



**FORSCHUNGSINSTITUT
HOHENSTEIN**

PROF. DR. JÜRGEN MECHEELS

SCHLOSS HOHENSTEIN · D-74357 BÖNNIGHEIM

ABTEILUNG BEKLEIDUNGSPHYSIOLOGIE

23.3.2004

pr.um/so

Untersuchung Nr. 04.4.4963/1

**BEKLEIDUNGSPHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN
AN EINEM LUFTGEKÜHLTEN CHEMIKALIEN-
SCHUTZANZUG**

Auftraggeber: **ENTRAK GmbH & Co.KG**
 Richtweg 33
 90530 Wendelstein

Auftrag: Bestellung Nr. 906887 vom 20.11.2003

Das Untersuchungsergebnis bezieht sich nur auf die eingereichte Probe. Es darf nicht auszugsweise, sondern nur in seinem vollen Umfang weitergegeben werden. Eine Benutzung des Untersuchungsberichts zu Werbezwecken oder die Veröffentlichung freier Interpretationen der Ergebnisse ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung der Prüfstelle zulässig. Restliches Untersuchungsmaterial wird nach 3 Monaten vernichtet. Die in Normen angegebenen Meßunsicherheiten werden eingehalten.

Auftragsforschung · Entwicklungen · Warentests · Materialprüfung und Beratung auf den Gebieten Textilchemie · Bekleidungs- und Fertigungstechnik · Textilhygiene · Textilreinigung · Bekleidungsphysiologie · Farb- und Weißmetrik · Textilveredlung · Gütesicherung für textile Produkte · Prüfung von Bettfedern

Telefon
(07143)271-66

Telefax
(07143)271-75

USt-IdNr.
DE 145002398

Forschungsinstitut Hohenstein Prof. Dr. Jürgen Mecheels GmbH & Co. KG.,
Registergericht Vaihingen/Enz HRA 392-Bes., persönlich haftender Gesellschafter:
Beteiligungsgesellschaft Hohenstein GmbH, HRB 155-Bes.,
Geschäftsführer Prof. Dr. Jürgen Mecheels, Dr. Stefan Mecheels

BEKLEIDUNGSPHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AN EINEM LUFTGEKÜHLTEN CHEMIKALIEN-SCHUTZANZUG

Inhaltsverzeichnis

| | <u>Seite</u> |
|--|--------------|
| 1. Aufgabenstellung | 1 |
| 2. Untersuchungsmuster | 1 |
| 3. Untersuchungen an dem kompletten Kleidungssystem | 10 |
| 3.1. Versuchsbeschreibung | 10 |
| 3.2. Meßergebnisse | 12 |
| 3.2.1. Interpretation der Meßergebnisse | 37 |
| 3.2.1.1. Kühlluft-Temperatur und Ventilation | 37 |
| 3.2.1.2. Effektive Wärmeisolation | 38 |
| 3.2.1.3. Effektiver Wasserdampfdurchgangswiderstand | 39 |
| 4. Bekleidungsphysiologische Vorhersagerechnungen | 40 |
| 4.1. Thermische Verwendungsbereiche des Kleidungssystems | 52 |
| 4.2. Maximale Tragedauer des Kleidungssystems | 52 |
| 5. Zusammenfassung | 66 |



1. Aufgabenstellung:

Die vorliegende Untersuchung wurde zur Ermittlung der Erweiterung des thermischen Verwendungsbereiches sowie der bei unterschiedlichen Klima- und Tätigkeitsbedingungen möglichen Verlängerung der maximalen Einsatzzeiten eines wasserdampfundurchlässigen Chemikalienschutzanzuges mittels einer Luftkühlung durchgeführt. Die Kühlung wurde durch ein unter dem Schutzanzug getragenes Kühlgerät realisiert. Das Kriterium für die maximalen Einsatzzeiten der Schutzkleidung war, daß der Träger keine gesundheitsschädigende Hyperthermie erleidet.

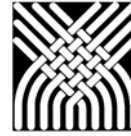
In der Untersuchung wurde das komplette Kleidungssystem mit allen zu der Unterwäsche und dem Chemikalien-Schutzanzug zusätzlichen Komponenten mit dem Thermoregulationsmodell des Menschen, der lebensgroßen thermischen Gliederpuppe "Charlie", geprüft. Die dabei ermittelten, für den Träger effektiven thermophysiologicalen Kenngrößen des Kleidungssystems wurden als Eingabeparameter in bekleidungsphysiologische Vorhersagerechnungen zur Ermittlung des thermischen "Verwendungsbereichs" sowie der in verschiedenen Klima- und Tätigkeitssituationen maximal möglichen Tragedauer verwendet.

2. Untersuchungsmuster:

Es wurde das in den Abbildungen A - G dargestellte Kleidungssystem untersucht. In ihm wurde der völlig wasserdampfundurchlässige Chemikalien-Vollschutzanzug über einer Funktionsunterwäsche getragen. Unter dem Anzug befand sich eine Preßluftflasche, mit welcher der Träger über eine Gesichtsmaske mit Atemluft versehen wird. Ebenfalls unter dem äußeren Schutzanzug wurde an der Brust das in den Abbildungen B und C im Detail gezeigte Kühlgerät getragen. Es bestand aus einem Akku-betriebenen Ventilator, der Luft aus dem "Mikroklima" unter dem Schutzanzug ansaugt, über Eisbehälter leitet und die damit gekühlte Luft mittels eines Schlauches unterhalb des Anzuges verteilt. Mit einer manuell betätigten Klappe am Kühlgerät läßt sich die im Anzug freigesetzte Kühlleistung regulieren.

Das Kühlgerät wurde in zwei Ausführungen geprüft. Bei Baugruppe 1 (BG1) bestand es aus einem Eisbehälter mit aufgesetztem Ventilator. Bei Baugruppe 2 (BG2) wurde ein weiterer, identischer Eisbehälter mit Ventilator hinzugefügt (s. Abbildung F).

In den Untersuchungen wurden die Kühlluft-Gebläse über ein Netzgerät mit 3.5 V betrieben. Die Regulierungsklappe der Kühlgeräte war auf maximale Kühlleistung eingestellt.



