



Beeinflussung der Leistungsfähigkeit, der Körpertemperatur und des subjektiven Wärme- und Belastungsempfindens durch den Einsatz einer Ventilations-Kühlweste während einer Ausdauerbeanspruchung bei erhöhten Temperaturen

von Stengel, S., Heß, F., Bebenek, M., Kemmler, W.

Address correspondence to:

Dr. Simon von Stengel

Institute of Medical Physics

University of Erlangen

Henkestr. 91

91052 Erlangen

Tel: ++49 (9131) 8523999

Fax: ++49 (9131) 8522824

Email: simon.von.stengel@imp.uni-erlangen.de

Zusammenfassung

Hohe Temperaturen am Arbeitsplatz, wie sie bei bestimmten Berufsgruppen vorzufinden sind und warme klimatische Bedingungen, wie sie in vielen südlichen Ländern vorherrschen, stellen für den menschlichen Organismus, besonders während körperlicher Anstrengung, eine große Belastung dar und wirken sich ferner negativ auf die Leistungsfähigkeit und das subjektive Wohlbefinden aus.

In dieser Studie untersuchen wir die Wirkung einer Ventilations-Kühlweste ([ventilationVest][®], Entrak, Wendelstein, Germany) während körperlicher Belastung auf einem Laufband bei höheren Temperaturen. Ermittelt wurde der Einfluss der Weste auf die maximale Leistungsfähigkeit, die Körpertemperatur unterschiedlicher Regionen und das subjektive Wärme- und Wohlbefinden.

Die Wirkung der [ventilationVest][®] wurde unter zwei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen (30°C, 48% mittlere relative Luftfeuchtigkeit; 40°C, 34% mittlere relative Luftfeuchtigkeit) getestet. 19 männliche Probanden ($27,9 \pm 6,3$ Jahre) absolvierten unter beiden klimatischen Bedingungen jeweils zwei Stufen-Leistungstests auf einem Laufband bis zur subjektiven Ausbelastung. Die Probanden waren während der Tests mit einer Feuerschutzjacke bekleidet. Bei jeweils einem Test trugen die Probanden unter der Schutzjacke eine Ventilationsweste, wobei randomisiert die Hälfte der Probanden den ersten Test mit, die andere Hälfte ohne Kühlweste absolvierte.

Mittels der Methode der Spirometrie wurden während des Testes permanent spirometrische Parameter aufgezeichnet. Analog wurde die Herzfrequenz erfasst. Alle 10 Minuten wurden in einer 2-minütigen Pause folgende Messungen durchgeführt: Laktat, Körpertemperatur (rektal, tympanal, axillär, dermal). Ferner wurden auf jeder Belastungsstufe subjektive Parameter des Wärme- und Belastungsempfindens erfasst.

Insgesamt konnte durch den Einsatz der [ventilationVest][®] sowohl bei 30°C als auch bei 40°C eine signifikante Steigerung der Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden. Die bis Testabbruch geleistete Arbeit erhöhte sich durch die Weste bei 30°C um 13,6%, bei 40°C um 12,4%. Bei einer Raumtemperatur von 30°C war ein positiver Einfluss der [ventilationVest][®] auf die Körpertemperatur verschiedener Regionen zu verzeichnen. Die Herzfrequenz war bei 30°C während der Testläufe mit der Kühlweste bei gleicher Leistung im Mittel 5,2 Schläge niedriger. Ferner war ein beschleunigter Pulsabfall während der 2-minütigen Messpausen zu verzeichnen. Bei einer Raumtemperatur von 40°C konnten zwischen den Testläufen ohne und mit Weste hinsichtlich physiologischer Parameter keine Unterschiede nachgewiesen werden. Die subjektiv empfundene Wärme konnte durch die [ventilationVest][®] reduziert werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen den Einsatz der [ventilationVest][®], v.a. bei Temperaturen im Bereich von 30°C, zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen im Sinne einer Reduktion der thermischen

Belastung und Steigerung des subjektiven Wohlbefindens als sinnvoll erscheinen. Es kann angenommen werden, dass die [ventilationVest][®] durch die Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit die Arbeitsproduktivität positiv beeinflussen kann.

Material und Methoden

Probandenkollektiv

Im Mai 2007 wurden 19 freiwillige männliche Probanden über Aushänge an der Universität Erlangen-Nürnberg rekrutiert. Das Alter der Probanden betrug $27,9 \pm 6,3$ Jahre, das Gewicht $76,2 \pm 7,1$ kg. Nach der ersten Testphase bei 30°C, verweigerte ein Proband aus persönlichen Gründen die weitere Teilnahme an der Studie. Für die zweite Testphase bei 40°C konnte ein neuer Proband gewonnen werden. Das Alter der Probanden betrug bei der zweiten Testphase $27,4 \pm 6,2$ Jahre, das Gewicht $76,0 \pm 7,7$ kg. Alle Probanden wurden über Ziele und Risiken der Studie aufgeklärt und unterzeichneten eine Einverständniserklärung.

Testbedingungen

Jeder Proband absolvierte jeweils zwei Walking-Leistungstests bis zur subjektiven Ausbelastung bei zwei unterschiedlichen klimatischen Umgebungsbedingungen. In der ersten Testphase wurden die Tests bei 30°C, in der zweiten Testphase bei 40°C absolviert. Die Probanden trugen während der Tests eine Feuerwehr-Überjacke (Isotemp, Fa. Vorndamme OHG, Horn-Bad Meinberg, Deutschland) und eine lange Jogginghose. Unter der Feuerschutzjacke waren die Probanden mit einem langärmeligen, dünnen Baumwollshirt bekleidet. Bei allen vier Tests wurden von den Probanden jeweils dieselben Kleidungsstücke getragen. Bei jeweils einem der beiden Tests pro Testphase trugen die Probanden unter der Schutzjacke eine [ventilationVest][®], wobei randomisiert die Hälfte der Probanden den ersten Test mit, die andere Hälfte ohne Kühlweste absolvierte. Die einzelnen Tests erfolgten in einem Abstand von mindestens zwei Tagen.

Als Leistungstest wurde ein Walking-Stufentest auf einem Laufband (Uno Fitness LTX 5 Pro, Bonn, Germany) bei konstanter Steigung und ansteigender Geschwindigkeit ausgeführt. Die Steigung war konstant auf 15% eingestellt, die Geschwindigkeit wurde, ausgehend von 5 km/h, in 10-Minuten-Intervallen um 0,5 km/h erhöht. Alle 10 Minuten wurde die Belastung für zwei Minuten unterbrochen um die Temperatur- und die Laktatmessungen durchzuführen, wodurch sich ab der ersten Stufe eine intervallartige Belastung mit 8 Minuten Belastungs- und zwei Minuten Pausendauer ergab.

