

## Reichen einstündige Messungen zur Beurteilung physiologischer Hitzebeanspruchung aus?

Bernhard KAMPMANN<sup>1</sup>, Peter BRÖDE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Bergische Universität Wuppertal, Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik  
Fachgebiet Arbeitswissenschaft  
Gaußstraße 20, D-42097 Wuppertal*

<sup>2</sup> *Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo)  
Ardeystraße 67, D-44139 Dortmund*

**Kurzfassung:** Aus Effizienzüberlegungen werden bei Untersuchungen zur Gefährdung durch Hitzebelastungen ganzschichtige Datenerhebungen häufig durch kurzzeitige, etwa einstündige Beobachtungen ersetzt unter der Annahme, dass die verkürzte Beobachtungszeit zur Beurteilung eines „Steady-State“ der physiologischen Beanspruchung ausreicht. Zur Untersuchung des Einflusses der Beobachtungsdauer auf die Hitzebeanspruchung unter Berücksichtigung von Bekleidung und Hitzeakklimatisation in 564 Klimakammer-Versuchen wurden die in der 3. Expositionsstunde registrierten Mittelwerte mit den nach 1h registrierten Rektal- und Hauttemperaturen, Herzschlagfrequenzen sowie Schweißraten verglichen. Die verkürzte Beobachtung unterschätzte im Mittel für alle Größen sowie Akklimatisations- und Bekleidungsbedingungen die Beanspruchung. Dieser Fehler nahm mit steigender Lufttemperatur und -feuchte statistisch signifikant zu. Diese mit steigender Beanspruchung zunehmende Unterschätzung der Gefährdung bei Hitzearbeit durch zu kurze Beobachtungszeiten könnte insbesondere für Arbeiten mit erhöhtem Energieumsatz oder unter Schutzkleidung bedeutsam sein.

**Schlüsselwörter:** Thermophysiologie, Hitze, Luftfeuchte, Bekleidung, Akklimatisation

### 1. Einleitung

Mit dem Klimawandel gewinnt die Beurteilung der Gefährdung durch Arbeit bei hoher Lufttemperatur ( $T_a$ ) und gleichzeitig erhöhter Luftfeuchte ( $p_a$ ) an Bedeutung (Bröde & Fiala 2017; Kampmann & Bröde 2020). Dabei werden aus Effizienzüberlegungen ganzschichtige Datenerhebungen häufig durch kurzzeitige Beobachtungen ersetzt unter der Annahme, dass die verkürzte Beobachtungszeit zur Beurteilung eines „Steady-State“ der physiologischen Beanspruchung ausreicht.

Sicherlich sind Expositionszeiten von jeweils 3 Minuten für verschiedene Körperstellen (nach 30 Minuten Vorlaufzeit) für eine Beurteilung einer stationären Auswirkung von Bekleidungsisolations und lokaler Erwärmung/Abkühlung (Janta et al. 2014) bei weitem zu kurz; Ravanelli et al. (2015) erhöhen - nach 20 Minuten Vorlaufzeit - alle 7,5 Minuten die relative Feuchte und bestimmen aus einem Anstieg von Herzschlagfrequenz und Körpertemperatur am Ende eines dieser Zeitabschnitte die Untergrenze der „prescriptive zone“. Bewertungszeiträume von 60 Minuten (Lind 1963) reichen nur aus, wenn ein thermoregulatorisches Gleichgewicht erreicht wird.

Ziel unserer Studie war, den Einfluss der Beobachtungsdauer auf die unter Hitzebelastung ermittelte physiologische Beanspruchung in einem weiten Bereich von Temperatur-Feuchte-Kombinationen unter Berücksichtigung von Bekleidung und Hitzeakklimatisation (HA) zu untersuchen.

