

Bild 17. Langzeitmessung der Leitfähigkeit; Verlauf bei Euterentzündung.

6. Zusammenfassung

Die Messung der Leitfähigkeit der Milch unmittelbar nach dem Austritt aus dem Euter ist im Dauereinsatz während der normalen Melkroutine mit ausreichender Genauigkeit möglich. Das mikrocomputergesteuerte Meßsystem erweist sich als robust und wenig fehleranfällig. Erste Vorversuche zeigen eine sicher erfassbare Leitfähigkeitserhöhung bei Euterentzündung (Korrelation Zellzahl-Leitfähigkeit). Die Messung der Leitfähigkeit ist somit geeignet als Indikator für gesundheitliche Störungen wie Mastitis. Große Leitfähigkeiten lassen dabei auf Krankheit schließen, starke Unterschiede in den Leitfähigkeiten von Vorgemelk und Hauptgemelk sind

ein zusätzlicher Indikator. Ähnlich wie bei Fieber das Überschreiten bestimmter Grenzwerte in der Temperatur ein Indikator für Sonderzustände ist, so ist die erhöhte Leitfähigkeit der Milch ein ausgeprägtes Indiz für Erkrankungen des Euters. Der in der Literatur gestellten Forderung, zur Erkennung von Krankheiten die Leitfähigkeit über größere Zeiten zu verfolgen und die so entstandene Zeitreihe zu analysieren [5], kann widersprochen werden. Diese Aussage ist für die Anwendung von Wichtigkeit, weil damit beim praktischen Einsatz auf umfangreiches und teures Computergedächtnis verzichtet werden kann.

Schrifttum

- [1] Paul, W. u. H. Speckmann: Die Messung der Milchttemperatur als Mittel zur Überwachung der Tiergesundheit und zur Steuerung des Milchentzuges. *Grundl. Landtechnik* Bd. 29 (1979) Nr. 6, S. 201/207.
- [2] Rommel, K.: Auswahl und Einsatz von Leitfähigkeitsmeßzellen. *Labor Praxis* Bd. 8 (1984) Nr. 3, S. 171/74.
- [3] Schlüsen, D., H. Schön, R. Artmann, W. Paul u. H. Speckmann: Eignung der automatischen Milchtemperaturerfassung zur Gesundheitsüberwachung und Brunstkontrolle in der Milchviehhaltung. *Landbauforschung Völkenrode* Bd. 31 (1981) Nr. 4, S. 241/50.
- [4] Prentice, J.H.: The conductivity of milk — the effect of the volume and degree of dispersion of the fat. *Journ. Dairy Research* Bd. 29 (1962) S. 131/39.
- [5] Datta, A.K., H.B. Puckett, S.L. Spahr u. E.D. Rodda: Real time acquisition and analysis of milk conductivity data. *ASAE Paper-No. 82-3529*, St. Joseph 1982.

Luftführung in Fahrerkabinen unter dem Gesichtspunkt der thermischen Behaglichkeit

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 während der Haupteinsatzzeit oftmals in geschlossenen Fahrerkabinen landwirtschaftlicher Fahrzeuge auftretenden thermischen Belastungen können meist nur durch große Zuluftvolumenströme mit niedrigen Zulufttemperaturen reduziert werden.

Eine Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Zuluftbedingungen und Arten der Zuluftzuführung auf das Kabinenklima, wobei als Maßstab ein Klimasummenmaß (PMV-Index) und dessen örtliche Abweichungen vom Mittelwert dienen, zeigt, daß auch in Fahrerkabinen für einen großen Anteil von Personen behagliche Klimazustände geschaffen werden können.

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

1. Einleitung

In geschlossenen Fahrerkabinen landwirtschaftlicher Fahrzeuge können während der Haupteinsatzzeit Klimabedingungen auftreten, die nicht mehr ohne weiteres erträglich sind [1, 2, 3]. Diese Wärmebelastung soll meist durch eine intensive Zwangsbelüftung der Kabine abgebaut werden. Die Wirksamkeit der Belüftung läßt sich näherungsweise abschätzen, wenn man vollständige Durchmischung in der Kabine zugrunde legt, d.h. voraussetzt, daß die Lufttemperatur zu jeder Zeit an jedem Ort in der Kabine gleich ist [3].

Für diese Voraussetzung und einen Wärmestrom in die Kabine durch Sonneneinstrahlung u.a. von etwa 1,6 kW zeigt Bild 1 die Lufttemperaturerhöhung in der Kabine in Abhängigkeit vom Volumenstrom und der Temperatur der Zuluft. Nimmt man einen Zuluftvolumenstrom von etwa 400 m³/h an und sind Zuluft- und Außenlufttemperatur gleich ($\Delta\vartheta = 0$, obere Kurve), beträgt die Lufttemperaturerhöhung in der Kabine 7,9 °C. Abkühlung der Zuluft um 10 °C (mittlere Kurve) verringert beim gleichen Zuluftvolumenstrom die Temperaturerhöhung auf 1,4 °C.

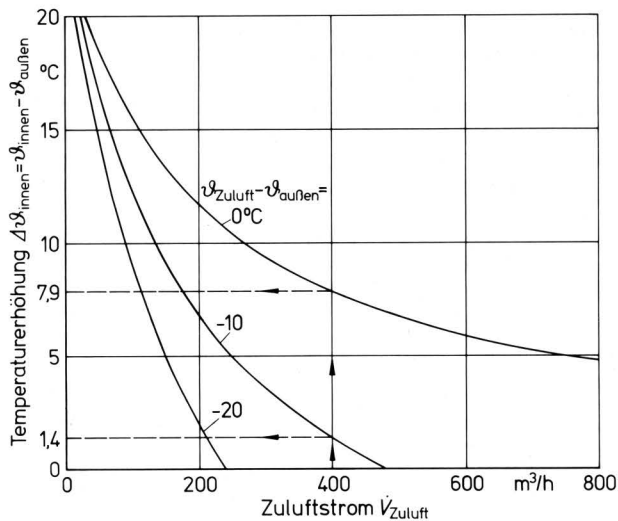


Bild 1. Temperaturerhöhung in der Kabine in Abhängigkeit vom Zuluftstrom bei unterschiedlicher Abkühlung der Zuluft; Wärmebelastung der Kabine $\dot{Q}_{\text{ein}} = 1,6 \text{ kW}$.

An diesem einfachen Beispiel wird bereits deutlich, daß sich die in Fahrerkabine auftretende Wärmebelastung nur mit im Vergleich zum Kabinenvolumen relativ großen Volumenströmen und entsprechend niedrigen Temperaturen der Zuluft auf ein erträgliches Maß reduzieren läßt. Dabei sind bestimmte Anforderungen an das Klima in der Kabine zu stellen, um Gesundheit und Leistungsfähigkeit des Fahrers zu erhalten. Die teilweise schwer miteinander zu vereinbarenden Bedingungen verlangen deshalb eine sorgfältige Gestaltung der Zuluftzuführung und der Luftführung in der Kabine. Sie sind Ausgangspunkt für Untersuchungen an serienmäßigen Fahrerkabine, deren Ziel es ist, den Einfluß verschiedener Größe und Geometrie der Zuluftöffnungen sowie unterschiedlicher Zuluftvolumenströme und -temperaturen auf das Klima in der Kabine festzustellen und zu bewerten. Eine allgemeine Bewertung des Klimas als Belastungsgröße am Arbeitsplatz wird schon seit etlichen Jahren versucht. In Fahrerkabine ist sie noch zusätzlich erschwert durch das sehr uneinheitliche Klima. Insofern soll zunächst geklärt werden, welche Möglichkeiten der Bewertung bestehen für das, was durch den komplexen Begriff Klima beschrieben wird.

