

#### 4. Zusammenfassung und Schlußfolgerung

Die beim Betrieb von Dieselmotoren – insbesondere von Motoren mit direkter Einspritzung – mit Rapsöl als Kraftstoff auftretenden Probleme durch Rückstände aus der Verbrennung und Schmierölveränderungen können durch Umesterung des Rapsöls zu Methyl- oder Ethylester vermieden werden.

Für den Umesterungsprozeß gibt es Anlagen mit unterschiedlich hohem apparativen Aufwand und unterschiedlicher Kapazität, von denen die großindustriellen Anlagen vor allem wegen der Reinheit des erzeugten Esters und der Nebenprodukte auch im Hinblick auf deren Verwendung vorzuziehen sind. Die Handhabung des Methyl-esters als Kraftstoff und der Einsatz eines Schleppers mit diesem Kraftstoff erwies sich über bisher 2000 Betriebsstunden in fast 3 Jahren als problemlos und ungefährlich.

Zur Anpassung des eingesetzten serienmäßigen Schleppers an die Eigenschaften des Methylesters sind wenige Maßnahmen erforderlich, wie die Erhöhung der Fördermenge der Einspritzpumpe und der Öffnungstemperatur des Kühlwasserthermostaten. Daneben ist auf Materialbeständigkeit bei Schläuchen und Lacken zu achten.

Unter diesen Bedingungen ist Methylester von Rapsöl – und das gleiche gilt nach Prüfstandversuchen auch für Ethylester – aus technischer Sicht als Kraftstoff für Dieselmotoren ohne Einschränkung geeignet.

#### Schrifttum

- [ 1 ] Batel, W., M. Graef, G.-J. Mejer, R. Möller u. F. Schoedder: Pflanzenöle für die Kraftstoff- und Energieversorgung. Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 2, S. 40/51.
- [ 2 ] Batel, W., M. Graef, G.-J. Mejer, F. Schoedder u. G. Vellguth: Äthanol aus nachwachsenden Rohstoffen als alternativer Kraftstoff für Fahrzeuge. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 4, S. 125/37.
- [ 3 ] Batel, W., M. Graef, G.-J. Mejer, F. Schoedder u. G. Vellguth: Gasförmige Brenn- und Kraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen – Herstellung und Verwendung. Grundl. Landtechnik Bd. 34 (1984) Nr. 5, S. 205/27.
- [ 4 ] Wörgetter, M.: Pflanzenöl als Traktortreibstoff? Die landt. Zeitschrift dlz Bd. 30 (1979) Nr. 9, S. 1252/54.
- [ 5 ] Vellguth, G.: Eignung von Pflanzenölen und Pflanzenölderivaten als Kraftstoff für Dieselmotoren. Grundl. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 5, S. 177/86.
- [ 6 ] Vellguth, G.: Performance of vegetable oils and their monoesters as fuels for diesel engines. SAE paper 831358, auch in Trans SAE Bd. 92 (1984) S. 1098/1107.
- [ 7 ] Pischinger, G.H., A.M. Falcon u. R.W. Siekmann: Soybean ester as alternative diesel fuel tested in DI-engine powered Volkswagen trucks. Vegetable Oil as Diesel Fuel, Seminar III, Peoria/Ill., Okt 1983, S. 145/52.
- [ 8 ] Hawkins, C.S., J. Fuls u. F.J.C. Hugo: Sunflower oil esters: an alternative fuel for direct injection diesel engines. SAE paper 831356.
- [ 9 ] Prospekt der Fa. Bio-Energy (Australia) Pty. Ltd., Taren Point, N.S.W. 2229.
- [ 10 ] Komp, H.-D. u. H.P. Kubersky: Technische Verfahren zur Herstellung von Fettalkoholen. In: Fettalkohole. Hrsg.: Fa. Henkel, Düsseldorf, 1982, S. 51/77.
- [ 11 ] Ermittelt durch Deutsche BP AG, Forschungsinstitut, Hamburg.
- [ 12 ] Reglitzky, A.A., H.J. Halter u. M. Knaak: Kraftstoffeinfluß auf die Motorölprüfung – mögliche Entwicklungstendenzen. Vortrag Technische Akademie Esslingen, 28.6.1983.
- [ 13 ] Blackburn, J.H., R. Pinchin, J.I.T. Nobre, B.A.L. Crichton u. H.W. Cruse: Performance of lubricating oils in vegetable oil ester-fuelled diesel engines. SAE paper 831355.

---

## Bewertung von Luftführungssystemen in Fahrer кабинен durch Versuchspersonen

Von Jan Janssen, Braunschweig-Völkenrode\*)

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

DK 631.372:628.8:628.863

Die thermische Belastung in Fahrer кабинен landwirtschaftlicher Fahrzeuge kann vielfach nur über eine intensive Zwangsbelüftung in erträglichen Grenzen gehalten werden. Die dafür notwendigen relativ großen Zuluftvolumenströme hinreichend niedriger Temperatur dürfen aber ihrerseits nicht zu unbehaglichen Klimazuständen führen. In diesem Zusammenhang hat daher die Luftbewegung in der Kabine und damit auch die Art der Zuluftzuführung große Bedeutung.

Eine Untersuchung verschiedener Zuluftzuführungen, bei der das Klima in der Kabine von Versuchspersonen durch subjektive Bewertung der Luftbewegung, des thermischen Empfindens und der Behaglichkeit beurteilt wurde, zeigt auf, unter welchen Bedingungen auch bei den notwendigen großen Zuluftvolumenströmen und stark verminderter Zulufttemperatur für die überwiegende Zahl von Personen subjektiv behagliche Klimazustände erreichbar sind.

---

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

## 1. Einleitung

Eine wesentliche Voraussetzung für das Wohlbefinden des Menschen und die Erhaltung seiner Leistungsfähigkeit sind thermisch neutrale Klimabedingungen, die in Kabinen landwirtschaftlicher Zug- und Arbeitsmaschinen während der Sommermonate nur durch eine Zwangsbelüftung und Kühlung zu erreichen und zu erhalten sind. Die Besonderheiten von Fahrerkabine im Vergleich mit anderen Arbeitsräumen sind die geringen Abstände zwischen Person und Außenwänden, die verhältnismäßig großen Glasflächen und die großen fahrzeugbedingten Wärmequellen. Die von diesen Wärmequellen und der Sonnenstrahlung in die Kabine einfallenden Wärmemengen sind nur mit relativ großen Zuluftvolumenströmen in Verbindung mit niedrigen Zulufttemperaturen abzuführen. Aufgrund des geringen Kabinenvolumens ergibt sich dadurch z.B. die Gefahr von Zugluft, deren unangenehme Wirkung noch durch asymmetrische Einwirkung der Strahlung verstärkt werden kann. Die Folge ist nicht nur subjektive Unbehaglichkeit, sondern meist auch ein Leistungsabfall und u.U. sogar eine Erkrankung.

Die vorliegende Arbeit zeigt durch Variation der Luftführung sowie der Luftgeschwindigkeit und -temperatur, wie sich für eine gegebene Kabine behagliche Klimabedingungen erreichen lassen. Die Wirksamkeit verschiedener Kombinationen dieser 3 Einflußgrößen wird anhand physiologischer Meßgrößen, aber vor allem anhand des subjektiven Empfindens von Versuchspersonen bewertet.

## 2. Bewertung des Klimas in der Fahrerkabine

Als Behaglichkeit wird ein Zustand des Befindens definiert [1], der Zufriedenheit mit der thermischen Umgebung ausdrückt. Diese allgemein anerkannte Definition der thermischen Behaglichkeit beinhaltet eine Gefühlsentscheidung eines Menschen in Form von Zufriedenheit oder Unzufriedenheit. Es liegt daher nahe, bei der Bewertung von Klimabedingungen den Menschen selbst als "Sensor" heranzuziehen und ihn nach dem Grad seiner Zufriedenheit zu fragen.

Die durch die Befragung erhaltenen individuellen Antworten sind jedoch eine komplexe physiologische und psychologische Reaktion auf 15 und mehr Einflußfaktoren [2], bei denen drei Kategorien zu unterscheiden sind [3]:

- physikalische Größen (z.B. Lufttemperatur, -feuchte, -geschwindigkeit)
- körperliche Eigenschaften (z.B. Alter, Geschlecht, Typus)
- Einflußgrößen, die mit den physikalischen Einflußgrößen und den körperlichen Eigenschaften in Wechselwirkung stehen (z.B. Kleidung, Tätigkeit).

Aus Untersuchungen von *Fanger* [4] ist bekannt, daß im Vergleich mit den übrigen Einflußgrößen die körperlichen, z.B. Unterschiede in Alter und Geschlecht, von geringerer Bedeutung für die Bewertung der Klimabedingungen sind.

