeignet und haben spezifische Vor- und Nachteile. Vor allem die Forderung nach einer konstanten Testtemperatur von  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  erschwert die Durchführung beider Tests, da hierdurch aufwendige Klimateinrichtungen erforderlich werden. Bei einer Änderung des zweiten Testvorschlages, die sich nur auf die Auswertung der Meßergebnisse auswirkt, kann auf eine Klimakammer verzichtet und der für die Abwicklung des Tests im Freien nutzbare Zeitraum erheblich vergrößert werden.

### 1. Einleitung

Aus Sicherheitsgründen darf bei Fahrzeugen im Betrieb eine Sichtbehinderung durch beschlagene oder vereiste Glasscheiben nicht auftreten. Das trifft auch für die in zunehmendem Maße mit Fahrerkabinen ausgerüsteten landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen zu.

Bei einer Rundumverglasung gelten die Anforderungen in dieser Strenge jedoch nur für die Windschutzscheibe. Für Nutz- und Personenkraftfahrzeuge gibt es für die Leistungsfähigkeit der Einrichtungen zur Enteisung der Windschutzscheibe gesetzliche Vorschriften, die auch das Testverfahren einschließen. In der International Organisation for Standardization (ISO) werden derzeit zwei Vorschläge beraten, die eine standardisierte Testmethode zur Beurteilung von Defrostersystemen für Fahrerkabinen landwirtschaftlicher Fahrzeuge zum Ziel haben.

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

Mit dieser Arbeit werden diese beiden Testmethoden vorgestellt, ihre Vor- und Nachteile dargelegt und anhand von Versuchsergebnissen ihre Brauchbarkeit zur Beurteilung von Defrostersystemen aufgezeigt.

### 2. Testmethoden für Defrostersysteme

#### 2.1 Testmethode A

Für die mit A bezeichnete Testmethode [1] ist weitestgehend die für Nutzfahrzeuge gültige Vorschrift übernommen worden. Der Test kann wahlweise bei einer Temperatur der Außenluft und des gesamten Fahrzeuges von  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  oder von  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  stattfinden.

Vor Beginn des Tests wird die Windschutzscheibe vereist, d.h. es wird solange Wasser auf die Windschutzscheibe gesprüht, bis sich eine 1 mm dicke gleichmäßige Eisschicht gebildet hat. Der Druck der Sprühdüse, der Abstand von der Scheibe usw. sind dabei vorgeschrieben.

Nach Inbetriebnahme des Defrostersystems ist in festgelegten Zeitabständen die Grenze zwischen der vereisten und der abgetauten Fläche mit einem Stift nachzuziehen und nach Beendigung des Tests die Windschutzscheibe aus der Sicht des Fahrers, also von innen, zu fotografieren. Die eisfreie Fläche ist nach Form und Größe ein Maß für die Güte der Entfrostung. Innerhalb der vorgeschriebenen Versuchsdauer soll eine definierte kritische Fläche der Windschutzscheibe, die sogenannte Referenzfläche, abgetaut sein. Die Referenzfläche wird bestimmt durch die Höhe der Augen über dem Sitz und einen Blickwinkel in der Horizontalen von  $40^{\circ}$  und in der Vertikalen von  $20^{\circ}$ , Bild 1.

#### 2.2 Testmethode B

Die mit B bezeichnete Testmethode [2] unterscheidet sich von der Testmethode A im wesentlichen dadurch, daß die Windschutzscheibe nicht mit einer abzutauenden Eisschicht bedeckt wird, sondern die Oberflächentemperaturen an der Außenseite\*) der Windschutzscheibe gemessen werden.

\*) Bei dem späteren Vergleich beider Testmethoden ist stets zu berücksichtigen, daß die Temperaturmeßpunkte (Bild 2) der Testmethode B außen auf der Windschutzscheibe liegen, die Fotografien der Testmethode A jedoch die Innenseite der Windschutzscheibe wiedergeben.

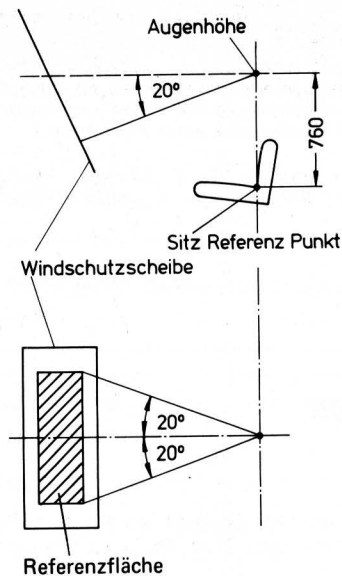


Bild 1. Festlegungen für die Referenzfläche.

In der vorläufigen Fassung dieser Testmethode sind lediglich drei Meßpunkte innerhalb der Referenzfläche nach Bild 1 vorgesehen, Bild 2. Obgleich diese drei Meßpunkte (im Bild als kleine Kreise dargestellt) genügen würden, um die Durchführbarkeit der Methode selbst nachzuweisen, wurde dennoch aus verschiedenen Gründen [3] eine Anordnung der Meßpunkte auf der Referenzfläche gewählt, wie sie Bild 2 mit den nummerierten Punkten entnommen werden kann.

Nach Einschalten des Defrostersystems werden während der vorgegebenen Testdauer die Oberflächentemperaturen als Funktion der Zeit gemessen. Ein Maß für die Güte der Defrosterleistung soll die zum Erreichen einer bestimmten Oberflächentemperatur benötigte Versuchszeit sein. Alle übrigen Bedingungen stimmen mit denen der Testmethode A überein.

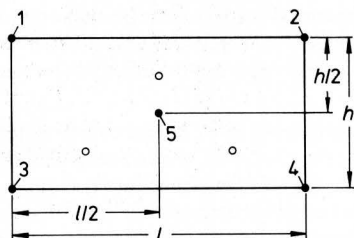


Bild 2. Temperaturreßpunkte in der Referenzfläche nach Testmethode B (o) und bei den Versuchen (•).

