

Lorenz R¹, Franz K², Krieger S¹, Zeilberger K¹, Jeschke D¹

Dynamische Leistungsfähigkeit bei reduzierter Wärmeabgabe in Feuerwehrschanzügen

Dynamic physical performance during decreased heat exchange in firefighter protective clothings

¹ Lehrstuhl und Poliklinik für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin der TU München

² TUM-Werkfeuerwehr Garching

Zusammenfassung

Es wurde der Einfluss des verminderten Wärmeaustausches während Belastung in Feuerwehrschanzügen auf die dynamische Leistungsfähigkeit untersucht. Sechs Berufsfeuerwehrmänner (37 ± 12 Jahre) wurden zuerst in Sportkleidung einer stufenweise ansteigenden Ergometrie im Gehen auf dem Laufband unterzogen, einschl. Spirometrie und Messung des Blutlaktats (La). Anschließend absolvierten sie, randomisiert im Abstand von jeweils zwei Tagen, unter Atemschutz (Pressluftflasche) drei weitere stufenweise ansteigende Gehetests bis zur Ausbelastung in konventioneller Feuerwehrschanzung (SA), im Chemikalienschutzanzug ohne (CSA) und mit externer Pressluftzufuhr (CSAeL). Gemessen wurden Herzfrequenz (HF), Körpertemperatur rektal (RT) und Hauttemperatur (HT), zusätzlich im Anzuginneren, Temperatur (UT) und Feuchtigkeit (UF).

Gegenüber Sportkleidung (4 Watt/kg Körpermasse) wurde in allen Schutzkleidungen eine signifikant geringere Maximalleistung (3,1 W/kg in SA, 2,9 in CSA und 2,8 in CSAeL) erreicht, bei gleicher HF (um 180 Schläge/Minute (S/min)), aber signifikant niedrigerem La. RT war 0,2 °C höher, der Schweißverlust unter allen Bedingungen gleich. Submaximal waren bei gleicher relativer Leistung in allen Schutzkleidungen HF, RT und HT höher als in Sportkleidung. In CSA und CSAeL waren HT und UT tiefer als in AS, dies wirkte sich aber nicht auf die physiologischen Parameter aus.

Wir nehmen als Ursache der verminderten Maximalleistung in den Feuerwehrschanzügen die verstärkte Hautdurchblutung und damit den geringeren Blutfluss im Muskel, sowie das eingeschränkte Atemvolumen bei Atmung mittels Pressluftflasche an.

Schlüsselwörter: Wärmeregulation, Körpertemperatur, Maximalleistung, Stufentest Gehen, Schutzkleidung

Einleitung

Jede körperliche Aktivität ist mit der Bildung von Wärme verbunden, deren Menge von der Größe des muskulären Energieumsatzes abhängt. Sie muss über die Haut und die Schleimhäute der Atemwege an die Umgebung abgeführt werden. Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, relative Luftfeuchtigkeit und die Temperatur der Haut bestimmen das Ausmaß des Wärmeabstroms, das aber durch Bekleidung erheblich modifizierbar ist. Wird unter kontinuierlicher Arbeit die Wärmeabfuhr behindert, resultiert eine

Summary

The influence of reduced heat exchange during work in firefighter protective equipment upon the maximal dynamic power was examined. Wearing sports clothing, six professional firefighters (37 ± 12 years) first performed a graded walking test on a treadmill, including spirometry and blood lactate determination (La). Thereafter, under breathing protection (self-containing breathing apparatus), they performed three further treadmill tests to exhaustion in conventional firefighter clothing (SA), in chemical protective clothing without (CSA) and with external air supply (CSAeL), in randomized order with an interval of two days between runs. Heart rate (HR), rectal temperature (TR), temperature of skin (HT) were measured, as well as temperature (UT) and humidity (UF) in the suit.