Die Temperatur wurde während beider Bedingungen über elektrische Heizgeräte (Gy 3300, Monza, Niederlande), die über einen Thermostaten (UT 100, Fuva GmbH, Erlangen, Deutschland) geregelt wurden, konstant gehalten. Während der Tests wurde die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit in 5 Minuten-Intervallen über das Messsystem 454 der Fa. Testo (Testo, Lenzkirch, Germany) aufgezeichnet. Während der ersten Testserie betrug die durchschnittliche Temperatur $30,4 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$, die mittlere relative Luftfeuchtigkeit $47,8 \pm 5,1\%$. Während der zweiten Testserie betrug die durchschnittliche Temperatur $40,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, die mittlere relative Luftfeuchtigkeit $33,7 \pm 2,3\%$. Vergleicht man jeweils die Umgebungsbedingungen der Tests ohne und mit Kühlweste, so waren diese bei 30°C und 40°C vergleichbar. Tabelle 1 listet die entsprechenden Mittelwerte mit Standardabweichungen auf. Auch der jeweilige Vergleich der Umgebungsbedingungen der einzelnen 10-Minuten Belastungs-Stufen ohne und mit Kühlweste bei 30 und bei 40°C ergibt keinen signifikanten Unterschied.

	30°C ohne Weste	30°C mit Weste	40°C ohne Weste	40°C mit Weste
Temperatur [C°]	$30,4 \pm 0,67$	$30,4 \pm 0,21$	$40,0 \pm 0,21$	$40,2 \pm 0,37$
Relative Luftfeuchtigkeit [%]	$45,7 \pm 7,4$	$49,9 \pm 5,12$	$32,9 \pm 3,36$	$34,6 \pm 3$

Tab.1: Mittelwerte der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit während der Tests ohne und mit [ventilationVest][®] bei 30°C und bei 40°C . Die Unterschiede sind nicht signifikant.

Messungen

Primärer Endpunkt der Studie stellt die körperliche Leistungsfähigkeit dar, die über die maximale Testdauer, bzw. die maximale Leistung sowie die bis zum Test-Abbruch geleistete Arbeit ermittelt wurde. Die physiologische Belastung wurde über die maximal erreichte Sauerstoffaufnahme erfasst. Als sekundäre Endpunkte wurden die Herzfrequenz, die Körpertemperatur unterschiedlicher Regionen, subjektive Parameter des Wärme- und Wohlbefindens und der Flüssigkeitsverlust erhoben. Laktatmessungen dienen der Bestimmung des Grades der metabolischen Ausbelastung.

Leistungsfähigkeit

Als Maß der Leistungsfähigkeit wurde die maximale Testdauer ermittelt. Die maximale Leistung wurde entsprechend der Jäger-Formel ($\text{Watt} = [v \cdot \text{KM} \cdot (2,05 + \text{Steigung} \cdot 0,29) - 0,26 \cdot \text{KM} - 151] / 10,5$; v = Geschwindigkeit in km/h; Steigung = Steigung in %; KM = Körpermasse in Kilogramm) aus der Steigung (15%), der Geschwindigkeit des Laufbandes auf der letzten Stufe und dem Gewicht des Probanden berechnet. Die insgesamt geleistete Arbeit wurde als Summe der auf den einzelnen Stufen

geleisteten Arbeit berechnet. Die auf den einzelnen Stufen geleistete Arbeit stellt jeweils das Produkt von der auf der Stufe realisierten Leistung und der Stufendauer dar.

Spiroergometrie

Mittels der Methode der Spirometrie wurden während der Tests permanent respiratorische Parameter abgeleitet. Hierfür wurde das Spirometriesystem Oxicon mobile der Fa. Viasys eingesetzt (Viasys, Conshohocken, PA, USA). Die spirometrischen Werte wurden „Atemzug für Atemzug“ erfasst und in 30-Sekunden Intervallen jeweils als Mittelwert aufgezeichnet. Als zentrale Größe wurde als Maß der Ausdauerleistung die maximal erreichte Sauerstoffaufnahme ermittelt. Um jeweils einen direkten Vergleich der Werte mit und ohne Weste auf unterschiedlichen Belastungsstufen zu ermöglichen, wurde für jedes Belastungsintervall der Mittelwert gebildet. Um sicherzustellen, dass die Probanden nach der Messpause bereits im „Steady-State“ hinsichtlich respiratorischer Werte und Stoffwechsel waren, wurden hierbei nur die letzten fünf Minuten der 10-Minuten-Intervalle berücksichtigt.

Herzfrequenzmessung

Die Herzfrequenz als Maß der Belastung des Herz-Kreislauf-Systems wurde über ein Pulsgurt der Fa. Polar (T-61, Polar Electro GmbH, Büttelborn, Deutschland) in Kombination mit dem Viasys Spirometriesystem kontinuierlich erfasst und 30-sekündlich entsprechend als Mittelwert aufgezeichnet. Um einen Vergleich der Werte mit und ohne Weste auf unterschiedlichen Belastungsstufen zu ermöglichen, wurde auch beim Puls der Mittelwert der letzten fünf Minuten jedes Belastungsintervalls gebildet. Als Maß für die Erholung (Erholungsindex) wurde ferner die Differenz zwischen maximalem Puls während der Belastung und dem minimalen Puls während der folgenden 2-minütigen Messpause bestimmt.

Temperaturmessungen

Die Körpertemperatur wurde unmittelbar vor dem Test und nach jedem Belastungsintervall in der 2-minütigen Messpause rektal, tympanal, axillär und an der Haut des Brustkorbes erfasst. Die rektale Temperatur wurde mittels des Thermometers Dermotherm Rapid der Fa. Uebe (Uebe medical GmbH, Wertheim, Germany) erfasst. Die Probanden wurden auf eine ausreichend große Einführtiefe hingewiesen. Die Bestimmung der Temperatur im Ohr erfolgte mit dem Gerät Thermoscan der Fa. Braun (Braun GmbH, Kronberg, Germany). Die Erfassung der axillären Temperatur erfolgte ebenfalls mittels des Thermometers Dermotherm Rapid. Das Thermometer wurde hierfür in der Mitte der Axel platziert, danach wurde der Arm maximal adduziert und in dieser Position bis zum Ende der Messung gehalten. Die Bestimmung der Hauttemperatur am Brustkorb erfolgte über einen Temperatursensor, der an der

Innenfläche des Polar Pulsgurtes angebracht war (Eigenkonstruktion IMP). Das Gerät mit digitaler Anzeige befand sich in der Jackentasche der Probanden und wurde jeweils zum Ablesen herausgenommen.

Laktatdiagnostik

Die Bestimmung des Blut-Laktatwertes erfolgte vor dem Test (Ruhelaktat) und unmittelbar nach jeder Belastungsstufe, vor der rektalen Temperaturmessung, simultan mit der axillären Temperaturmessung am Gegenarm. Es wurde jeweils an der Beere eines Fingers ein Blutropfen entnommen und mit dem Gerät Lactat Scout (SensLab, Leipzig, Deutschland) analysiert.

Subjektive Wärme- und Belastungsparameter

Vor dem Test und während der letzten 30 Sekunden jeder Stufe wurden Parameter des subjektiven Wärme- und Belastungsempfindens erfasst. Zur Erhebung des subjektiven Belastungsempfindens wurde die Borg-Skala verwendet. Auf der Borg-Skala bewerteten die Probanden die empfundene Anstrengung von 6 (keine Anstrengung) bis 20 (größtmögliche Anstrengung). Die Ermittlung des subjektiven Wärmeempfindens erfolgte in Anlehnung an die Borg-Skala auf einer Skala von 6 (neutral) bis 20 (sehr heiß). Analog wurde die Hitzeakzeptanz über eine Skala von 0 bis 3 erfasst (0 = akzeptabel; 1 = gerade noch akzeptabel; 2 = gerade nicht akzeptabel; 3 = unakzeptabel). Zu den Erhebungszeitpunkten wurden die Probanden gebeten auf der jeweiligen Skala auf den entsprechenden Wert zu deuten.