### 3. Auswahl von Temperaturfühlern für Testmethode B

Die Anwendbarkeit der Testmethode B setzt eine zuverlässige Messung der Oberflächentemperatur der Windschutzscheibe voraus, vor allem da bei transparenten Medien wie Glas die durchtretende Strahlung das Meßergebnis verfälschen kann. Zur Auswahl von geeigneten Meßwertaufnehmern für die Oberflächentemperaturmessung wurden in mehreren Versuchen sowohl verschiedene handelsübliche als auch selbstgebaute Meßwertaufnehmer getestet. Die Prüfung der Meßfühler wurde schon ausführlich beschrieben [3, 4]. Die Fühler sollen möglichst flach ausgebildet sein und aufgeklebt oder federnd an die Scheibe gedrückt werden können. Weitere Gesichtspunkte bei der Auswahl der Meßwertaufnehmer sind:

1. Empfindlichkeit: Fühler mit großer Empfindlichkeit liefern in Abhängigkeit von der Temperatur ein relativ großes elektrisches Ausgangssignal. Dieses Signal läßt sich meßtechnisch leichter und mit geringerem Aufwand verarbeiten.
2. Handhabung: Meßwertaufnehmer, die sich z.B. durch eine Halterung leicht anbringen und wiederverwenden lassen, sind aufgeklebten Aufnehmern vorzuziehen.
3. Austauschbarkeit: Grundsätzlich sollen austauschbare Aufnahmerelemente eingesetzt werden, um bei Beschädigung ohne eine Nachkalibrierung des neuen Fühlers auskommen zu können.

Die geprüften Meßfühler sind fast alle für diesen Zweck geeignet, die ermittelten Temperaturen streuen maximal um  $\pm 1$  °C untereinander. Aufgrund der Vor- und Nachteile der einzelnen Meßfühler wurde den NTC-Widerständen für diese Messung der Vorzug gegeben [3, 4]. Verwendet wurden die in Bild 3 abgebildeten selbstgebauten Aufnehmer. Die Thermistoren sind auf eine kleine Kupferplatte geklebt. Jeweils zwei Aufnehmer samt Zuleitungen sind an einem Stahldraht befestigt und werden mit Hilfe von "Saugern" an der Scheibe angebracht. Um Einflüsse der Lufttemperatur in Grenzen zu halten, sind die NTC-Widerstände und die Zuleitung unmittelbar am Fühler mit Polystyrolschaumstoff abgeschirmt.

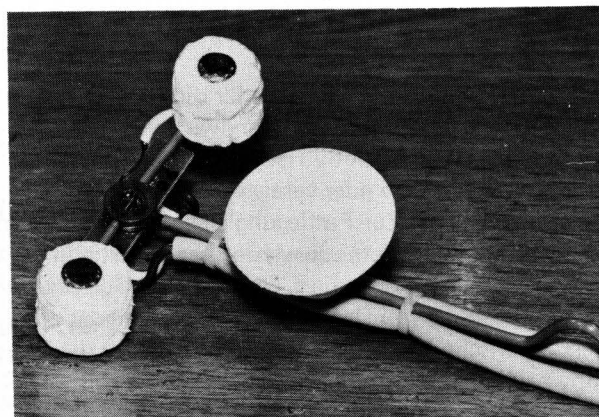


Bild 3. Ansichten der benutzten Temperaturlaufnehmer; links von innen, rechts von außen.

### 4. Versuchseinstellung und -durchführung

Beide Testmethoden wurden an den Windschutzscheiben von 5 verschiedenen Schlepperkabinen untersucht. Vier Schlepper hatten einen wassergekühlten, der fünfte einen luftgekühlten Motor. Tafel 1 enthält die Nennleistungen der Schlepper (Baujahr 1978 bis 1980) und die bei den Versuchen an der Zapfwelle abgenommene Leistung. Nach den Testvorschriften soll die Belastung der Maschine etwa  $20 \pm 5$  % der Nennleistung betragen.

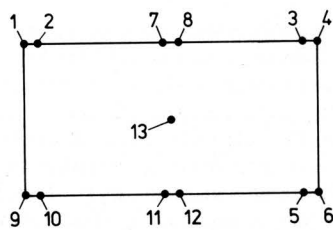
Schlepper	Nennleistung (kW)	abgen. Leistung (kW)	% der Nennleistung
I	88	21,1	24
II	99	23,2	23,4
III	99	23,2	23,4
VI	65	16,2	24,9
V	95	23	24

Tafel 1. Nennleistung und an der Zapfwelle abgenommene Leistung.

Die Lastabnahme erfolgte über einen Zapfwellengenerator, der einen Verbraucher mit einstellbarer Leistung versorgte.

Da eine ausreichend bemessene Klimakammer einen hohen Kostenaufwand verursacht hätte, wurden die Versuche bei geeigneten Bedingungen im Freien durchgeführt. Vor dem Versuch wurden die Fahrzeuge zum Auskühlen auf die Ausgangstemperatur mindestens 9 Stunden abgestellt. Bei der Testmethode A wurde danach die Windschutzscheibe vereist; bei der Testmethode B wurden die Meßfühler schon vorher auf der Windschutzscheibe angebracht. Bild 4 zeigt die Anordnung der jeweils in Zweiergruppen angebrachten Aufnehmer. Im Diagonalschnittpunkt der Referenzfläche (Punkt 13) wurde die Oberflächentemperatur mit einem Strahlungsthermometer gemessen, das wegen seines begrenzten Spektralbereiches für diese Messung besonders geeignet ist [5].