## 2. Methoden

Dazu wurden insgesamt 564 Klimakammer-Versuche aus einer bereits zuvor ausführlich beschriebenen Datenbank (Kampmann 2000; Kampmann & Bröde 2020) zu physiologischen Hitzebeanspruchungen selektiert. Diese umfassten für 28 junge, mit Shorts (Bekleidungsisolierung  $I_{cl} = 0,1 \text{ clo}$ ) bzw. einem Overall ( $I_{cl} = 0,7-1 \text{ clo}$ ) bekleidete männliche Probanden Serien ohne und mit vorheriger HA. Die Arbeitsschwere (Gehen in der Ebene, 4 km/h) war konstant; die Lufttemperatur variierte von 25-55 °C, Luftfeuchte von 0,3-5,1 kPa, die Luftgeschwindigkeit betrug höchstens 0,5 m/s und die mittlere Strahlungstemperatur war gleich  $T_a$ .

Die in der 3. Expositionsstunde registrierten Mittelwerte wurden mit den nach 1h registrierten Rektal- ( $T_{re}$ ) und Hauttemperaturen ( $T_{sk}$ ), Herzschlagfrequenzen (HF) sowie Schweißraten (SR) verglichen.

Der Einfluss von  $T_a$ ,  $p_a$ , Bekleidung und HA auf die so erhaltenen Differenzen wurde durch ANCOVA mit gemischten Effekten (Littell et al. 2006) statistisch geprüft sowie durch Anpassung mehrdimensionaler Splines mittels generalisierter additiver Modelle (GAM) untersucht (Wood 2017), die auch einen Differenzterm ( $\Delta_t = \Delta_{1h-3h}$ ) zur Schätzung des Effekts der Expositionsdauer enthielten.

## 3. Ergebnisse

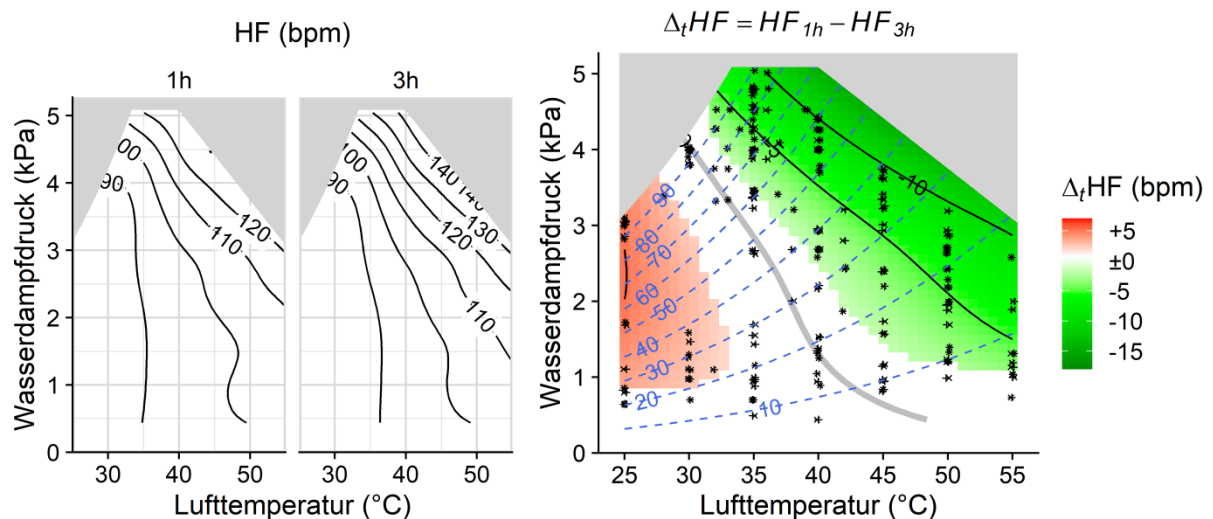
Die verkürzte Beobachtung unterschätzte im Mittel für alle Größen sowie HA- und Bekleidungsbedingungen die Beanspruchung. Wie die ANCOVA-Resultate (Tabelle 1) belegen, nahm dieser Fehler mit  $T_a$  und  $p_a$  statistisch signifikant ( $p < 0,01$ ) zu, war im Mittel bzgl. SR für bekleidete Probanden um 29 g/h ( $p = 0,013$ ) höher als bei unbekleideten und bzgl.  $T_{re}$  nach HA geringfügig um 0,1 °C, jedoch statistisch signifikant ( $p = 0,012$ ) verringert.