Im einzelnen bestand das geprüfte Kleidungssystem aus den folgenden Komponenten:

Kleidungssystem: **Chemikalien-Schutzanzug** mit Kopfhaube
aus luft- und wasserdampfdichtem, beschichtetem Gewebe

Funktionsunterwäsche - Hemd mit langen Ärmeln
- Hose mit langen Beinen

Kniestrümpfe

Gesichtsmaske mit Atemluft-Einlaß und -Auslaßventil

Atemluftflasche mit Tragegestell und -gurten

Schutzhelm

Kühlgerät einfach (BG1) bzw. zweifach (BG2)

Gummihandschuhe

Gummistiefel



3. Untersuchungen an dem kompletten Kleidungssystem:

Die Untersuchungsziele an den kompletten Kleidungssystemen waren:

1. Messung der effektiven Wärmeisolation und Bestimmung des effektiven Wasserdampfdurchgangswiderstandes mit dem Thermoregulationsmodell des Menschen (thermische Gliederpuppe "Charlie") ohne Kühlgerät sowie mit den Kühlgeräten BG1 und BG2.
2. Ermittlung des thermischen Verwendungsbereiches sowie der maximalen Tragedauer in spezifischen Klima- und Tätigkeitssituationen mit Hilfe bekleidungsphysiologischer Vorhersage-rechnungen.

3.1. Versuchsbeschreibung:

Messungen mit dem Thermoregulationsmodell des Menschen (thermische Gliederpuppe "Charlie"):

Bei der physiologischen Beurteilung eines Kleidungssystems muß berücksichtigt werden, daß es sich aus mehreren Textilschichten zusammensetzt und die im "Mikroklima" enthaltenen Luftvolumina zwischen Körper und Kleidung den für den Träger effektiven Wärme- und Wasserdampfdurchgangswiderstand wesentlich mitbestimmen. Bei einem luftgekühlten System der Art des geprüften Schutzanzuges beeinflußt außerdem die unter dem Anzug zirkulierende Luftströmung dessen Wirkung auf die Thermoregulation und damit auf das Wohlbefinden des Träger in entscheidendem Maße.

Diese Einflußgrößen können mit Messungen mit der Gliederpuppe "Charlie" erfaßt werden. Charlie ist - wie aus den Abbildungen A - G ersichtlich - eine lebensgroße Puppe aus Kupfer, die ein Thermoregulationsmodell des Menschen darstellt. Mittels in ihrem Körperinneren verlegter, elektrisch beheizter Heizdrähte werden der Puppe über 16 separat gesteuerte Regelkreise die Körper- und Hauttemperaturen eines Menschen vermittelt. Die Messungen werden in einer Klimakammer durchgeführt, in der bei der vorliegenden Untersuchung eine Temperatur von + 20 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 % r.F. und einer Luftbewegung von 0.3 m/s eingestellt wurde. Als Meßgröße wird die elektrische Leistung erfaßt, die man den Heizdrähten in Charlies Körper zuführen muß, um seine Körper- und Hauttemperaturen in dem jeweiligen Kleidungssystem konstant zu halten. Umrechnungen liefern unter Berücksichtigung der materialspezifischen Wärme- und Wasserdampfdurchgangswiderstände der in dem Kleidungssystem enthaltenen Textilschichten neben dessen für den Träger effektiven Wärmeisolation auch den Wasserdampfdurchgangswiderstand. Diese materialspezifischen physiologischen Kenndaten von Textilien werden mit einem Thermoregulationsmodell der menschlichen Haut (Hautmodell) ermittelt. Sie waren für die in dem geprüften Kleidungssystem eingesetzten Textilkomponenten aus früheren Untersuchungen bekannt.

Aufgrund der Einflüsse von Konvektion und Ventilation bzw. Zwangsbelüftung sind Wärme- wie auch Wasserdampfdurchgangswiderstand keine unter allen Bedingungen konstanten Größen. Sie hängen insbesondere von Körperbewegungen ab. Auch diese Einflüsse lassen sich mit der Gliederpuppe erfassen. Diese befand sich in der vorliegenden Untersuchungsreihe zum einen in stehender Position. Zum anderen führte sie mit den Beinen Gehbewegungen aus (s. Abbildung E).



Die in dem Schutzanzug zirkulierende Luftmenge wurde in der Untersuchungsreihe variiert, indem das Kühlgerät zum einen als Baugruppe 1 (BG1) und zum anderen als Baugruppe 2 (BG2) mit doppelter Kühlleistung betrieben wurde. Um dabei die in dem Kleidungssystem resultierende Luftzirkulation bzw. Ventilationsrate in m³ Luft pro Stunde ermitteln zu können, mußte die Temperatur im Mikroklima zwischen Unterwäsche und Schutzanzug bekannt sein. Dazu wurden an der Unterwäsche im Brust-, Rücken-, Oberarm- und Hüft-Bereich der Gliederpuppe die in Abbildung G gezeigten Temperatursensoren angebracht.

Die Luft wurde von den Kühlgeräten BG1 und BG2 mit der im Mikroklima über dem Körper herrschenden Temperatur angesaugt. Diese Temperatur der angesaugten Luft zusammen mit deren Feuchte wurde an den Kühlgeräten mit kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren (s. Abbildung C) gemessen. Ebenfalls gemessen wurde die Temperatur der durch den Eisbehälter abgekühlten Luft am Übergang in den flexiblen Gummischlauch, mit dem sie bei dem Kühlgerät BG1 zu dem rechten Oberschenkel-Bereich des Trägers geleitet wurde (s. Abbildung D). Bei Baugruppe 2 war ein zweiter Gummischlauch zum linken Oberschenkel-Bereich des Trägers vorhanden (s. Abbildung F).

Um an der Gliederpuppe die Ausatemluft des Menschen zu simulieren, wurde mittels eines Schlauches Preßluft in den Anzug in den Bereich des Atemventils der Gesichtsmaske geleitet (s. Abbildung D). Diese Preßluft-Zuführung beträgt 23 l/min, was dem Atemluftvolumen eines körperlich aktiven Menschen entspricht. Mit dieser Preßluft-Zuführung wurde der sich in der Praxis einstellende Überdruck in dem Schutzanzug realisiert.

Die Wärmeisolation und auch der Wasserdampfdurchgangswiderstand einer Kleidung nehmen mit zunehmender äußerer Luftbewegung ab. Die Ursache dafür ist die teilweise bzw. vollständige Entfernung der "Haftluftschicht" an der äußeren Kleidungsoberfläche. Deshalb wurden in der vorliegenden Untersuchung die Messungen mit der Gliederpuppe bei einer einheitlichen äußeren Luftgeschwindigkeit von 0.3 m/s durchgeführt.

3.1.1. Lokale Wärmedurchgangswiderstände und Gesamtwärmedurchgangswiderstand (Wärmeisolation) R_{ci} bzw. R_c (m²K/W) des Kleidungssystems:

Prüfgerät: Hohensteiner Thermoregulationsmodell des Menschen
(Gliederpuppe "Charlie 4")

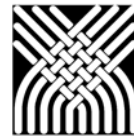
Prüfbedingungen: s. Abschnitt 3.1.