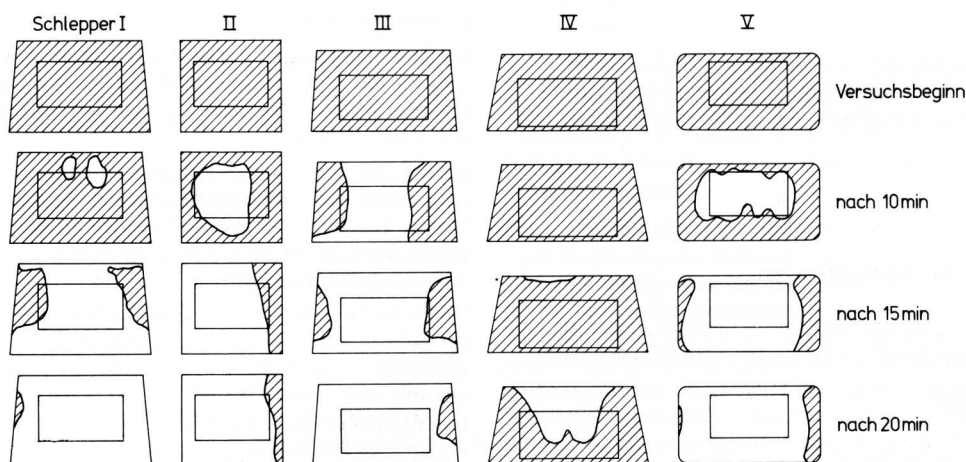
Vor dem Einschalten des Defrostersystems muß der Motor bereits 5 Minuten unter der angegebenen Belastung gelaufen haben. Versuchsbeginn soll deshalb im folgenden der Zeitpunkt sein, an dem die Maschine angelassen wurde. Das Defrostersystem ist beim Einschalten 5 Min nach Beginn des Versuchs auf maximale Leistung einzustellen.



**Bild 4.** Anordnung der Meßwertaufnehmer auf der Windschutzscheibe (von außen gesehen) bei der Testmethode B (Meßstelle 1–12: NTC-Widerstände, Meßstelle 13: Strahlungsthermometer).

## 5. Versuchsergebnisse

Bild 5 gibt den nach Testmethode A ermittelten zeitlichen Verlauf des Abtauvorganges auf den fünf einzelnen Windschutzscheiben wieder. Vom Versuchsbeginn bis zum Einschalten des Defrostersystems sind alle Scheiben mit einer Eisschicht bedeckt. Die Bildreihe in der 2. Zeile beschreibt den Zustand 10 Minuten nach Versuchsbeginn bzw. 5 Minuten nach Einschalten der Defrostersysteme. Die Bildreihen der 3. und 4. Zeile zeigen den Stand des Abtauvorganges 15 bzw. 20 Minuten nach Versuchsbeginn.



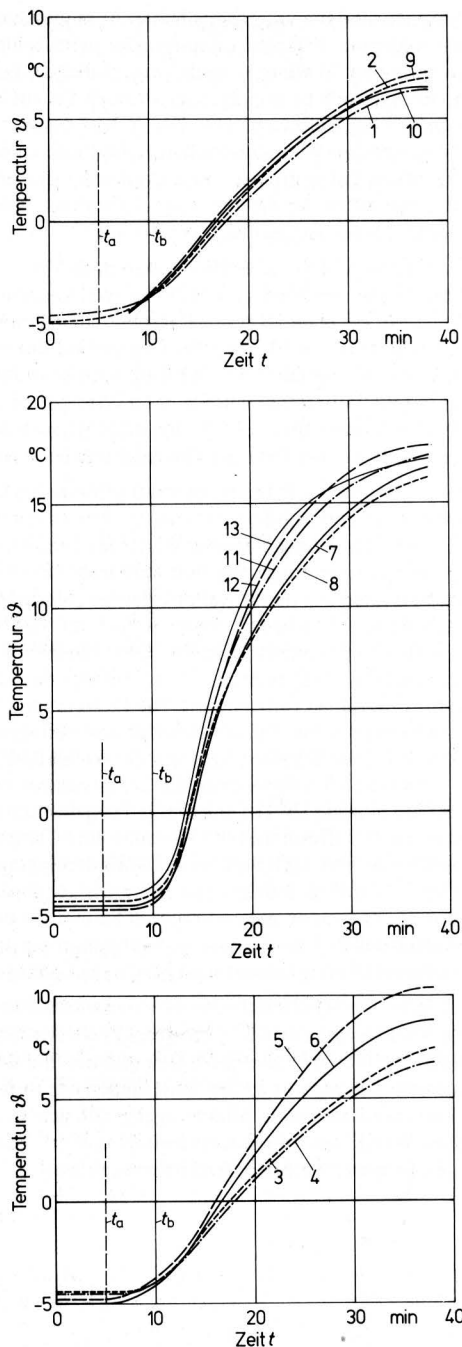
**Bild 5.** Zeitlicher Verlauf des Abtauvorganges bei 5 Schleppern aus der Sicht des Fahrers.

Nicht zu übersehen sind die unterschiedlichen Abtaugeschwindigkeiten für die Schlepper. Während beispielsweise beim Schlepper I die Windschutzscheibe 20 Minuten nach Versuchsbeginn fast völlig abgetaut ist, befindet sich beim Schlepper IV noch Eis auf einem beträchtlichen Teil der Referenzfläche. Der Ablauf des Abtauvorganges auf den einzelnen Windschutzscheiben läßt sich an den Einzelaufnahmen relativ gut verfolgen. Diese Ergebnisse sind auch an den Temperaturverläufen der Testmethode B abzulesen, wie am Beispiel des Schleppers I verdeutlicht werden soll.

Bei der Testmethode A haben sich 10 Minuten nach Versuchsbeginn im oberen Drittel der Windschutzscheibe zwei kleine eisfreie Flächen gebildet, in die etwa 10 % der Referenzfläche hineinragen. Auf der rechten Seite ist die Fläche größer als auf der linken. 5 Minuten später sind ungefähr 95 % der Referenzfläche abgetaut. Der in Bezug auf die Mittelsenkrechte leicht unsymmetrische Abtauvorgang setzt sich dabei fort. 20 Minuten nach Versuchsbeginn ist lediglich noch ein kleiner Rest der Windschutzscheibe vereist.