2. Bewertung des Klimas

Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten, die Wirkung des Klimas auf die Leistungsfähigkeit und -bereitschaft des Menschen zu beurteilen: zum einen über die Reaktionen des menschlichen Körpers direkt, also durch Messen physiologischer Größen, und zum anderen über eine Messung der das Klima beschreibenden physikalischen Einflußgrößen und anschließende Bewertung anhand eines Beurteilungsmaßstabes, der die Klimagrößen mit dem Temperaturempfinden bzw. der Leistungsfähigkeit des Menschen in Beziehung setzt.

In diesem Bericht wird die indirekte Beurteilung mit Hilfe der physikalischen Einflußgrößen vorgenommen. In einer späteren Versuchsreihe sollen bei gleichen Klimabedingungen wie in diesen Untersuchungen die physiologischen Reaktionen von Versuchspersonen ermittelt werden.

2.1 Physikalische Einflußgrößen

Bei der Bewertung des Klimas über physikalische Einflußgrößen stellt sich die Frage, in welcher Weise die verschiedenen Einflußgrößen berücksichtigt werden sollen. Für eine umfassende Beurteilung sind außer den vier Klimagrößen Lufttemperatur, -geschwin-

digkeit, -feuchte und Wärmestrahlung auch personenbezogene Größen wie Tätigkeit und Bekleidung zu beachten. Ferner ist zu bedenken, daß die Klimagrößen im Raum beträchtlich differieren können.

In den Versuchen zum Klima in Fahrerkabine wurden deshalb im stationären Zustand Lufttemperatur und -geschwindigkeit nacheinander in fünf verschiedenen Meßebenen über dem Kabinenboden, aber gleichzeitig an mehreren Stellen, gemessen. Die Luftfeuchtigkeit ist normalerweise im Raum überall gleich, so daß die Messung an einem Ort ausreicht. Schwieriger ist die Berücksichtigung der Wärmestrahlung. Dafür wird vornehmlich ein sogenanntes Globe thermometer benutzt [4, 5], das sich auf einen Wert einstellt, der sowohl von der Lufttemperatur als auch von der mittleren Strahlungstemperatur der Umgebung abhängt (Die mittlere Strahlungstemperatur ist die Oberflächentemperatur einer gleichförmigen, imaginären absolut schwarzen Umgebung, die zu dem gleichen Strahlungswärmeaustausch mit einer Person führt wie die tatsächliche Umgebung). Der ungleichförmige Klimazustand in der Kabine führt auch zu örtlich recht unterschiedlichen Globetemperaturen (s.a. [6]). Wegen der großen Zeitkonstanten des Meßgerätes muß jedoch davon abgesehen werden, parallel zu Lufttemperatur und Luftgeschwindigkeit auch die Globetemperatur an jedem Meßort zu ermitteln. Deshalb soll die mittlere Strahlungstemperatur als repräsentativ angesehen werden, die aus der etwa in Kopfposition gemessenen Globetemperatur hervorgeht.

2.2 Klimasummenmaß

Bei der Vielzahl von möglichen Kombinationen der Klima-Einflußgrößen hat es nicht an Versuchen gefehlt, Beurteilungsmaßstäbe zu entwickeln, mit denen die möglichen Kombinationen auf einer Skala abgebildet und dabei eine Rangfolge hinsichtlich der Belastung und/oder Beanspruchung des Menschen geschaffen wird [4, 7].

Das bekannteste Klimasummenmaß ist die Effektivtemperatur nach *Yaglou* [8], die solche Kombinationen der Lufttemperatur, -feuchte und -geschwindigkeit als gleichwertig zusammenfaßt, die das gleiche subjektive Empfinden hervorrufen. Nachteilig an der Effektivtemperatur ist u.a., daß Wärmestrahlung, Tätigkeit und Bekleidung nicht berücksichtigt werden.

Für eine eingehende Klimabeurteilung sind daher Verfahren vorzuziehen, die auf der Wärmebilanz für den menschlichen Körper aufbauen und als Belastungsindex den Wärmeaustausch zwischen Mensch und Umgebung berechnen. Derartige Verfahren sind z.B. die Methode der "erforderlichen Schweißabgabe" nach *Vogt u.a.* [9] und die "allgemeine Behaglichkeitsgleichung" nach *Fanger* [10]. Für diese Klimasummenmaße ist eine Verknüpfung zwischen der physiologischen Beanspruchung und der gemessenen Belastung gegeben.

Bei der Klimagegestaltung werden vorrangig solche Klimabedingungen angestrebt, bei denen sich der Mensch wohl bzw. behaglich fühlt. Im Behaglichkeitsbereich tritt keine physiologisch nachweisbare Beanspruchung auf. Nach *Fanger* [11] kann Behaglichkeit definiert werden als "Zustand des Befindens, der Zufriedenheit mit der thermischen Umgebung ausdrückt" oder mit anderen Worten "ein Zustand, bei dem keine höhere oder niedrigere Temperatur gewünscht wird". Dieser Zustand liegt vor, wenn in der "allgemeinen Behaglichkeitsgleichung" – der ausgereiftesten und zuverlässigsten Beziehung für die Ermittlung des Klimaeinflusses – L den Wert 0 hat [10]:

$$L = q(1 - \eta) - 3,2 [5,73 - 0,0067 q(1 - \eta) - p_{dL}] - 0,42 [q(1 - \eta) - 58,15] - 0,017 q(5,87 - p_{dL}) - 0,0014 q(34 - \vartheta_L) - 3,95 \cdot 10^{-8} f_{Kl}(T_{Kl}^4 - T_{Str}^4) - f_{Kl} a(\vartheta_{Kl} - \vartheta_L).$$

Darin ist:

L	auf Körperoberfläche bezogene Wärmebelastung des Körpers; W/m^2
q	auf Körperoberfläche bezogene innere Wärmeleistung (Stoffwechselleistung) des Körpers; W/m^2
η	Anteil der vom Körper abgegebenen mechanischen Leistung
p_{dL}	Wasserdampfdruck der Luft; kPa
ϑ_L	Temperatur der Luft; $^{\circ}C$
f_{Kl}	Verhältnis von Oberfläche der Kleidung und Oberfläche des Körpers (Vergrößerungsfaktor)
$T_{Kl}; \vartheta_{Kl}$	Mittlere Oberflächentemperatur der Kleidung; K bzw. $^{\circ}C$
T_{Str}	Mittlere Strahlungstemperatur; K
α	Wärmeübergangskoeffizient (Konvektion); $W/K m^2$.

Bei der Auswertung der Gleichung werden zweckmäßigerweise die Werte für q und η (abhängig von der jeweiligen Tätigkeit), für f_{Kl} , T_{Kl} bzw. ϑ_{Kl} und α (abhängig von der Art der Kleidung und Tätigkeit) den Tabellen bei Fanger [10] entnommen bzw. mit den dort angegebenen Beziehungen berechnet.

Die Behaglichkeitsgleichung ist wesentlicher Bestandteil bei der Berechnung des PMV-Index ("Predicted Mean Vote"), der eine Vorhersage über die mittlere Beurteilung eines Klimazustands durch eine große Gruppe von Personen erlaubt, wenn beispielsweise die Klimagrößen gemessen und Tätigkeit und Bekleidung geschätzt worden sind. Beurteilungskriterium ist das subjektive Empfinden des Menschen, Tafel 1.

Der PMV-Index basiert auf einer Skala, die von -3 bis +3 reicht, wobei "0" die neutralen, behaglichen Bedingungen charakterisiert. Ein positiver Wert beschreibt die Abweichungen vom Behaglichen zur warmen Seite und ein negativer die zur kalten Seite hin.

Aufgrund der Komplexität der "Behaglichkeitsgleichung" ist die Berechnung des PMV-Index allerdings nur mit Hilfe von Rechenanlagen praktikabel. In den Originalpublikationen von Fanger sind indessen zahlreiche Lösungen in sogenannten "Behaglichkeitsdiagrammen" dargestellt, auf die im Bedarfsfall zurückgegriffen werden kann [10, 11].