Compared to sportswear (4 W/kg body weight), a significantly lower maximum performance was reached in all protective clothings (3,1 W/kg in SA, 2,9 in CSA and 2,8 in CSAeL) at the same HR, but with significantly lower La. TR was 0,2 °C higher than in sportswear, the sweat loss was same under all conditions. Submaximal at same workload, HR, TR and HT were higher in all protective clothings than in sportswear. In CSA and CSAeL HT and UT were lower compared to those in SA, however without any effect on the physiological parameters.

We suppose that the cause of the reduced maximal power in firefighter equipment is the increased skin circulation with reductions of the muscle blood flow, and also the decreased breathing volume when using the breathing apparatus.

Keywords: temperature regulation, body temperature, maximum performance, incremental walking test, protective clothing

Hyperthermie, die ab einer zentralen Körpertemperatur über 39 °C mit mentaler und physischer Leistungsminde rung einhergehen kann und ab 40 °C die Gefahr eines Hitzeschadens beinhaltet (7).

Im Sport werden vor allem die Umfeldbedingungen Hitze und hohe Luftfeuchtigkeit als ursächliche Faktoren einer Hitzeerschöpfung gefürchtet. In der Berufswelt stellt ein durch Schutzkleidung behinderter Wärmeabstrom mit der Folge einer Hyperthermie ein Problem dar. Insbesondere betrifft dies Feuerwehrleute, die intensive Körperarbeit unter spezieller, bis zu 30 kg schwerer Schutzausrüstung in u. U. extremer Hitze zu verrichten haben. Subjektiv wird die durch

die feuerfeste Schutzbekleidung behinderte Wärmeelimination als leistungsmindernd empfunden (5, 9, 18). Diese Problematik verstärkt sich, wenn luftundurchlässige Chemikalienschutzbekleidung (CSA) angelegt werden müssen. Die Wärmeabgabe der Haut durch Konvektion und Strahlung ist aufgehoben, die durch Konduktion und Verdunstung sowie durch ansteigende Temperatur und Feuchtigkeit im Anzuginneren stark limitiert ist. Die Ausatmung erfolgt hierbei in den Anzug, und nur über die Luftmenge, die durch ein Überdruckventil entweicht, ist ein Wärmeabtransport gegeben. Wegen der Gefahr einer Hyperthermie und der verfügbaren Pressluftmenge werden die Einsätze auf 30 Minuten begrenzt.

Eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen in CSA wird von einer Neuentwicklung (CSAeL) erwartet, die über eine externe Luftzufuhr verfügt, wobei diese bis auf 120 l/min reguliert werden kann (5). Spülluftleitungen im Anzuginneren für Körperstamm, Extremitäten und die Sichtscheibe sollen für zusätzliche Kühlung sorgen.

Aus Sicht der Sportmedizin interessierte, inwieweit sich Einschränkungen der thermoregulatorischen Mechanismen auf die dynamische Leistungsfähigkeit verglichen mit der in leichter Sportbekleidung auswirken. Bislang wurde dieser Frage nur in wenigen Studien nachgegangen (1, 9, 11, 18). Arbeitsmedizinisch stellte sich die Frage, ob durch diese Neuentwicklung die thermische und kardiovaskuläre Beanspruchung im Vergleich zu konventioneller Schutzausrüstung (SA) und herkömmlichen CSA bei definierter Körperarbeit reduziert und eine Gefährdung durch Überhitzung verhindert werden kann.

Antworten sollten durch Analyse von Herzfrequenz, Laktat, Körperkern- und Hauttemperatur, sowie Temperatur und Luftfeuchtigkeit in den Schutzbekleidungen in einer randomisierten Studie, bei stufenweise ansteigender Ergometrie im Gehen gefunden werden.