Die für diesen Schlepper nach Testmethode B gemessenen Oberflächentemperaturen sind in Bild 6 dargestellt. An den einzelnen Meßorten ergeben sich unterschiedliche Werte des Temperaturanstiegs. Der größte Temperaturanstieg tritt kurz nach dem Einschalten des Defrostersystems in der Mittelsenkrechten (Meßstelle 7, 8, 11, 12, 13) der Referenzfläche mit etwa 2 K/min auf. Hier sind bereits nach 4 Minuten Temperaturen über 0 °C erreicht. Zwischen Ober- und Unterkante der Referenzfläche ist anfangs nur ein geringer Temperaturunterschied festzustellen. Die Endtemperaturen unterscheiden sich dort nur um 2 K voneinander und betragen etwa 17 °C. An den seitlichen Begrenzungslinien der Referenzfläche (Meßstellen 1 bis 6 und 9, 10) weichen die Temperaturen erheblich von denen der Mittelachse ab. Der maximale Temperaturanstieg ist hier kleiner (ca. 0,5 K/min und 0,75 K/min), und Temperaturen über 0 °C findet man erst nach ca. 6 min. Die Endtemperaturen liegen bei etwa 7 °C und sind damit deutlich niedriger als die in der Mitte. Auf der von außen gesehen rechten Seitenlinie der Referenzfläche (Meßstellen 3 bis 6) stellt sich außerdem ein deutlicher Temperaturabfall vom unteren zum oberen Eckpunkt ein.

Dem von der Mitte der Windschutzscheibe zu den Seiten hin fortschreitenden Abtauvorgang in Bild 5 entspricht hier der steilere Temperaturanstieg in der Mittelsenkrechten und das Wandern der Linien konstanter Temperatur zu den Seitenlinien der Referenzfläche hin. Der unsymmetrische Abtauvorgang läßt sich an den unterschiedlichen Werten des Temperaturanstiegs und der Endtemperaturen an den Eckpunkten der Referenzfläche ablesen.



**Bild 6.** Oberflächentemperaturen auf der Außenseite der Windschutzscheibe von Schlepper I; Benummerung der Meßstellen nach Bild 4;  $t_a$  Versuchsbeginn;  $t_b$  Einschalten des Defrostersystems.

## 6. Vergleich beider Testmethoden

Die Versuchsergebnisse mit diesen fünf Schleppern dienen als Ausgangspunkt für einen Vergleich der beiden Testmethoden nach den Kriterien:

- Anwendbarkeit,
- Anschaulichkeit,
- Meß- und Geräteaufwand,
- Fehlereinflüsse sowie
- Entwicklungsmöglichkeiten und Aussagen der beiden Testmethoden.

### 6.1 Anwendbarkeit

Grundsätzlich sind beide Testverfahren zur Beurteilung von Defrostersystemen geeignet. Die mit einer Testmethode erhaltenen Ergebnisse lassen sich jedoch – wie zu erwarten war – nur dann reproduzieren, wenn die vorgeschriebenen Testbedingungen eingehalten werden. In diesem Fall korrelieren auch die zusammengehörenden Resultate der beiden Testmethoden miteinander.

Unterschiede zwischen der Abtauzeit nach Testmethode A und der Versuchszeit zum Erreichen der Schmelztemperatur von 0 °C nach Testmethode B beruhen teilweise auf verschiedenen physikalischen Vorgängen. Während bei beiden Methoden die gleiche Energie zum Aufheizen der Scheibe eingesetzt werden muß (Wärmekapazität mal Temperaturanstieg), ist bei der Testmethode A zusätzlich noch die Schmelzenthalpie des aufgebracht Eis vom Wärmestrom der Heizluft zu liefern. Gleiche Zeiten für beide Testmethoden sind zu erreichen, wenn für Testmethode B eine Oberflächentemperatur über 0 °C (z.B. + 2 °C) gefordert wird.

### 6.2 Anschaulichkeit

Die während des Tests nach Methode A im Abstand von 5 Minuten aufgezeichneten Grenzlinien zwischen eisbedeckten und eisfreien Flächen vermitteln ein direktes Bild des Enteisungsvorganges. Der Betrachter bekommt somit ein anschauliches Bild von der Leistungsfähigkeit des Defrostersystems und kann dabei deutlich Unterschiede in der Geometrie des Abtauvorganges erkennen. Durch das etwas grobe Zeitraster von 5 Minuten erhält man allerdings keinen Aufschluß über die kontinuierliche Ausbreitung der eisfreien Flächen.

Die Testmethode B ist dagegen eine indirekte Methode, bei der durch Ansatz entsprechender Werte für die Scheibentemperatur in bezug auf Methode A äquivalente Abtauzeiten anfallen. Eine Aussage über die Gleichmäßigkeit des Abtauvorganges ist nach Testmethode B nur in geringem Umfang möglich, weil lediglich die Zeiten vom Einschalten des Defrostersystems bis zum Überschreiten einer definierten Oberflächentemperatur an 5 Meßstellen vermerkt werden. Um anschaulichere Ergebnisse z.B. in Form von Isothermen zu erhalten, ist eine kontinuierliche Messung der Oberflächentemperaturen sowie eine größere Zahl von Meßstellen notwendig.

### 6.3 Meß- und Geräteaufwand

Beide Testmethoden setzen einstellbare Einrichtungen zur Belastung der unterschiedlich leistungsstarken Motoren voraus und erfordern das Ausmessen der Referenzfläche. Außer den eigentlichen Bewertungsgrößen müssen unter anderem noch die Außenluft-, Zuluft- und, wenn möglich, die Kühlmitteltemperatur vor und hinter dem Wärmetauscher gemessen werden.

Die Leistungsfähigkeit des Defrostersystems wird bei der Testmethode A mit relativ einfachen Mitteln beschrieben. Nach dem Vereisen der Windschutzscheibe hält man den Abtauvorgang auf fotografischem Wege fest.