## 3. Versuchsaufbau und -durchführung

Die Versuchskabine war im Arbeitsplatzbelastungssimulator der FAL installiert [5, 6]. Die Sonneneinstrahlung wurde mit der dort eingebauten Strahlungseinrichtung simuliert. Deren Strahlungsintensität entspricht der Globalstrahlung am 50. Breitengrad; der Einfallswinkel der Sonnenhöhe am 22. Juni um 15.00 Uhr. Den Wärmestrom vom Motor- und Getrieberaum ersetzen am Kabinenboden und an den Radkästen angebrachte Heizfolien. Dadurch konnte ein für den praktischen Betrieb repräsentativer Wärmestrom in die Kabine von etwa 1,4 kW realisiert werden.

Untersucht wurden: die serienmäßigen Zuluftöffnungen, die Zuluftzuführung mit Schlitzauslaß und die Zuluftzuführung durch eine Lochdecke, Bild 1.

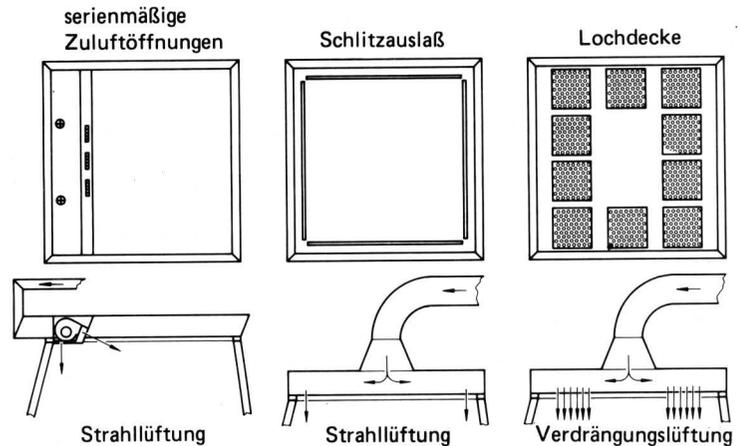


Bild 1. Schematische Darstellung der untersuchten Zuluftzuführungen.

Bei den serienmäßigen Zuluftöffnungen sowie dem Schlitzauslaß wird die Zuluft mit hohem Impuls (Produkt aus Masse und Geschwindigkeit) in den Raum eingeblasen. Man spricht dann von einer Strahlblüftung. Demgegenüber entsteht bei der Lochdecke eine Verdrängungsblüftung, da die Zuluft großflächig mit geringer Geschwindigkeit in den Raum gelangt.

Die serienmäßige Zuluftzuführung umfaßt zwei Runddüsen und drei Steggitter, unabhängig voneinander einstellbar. Über die drei Steggitter gelangt die Zuluft vornehmlich in den Aufenthaltsbereich des Fahrers. Mit den beiden Runddüsen wird dagegen der Raum nahe der Windschutzscheibe belüftet. Bei tiefen Außenlufttemperaturen soll damit das Beschlagen der Windschutzscheibe verhindert werden.

Mit der serienmäßigen Zuluftzuführung ergeben sich für den Fahrer vielfältige Einstellmöglichkeiten für die Zuluftstrahlen. Die Untersuchungen beschränkten sich jedoch auf zwei Versuchsreihen mit unterschiedlicher Steggittereinstellung. In der 1. Versuchsreihe wurde als Strahlrichtung die Normalenrichtung des Austrittsquerschnitts gewählt. Sie wird im folgenden als "gerade Ausströmung" bezeichnet. In der 2. Versuchsreihe waren die Steggitter so gedreht, daß die Zuluftstrahlen unmittelbar auf die seitlichen Kabinenwände trafen und somit den Aufenthaltsbereich des Fahrers nur tangierten. Diese Versuchseinstellung wird im folgenden als "seitliche Ausströmung" bezeichnet.

Beim Schlitzauslaß wurden ebenfalls zwei Varianten untersucht: Zufuhr der Zuluft über vier bzw. über zwei Schlitze. Im ersten Fall bilden die vier Schlitze in der Decke, wie in Bild 1 dargestellt, gleichsam die vier Seiten eines Quadrates parallel zu den Kabinenwänden. Im zweiten Fall wurde die Zuluft nur über die beiden Schlitze oberhalb der Vorder- und Rückwand der Kabine zugeführt.

Die Lufttemperatur im Simulationsraum ist die Außenlufttemperatur für die Kabine. Sie lag konstant bei 25,5 °C. Der Zuluftstrom für die Lochdecke bzw. den Schlitzauslaß, bei denen ein Gebläse außerhalb des Simulationsraumes die Zuluft förderte, betrug 200, 400 und 600 m<sup>3</sup>/h; bei den serienmäßigen Zuluftöffnungen lieferte das kabineneigene Gebläse 180 bzw. 380 m<sup>3</sup>/h. Die Temperatur der Zuluft betrug 15, 10 oder 5 °C. Von den somit möglichen 9 bzw. 6 Versuchen für die einzelnen Arten der Zuluftzuführung wurden jedoch diejenigen ausgeklammert, bei denen aufgrund einer früheren gleichartigen Untersuchung mit einem Klimasummenmaß (PMV-Index) als Beurteilungsmaßstab [7] von vornherein kein annähernd thermisch neutraler Klimazustand zu erwarten war.

### 3.1 Versuchsperson

Versuchspersonen waren 6 männliche Mitarbeiter des Instituts für landtechnische Grundlagenforschung<sup>1)</sup>, deren wichtigste Daten in Tafel 1 angegeben sind.

Schweiß- und Wärmeabgabe eines Menschen hängen von seiner Körperoberfläche ab, die Wärmeproduktion jedoch von seiner Masse. Zwischen der Körperoberfläche in m<sup>2</sup>, der Größe H in m und der Masse M in kg eines erwachsenen Menschen besteht nach *Dubois* [8] folgende empirische Beziehung:

$$A_{DU} = 0,203 M^{0,425} H^{0,725}$$

Versuchsperson	Alter Jahre	Größe m	Masse kg	Körperoberfläche m <sup>2</sup>
A	41	1,83	97	2,2
B	31	1,80	91	2,11
C	29	1,92	89	2,19
D	42	1,79	78	1,97
E	36	1,83	81	2,04
F	34	1,83	80	2,03
φ	36	1,83	86	2,09

Tafel 1. Daten der Versuchspersonen.

### 3.2 Bekleidung

Die Versuchspersonen trugen einheitlich Oberhemd und Hose aus geköppter Baumwolle sowie Unterhose, Socken und Schuhe. Die Kleidung ist daher mit der Standardbekleidung für thermische Untersuchungen an der Kansas State University mit einem Isolierwert von etwa 0,6 clo (= 0,093 m<sup>2</sup>K/W) [9, 10] vergleichbar.

### 3.3 Belastungsvorgabe

Bei einer früheren Untersuchung mit ähnlicher Zielsetzung [11] wurde die physische Belastung durch eine Trackingaufgabe simuliert. Die Schwierigkeit derartiger Versuche besteht einmal darin, daß nicht sichergestellt ist, ob die Belastung der wirklichen Streßsituation im praktischen Betrieb entspricht. Außerdem ist eine sichere Bewertung der effektiv während der Simulation erbrachten Leistung nur bedingt möglich und mit erheblichem zusätzlichem Aufwand verbunden.

In dieser Versuchsreihe wurde deshalb die physische Belastung mit einem am Lenkrad befestigten Handergometer erzeugt. Nach *Eriksson* [12] schwanken für einen Schlepperfahrer die Leistungsumsätze zwischen 135 W beim Eggen und 360 W beim Fahren eines Frontladers. Die meisten Arbeiten erfordern jedoch etwa 180 W. Der Leistungsumsatz am Ergometer betrug insgesamt wie bei Versuchen anderer Autoren [12, 13] ungefähr 170 W.

### 3.4 Physiologische Meßgrößen

Aufgrund der früheren Untersuchung [11] konnten bei den vorliegenden Versuchsbedingungen nahe dem thermisch neutralen Bereich nur für zwei physiologische Parameter, die Hauttemperatur und die Schweißabgabe, signifikante Änderungen erwartet werden:

- Die Messung der Hauttemperatur erfolgte mit Thermistorsonden, die auf der Haut befestigt wurden. Meßstellen

<sup>1)</sup> Der Autor möchte allen an den Versuchen Beteiligten hiermit für die Mitarbeit danken.

waren die Stirn, der linke Unterarm, die linke Brustseite und die linke Wade. Mit entsprechenden Gewichtungsfaktoren wurde dann die mittlere Hauttemperatur errechnet [14].

- Die Schweißabgabe wurde durch Wiegen der Versuchsperson vor und nach dem Versuch ermittelt. Die Bekleidung wurde ebenfalls vor und nach dem Versuch gewogen. Daraus läßt sich die Schweißverdunstung und die Schweißaufnahme in der Kleidung bestimmen. Die Gewichtsabnahme der Person ist der Schweißverdunstung von der Hautoberfläche gleichzusetzen, da die Wasserdampfabgabe über die Atmung vernachlässigbar ist und ein Abtropfen von Schweiß nicht auftrat.

