

Einfluss der Akklimatisation auf metabolische (Q_{10} -Effekt) und kardiovaskuläre (thermische Pulse) Kosten von Hitzebelastung

Bernhard KAMPMANN¹, Peter BRÖDE²

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

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

Kurzfassung: Die Abhängigkeit der durch den Anstieg der Kerntemperatur erzeugten Zunahme von Energieumsatz (Q_{10} -Effekt) und Herzschlagfrequenz (thermische Pulse) vom Akklimatisationsstatus wurde mit Messungen aus 273 Klimakammer-Experimenten geprüft. Pro Grad Anstieg der Kerntemperatur waren der Energieumsatz um 7 – 8 % und die Herzschlagfrequenz um 38 – 40 bpm erhöht. Die Höhe dieser Effekte war in Übereinstimmung mit früheren Befunden bei akklimatisierten Probanden, hing jedoch nicht vom Akklimatisationsstatus ab. Dies ist bei der Formulierung von Bewertungsverfahren zur Arbeit unter Hitzebelastung von Bedeutung.

Schlüsselwörter: Klima, Akklimatisation, Normung, Modell, Q_{10} -Effekt

1. Einleitung und Fragestellung

Der Akklimatisationsstatus (AkkI) ist ein wesentlicher personenbezogener Moderator der physiologischen Beanspruchung bei der Arbeit in Hitze. Dabei erhöht sich unter identischer Wärmebelastung bei akklimatisierten Personen die Schweißabgabe, was zu einer konsekutiven Verminderung der Körpertemperatur und der Herzschlagfrequenz führt (Kampmann 2000, Bröde et al. 2009).

Dies wird in international standardisierten Bewertungsverfahren zur Hitzebelastung wie dem in DIN EN ISO 7243 (2017) beschriebenen WBGT-Index (wet bulb globe temperature) oder dem PHS-Index (Predicted Heat Strain, DIN EN ISO 7933 2004) durch angepasste Beurteilungskriterien berücksichtigt.

Frühere Untersuchungen belegen den Zusammenhang der Körpertemperatur sowohl mit der Herzschlagfrequenz durch die sogenannten „thermischen Pulse“ (Kampmann 2000; Kampmann et al. 2001) als auch mit dem Energieumsatz über den Q_{10} -Effekt (Bröde & Kampmann 2017; Kampmann & Bröde 2014; 2016). Diese Effekte müssen daher bei der Ermittlung der metabolischen Wärmeproduktion (ISO 8996 2004) berücksichtigt werden (Bröde & Kampmann 2018; Kampmann 2018).

Interessanterweise zeigte sich auch für den Akklimatisationsgewinn für Herzschlagfrequenz und Körpertemperatur eine Kopplung in der Größenordnung von 33 bpm/°C (Bröde et al. 2009), welche dem in ISO 9886 (2004) für die thermischen Pulse angegebenen Wert entspricht.

Vor diesem Hintergrund untersucht unser Beitrag, ob sich der Q_{10} -Effekt und die thermischen Pulse bei Probanden unter Laborbedingungen in nicht-akklimatisiertem und akklimatisiertem Zustand unterscheiden.

2. Methoden

Zur Bearbeitung der Fragestellung stand eine umfangreiche Datenbank aus früheren Klimakammer-Untersuchungen zur physiologischen Beanspruchung durch Hitzebelastungen zur Verfügung (Forsthoff et al. 2001; Ilmarinen 1978; Kampmann 2000; Kampmann & Bröde 2014; 2016; Wenzel et al. 1989).

Wir verwendeten Daten aus Versuchsserien von 5 jungen männlichen Probanden, deren Merkmale Tabelle 1 auflistet. Sie absolvierten überwiegend (>90% der Versuche) nur mit Shorts bekleidet Serien mit und ohne Hitzeakklimatisation von insgesamt 273 Klimaexpositionen bei mehrstündiger Laufbandarbeit mit 4 km/h Gehen in der Ebene.

Die Versuche erfolgten unter Hitzebedingungen. Die Lufttemperatur variierte von 25 - 55 °C, die Luftfeuchte von 0,5 - 5,3 kPa, die Luftgeschwindigkeit von 0,3 - 2,0 m/s, und die mittlere Strahlungstemperatur war gleich der Lufttemperatur.

Als Beanspruchungsgrößen dienten die Mittelwerte der in der dritten Expositionsstunde registrierten Rektaltemperaturen (Tre) und Herzschlagfrequenzen (HF) sowie die in der dritten Expositionsstunde gemessene Sauerstoffaufnahme (VO_2) als Indikator des Energieumsatzes.