Methodik

Sechs klinisch gesunde Berufsfeuerwehrmänner im Durchschnittsalter von 37 Jahren (Tab.1) stellten sich freiwillig für die Untersuchungen zur Verfügung. In einem vollklimatisierten Messraum (20 °C, 50 % relative Luftfeuchtigkeit) wurden sie zu gleichen Tageszeiten und im Abstand von jeweils 2 Tagen, vier stufenweise ansteigen-

Tabelle 1: Anthropometrische Grunddaten der 6 Feuerwehrmänner

Parameter	x ± s	min	max
Alter (Jahre)	37,2 ± 12,5	23	51
Größe (cm)	177 ± 7	169	185
Gewicht (kg)	76,3 ± 5,8	65,6	83,0
BMI (kg/m ²)	24,3 ± 2,4	21,7	27,6

den Belastungen auf einem Laufband (Ergo EXLG 55 sp, Woodway, Weil am Rhein) unterzogen:

1.) Zunächst einem Leistungstest in leichter Sportbekleidung (kurze Hose, T-Shirt): Stufendauer 3 Minuten, Beginn bei 3 km/h in der Ebene, dann 6 km/h, danach Erhöhung der Bandsteigung um jeweils 2,5 %, bis zur subjektiven Er-

schöpfung bzw. bis zu 20 % Steigung, entsprechend einer Arbeitsdauer von 30 Minuten.

2.) Anschließend unter Atemschutzbedingungen 3 Belastungen in randomisierter Reihenfolge, wobei die 6 Variationsmöglichkeiten je einem der Probanden per Los zugeteilt wurden.

a) in konventioneller Feuerwehrschanzkleidung (SA),
 b) im Chemikalienschutzbekleidung ohne (CSA) und
 c) mit externer Pressluftzufuhr von 30 l/min (CSAeL):
 Stufendauer 6 Minuten, beginnend mit 3 km/h in der Ebene, dann Erhöhung der Steigung um jeweils 5 % bis zur subjektiven Erschöpfung. Eine höhere Gehgeschwindigkeit als 3 km/h ließ die Steifigkeit der CSA nicht zu.

Vor und nach jedem Test wurde die Körpermasse ohne Bekleidung und vor jedem Test das Gesamtgewicht der jeweiligen Schutzausrüstung bestimmt (20,5 ± 1 kg bei SA, 22,7 ± 0,9 kg bei CSA), sofort nach Testende der subjektive Anstrengungsgrad nach Borg (RPE) erfragt.

Der Leistungstest unter 1.) erfolgte unter EKG-Kontrolle mit Spirometrie (Oxycon alpha, Jäger, Höchberg bei Würzburg). Vor Beginn, am Ende jeder Belastungsstufe sowie 1, 3 und 5 min nach Abbruch wurde Blut aus dem hyperämisierten Ohrfläppchen entnommen und Laktat zur Berechnung einer Laktatleistungskurve bestimmt. Bei den Belastungen in Schutzbekleidungen waren keine Spirometrien möglich, Blutabnahmen nur vor und nach Abbruch der Belastung.

Gemessen wurden bei allen Ergometrien in 15-s-Intervallen Herzfrequenz (Sporttester, Polar) bzw. in 30-s-Intervallen die Körpertemperatur rektal, die Hauttemperatur in Schulterhöhe sowie am Oberschenkel (Sonden YSI 402, YSI 409, YSI Incorporated, Yellow Springs, Ohio/USA).

Bei den Ergometrien unter 2.) wurden zusätzlich die Temperatur und Luftfeuchtigkeit in den Anzügen bestimmt (Feuchtigkeit mittels Sensoren HIH-3610, Honeywell, Dayton, Ohio/USA). Jeweils ein Temperatur- und zwei parallele Feuchtigkeitssensoren wurden am Gurt der Pressluftflasche in Höhe des Schulterblattes, sowie an der Innenseite der Bekleidung über dem Oberschenkel angebracht.

Alle Messdaten wurden auf einem am Gürtel unter der Schutzbekleidung befestigten Datenlogger (PicoLOG, GEFA-TEC, Tiefenbach bei Passau) gespeichert und später auf einen PC übertragen. Bewertet wurden die Daten am Ende jeder Belastungsstufe und bei Belastungsabbruch.