Prüfklima: $T_a = +20\text{ °C}$; $\phi_a = 50\% \text{ r.F.}$; $v_a = 0.3\text{ m/s}$

Kühlgerät: ohne, BG1 (Nennleistung ca. 120 W) und BG2 (Nennleistung ca. 240 W)

Mittel aus 3 Einzelmessungen pro Kühlgerät und Körperposition (Stehen und Gehen).

Die Meßgenauigkeit bei 3 unabhängigen Einzelmessungen beträgt 0.010 m²K/W (Standard-Abweichung).



3.1.2. Gesamtwasserdampfdurchgangswiderstand R_e (m^2Pa/W) des Kleidungssystems:

Berechnung: s. Mecheels, J.; Umbach, K.H.:
Thermophysiological Eigenschaften von Kleidungssystemen
(Melliand Textilber. 57 (1976), 1029-1032 und 58 (1977), 73-81).

3.2. Meßergebnisse:

Die mit der Gliederpuppe gewonnenen Meßergebnisse sind in den folgenden Tabellen 1 - 6 sowie den Abbildungen 1 - 17 dargestellt.

| $T_a = +20\text{ °C}; v_a = 0.3\text{ m/s}$ | | Träger stehend | |
|---|---|----------------|---------------|
| Körpersektionen | $R_{ci} \cdot 10^3 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ | | |
| | ohne Kühlgerät | Kühlgerät BG1 | Kühlgerät BG2 |
| Kopf | 273 | 271 | 269 |
| Fuß links | 186 | 188 | 184 |
| Fuß rechts | 180 | 181 | 182 |
| Unterschenkel links | 236 | 186 | 133 |
| Unterschenkel rechts | 261 | 218 | 181 |
| Oberschenkel links | 223 | 150 | 80 |
| Oberschenkel rechts | 335 | 143 | 115 |
| Hüfte | 332 | 185 | 175 |
| Rücken | 445 | 332 | 234 |
| Brust | 139 | 103 | 85 |
| Oberarm links | 311 | 268 | 227 |
| Oberarm rechts | 267 | 224 | 210 |
| Unterarm links | 222 | 215 | 212 |
| Unterarm rechts | 214 | 206 | 207 |
| Hand links | 168 | 158 | 151 |
| Hand rechts | 197 | 187 | 169 |
| Gesamtkörper | 257 | 199 | 167 |

Tabelle 1: Lokale und effektive Gesamt-Wärmeisolation R_{ci} bzw. R_c des Kleidungssystems

| $T_a = +20\text{ °C}; v_a = 0.3\text{ m/s}$ | | Träger gehend | |
|---|--|--------------------------|--------------------------|
| Körpersektionen | R_{ci} · $10^3\text{m}^2\text{K/W}$ | | |
| | ohne Kühlgerät | Kühlgerät BG1 | Kühlgerät BG2 |
| Kopf | 264 | 255 | 255 |
| Fuß links | 161 | 159 | 159 |
| Fuß rechts | 157 | 157 | 156 |
| Unterschenkel links | 203 | 171 | 128 |
| Unterschenkel rechts | 203 | 171 | 158 |
| Oberschenkel links | 158 | 102 | 63 |
| Oberschenkel rechts | 163 | 104 | 88 |
| Hüfte | 280 | 197 | 168 |
| Rücken | 344 | 283 | 278 |
| Brust | 132 | 117 | 91 |
| Oberarm links | 282 | 272 | 230 |
| Oberarm rechts | 253 | 233 | 230 |
| Unterarm links | 212 | 213 | 200 |
| Unterarm rechts | 186 | 171 | 166 |
| Hand links | 142 | 140 | 135 |
| Hand rechts | 167 | 153 | 150 |
| Gesamtkörper | 213 | 178 | 160 |

Tabelle 2: Lokale und effektive Gesamt-Wärmeisolation R_{ci} bzw. R_c des Kleidungssystems

| $T_a = +20\text{ °C}; v_a = 0.3\text{ m/s}$ | | Träger stehend | | | |
|---|-------------|----------------|-------|---------|--|
| Kühlgerät | T_M °C | | | | |
| | Hüfte | Rücken | Brust | Oberarm | |
| ohne | 30.6 | 30.4 | 29.4 | 29.0 | |
| BG1 | 27.8 | 28.1 | 29.4 | 28.4 | |
| BG2 | 26.1 | 25.5 | 28.7 | 27.3 | |

Tabelle 3: Temperatur T_M im Mikroklima des Kleidungssystems

| $T_a = +20\text{ °C}; v_a = 0.3\text{ m/s}$ | | Träger gehend | | | |
|---|-------------|---------------|-------|---------|--|
| Kühlgerät | T_M °C | | | | |
| | Hüfte | Rücken | Brust | Oberarm | |
| ohne | 29.6 | 29.5 | 29.4 | 29.4 | |
| BG1 | 27.0 | 27.5 | 29.4 | 28.7 | |
| BG2 | 26.4 | 26.0 | 27.7 | 27.6 | |

Tabelle 4: Temperatur T_M im Mikroklima des Kleidungssystems

| $T_a = + 20 \text{ }^\circ\text{C}; \quad v_a = 0.3 \text{ m/s}$ | | |
|--|------------------------------------|--------------------------------|
| Körperposition | V m³/h | |
| | Kühlgerät BG1 | Kühlgerät BG2 |
| stehend | 11.5 | 24.4 |
| gehend | 11.7 | 24.4 |

Tabelle 5: Luftzirkulation bzw. Ventilationsrate V innerhalb des Kleidungssystems

| Kühlgerät | | R_c $\cdot 10^3$ m^2K/W | R_e m^2Pa/W | i_m |
|----------------|------|-----------------------------------|--------------------|-------|
| Träger stehend | ohne | 257 | ∞ | 0 |
| | BG1 | 199 | 46.7 | 0.26 |
| | BG2 | 167 | 26.8 | 0.37 |
| Träger gehend | ohne | 213 | ∞ | 0 |
| | BG1 | 178 | 46.7 | 0.23 |
| | BG2 | 160 | 26.8 | 0.36 |

Tabelle 6: Effektive thermophysiologische Kenndaten des Kleidungssystems
($v_a = 0.3 \text{ m/s}$)

Erläuterungen zu Tabelle 6:

v_a = äußere Luftgeschwindigkeit in m/s

R_c = effektiver Wärmedurchgangswiderstand (Wärmeisolation) des kompletten Kleidungs-
systems in m^2K/W

R_e = effektiver Wasserdampfdurchgangswiderstand ("Atmungsaktivität") des kompletten
Kleidungssystems in m^2Pa/W

i_m = effektiver Wasserdampfdurchgangsindex (relatives Wasserdampftransportvermögen) des
kompletten Kleidungssystems



3.2.1. Interpretation der Meßergebnisse:

3.2.1.1. Kühlluft-Temperatur und Ventilation:

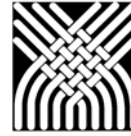
Nach Angabe des Auftraggebers entwickelt das vorliegende Kühlgerät eine Kühlleistung von ca. 120 W in Baugruppe BG1 bzw. von ca. 240 W in Baugruppe BG2, wenn die Lufteintrittstemperatur ca. 24 °C und die relative Luftfeuchtigkeit ca. 50% betragen.