Wahrnehmbarkeit und Empfinden der Luftbewegung		Thermisches Empfinden	Behaglichkeit
Die Luftbewegung ist:	Die Luftbewegung wird empfunden:	Mir ist jetzt:	Das Klima ist:
5 ○ kräftig	7 ○ sehr unangenehm	3 ○ heiß	6 ○ nicht annehmbar
4 ○ gut wahrnehmbar	6 ○ unangenehm	2 ○ warm	5 ○ sehr unbehaglich
3 ○ wahrnehmbar	5 ○ leicht unangenehm	1 ○ etwas warm	4 ○ unbehaglich
2 ○ gerade wahrnehmbar	4 ○ genau richtig	0 ○ neutral	3 ○ leicht unbehaglich
1 ○ nicht wahrnehmbar	3 ○ leicht angenehm	-1 ○ etwas kühl	2 ○ behaglich
	2 ○ angenehm	-2 ○ kühl	1 ○ sehr behaglich
	1 ○ sehr angenehm	-3 ○ kalt	

Tafel 2. Schätzskaleten für die subjektive Bewertung von Klimagrößen.

### 3.5 Subjektive Bewertungsmaßstäbe

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag bei der subjektiven Beurteilung des Klimazustandes in Kabinen. Dazu wurde den Versuchspersonen mehrmals während des Versuches ein Fragebogen vorgelegt, auf dem an verschiedenen Skalen die momentane subjektive Empfindung anzukreuzen war. Im einzelnen wurde nach folgenden Parametern gefragt, Tafel 2:

- Luftbewegung. Die Luftbewegung bzw. Luftgeschwindigkeit ist eine wichtige physikalische Größe mit Einfluß auf das subjektive Befinden. Es wurde sowohl nach der Wahrnehmbarkeit als auch dem Empfinden der Luftbewegung gefragt.
- Thermisches Empfinden. Das thermische Empfinden ist die individuelle Einschätzung der Umgebungstemperatur. Dabei kann nach *Fanger* [4] in 7 Bewertungsstufen unterschieden werden. Die Skaleneinteilung von -3 bis +3 ist bei Klimauntersuchungen international üblich.
- Behaglichkeit. Die Behaglichkeit ist laut Definition eine psychologische Reaktion auf die individuelle Einschätzung der physikalischen Einflußgrößen [9, 15, 16]. Die Unterscheidung zwischen (thermischer) Behaglichkeit und thermischem Empfinden erlaubt auch eine Bestimmung der Klimabedingungen, bei denen sich die Person zwar thermisch "neutral", aber dennoch unbehaglich z.B. wegen zu hoher Luftgeschwindigkeit fühlt. Bei der Behaglichkeit konnte zwischen 6 Bewertungen gewählt werden.

### 3.6 Versuchsablauf

Zu Beginn hielt sich die Versuchsperson zur Eingewöhnung ca. 30 Minuten im sogenannten Ruheraum des Arbeitsplatzbelastungssimulators auf. Danach wurden das Gewicht ermittelt sowie Meßfühler und Kleidung angelegt. Anschließend betrat die Versuchsperson die Fahrerkabine, setzte sich auf den Fahrerplatz und begann mit dem Zeichen des Versuchsleiters zum Versuchsbeginn ihre Ergometerarbeit.

Da davon ausgegangen werden konnte, daß nach einer Versuchszeit von einer halben Stunde keine nennenswerten Änderungen im subjektiven Befinden mehr auftreten [13], wurde der Aufenthalt in der Kabine auf 30 Minuten begrenzt. Jeweils 2, 5, 10, 20 und 30 Minuten nach Versuchsbeginn wurde der Fragebogen vorgelegt. Zur Beantwortung der Fragen mußte die Versuchsperson ihre Ergometerarbeit für etwa eine Minute unterbrechen.

#### 4. Versuchsergebnisse

Da bei der mittleren Hauttemperatur weder in Abhängigkeit von der Versuchsdauer noch zwischen den einzelnen Versuchen signifikante Änderungen festgestellt werden konnten [17], wird auf eine Darstellung der Hauttemperaturänderungen verzichtet. Auf die Ergebnisse mit den serienmäßigen Zuluftöffnungen wird zunächst sehr ausführlich eingegangen, während für den anschließenden Vergleich aller Zuführungsvarianten nur noch die relevanten subjektiven Größen herangezogen werden.

##### 4.1 Serienmäßige Zuluftöffnungen

###### 4.1.1 Gerade Ausströmung

Bei der geraden Ausströmung befindet sich der Kopf der Versuchsperson im Kernbereich der Zuluftstrahlen und ist somit hohen Luftgeschwindigkeiten ausgesetzt. Das offenbart sich deutlich in den in Bild 2 über der mittleren Lufttemperatur in der Kabine aufgetragenen Werten für die subjektive Wahrnehmbarkeit und das subjektive Empfinden der Luftbewegung. Die Kreise geben die mittlere subjektive Bewertung am Versuchsende (30 min), die Kreuze die mittlere Bewertung zu den anderen Versuchszeitpunkten wieder. Die Wahrnehmbarkeit schwankt unabhängig von der mittleren Lufttemperatur zwischen "gut wahrnehmbar" (4) und "kräftig" (5). Sie ändert sich mit dem Zuluftstrom nur wenig.

Ähnlich verhält es sich beim subjektiven Empfinden der Luftbewegung. Die Abhängigkeit vom Zuluftstrom ist schwach, ein Einfluß der mittleren Lufttemperatur nicht erkennbar. Die Luftbewegung wird als "sehr unangenehm" (7) bei dem großen und "unangenehm" (6) bei dem kleinen Zuluftstrom eingestuft.

Das thermische Empfinden ändert sich nach Bild 3 fast linear mit der mittleren Lufttemperatur, unbeeinflusst vom Zuluftvolumenstrom. Wie in Bild 2 ist mit dem Kreis wieder die mittlere subjektive Bewertung am Versuchsende gekennzeichnet. Bei gleichbleibender mittlerer Lufttemperatur wird mit fortschreitender Versuchsdauer das Klima immer wärmer empfunden. War beispielsweise die Bewertung des thermischen Empfindens bei  $\vartheta_{Lm} \approx 29 \text{ °C}$  anfangs noch "neutral" (0), also "weder warm noch kalt", ist sie am Versuchsende "etwas warm" (+1) bis "warm" (+2). Dieser zeitliche Wandel im thermischen Empfinden dürfte auf die inzwischen geleistete Arbeit und den damit verbundenen erhöhten Stoffwechselumsatz zurückzuführen sein. Für einen längeren Aufenthalt in der Kabine sind Klimazustände mit einer mittleren Lufttemperatur um  $23 \text{ °C}$  anzustreben.

Das Urteil über die subjektive Behaglichkeit ändert sich ebenfalls mit der Versuchsdauer, Bild 4. Ausgenommen den Klimazustand mit einer mittleren Lufttemperatur von  $20,6 \text{ °C}$  wird das Klima mit zunehmender Dauer immer "unbehaglicher" empfunden. Die mittleren subjektiven Bewertungen am Versuchsende liegen näherungsweise auf einer Parabel mit dem Scheitel bei etwa  $26 \text{ °C}$ . Dieses am besten bewertete Klima ist aber noch "unbehaglich" (4). Im Vergleich mit dem thermischen Empfinden wird daran recht deutlich, daß behaglich und thermisch neutral nicht gleichzusetzen sind. Die "unangenehm" empfundene Luftbewegung verursacht trotz thermischer Neutralität unbehagliche Klimabedingungen.