Flüssigkeitsverlust

Der Flüssigkeitsverlust wurde über die Bestimmung der Differenz des Körpergewichts unmittelbar vor und nach dem Test mit der Wage TBF-305 der Fa. Tanita (Tanita, Japan) ermittelt. Die Erfassung des Körpergewichts erfolgte mit minimaler Bekleidung (Unterhose).

Statistische Auswertung

Soweit nicht anderes beschrieben stellen alle dargestellten Werte die Mittelwerte (der Testläufe ohne und mit [ventilationVest][®]) mit Standardabweichungen dar. Um den Einfluss der [ventilationVest][®] zu ermitteln, wurden bei den Parametern der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Normalverteilung die Mittelwerte der Maxima der Läufe ohne und mit [ventilationVest][®] mit t-Tests für gepaarte Stichproben auf signifikante Unterschiede analysiert. Bei nicht normal verteilten Variablen wurde alternativ ein Wilcoxon-Test durchgeführt. Analog wurden für die physiologischen Parameter Herzfrequenz und Temperatur jeweils die Messwerte der einzelnen Stufen entsprechend verglichen. Hierbei wurden nur die Stufen berücksichtigt, bei denen die Probandenanzahl für die statistische Analyse noch ausreichend war.

Bei 30°C wurden vier, bei 40°C drei Stufen analysiert. Alle Analysen wurden mit SPSS Version 14.0 durchgeführt.

Ergebnisse

Ausdauerleistung

Tabelle 2 stellt die erhobenen Parameter der Leistungsfähigkeit bei 30°C mit und ohne [ventilationVest][®] dar: Maximale Zeit, maximale Sauerstoffaufnahme, maximale Leistung und insgesamt geleistete Arbeit. Tabelle 3 stellt diese Parameter der zweiten Testphase bei 40°C dar. Bei einer Raumtemperatur von 30°C wurde für alle Parameter ein hoch signifikanter Unterschied zwischen den Testläufen ohne und mit Kühlweste erfasst. Durch die Verwendung der Weste wurde die maximale Testzeit um 17,3% gesteigert, während sich die insgesamt geleistete Arbeit um 13,6% erhöhte. Mit Ausnahme der maximalen Leistung konnten auch bei 40°C bezüglich der Leistungsparameter signifikante Unterschiede zwischen den Läufen ohne und mit Weste verzeichnet werden. So wurde mit Ventilationsweste eine um 14,3% längere Testdauer realisiert und eine um 12,4 % größere Arbeit geleistet.

	30°C ohne Weste	30°C mit Weste	Unterschied [%]	P-Wert
Maximale Zeit [min]	39,4 ± 9,6	46,2 ± 10,3	17,3	0,001
VO _{2max} [ml/kg/min]	42,5 ± 5,5	46,1 ± 4,6	8,5	0,003
Maximale Leistung [Watt]	277,0 ± 34,5	300,7 ± 36,5	8,6	0,000
Arbeit insgesamt [kJ]	521,0 ± 163,8	591,7 ± 164,3	13,6	0,000

Tab. 2: Maximale Zeit unter Belastung, maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}), maximale Leistung und geleistete Arbeit bei 30°C mit und ohne [ventilationVest][®].

	40°C ohne Weste	40°C mit Weste	Unterschied [%]	P-Wert
Maximale Zeit [min]	33,6 ± 8,2	38,4 ± 9,0	14,3	0,000
VO _{2max} [ml/kg/min]	41,1 ± 4,6	44,8 ± 4,7	9,0	0,000
Maximale Leistung [Watt]	258,2 ± 36,9	265,4 ± 35,9	2,8	n.s.
Arbeit insgesamt [kJ]	416,1 ± 123	467,6 ± 132,2	12,4	0,001

Tab. 3: Maximale Zeit unter Belastung, maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}), maximale Leistung und geleistete Arbeit bei 40°C mit und ohne [ventilationVest]®.

Spiroergometrie

Die spiroergometrischen Ergebnisse bezüglich maximaler Sauerstoffaufnahme wurden bereits oben aufgeführt. Für die spirometrischen Werte der einzelnen Belastungsstufen (Sauerstoffaufnahme, Ventilation, respiratorischer Quotient, Atemäquivalent), konnten weder bei 30° noch bei 40°C signifikante Unterschiede zwischen den Testläufe mit und ohne [ventilationVest]® festgestellt werden.

Herzfrequenzmessung

Abbildung 1 stellt den Verlauf der Herzfrequenz während des Laufbandtests ohne und mit [ventilationVest]® bei 30° und 40 °C dar. Bei 30°C konnten im zweiten und dritten Belastungsintervall signifikant niedrigere Werte zu Gunsten der Läufe mit [ventilationVest]® festgestellt werden. Im Durchschnitt war der Puls unter Belastung mit Weste um 5,2 Schläge niedriger. Bei 40°C unterschied sich die Herzfrequenz bei den Läufen ohne und mit Kühlweste nicht. Tabelle 4 stellt die maximale Herzfrequenz bei Testabbruch dar. Bei 30°C war trotz längerer Testdauer und höherer Leistung kein Unterschied der maximalen Herzfrequenz ohne und mit [ventilationVest]® zu verzeichnen (183,3 ± 8,2 vs. 185,4 ± 8,4; Unterschied 1,21%).

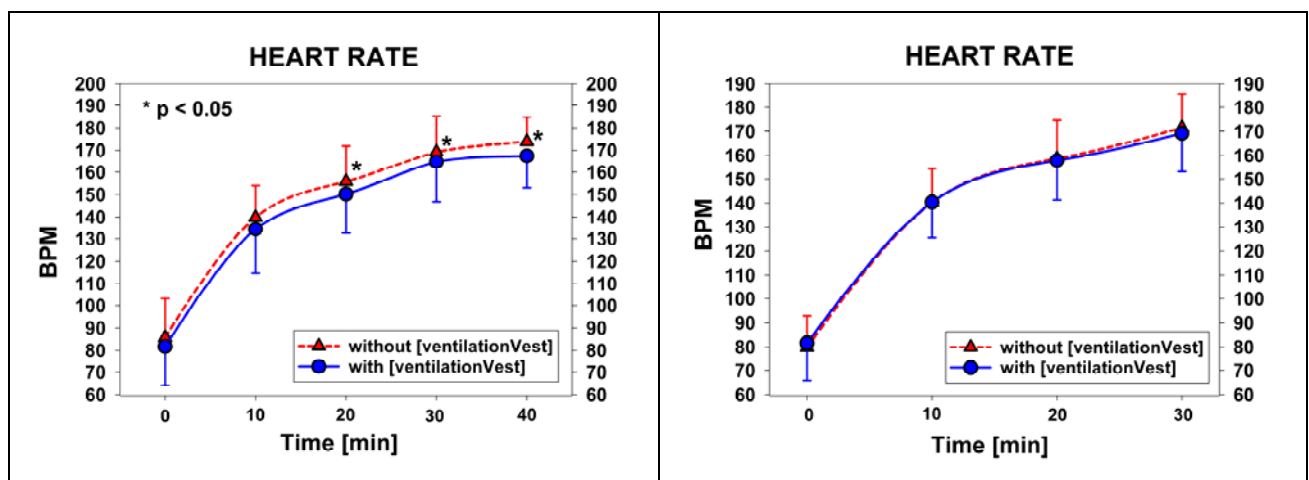


Abb. 1: Herzfrequenz während der Laufbandtests ohne und mit [ventilationVest]® bei 30° (links) und 40 °C (rechts).