Wie die Abbildungen 1 - 6 zeigen, lag in den Versuchen die Lufteintrittstemperatur an dem in den beiden Baugruppen BG1 und BG2 am Körper getragenen Kühlgerät bei ca. 24 °C. Lediglich bei dem in Baugruppe BG2 körperferner angeordneten Gerät 2 wurde die Luft mit nur ca. 20 °C bei stehendem Träger bzw. nur ca. 18 °C bei gehendem Träger angesaugt. Die Ursache für diese unter der Umgebungstemperatur in der Klimakammer liegende Lufteintrittstemperatur liegt darin, daß die in den Anzug zur Simulation der Ausatemluft des Träger eingeleitete Preßluft etwas kälter als 20 °C war.

Die Luftaustrittstemperatur am Ende der Kühlakkus lag bei den verschiedenen Kühlgeräten zwischen ca. 8 °C und 12 °C. Damit wurde in allen Fällen eine Differenz zwischen Lufteintritts- und -austrittstemperatur von mindestens ca. 10 °C erfüllt. Auch zeigte sich, daß diese Temperaturdifferenz während der mit der Gliederpuppe erforderlichen Meßdauer von 30 min in den meisten Fällen konstant war und lediglich bei dem Kühlgerät BG1 bei gehendem und bei dem körpernah getragenen Kühlgerät 1 bei BG2 bei stehendem Träger nach 30 min um ca. 1 - 2 °C gegenüber dem Beginn der Messung abgenommen hat. Es kann also davon ausgegangen werden, daß bei den durchgeführten Untersuchungen die Kühlgeräte während der Meßdauer praktisch mit konstanter Kühlleistung liefen.

Bei den Untersuchungen wurde in der Klimakammer bei 20 °C Lufttemperatur eine relative Luftfeuchtigkeit von 50 % eingestellt. Da die Gliederpuppe nicht schwitzt, ergibt sich damit in deren körpernahen Mikroklima mit einer Temperatur über 20 °C (s. Abbildungen 15 und 16) am Eingang der Kühlgeräte eine deutlich unter 50 % liegende relative Feuchte (s. Abbildungen 7 und 8). Da dies jedoch der Realität, in welcher der Träger größere Schweißmengen abgibt, widerspricht, wurde bei der Ermittlung der in Abschnitt 4.2. beschriebenen maximalen Tragedauern des Kleidungssystems von einer relativen Luftfeuchtigkeit im Mikroklima des Anzugs von 50 %, 80 % und 100 % ausgegangen.

Aus den sich im körpernahen Mikroklima unter dem Schutzanzug einstellenden Temperaturen, die in den Abbildungen 15 und 16 wiedergegeben sind, läßt sich die mit den Kühlgeräten bewirkte Luftzirkulation bzw. Ventilationsrate V und damit deren Effektivität ermitteln. Wie Abbildung 17 zeigt, schafft das Kühlgerät BG1 in dem Chemikalien-Schutzanzug bei stehendem und gehendem Träger in etwa gleichermaßen eine Ventilationsrate von ca. 11.5 m³/h. Bei dem Kühlgerät BG2 mit zwei Kühlelementen ist die Ventilationsrate bei stehendem und gehendem Träger mit 24.4 m³/h in etwa doppelt so hoch.



3.2.1.2. Effektive Wärmeisolation:

Einfluß der Körperposition:

Den Abbildungen 9 - 13 ist zu entnehmen, daß an den meisten Körpersektionen und damit auch über den gesamten Körper die effektiven Wärmeisolationswerte bei gehendem Träger niedriger ausfallen als beim Stehen. Dies ist zu erwarten, da die Körperbewegungen eine Konvektion im Mikroklima des Anzugs verursachen, wodurch die wärmeisolierende Wirkung des darin enthaltenen Luftvolumens reduziert wird.

Wirkung der Luftkühlung:

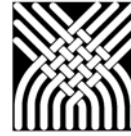
Die Abbildungen 9 - 12 zeigen, daß die Wirkung der Kühlgeräte in dem Chemikalien-Schutzanzug insbesondere im Bereich der Hüfte und der Oberschenkel groß ist. Dies ist ein erwartetes Ergebnis, denn die aus den Kühlakkus austretende Luft wird mit den eingesetzten flexiblen Gummischläuchen unmittelbar diesen Körperpartien zugeführt.

Auch in den Bereichen von Brust, Rücken, Unterschenkeln und Oberarmen ist eine signifikante Reduzierung der lokalen Wärmeisolation mit den Kühlgeräten festzustellen. Sie ist am Rücken bei stehendem Träger größer, als wenn dieser geht. Die Ursache dafür ist, daß die am Rücken getragene Preßluftflasche ein besonders großes Luftvolumen im Mikroklima erzeugt, dessen wärmeisolierende Wirkung ohne Luftkühlung besonders bei stehendem Träger groß ist. Daraus erklärt sich auch, daß am Rücken die lokale Wärmeisolation höher ausfällt als an allen anderen Körpersektionen. Bewegt sich der Träger, wird auch im Rückenbereich eine Konvektion im Mikroklima, verbunden mit einer sich verringernden Wärmeisolation des eingeschlossenen Luftvolumens, erzeugt.

Im Bereich der Unterarme, des Kopfes und der Hände ist eine nur vergleichsweise geringere Abnahme der lokalen Wärmeisolation mit den Kühlgeräten festzustellen. Daß an den Füßen keinerlei Effekt auftritt, liegt an den engen Gummistiefeln, in welche die von den Kühlgeräten erzeugte Luftströmung nicht eintreten kann.

Betrachtet man die über die gesamte Körperoberfläche einschließlich des Kopfes effektive Wärmeisolation des Kleidungssystems, so reduziert sich diese nach Abbildung 13 bei stehendem Träger mit dem Kühlgerät BG1 um ca. 23 % gegenüber der Trageweise ohne Kühlgerät. Mit der Baugruppe BG2 wird eine weitere Verringerung der Wärmeisolation um ca. 16 % bewirkt, die damit um 35 % niedriger als bei dem ungekühlten Schutzanzug ausfällt.

Bei gehendem Träger reduzieren die Kühlgeräte BG1 und BG2 die für den Träger effektive Wärmeisolation um ca. 15 % bzw. ca. 25 % gegenüber dem ungekühlten Anzug. Welche Wirkung diese signifikante Verringerung der effektiven Wärmeisolation auf die thermischen Verwendungsbereiche bzw. maximale Tragedauer des Kleidungssystems hat, ist in den Abschnitten 4.1. und 4.2. beschrieben.