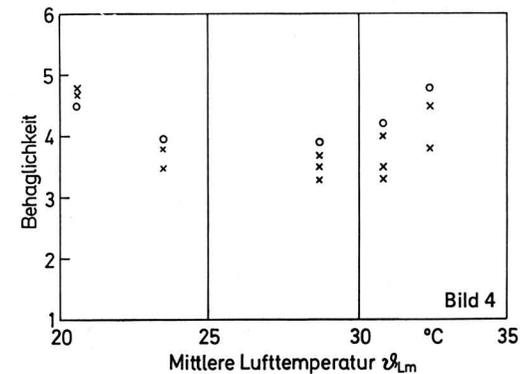
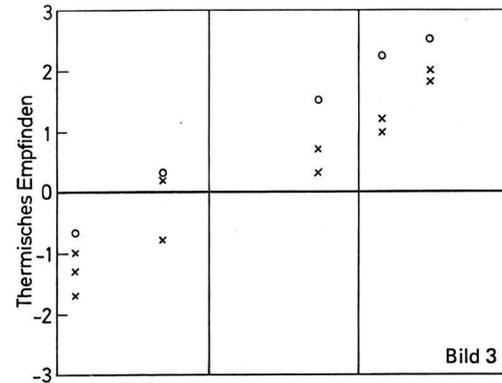
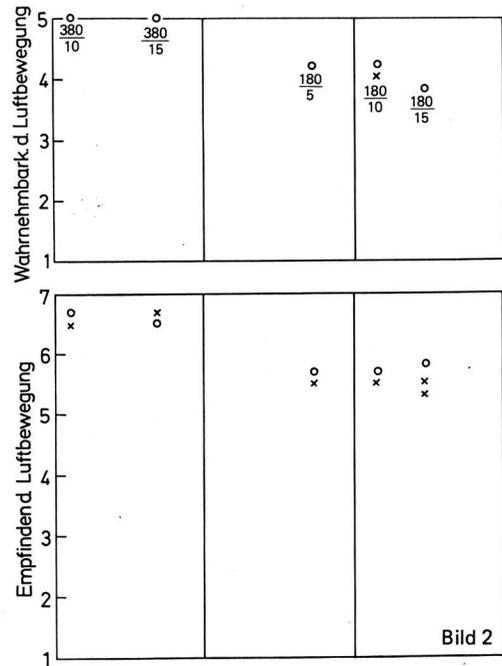


Bild 2 bis 4. Klimabewertung (Schätzskalen in Tafel 2) in Abhängigkeit von der mittleren Lufttemperatur in der Kabine für die serienmäßigen Zuluftöffnungen mit gerader Ausströmung bei verschiedenen Werten von Zuluftvolumenstrom und -temperatur:

$$\frac{380}{10} \hat{=} \frac{\dot{V}_{Lzu} \text{ in m}^3/\text{h}}{\vartheta_{Lzu} \text{ in } ^\circ\text{C}}$$

Bild 2: Wahrnehmbarkeit und subjektives Empfinden der Luftbewegung

Bild 3: Thermisches Empfinden

Bild 4: Subjektive Behaglichkeit

○ mittlere Bewertung am Versuchsende (30 min)

× mittlere Bewertung in der Übergangsphase (nach 2, 5, 10 u. 20 min)

Ein wichtiges Regulativ bei warmen Klimabedingungen ist die vermehrte Bildung und Verdunstung von Schweiß, wodurch der Hautoberfläche Verdampfungswärme entzogen und sie somit gekühlt wird. In Bild 5 ist die Schweißabgabe bzw. der Gewichtsverlust über der mittleren Lufttemperatur  $\vartheta_{Lm}$  aufgetragen. Die Kreuze geben Einzelwerte, der Vollkreis den daraus gebildeten mittleren Gewichtsverlust pro Versuch wieder. Für den auf 1 m<sup>2</sup> Körperoberfläche bezogenen mittleren stündlichen Gewichtsverlust ergibt sich eine eindeutige Abhängigkeit von der Lufttemperatur. Bis  $\vartheta_{Lm} = 25$  °C — das entspricht nach Bild 3 einem thermischen Empfinden von "etwas warm" — liegt die normale, immer vorhandene Schweißabgabe vor und der Schweiß verdunstet fast vollständig. Über 25 °C nimmt die Schweißabgabe jedoch stark zu und ca. 10 % des Schweißes werden von der Kleidung aufgenommen.

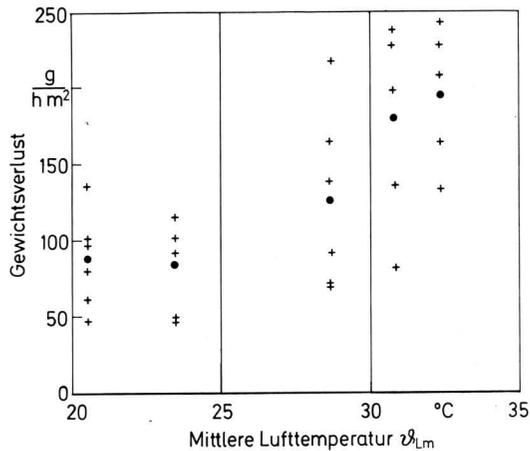


Bild 5. Auf die Körperoberfläche bezogener stündlicher Gewichtsverlust in Abhängigkeit von der mittleren Lufttemperatur in der Kabine für die serienmäßigen Zuluftöffnungen mit gerader Ausströmung.

- mittlerer Wert
- + Einzelperson

#### 4.1.2 Seitliche Ausströmung

Bei der seitlichen Ausströmung befindet sich der Kopf des Fahrers nicht mehr im Kernbereich der Zuluftstrahlen, was sich auf die subjektive Bewertung der Luftbewegung auswirkt, Bild 6. Sie wird jetzt als "gut wahrnehmbar" (4) bzw. "gerade wahrnehmbar" (2) eingestuft. Das subjektive Empfinden der Luftbewegung reicht von "genau richtig" (4) bis "leicht unangenehm" (5) und wird mehr von der Lufttemperatur beeinflusst als vom Zuluftvolumenstrom. Eine Verkleinerung des Zuluftvolumenstromes löst deshalb nicht zwangsläufig auch ein besseres subjektives Empfinden der Luftbewegung aus.

Nur gering wirkt sich dagegen die Änderung der Strahlrichtung auf das thermische Empfinden aus, Bild 7. Bis auf den Klimazustand mit einer mittleren Lufttemperatur von 23,5 °C unterscheiden sich die mittleren subjektiven Bewertungen kaum von denen für die gerade Ausströmung.

Klimazustände mit einer mittleren Lufttemperatur von 20 bis 28 °C werden bei der seitlichen Ausströmung als "leicht unbehaglich" (3) beurteilt, Bild 8. Das ist in diesem Temperaturbereich eine teilweise erhebliche Verbesserung gegenüber der geraden Ausströmung. Bei höheren mittleren Lufttemperaturen verschiebt sich das Urteil aber schnell zu "unbehaglich" (4) bzw. "sehr unbehaglich" (5).

Einen nur unwesentlichen Einfluß hat die Richtungsänderung der Zuluftstrahlen auf die Schweißabgabe.

Ein Vergleich dieser beiden Zuluftzuführungsvarianten erlaubt bereits folgende Schlußfolgerungen:

Bei bezüglich des thermischen Empfindens "etwas warmen" (+ 1) bis "heißen" (+ 3) Klimabedingungen ist das subjektive Empfinden der Luftbewegung nur zweitrangig im Hinblick auf die subjektive Behaglichkeit. Je näher der Klimazustand aber dem thermisch neutralen kommt, desto gewichtiger wird das Empfinden der Luftbewegung. Zu hohe Luftgeschwindigkeiten in Körpernähe machen somit behagliche Zustände unmöglich.

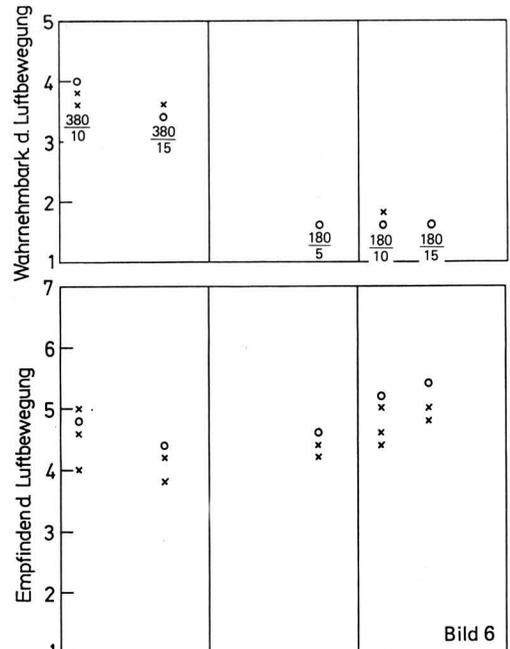


Bild 6

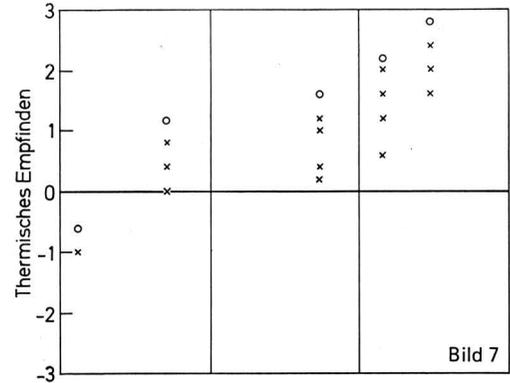


Bild 7

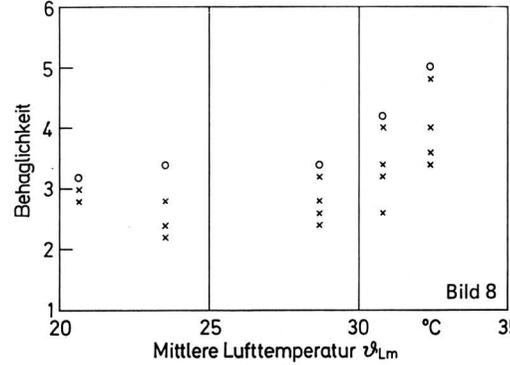


Bild 8

Bild 6 bis 8. Klimabewertung (Schätzskalen in Tafel 2) in Abhängigkeit von der mittleren Lufttemperatur in der Kabine für die serienmäßigen Zuluftöffnungen mit seitlicher Ausströmung bei verschiedenen Werten von Zuluftvolumenstrom und -temperatur:

$$\frac{380}{10} \geq \frac{\dot{V}_{Lzu} \text{ in m}^3/\text{h}}{\vartheta_{Lzu} \text{ in } ^\circ\text{C}}$$

