

Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen, daß für die Konstruktion und den Betrieb von Luftkollektoren die folgenden Forderungen durchaus erfüllt werden können:

1. der längenbezogene Strömungswiderstand sollte im Hinblick auf das einzusetzende Gebläse, welches die Warmluft zusätzlich durch das zu trocknende Gut fördern muß, möglichst nicht höher als 15–20 Pa/m sein,
2. der Tageswirkungsgrad sollte 45–50 % nicht unterschreiten, denn er beinhaltet das Verhalten des Kollektors bei geringeren Bestrahlungsstärken,
3. die Erstellung der Kollektoren sollte kostengünstig sein, denn nach verschiedenen Autoren (s.a. [1]) sind Solarkollektoren unter den derzeitigen Bedingungen bei einem Preis von 40,- bis 80,- DM/m<sup>2</sup> für 200 bzw. 400 Betriebsstunden pro Saison konkurrenzfähig zur ölbeheizten Satz Trocknung mit geringer Temperaturerhöhung. Die Haltbarkeit sowie der Wartungs- und Reparaturaufwand sollten sich an den heutigen Dacheindeckungen orientieren.

#### Schrifttum

- [ 1 ] *Wieneke, F.*: Stand und Aussichten der Solartechnik in der Landwirtschaft.  
Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 1, S. 1/6.

- [ 2 ] *Kalischer, P.*: Solarkollektoren — Technik und Wirkungsweise.  
RWE informiert Nr. 141.
- [ 3 ] *Hartmann, W.*: Trocknung von Getreide und Halmfutter mit solarerwärmter Luft in Satz Trocknungsanlagen.  
Diss. Univ. Göttingen 1979.
- [ 4 ] *Kline, G. u. Odekirk*: Solar collector costs for low temperature grain drying.  
ASAE-Paper Nr. 78-3508.
- [ 5 ] *Dernedde, W.*: Wirkungsgrade von Luftkollektoren unterschiedlicher Bauweise zur Trocknung landwirtschaftlicher Produkte.  
9. Internat. CIGR-Congress, Mich. St. Univ., East Lansing 8./13.7.1979.
- [ 6 ] *Dernedde, W. u. H. Peters*: Wirkungsgrade von Solarkollektoren für Trocknungsanlagen.  
Landtechnik Bd. 33 (1978) Nr. 1, S. 29/30.
- [ 7 ] *Schulz, H.*: Möglichkeiten des Einsatzes von Solar-Energie in der Landwirtschaft.  
Landtechnik Bd. 33 (1978) Nr. 1, S. 24/28.

---

## Klimabelastung der Fahrer von Schleppern und Arbeitsmaschinen mit Eigenantrieb

Von Wilhelm Batel und Rudolf Möller,  
Braunschweig-Völkenrode\*)

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

DK 631.372:628.5:628.8

Durch die Sonneneinstrahlung und die Motorabwärme liegen die klimatischen Bedingungen in Fahrer cabinen oft außerhalb der Behaglichkeit. Diese ist aber anzustreben, um Arbeitsqualität, Arbeitssicherheit und Wohlbefinden zu gewährleisten. So begründet sich die Forderung, Fahrer cabinen für Schlepper und Arbeitsmaschinen mit hohen Einsatzzeiten zu klimatisieren. Dazu sind eine Kompressorkühlanlage, eine die Behaglichkeit sichernde Luftführung und Maßnahmen zur Begrenzung der einfallenden Wärmeströme erforderlich. Diese Maßnahmen führen aber nur dann zur Behaglichkeit, wenn sie aufeinander abgestimmt sind.

### 1. Einleitung

Zu den von der Umgebung des Arbeitsplatzes ausgehenden Belastungen der Fahrer von Schleppern und Arbeitsmaschinen gehört neben Lärm, luftfremden Stoffen und Schwingungen das Klima. Gekennzeichnet wird das Klima durch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung sowie Art und Intensität der Strahlung.

---

Von R. Möller vorgetragen auf der "Internationalen Tagung Landtechnik" in Braunschweig, 7. bis 9. Nov. 1979.

---

\*) Prof. Dr.-Ing. W. Batel ist Leiter des Instituts für landtechnische Grundlagenforschung, Ing. (grad.) R. Möller ist Versuchsingenieur in diesem Institut der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

Zur Erhaltung seiner Funktionsfähigkeit benötigt der menschliche Organismus einen Stoffwechsel, wodurch Wärmeenergie anfällt. Des weiteren ist eine nahezu konstante Körperkerntemperatur einzuhalten. Um diese Forderungen zu erfüllen, muß die anfallende Wärmemenge nach außen abgeführt werden. Die Möglichkeiten hierzu hängen in hohem Maße von den Klimazuständen an der Körperoberfläche ab.

Die vom umgebenden Klima ausgehenden Belastungen und die daraus folgenden Beanspruchungen stehen somit in engem Zusammenhang mit dem Energiehaushalt und der Temperaturregelung beim Menschen. Daher sind einleitend einige Grundlagen dieser physiologischen Vorgänge anzusprechen, aus denen sich auch die am Arbeitsplatz anzustrebenden Klimabedingungen ableiten. Der nächste Schritt beinhaltet das Messen der Klimazustände am Arbeitsplatz. Hier liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit. Aus einem Vergleich der anzustrebenden mit den auftretenden Klimazuständen lassen sich schließlich Maßnahmen zur Klimagestaltung erörtern und bewerten.

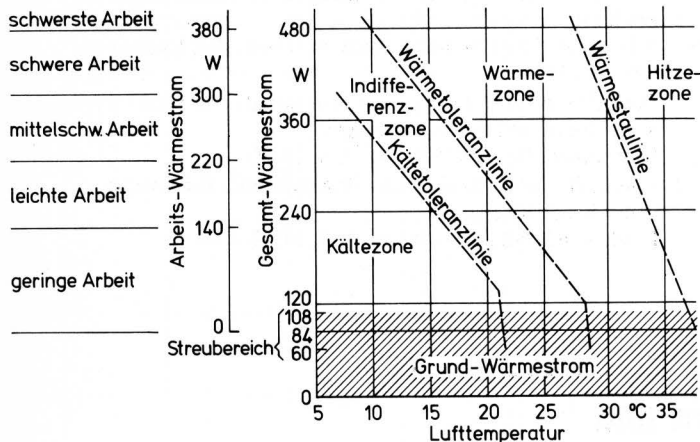
### 2. Energiehaushalt des Menschen, Regelung der Körperkerntemperatur und Wärmeübergang an der Körperoberfläche

#### 2.1 Werte zum Energiehaushalt des Menschen

Der bei völliger Ruhe des Menschen und günstigsten Klimabedingungen erforderliche Umsatz im Stoffwechsel wird mit Grundumsatz und die damit verknüpfte abzuführende Wärme mit Grundwärmestrom benannt. Dieser Strom liegt abhängig von individuellen Eigenschaften zwischen 60 und 120 W [1].