Bei der Testmethode B sind hingegen kontinuierlich 5 Oberflächentemperaturen aufzuzeichnen. Da aber bei beiden Testmethoden weitere Temperaturen gemessen werden müssen, fällt der meßtechnische Aufwand für die Temperaturmessung der Testmethode B nicht so stark ins Gewicht.

Da für die gesamte Testzeit sowohl nach Methode A als auch nach Methode B eine konstante Außenlufttemperatur erforderlich ist, die zudem nur geringfügig von der definierten Testtemperatur abweichen darf, lassen sich die Tests nur selten im Freien durchführen. Betrachtet man z.B. die klimatischen Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland, dann gibt es dort in großen Bereichen jährlich nur zu 1,5 % der Stunden Lufttemperaturen unter - 4 °C [6]. Noch seltener sind länger dauernde Perioden mit diesen konstant niedrigen Lufttemperaturen. Berücksichtigt man ferner, daß für Testmethode A die Luftgeschwindigkeit außerhalb der Kabine

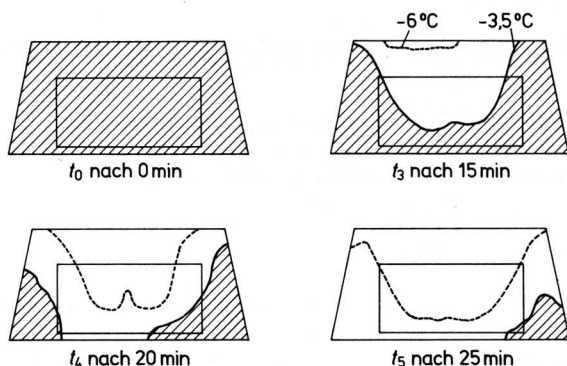
nur 1–2 m/s betragen darf, werden die Zeitspannen, in denen dieser Test im Freien durchgeführt werden kann, noch seltener. Die gezielte Durchführung beider Tests in ihrer ursprünglichen Konzeption ist somit nur in einer ausreichend bemessenen Klimakammer möglich, so daß der Geräteaufwand dann beträchtlich sein kann.

#### 6.4 Fehlereinflüsse

Fehlerhafte Meßergebnisse sind bei der Testmethode B hauptsächlich auf Fehler der Oberflächentemperaturmessung zurückzuführen, die objektive Gründe in der manchmal schwierigen Anbringung der Meßfühler haben. Bei der Testmethode A können dagegen subjektive Einflüsse das Meßergebnis verfälschen. Dies gilt zum einen für das gleichmäßige Aufsprühen des Wassers auf die Windschutzscheibe. Geringe Unterschiede in der Tropfengröße oder in der Dicke der Eisschicht verändern die Testergebnisse. Zum anderen sind die Übergänge zwischen den vereisten und den eisfreien Flächen oft fließend, so daß das Markieren der Grenzlinien entscheidend von der Sorgfalt und Übung des Testdurchführenden abhängt.

Schwerwiegender und im Freien nicht einflußbar sind aber bei der Testmethode A die Fehler, die durch Abweichen von der vorgeschriebenen Testtemperatur verursacht werden. Nach den Testvorschriften ist deshalb auch ein verhältnismäßig enger Außenlufttemperaturbereich von  $-5\text{ °C}$  bis  $-6\text{ °C}$  einzuhalten.

In Bild 7 sind beispielsweise Grenzlinien zwischen abgetauter und vereister Fläche eingezeichnet, die sich für denselben Schlepper bei den Außenlufttemperaturen  $-6\text{ °C}$  und  $-3,5\text{ °C}$  ergeben. Die gestrichelten Grenzlinien gelten für  $-6\text{ °C}$ , die durchgezogenen Grenzkurven für  $-3,5\text{ °C}$ . Wie das Bild deutlich macht, sind die mit der Testmethode A unter verschiedenen Bedingungen erzielten Ergebnisse kaum miteinander vergleichbar, und die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen kann allein aus Gründen mangelnder Temperaturkonstanz bzw. einer abweichenden Umgebungstemperatur eingeschränkt sein.



**Bild 7.** Zeitlicher Verlauf des Abtauvorganges auf der Windschutzscheibe von Schlepper IV bei den Außenlufttemperaturen  $-3,5\text{ °C}$  und  $-6\text{ °C}$  (aus der Sicht des Fahrers).

#### 7. Entwicklungsmöglichkeiten beider Testmethoden

Auch bei der Testmethode B sind Abweichungen von der Testtemperatur nicht zulässig und führen zu Meßfehlern. Im Gegensatz zur Methode A besteht aber die Möglichkeit, Fehler durch entsprechende Verbesserungen des jetzigen Vorschlages für den Versuchsablauf und die Versuchsauswertung zu vermeiden. Die Außenlufttemperatur ist ohne Einfluß, wenn man sich nicht nur auf die Angabe der notwendigen Zeit bis zum Erreichen einer bestimmten Oberflächentemperatur beschränkt, wie es die Testvorschrift zur Zeit vorsieht, sondern den Temperaturverlauf und die Umgebungstemperatur festhält. Durch Analogiebetrachtungen sind dann auch Aussagen möglich, falls Versuchs- und vorgeschlagene Testbedingungen nicht miteinander übereinstimmen.

Um von der Außenlufttemperatur weniger abhängig zu sein wird vorgeschlagen, statt der Temperaturen der Scheibenoberfläche die Differenz der Temperaturen zwischen der Scheibenoberfläche und der Außenluft als Bezugsgröße einzuführen. Zur Prüfung dieses Verfahrens wurde mit drei Schleppern die zeitliche Änderung der Oberflächentemperatur auf der Windschutzscheibe bei verschiedenen Außenlufttemperaturen aufgenommen. Für den Schlepper V lagen die Außenlufttemperaturen zwischen  $-8\text{ °C}$  und  $+6,5\text{ °C}$ . Einen Auszug aus den Ergebnissen gibt Bild 8 wieder, in dem die Differenz zwischen der Oberflächen- und der Außenlufttemperatur an den 5 Meßorten (nach Bild 2 und 5) bei verschiedenen Außenlufttemperaturen über der Versuchszeit aufgetragen ist. Danach beeinflusst die Außenlufttemperatur den Verlauf der Temperaturdifferenz vergleichsweise wenig, was die Ergebnisse mit den anderen beiden Schleppern bestätigen [3, 4].