- Bild 6: Wahrnehmbarkeit und subjektives Empfinden der Luftbewegung
- Bild 7: Thermisches Empfinden
- Bild 8: Subjektive Behaglichkeit
- mittlere Bewertung am Versuchsende (30 min)
- x mittlere Bewertung in der Übergangsphase (nach 2, 5, 10 u. 20 min)

#### 4.2 Vergleich der Zuluftzuführungsvarianten

Das subjektive Empfinden der Luftbewegung bei den verschiedenen Zuluftzuführungen ist in Bild 9 dargestellt, und zwar in der oberen Bildreihe nochmals für die serienmäßigen Zuluftöffnungen, in der Mitte für die beiden Varianten des Schlitzauslasses und darunter für die Lochdecke.

Beim vierfachen Schlitzauslaß ist das subjektive Empfinden der Luftbewegung durchgängig "leicht angenehm" (3) bis "genau richtig" (4). Dagegen wird es beim zweifachen Schlitzauslaß sowohl von der mittleren Lufttemperatur als auch vom Zuluftstrom beeinflusst. So wirkt beispielsweise bei gleicher mittlerer Lufttemperatur von ca. 22 °C die von dem größeren Zuluftstrom verursachte Luftbewegung deutlich angenehmer. Mit dem zweifachen Schlitzauslaß wird bereits bei mittleren Lufttemperaturen unter 30 °C die Luftbewegung "unangenehm" (6) bis "sehr unangenehm" (7) empfunden. Anders als bei der geraden Ausströmung mit den serienmäßigen Zuluftöffnungen ist diese relativ schlechte Bewertung aber auf die kaum noch wahrnehmbare Luftbewegung zurückzuführen; es kommt zu dem allgemein bekannten Eindruck, daß "die Luft steht".

Für die Lochdecke wird die Luftbewegung erst als "unangenehm" eingestuft, wenn die Lufttemperatur über 32 °C liegt. Bis 30 °C ändert sich das subjektive Empfinden der Luftbewegung nicht nennenswert mit dem Zuluftvolumenstrom oder der mittleren Lufttemperatur.

Aus der Zusammenstellung in Bild 9 läßt sich für das Empfinden der Luftbewegung eine klare Rangfolge der verschiedenen Arten der Zuluftzuführung ablesen: die beste Bewertung erhält der vierfache Schlitzauslaß, gefolgt von der Lochdecke, der serienmäßigen Zuluftzuführung mit seitlicher Ausströmung, dem zweifachen Schlitzauslaß und der serienmäßigen Zuluftzuführung mit gerader Ausströmung.

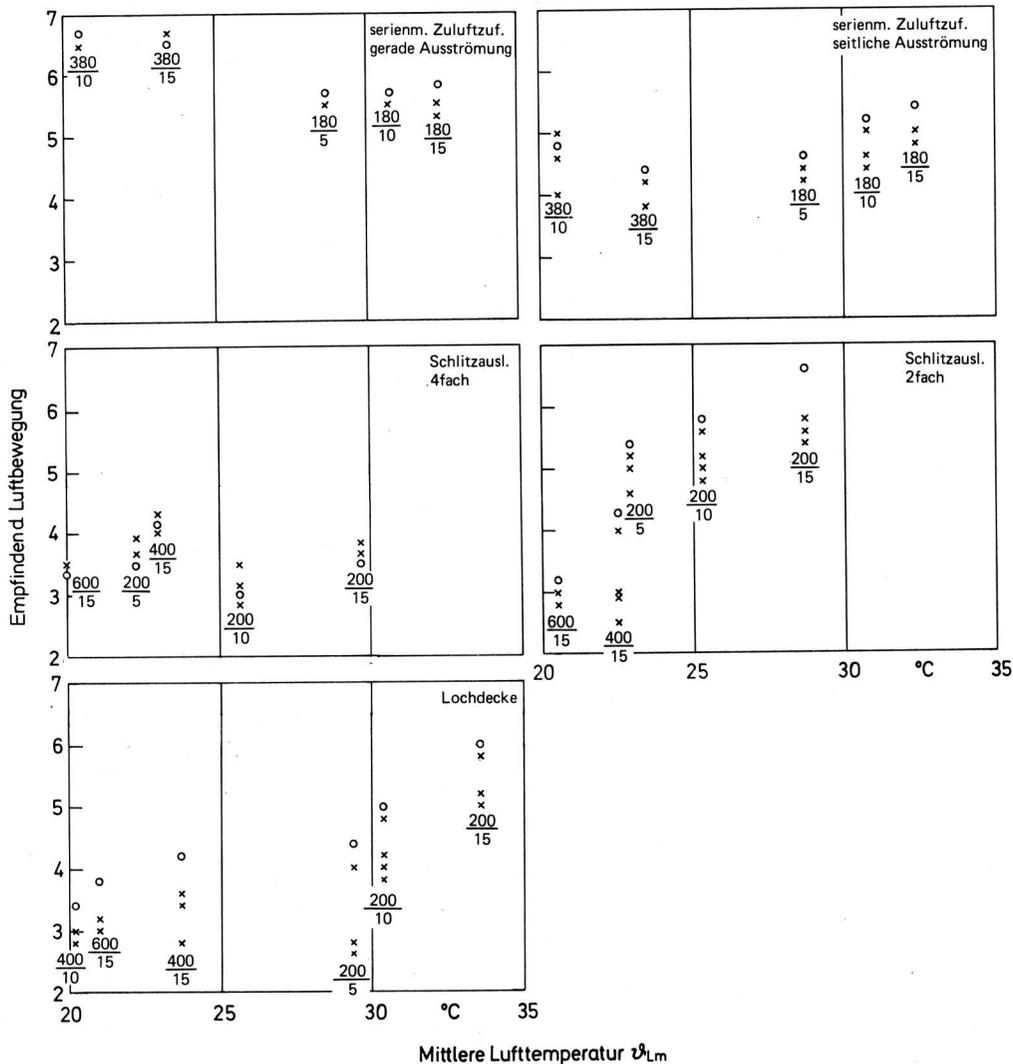


Bild 9. Subjektives Empfinden der Luftbewegung in Abhängigkeit von der mittleren Lufttemperatur in der Kabine für die verschiedenen Zuluftzuführungen bei verschiedenen Werten von Zuluftvolumenstrom und -temperatur:

$$\frac{380}{10} \cong \frac{\dot{V}_{Lzu} \text{ in m}^3/\text{h}}{\vartheta_{Lzu} \text{ in } ^\circ\text{C}}$$

- mittlere Bewertung am Versuchsende (30 min)
- x mittlere Bewertung in der Übergangsphase (nach 2, 5, 10 u. 20 min)

Für das in Bild 10 über der mittleren Lufttemperatur aufgetragene thermische Empfinden werden nur noch die Bewertungen am Versuchsende berücksichtigt. Für jede Zuluftzuführung läßt sich eine lineare Abhängigkeit von der mittleren Lufttemperatur angeben. Das bedeutet, daß weder Zuluftvolumenstrom noch Absenkung der Zulufttemperatur allein, sondern das Produkt aus beiden, die Kühlleistung, ausschlaggebend für die Bewertung ist.

Beim vierfachen und beim zweifachen Schlitzauslaß ergibt sich jedoch auch eine leichte Abhängigkeit vom Zuluftvolumenstrom bzw. der Luftbewegung, denn bei fast gleicher mittlerer Lufttemperatur führt der größere Zuluftvolumenstrom trotz höherer Zulufttemperatur zu einem "kühler" empfundenen Klima in der Kabine.

Auffällig für den zweifachen Schlitzauslaß ist die Steilheit der Ausgleichsgeraden, d.h. kleine Änderungen in der mittleren Lufttemperatur wie auch von Zulufttemperatur und -volumenstrom wirken sich stark auf das thermische Empfinden aus. Die bereits erwähnte "sehr unangenehm" empfundene geringe Luftbewegung ist verbunden mit dem thermischen Empfinden "heiß" (+ 3).