Tabelle 4 stellt die maximale Herzfrequenz zum Zeitpunkt der Ausbelastung dar. Bei 30°C war trotz längerer Testdauer und höherer realisierter Leistung kein Unterschied ohne und mit [ventilationVest][®] hinsichtlich der maximalen Herzfrequenz zu verzeichnen. Bei 40°C hingegen fiel, verbunden mit der längeren Testdauer, der maximale Puls bei den Läufen mit Weste höher aus.

	ohne Weste	mit Weste	Unterschied [%]	P-Wert
Puls _{max} bei 30°C	183,21 ± 8,16	185,42 ± 8,43	1,21%	n.s.
Puls _{max} bei 40°C	179,42 ± 9	183,74 ± 9,15	2,41%	0,015

Tab. 4: Maximale Pulswerte zum Zeitpunkt der Ausbelastung ohne und mit [ventilationVest][®] bei 30°C und 40°C.

Abbildung 2 stellt den Erholungsindex als Differenz der maximalen Herzfrequenz während der Belastung und der minimalen Herzfrequenz während der folgenden 2-minütigen Pause für die einzelnen Belastungsintervalle dar. Bei 30°C Umgebungsbedingungen war mit Kühlweste ein signifikant stärkerer Abfall des Pulses nach allen Belastungsphasen zu verzeichnen als ohne Weste. Während der Abfall ohne Weste im Durchschnitt 27,4 Schläge/Minute betrug, konnte mit [ventilationVest][®] ein Abfall von 32,6 Schlägen/Minute festgestellt werden. Der Erholungsindex war somit mit Ventilationsveste um 5,2 Schläge höher, bzw. 19% größer als ohne Weste. Bei 40° konnten keine Unterschiede im Pulsabfall für die Testläufe ohne und mit [ventilationVest][®] erfasst werden.

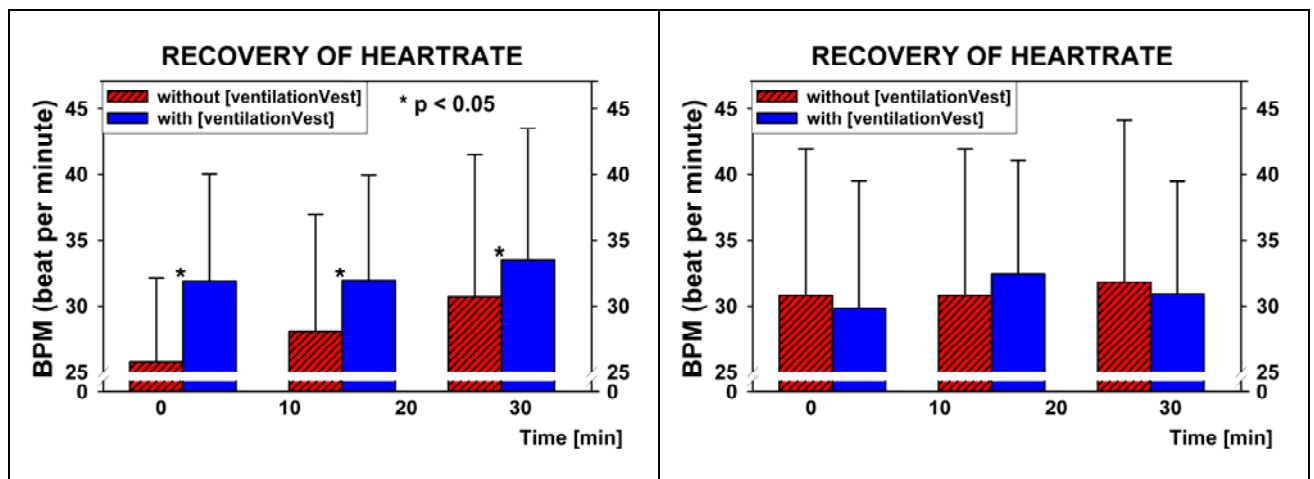


Abb. 2: Erholungsindex als Differenz der maximalen Herzfrequenz während der Belastung und der minimalen Herzfrequenz während der folgenden 2-minütigen Pause als Maß für die Erholung bei 30° (links) und 40°C (rechts).

Temperaturmessungen

Abbildung 3 stellt den Verlauf der Körpertemperatur der gemessenen Regionen bei 30°C Raumtemperatur dar. Eine Betrachtung der Kurven lässt erkennen, dass die Temperaturwerte mit Kühlweste für alle Regionen niedriger ausfallen als ohne Weste. Die größten Unterschiede waren im Bereich der Haut des Brustkorbes mit signifikanten Unterschieden nach allen Belastungsintervallen zu

verzeichnen. Der mittlere Temperaturunterschied während der Belastung betrug in diese Region 2,0°C. Bei der axillären Messung zeigten sich signifikante Unterschiede ab der ersten Belastungsstufe im Mittel von 0,42°C. Für die tympanalen Messungen wurde der Unterschied nach 40 Minuten signifikant. Hier sei auf einen tendenziell höheren Basiswert während der Läufe mit Kühlweste hingewiesen. Korrigiert man die tympanalen Temperaturmessungen hinsichtlich des Basiswertes, indem man die Temperaturveränderung über der Zeit bewertet, so beträgt der Unterschied für diese Region bei 40 Minuten 0,52°C. Für die rektalen Messungen sind zunehmende Differenzen der Temperaturkurven ohne und mit Weste über der Zeit zu verzeichnen, wobei die Unterschiede nicht signifikant waren. Bei 40 Minuten betrug die Differenz 0,27°C. Abbildung 4 stellt entsprechend die absoluten Veränderungen der Körpertemperatur der rektalen und tympanalen Regionen während des Laufbandtests ohne und mit [ventilationVest]® bei 30°C dar und trägt damit dem zufälligen Temperaturunterschied zu Testbeginn Rechnung. Da diese Regionen hinsichtlich Temperaturveränderungen eher „träge Systeme“ darstellen und ferner ein höherer Eingangswert mit Weste zu Testbeginn nicht erklärbar ist, ist eine entsprechende Korrektur hinsichtlich des Basiswertes sinnvoll. Bei den Regionen Achsel und Haut hingegen handelt es sich um Regionen, die schneller reagieren und demnach schon kurze Zeit nach Anlegen der Weste von der Luftzirkulation beeinflusst werden. Eine entsprechende Korrektur für diese Regionen wäre demnach weder sinnvoll noch zulässig.