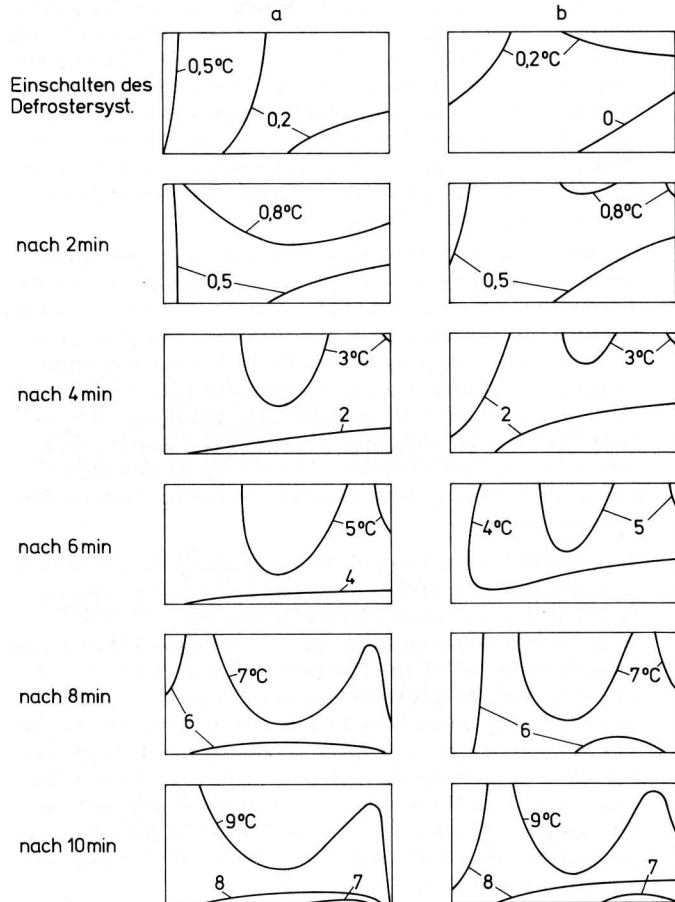
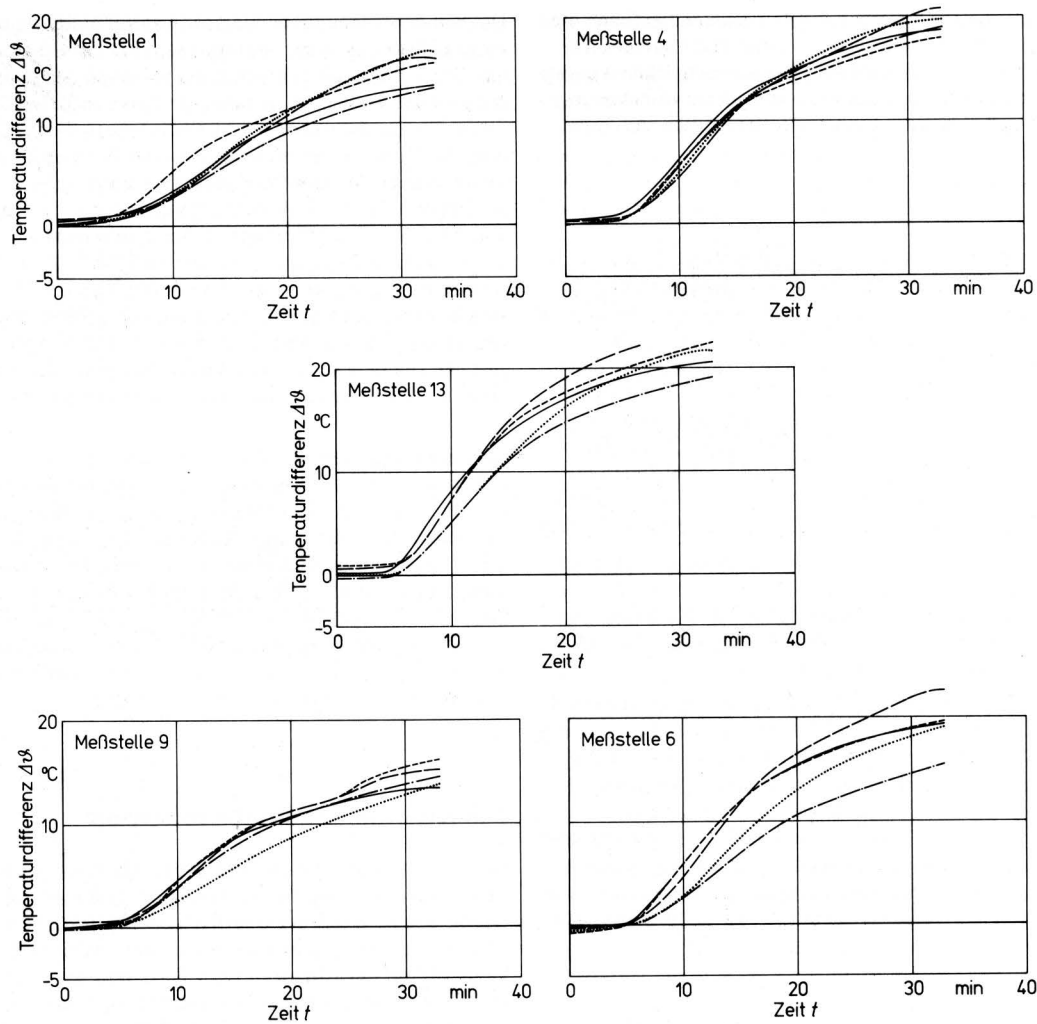
Nach Bild 8 gilt dies für Außenlufttemperaturen bis  $+6\text{ °C}$ . Dann stehen aber z.B. in der Bundesrepublik Deutschland fast 5 Monate im Jahr für die Durchführung des Tests zur Verfügung, so daß eine Klimakammer kaum noch erforderlich sein dürfte. Auch die Anforderungen hinsichtlich einer unveränderlichen Außenlufttemperatur während des Testablaufs können zurückgeschraubt werden. Beispielsweise stieg bei dem in Bild 8 mit  $0\text{ °C}$  aufgeführten Versuch die Außenlufttemperatur während der Versuchsdauer tatsächlich von  $-0,5\text{ °C}$  auf  $+0,5\text{ °C}$ , ohne große Auswirkungen auf den Verlauf der Temperaturdifferenz zu haben.