Die Akklimatisierung der Probanden erfolgte bei Lufttemperaturen von 38 °C bis 40 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65 % bis zu 70 %, d.h. im feuchtwarmen Bereich. Als Abbruchkriterium der Klimaexposition wurde sowohl während der Akklimatisierungsperioden als auch während der späteren Einzelversuche eine Rektaltemperatur von $T_{re} = 38,5$ °C gewählt. - Die Akklimatisation wurde nach drei bis vier Wochen als beendet angesehen, wenn die Probanden sechs Arbeitsperioden von 30 Minuten im Klima verbringen konnten (zwischen den Arbeitsperioden waren jeweils 3 Minuten Arbeitspause innerhalb der Klimakammer zur Durchführung der Gewichtsmessungen, zur Bewertung der Hautbenetzung usw.), ohne dass die Rektaltemperatur 38,5 °C überschritt. Während der Versuchsserien wurde jeweils der Montag einer Woche zur Re-Akklimatisation – mit dem letzten Klima der Akklimatisationsperiode – angesetzt.

Für eine Untersuchung der Probanden im nichtakklimatisierten Zustand wurde das Winterhalbjahr gewählt, um eine mögliche „natürliche“ Akklimatisation (im Hinblick auf heißes Sommerwetter) zu verhindern, und es wurden nur zwei Untersuchungstage pro Woche durchgeführt, um eine Hitzegewöhnung auszuschließen.

Tabelle 1: Merkmalsverteilung für die fünf männlichen Probanden mit Mittelwert (AM), Standardabweichung (SD), Minimum (Min) und Maximum (Max)

Merkmals	AM	SD	Min	Max
Alter (J)	20.2	0.8	19.0	21.0
Körpermasse (kg)	71.4	7.5	63.0	83.0
Körperhöhe (cm)	183.8	2.5	180.0	186.0
Körperoberfläche (m ²)	1.9	0.1	1.8	2.1
max. Sauerstoffaufnahme - $VO_{2,max}$ (L/min)	3.5	0.6	2.6	4.1

In den 273 Experimenten lagen für 33 VO₂-Messungen keine Werte vor, hauptsächlich bei Proband 5 (vgl. Abb. 1), während nur 5 HF-Werte fehlten (verteilt über verschiedene Probanden).

Der Einfluss von Tre und Akkl auf VO₂ sowie HF wurde separat mittels Regressionsmodellen mit gemischt festen und zufälligen Effekten (Littell et al. 2006) zur Berücksichtigung der Korrelation abhängiger Beobachtungen untersucht.

3. Ergebnisse

3.1 Q₁₀-Effekt – Änderung von VO₂ mit Tre

Es ergab sich, wie in Abb. 1 dargestellt, eine mit Tre statistisch signifikante ($p < 0,01$) Zunahme für VO₂ (Abb. 1), die im Mittel für nicht-akklimatisierte Probanden von einem Ausgangswert von 705 mL/min bei thermisch neutraler Tre (36,8 °C) um 53 mL/min pro Grad Temperaturerhöhung anstieg.

Nach Akklimatisation war der Ausgangswert geringfügig und nicht-signifikant um 2 mL/min ($p = 0,85$, 95 % Konfidenz-Intervall [KI] -25 – +21 mL/min) niedriger und der Anstieg ebenfalls nicht-signifikant um 4 mL/min/°C höher ($p = 0,86$, 95 % KI -44 – +53 mL/min/°C). Somit entsprach der Anstieg unabhängig von Akklimatisationsstatus etwa 7 – 8 % des Ausgangswerts.