Wird die körperliche Leistungsfähigkeit zur Arbeit ausgenutzt, so wird durch den dafür notwendigen Stoffwechsel weitere Wärme erzeugt. Der Arbeits-Wärmestrom beträgt bei geringer Arbeit bis 140, bei leichter Arbeit bis 220 und bei schwerer Arbeit bis 380 Watt und mehr, **Bild 1**.

Bei niedrigen Temperaturen kann zur Einhaltung der Körperkern-temperatur auch ohne Arbeit der Energiestoffwechsel bis zum 10fachen Wert des Grundumsatzes gesteigert werden. Dies geschieht im wesentlichen über eine Innervation der Skelettmuskulatur.



**Bild 1.** Klimazonen am Arbeitsplatz nach DIN 33403, Teil 3 (Entwurf) November 1976.

## 2.2 Regelung der Körperkerntemperatur

Als homöothermes Lebewesen besitzt der Mensch die notwendige Fähigkeit, seine Körperkerntemperatur (Regelgröße) innerhalb enger Grenzen auf einem bestimmten Niveau (Sollwert) zu halten. Dies geschieht im wesentlichen mittels eines Hauptregelkreises, auf den wir uns beschränken. Als Meßglieder stehen zentrale und äußere Thermorezeptoren zur Verfügung. Als Regler wirken im Zwischenhirn gelegene Strukturen, das sogenannte Temperaturregelungszentrum. Zu den Stellgliedern gehören:

- Skelettmuskulatur (Veränderung der Wärmebildung)
- Hautgefäße (Veränderung der Wärmeabfuhr über die Körperschale)
- Schweißdrüsen (Verstärkung der Wärmeabfuhr durch Verdunstung von Wasser auf der Körperoberfläche).

Die Funktion der Stellglieder ist abhängig vom Wärmeeinfall und dem umgebenden Klima. Betrachten wir zunächst den Bereich der klimatischen Behaglichkeit oder die Indifferenzzone. In diesem Klimabereich kann der Körper im wesentlichen über die Durchblutung der Hautgefäße die Körperkerntemperatur einhalten. Mit diesem Mittel läßt sich die Wärmeabfuhr über die Körperschale in dem gesamten Bereich der Lufttemperatur etwa im Verhältnis 1 : 7 verändern, bei konstanter Lufttemperatur etwa im Verhältnis 1 : 2 bis 1 : 3. Äußeres Zeichen dieser Maßnahme ist die Änderung der Hauttemperatur.

Liegt die Lufttemperatur unter den der Behaglichkeit zugehörigen Werten in der sog. Kältezone, dann wird die Kerntemperatur durch erhöhten Stoffwechsel eingehalten. Läßt sich der Energiestoffwechsel nicht mehr steigern, dann sinkt mit abnehmender Lufttemperatur auch die Körperkerntemperatur, und es kommt zu Erfrierungen und anderen Schädigungen des Organismus.

Bei Lufttemperaturen oberhalb der Indifferenzzone und damit in der Wärmezone wird Schweiß abgesondert, um durch seine Verdunstung an der Körperoberfläche Wärmeenergie umzusetzen. Mit weiter ansteigenden Lufttemperaturen erreicht man die Hitzezone. Die Schweißabsonderung allein reicht nicht mehr aus, die Körperkerntemperatur einzuhalten. Der Mensch muß dann beispielsweise durch Einlegen von Ruhepausen den Arbeitswärmestrom zwischenzeitlich senken.

Diese Zusammenhänge veranschaulicht Bild 1, das DIN 33403, Teil 3, entnommen ist. Die Grenzen der angegebenen Bereiche sind u.a. abhängig von individuellen Eigenschaften, so daß sie als Richtwerte anzusehen sind. Neben der Lufttemperatur ist in der Wärme- und insbesondere in der Hitzezone die Luftfeuchtigkeit von Einfluß und dazu in allen Zonen die Luftgeschwindigkeit an der Körperoberfläche.

Um die mit Bild 1 gemachten Aussagen und damit den Bezug zwischen Temperaturregelung und Energiehaushalt auf der einen und den Klimabedingungen auf der anderen Seite weiter zu verdeutlichen, sind einige Hinweise auf den Übergang der Wärmeströme von der Körperoberfläche auf die Umgebung nützlich [2].

## 2.3 Wärmeübergang an der Körperoberfläche

Grundlegend ist die Energiebilanz an der Körperoberfläche (Systemgrenze K):

$$\dot{Q}_{St} + \dot{Q}_{st} - \dot{Q}_a - \dot{Q}_\beta - \dot{Q}_\sigma = 0 \quad (1)$$

Die Abhängigkeit der einzelnen Wärmeströme in Gl. (1) ergibt sich aus den folgenden Beziehungen (Erläuterungen der Formelzeichen in **Tafel 1**):

$$\dot{Q}_{St} = \int_k E a_s dA \quad (2)$$

$$\dot{Q}_a = \int_k a (\vartheta_H - \vartheta_L) dA \quad (3)$$

$$\dot{Q}_\beta = \int_k h \beta (x_H - x_L) dA \quad (4)$$

Der Einfluß der vom Körper abgegebenen Strahlung ist in

$$\dot{Q}_\sigma = \int_k C \left[ \left( \frac{T_H}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_U}{100} \right)^4 \right] dA \quad (5)$$

A	Fläche
C	Strahlungskonstante
E	Solare Bestrahlungsstärke
h	spez. Enthalpie
$\dot{Q}_{ges}$	gesamter im Körper erzeugter Wärmestrom
$\dot{Q}_{St}$	Wärmestrom infolge Bestrahlung durch die Sonne
$\dot{Q}_a$	Wärmestrom durch Konvektion (und Leitung)
$\dot{Q}_\beta$	Wärmestrom durch Verdunstung
$\dot{Q}_\sigma$	Wärmestrom durch Abstrahlung
$\dot{Q}_{MG}$	Wärmestrom in die Kabine als Folge der Motor- und Getriebeabwärme
$\dot{Q}_S$	Wärmestrom in die Kabine als Folge der Sonneneinstrahlung
$T_H$	absolute Hauttemperatur
$T_U$	absolute Wandtemperatur
$\dot{V}_{zu}$	Zuluftstrom in die Kabine
$x_H$	Feuchtegrad der Luft an der Körperoberfläche
$x_L$	Feuchtegrad der Luft
a	Wärmeübergangskoeffizient
$a_s$	Strahlungsabsorptionsgrad
$\beta$	Stoffübergangskoeffizient
$\vartheta_H$	Hauttemperatur
$\vartheta_L$	Lufttemperatur
$\Delta\vartheta_i$	Temperaturdifferenz zwischen Kabinenluft und Außenluft

**Tafel 1.** Verwendete Formelzeichen.

wiedergegeben.