**Tabelle 1:** ANCOVA-Ergebnisse mit Nenner- (NDF) und Zähler-Freiheitsgraden (DDF) sowie F- und p-Werten zum Einfluss von Lufttemperatur ( $T_a$ ), -feuchte ( $p_a$ ), Bekleidung ( $I_{cl}$ ) und Hitzeakklimatisation (HA) auf die Differenzen von Herzschlagfrequenzen (HF), Rektal- ( $T_{re}$ ) und Hauttemperaturen ( $T_{sk}$ ) sowie Schweißraten (SR) nach einer Stunde zu den in der dritten Expositionsstunde registrierten Werten. Statistisch signifikante Ergebnisse sind fett hervorgehoben.

Effekt			HF		Tre		Tsk		SR	
	NDF	DDF	F	p	F	p	F	p	F	p
$T_a$	1	521	209,01	<b>&lt;,0001</b>	181,82	<b>&lt;,0001</b>	62,65	<b>&lt;,0001</b>	46,76	<b>&lt;,0001</b>
$p_a$	1	521	124,35	<b>&lt;,0001</b>	98,43	<b>&lt;,0001</b>	3,80	0,0519	119,66	<b>&lt;,0001</b>
$I_{cl}$	1	37	0,03	0,8727	1,87	0,1802	9,06	<b>0,0047</b>	6,80	<b>0,0131</b>
HA	1	37	2,63	0,1132	7,02	<b>0,0118</b>	12,95	<b>0,0009</b>	2,66	0,1112
$I_{cl} * HA$	1	37	0,05	0,8197	0,00	0,9519	0,43	0,5167	0,19	0,6645

Relevante Effekte traten bei hoher Lufttemperatur in Kombination mit erhöhter Feuchte auf. Abbildung 1 illustriert dies anhand der HF unbedeckter, akklimatisierter Probanden, die im Mittel für feuchtwarme Bedingungen nach 3h bis zu 10 Schlägen pro Minute (bpm) über den nach 1h registrierten Werten lag, durch die verkürzte Beobachtungszeit also unterschätzt wurde.

Ähnliche Ergebnisse zeigten sich auch für Schweißraten, Rektal- und Hauttemperaturen, und zwar nicht nur in der oben beschriebenen Gruppe der unbedeckten, nicht-akklimatisierten Probanden (Abbildung 2), sondern in ähnlicher Weise auch für die übrigen 3 Gruppen (Abbildungen 3-5).