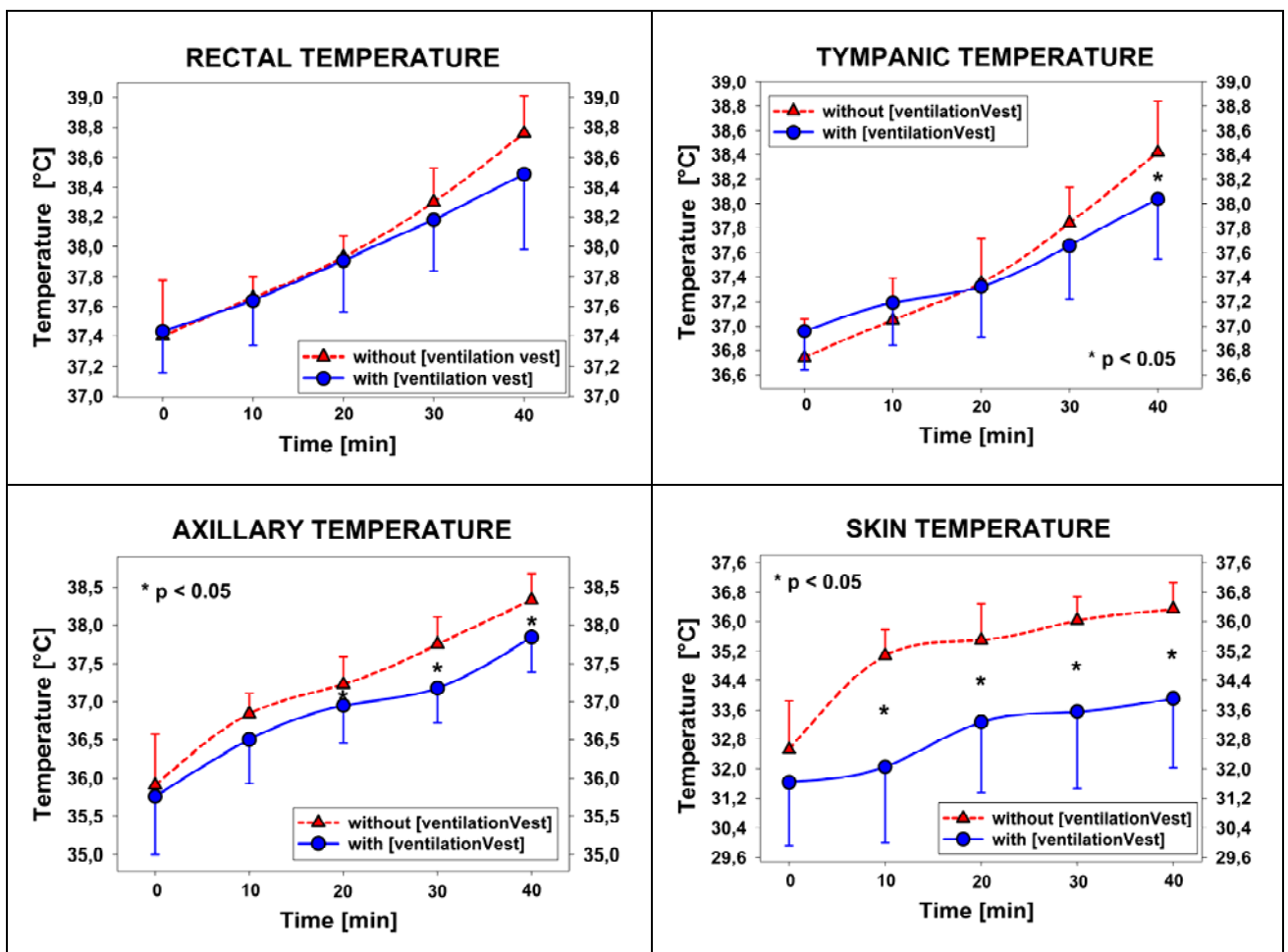


Abb. 3: Körpertemperatur unterschiedlicher Regionen während des Laufbandtests ohne und mit [ventilationVest]® bei 30°C.

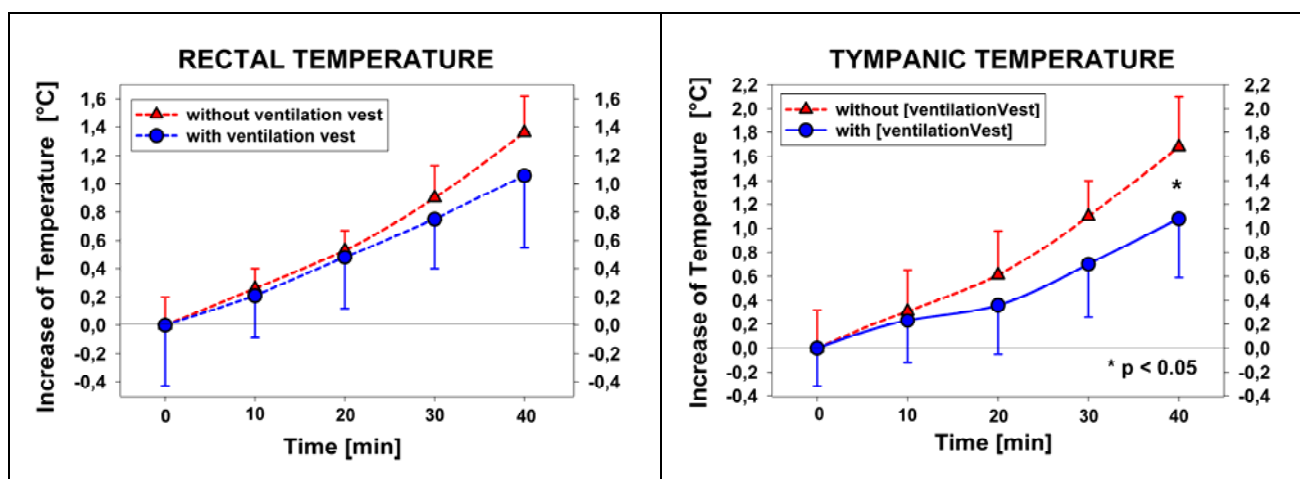


Abb. 4: Absolute Veränderung der Körpertemperatur der rektalen und tympanalen Regionen während des Laufbandtests ohne und mit [ventilationVest]® bei 30°C.

Tabelle 5 stellt die maximalen Temperaturen der gemessenen Körperregionen zum Zeitpunkt des Testabbruchs bei 30°C dar. Die Temperaturen ohne und mit [ventilationVest]® unterscheiden sich, trotz längerer Belastungsdauer bei den Läufen mit Weste, mit Ausnahme der Hauttemperatur nicht. Im Bereich der Körperoberfläche traten mit Weste sogar signifikant niedrigere Werte auf.

	30°C ohne Weste	30°C mit Weste	Unterschied [%]	P-Wert
Temp _{rect} max.	38,82 ± 0,48	38,88 ± 0,48	0,15%	n.s.
Temp _{tymp} max.	38,37 ± 0,68	38,41 ± 0,49	0,10%	n.s.
Temp _{axil} max.	38,29 ± 0,63	38,07 ± 0,67	-0,57%	n.s.
Temp _{Haut} max.	35,23 ± 1,24	33,39 ± 1,93	-5,22%	0,001

Tab. 5: Maximale Temperaturen der unterschiedlichen Regionen zum Zeitpunkt des Testabbruchs ohne und mit [ventilationVest]® bei 30°C.