Die Beziehungen sind in Form von Integralen angegeben, die über die Körperoberfläche zu erstrecken sind. Damit soll deutlich gemacht werden, daß sich örtlich unterschiedliche Temperatur- und Wärmeübergangsbedingungen einstellen, einerseits als Folge des umgebenden Temperaturfeldes, andererseits wegen der an der Körperoberfläche selbst gegebenen Unterschiede als Folge verschieden starker Hautdurchblutung sowie der Unterschiede zwischen bekleideten und unbekleideten Körperteilen, von der Sonne bestrahlten und nicht bestrahlten Körperflächen.

Während eine exakte quantitative Auswertung der Gleichungen beträchtlichen Aufwand erfordert, sind qualitative Schlüsse auf die Wechselbeziehungen zwischen dem umgebenden Klima und dem Energiehaushalt des Körpers ohne weiteres möglich.

So zeigt Gl. (3), wie sich die Körperkerntemperatur in der Indifferenzzone über die Hauttemperatur und damit das Temperaturgefälle zwischen Körperoberfläche und -umgebung regeln läßt. Die jeweils erforderliche Hauttemperatur wird über die Hautdurchblutung eingestellt.

Da der Wärmestrom  $\dot{Q}_{St}$  in der Haut umgesetzt wird, muß dieser gemäß Gl. (1) zusammen mit dem Gesamtwärmestrom an die Umgebung abgeführt werden. Des weiteren bedingt dieser Energieumsatz in der Haut, daß dadurch die Regelung über die Hauttemperatur erschwert wird. Dies macht verständlich, daß die in Bild 1 gegebenen Grenzlinien der Behaglichkeit nur für den beschatteten Arbeitsplatz gelten. Bei Sonneneinstrahlung verschieben sich die Linien nach links.

Betrachten wir einen anderen Zustand: Liegt die Luft- oder auch die absolute Wandtemperatur über der Hauttemperatur, so ergeben sich nach den Gln. (3) und (5) entsprechende Wärmeströme aus der Umgebung an die Körperoberfläche. Dann muß die Summe der Wärmeströme  $\dot{Q}_{ges} + \dot{Q}_{St} + \dot{Q}_a + \dot{Q}_o$  allein über die Verdunstung nach Gl. (4) abgeführt werden.

Weiter wird der Einfluß der Luftgeschwindigkeit auf die Wärmeabfuhr deutlich, da die Übergangskoeffizienten  $\alpha$  und  $\beta$  entscheidend von dieser Größe abhängen. Ebenso läßt sich der vielschichtige Einfluß der Kleidung mit Hilfe der Gleichungen erkennen.

### 3. Klimabelastung und Kreislaufbeanspruchung

Die Belastungen durch das Klima führen aufgrund der geschilderten physiologischen Vorgänge zu einer Beanspruchung des Kreislaufs [3].

Die geringsten Kreislaufbeanspruchungen treten in der Indifferenzzone (Bild 1) auf. Der angeschriebene Bereich gilt in Abhängigkeit vom Arbeits-Wärmestrom nur für bestimmte Werte der relativen Luftfeuchte und der Luftgeschwindigkeit [1]. Bei den in diesem Beitrag zu behandelnden Verhältnissen an Fahrerplätzen sind für die Indifferenzzone Werte der relativen Luftfeuchte von etwa  $\varphi = 30$  bis 70 % und für die Luftgeschwindigkeit  $v < 0,5$  m/s anzusetzen.

In der Kältezone muß der Energiestoffwechsel abhängig von der Lufttemperatur gesteigert werden, wodurch u. a. der Kreislauf entsprechend beansprucht wird. Ist die Grenze der möglichen Wärmeproduktion erreicht, beginnt mit sinkender Lufttemperatur eine Abnahme der Körperkerntemperatur. Bei etwa 30 °C ist mit Bewußtseinsschwund zu rechnen. Die letale Temperatur liegt bei einer Körperkerntemperatur von etwa 25 bis 27 °C.

Ebenso steigt die Kreislaufbeanspruchung bei Übergang in die Wärmezone. Wegen der vielschichtigen Einflüsse ist eine scharfe Unterscheidung zwischen Wärme- und Hitzezone nicht möglich. Die eigentlichen Gefahren beginnen aber mit der Hitzezone. Ab etwa 40 °C Körperkerntemperatur besteht die Gefahr des Hitzekollapses, eines Kreislaufversagens. Der Hitzschlag beinhaltet eine direkte Schädigung des Körpers. Mit dem Hitzetod ist bei einer Körperkerntemperatur ab etwa 42 °C zu rechnen.

Da in der Wärme- und Hitzezone neben der Lufttemperatur noch die Feuchte und die Luftbewegung für die Wärmeabfuhr von großer Bedeutung sind, hat man versucht, Klimasummenmaße zu entwickeln, die diese Einflußgrößen zusammenfassen. Die weiteste Verbreitung aller empirisch abgeleiteten Klimasummenmaße und Indizes fand bisher die Effektivtemperatur, zu deren Ermittlung ein Nomogramm, Bild 2, dient. Auf diese Effektivtemperatur stützen sich auch die meisten Verordnungen, z. B. für den Bergbau [4, 5].

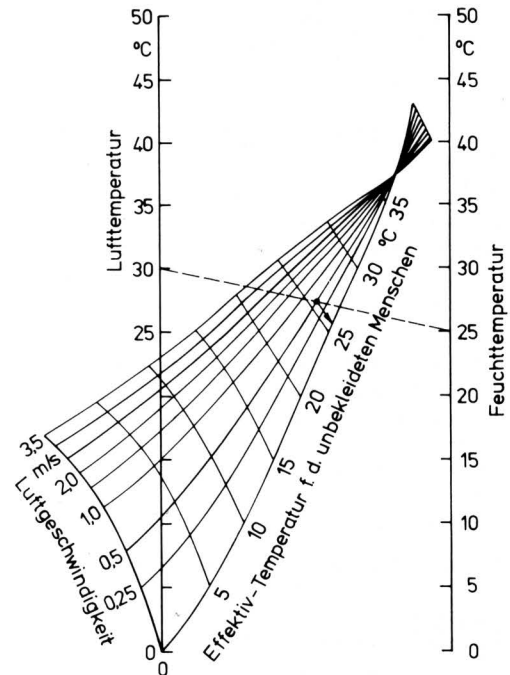


Bild 2. Nomogramm nach Yaglou [4] zur Ermittlung der Effektivtemperatur aus der Luftgeschwindigkeit und den Temperaturen am trockenen und befeuchteten Thermometer eines Psychrometers.

Man geht allgemein davon aus, daß Arbeiten bei einer Effektivtemperatur über 27 °C nur unter Beachtung entsprechender Pausen und ggf. unter ärztlicher Aufsicht zulässig sind. Es ist aber zu beachten, daß auch unterhalb dieser Effektivtemperatur bereits eine Beeinträchtigung der physischen und psychischen Leistungsfähigkeit gegeben ist. Hinreichende Werte hierüber liegen aber noch nicht vor, so daß auch in der FAL seit längerer Zeit entsprechende Versuche mit einem Belastungssimulator durchgeführt werden.