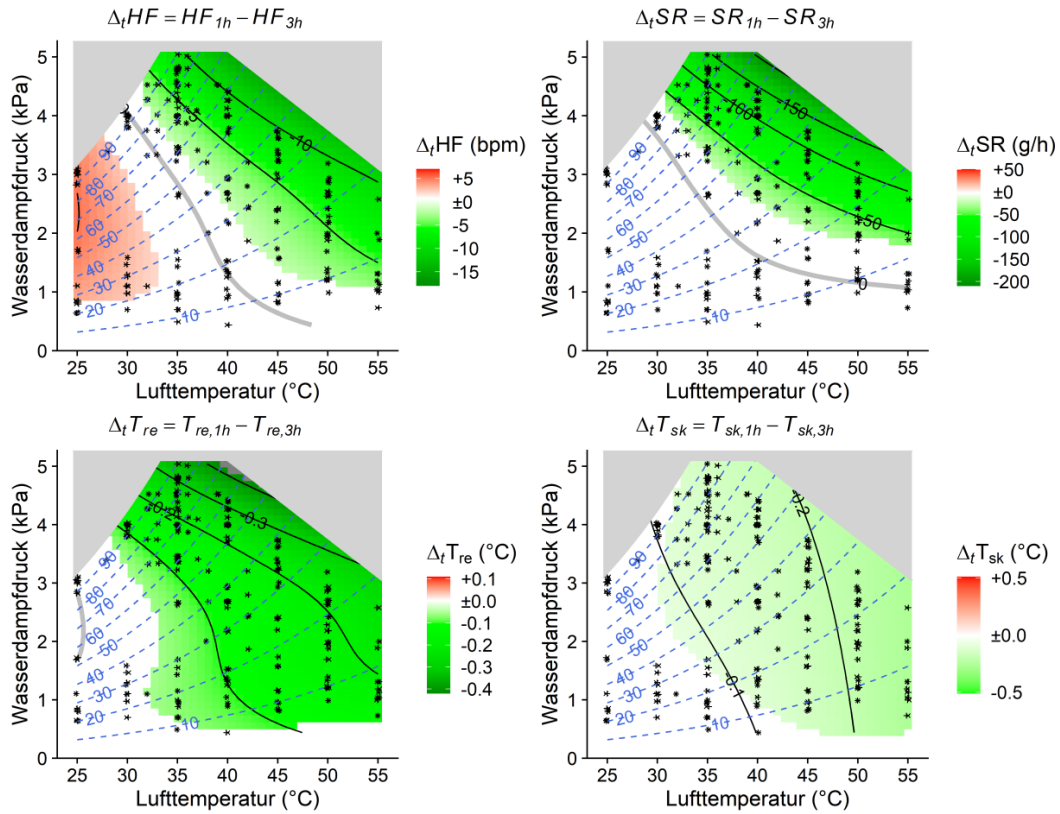


**Abbildung 1:** Mit GAM in Abhängigkeit von Lufttemperatur und Wasserdampfdruck geschätzte Äquivalenzlinien der nach einstündiger (1h) bzw. dreistündiger (3h) Exposition gemessenen Herzschlagfrequenzen (HF, linke Seite) sowie der Differenzen ( $\Delta_t = \Delta_{1h-3h}$ , rechte Seite). Auf der rechten Seite markieren Punkte die Bedingungen der 223 Versuche mit unbedeckten, akklimatisierten Probanden; statistisch signifikante Differenzen sind farblich gekennzeichnet. Grau hinterlegte Bereiche indizieren durch Daten nicht hinreichend gestützte Temperatur-Feuchte-Kombinationen.