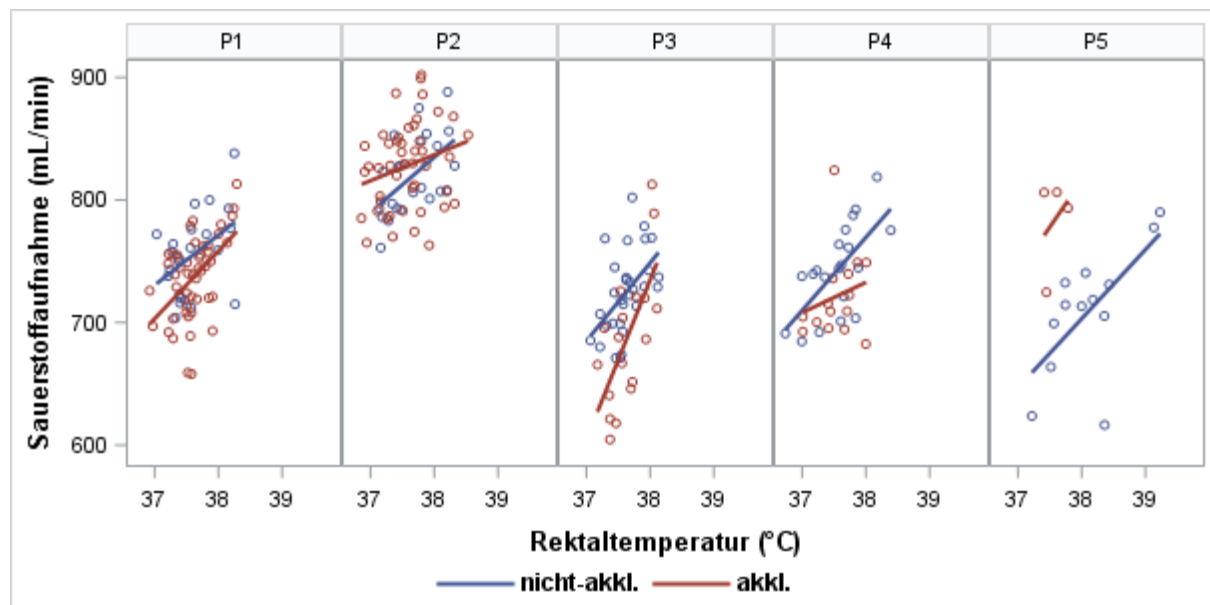


Abbildung 1: Einfluss der Rektaltemperatur auf die Sauerstoffaufnahme („Q₁₀-Effekt“) mit Regressionsgeraden in Abhängigkeit vom Akklimatisationsstatus für fünf Probanden (P1-P5).

3.2 Thermische Pulse – Änderung von HF mit Tre

Wie Abb. 2 zeigt, stieg auch HF mit Tre statistisch signifikant an ($p < 0,01$), und zwar für nicht-akklimatisierte Probanden von einem Ausgangswert von 72 bpm mit 38 bpm pro Grad Temperaturerhöhung.

Nach Akklimatisation war der Ausgangswert im Mittel nicht-signifikant um 3 bpm vermindert ($p = 0,12$; 95 % KI -7 – +1 bpm) sowie der Anstieg um 2 bpm/°C, ebenfalls nicht-signifikant, leicht erhöht ($p = 0,56$; 95% KI -4 – +7 bpm/°C).

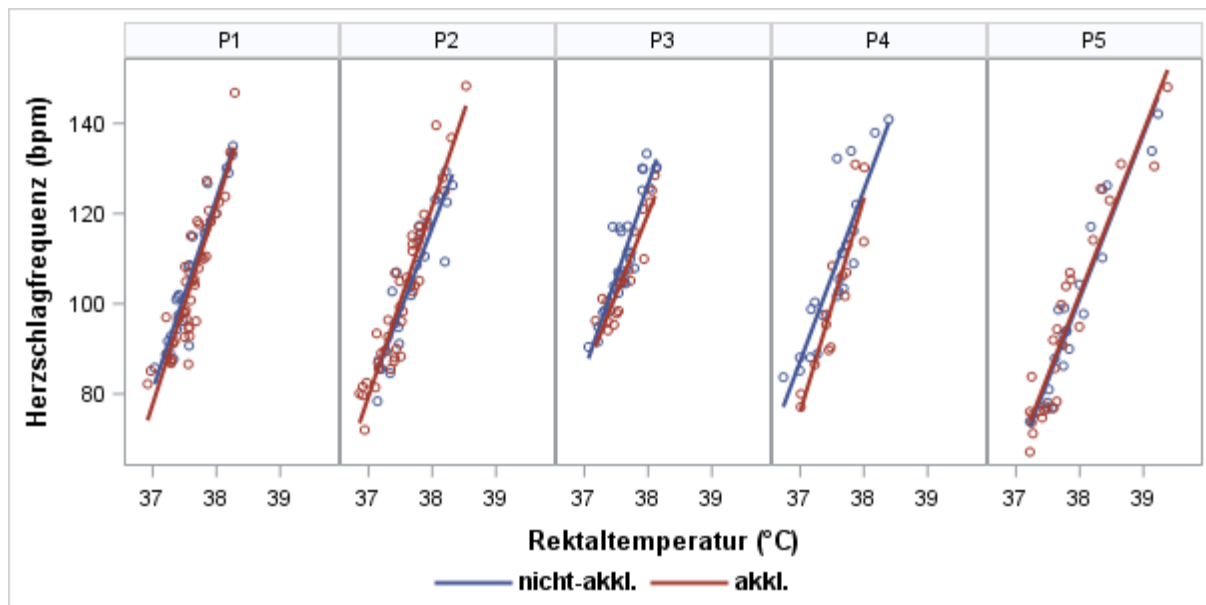


Abbildung 2: Einfluss der Rektaltemperatur auf die Herzschlagfrequenz („thermische Pulse“) mit Regressionsgeraden in Abhängigkeit vom Akklimationsstatus für fünf Probanden.