PMV-Index	subjektive thermische Empfindung
+3	heiß
+2	warm
+1	etwas warm
0	neutral
-1	etwas kühl
-2	kühl
-3	kalt

Tafel 1. PMV-Index und subjektive thermische Empfindung.

2.3 Toleranzbereich

Bei der Gestaltung des Klimas am Arbeitsplatz darf man andererseits aber auch nicht übersehen, daß aufgrund z.B. technischer Restriktionen und individueller Abweichungen nicht für jede Person gleichermaßen behagliche Bedingungen hergestellt werden können. In diesem Fall gilt es, gewisse Beanspruchungsgrenzen nicht zu überschreiten. So sollen die Klimabedingungen zumindest noch im Erträglichkeitsbereich liegen, in dem eine Beanspruchung zwar schon nachweisbar, aber noch tolerierbar ist. In diesem Zusammenhang kann man z.B. den Bereich zwischen den PMV-Indizes +1 und -1 als "Zufriedenheitszone" bezeichnen [10].

In früheren Untersuchungen im Arbeitsplatzsimulator mit Versuchspersonen sollten deshalb zuverlässige physiologische Kriterien für die Abgrenzung des behaglichen vom beanspruchenden, aber noch tolerierbaren Klimabereich erarbeitet werden [12]. Die Schweißabgabe in Abhängigkeit von verschiedenen Klimastufen erwies sich als brauchbares Kriterium. Der in Bild 2 über der Effektivtemperatur eingetragene Gewichtsverlust der Person pro Versuch entspricht im wesentlichen der angegebenen Schweißmenge, wenn man von den relativ kleinen Anteilen absieht, die auf die Abgabe von Wasserdampf und Kohlendioxid bei der Atmung entfallen. Bis zu einer Effektivtemperatur von ca. $20^{\circ}C$ zeigen die Meßwerte keine ansteigende Tendenz. Danach setzt eine vermehrte Schweißabgabe ein, die zur Aufrechterhaltung des Wärme Gleichgewichts notwendig ist und eine zusätzliche Beanspruchung des Kreislaufes mit sich bringt. Anhand der im Versuch vorgegebenen Klimastufen läßt sich der Beginn der höheren Schweißabgabe etwa einem PMV-Index von +0,5 zuordnen.

Soweit es um die Reduzierung der Wärmebelastung in Kabinen geht, also um Bedingungen, bei denen die Zuluft gekühlt werden muß, dürfte demnach die Forderung nach einem PMV-Index zwischen 0 und +1 in der Kabine ausreichen.

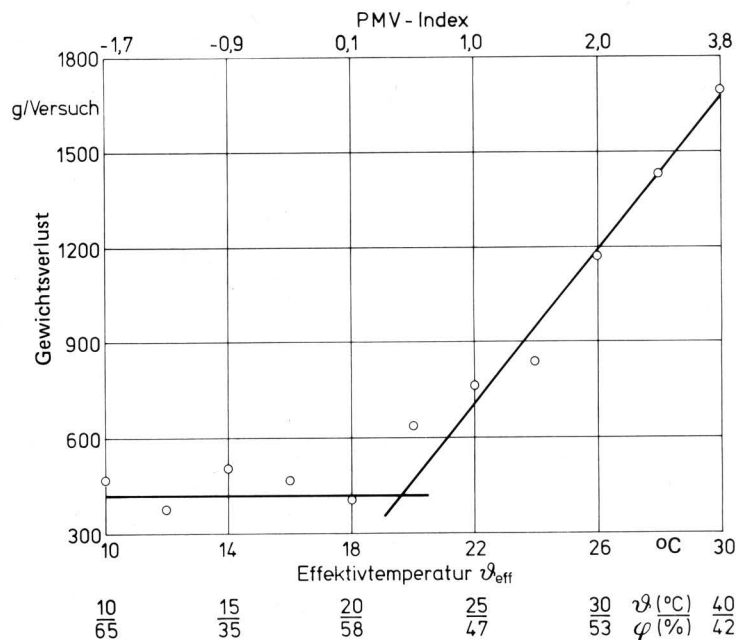


Bild 2. Gewichtsverlust einer Versuchsperson in Abhängigkeit von der Effektivtemperatur; zugeordnet sind unten Lufttemperatur und -feuchte, oben der entsprechende PMV-Index.

2.4 Klima in Kabinen

Die Beurteilung des Raumklimas mit einem einzigen PMV-Index ist nur bei einem vollkommen gleichförmigen Klima im Raum ratsam, weil dann auch in jedem Punkt des Raumes der PMV-Index gleich ist. Aber bereits in Wohn- und Arbeitsräumen differiert das Klima normalerweise örtlich sehr stark, umso mehr in Fahrerkabinen mit ihren großen Glasflächen und der geringen Speicherfähigkeit der umschließenden Bauteile. In diesem Fall stellt die Behaglichkeitsgleichung zunächst nur eine notwendige Bedingung für Behaglichkeit dar, denn als Neutralitätsgleichung informiert sie über die Klimabedingungen, bei denen insgesamt weder eine kühlere noch eine wärmere Umgebung vorgezogen wird. Eine weitere ebenso wichtige Bedingung ist das Vermeiden lokaler Unbehaglichkeit z.B. als Folge von Zugluft. Thermische Behaglichkeit in räumlich ungleichförmigen Klimazuständen erfordert somit nicht nur, daß der arithmetische Mittelwert aus örtlich unterschiedlichen

PMV-Indizes den genannten Behaglichkeitsbedingungen entspricht, sondern auch die örtlichen Einzelwerte sich nur gering unterscheiden. Der mittlere PMV-Index und die zahlenmäßige Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert kennzeichnen demnach die wirkliche Qualität eines ungleichförmigen Raumklimas.

In Fahrerkabine interessiert besonders der Aufenthaltsbereich des Fahrers. Aus der Vielzahl der Meßorte für Lufttemperatur und -geschwindigkeit werden deshalb nur diejenigen berücksichtigt, die sich gleichsam auf einer Hüllfläche um den Aufenthaltsbereich des Fahrers befinden, **Bild 3**. Aus den für diese Meßpunkte berechneten PMV-Indizes wird dann der mittlere PMV-Index für den Aufenthaltsbereich des Fahrers bestimmt. **Bild 3** gibt Hinweise auf die Lage der bereits angesprochenen fünf Meßebenen. Danach befindet sich Meßebene A etwa in Kopf-, B in Schulter- und C in Hüfthöhe. Meßebene D liegt in Knie- und E etwa in Knöchelhöhe.

Anhand von **Bild 3** läßt sich erkennen, wie unzulänglich eine derartige Bewertung mit dem PMV-Index bei der lokalen Verschiedenheit der Meßorte sein kann, da diese möglicherweise in sehr uneinheitlichen Temperatur- und Strömungsgebieten liegen. Bisher ist noch nicht hinreichend bekannt, wie sich z.B. örtliche Kälte- oder Wärmeeinflüsse auswirken. So läßt die "allgemeine Behaglichkeitsgleichung" z.B. auch Klimabedingungen mit relativ hohen Luftgeschwindigkeiten zu, obgleich stärkere Luftbewegungen in Räumen durchweg als unbehaglich empfunden werden [4]. Lokal uneinheitliche Empfindungen des menschlichen Körpers werden bei der Bewertung ebenso vernachlässigt, d.h. jeder PMV-Index wird als gleichwertig angesehen. Die bereits erwähnten Untersuchungen mit Versuchspersonen werden hier vielleicht weitere Aufschlüsse geben können.