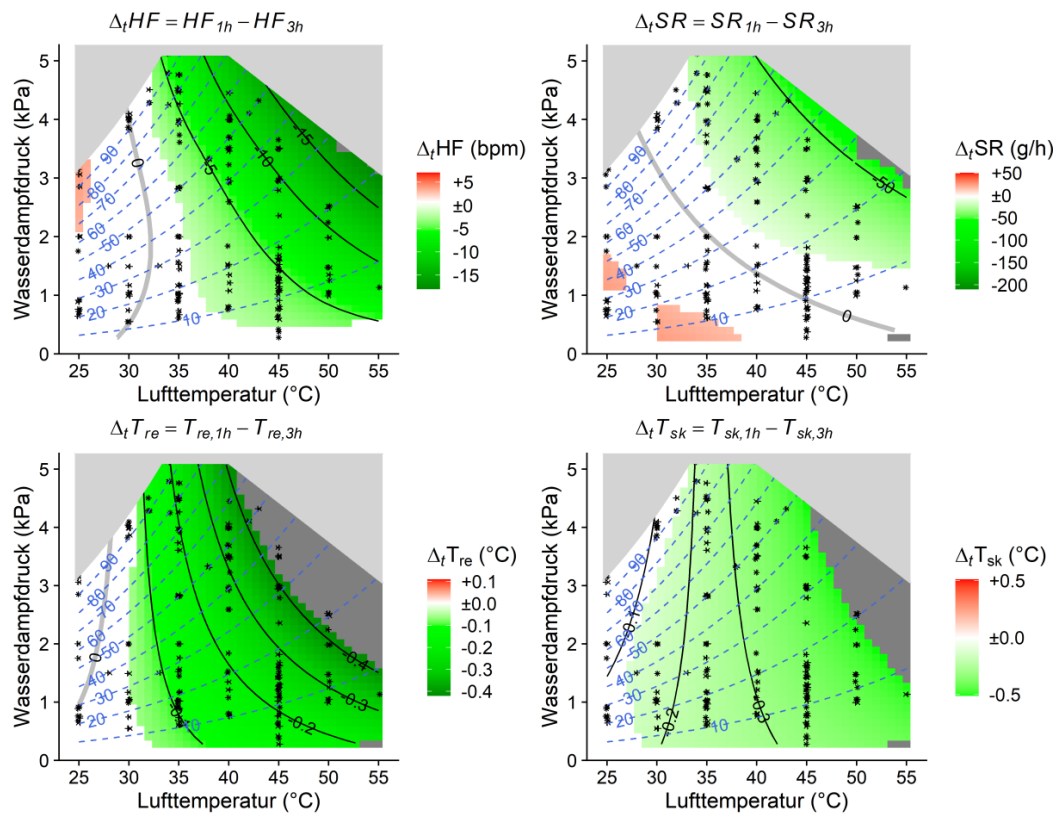
#### 4. Diskussion und Schlussfolgerung

Die hier überwiegend beobachtete Unterschätzung der Beanspruchung bei zu kurzer Expositionsdauer ist auch aus Untersuchungen zum thermischen Komfort, z.B. des Zugluftempfindens (Griefahn 1999), bekannt.

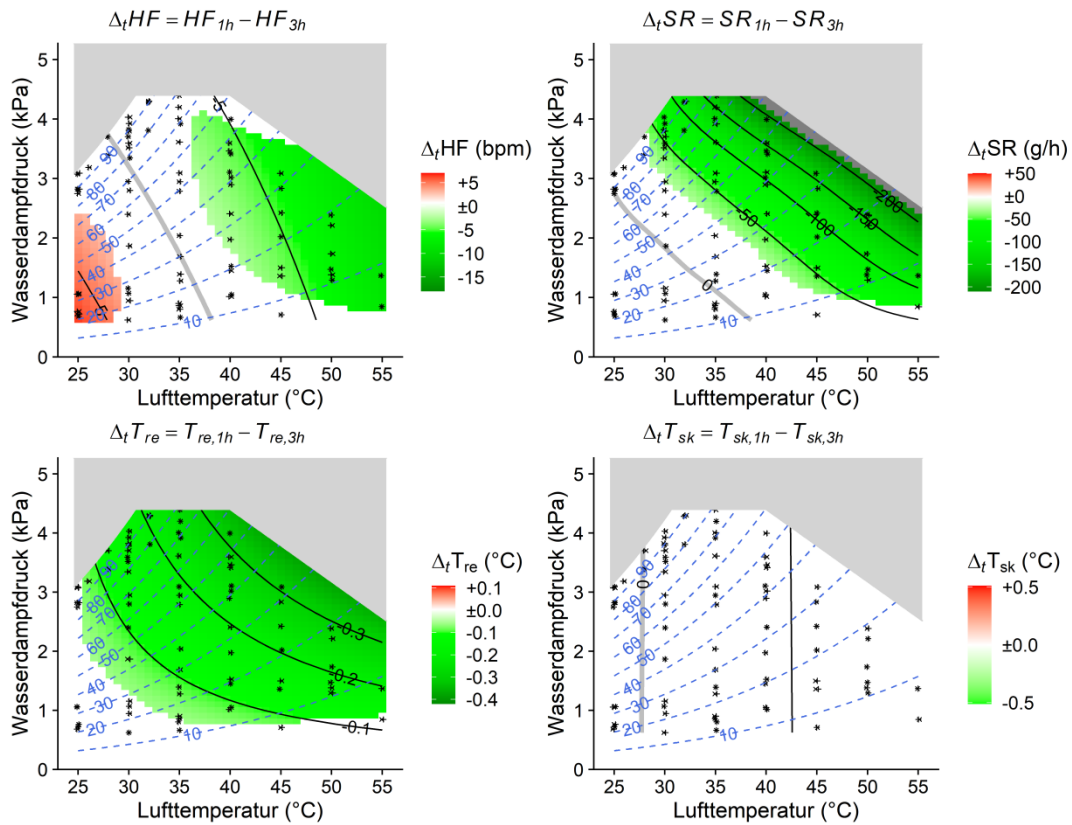
Die insbesondere bei bedeckten Probanden unter moderaten Bedingungen zu Beginn (nach 1h) erhöhten und dann wieder abnehmenden Herzschlagfrequenzen und Schweißraten (Abbildungen 3&5) stellen ein „Überschwingen“ der Stellgrößen in der Regelung der Körpertemperatur dar (Differentialanteile in der Ansteuerung der Stellgrößen HF und SR). Im feuchtwarmen Bereich dauert die Einstellung eines thermoregulatorischen Gleichgewichtes oft länger, weil die Einstellung der Schweißrate sich durch Hydromeiosis verzögern kann (Brown & Sargent 1965; Kampmann 2000; Kampmann et al. 2013): hier sind die Unterschiede der Parameter zwischen der ersten und dritten Expositionsstunde recht ausgeprägt.