Abbildung 5 stellt den Verlauf der Körpertemperatur der unterschiedlichen Regionen bei 40°C Raumtemperatur dar. In allen Regionen zeigen sich hinsichtlich der Entwicklung der Temperatur Tendenzen zu Gunsten der Läufe mit Weste. Jedoch konnten weder für die absoluten Werte, noch für die δ -Werte in Bezug zur Baseline signifikante Unterschiede zwischen den Tests ohne und mit [ventilationVest]® festgestellt werden. Vergleicht man die Entwicklung der tympanalen und der rektalen Temperatur (δ -Werte), so ergeben sich Unterschiede zwischen den Läufen ohne und mit Ventilationsweste von 0,25°C für die rektale und 0,3°C für die tympanale Region (n.s.). Abbildung 6 stellt entsprechend die absoluten Veränderungen der Körpertemperatur der rektalen und tympanalen Regionen während des Laufbandtests ohne und mit [ventilationVest]® bei 30°C dar und trägt damit dem Temperaturunterschied zu Testbeginn Rechnung.

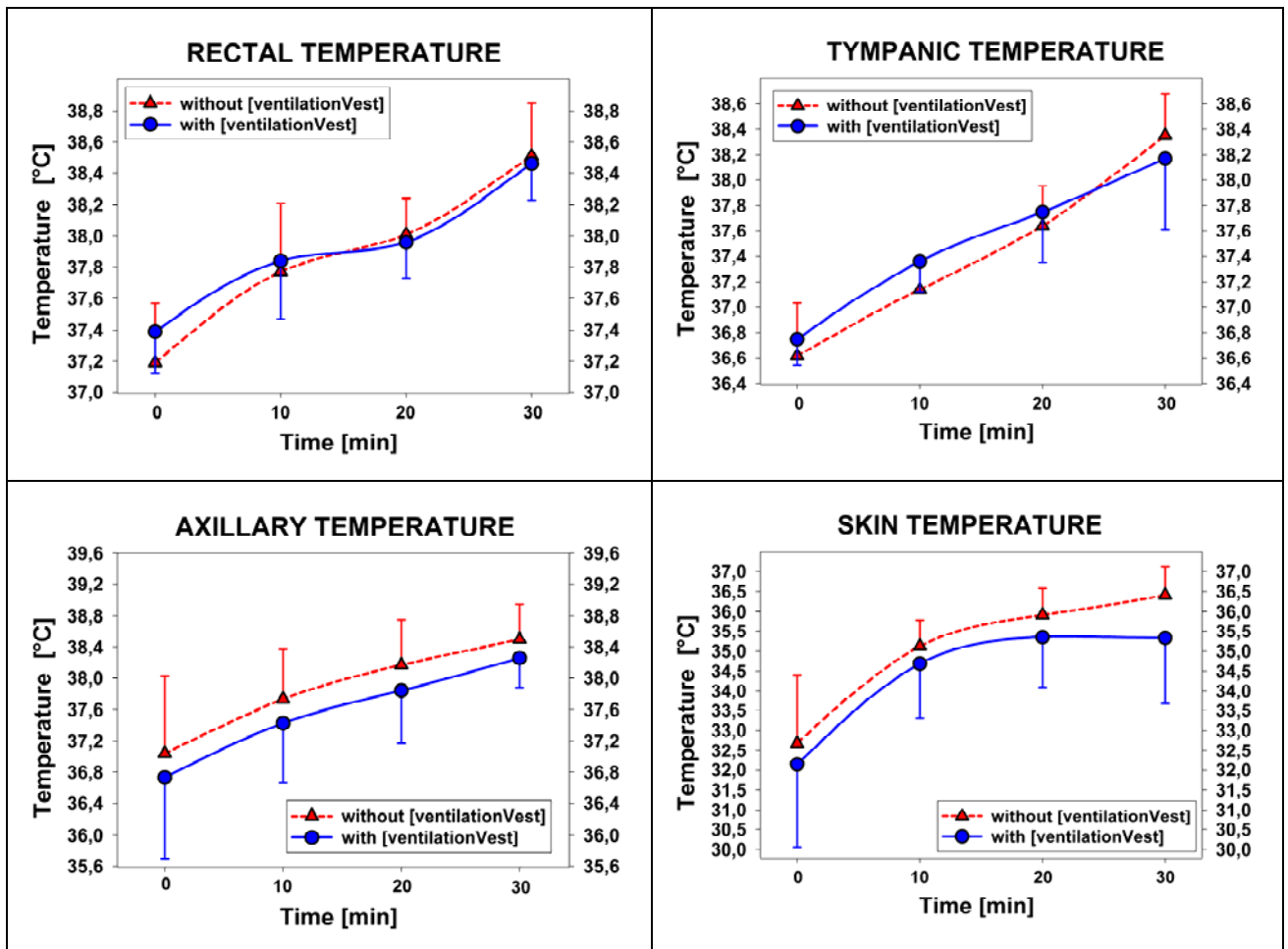


Abb. 5: Körpertemperatur unterschiedlicher Regionen während des Laufbandtests ohne und mit [ventilationVest][®] bei 40°C.

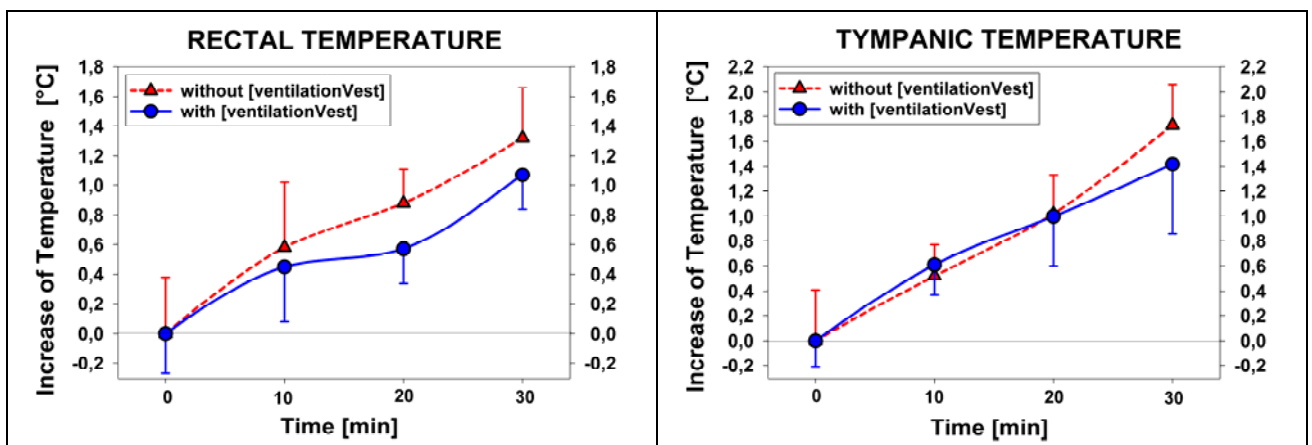


Abb. 6: Absolute Veränderung der Körpertemperatur der rektalen und tympanalen Regionen während des Laufbandtests ohne und mit [ventilationVest][®] bei 40°C.

Tabelle 6 stellt die maximalen Temperaturen der unterschiedlichen Regionen bei Testabbruch bei 40°C dar. Verbunden mit der längeren Belastungsdauer traten rektal und tympanal bei den Läufen mit [ventilationVest][®] höhere Werte auf. Im Bereich der Körperoberfläche hingegen fallen die Werte mit [ventilationVest][®] niedriger aus.