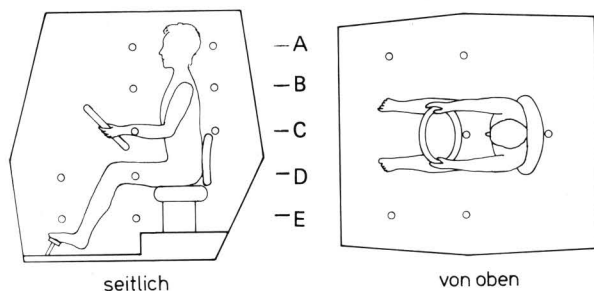


Bild 3. Lage der Meßebenen A bis E und der Meßpunkte für den Aufenthaltsbereich des Fahrers.

3. Versuchsaufbau

Die Kabine befindet sich im Simulationsraum des Arbeitsplatzbelastungssimulators der FAL [13]. Die Sonneneinstrahlung wird mit Hilfe einer Strahlungseinrichtung simuliert, die so ausgelegt und justiert ist, daß ihre Strahlungsintensität der Globalstrahlung in unseren Breiten am 22. Juni um 15.00 Uhr und ihr Einfallswinkel der Sonnenhöhe zu diesem Zeitpunkt entspricht. Den Wärmestrom vom Motor- und Getrieberaum ersetzen am Boden und an den Radkästen der Kabine angebrachte Heizfolien. Dadurch kann eine thermische Belastung erzeugt werden, wie sie auch im praktischen Betrieb vorkommt. Eine ausführliche Beschreibung des Versuchsaufbaues erfolgte an anderer Stelle [14].

Der Klimazustand in der Kabine wird vornehmlich durch die Anordnung der Zuluftöffnungen beeinflusst. **Bild 4** zeigt Form und Anordnung der bei den Versuchen verwendeten Zuluftöffnungen. Außer den serienmäßigen Zuluftzuführungen der Kabine (links im Bild) werden der Schlitzauslaß (Bildmitte) und eine Lochdecke (rechts im Bild) eingesetzt.

Hinsichtlich der Raumlüftung unterscheidet man im wesentlichen zwei Grenzfälle:

- die Strahl- oder Mischlüftung, bei der die Luft durch Strahlen mit hohem Impuls in den Raum geblasen wird und
- die Verdrängungslüftung, bei der die Luft großflächig mit geringer Geschwindigkeit zugeführt wird.

Entsprechend diesen Kriterien bewirken die serienmäßigen Zuluftöffnungen sowie der Schlitzauslaß eine Strahl- oder Mischlüftung, während die Lochdecke zu einer Verdrängungslüftung führt. Die Zuluft wird außerhalb des Simulationsraumes in einem separaten Kälteaggregat gekühlt und über einen Luftkanal zur Kabine geleitet. Bei den serienmäßigen Zuluftöffnungen fördert ein dreistufiges kabineneigenes Gebläse die Zuluft in die Kabine. Für die beiden anderen Formen der Zuluftzuführung wurde aus versuchstechnischen Gründen ein als Druckraum ausgebildetes neues Kabinendach gebaut, und die Zuluftversorgung erfolgt über einen Ventilator außerhalb des Simulationsraumes.

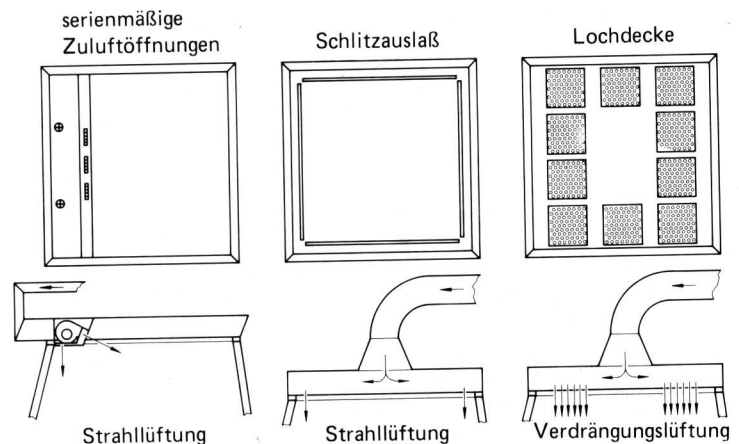


Bild 4. Schematische Darstellung der untersuchten Zuluftzuführungen.

4. Versuchsergebnisse

4.1 Belüftung mit Außenluft

Ausgangspunkt der Untersuchungen sind Bedingungen in der Kabine, wie sie häufig im praktischen Betrieb anzutreffen sind, wenn ungekühlte Außenluft über die serienmäßigen Zuluftöffnungen zugeführt wird. Mit der dritten Einschaltstufe liefert das kabineneigene Gebläse einen Zuluftstrom von etwa $380 \text{ m}^3/\text{h}$. Das entspricht einer Luftwechselrate von $n = 150 \text{ h}^{-1}$, d.h. der Luftinhalt der Kabine wird im Idealfall 150mal in der Stunde vollständig ausgetauscht. Die Temperatur der aus dem Simulationsraum angesaugten Zuluft beträgt ungefähr $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

In **Bild 5** sind für die Meßebenen A bis E die aus den Einzelwerten der Meßstellen der jeweiligen Meßebene errechneten Mittelwerte des PMV-Index aufgetragen. Die Zufuhr unterschiedlicher Wärmeströme: $0,53 \text{ kW}$ durch Heizfolien (Kurve III), $0,92 \text{ kW}$ durch Simulation der Sonneneinstrahlung (Kurve II) und $1,45 \text{ kW}$ durch beide Wärmequellen (Kurve I) spiegelt sich deutlich im unterschiedlichen Niveau für den jeweiligen mittleren PMV-Index wider. Im Vergleich der verschiedenen Meßebenen nimmt der PMV-Index vom Kopf- bis zum Fußbereich leicht zu.

Ein längerer Aufenthalt in der Kabine ist unter den gegebenen Umständen kaum möglich. Schon bei dem kleinsten Heizwärmestrom (III) ergibt sich ein mittlerer PMV-Index zwischen $+2$ und $+3$. Die entsprechenden subjektiven Empfindungen lauten "warm" bzw. "heiß". Während bei diesem Klimazustand aber die gegebene Wärmebelastung noch durch eine erhöhte Schweißabgabe kompensiert werden kann, ist das bei den größeren Wärmeströmen auszuschließen, so daß eine gesundheitliche Gefährdung zu befürchten ist. Diese Klimabedingungen liegen außerhalb des Bereiches, für den eine Bewertung mit dem PMV-Index vorgesehen ist. Von ihrem

prinzipiellen Aufbau her kann die "Behaglichkeitsgleichung" zwar auf den gesamten Klimabereich angewendet werden, Grenzen werden aber vorgegeben durch die Genauigkeit der einzelnen Berechnungsterme und -koeffizienten, die meist empirisch gewonnen wurden und dadurch nur einen begrenzten Gültigkeitsbereich haben [7].

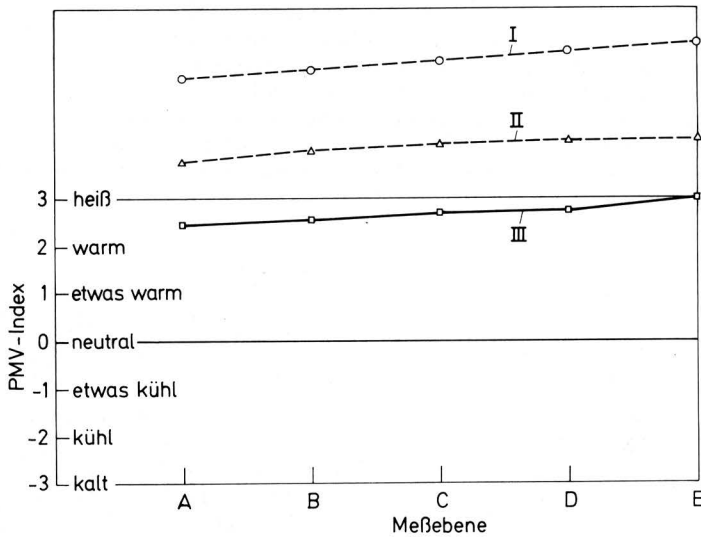


Bild 5. Mittelwert des PMV-Index in den verschiedenen Meßebenen bei Belüftung mit Außenluft von 25 °C und unterschiedlicher Wärmebelastung der Kabine \dot{Q}_{ein} .