3.2.1.3. Effektiver Wasserdampfdurchgangswiderstand:

Die bei warmem Umgebungsklima physiologisch vorteilhafte Wirkung der Luftkühlung des Chemikalien-Schutzanzuges zeigt sich auch bei dem in Abbildung 14 dargestellten, für den Träger effektiven Wasserdampfdurchgangswiderstand, der ein Maß für die "Atmungsaktivität" des Kleidungssystems darstellt. Ohne Kühlgerät ist der Wasserdampfdurchgangswiderstand unendlich hoch und zeigt, daß praktisch keine Schweißverdampfung vom Körper des Trägers möglich ist. Eine solche wird mit dem Kühlgerät BG1 bewirkt, mit dem sich der Wasserdampfdurchgangswiderstand des Kleidungssystems auf einen endlichen Wert reduziert. Mit dem Kühlgerät BG2 verringert er sich gegenüber dem Kühlgerät BG1 um ca. 43 %.

Anders als die Wärmeisolation fällt der effektive Wasserdampfdurchgangswiderstand des Kleidungssystems bei stehendem und gehendem Träger gleich aus. Dies liegt daran, daß das Material des Chemikalien-Schutzanzuges zwar wärmeleitend ist und damit eine Reduktion der Wärmeisolation des Luftvolumens im Mikroklima infolge von Bewegungen der Thermoregulation des Körpers zugute kommt. Da jedoch das Material des Schutzanzuges wasserdampfundurchlässig ist, bleibt die im Mikroklima infolge von Schweißverdampfung auftretende Feuchtigkeit dort eingeschlossen und läßt damit auch bei Körperbewegungen keine höhere Schweißabgabe und damit keine bessere Körperkühlung als bei stehendem Träger zu.



4. Bekleidungsphysiologische Vorhersagerechnungen:

Mit den in Abschnitt 3.2. angegebenen und mit der Gliederpuppe ermittelten thermophysiologischen Kenndaten des untersuchten Kleidungssystems läßt sich mit Hilfe bekleidungsphysiologischer Vorhersagerechnungen sein sog. Verwendungsbereich ermitteln. Darunter versteht man denjenigen Temperaturbereich, in dem das Kleidungssystem bei bestimmter körperlicher Tätigkeit und damit verbundenem definierten Leistungsumsatz des Trägers getragen werden kann, ohne daß er physiologisch überbelastet ist bzw. seine Leistungsfähigkeit eingeschränkt wird.

Begrenzt wird der Verwendungsbereich eines Kleidungssystems zum einen durch die sog. "Minimaltemperatur" T_{amin} , bei welcher der Träger bei der für längere Dauer in Betracht zu ziehenden Arbeitsschwere bzw. Leistungsumsatz gerade noch nicht friert.

Die obere Grenze des Verwendungsbereichs stellt die sog. "Maximaltemperatur" T_{amax} dar, bei welcher der Körper des Trägers noch nicht so stark überwärmt ist, daß er sich unerträglich unwohl fühlt (Diskomfort-Grenze) oder die Gefahr einer kritischen Einschränkung der physischen und mentalen Leistungsfähigkeit bzw. von Gesundheitsschäden infolge Hyperthermie (Toleranz-Grenze) gegeben ist.

Explizit lassen sich die Minimal- und Maximaltemperaturen durch bekleidungsphysiologische Vorhersageformeln ermitteln. In diesen Formeln sind außer den Wärme- und Wasserdampfdurchgangswiderständen der Kleidung einige Körperfunktionsdaten des Trägers wie Leistungsumsatz, Körpergewicht und Körperoberfläche enthalten. Diese Größen zeigen jedoch interindividuelle Unterschiede. Um eine Ausgangsbasis für Vergleiche zu haben, bezieht man sich daher auf den sog. "**Standard-Mann**", der eine Körpermasse von 70 kg, eine Körperhöhe von 1.73 m und damit eine Körperoberfläche von 1.83 m² besitzt.

Der Leistungsumsatz M (Grundumsatz + Arbeitsumsatz) eines Menschen hängt von seiner jeweiligen Tätigkeit ab. Bei Körperruhe ist er am niedrigsten und beträgt für den Standard-Mann im Stehen ca. 160 W. Bei körperlicher Tätigkeit steigt der Leistungsumsatz, wobei 280 W, 350 W und 450 W als Werte für mittelschwere, schwere bzw. sehr schwere körperliche Anstrengung angesetzt werden können. Auf diese Werte wurden die im folgenden angegebenen Minimaltemperaturen T_{amin} bzw. Maximaltemperaturen T_{amax} bezogen.

Die Definition der Maximaltemperatur T_{amax} beinhaltet den prozentualen Anteil der mit Schweiß bedeckten Körperoberfläche des Trägers der Kleidung, der durch den "Komfortfaktor" k_f quantifiziert wird. In grundsätzlichen Trageversuchen konnte ermittelt werden, daß sich mit einem über 0.25 ansteigenden k_f -Wert ein zunehmendes Diskomfort-Gefühl einstellt. Bei $k_f = 0.75$ ist bei trainierten Personen mit guter physischer Konstitution die obere Grenze des für längere Zeit Zumutbaren erreicht. Noch höhere k_f -Werte führen zu einer Beeinträchtigung der physischen und mentalen Leistungsfähigkeit. Im folgenden wurde deshalb die Berechnung von T_{amax} auf einen Komfortfaktor $k_f = 0.75$ (Diskomfort-Grenze) bzw. $k_f = 1.0$ (Toleranz-Grenze) bezogen.



Da T_{amin} wie auch T_{amax} von der in der Umgebung bzw. bei dem vorliegenden Kleidungssystem mit wasserdampfdurchlässiger Außenhülle von der im Mikroklima herrschenden Luftfeuchtigkeit abhängen, werden sie am besten in einem sog. Psychrometerdiagramm (s. Abbildungen 18 - 25) dargestellt, in dem sie als Geraden den Verwendungsbereich der betreffenden Kleidung einschließen. Dabei gilt allgemein, daß ein Kleidungssystem hinsichtlich seiner bekleidungsphysiologischen Güte umso besser zu beurteilen ist, je breiter sein Verwendungsbereich ausfällt, da es damit umso eher in der Lage ist, Klimaveränderungen bzw. unterschiedliche Tätigkeitsbedingungen ohne wesentliche Beeinträchtigung des Trägers auszuregeln.

Um jedoch einzelne Kleidungssysteme besser miteinander vergleichen zu können, ist es zweckmäßig, sich auf bestimmte relative Luftfeuchtigkeiten (z.B. 50 %, 80 % und 100 %) zu beziehen (s. Tabellen 7 und 8).