	40°C ohne Weste	40°C mit Weste	Unterschied [%]	P-Wert
Temp _{rect} max.	38,71 ± 0,56	38,95 ± 0,52	0,62%	0,014
Temp _{t ymp} max.	38,41 ± 0,65	38,69 ± 0,72	0,73%	0,028
Temp _{axil} max.	38,81 ± 0,57	38,69 ± 0,49	-0,31%	n.s.
Temp _{Haut} max.	35,57 ± 0,93	34,92 ± 1,13	-1,83%	0,007

Tab. 6: Maximale Temperaturen der unterschiedlichen Regionen zum Zeitpunkt des Testabbruchs ohne und mit [ventilationVest][®] bei 40°C.

Laktatdiagnostik

Tabelle 7 stellt die maximalen Laktatwerte direkt nach dem Abbruch des Leistungstests ohne und mit [ventilationVest][®] bei 30°C und 40°C dar. Bei 30°C wurde bei den Testläufen mit Weste entsprechend der längeren Dauer bzw. höheren Leistung ein höherer Laktatwert erreicht. Für die nach den einzelnen Belastungsstufen erhobenen Laktatwerte konnten jeweils weder bei 30° noch bei 40°C signifikante Unterschiede für die Testläufe mit und ohne [ventilationVest][®] festgestellt werden.

	ohne Weste	mit Weste	Unterschied [%]	P-Wert
Laktatwert _{max} bei 30°C	4,6 ± 2,1	5,8 ± 2,1	26,1	0,013
Laktatwert _{max} bei 40°C	4,4 ± 1,8	4,7 ± 1,7	6,8	n.s.

Tab. 7: Maximale Laktatwerte zum Zeitpunkt der Ausbelastung ohne und mit [ventilationVest][®] bei 30°C und 40°C.

Subjektive Wärme- und Belastungsparameter

Abbildung 7 zeigt die subjektiven Parameter Wärmeempfinden und Hitzeakzeptanz. Für das Hitzeempfinden bestanden signifikante Unterschiede zwischen den Läufen ohne und mit Kühlweste vor Testbeginn, nach 10, 20 und 30 Minuten zu Gunsten der Läufe mit der [ventilationVest][®]. Ebenso zeigen sich signifikante Unterschiede für die Hitzeakzeptanz nach 30 und 40 Minuten. Ähnlich stellten sich die

Unterschiede bei den 40°C Messungen dar (Abb. 8), die beim Wärmeempfinden und bei der Hitzeakzeptanz nach 10, 20 und 30 Minuten signifikant waren.

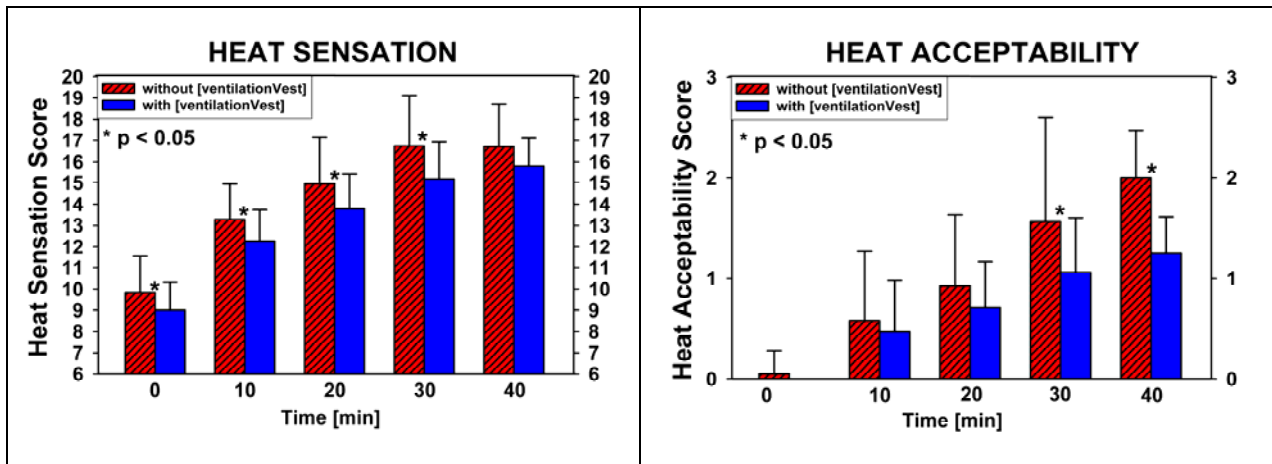


Abb. 7: Subjektives Wärmeempfinden (links) und Hitzeakzeptanz (rechts) während des Laufbandtests ohne und mit [ventilationVest][®] bei 30°C.

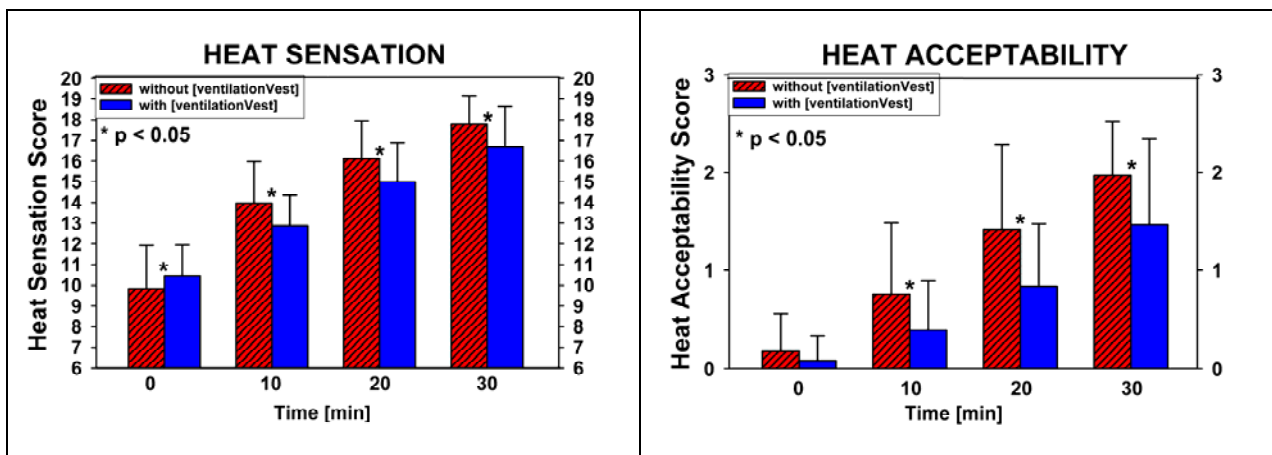


Abb. 8: Subjektives Wärmeempfinden (links) und Hitzeakzeptanz (rechts) während dem Laufbandtest ohne und mit [ventilationVest][®] bei 40°C.

Abbildung 9 stellt das subjektive Belastungsempfinden dar. Das Belastungsempfinden war ohne Kühlweste höher als mit der [ventilationVest][®], wobei nur der Unterschied nach 20 Minuten signifikant war.