- I Strahler + Heizfolien, $\dot{Q}_{\text{ein}} = 1,45 \text{ kW}$
- II Strahler, $\dot{Q}_{\text{ein}} = 0,92 \text{ kW}$
- III Heizfolien, $\dot{Q}_{\text{ein}} = 0,53 \text{ kW}$

4.2 Kühlung der Zuluft

Neben der Steigerung des Luftdurchsatzes ist die Kühlung der Zuluft das wirksamste Mittel der Klimabeeinflussung in der Fahrerkabine. Bei einer Abkühlung um 10 °C beträgt für $\dot{V}_{\text{zu}} = 380 \text{ m}^3/\text{h}$ die Kühlleistung der Kälteanlage $\dot{Q}_0 = \dot{m}_{\text{zu}} (h_{\text{außen}} - h_{\text{zu}}) \approx 1,34 \text{ kW}$. Für diese Kühlleistung sind in **Bild 6** jeweils der mittlere PMV-Index sowie die Schwankungsbreite des PMV-Index der verschiedenen Meßebenen aufgetragen. Grundsätzlich kann danach davon ausgegangen werden, daß durch die Zuluftabkühlung von ca. 10 °C der mittlere PMV-Index um etwa 4 Punkte auf der Beurteilungsskala sinkt. Mit der kleinen Heizleistung (III) wird ein mittlerer PMV-Index von ungefähr -1 erreicht. Das entspricht einer subjektiven Beurteilung von "etwas kühl". Bei der höchsten Heizleistung durch Sonneneinstrahlung und Heizfolien (I) stellt sich ein mittlerer PMV-Index von etwa +1 ein. Wie bei der Belüftung mit Außenluft, **Bild 5**, ändert sich der mittlere PMV-Index nur geringfügig mit der Lage der Meßebene. Beträchtlich ist hingegen die Schwankungsbreite des PMV-Index innerhalb der Meßebenen A und B, also im Kopf- und Schulterbereich des Fahrers, und zwar bei allen untersuchten Heizleistungen. In diesem Bereich ist, vermutlich aufgrund der dort herrschenden hohen Luftgeschwindigkeiten, das Klima sehr uneinheitlich.

Derartig große Unterschiede bei den örtlichen PMV-Indizes treten vornehmlich im Aufenthaltsbereich des Fahrers auf (Meßstellen in **Bild 3**). In **Bild 7** sind der Mittelwert und die Schwankungsbreite des PMV-Index für die erste und dritte Einschaltstufe des kabineneigenen Gebläses bei Abkühlung der Zuluft auf 15, 10 und 5 °C in Abhängigkeit vom Verhältnis $\dot{Q}_{\text{Kühlung}}/\dot{Q}_{\text{ein}}$ (Kühlleistung der Kälteanlage bezogen auf die Heizleistung, d.h. Wärmestrom in die Kabine) eingetragen. Sowohl in **Bild 7** als auch in den nachfolgenden Darstellungen wird aber nur noch der maximale Wärmestrom in die Kabine durch Heizfolien und Sonneneinstrahlung betrachtet.

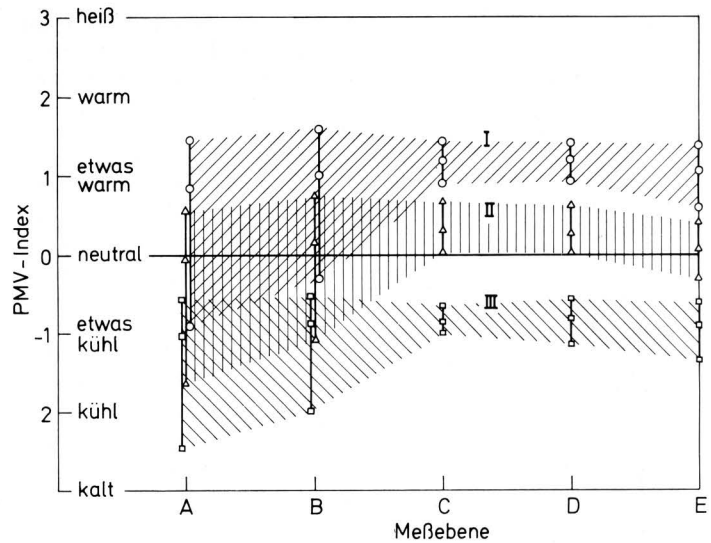


Bild 6. Mittelwert und Schwankungsbreite des PMV-Index in den verschiedenen Meßebenen bei der Belüftung mit gekühlter Zuluft ($\Delta\theta = 10 \text{ °C}$) und unterschiedlicher Wärmebelastung der Kabine \dot{Q}_{ein} .

- I Strahler + Heizfolien, $\dot{Q}_{\text{ein}} = 1,45 \text{ kW}$
- II Strahler, $\dot{Q}_{\text{ein}} = 0,92 \text{ kW}$
- III Heizfolien, $\dot{Q}_{\text{ein}} = 0,53 \text{ kW}$

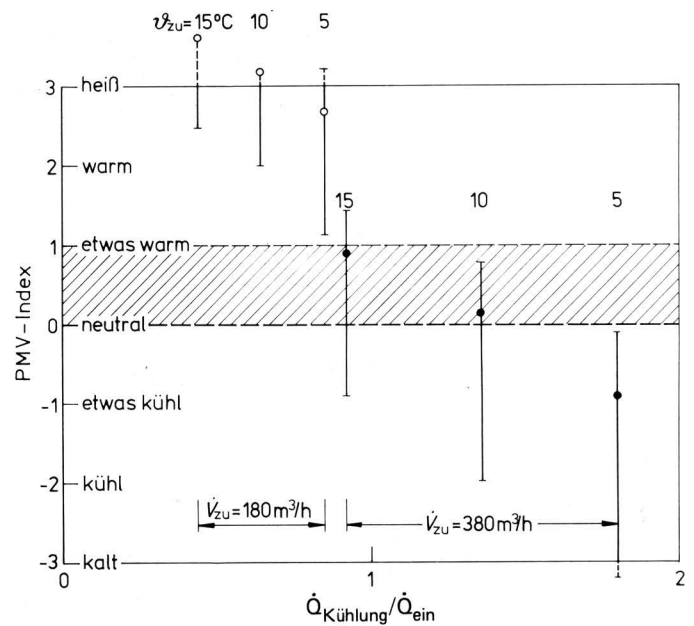


Bild 7. PMV-Index im Aufenthaltsbereich des Fahrers in Abhängigkeit vom Wärmestromverhältnis $\dot{Q}_{\text{Kühlung}}/\dot{Q}_{\text{ein}}$ bei verschiedenen Zuluftbedingungen; serienmäßige Zuluftöffnungen.