Für Tätigkeiten im Bereich der Wärme- und Hitzezone gibt es Regelungen unter anderem für den Bergbau, derart, daß die Arbeitszeit bei Überschreiten bestimmter Klimagrenzen eingeschränkt wird. Steigt die Lufttemperatur bei bestimmten Feuchtegehalten über 27 °C, dann wird die tägliche Arbeitszeit beispielsweise auf 6 Stunden begrenzt.

Grundsätzlich ist zu fordern, daß die Klimazustände am Fahrerplatz auf Schleppern, Mähdreschern und anderen Arbeitsmaschinen unter Berücksichtigung der Solarstrahlung in der Indifferenzzone und im Übergangsbereich zur Kälte- und Wärmezone liegen sollten.

### 4. Klimazustände am Schleppfahrerplatz

Das Klima am Arbeitsplatz ist ohne Gegenwart technischer Produktionsmittel durch die Wetterbedingungen gegeben, die neben dem Luft- auch den Strahlungszustand einschließen. Durch technische Betriebsmittel können diese Zustände verändert werden, beim Schlepper im wesentlichen durch den Verbrennungsmotor und die Fahrerkabine.

Es ist eine Eigenart der thermodynamischen Kreisprozesse, daß nur ein Teil der zugeführten Energie in mechanische Energie umgewandelt werden kann. So werden beim Verbrennungsmotor etwa zwei Drittel der zugeführten Energie in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben, d.h. bei einem 100 kW-Schlepper und Vollast etwa 200 kW. Diese Wärmequelle in unmittelbarer Nähe des Fahrerplatzes beeinflusst die dort herrschenden Klimabedingungen.

Wird der Fahrerplatz durch eine Fahrerkabine (Fahrerhaus) gekapselt, so wird in diesem Raum Solarstrahlung so umgesetzt, daß die absorbierte Strahlung größer ist als die emittierte. Dadurch steigen die Lufttemperatur und die Temperaturen der raumumschließenden Wände.

Es bestehen somit zwei vom technischen Betriebsmittel verursachte oder bedingte Einflußfaktoren auf das Klima am Fahrerplatz, nämlich die Wärmeströme vom Verbrennungsmotor und Getriebe  $\dot{Q}_{MG}$  und durch die Solarstrahlung  $\dot{Q}_S$ .

Die Aufgabe dieser Arbeit besteht darin, weitere Unterlagen über diese Wärmeströme und die daraus folgenden Klimazustände, insbesondere die sich ergebende Lufttemperatur, experimentell zu ermitteln, und dies für unterschiedliche Schlepperleistungen und -bauarten.

Zur Lösung stehen sehr viele Grundlagen, insbesondere aus dem Bereich der technischen Thermodynamik zur Verfügung. Sie ermöglichen wegen der vielen Einflußfaktoren aber nur Abschätzungen oder Berechnungen in gewissen Grenzen. Dies ist der Grund, die anstehenden Fragen im wesentlichen durch das Experiment zu beantworten.

#### 4.1 Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung

Für die Versuche werden Schlepper unterschiedlicher Bauart der Leistungsklasse um 100 kW mit etwa 30 Temperaturmeßstellen umgeben. Die Temperaturfelder werden ermittelt für folgende Bedingungen:

- Temperaturfeld als Folge des Wärmestroms von Motor und Getriebe  $\dot{Q}_{MG}$ . Die Messungen erfolgen mit und ohne künstlichen Fahrtwind in einer Versuchshalle; Leistungsabnahme über die Zapfwelle.
- Temperaturfeld als Folge der Sonneneinstrahlung  $\dot{Q}_S$ . Schlepper im Freien, Motor im Stillstand.
- Temperaturfeld durch  $\dot{Q}_{MG}$ ; Schlepper im praktischen Einsatz (Bodenbearbeitung), Arbeitszeit nachts.
- Temperaturfeld durch  $\dot{Q}_{MG} + \dot{Q}_S$ ; Schlepper im praktischen Einsatz (Bodenbearbeitung), Arbeitszeit bei Sonneneinstrahlung.

Wie sich aus den Temperaturfeldern auf die Wärmeströme schließen läßt, wurde an anderer Stelle dargelegt [6].

Anmerkungen zur Meßtechnik \*):

Die Lufttemperaturen an den 30 Meßstellen werden mit Miniaturheißleitern (Thermistoren) gemessen, die mit steigender Temperatur ihren Widerstand verringern. Die Ansprechzeit ist hinreichend klein und das Signal ausreichend groß, so daß eine Anpassung an ein Aufnahmegerät ohne großen Aufwand möglich ist. Die Nachteile der nichtlinearen Kennlinie und der Exemplarstreuung der Bauelemente werden durch die Verwendung eines Mikrorechners bei der Verarbeitung der Daten kompensiert.

Mit Hilfe der Korrekturrechnung wird im Bereich von 0 bis 80 °C eine maximale Streuung der Meßwerte aller Aufnehmer von  $\pm 0,4$  K nicht überschritten. Die Eigenerwärmung der Aufnehmer infolge des durchfließenden Meßstromes konnte durch die Auswahl des Stromes unter 0,1 K in ruhender Luft gehalten werden. Zur Verminderung von Meßfehlern durch Wärmestrahlung bei Feldversuchen wurden die Aufnehmer mit Strahlungsschutzschirmen versehen, wodurch die Übertemperatur kleiner als 0,3 K gehalten wird.

\*) entwickelt und betreut von Herrn Dipl.-Ing. H. Speckmann

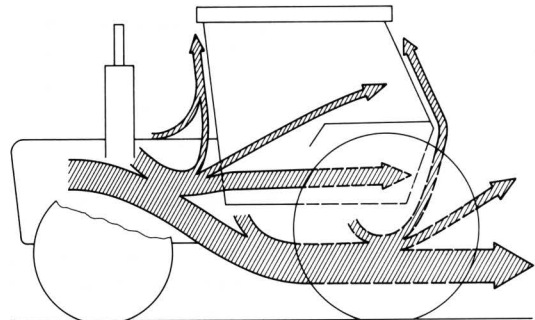
Weitere Einflußgrößen sind von untergeordneter Bedeutung, so daß der gesamte Meßfehler kleiner  $\pm 0,8$  K ist. Die Ansprechzeit (Zeit zum Erreichen von 63,2 % des Endwertes bei einem Temperatursprung) liegt bei 40 s für eine Luftgeschwindigkeit von 2 m/s.