Wie bereits angeführt, sind alle mit den Vorhersagerechnungen ermittelten Größen in ihren absoluten Beträgen zunächst nur für den "Standard-Mann" gültig, wobei noch gewisse Annahmen bezüglich seines Leistungsumsatzes gemacht werden. Diese Annahmen sind zwar realistisch, sie treffen aber nicht für jeden Menschen zu. Damit sind die mit dem Vorhersagemodell ermittelten Werte nicht als unbedingte Absolutwerte zu betrachten, sondern sie sollen vielmehr eine anschauliche Interpretation der thermophysiologicalen Kenndaten des untersuchten Kleidungssystems liefern und der Ermittlung der Relationen zwischen seiner bekleidungsphysiologischen Güte beim Tragen ohne und mit Kühlgeräten dienen. Diese Relationen bleiben bei jedem Träger in etwa erhalten, selbst wenn dieser in seiner körperlichen Konstitution vom Standard-Mann abweicht.

Weiterhin ist zu beachten, daß die angegebenen Temperaturwerte für die Verwendungsbereichsgrenzen des Kleidungssystems Effektivtemperaturen (Globetemperaturen) darstellen, die neben der Lufttemperatur auch einen Strahlungsanteil beinhalten. Bei Sonneneinstrahlung ist die Effektivtemperatur u.U. erheblich höher als die Lufttemperatur. Lediglich bei bedecktem Himmel oder in geschlossenen Räumen ist die Effektivtemperatur der Lufttemperatur gleichzusetzen.

Sämtliche Ergebnisse der durchgeführten Vorhersagerechnungen bezüglich des thermischen Verwendungsbereiches des Kleidungssystems sind in den folgenden Tabellen 7 und 8 sowie in den Abbildungen 18 - 25 dargestellt.

| Kühlgerät | r.F. | T _{amin} | | | | T _{amax} (Diskomfort k _f = 0.75) | | | |
|-----------|------|-------------------|---------------|-----------|-----------|---|---------------|-----------|-----------|
| | | Träger stehend | Träger gehend | | | Träger stehend | Träger gehend | | |
| | | | M = 160 W | M = 280 W | M = 350 W | | M = 450 W | M = 160 W | M = 280 W |
| % | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C |
| ohne | 50 | 12.6 | 3.6 | - 3.3 | - 12.8 | 15.1 | 6.2 | - 0.6 | - 10.0 |
| | 80 | 12.4 | 3.4 | - 3.4 | - 12.9 | 14.8 | 5.9 | - 0.8 | - 10.1 |
| | 100 | 12.3 | 3.3 | - 3.5 | - 13.0 | 14.6 | 5.8 | - 0.9 | - 10.2 |
| BG1 | 50 | 17.9 | 8.9 | 3.0 | - 5.3 | 29.4 | 21.2 | 16.0 | 8.5 |
| | 80 | 17.5 | 8.6 | 2.8 | - 5.4 | 26.6 | 19.3 | 14.5 | 7.4 |
| | 100 | 17.2 | 8.4 | 2.6 | - 5.5 | 25.1 | 18.2 | 13.6 | 6.7 |
| BG2 | 50 | 20.7 | 11.7 | 6.3 | - 1.2 | 34.3 | 27.8 | 23.7 | 17.7 |
| | 80 | 20.2 | 11.3 | 6.0 | - 1.4 | 30.2 | 24.5 | 20.9 | 15.4 |
| | 100 | 19.9 | 11.1 | 5.8 | - 1.6 | 28.1 | 22.7 | 19.3 | 14.1 |

Tabelle 7: Thermische Verwendungsbereichsgrenzen des Kleidungssystems (T_{amax}: Diskomfortgrenze)

| Kühlgerät | r.F. % | T_{amax} (Toleranz $k_f = 1.0$) | | | |
|-----------|---------------|--|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | Träger stehend M = 160 W °C | Träger gehend | | |
| | | | M = 280 W °C | M = 350 W °C | M = 450 W °C |
| ohne | 50 | 15.4 | 6.4 | - 0.3 | - 9.8 |
| | 80 | 15.1 | 6.2 | - 0.5 | - 9.9 |
| | 100 | 14.8 | 6.0 | - 0.7 | - 10.0 |
| BG1 | 50 | 32.2 | 24.7 | 19.9 | 12.8 |
| | 80 | 28.5 | 21.9 | 17.6 | 11.1 |
| | 100 | 26.6 | 20.4 | 16.4 | 10.2 |
| BG2 | 50 | 37.1 | 31.7 | 28.3 | 23.1 |
| | 80 | 31.9 | 27.2 | 24.3 | 19.7 |
| | 100 | 29.4 | 25.0 | 22.2 | 17.9 |

Tabelle 8: Thermische Verwendungsbereichsgrenzen des Kleidungssystems (T_{amax} : Toleranzgrenze)



4.1. Thermische Verwendungsbereiche des Kleidungssystems:

Wie in Abschnitt 4. erläutert, muß bezüglich der oberen Verwendungsbereichsgrenze T_{amax} eines Kleidungssystems zwischen der "Komfortgrenze" und der "Toleranzgrenze" unterschieden werden. Bis zur ersteren fühlt sich der Träger physiologisch noch nicht so unwohl, daß es für längere Dauern unzumutbar ist. Die Toleranzgrenze geht über die Komfortgrenze hinaus. Ist erstere erreicht, wird nach einer gewissen Toleranzzeit (s. Abschnitt 4.2.) die physiologische Belastung des Trägers so stark, daß Gesundheitsschäden infolge Hyperthermie drohen.

Die Abbildungen 18 - 25 zeigen, daß das geprüfte Kühlsystem eine signifikant positive Wirkung auf die physiologischen Trageeigenschaften des Chemikalien-Schutzanzuges hat. So wird z.B. mit dem Kühlgerät BG1 bei mittelschwerer körperlicher Tätigkeit des Trägers, verbunden mit einem metabolischen Leistungsumsatz M von 280 W, die obere Toleranzgrenze T_{amax} bei 100 % relativer Feuchte im Mikroklima des Schutzanzuges gegenüber dem Tragen ohne Kühlgerät um 14.4 °C auf 20.4 °C angehoben. Mit Kühlgerät BG2 verschiebt sich die obere Toleranzgrenze um weitere 4.6 °C. Damit ist das Kleidungssystem bis zu Temperaturen um 25 °C für längere Einsatzzeiten tragbar. Ohne Luftkühlung im Anzug ist dies nur bei Temperaturen bis zu 6 °C möglich.