Der anzustrebende Bereich für den PMV-Index zwischen 0 und +1 ist schraffiert. Bei der ersten Einschaltstufe liefert das kabineneigene Gebläse einen Zuluftvolumenstrom von etwa $\dot{V}_{\text{zu}} = 180 \text{ m}^3/\text{h}$. Trotz des damit verbundenen fast 70fachen Luftwechsels und einer teilweise starken Zuluftabkühlung bleibt nach dem PMV-Index der Klimazustand in der Kabine unbefriedigend. Wird der Zuluftvolumenstrom auf $\dot{V}_{\text{zu}} = 380 \text{ m}^3/\text{h}$ erhöht (dritte Einschaltstufe), ist ein mittlerer PMV-Index zwischen 0 und +1 erreichbar. Bei einer Außenlufttemperatur von ca. 25 °C muß der Zuluft dann

eine mindestens gleich große Wärmemenge entzogen werden, wie von außen in die Kabine gelangt. Der maßgebende Einfluß des Zuluftvolumenstroms läßt sich hier deutlich daran erkennen, daß verschiedene Volumenströme zu recht unterschiedlichen mittleren PMV-Indizes führen, obgleich das Verhältnis von Kühl- und Heizleistung $\dot{Q}_{\text{Kühlung}}/\dot{Q}_{\text{ein}}$ sich nur geringfügig unterscheidet. Für den Wert $\dot{Q}_{\text{Kühlung}}/\dot{Q}_{\text{ein}} \approx 0,9$ schwankt bei $\dot{V}_{\text{zu}} = 180 \text{ m}^3/\text{h}$ der PMV-Index zwischen 3,2 und 1,1, bei $\dot{V}_{\text{zu}} = 380 \text{ m}^3/\text{h}$ aber z.B. zwischen +1,3 und -0,9. Die betreffenden subjektiven Empfindungen lauten "heiß" bis "etwas warm" bzw. "warm" bis "etwas warm" bis hin zu "etwas kühl". Bei $\dot{V}_{\text{zu}} = 380 \text{ m}^3/\text{h}$ handelt es sich damit vermutlich um einen thermisch neutralen Klimazustand, der dennoch aufgrund der lokalen Unterschiede unbehaglich ist.

4.3 Vergleich der verschiedenen Arten der Zuluftzuführung

Der Einfluß der verschiedenen Zuluftzuführungen auf den Klimazustand im Aufenthaltsbereich des Fahrers geht aus Bild 8 hervor. In der linken oberen Bildhälfte sind nochmals die Ergebnisse aus Bild 7 angegeben. Die rechte obere Bildhälfte enthält die Ergebnisse für die Lochdecke und die untere Bildhälfte die für den Schlitzauslaß. Beim Schlitzauslaß werden die zwei Varianten: Zufuhr der Zuluft über vier oder über zwei Schlitze untersucht. Im ersten Fall bilden die vier Schlitze in der Decke, wie in Bild 4 dargestellt, gleichsam die vier Seiten eines Quadrates parallel zu den Kabinenwänden. Im zweiten Fall wird die Zuluft nur über die beiden Schlitze oberhalb der Vorder- und Rückwand der Kabine zugeführt. Der Zuluftvolumenstrom für die Lochdecke bzw. den Schlitzauslaß beträgt je 200, 400 und 600 m³/h und die Zulufttemperatur 15, 10 und 5 °C.

Bei der Lochdecke stellt sich mit dem kleinen Zuluftvolumenstrom $\dot{V}_{\text{zu}} = 200 \text{ m}^3/\text{h}$ kein befriedigender Klimazustand ein. Der mittlere PMV-Index nimmt bestenfalls Werte um +2 an, entsprechend "warm". Eine Verdoppelung des Volumenstroms auf $\dot{V}_{\text{zu}} = 400 \text{ m}^3/\text{h}$ ist erst wirkungsvoll, wenn gleichzeitig die Zuluft erheblich abgekühlt wird. Der Einfluß des Zuluftvolumenstroms ist gegenüber der serienmäßigen Art der Zuluftzuführung zurückgegangen. Mit gleicher Kühlleistung stellen sich hier bei unterschiedlicher Größe des Volumenstromes nur wenig unterschiedliche Klimazustände im Aufenthaltsbereich des Fahrers ein. Bei der vorgegebenen Außenlufttemperatur von etwa 25 °C muß aber die Kühlleistung anderthalb- bis zweimal so groß wie die Heizleistung sein, um nach dem PMV-Index einen angenehmen Klimazustand zu erhalten. Die Schwankungsbreite des PMV-Index ist zwar kleiner als bei der serienmäßigen Zuluftzuführung, aber immer noch beträchtlich.

Beim Schlitzauslaß wird bereits bei dem kleinen Zuluftvolumenstrom $\dot{V}_{\text{zu}} = 200 \text{ m}^3/\text{h}$ und einer Zulufttemperatur von 5 °C ein mittlerer PMV-Index von +1, also "etwas warm", erreicht. Der Klimazustand ist kaum mehr von der Größe des Zuluftvolumenstroms, sondern ganz überwiegend von der Kühlleistung abhängig, denn ein nahezu gleicher Zustand stellt sich ein bei 15 °C und $\dot{V}_{\text{zu}} = 400 \text{ m}^3/\text{h}$. Bei der Außenlufttemperatur von 25 °C genügt ein Wert $\dot{Q}_{\text{Kühlung}}/\dot{Q}_{\text{ein}} = 1$, um einen angenehmen Klimazustand zu erzielen. Die örtlichen Unterschiede des PMV-Index sind kleiner als bei den vorhergehend beschriebenen Zuluftzuführungen, so daß offenbar ein recht gleichförmiger Klimazustand vorliegt. Nur geringfügige Unterschiede ergeben sich im Hinblick auf die Zuluftzufuhr über vier oder zwei Schlitze.

Behagliche Klimazustände lassen sich somit in Fahrerkabine wohl am ehesten erreichen, wenn die Zuluft wie beim Schlitzauslaß zunächst parallel zu den Kabinenwänden geführt wird. Damit stellt sich jedoch die Frage, ob noch eine Verbesserung der Klimazustände möglich ist, wenn der Zuluftstrahl direkt auf die Kabinenwänden kurz unterhalb der Decke gerichtet wird und dann als Wandstrahl seinen Weg fortsetzt.

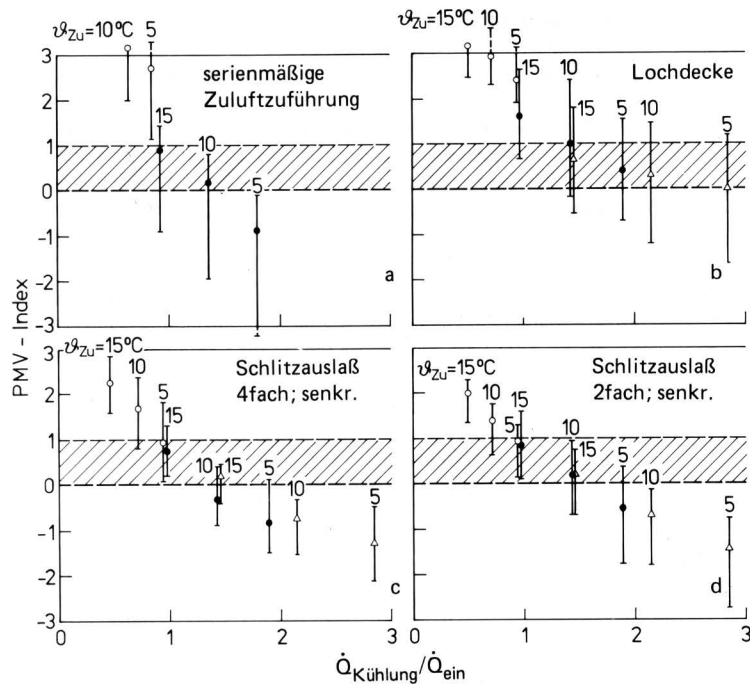


Bild 8. PMV-Index im Aufenthaltsbereich des Fahrers in Abhängigkeit vom Wärmestromverhältnis $\dot{Q}_{\text{Kühlung}}/\dot{Q}_{\text{ein}}$ bei verschiedenen Arten der Zuluftzuführung und Zuluftbedingungen.

für a: $\circ \dot{V}_{\text{zu}} = 180 \text{ m}^3/\text{h}$ $\bullet \dot{V}_{\text{zu}} = 380 \text{ m}^3/\text{h}$
für b bis d: $\circ \dot{V}_{\text{zu}} = 200 \text{ m}^3/\text{h}$ $\bullet \dot{V}_{\text{zu}} = 400 \text{ m}^3/\text{h}$ $\triangle \dot{V}_{\text{zu}} = 600 \text{ m}^3/\text{h}$

Für einen solchen Versuch unter ausgewählten Versuchsbedingungen zeigt Bild 9 die Klimazustände im Aufenthaltsbereich des Fahrers. Dabei wurden die Einlaßschlitze so eingerichtet, daß die Strahlrichtung um etwa 20° aus der Senkrechten in Richtung auf die Kabinenwänden abgelenkt ist.