Bei den Messungen in der Versuchshalle wird die Leistung von einem als Drehmomentwaage ausgebildeten Elektrogenerator abgenommen. Da unter diesen Bedingungen das Messen der Leistung (Drehzahl und Drehmoment) und des Kraftstoffverbrauchs mit großer Genauigkeit möglich ist, wird die hier aufgenommene Kraftstoffverbrauch-Leistungs-Beziehung auch bei den Feldversuchen für die Ermittlung der vom Schlepper abgegebenen Leistung herangezogen.

#### 4.2 Versuchsergebnisse

##### 4.2.1 Lufttemperaturen am Fahrerplatz als Folge des Wärmestromes von Motor und Getriebe

Die vom Motor und Getriebe ausgehenden Wärmeströme sind qualitativ in **Bild 3** dargestellt, und zwar am Beispiel eines Schleppers in Blockbauweise mit Wasserkühlung. Für einen solchen Schlepper mit und ohne Kabine zeigt **Bild 4** die Temperaturerhöhung am Fahrerplatz gegenüber der Außenlufttemperatur in Abhängigkeit von der abgegebenen mechanischen Leistung (den Kurven liegen für den geschlossenen Fahrerplatz die Meßwerte für die Lufttemperaturen in Kopfnähe, für den offenen Arbeitsplatz Mittelwerte aus den Lufttemperaturen in Kopf- und Hüftnähe des Fahrers zugrunde). Nach diesen Ergebnissen wächst die Temperaturerhöhung am offenen Arbeitsplatz nahezu linear mit der abgegebenen Leistung, wogegen bei Fahrerkabinen schon im Teillastbereich ein stärkerer Anstieg festzustellen ist. Bei Vollast wird der gleiche Wert der Temperaturerhöhung von etwa 9 °C erreicht. Die Meßergebnisse gelten für einen relativen Fahrtwind von  $v_{rw} \leq 0,5$  m/s und für einen Zuluftstrom in die Kabine von 160 m<sup>3</sup>/h.

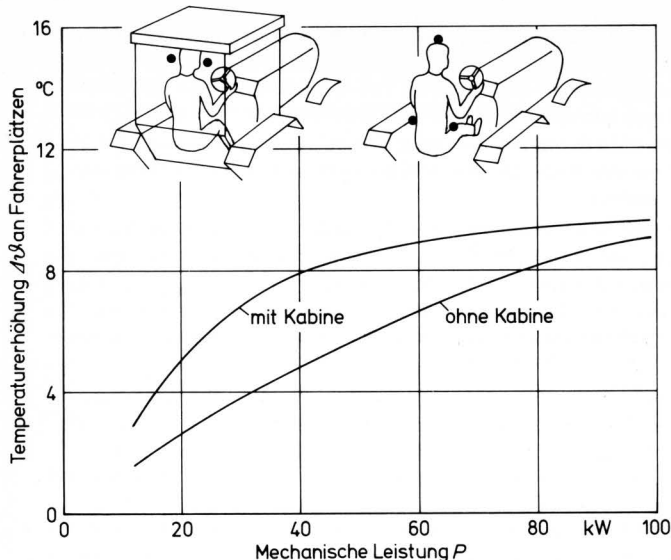


**Bild 3.** Qualitative Darstellung der von Motor und Getriebe ausgehenden konvektiven Wärmeströme am Beispiel eines wassergekühlten Schleppers in Blockbauweise.

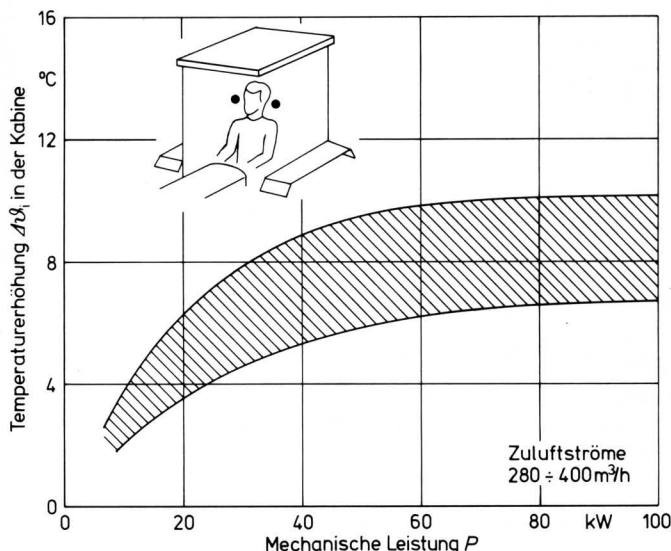
Den Bereich der Temperaturerhöhungen in den Kabinen von vier untersuchten Schleppern unterschiedlicher Bauart (wie Blockbauweise, Rahmenbauweise, Wasser- und Luftkühlung) gibt **Bild 5** in Abhängigkeit von der abgegebenen mechanischen Leistung wieder. Die jeweiligen Abweichungen der einzelnen Schlepper vom Mittelwert sind gering und betragen nicht mehr als 2 °C.

##### 4.2.2 Einfluß der Sonneneinstrahlung

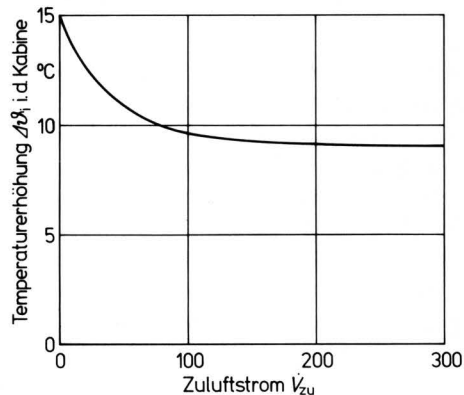
Den Einfluß der Sonneneinstrahlung auf die Temperaturerhöhung in der Kabine, worüber auch schon früher berichtet worden ist [7, 8], zeigt **Bild 6** für eine bestimmte Kabinenbauart, und zwar in Abhängigkeit von dem über die Lüftung zugeführten Zuluftstrom. Man kann davon ausgehen, daß die bei einem Zuluftstrom von 300 m<sup>3</sup>/h auftretende Temperaturerhöhung gegenüber der Außenluft von etwa 9 °C für Schlepper mit Kabinen als repräsentativ angesehen werden kann. Dieses gilt für den gesamten Zeitraum von etwa Mai bis Oktober.



**Bild 4.** Temperaturerhöhung gegenüber der Außenluft am Fahrerplatz eines Schleppers mit und ohne Kabine als Folge von Motor- und Getriebeabwärme in Abhängigkeit von der abgegebenen mechanischen Leistung.



**Bild 5.** Temperaturerhöhung in den Kabinen von vier Schleppertypen als Folge von Motor- und Getriebeabwärme in Abhängigkeit von der abgegebenen mechanischen Leistung. Zuluftströme: 280–400 m<sup>3</sup>/h.



**Bild 6.** Temperaturerhöhung gegenüber der Außenluft in einer Schlepperkabine als Folge der Sonneneinstrahlung in Abhängigkeit vom Zuluftstrom (keine Motor- und Getriebeabwärme).