Während bei dem Schutzanzug ohne Luftkühlung die obere Komfort- und Toleranzgrenze praktisch gleich ist, zeigt sich bei dem mit den Kühlgeräten BG1 und BG2 getragenen Anzug ein deutlicher Unterschied zwischen diesen beiden Grenzen. Er beträgt z.B. mit dem Kühlgerät BG2 bei sehr schwerer körperlicher Tätigkeit des Trägers ($M = 450$ W) bei 100 % r.F. im Mikroklima des Anzugs ca. 4 °C (s. Abbildungen 24 und 25).

Wie zu erwarten ist, wirkt sich die mit den Kühlgeräten realisierte Belüftung des Chemikalien-Schutzanzuges ebenfalls signifikant auf die untere Grenze T_{amin} des Verwendungsbereichs aus. Während z.B. bei stehendem Träger mit einem Leistungsumsatz von 160 W und 100 % r.F. im Mikroklima des Anzugs dieser ohne Kühlgerät bei Temperaturen bis herab zu ca. 12 °C noch unbegrenzt lange getragen werden kann, ohne daß der Träger friert, müssen dafür mit dem Kühlgerät BG1 ca. 17 °C und mit dem Kühlgerät BG2 ca. 20 °C in der Umgebung vorliegen (s. Abbildung 18).

4.2. Maximale Tragedauer des Kleidungssystems:

Die in Abschnitt 4.1. beschriebenen Grenzen des Verwendungsbereichs des Kleidungssystems beziehen sich auf stationäre Bedingungen. D.h. innerhalb des Verwendungsbereichs kann die Kleidung bei der ihm zugrundegelegten körperlichen Tätigkeit mehrere Stunden lang getragen werden, ohne daß sich der Träger unzumutbar unwohl fühlt bzw. beim Toleranzbereich seine physische und mentale Leistungsfähigkeit gravierend beeinträchtigt werden oder Gesundheitsschäden durch Hyperthermie drohen. Für Temperaturen außerhalb des Verwendungsbereichs trifft dies nicht mehr zu. Hier kann die Kleidung nur noch für eine bestimmte maximale Tragedauer bzw. Toleranzzeit getragen werden.



Wie groß bei Wärmebelastung diese Toleranzzeit t_T ist, läßt sich aus dem zeitlichen Verlauf der Rektaltemperatur des Menschen ableiten. Zahlreiche kontrollierte und messend überwachte Trageversuche mit Testpersonen in Klimakammern haben ergeben, daß bei ansteigender Rektaltemperatur, deren "Normalwert" bei dem Standard-Mann 37.05 °C beträgt, auch bei Personen mit guter physischer Konstitution bei 38.2 °C die Grenze des Zumutbaren erreicht ist. Als einige Beispiele zeigen die Abbildungen 26 - 34 die zeitlichen Verläufe der Rektaltemperatur des Trägers und die sich daraus ergebenden Toleranzzeiten bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen und körperlichen Anstrengungen, wenn der Chemikalien-Schutzanzug ohne bzw. mit den Kühlgeräten getragen wird.

Die mit den vorstehend erläuterten Kriterien ermittelten maximal möglichen Tragedauern des untersuchten Kleidungssystems sind in den Tabellen 9 - 11 zusammengestellt, wobei beim Tragen mit den Kühlgeräten von einer relativen Feuchte im Mikroklima des Anzugs von 50 %, 80 % und 100 % r.F. ausgegangen wurde. Wird der Anzug ohne Kühlgerät getragen, steigt in der Realität bereits nach kurzer Dauer die Feuchte im Mikroklima des Anzugs auf 100 % r.F. an.

Während z.B. bei 20 °C bei schwerer körperlicher Anstrengung des Trägers ($M = 350$ W) der Chemikalien-Schutzanzug ohne Kühlung nur ca. 30 min getragen werden kann, verdoppelt sich diese Toleranzzeit mit dem Kühlgerät BG1, selbst bei 100 % r.F. im Mikroklima des Anzugs, auf ca. 60 min (s. Tabelle 11). Mit dem Kühlgerät BG2 kann der Anzug bei dieser Klima- und Tätigkeitsbedingung sogar unbegrenzt lange getragen werden.

Auch bei 30 °C Umgebungstemperatur zeigen sich noch deutliche physiologische Vorteile der Luftkühlung. So beträgt z.B. bei mittelschwerer körperlicher Tätigkeit ($M = 280$ W) die Toleranzzeit bei dem ohne Kühlgerät getragenen Anzug ca. 30 min und wird mit dem Kühlgerät BG2 bei 80 % r.F. im Mikroklima des Anzugs um 23 min verlängert (s. Tabelle 10). Wird die Feuchte im Mikroklima des Anzugs auf 50 % r.F. gehalten, ist er mit dem Kühlgerät BG2 bei dieser körperlichen Anstrengung bei 30 °C sogar unbegrenzt lange tragbar (s. Tabelle 9).

Aussagen der Wirkung des Kühlgerätes bei Umgebungstemperaturen über 30 °C können aus den durchgeführten Untersuchungen nicht getroffen werden. Hierzu müssten weitere Messungen mit der Gliederpuppe durchgeführt werden, bei denen im Mikroklima des Schutzanzuges eine relative Feuchte um 80% eingestellt wird.

| 50 % r.F. innerhalb des Anzugs | | | | | |
|--------------------------------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Kühlgerät | | t _r | | | |
| | | M = 160 W min | M = 280 W min | M = 350 W min | M = 450 W min |
| 20 °C | ohne | 111* | 41* | 30* | 22* |
| | BG1 | ∞ | ∞ | 113 | 42 |
| | BG2 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| 30 °C | ohne | 50* | 29* | 24* | 20* |
| | BG1 | ∞ | 48 | 35 | 25 |
| | BG2 | ∞ | ∞ | 52 | 33 |

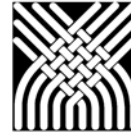
Tabelle 9: Maximale Tragedauer des Kleidungssystems
 (*: ohne Kühlgerät immer 100 % r.F. innerhalb des Anzugs)

| 80 % r.F. innerhalb des Anzugs | | | | | |
|--------------------------------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Kühlgerät | | t_T | | | |
| | | M = 160 W min | M = 280 W min | M = 350 W min | M = 450 W min |
| 20 °C | ohne | 111* | 41* | 30* | 22* |
| | BG1 | ∞ | ∞ | 71 | 36 |
| | BG2 | ∞ | ∞ | ∞ | 71 |
| 30 °C | ohne | 50* | 29* | 24* | 20* |
| | BG1 | 90 | 39 | 30 | 23 |
| | BG2 | ∞ | 52 | 37 | 27 |