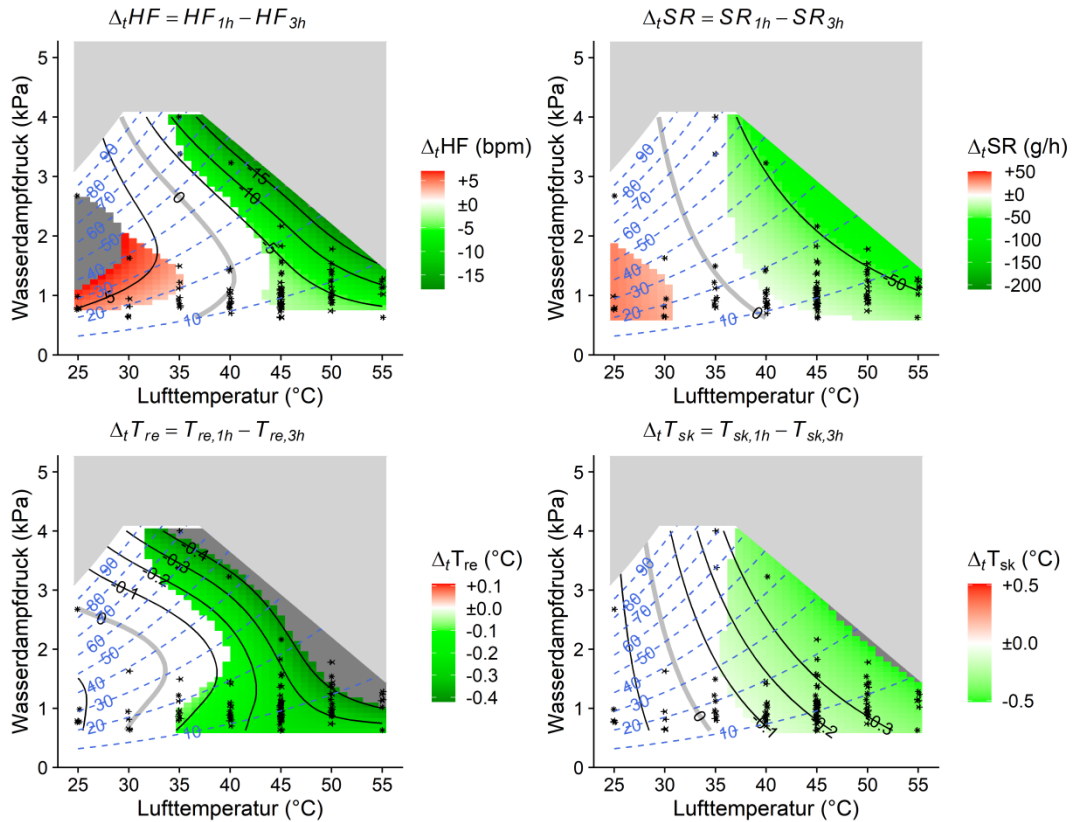
**Abbildung 2:** Differenzplot der Herzschlagfrequenz (HF) aus Bild 1 ergänzt um die Darstellung von Schweißrate (SR), Rektal- ( $T_{re}$ ) und Hauttemperatur ( $T_{sk}$ ) aus 223 Versuchen mit un- bekleideten, akklimatisierten Probanden.



**Abbildung 3:** Differenzplot der HF, SR,  $T_{re}$ ,  $T_{sk}$  aus 166 Versuchen mit un- bekleideten, nicht-akklimatisierten Probanden.