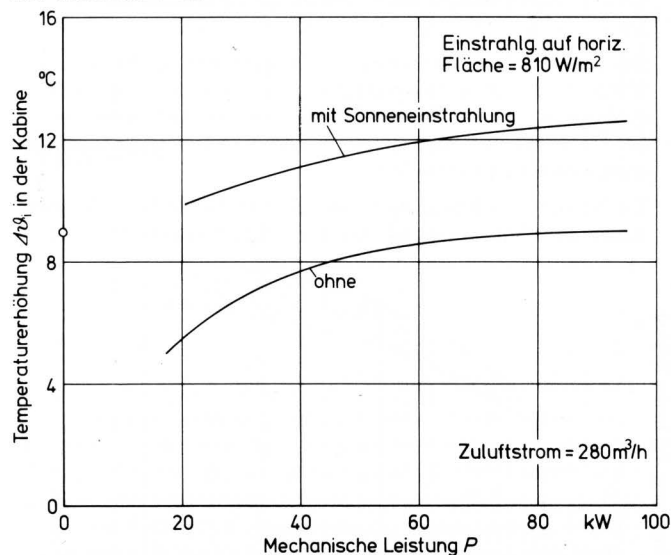
#### 4.2.3 Temperaturerhöhung im praktischen Einsatz

Nach den zuvor geschilderten Ergebnissen der im Stand vorgenommenen Messungen betragen die Temperaturerhöhungen am Fahrerplatz infolge des Wärmestroms von Motor und Getriebe und infolge der Sonneneinstrahlung jeweils allein ca. 9 °C. Da in der Praxis diese Einflüsse sowohl einzeln wie auch gemeinsam auftreten, wurde durch entsprechende Versuche geklärt, welche Temperaturerhöhung bei der Arbeit unter verschiedenen Einstrahlungsbedingungen auftritt.

Die im praktischen Einsatz bei Nachtbetrieb, also ohne Sonneneinstrahlung, auftretende Temperaturerhöhung wird in Abhängigkeit von der abgegebenen Leistung in **Bild 7** mit der unteren Kurve angegeben. Das Ergebnis stimmt mit den im Stand gewonnenen Werten (**Bild 5**) gut überein.

Erfolgen die Messungen am Tage, also mit Sonneneinstrahlung (Bestrahlungsstärke auf die horizontale Fläche 810 W/m<sup>2</sup>), dann ergibt sich in der Kabine eine Temperaturerhöhung gegenüber der Außenluft von maximal 13 °C entsprechend der oberen Kurve. Diese Kurve kann für viele Schlepperbauarten mit Modulkabine als im Grundsatz repräsentativ angesehen werden.

Vergleicht man die gefundenen Ergebnisse mit den Klimaanforderungen für leichte bis mittelschwere Arbeit nach **Bild 1**, dann ist festzustellen, daß man sich am Arbeitsplatz auf Schleppern mit belüfteten Kabinen bei einer abgegebenen mechanischen Leistung von über 50 kW und Außenlufttemperaturen über etwa 22 °C bereits im Übergangsbereich zur Hitzezone befindet. Hieraus folgt, daß ohne geeignete klimatische Maßnahmen ein dauernder Aufenthalt an einem solchen Arbeitsplatz nicht vertretbar ist. Es ist daher zu fragen, welche Maßnahmen zur Klimagegestaltung denk- und umsetzbar sind.

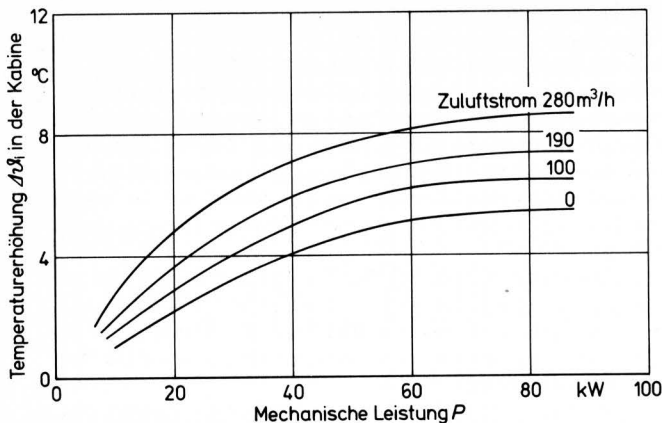


**Bild 7.** Temperaturerhöhung in einer Schlepperkabine in Abhängigkeit von der abgegebenen mechanischen Leistung mit und ohne Sonneneinstrahlung.

### 5. Maßnahmen zur Klimagegestaltung

Man begegnet oft der Meinung, daß sich bei überhöhten Temperaturen durch Öffnen der Fenster und Türen von Fahrer cabinen wieder behagliche Zustände erreichen lassen. Unbeschadet der Tatsache, daß dadurch der Schutz gegen Lärm und luftfremde Stoffe zumindest teilweise verlorengeht, zeigt **Bild 4**, daß auch ohne Kabine, allein durch die Abwärme von Motor und Getriebe, beträchtliche Temperaturerhöhungen auftreten.

Weiter ist an die Möglichkeit zu denken, den Zuluftstrom zu steigern. Ergebnisse zu dieser Maßnahme zeigt **Bild 8**. Angegeben ist für eine Kabine bestimmter Bauart die Temperaturerhöhung als Funktion der abgegebenen mechanischen Leistung für verschiedene Zuluftströme.



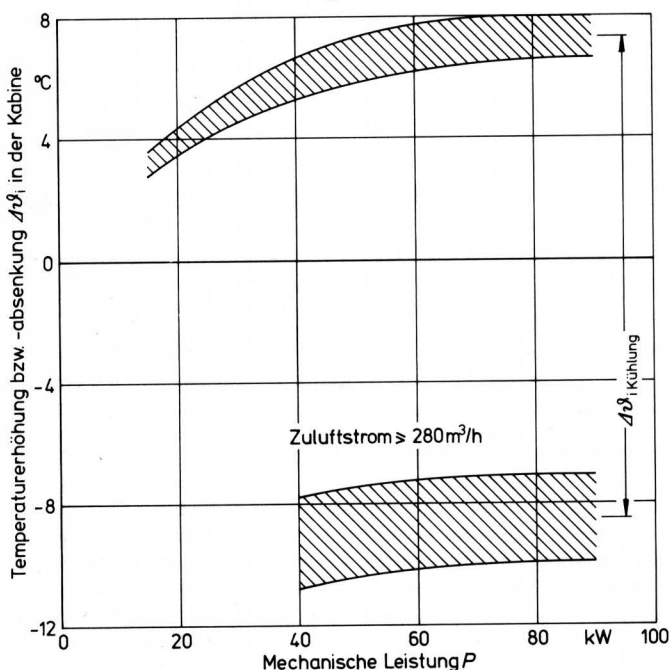
**Bild 8.** Temperaturerhöhung in einer Schlepperkabine in Abhängigkeit von der abgegebenen Leistung für verschiedene Zuluftströme (ohne Sonneneinstrahlung).