Die absoluten Geleistungen bei jeder Belastungsstufe und die maximal erreichten Leistungen bei Abbruch bzw. Ausbelastung wurden mittels folgender Formel berechnet (8):

$$W [\text{Watt}] = (v * BW * (2,05 + G * 0,29) - 0,6 BW - 151) / 10,5$$

- v = Geschwindigkeit in km/h
- G = Steigung in Prozent
- BW = Körpergewicht

Bei den Stufentests in Feuerwehrausrüstung wurde im ersten Formelteil die Gesamtmasse, d.h. Körpergewicht einschließlich des Gewichts der Schutzausrüstung berücksichtigt. Für die relativen Leistungen, bezogen auf die Körpermasse, wurden die absoluten Leistungswerte durch das Körpergewicht dividiert.

Messfühler, Datenlogger und die Software für die Übertragung wurden von der Fa. Gore & Associates GmbH, Putzbrunn leihweise zur Verfügung gestellt.

Statistik

Die statistische Bearbeitung erfolgte mittels SPSS für Windows, Version 12.0.

Berechnet wurden arithmetisches Mittel (\bar{x}) und Standardabweichung (s). Die Prüfung auf signifikante Unterschiede erfolgte mittels des Mann-Whitney-Rangfolgetests und zusätzlich des Wilcoxon-Differenztests.

Das Signifikanzniveau wurde mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % festgelegt: $p < 0,05$ signifikant.

Ergebnisse

Belastungstest 1 – Sportkleidung

4 der 6 Feuerwehrmänner konnten bei 6 km/h die vorgegebenen Stufen bis maximal 20 % Steigung voll durchgehen, 2 mussten vorzeitig wegen peripherer Ermüdung abbrechen. Die bei Abbruch bzw. bei Ende errechneten ab-

Tabelle 2: Maximalwerte bei den Stufentests in Sportkleidung, Feuerwehrkleidung (SA) und Chemikalien-schutzanzügen ohne (CSA) und mit externer Belüftung (CSAeL)

Parameter	Sportbekleidung	Schutzanz. (SA)	CSA	CSAeL
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
Arbeitsdauer	28,3 ± 2,7 ^(a)	35,1 ± 1,3	32,0 ± 2,0*	31,2 ± 2,3*
RPE (Borg-Skala)	16,7 ± 0,6	17,0 ± 0,9	17,2 ± 1,0	16,8 ± 1,0
O ₂ -Aufn. (ml/kg*min)	45,6 ± 3,4	-----	-----	-----
Leistung (Watt)	306 ± 34 ^a	232 ± 14	216 ± 13(*)	209 ± 11*
Leistung (Watt/kg)	4,01 ± 0,36 ^a	3,09 ± 0,14	2,88 ± 0,21(*)	2,79 ± 0,23*
Herzfrequenz (1/min)	182 ± 13	179 ± 10	172 ± 7	175 ± 14
Blutlaktat (mmol/l)	7,71 ± 2,22 ^a	3,58 ± 0,93	4,07 ± 1,37	4,30 ± 1,36
Differenz Körpermasse	- 0,42 ± 0,43	- 0,54 ± 0,25	- 0,45 ± 1,1	- 0,52 ± 0,17

* signifikant zu "SA" beim Mann-Whitney-U-Test

(*) signifikant zu "SA" nur im Wilcoxon-Differenztest

a signifikant zu "SA", "CSA" und "CSAeL" beim Mann-Whitney-U-Test

(a) signifikant nur zu "SA" beim Mann-Whitney-U-Test

soluten und relativen Leistungen, die gemessenen Werte von Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz, Laktat und Rektaltemperatur zeigt Tabelle 2. Auch die 4 Probanden mit vorzeitigem Abbruch waren anhand des Borgwertes 16 bzw. 17 und der Herzfrequenz, unter Berücksichtigung des Alters, annähernd kardial ausbelastet.

Die Körperkerntemperatur stieg im Mittel von 36,9 °C in Ruhe auf knapp 38 °C an. Der Temperaturanstieg begann erst nach 10-minütiger Gehzeit auf der Belastungsstufe 6 km/h mit 5 % Steigung.