#### 8. Äquivalente Temperaturdifferenzen

Für eine Anwendung dieser nur in der Auswertung der Meßergebnisse geänderten Fassung der Testmethode B bleibt aber noch zu klären, welche Werte der Oberflächentemperatur bzw. der Temperaturdifferenz vorgegeben werden müssen, wenn eine Testzeit zum Vergleich mit der Abtauzeit nach Testmethode A zu bestimmen ist. Hilfreich bei der Ermittlung solcher äquivalenter Temperaturdifferenzen ist ein Vergleich der Linien gleicher Temperaturdifferenz innerhalb der Referenzfläche mit dem Abtauverlauf nach Testmethode A. Bild 9 zeigt z.B. für den Schlepper V die Lage von Linien gleicher Temperaturdifferenz in zweiminütigen Abständen. Die Außenlufttemperaturen der beiden ausgesuchten Versuche sind dabei mit  $-4,3\text{ °C}$  (links) und  $+4,5\text{ °C}$  (rechts) fast symmetrisch zum Gefrierpunkt. Zu gleichen Versuchszeitpunkten ist der Verlauf der Linien gleicher Temperaturdifferenz zwar nicht identisch, aber doch relativ ähnlich.

Der Abtauvorgang für den Schlepper V ist in der rechten Spalte von Bild 5 wiedergegeben. Danach liegt der Zeitpunkt, zu dem die Referenzfläche bei einer Außenlufttemperatur von  $-5\text{ °C}$  vollständig eisfrei wird, zwischen der 5. und 10. Minute nach Einschalten des Defrostersystems. Aufgrund von Beobachtungen und eines Vergleichs der in dieser Zeitspanne abgetauten Fläche mit der nach der 5. Minute auf der Referenzfläche noch vorhandenen Resteisfläche geschieht das vollständige Abtauen etwa 8 Minuten nach Einschalten des Defrostersystems. Dieser Zeitpunkt könnte deshalb für die Ermittlung der äquivalenten Temperaturdifferenz herangezogen werden.

Nachweislich frei von Eis ist die Referenzfläche jedoch 10 Minuten nach Einschalten des Defrostersystems. Nach Bild 9 tauchen zu diesem Versuchszeitpunkt nur noch in einer relativ kleinen Zone an der unteren Begrenzungslinie der Referenzfläche Temperaturdifferenzen kleiner als  $7\text{ K}$  auf. Für die abgeänderte Testmethode B scheint deshalb als äquivalente Temperaturdifferenz  $\Delta\vartheta = 7\text{ K}$  angemessen zu sein. Dieser Wert steht auch im Einklang mit dem Hinweis weiter oben, daß – aufgrund der unterschiedlichen physikalischen Vorgänge bei den Methoden A und B – für die ursprüngliche Testmethode B eine höhere Oberflächenendtemperatur als  $0\text{ °C}$ , etwa  $+2\text{ °C}$ , erreicht werden muß, wenn die zeitliche Vergleichbarkeit mit dem Abtauen der Eisschicht nach Testmethode A gewährleistet sein soll.



**Bild 8.** Zeitlicher Verlauf der Temperaturdifferenz  $\Delta\vartheta$  ( $\Delta\vartheta = \vartheta_{\text{Oberfläche}} - \vartheta_{\text{Außenluft}}$ ) an 5 Meßstellen nach Bild 4 bei unterschiedlichen Außenlufttemperaturen.

- - - - -  $-7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$     - · - · -  $+4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 - - - - -  $-3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$     · · · · ·  $+6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 ————  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

**Bild 9.** Linien gleicher Temperaturdifferenz  $\Delta\vartheta$  ( $\Delta\vartheta = \vartheta_{\text{Oberfläche}} - \vartheta_{\text{Außenluft}}$ ) in der Referenzfläche zu verschiedenen Versuchszeiten und bei unterschiedlicher Außenlufttemperatur.

a  $\vartheta_{\text{L}} = -4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 b  $\vartheta_{\text{L}} = +4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

## 9. Schlußfolgerung

Die Testmethoden A und B sind grundsätzlich beide für die Beurteilung von Defrostersystemen geeignet, haben aber jeweils spezifische Vor- und Nachteile. Insbesondere die für eine konstante Außenlufttemperatur von  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  unter Umständen erforderliche ausreichend bemessene Klimaeinrichtung erschwert die Durchführung beider Tests.

Erleichterungen sind in dieser Hinsicht von einer geänderten Fassung der Testmethode B zu erwarten. Versuche bei Außenlufttemperaturen im Bereich von  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis etwa  $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$  haben nämlich gezeigt, daß die Außenlufttemperatur keinen maßgebenden Einfluß auf das Testergebnis hat, wenn für die Darstellung der Ergebnisse nicht die Temperatur der Scheibenoberfläche, sondern die Differenz (Temperatur der Scheibenoberfläche minus Außenlufttemperatur) als Meßgröße herangezogen wird. Trägt man den Verlauf dieser Differenzen für verschiedene Außentemperaturen über der Versuchszeit auf, so ergibt sich für eine Meßstelle ein Kurvenbündel mit geringen Abweichungen der einzelnen Kurven. Eine Bindung der Testmethode an eine bestimmte Außenlufttemperatur ist daher nicht nötig.