Es zeigt sich, daß bei jeweils konstanter Motorleistung mit steigendem Zuluftstrom die Temperatur in der Kabine zunimmt. Hierfür sind mehrere Gründe ursächlich:

- die mit der Förderleistung ansteigende Wärmeabgabe der Lüftermotoren,
  - das gegenüber der Außenluft wegen der veränderten Führung des Wärmestromes  $\dot{Q}_{MG}$  höhere Temperaturniveau an den Luftansaugstellen und
  - der größere Wärmeübergang an den Innenflächen der Kabine.
- Eine Steigerung des Zuluftstromes ist daher keine grundsätzliche Lösung, auch deswegen nicht, weil die Luftgeschwindigkeit in der Kabine bestimmte Werte nicht überschreiten darf.

Aus vorstehenden Ergebnissen ist zu folgern, daß sich behagliche Temperaturen am Arbeitsplatz in der Kabine bei leistungsstarken Schleppern nur mit Hilfe einer Kühlanlage erreichen lassen, und zwar in unseren Klimazonen nur mit einer Kompressorkühlanlage entsprechender Leistung [8].

Die Wirkung von Kühlanlagen ausreichender Größe bei praktischer Arbeit ohne Sonneneinstrahlung ist aus **Bild 9** zu ersehen, in dem



**Bild 9.** Temperaturerhöhung  $\Delta\theta_i$  als Folge der Motor- und Getriebeabwärme in Abhängigkeit von der abgegebenen mechanischen Leistung (oben) und Absenkung der Temperatur in der Kabine unter den gleichen Bedingungen, Bodenbearbeitung bei Nacht, durch Einsatz von Kühlanlagen für zwei Schleppertypen (unten).

für zwei Schleppertypen oben die Temperaturerhöhung ohne Einsatz von Kühlanlagen, unten die Temperaturabsenkung bei Einsatz von Kühlanlagen dargestellt ist. Die Antriebsleistungen der Kühlanlagen betragen ca. 3,3 kW. Wie ersichtlich, ist die Temperaturerhöhung in der Kabine mit einer Kühlanlage negativ, d.h. die Lufttemperatur wird um etwa 8 °C gegenüber der Außenlufttemperatur gesenkt.

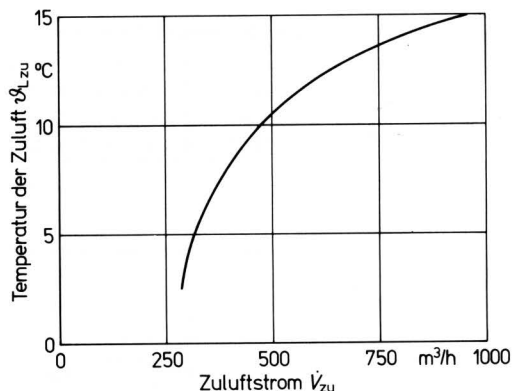
Mit Sonneneinstrahlung treten Temperaturerhöhungen in den Kabinen von etwa 12 °C für diese beiden Schleppertypen auf. Für diesen Fall würden die Kühlanlagen bei gleichem  $\Delta\theta_i$  Kühlung wie in Bild 9 die Temperatur in den Kabinen auf ca. 4 °C unter Außenlufttemperatur halten. Derartige Anlagen sind von der Leistung her für unsere Klimazone als ausreichend anzusehen.

Diese notwendige Kühlleistung bringt es mit sich, daß die Temperatur der in die Kabine eintretenden gekühlten Luft weit unterhalb des Behaglichkeitsbereiches liegt. Da der Fahrer zumindest nicht dauernd von dieser Luft beaufschlagt werden darf, ist der Luftführung eine hochrangige Bedeutung zuzumessen. Grundsätzlich ist zu fordern, daß die in den Kabinenraum einströmende Luft erst dann auf die Körperoberfläche des Fahrers treffen darf, wenn sie auf dem Wege durch die Kabine soweit angewärmt ist, daß die behagliche Temperatur erreicht ist. Welche Wege bieten sich grundsätzlich zur Lösung dieses nicht einfachen Problems an?

Ein mit Sicherheit die Forderungen erfüllender Weg ist eine doppel-schalige Kabine mit Führung der gekühlten Luft in den Wandzwischenräumen. Diese Lösung scheidet aber nicht nur aus Kostengründen aus. Sie läßt sich auch wegen der Verstaubung der Scheiben in den schwer zugänglichen Zwischenräumen nicht verwirklichen. Es verbleibt somit nur eine strömungstechnische Lösung, bei der die Luftereinlaßdüsen bzw. Luftereinlaßöffnungen so angeordnet sind, daß die Zuluft zunächst an den Kabinenwandungen entlanggeführt wird, sich hier entsprechend aufwärmt und dann unter Umständen auf den Fahrer trifft. Hieraus kann sich ergeben, nur einen Teil der Zufuhröffnungen in der Decke zu installieren und den anderen in der Mitte der Kabine oder in dem noch weiter unten liegenden Bereich. Grundsätzlich kann man eine Entscheidung über die Anordnung der Zuluftöffnungen nur in Verbindung mit den Abluftöffnungen treffen, die bei den Bauarten unterschiedlich liegen.

In diesem Zusammenhang ist auch die Frage zu prüfen, ob man größere Luftmengen mit geringerer Unterkühlung oder kleinere Mengen mit starker Unterkühlung wählen sollte. Auch hier gibt es keine einfache Rezeptur, jedoch sind einer beliebigen Steigerung des Luftdurchsatzes aus Gründen von Zugscheinungen Grenzen gesetzt, wobei naturgemäß die Größe der Kabine eine Rolle spielt.

Im **Bild 10** ist als Modellbetrachtung die zur Abfuhr des von der Sonneneinstrahlung und der Fahrzeugabwärme herrührenden Wärmestromes erforderliche Zulufttemperatur in Abhängigkeit vom Zuluftstrom dargestellt, wobei der Wärmestrom in die Kabine praxisnah mit 1,6 kW und die gewünschte Kabineninnentemperatur



**Bild 10.** Erforderliche Zulufttemperatur zur Abfuhr eines Wärmestromes von 1,6 kW infolge Sonneneinstrahlung und Motorabwärme in Abhängigkeit vom Zuluftstrom für eine Kabineninnentemperatur von 20 °C; Modellrechnung.

mit 20 °C angenommen ist. Für einen Zuluftstrom in der zur Vermeidung von Zugerscheinungen gewünschten Höhe von 300 m<sup>3</sup>/h ist eine Eintrittstemperatur von ca. 4 °C erforderlich, um einen Wärmestrom in der genannten Größenordnung abzuführen.