4. Diskussion und Schlussfolgerung

Die Höhe der hier für Tre ermittelten Einflüsse sind im Einklang mit früheren Befunden (Kampmann & Bröde 2014; 2016; Bröde & Kampmann 2017; 2018) sowohl für VO₂, wobei 7 – 8 % Anstieg einem Q₁₀-Faktor von etwa 2 entsprechen (Kampmann & Bröde 2014), als auch für die thermischen Pulse (Kampmann 2000) mit 38 – 40 bpm/°C, die mit den in ISO 9886 (2004) angegebenen 33 bpm/°C gut übereinstimmen.

In dieser Studie belegen wir aber erstmals die Unabhängigkeit dieser Relationen vom Akklimationsstatus.

Dies ist für die Formulierung entsprechender Verfahren wie z.B. ISO 8996 (2004) oder ISO 9886 (2004) zur Bewertung der physiologischen Beanspruchung bei Hitzearbeit von Bedeutung.

5. Literatur

- Bröde P, Kampmann B (2017) Individuelle Determinanten physiologischer Kosten der Wärmeregulation bei Hitzebelastung. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Ed) 63. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press, 1-6.
- Bröde P, Kampmann B (2018) Genauigkeit der Schätzung des Energieumsatzes aus der Herzschlagfrequenz bei Hitzebelastung – ein Beitrag zur Revision von ISO 8996. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Ed) 64. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. FOM Hochschule für Oekonomie & Management, Frankfurt/M: GfA-Press, 1-5.
- Bröde P, Schütte M, Kampmann B, Griefahn B (2009) Heat acclimation and its relation to resting core temperature and heart rate. *Occupational Ergonomics* 8:185-193.
- DIN EN ISO 7243 (2017) Ergonomie der thermischen Umgebung - Ermittlung der Wärmebelastung durch den WBGT-Index (wet bulb globe temperature) (ISO 7243:2017); Deutsche Fassung EN ISO 7243:2017. Berlin: Beuth Verlag.

- DIN EN ISO 7933 (2004) Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung durch Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung. Berlin: Beuth Verlag.
- Forsthoff A, Mehnert P, Neffgen H (2001) Comparison of laboratory studies with predictions of the required sweat rate index (ISO 7933) for climates with moderate to high thermal radiation. *Applied Ergonomics* 32:299-303.
- Ilmarinen R (1978) Einflüsse verschiedener Bekleidung auf einige physiologische Größen des Menschen bei Körperarbeit in unterschiedlich erhöhter Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit. Köln: Deutsche Sporthochschule Köln, Dissertation.
- ISO 8996 (2004) Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate. Geneva: International Organisation for Standardisation.
- ISO 9886 (2004) Ergonomics - Evaluation of thermal strain by physiological measurements. Geneva: International Organisation for Standardisation
- Kampmann B (2000) Zur Physiologie der Arbeit in warmem Klima. Ergebnisse aus Laboruntersuchungen und aus Feldstudien im Steinkohlenbergbau. Wuppertal: Bergische Universität Wuppertal, Habilitationsschrift.
- Kampmann B (2018) Zur indirekten Bestimmung des Energieumsatzes aus der Sauerstoffaufnahme – ein Beitrag zur Revision von ISO 8996. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Ed) 64. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press, 1-4.
- Kampmann B, Bröde P (2014) Physiologische Kosten von Hitzebelastung – Abschätzung eines „effektiven Q_{10} “-Effekts für Arbeit unter Klimabelastung. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Ed) 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press, 501-503.
- Kampmann B, Bröde P (2016) Physiologische Kosten von Hitzebelastung – Zunahme des Energieumsatzes mit steigender Körpertemperatur. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Ed) 62. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press, 1-6.
- Kampmann B, Kalkowsky B, Piekarski C (2001) Estimation of metabolic rate from cardiac frequency for field studies: correcting for “thermal pulses”. *Journal of Thermal Biology* 26:437-440.
- Littell RC, Milliken GA, Stroup WW et al. (2006) SAS® System for Mixed Models, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Wenzel HG, Mehnert C, Schwarzenau P (1989) Evaluation of tolerance limits for humans under heat stress and the problems involved. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*:7-14.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten

65. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

GfA-Press

Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,
Technische Universität Dresden;
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2019
ISBN 978-3-936804-25-6

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 Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband 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

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de