Belastungstest 2 – Schutzbekleidungen

In allen drei Schutzanzügen erreichten die Probanden mindestens die Stufe bei 20 % Steigung, d.h. eine Arbeitsdauer über 25 Minuten. Die längste Dauer erlaubte die normale Einsatzkleidung (SA), mit Zeiten zwischen 33 und 36 min bzw. einer absoluten Leistung von 232 ± 14 Watt (Tab. 2). In beiden CSA waren die maxima-

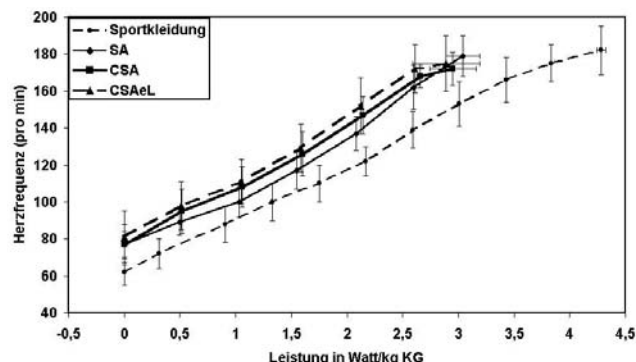


Abbildung 1: Herzfrequenzen im Vergleich zur relativen Leistung bei den Stufentests in Sportkleidung und unter Atemschutz in den drei Schutzanzügen (Mittelwert und Standardabweichung). Die Streuung der Leistungswerte ist nur beim Abbruchpunkt angegeben, bei durchgelaufenen Stufen liegt diese unter 0,1 Watt/kg)

le Arbeitszeit und die berechneten Leistungen niedriger. Im Durchschnitt wurden nur 75 % bzw. 70 % der Maximalleistung des Tests in Sportkleidung erbracht. In beiden CSA erreichte keiner der Probanden Leistungen, die ihren anaeroben Schwellen in Sportkleidung entsprachen. Subjektive Abbruchgründe waren bei 2/3 der Belastungen Dyspnoe, bei 1/3 periphere Ermüdung wie üblicherweise bei einem Leistungstest. Unterschiede in Abhängigkeit

von der Art der Schutzkleidung bestanden hierbei nicht. Das subjektive Anstrengungsempfinden war mit Borg 17 ± 1 in allen drei Schutzanzügen gleich und unterschied sich nicht vom Test in Sportkleidung. Sowohl bei der Ergometrie in Sportkleidung wie bei denen in Schutzanzügen wurde im Durchschnitt ein gleicher Gewichtsverlust von 0,5 kg beobachtet.

Die bei Abbruch gemessenen Herzfrequenzen und Laktatwerte ließen keine sicheren Unterschiede zwischen den drei Schutzanzügen erkennen. Im

Vergleich zum Test 1 lagen die maximalen Herzfrequenzen geringfügig niedriger, die Laktatwerte waren deutlich tiefer

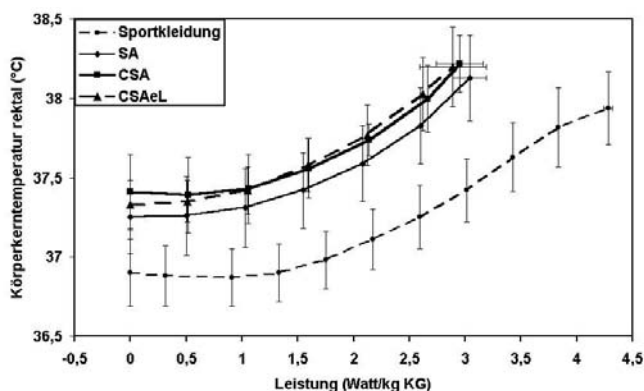


Abbildung 2: Körperkerntemperatur rektal in Bezug zur relativen Leistung bei den Stufentests in Sportkleidung und unter Atemschutz in den drei Schutzanzügen

und mit Ausnahme von zwei Belastungen, nur im Bereich um 4 mmol/l. Die Herzfrequenzen im submaximalen Belastungsbereich lagen in Schutzausrüstung, bei vergleichbaren relativen Leistungen, um 15 bis 25 Schläge/min (S/min) höher als in Sportkleidung (Abb. 1).