Auch bei Einsatz einer Kühlanlage sind wegen der niedrigen Zulufttemperaturen und damit der Schwierigkeiten einer geeigneten Luftführung alle konstruktiven Möglichkeiten auszuschöpfen, um die Kühlleistung so klein wie möglich zu halten, d.h. es sind alle Wärmeströme, die direkt in die Kabine führen, konstruktiv so weit wie möglich zu begrenzen. Das gilt sowohl für den Wärmestrom durch die Sonneneinstrahlung wie auch den von Motor und Getriebe, d.h. es ist wärmedämmendes Glas zu verwenden und die raumumschließenden Wände sind, soweit sie nicht aus Glasflächen bestehen, wärmetechnisch gut zu isolieren. Dies gilt insbesondere für das Dach und den Boden der Kabine.

## 6. Schlußfolgerungen

Aus der Forderung nach behaglichen Klimabedingungen am Fahrerplatz auf der einen Seite und den bei Fahrer кабинен auftretenden Wärmeströmen auf der anderen Seite läßt sich folgern, daß der Einbau einer Kühlanlage entsprechender Leistung auf leistungsstarken Schleppern unabdingbar, aber allein noch nicht hinreichend ist. Um behagliche Zustände an der Körperoberfläche des Fahrers zu gewährleisten, ist hinsichtlich der Zuluft Sorge dafür zu tragen, daß nur Luft mit behaglichen Temperaturen und Geschwindigkeiten auf die Körperoberfläche trifft. Dies beinhaltet eine entsprechende Luftführung in der Kabine. Die zwingend zu unterkühlende Zuluft ist so zu führen, daß sie sich genügend erwärmt, bevor sie die Körperoberfläche des Fahrers erreicht. Grundsätzlich ist die Kühlanlage durch passive Mittel, also gute Wärmeisolierung der raumumschließenden Wände und eine Begrenzung der Sonneneinstrahlung zu unterstützen. Nur unter Abstimmung aller relevanten Einflußgrößen lassen sich behagliche Bedingungen in einer Fahrerkabine verwirklichen.

# Die Berechnung des Nutzwertes landtechnischer Arbeitsmittel als Energieäquivalent

Von László Kassay, Budapest\*)

DK 631.3.003.14:631.3.004.15

Hersteller und Benutzer von Maschinen sind bemüht, möglichst eingehende Informationen vom Wert der Maschinen zu gewinnen. Erprobungseinsätze während der Maschinenentwicklung, Erfahrungsberichte aus dem praktischen Einsatz und Maschinenprüfungen unabhängiger Prüfinstitute geben solche Informationen, bei denen Qualität und Zuverlässigkeit der Maschinenfunktion im Vordergrund stehen.

Sollen Maschinen nicht nur in ihrem Gebrauchswert, sondern z.B. in einem weiteren Rahmen hinsichtlich ihres volkswirtschaftlichen Nutzens bewertet werden, so müssen neben der Qualität und Zuverlässigkeit der Funktion zahlreiche weitere Einflußgrößen erfaßt und bewertet werden. Ausgehend von einer umfangreichen früheren Arbeit [1], stellt dieser Aufsatz dar, welche Einflußgrößen für die Berechnung des Nutzwertes herangezogen werden müssen und wie sie zu einer den Nutzwert kennzeichnenden Größe zu verknüpfen sind.

Vom Verfasser vorgetragen bei der Internationalen Tagung Landtechnik am 9.11.1979 in Braunschweig.

\*) Dr. sc. techn. L. Kassay ist wissenschaftlicher Rat am ungarischen Forschungsinstitut für Agrarökonomik, Budapest.

## Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] DIN 33403, Teil 3 (Entwurf): Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung.  
Berlin/Köln: Beuth Vertrieb GmbH, November 1976.
- [ 2 ] ● Gröber, Erk u. Grigull: Die Grundgesetze der Wärmeübertragung.  
Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1963.
- [ 3 ] Müller-Limmroth, W.: Landmaschinen und Ackerschlepper aus arbeitsphysiologischer Sicht.  
Grundl. Landtechnik Bd. 29 (1979) Nr. 2, S. 33/40.
- [ 4 ] Yaglou, C.P.: Temperature humidity and air movement in industries: The Effect Temperature Index.  
J. Industr. Hyg. Bd. 9 (1927) S. 297/309.
- [ 5 ] Wenzel, H.G. u. F. Stratmann: Technische Erfahrungen über Bau und Betrieb einer Klimakammer für arbeitsphysiologische Untersuchungen am Menschen.  
Int. Z. angew. Physiol. einsch. Arbeitsphysiol. Bd. 25 (1968) S. 235/78.
- [ 6 ] Batel, W., J. Janssen u. R. Möller: Klimabelastung auf Schleppern und Mähdreschern und Maßnahmen zur Klimagegestaltung.  
Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 52 (1980) S. 157/70.
- [ 7 ] Batel, W.: Messungen zur Staub-, Lärm- und Geruchsbelastung an Arbeitsplätzen in der landwirtschaftlichen Produktion und Wege zur Entlastung – Erster Bericht.  
Grundl. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 5, S. 136/57.
- [ 8 ] Janssen, J.: Klimatisierung von Fahrer кабинен durch Verdunstungskühlung.  
Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 3, S. 91/97.

## 1. Einleitung

In Ungarn ist wegen der Größe der landwirtschaftlichen Flächen und der starken Auslastung der Maschinen ein hoher Nutzwert der Maschinen und Arbeitsmittel von besonderer Bedeutung. Vor allem der Benutzer, der landwirtschaftliche Betrieb, wünscht Informationen, die konkret und in Form einer Zahl das Niveau der Maschine, den Nutzwert, kennzeichnen, um so verschiedene Maschinen miteinander vergleichen zu können und auf ihren dem Nutzwert proportionalen Preis schließen zu können. Der Landwirt weiß, daß es nicht ausreicht, die Leistungen verschiedener Maschinen Maß für Maß miteinander zu vergleichen, weil noch weitere Größen von Einfluß sind und wenn eine von diesen besonders schlecht ist (z.B. die Betriebssicherheit), kann das den Nutzwert der Maschine – auch bei hoher Nennleistung – wesentlich herabsetzen.

Daneben braucht der Hersteller der Maschine eine Information über den Nutzwert, um das Niveau verschiedener Produkte aus eigener und fremder Produktion objektiv miteinander vergleichen zu können.

Wie bei anderen Produkten verbessert sich das Niveau der landwirtschaftlichen Maschinen, die der gleichen Funktion dienen, von Jahr zu Jahr. Es ist dies eine Folge der technischen Entwicklung. Wenn das Niveau alter und neuer Typen einer Maschinenart mit der gleichen Methode ermittelt wird und als Funktion des Produktionsjahres aufgetragen wird, so erhält man die Tendenzkurve der technischen Entwicklung für die ausgewählte Maschinengruppe, z.B. Häcksler, Bild 1.