Abgesehen von der Variante $\dot{V}_{\text{zu}} = 200 \text{ m}^3/\text{h}$ und 10 °C beim vierfachen Schlitzauslaß, stellt sich allgemein ein höherer mittlerer PMV-Index als bei den in Bild 8 dargestellten Versuchen ein. Gegenüber der senkrechten Ausblasrichtung muß demnach die Kühlleistung gesteigert werden, um vergleichbare mittlere Klimazustände zu erhalten. Verkleinert ist andererseits der Schwankungsbereich des PMV-Index, was auf einen relativ gleichförmigen Klimazustand schließen läßt.

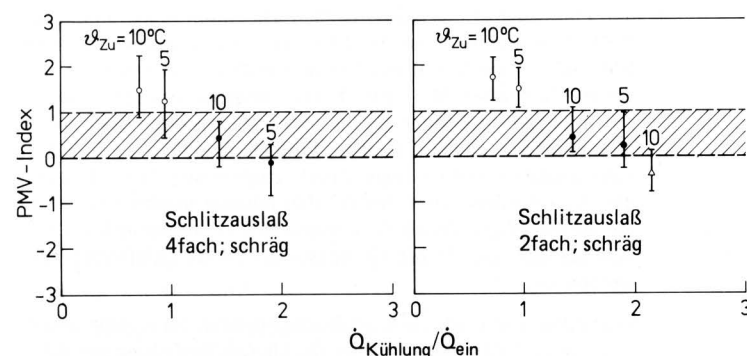


Bild 9. PMV-Index im Aufenthaltsbereich des Fahrers in Abhängigkeit vom Wärmestromverhältnis $\dot{Q}_{\text{Kühlung}}/\dot{Q}_{\text{ein}}$ bei schräger Ausströmung aus Schlitzauslaß.

$\circ \dot{V}_{\text{zu}} = 200 \text{ m}^3/\text{h}$; $\bullet \dot{V}_{\text{zu}} = 400 \text{ m}^3/\text{h}$; $\triangle \dot{V}_{\text{zu}} = 600 \text{ m}^3/\text{h}$

5. Individuelle Einflüsse

Die Behaglichkeitsgleichung gibt jene Kombinationen von Kleidung, Tätigkeit und den vier Klimagrößen an, bei denen der größte Teil der Menschen thermische Behaglichkeit empfindet. Aber sogar bei einem PMV-Index von "0" und gleichförmiger Verteilung der Klimazustände werden sich noch mindestens 5 % einer Gruppe gleich bekleideter Menschen mit gleicher Tätigkeit unbehaglich kühl oder warm fühlen [10]. Somit wird immer ein gewisser Prozentsatz mit dem Klimazustand unzufrieden sein.

Zwischen dem PMV-Index und diesem Anteil der mit dem Klima unzufriedenen Personen besteht eine feste Beziehung. *Fanger* hat für diesen Anteil die Abkürzung PPD ("Predicted Percentage of Dissatisfied" = voraussichtlicher Prozentsatz der Unzufriedenen) eingeführt [10]. Dieser PPD-Index kann aber auch hilfreich sein, um zumindest näherungsweise den voraussichtlichen Prozentsatz an Personen zu bestimmen, der sich aufgrund von nicht einheitlichen Klimabedingungen in der Kabine unbehaglich fühlt, selbst wenn der mittlere PMV-Index neutrale Bedingungen angibt.

In **Tafel 2** sind für Zuluftbedingungen, die im Aufenthaltsbereich des Fahrers einen mittleren PMV-Index zwischen 0 und 1 ergeben, Angaben über den Anteil der mit dem Klimazustand Unzufriedenen zusammengestellt. Die betreffenden Zuluftbedingungen sind in der zweiten Spalte der Tafel aufgeführt, der Klimazustand gekennzeichnet durch den mittleren PMV-Index in der dritten Spalte. Der Vollständigkeit halber enthält die vierte Spalte die Differenz zwischen dem maximalen und minimalen PMV-Index im Aufenthaltsbereich des Fahrers. Der Prozentsatz an voraussichtlich unzufriedenen Personen läßt sich dann ungefähr bestimmen, wenn für die maximale Abweichung vom neutralen Zustand der PPD-Index errechnet wird. Der auf diese Weise gefundene Prozentsatz an voraussichtlich unzufriedenen Personen ist in Spalte fünf angegeben. Danach kann z.B. für die serienmäßigen Zuluftöffnungen davon ausgegangen werden, daß sich 60–80 % einer großen Personengruppe unbehaglich fühlen werden, obwohl der mittlere PMV-Index einen neutralen Zustand anzeigt. Bei der Lochdecke beträgt diese Unzufriedenheitsquote noch 30–50 %. Lediglich beim Schlitzauslaß kann sie unter 20 % liegen, wobei die Zuluftzufuhr mit vier Schlitzen geringfügig besser abschneidet als die mit zwei. In manchen Fällen besteht somit für Personen, die sich unbehaglich fühlen, nur noch die Möglichkeit, durch Anpassung ihrer Bekleidung entsprechend ihrem persönlichen Klimaempfinden eine Verbesserung herbeizuführen.

6. Zusammenfassung

Systematische Untersuchungen an Fahrerkabinen im Simulationsraum des Arbeitsplatzbelastungssimulators der FAL haben das Ziel, den Klimazustand in der Kabine in Abhängigkeit von verschiedenen Zuluftbedingungen festzustellen. Die Sonneneinstrahlung in die Kabine wird mit einer Strahlungseinrichtung nachgebildet. Den Wärmestrom von Motor und Getriebe ersetzen in der Kabine angebrachte Heizfolien. Mit diesen Einrichtungen können im praktischen Betrieb vorkommende thermische Belastungen des Kabinenraumes erzeugt werden, zu deren Reduzierung meist große Zuluftvolumenströme mit niedrigen Zulufttemperaturen benötigt werden. Verschiedene Arten der Zuluftzuführung werden eingesetzt: die serienmäßigen Zuluftöffnungen, eine Lochdecke und der Schlitzauslaß. Der Zuluftvolumenstrom und die Zulufttemperatur werden variiert.

Beurteilen lassen sich die Klimabedingungen in der Kabine unter besonderer Berücksichtigung der räumlichen Verteilung mit der "allgemeinen Behaglichkeitsgleichung" von *Fanger* und dem daraus abgeleiteten PMV-Index ("Predicted Mean Vote") [10].

Der PMV-Index erlaubt innerhalb bestimmter Grenzen eine Abschätzung der thermischen Behaglichkeit für beliebige Kombinationen der Größen, die das thermische Empfinden des Menschen beeinflussen. Um die Ungleichförmigkeit des Klimazustandes in Kabinen zu erfassen, wird neben dem aus örtlich unterschiedlichen

Zuluftzuführung	Zuluftbedingungen		Klimabewertung		
	ϑ_{zu} °C	\dot{V}_{zu} m ³ /h	PMV _{mittel}	Δ PMV	Anteil Unzufr. %
serienmäßige Zuführung	15	380	0,90	2,33	66
	10	380	0,15	2,76	82
Lochdecke	10	400	0,99	2,22	32
	5	400	0,39	2,28	33
	15	600	0,71	2,34	39
	10	600	0,32	2,68	52
Schlitzauslaß 4fach; senkrecht	5	200	0,95	2,11	38
	15	400	0,79	1,09	12
	15	600	0,15	1,01	13
schräg	10	400	0,44	0,94	13
Schlitzauslaß 2fach; senkrecht	5	200	0,95	1,19	20
	15	400	0,89	1,45	18
	10	400	0,17	1,56	22
	15	600	0,17	1,42	21
schräg	10	400	0,43	1,14	14
	5	400	0,24	1,25	17

Tafel 2. Anteil der voraussichtlich mit dem Klimazustand Unzufriedenen bei verschiedenen Zuluftbedingungen und Arten der Zuluftzuführung.