Körpertemperaturen und Bedingungen in den Schutzanzen

Bereits vor Ergometriebeginn, etwa 5 Minuten nach Anlegen der Schutzanzen und im gesamten Arbeitsbereich war die Körperkerntemperatur, bezogen auf gleiche Leistung, um durchschnittlich 0,5 °C signifikant höher als bei der Belastung in Sportkleidung (Abb. 2). In beiden luft-

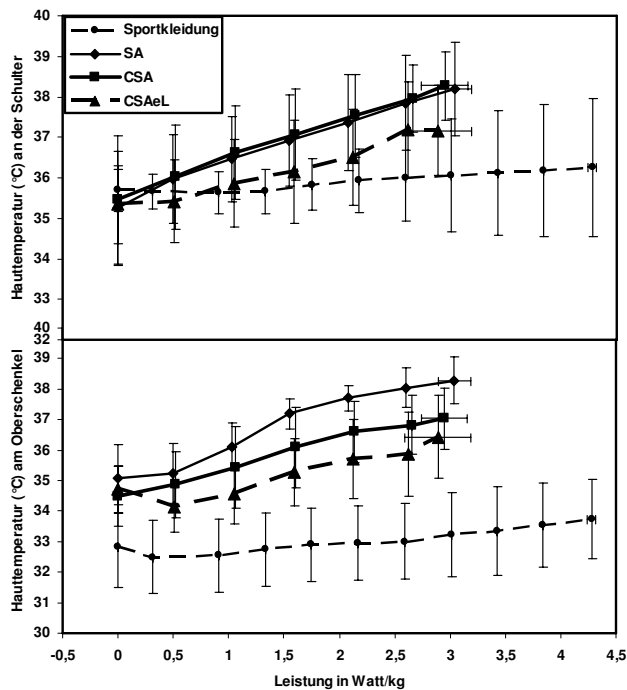


Abbildung 3: Hauttemperaturen in Bezug zur relativen Leistung bei den Stufentests in Sportkleidung und unter Atemschutz in den drei Schutzanzen

dichten CSA-Anzen lagen nochmals um 0,1 °C höhere Werte als im SA vor. Ähnlich wie bei Test 1 begann ein Temperaturanstieg etwa nach 12 Minuten Gehzeit. Bei Abbruch betrug die Körperkerntemperatur in Schutzanzen durchschnittlich 38,2 °C und lag damit im Mittel nur 0,2 °C, mittels Wilcoxon-Test jedoch statistisch signifikant, bei 17 der 18 Belastungen in Schutzanzen, über der in Sportkleidung (Tab. 3).

Auch die Hauttemperaturen stiegen ab Belastungsbeginn kontinuierlich und viel stärker als in Sportkleidung an (Abb. 3), bei der diese mit 36 °C an der Schulter und 34 °C am Oberschenkel fast im Ausgangsbereich blieben. Bei Abbruch entsprach die Hauttemperatur im SA an beiden

Messstellen der Körperkerntemperatur. Im CSA lagen im Beinbereich, im CSAeL an beiden Messstellen tiefere Werte vor (Tab. 3).

Die Innentemperaturen im SA lagen bereits am Beginn der Belastung über 30 °C und stiegen bis Testmitte auf 37 °C im Schulterbereich bzw. auf 34 °C in Höhe des Oberschenkels (Abb. 4) an. In den CSA blieben die Temperaturen an der Schulter um 4 bis 6 °C niedriger, im Beinbereich stiegen sie kaum und blieben unter 30 °C.

Die relative Luftfeuchtigkeit (Tab. 3, Abb. 4) stieg im Anzuginneren bei Arbeitsbeginn sofort an und betrug bei Abbruch im SA durchschnittlich mehr als 60 % und war im CSA mit über 80 % am höchsten. Im CSAeL blieben diese im Bereich derer im luftdurchlässigeren SA. Subjektiv wurde die zusätzliche Luftzufuhr beim CSAeL von allen Probanden auch als angenehmer gegenüber dem CSA empfunden.