**Abbildung 4:** Differenzplot der HF, SR, Tre, Tsk aus 78 Versuchen mit bekleideten, akklimatisierten Probanden.



**Abbildung 5:** Differenzplot der HF, SR, Tre, Tsk aus 97 Versuchen mit bekleideten, nicht-akklimatisierten Probanden.



Bei kurzen Expositionszeiten - z.B. von einer Stunde -, bei denen die Messergebnisse am Ende der Exposition als Werte für einen thermoregulatorischen Gleichgewichtszustand herangezogen werden sollen, sollte in jedem Fall der zeitliche Verlauf der Beanspruchungsgrößen für konstante Belastungsbedingungen beobachtet werden; dies ist bei Ravanelli et al. (2015) nicht der Fall und kann bei dem angewandten Verfahren zu einer Unterschätzung von Beanspruchungsgrenzen führen. Lind (1963) überprüft jedoch das Vorliegen eines steady-state für jede einzelne Exposition (der Anstieg der Körpertemperatur muss kleiner als 0,03 °C pro 15 Minuten sein), was die Anzahl der notwendigen Expositionen erheblich erhöht.

Die aus unseren Befunden abzulesenden Hinweise auf eine mit steigender Beanspruchung zunehmende Unterschätzung der Gefährdung bei Hitzearbeit durch zu kurze Beobachtungszeiten könnten insbesondere für Arbeiten mit erhöhtem Energieumsatz oder unter Schutzkleidung bedeutsam sein.

## 5. Literatur

- Bröde P, Fiala D (2017) Klimawandel und Ausführbarkeit körperlicher Arbeit im Freien - Bewertungsverfahren im Vergleich. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Ed) 63. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. FHNW Brugg-Windisch, Schweiz: GfA-Press, 1-6.
- Brown WK, Sargent F (1965) Hidromeiosis. Archives of Environmental Health: An International Journal 11:442-453.
- Griefahn B (1999) Bewertung von Zugluft am Arbeitsplatz. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Janta, M, Bengler, K., Senner, V. (2014) Komfort durch lokale Klimatisierung in Elektroautos. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Ed) 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft - Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft. TU und Hochschule München: GfA-Press, 398-400.
- Kampmann B (2000) Zur Physiologie der Arbeit in warmem Klima. Ergebnisse aus Laboruntersuchungen und aus Feldstudien im Steinkohlenbergbau. Wuppertal: Bergische Universität Wuppertal, Habilitation Thesis, Accessed 05/05/2018, <http://elpub.bib.uni-wuppertal.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-735/h140001.pdf>.
- Kampmann B, Bröde P (2020) Minderung physiologischer Hitzebeanspruchung durch Ventilation - Laborexperimente im Vergleich zur UTCI-Bewertung. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Ed) 66. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft - Digitaler Wandel, digitale Arbeit, digitaler Mensch? TU Berlin: GfA-Press, Beitrag A.14.14:11-16.
- Kampmann B, Bröde P, Fiala D (2013) Zum Einfluss von Hydromeiosis bei der Vorhersage empirischer thermophysiologicaler Beanspruchung. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Ed) 59. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Krefeld: GfA-Press, 245-248.
- Lind, A R (1963) A physiological criterion for setting thermal environmental limits for everyday work. J. Appl. Physiol. 18.1:51-56.
- Ravanelli NM; Hodder SG, Havenith G, Jay O. (2015) Heart rate and body temperature responses to extreme heat and humidity with and without electric fans. JAMA 313.7:724-725.
- Littell RC, Milliken GA, Stroup WW, Wolfinger RD, Schabenberger O (2006) SAS® System for Mixed Models, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Wood SN (2017) Generalized Additive Models: An Introduction with R. Boca Raton, Florida: Chapman & Hall/CRC.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## Arbeit HUMAINE gestalten

67. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie (WiPs)  
Ruhr-Universität Bochum

Institut für Arbeitswissenschaft (IAW)  
Ruhr-Universität Bochum

3. - 5. März 2021

---

## GfA-Press

---

**Bericht zum 67. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 3. - 5. März 2021**

**Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie, Ruhr-Universität Bochum  
Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2021  
ISBN 978-3-936804-29-4

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

**Schriftleitung: Matthias Jäger**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

**Screen design und Umsetzung**

© 2021 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)