Auch bei der Lochdecke ergibt sich mit entsprechender Streuung der Meßwerte ein linearer Zusammenhang zwischen der mittleren Lufttemperatur und dem thermischen Empfinden. Der Zuluftvolumenstrom spielt eine untergeordnete Rolle.

Wie ein Vergleich der Ausgleichsgeraden der 5 Varianten zeigt (Bild unten rechts), hat die Zuluftzuführung, abgesehen vom zweifachen Schlitzauslaß (Kurve d), nur geringen Einfluß auf das thermische Empfinden. Ein "neutral", also weder warm noch kalt beurteilter Klimazustand setzt allgemein eine mittlere Lufttemperatur von 20–23 °C voraus. Für das thermische Empfinden ergibt sich für die verschiedenen Arten der Zuluftzuführung eine völlig andere Rangfolge als für das Empfinden der Luftbewegung.

Die mittlere subjektive Behaglichkeit am Versuchsende ist in Bild 11 dargestellt. Nur bei den beiden Varianten des Schlitzauslasses läßt sich näherungsweise ein linearer Zusammenhang zwischen der Behaglichkeit und der mittleren Lufttemperatur herstellen. Aber auch hier ist ein Einfluß des Zuluftvolumenstroms nicht zu übersehen: der größere Zuluftstrom bringt bei gleicher mittlerer Lufttemperatur eine etwas "behaglichere" Beurteilung. Beim zweifachen Schlitzauslaß machen sich wie beim thermischen Empfinden kleine Änderungen in der mittleren Lufttemperatur und im Empfinden der Luftbewegung sehr schnell als weniger behaglicher Zustand bemerkbar, wie die Steigung der Ausgleichsgeraden verdeutlicht.

Je höher die mittlere Lufttemperatur in der Kabine ist, um so steiler wird die Ausgleichskurve für die Lochdecke, d.h. mit zunehmender mittlerer Lufttemperatur ändert sich die subjektive Bewertung schneller. Ein Einfluß des Zuluftvolumenstroms auf die Bewertung ist nicht erkennbar.

Der Vergleich der verschiedenen Varianten der Zuluftzuführung (Bild unten rechts) macht deutlich: behagliche Klimazustände, d.h. Werte der Behaglichkeitsskala kleiner als 3, lassen sich mit dem zweifachen und dem vierfachen Schlitzauslaß und der Lochdecke erzielen. Voraussetzung ist allerdings eine mittlere Lufttemperatur von 20–22 °C. Der vierfache Schlitzauslaß und die Lochdecke sind nahezu gleichwertig. Nicht zu große Abweichungen der mittleren Lufttemperatur vom optimalen Bereich wirken sich hier nur wenig aus, während beim zweifachen Schlitzauslaß Klimazustände mit  $\vartheta_{Lm} = 25$  °C schon "unbehaglicher" als bei der geraden Ausströmung der serienmäßigen Zuluftzuführung empfunden werden. Oberhalb  $\vartheta_{Lm} = 28$  °C nimmt der Einfluß der Zuluftzuführung immer mehr ab.

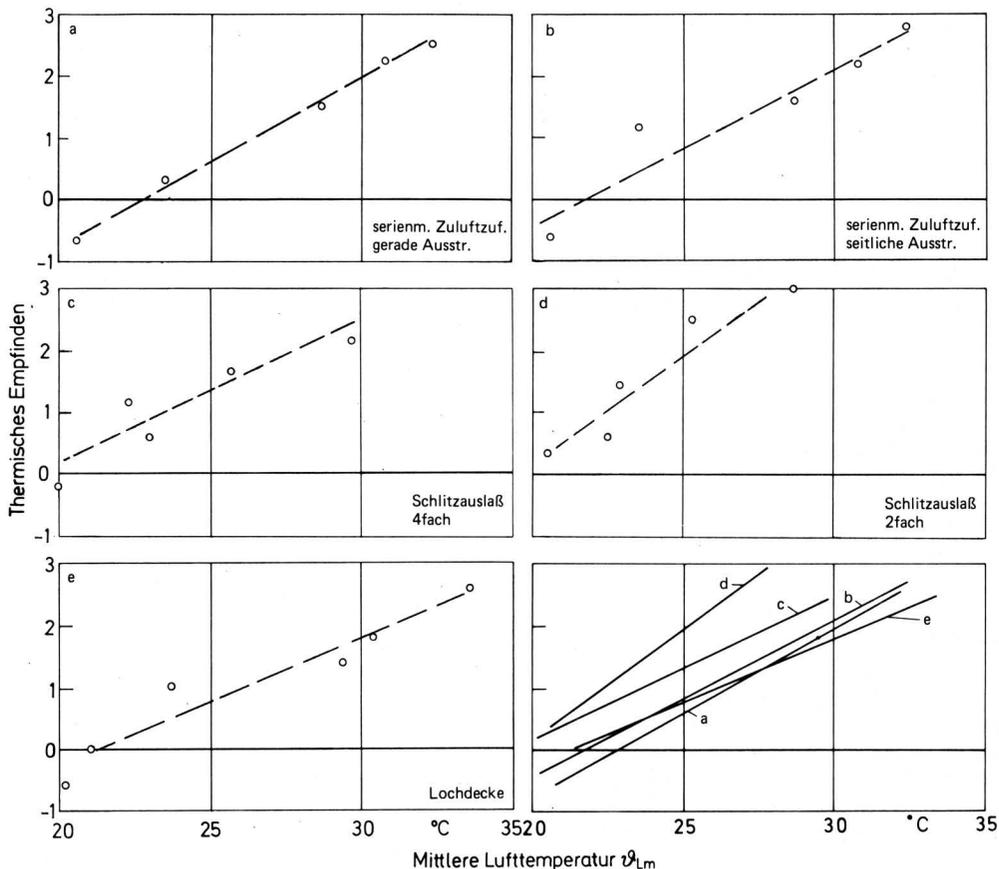


Bild 10. Thermisches Empfinden am Versuchsende in Abhängigkeit von der mittleren Lufttemperatur in der Kabine für die verschiedenen Arten der Zuluftzuführung (a bis e) und im Vergleich; Zuluftbedingungen wie in Bild 9 angegeben.

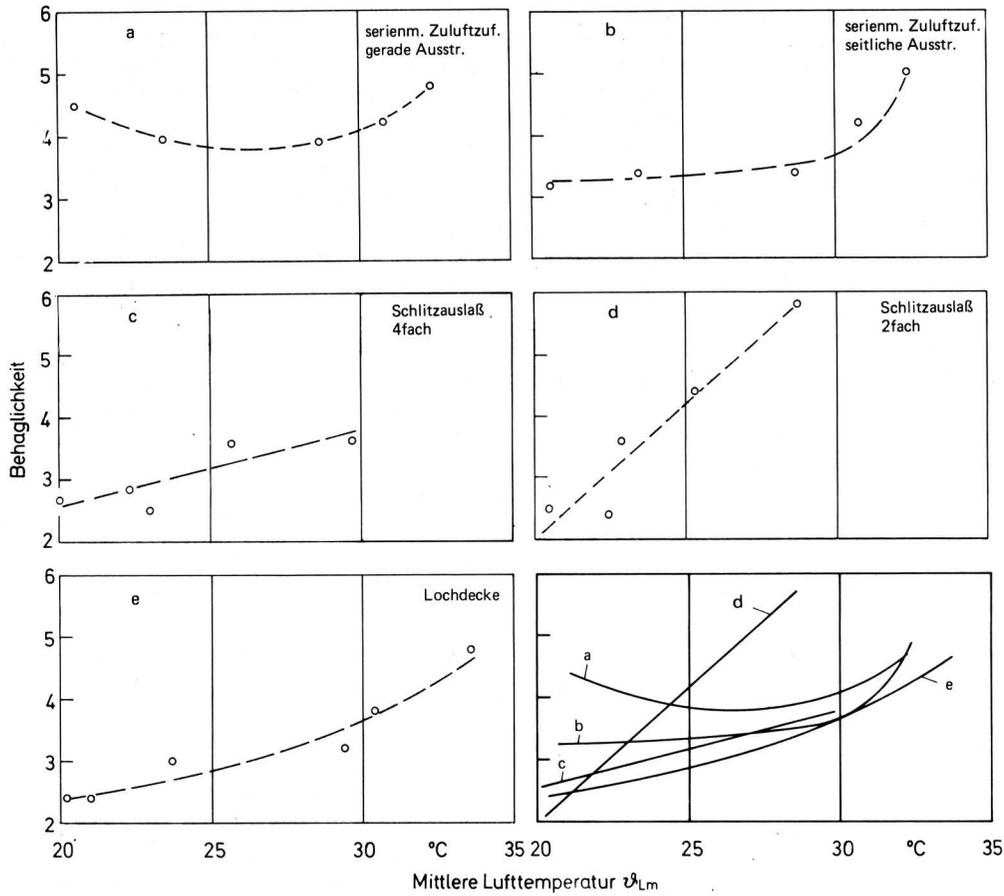


Bild 11. Subjektive Behaglichkeit am Versuchsende in Abhängigkeit von der mittleren Lufttemperatur in der Kabine für die verschiedenen Arten der Zuluftzuführung (a bis e) und im Vergleich; Zuluftbedingungen wie in Bild 9 angegeben.