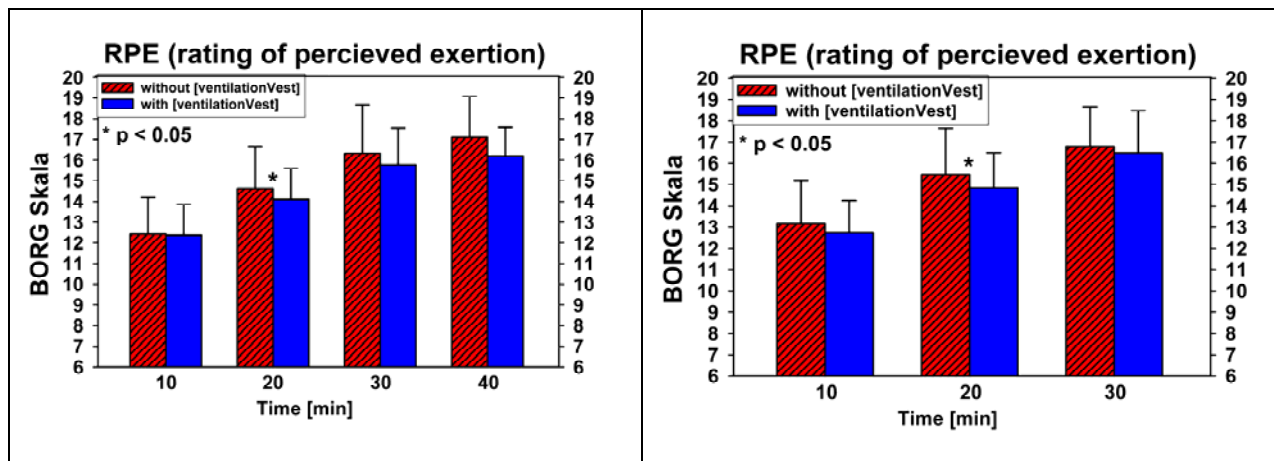


Abb. 9: Subjektives Belastungsempfinden während des Laufbandtests ohne und mit [ventilationVest][®] bei 30° (links) und 40°C (rechts).

Flüssigkeitsverlust

Tabelle 8 listet den Flüssigkeitsverlust ohne und mit [ventilationVest][®] bei 30°C und 40°C auf. Bei 30°C war der Flüssigkeitsverlust mit [ventilationVest][®] tendenziell, bei 40°C signifikant höher als ohne Ventilationsweste. Die längere Testdauer von 17,3% bei 30°C und 14,3% bei 40°C muss bei der Wertung dieser Ergebnisse berücksichtigt werden.

	ohne Weste	mit Weste	Unterschied [%]	P-Wert
Füssigkeitsverlust bei 30°C	1,2 ± 0,4	1,34 ± 0,6	11,7	n.s.
Füssigkeitsverlust bei 40°C	1,0 ± 0,4	1,2 ± 0,5	20,0	0,003

Tab. 8: Flüssigkeitsverlust ohne und mit [ventilationVest][®] bei 30°C und 40°C.

Diskussion

Insgesamt konnte durch die Verwendung der [ventilationVest][®] sowohl bei 30°C als auch bei 40°C eine deutliche Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden. Die in der vorliegenden Studie erfasste Steigerung der entsprechenden Parameter: Maximale Belastungszeit, maximale Leistung und insgesamt geleistete Arbeit besitzen höchste Relevanz im Zusammenhang mit der Produktivität in Arbeitsbereichen, die erhöhten thermischen Belastungen ausgesetzt sind. Bei einer Raumtemperatur von 30°C war ein signifikant positiver Einfluss der [ventilationVest][®] auf die Körpertemperatur verschiedener Regionen zu verzeichnen. Als Indiz einer verminderten thermischen Belastung und einer verminderten Gesamtbelastung des Organismus war die Herzfrequenz während der Testläufe mit der [ventilationVest][®] bei gleicher Leistung im Mittel 5,2 Schläge niedriger. Auffallend ist das deutlich gesteigerte Absenken des Pulses während der 2-minütigen Messpausen als Indiz einer beschleunigten Erholung des Organismus. Demnach könnte die Wirkung der [ventilationVest][®] bei intervallähnlicher Belastung besonders zum Tragen kommen. Bei einer Raumtemperatur von 40°C war eine Wirkung auf die gemessenen physiologischen Parameter nicht nachweisbar. Als Erklärung für diese Ergebnisse sei in diesem Zusammenhang auf die grundlegenden Mechanismen der Wärmeabgabe von der Körperschale an die Umgebung über Konvektion, Konduktion, Radiation und Verdunstung hingewiesen. Die Luftzirkulation einer Ventilationsweste steigert die Wärmeabgabe durch eine Erhöhung der Schweißverdunstung und durch eine Steigerung der Konvektion, die den Wärmeabgabemechanismus der Konduktion unterstützt. Da die Möglichkeit der „trockenen Wärmeabgabe“ über Konvektion, Konduktion und Radiation stark von der Temperaturdifferenz zwischen Körper und Umgebung abhängt, kommen diese Mechanismen bei 40°C weniger zum Tragen und die Möglichkeit der [ventilationVest][®] zur Steigerung der Wärmeabgabe ist bei dieser Temperatur im Vergleich zu 30°C reduziert.

Hinsichtlich der subjektiven Parameter des Wärmeempfindens und der Hitzeakzeptanz konnte unter beiden Temperaturbedingungen eine Wirkung der [ventilationVest][®] nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse besitzen eine hohe Relevanz im Zusammenhang mit dem subjektiven Wohlbefinden am Arbeitsplatz und der Arbeitsmotivation.

Bei der Beantwortung der Fragestellung war ein verblindetes Placebo-kontrolliertes Studiendesign nicht möglich. Bei dem verwendeten Design stellt sich die Frage, ob eine positive Erwartungshaltung im Sinne eines „Placebo-Effektes“ eine leistungssteigernde Wirkung generieren konnte. Die Tatsache, dass sich bei 30°C sowohl die maximalen Temperaturen als auch die maximale Herzfrequenz zum Zeitpunkt des Testabbruchs ohne und mit Weste, trotz längerer Testdauer mit Weste, nicht unterschieden, deutet auf eine ähnliche thermische Belastung und Belastung des Herz-Kreislauf-Systems hin, die zum Abbruch geführt haben. Bei 40°C stellt sich jedoch ein anderes Bild dar. Hier traten bei Testabbruch mit Weste höhere Werte hinsichtlich Herzfrequenz, rektaler und tympanaler Temperatur auf. Angesichts der Tatsache, dass die Probanden unbefangen wahren und ohne Motivationshilfe instruiert wurden den Test jeweils bis zur Ausbelastung zu absolvieren und angesichts der deutlichen Unterschiede bei der körperlichen Leistungsfähigkeit und dem subjektiven Befinden gehen wir jedoch von einer eindeutigen Wirkung der [ventilationVest][®] aus.

Zusammenfassend zeigte die [ventilationVest][®] nur bei 30°C einen Einfluss auf physiologische Parameter, während die Leistungsfähigkeit und subjektive Parameter des Wärme- und



Belastungsempfindens durch die Weste bei 30° und bei 40°C beeinflusst wurden. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen den Einsatz der [ventilationVest][®], v.a. bei Temperaturen im Bereich von 30°C, zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen im Sinne einer Reduktion der thermischen Belastung als sinnvoll erscheinen.