Tabelle 10: Maximale Tragedauer des Kleidungssystems
 (*: ohne Kühlgerät immer 100 % r.F. innerhalb des Anzugs)

| 100 % r.F. innerhalb des Anzugs | | | | | |
|---------------------------------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Kühlgerät | | t_T | | | |
| | | M = 160 W min | M = 280 W min | M = 350 W min | M = 450 W min |
| 20 °C | ohne | 111 | 41 | 30 | 22 |
| | BG1 | ∞ | ∞ | 59 | 33 |
| | BG2 | ∞ | ∞ | ∞ | 55 |
| 30 °C | ohne | 50 | 29 | 24 | 20 |
| | BG1 | 68 | 35 | 27 | 22 |
| | BG2 | 105 | 41 | 31 | 24 |

Tabelle 11: Maximale Tragedauer des Kleidungssystems
 (*: ohne Kühlgerät immer 100 % r.F. innerhalb des Anzugs)



5. Zusammenfassung:

In der vorliegenden Untersuchung wurden die mit einer Luftkühlung mögliche die Erweiterung des thermischen Verwendungsbereichs sowie die bei unterschiedlichen Klima- und Tätigkeitsbedingungen erzielbare Verlängerung der maximalen Einsatzzeiten eines wasserdampfdurchlässigen Chemikalien-Vollschutzanzuges durch Messungen mit einer thermischen Gliederpuppe und mit Hilfe eines bekleidungsphysiologischen Vorhersagemodells ermittelt.

Das geprüfte Kleidungssystem bestand aus einem über einer Funktionsunterwäsche und einer Preßluftflasche für die Atemluft getragenen Chemikalien-Vollschutzanzug. Unter diesem befand sich an der Brust ein Kühlgerät, mit dem Luft aus dem "Mikroklima" unter dem Schutzanzug angesaugt, über einen Eisbehälter geleitet und gekühlt über die Körperoberfläche des Trägers verteilt wurde. Das Kühlgerät wurde in zwei Ausführungen geprüft. Bei Baugruppe BG1 bestand es aus einem Eisbehälter mit aufgesetztem Ventilator und einer Nenn-Kühlleistung von ca. 120 W. Bei Baugruppe BG2 wurde ein weiterer, identischer Eisbehälter mit Ventilator hinzugefügt, womit sich die Nenn-Kühlleistung auf ca. 240 W steigert.

Die gewonnenen Meßergebnisse zeigen, daß mit dem Kühlgerät BG 1 im Mikroklima eine Luftumwälzungs- bzw. Ventilationsrate von ca. 11,5 m³/h und mit dem Kühlgerät BG2 von 24,4 m³/h realisiert wurde. Diese hat eine signifikante Wirkung auf die effektive Wärmeisolation des Kleidungssystems. Sie reduziert sich mit dem Kühlgerät BG1 um ca. 16 % bei gehendem und um ca. 23 % bei stehendem Träger gegenüber dem ungekühlten Anzug. Mit dem Kühlgerät BG2 beträgt diese Reduktion der Wärmeisolation ca. 25 % bei gehendem bzw. 35 % bei stehendem Träger.

Da die aus den Kühlgeräten austretende Luft mittels flexibler Schläuche im Bereich der Hüfte und Oberschenkel dem Körper zugeführt wird, ist deren Kühlwirkung an diesen Körperpartien besonders groß. Doch auch in den Bereichen von Brust, Rücken, Unterschenkeln und Oberarmen ist eine signifikante Reduzierung der lokalen Wärmeisolation mit den Kühlgeräten festzustellen.

Durch die gekühlte Luft in dem Schutzanzug wird nicht nur die Wärmeisolation des Kleidungssystems in bei warmem Umgebungsklima physiologisch vorteilhafter Weise erniedrigt, sondern auch dessen für den Träger effektiven Wasserdampfdurchgangswiderstand. Während ohne Kühlgerät infolge des völlig wasserdampfdurchlässigen Materials des Schutzanzuges für den Träger praktisch keine Schweißverdampfung möglich ist, wird mit dem Kühlgerät BG1 eine gewisse "Atmungsaktivität" bewirkt, die mit dem Kühlgerät BG2 um weitere ca. 43 % verbessert wird.

Aus physiologischer Sicht muß bezüglich der oberen Grenze des thermischen Verwendungsbereiches eines Kleidungssystems zwischen der "Komfortgrenze" und der "Toleranzgrenze" unterschieden werden. Bis zur ersteren fühlt sich der Träger noch nicht so unwohl, daß es für längere Dauern unzumutbar ist. An der Toleranzgrenze ist nach einer gewissen maximalen Tragedauer die physiologische Belastung des Trägers so stark, daß Gesundheitsschäden infolge Hyperthermie drohen.

Die durchgeführten Messungen zeigen, daß mit den geprüften Kühlgeräten die oberen Verwendungsbereichsgrenzen des Kleidungssystems zu wesentlich höheren Umgebungstemperaturen hin verschoben werden. So ist z.B. der Schutzanzug mit dem Kühlgerät BG2 bei mittelschwerer körperlicher Tätigkeit des Trägers bis zu Temperaturen um 25 °C für längere Einsatzzeiten tragbar.



Ohne Luftkühlung im Anzug ist dies dagegen nur bei Temperaturen bis zu 6 °C möglich.

Mit der Erweiterung des thermischen Verwendungsbereiches des Kleidungssystems durch die Luftkühlung wird auch dessen mögliche maximale Tragedauer bei warmem Umgebungsklima gegenüber dem unbelüfteten System wesentlich verlängert. Während z.B. bei 20 °C bei schwerer körperlicher Anstrengung des Trägers der Chemikalien-Schutzanzug ohne Kühlung nur ca. 30 min getragen werden kann, verdoppelt sich diese Toleranzzeit mit dem Kühlgerät BG1, selbst bei 100 % relativer Feuchte im Mikroklima des Anzugs, auf ca. 60 min. Mit dem Kühlgerät BG2 kann der Anzug bei dieser Klima- und Tätigkeitsbedingung sogar unbegrenzt lange getragen werden.

Welche maximalen Tragedauern mit der geprüften Luftkühlung des Chemikalien-Schutzanzuges bei Umgebungstemperaturen zwischen 20 °C und 30 °C und mittelschwerer bis sehr schwerer körperlicher Tätigkeit des Trägers möglich sind, kann den in dem Bericht enthaltenen Tabellen 9 - 11 entnommen werden.

Aussagen der Wirkung des Kühlgerätes bei Umgebungstemperaturen über 30 °C können aus den durchgeführten Untersuchungen nicht getroffen werden. Hierzu müssten weitere Messungen mit der Gliederpuppe durchgeführt werden, bei denen im Mikroklima des Schutzanzuges eine relative Feuchte um 80% eingestellt wird.

Der Institutsleiter:

Dr. S. Mecheels



Der Direktor der Abteilung
Bekleidungsphysiologie:

Prof. Dr. K.H. Umbach