### 5. Diskussion

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß mit Versuchspersonen eine recht eindeutige Einschätzung der Klimabedingungen in der Kabine in Abhängigkeit von der verwendeten Zuluftzuführung sowie den Zuluftbedingungen zu gewinnen ist.

Von den beiden gemessenen physiologischen Parametern erwies sich die Hauttemperatur als Belastungsindex für Klimazustände in der Nähe des neutralen Bereiches als nicht geeignet. Demgegenüber ist die Schweißabgabe ein verlässlicher Parameter für die Bewertung der thermischen Umgebung. In Bild 12 ist der mittlere stündliche Gewichtsverlust pro  $m^2$  Körperoberfläche über dem mittleren subjektiven thermischen Empfinden am Versuchsende aufgetragen. Es besteht eine enge funktionale Beziehung zwischen der physiologischen Meßgröße "Schweißabgabe" und dem psychologisch beeinflussten Parameter "thermisches Empfinden", wie die durch Regression gefundene Ausgleichskurve belegt.

Die Klimabewertung der Versuchspersonen ändert sich mit der Aufenthaltsdauer in der Kabine. Das gilt insbesondere für das thermische Empfinden und die Behaglichkeit. Diese Änderung im subjektiven Empfinden ist auf die mit der Tätigkeit verbundene Wärmeproduktion zurückzuführen. Nach etwa 30 Minuten ist dieser Übergangsprozeß weitgehend abgeschlossen und die Bewertung stabilisiert sich. Dies wird auch durch die Untersuchung von Kaufman u.a. [13] belegt.

Das thermische Empfinden ändert sich bei allen Zuluftzuführungen fast linear mit der mittleren Lufttemperatur, was bedeutet, daß weder der Zuluftstrom noch dessen Temperaturdifferenz zur Kabinenluft allein, sondern das Produkt aus beiden, die Kühlleistung,

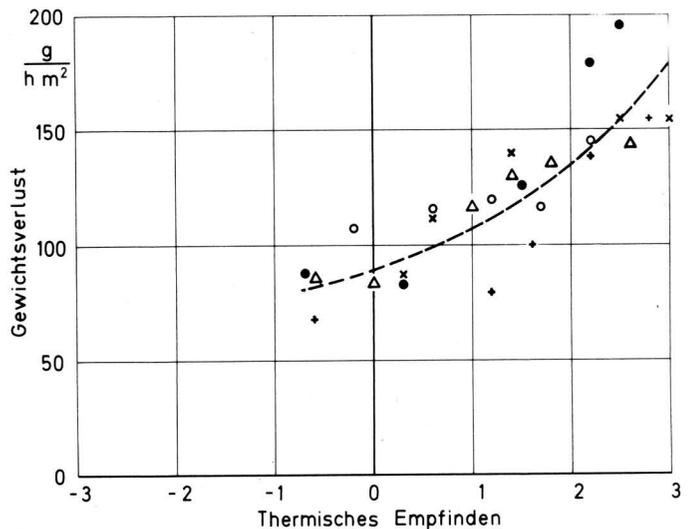


Bild 12. Auf die Körperoberfläche bezogener stündlicher Gewichtsverlust in Abhängigkeit vom mittleren thermischen Empfinden für die verschiedenen Arten der Zuluftzuführung.

- serienmäßig, gerade
- + serienmäßig, seitlich
- Schlitz, vierfach
- × Schlitz, zweifach
- △ Lochdecke

für die subjektive Bewertung ausschlaggebend ist. Thermisch "neutral" empfundene Klimabedingungen setzen im allgemeinen mittlere Lufttemperaturen zwischen 20 und 23 °C voraus. Auch wenn eine detaillierte Wiedergabe des Vergleichs zwischen dem subjektiven thermischen Empfinden aus diesen Untersuchungen und dem in einer früheren Arbeit [7] über den PMV-Index ermittelten thermischen Empfinden einer späteren Veröffentlichung vorbehalten ist, kann an dieser Stelle schon mitgeteilt werden, daß die Übereinstimmung befriedigend bis gut ist.

Das subjektive Empfinden der Luftbewegung wird sowohl vom Zuluftvolumenstrom als auch von der Art der Zuluftzuführung beeinflusst. Nur mit dem vierfachen Schlitzauslaß (o) ist im untersuchten Temperaturbereich eine "angenehm" empfundene Luftbewegung erreichbar, Bild 13. Bei der seitlichen Ausströmung der serienmäßigen Zuluftzuführung (+), dem zweifachen Schlitzauslaß (x) und der Lochdecke (Δ) wird die Luftbewegung trotz gleichbleibender Luftwechselrate umso "unangenehmer" empfunden, je wärmer es in der Kabine ist.

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der subjektiven Behaglichkeit und z.B. dem thermischen Empfinden ist nicht festzustellen, mit Ausnahme der als "warm" bis "heiß" beurteilten Klimabedingungen, bei denen der Einfluß des thermischen Empfindens dominiert. Ein thermisch neutrales Klima ist zwar Vorbedingung für subjektive Behaglichkeit, genügt allein aber nicht, wenn die Luftbewegung in Körpennähe zu hoch ist. Hohe Luftgeschwindigkeiten in Körpennähe verhindern somit fast immer einen behaglichen Klimazustand.

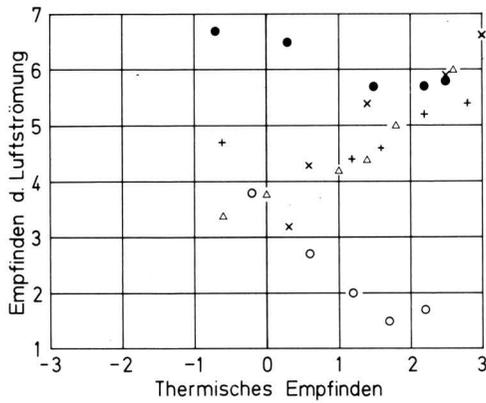


Bild 13. Empfinden der Luftbewegung in Abhängigkeit vom mittleren thermischen Empfinden bei verschiedenen Arten der Zuluftzuführung.

- serienmäßig, gerade
- + serienmäßig, seitlich
- Schlitz, vierfach
- x Schlitz, zweifach
- △ Lochdecke

Mit Hilfe der mittleren Bewertung der Versuchspersonen am Versuchsende für das thermische Empfinden, das Empfinden der Luftbewegung und die subjektive Behaglichkeit wird nachfolgend eine Bewertung der verschiedenen Zuluftzuführungen vorgenommen. Als Ergebnis zeigt Tafel 3, bei welchen Zuluftbedingungen (Art der Zuluftzuführung, Volumenstrom, Temperatur) folgende Kriterien erfüllt sind:

1. Thermisches Empfinden zwischen - 1 (etwas kühl) und + 1 (etwas warm)
2. Empfinden der Raumluftrömung besser als 4 (genau richtig)
3. Behaglichkeit besser als 3 (leicht unbehaglich).

Sowohl beim Schlitzauslaß als auch bei der Lochdecke stellt sich mit einem Zuluftvolumenstrom von 400 bis 600 m<sup>3</sup>/h ein annehmbares Klima in der Kabine ein, wenn die Zulufttemperatur etwa 10 °C unter der Außenlufttemperatur von 25 °C liegt. Das entspricht einer Luftwechselrate von 150 h<sup>-1</sup>. Beim vierfachen Schlitzauslaß ist ein erträglicher Klimazustand allerdings auch mit einem kleineren Zuluftstrom erreichbar.

Art der Zuluftzuführung	Zuluftbedingungen		Therm. Empfinden	Empfinden der Luftbew.	Subj. Behaglichk.
	Vol.-strom m <sup>3</sup>	Temp. °C			
serienmäßig (gerade)	380	10	+	-	-
	380	15	+	-	-
	180	5	-	-	-
	180	10	-	-	-
	180	15	-	-	-
serienmäßig (seitlich)	380	10	+	-	-
	380	15	-	-	-
	180	5	-	-	-
	180	10	-	-	-
	180	15	-	-	-
Schlitzauslaß (4fach)	600	15	+	+	+
	400	15	+	+	+
	200	5	-	+	+
	200	10	-	+	-
	200	15	-	+	-
Schlitzauslaß (2fach)	600	15	+	+	+
	400	15	+	-	+
	200	5	-	-	-
	200	10	-	-	-
	200	15	-	-	-
Lochdecke	600	15	+	+	+
	400	10	+	+	+
	400	15	+	-	+
	200	5	-	-	-
	200	10	-	-	-

Tafel 3. Bewertung der Klimabedingungen in einer Fahrerkabine bei verschiedenen Arten der Zuluftzuführung und verschiedenen Zuluftbedingungen; + Kriterium erfüllt, - Kriterium nicht erfüllt; Kriterien: thermisches Empfinden im Bereich - 1 (etwas kühl) bis + 1 (etwas warm), Empfinden der Luftbewegung besser als 4 (genau richtig), Behaglichkeit besser als 3 (leicht unbehaglich).