Einzelwerten berechneten Mittelwert des PMV-Index auch die zahlenmäßige Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert herangezogen. Beide Größen zusammen beschreiben die wirkliche Qualität des ungleichförmigen Raumklimas.

Die Bewertung der Klimabedingungen mit diesem Klimasummemaß führt zu folgenden Schlußfolgerungen:

- Intensive Belüftung mit ungekühlter Außenluft gestattet bei hohen Außenlufttemperaturen ($\vartheta_a > 25$ °C) oftmals keinen längeren Aufenthalt in der Kabine, da die Klimabedingungen schon außerhalb des Erträglichkeitsbereiches liegen.
- Die konstruktive Gestaltung der Zuluftzuführung hat einen wesentlichen Einfluß auf die thermische Behaglichkeit in Kabinen.
- Durch die Zufuhr der Zuluft wie beim Schlitzauslaß, nämlich entlang den Kabinenwandungen, stellen sich annehmbare Klimabedingungen ein. Sie sind durchaus mit denen in normalen Arbeits- und Büroräumen vergleichbar.
- Die Schwankungsbreite des PMV-Index im Aufenthaltsbereich des Fahrers als Beurteilungsmaßstab des Behaglichkeitsempfindens bei ungleichförmigem Klimazustand ist beim Schlitzauslaß am geringsten. Dementsprechend fällt auch die Quote der voraussichtlich unzufriedenen Personen relativ klein aus.
- Bei einer Außenlufttemperatur von ca. 25 °C sind zufriedenstellende Klimabedingungen aber nur möglich, wenn der Zuluft eine mindestens ebenso große Wärmemenge entzogen wird, wie über die Kabinenwandungen von außen in die Kabine gelangt.

Die in diesem Bericht getroffenen Annahmen und Ergebnisse werden gegenwärtig u.a. in einer langwierigen Versuchsreihe nachgeprüft, in der bei gleichen Klimabedingungen, wie vorgenannt, das subjektive Empfinden von Personen ermittelt wird.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] *Norén, O. u. Th. Lindvall*: Heat relief in tractor cabs. ASAE Paper No. 81-1539; St. Joseph 1981.
- [2] *O'Neill, D.H.*: The effects of solar energy on the thermal environment in an enclosed tractor cab. National Institute of Agricultural Engineering. Departm. Note No. DN/E/867/02001 Silsoe, Bedford, 1979.
- [3] *Batel, W., J. Janssen u. R. Möller*: Klimabelastung auf Schleppern und Mähreschern und Maßnahmen zur Klimagestaltung. Landbauf. Völkenrode, Sonderheft 52 (1980) S. 157/70.
- [4] *Wenzel, H.G. u. D. Piekarski*: Klima und Arbeit. Herausgegeben vom Bayerischen Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, München, 1980.
- [5] *Madsen, T.L.*: Messen des Raumklimas. In: *Krause, Pillat, Zander (Hrsg.): Arbeitssicherheit*. Freiburg: R. Haufe Verlag 1976, S. 9/149–9/198.
- [6] *Browén, A.*: Värmeavlastning i förarhytter – Studier av avvikelser från optimal klimatkomfort. JTI-rapport Nr. 25; Ultuna/Uppsala: Jordbrukstekniska institut, 1978.
- [7] *Eissing, G.*: Verfahren zur Bewertung des Klimas am Arbeitsplatz. Klima–Kälte–Heizung (Ki) Bd. 8 (1980) Nr. 3, S. 113/17.
- [8] *Yaglou, C.P.*: Temperature, humidity and air movement in industries. The effective temperature index. J. industr. Hyg. Bd. 9 (1927) S. 297/309.
- [9] *Vogt, J.J., V. Candas, J.P. Libert u. A. Hoeft*: Die erforderliche Schweißabgabe als Index der Wärmebelastung. Zeitschr. für Arbeitswissenschaft Bd. 32 (1978) Nr. 4, S. 241/44.
- [10] • *Fanger, P.O.*: Thermal comfort. New York: McGraw-Hill Book Co., 1973.
- [11] *Fanger, P.O.*: Thermische Behaglichkeit am Arbeitsplatz. In: *Hettinger, T., B. Müller u. G. Eissing (Hrsg.): Symposium Klima, Behaglichkeit–Erträglichkeit–Zumutbarkeit*. Dokumentation Arbeitswissenschaft Bd. 3 (1980) S. 3/26.
- [12] *Jahns, G. u. F.J. Thomé*: Beanspruchung des Menschen durch verschiedene Klimafaktoren – Versuche im Arbeitsplatzsimulator. Bericht aus den Instituten für Betriebstechnik und landtechnische Grundlagenforschung der FAL, Nr. 50/1979.
- [13] *Graef, M., G. Jahns, J. Janssen, G.-J. Mejer, R. Möller, H. Speckmann u. E. Witte*: Arbeitsplatzbelastungssimulator. Bericht aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der FAL, Nr. HdA 78/1 (1978).
- [14] *Janssen, J. u. R. Möller*: Versuchseinrichtung zum Messen des Temperaturfeldes und der Luftgeschwindigkeit in Fahrerkabine. Bericht aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der FAL, Nr. Jn 03 (1982).

Gasförmige Brenn- und Kraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen – Herstellung und Verwendung

Von Wilhelm Batel, Michael Graef, Gerd-Jürgen Mejer,
Frithjof Schoedder und Gerhard Vellguth,
Braunschweig-Völkenrode*)

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

DK 662.6:662.76

Für die Herstellung gasförmiger Brenn- und Kraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen stehen thermochemische und biochemische Verfahren zur Verfügung, mit denen ein breites Spektrum von Rohstoffen umgewandelt werden kann.

Dieser Beitrag gibt zunächst einen Überblick über die wesentlichen Eigenschaften der Gase sowie die vorgeschlagenen und verfügbaren nachwachsenden Rohstoffe und stellt dann die Grundvorgänge der Gaserzeugung, die apparative Gestaltung der Verfahren, die Verwendungsmöglichkeiten der Gase und Stoff- und Energiebilanzen für die Gaserzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen dar.

*) Prof. Dr.-Ing. W. Batel ist Leiter des Instituts für landtechnische Grundlagenforschung, Dipl.-Ing. M. Graef, Dipl.-Ing. G.-J. Mejer, Dr. F. Schoedder und Dipl.-Ing. G. Vellguth sind wissenschaftliche Mitarbeiter in diesem Institut der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

Inhalt

1. Nutzung nachwachsender Rohstoffe für Brenn- und Kraftstoffe
 - 1.1 Übersicht
 - 1.2 Wertigkeit von Energie
2. Eigenschaften der Gase im Hinblick auf ihre Nutzung als Brenn- und Kraftstoff
3. Erzeugung der nachwachsenden Rohstoffe, Gasausbeute und Herstellung der Gase
 - 3.1 Erzeugung der nachwachsenden Rohstoffe
 - 3.2 Herstellung der Gase durch thermochemische Prozesse
 - 3.2.1 Physikalisch-chemische Grundvorgänge
 - 3.2.2 Apparative Ausführungsbeispiele
 - 3.3 Gasherstellung durch biochemische Prozesse
 - 3.3.1 Biochemische Grundvorgänge
 - 3.3.2 Apparative Ausführungsbeispiele