Aus dem Vergleich der Begrenzungslinien der abgetauten Fläche nach Testmethode A mit Linien gleicher Temperatur oder gleicher Temperaturdifferenz, die zur gleichen Zeit nach der Testmethode B ermittelt werden, ist abzuleiten, daß die abgetaute Fläche nach Testmethode A mit der Fläche übereinstimmt, die von der Linie  $\Delta\vartheta = 7\text{ K}$  begrenzt wird. Diese Temperaturdifferenz wird als äquivalente Temperaturdifferenz bezeichnet. Demnach ist beispielsweise für die Ermittlung einer der Testmethode A entsprechenden Abtauzzeit bei einer Außenlufttemperatur von  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  die Zeit bis zum Erreichen einer Oberflächentemperatur von  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$  festzuhalten, während bei einer Außenlufttemperatur von  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  die Zeit bis zum Erreichen einer Temperatur von  $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$  zu messen ist.

Auch wenn die Versuche ergeben haben (Bild 8), daß noch bei  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  Außenlufttemperatur der zeitliche Verlauf der Differenz (Oberflächentemperatur minus Außenlufttemperatur) gut mit den entsprechenden Kurven bei höheren Außenlufttemperaturen übereinstimmt, sollte das abgeänderte Verfahren der Testmethode B nur bis  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  angewendet werden, zumal die Testmethode A diese Temperatur vorsieht und für tiefere Temperaturen die Vergleichbarkeit bisher nicht geprüft wurde.

Die Änderung der Testmethode B in der genannten Art für Außenlufttemperaturen zwischen  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$  bedeutet, daß sich für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland der Zeitraum über die Durchführung derartiger Tests im Freien auf etwa 5 Monate im Jahr verlängert und dadurch auf eine ausreichend große, teure Klimaeinrichtung verzichtet werden kann.

## Schrifttum

- [ 1 ] ISO/TC 23/SC 3 N 208E: Agricultural tractors and selfpropelled machines — Test procedure for the performance of defroster and demisting systems for windscreen in cabs. Test method A.
- [ 2 ] ISO/TC 23/SC 3 N 208E: Agricultural tractors and selfpropelled machines — Test procedure for the performance of defroster and demisting systems for windscreen in cabs. Test method B.
- [ 3 ] Janssen, J. u. H. Speckmann: Testmethode für Defrostersysteme in Fahrerkabinen — Zwischenbericht (1981).
- [ 4 ] Janssen, J. u. H. Speckmann: Testmethode für Defrostersysteme in Fahrerkabinen — 2. Bericht (1982).
- [ 5 ] Strahlungsthermometer KT24 — Unterlagen der Firma Heimann GmbH, Wiesbaden.
- [ 6 ] Janssen, J. u. F. Schoedder: Ableitung von Luftzustandsgrößen aus meteorologischen Daten. Grndl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 3, S. 81/90.

# Das Bremsverhalten schneller Ackerschlepper

Von Arnold Simuttis und Bert Breuer, Darmstadt\*)

DK 631.372:62-592

Bei einer Anhebung der Höchstgeschwindigkeit von Ackerschleppern auf etwa  $40\text{ km/h}$  muß deren Bremsicherheit, insbesondere der Bremsweg, der anderer am Straßenverkehr teilnehmender Fahrzeuge adäquat sein. Untersuchungen am Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TH Darmstadt haben gezeigt, daß Ackerschlepper bei entsprechender Schwerpunktage auch mit vereinfachten Bremsanlagen Bremswege erreichen können, die im gleichen Bereich wie die schnellaufender Nutzfahrzeuge liegen. Voraussetzung ist dabei eine konstruktive Einschränkung schleppertypischer Bremsnickschwingungen.

Diese Veröffentlichung enthält die Ergebnisse einer Forschungsarbeit, die von der Landmaschinen- und Ackerschlepper-Vereinigung (LAV) im VDMA über das Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. (FKM) gestellt und vom Bundesministerium für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V. gefördert wurde (AIF-Nr. 4902).

Die Forschungsarbeit wurde von einer Projektgruppe der LAV unter der Leitung von Herrn Dipl.-Ing. F.W. Römer, IHC Neuß, begleitet.

\*) Dipl.-Ing. A. Simuttis ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, Prof. Dr.-Ing. B. Breuer ist Leiter des Fachgebietes Fahrzeugtechnik der Technischen Hochschule Darmstadt.

## 1. Einleitung

In der Landwirtschaft ist eine Tendenz zur Verminderung der Arbeitszeiten für Transportarbeiten zu erkennen, und zwar durch Erhöhung der jeweils transportierten Massen (größere Anhänger, leistungsfähigere und damit größere Arbeitsmaschinen) und durch Anhebung der Höchstgeschwindigkeit der Ackerschlepper auf etwa  $40\text{ km/h}$  [1, 2].

Um eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit auf  $40\text{ km/h}$  oder mehr zuzulassen, muß sichergestellt sein, daß landwirtschaftliche Fahrzeuge eine im Vergleich zu anderen Fahrzeugen gleichwertige Bremsicherheit (Länge des Bremsweges, Kursstabilität) aufweisen.

Die am Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TH Darmstadt (FZD) durchgeführten Forschungsarbeiten hatten folgende Ziele:

Ausgehend von Grundüberlegungen zum Bremsvorgang sollte zunächst der bestehende technische Stand bezüglich des Bremsverhaltens landwirtschaftlicher Schlepper ermittelt werden. Davon ausgehend war dann zu erarbeiten, wie Ackerschlepper eine im Vergleich zu anderen Fahrzeugen gleichwertige Bremsicherheit bei ackerschleppergerechtem technischem Aufwand erreichen können. Außerdem sollte das Forschungsergebnis auch als Beratungsgrundlage in nationalen und internationalen Gremien dienen.