Als wesentliches Kriterium für die Güte der Zuluftzuführung ist auch die erforderliche Kühlleistung der Kälteanlage anzusehen, d.h. die Wärmemenge, die der Zuluft entzogen werden muß. Dazu ist in Bild 14 die mittlere subjektive Behaglichkeit über dem Verhältnis  $\dot{Q}_{\text{Kühlung}}/\dot{Q}_{\text{Ein}}$  (Kühlleistung bezogen auf den Wärmestrom durch die Sonneneinstrahlung und die Heizfolien) aufgetragen. Das günstigste Ergebnis "behaglich" (2) bis "leicht unbehaglich" (3) ergibt sich mit dem vierfachen Schlitzauslaß (o) bei einem Verhältnis  $\dot{Q}_{\text{Kühlung}}/\dot{Q}_{\text{Ein}}$  kleiner als 1. Für den gleichen Abszissenwert fällt die Beurteilung des Klimas für den zweifachen Schlitzauslaß (x) sehr unterschiedlich und für die Lochdecke (Δ) deutlich schlechter aus als für den vierfachen Schlitzauslaß. Bei diesen Arten der Zuluftzuführung muß die Kühlleistung bezogen auf den Wärmestrom durch Sonneneinstrahlung und Heizfolien wesentlich größer sein, wenn eine vergleichbar gute Beurteilung des Klimas erreicht werden soll.

Die vorliegende Arbeit zeigt, daß sich für eine gegebene Kabine eine Kombination der wichtigsten klimabestimmenden Faktoren (Luftführung, Lufttemperatur, -geschwindigkeit) angeben läßt, bei denen für die überwiegende Zahl von Personen subjektiv behagliche Klimazustände erwartet werden können. Da aber stets für einen solchen von der Mehrheit als behaglich empfundenen Zustand mit inter- und intraindividuellen Abweichungen gerechnet werden muß, sollte dem Fahrer einer landwirtschaftlichen Arbeitsmaschine grundsätzlich die Möglichkeit gegeben sein, bei einem weitgehend behaglichen Grundzustand die Feinabstimmung des Klimas in der Kabine nach seinen eigenen Wünschen vorzunehmen. Aus regelungstechnischen und energetischen Gründen dürfte es dabei empfehlenswert sein, die individuelle Einstellung vorwiegend über den Zuluftstrom (Menge, Richtung) auszuführen und die Zulufttemperatur möglichst konstant zu halten.

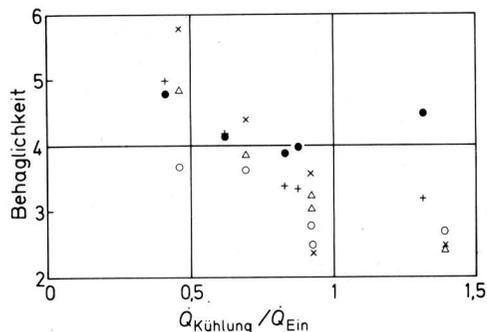


Bild 14. Subjektive Behaglichkeit in Abhängigkeit vom Wärmestromverhältnis  $\dot{Q}_{\text{Kühlung}}/\dot{Q}_{\text{Ein}}$  (Kühlleistung der Zuluft/Wärmestrom durch Sonnenstrahlung und von Motor und Getriebe) bei verschiedenen Arten der Zuluftzuführung.

- serienmäßig, gerade
- + serienmäßig, seitlich
- Schlitz, vierfach,
- x Schlitz, zweifach
- △ Lochdecke

### Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] ● American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Handbook, 1977 Fundamentals.
- [ 2 ] Rohles, F.H.: Psychological aspects of thermal comfort. ASHRAE Journal Bd. 13 (1971) Nr. 1, S. 86/90.
- [ 3 ] Nevins, R.G. u. F.H. Rohles: Thermal comfort and variable air volume systems. Austr. Refrig. Air. Cond. Bd. 28 (1974) Nr. 8, S. 40/45.
- [ 4 ] ● Fanger, P.O.: Thermal Comfort. New York: McGraw-Hill Book Co., 1973.
- [ 5 ] Graef, M., G. Jahns, J. Janssen, G.-J. Mejer, R. Möller, H. Speckmann u. E. Witte: Arbeitsplatzbelastungssimulator. Bericht aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung HdA 78/1 (1978).
- [ 6 ] Janssen, J. u. R. Möller: Versuchseinrichtung zum Messen des Temperaturfeldes und der Luftgeschwindigkeit in Fahrererkabinen. Bericht aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung, Jn 03 (1982).
- [ 7 ] Janssen, J.: Luftführung in Fahrererkabinen unter dem Gesichtspunkt der thermischen Behaglichkeit. Grundl. Landtechnik Bd. 34 (1984) Nr. 5, S. 198/205.
- [ 8 ] Dubois, D. u. E.F. Dubois: A formula to estimate approximate surface area, if height and weight are known. Arch. of Internal Med. Bd. 19 (1916) S. 863. Zitiert in [12].
- [ 9 ] McNall, P.E., J. Jaax, F.H. Rohles, R.G. Nevins u. W. Springer: Thermal comfort (thermally, neutral) conditions for three levels of activity. ASHRAE Trans. Bd. 73 (1967) Tl. 1, S. I.3.1/I.3.14.
- [ 10 ] McNall, P.E., P.W. Ryan, F.H. Rohles u. R.G. Nevins: Metabolic rates at four activity levels and their relationship to thermal comfort. ASHRAE Trans. Bd. 74 (1968) Tl. 1, S. IV.3.1/IV.3.14.
- [ 11 ] Jahns, G. u. F.J. Thome: Beanspruchung des Menschen durch verschiedene Klimafaktoren – Versuche im Arbeitsplatzbelastungssimulator. Bericht aus den Instituten für Betriebstechnik und landtechnische Grundlagenforschung Nr. 50/1979.
- [ 12 ] Eriksson, H.A.: Värme och ventilation i traktorhytter. Specialmeddelande S. 25, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala (1975).
- [ 13 ] Kaufman, K.R., P.K. Turnquist u. R.N. Swanson: Physiological responses and thermal comfort of subjects in a tractor cab. ASAE paper No. 76-1577, ASAE, St. Joseph, Michigan 1976.
- [ 14 ] Rohles, F.H., J.E. Woods u. R.G. Nevins: The effects of air movement and temperature on the thermal sensation of sedentary man. ASHRAE Trans. Bd. 80 (1974) Nr. 1, S. 101/19.
- [ 15 ] Sprague, C.H., R.B. Jai, R.G. Nevins u. N.Z. Azer: The prediction of thermal sensation for man in moderate thermal environments via a simple thermoregulatory model. ASHRAE Trans. Bd. 80 (1974) Nr. 1, S. 130/46.
- [ 16 ] Azer, N.Z. u. R.G. Nevins: Physiological effects of locally cooling the head in a 95 F and 75 % RH environment. ASHRAE Trans. Bd. 80 (1974) Nr. 1, S. 93/100.
- [ 17 ] Janssen, J.: Der Effekt verschiedener Zuluftbedingungen auf das subjektive Befinden in Fahrererkabinen. Bericht aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung, Jn 05 (1984).

## Stichprobenverfahren bei der Untersuchung von Drall-, Flachstrahl- und Rotationsdüsen

Von Andrzej Gajtkowski, Posen\*)

DK 631.348.45:519.243

Die Verteilung von Pflanzenschutzmitteln muß bezüglich der ausgebrachten Menge und der Tropfengröße den gestellten Anforderungen genügen. Während die Ermittlung der ausgebrachten Menge auf verschiedenen Wegen mit einfachen Mitteln geschehen kann, erfordert die Ermitt-

lung der Tropfengrößenverteilung – oder einer Kenngröße für den mittleren Tropfendurchmesser – einen beträchtlichen Meßaufwand.

Der Beitrag untersucht, wie sich bei Düsen unterschiedlicher Bauart verschiedene Verfahren der Probennahme auf die Genauigkeit der ermittelten Kenngröße für den Tropfendurchmesser auswirken, und leitet ab, wie groß die Zahl der gemessenen Einzeltropfen jeweils sein muß, wenn eine vorgegebene Fehlergrenze bei der Schätzung der Kenngröße nicht überschritten werden soll.

\*) Dr. inz. A. Gajtkowski ist wissenschaftlicher Oberassistent im Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft der Landwirtschaftlichen Akademie in Posen.