Diskussion

Unbestritten benötigen Feuerwehrmänner eine überdurchschnittliche physische Fitness. Die hier untersuchten Probanden hatten mit der beim Stufentest, Gehen in Sportkleidung, gemessenen VO_2 über 45 ml/kg*min bzw. der berechneten Abbruchleistung von 4 Watt/kg, eine gute körperliche Leistungsfähigkeit. Sie lagen damit über den altersbezogenen Normwerten für untrainierte Personen (17) und in einem für Feuerwehrmänner geforderten Leistungsbereich (1, 11, 21).

In allen 3 Schutzkleidungen wurden in den vorliegenden Untersuchungen nur etwa 75 % der Maximalleistung in Sportkleidung erreicht. Unter ähnlichen Bedingungen, einem Stufentest Gehen bei 4,5 km/h und zunehmender Steigung in Feuerwehreinsatzkleidung und Atemschutzgerät, wurde eine um 27 % kürzere Gehzeit als ohne Schutzausrüstung gefunden (11). Die Herzfrequenzen bei Abbruch waren mit 186 bzw. 184 S/min gleich, ebenso die absolute O_2 -Aufnahme. Körpertemperatur und Blutlaktat wurden nicht bestimmt. Ebenfalls nur 75 % der Endleistung wie in Sportkleidung wurden bei einem erschöpfenden Rampentest am Radergometer in Standardfeuerwehrkleidung er-

Tabelle 3: Maximale Körperkerntemperaturen bei den Stufentests in Sportkleidung und Schutzanzen sowie Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Anzuginneren

Parameter	Sportbekleidung	Schutzanz. (SA)	CSA	CSAeL
	x ± s	x ± s	x ± s	x ± s
Körperkerntemp. (°C)	37,94 ± 0,23	38,13 ± 0,27a	38,22 ± 0,18a	38,20 ± 0,25a
Hauttemp. (Schulter)	36,3 ± 1,7	38,2 ± 1,2	38,3 ± 0,9a	37,2 ± 1,1(#)
Hauttemp. (Oberschenkel)	33,7 ± 1,3	38,3 ± 0,8a	37,0 ± 1,1*a	36,4 ± 1,4*a
Umgebungstemp. oben	-----	37,2 ± 1,0	33,6 ± 2,0*	31,4 ± 1,1*(#)
Umgebungstemp. unten	-----	34,4 ± 1,5	28,8 ± 5,7*	29,0 ± 1,3*
Feuchtigkeit oben	-----	67,9 ± 5,3	79,6 ± 5,0*	70,8 ± 7,5*(#)
Feuchtigkeit unten	---	62,7 ± 8,4	87,0 ± 5,0*	75,2 ± 4,3*#

* signifikant zu "AS" beim Mann-Whitney-U-Test
 (*) signifikant zu "AS" nur im Wilcoxon-Differenztest
 # signifikant zwischen den beiden CSA
 (#) signifikant zwischen den beiden CSA nur beim Wilcoxon-Differenztest
 a signifikant zu "Sportkleidung" im Mann-Whitney-U-Test
 (a) signifikant zu "Sportkleidung" nur beim Wilcoxon-Differenztest

reicht (4). Die Herzfrequenzen lagen übereinstimmend bei 190 S/min.

Auch bei unseren Tests lagen die Herzfrequenzen bei Abbruch mit > 170 S/min nahe am Grenzbereich, aber etwas niedriger als beim Test in Sportkleidung, bei dem vier der Probanden nur annähernd ausbelastet waren. Eine kardiale Ausbelastung als Abbruchursache erscheint zunächst wenig wahrscheinlich. Die gegenüber Sportkleidung signifikant tieferen Blutlaktatwerte lassen auch Zweifel aufkommen, ob eine physische Ermüdung vorlag, obwohl subjektiv nach Borg eine gleiche Anstrengung wie in Sportkleidung empfunden wurde.

Die bei vergleichbarer submaximaler Leistung, das Gewicht von Schutzkleidung und Atemgerät ist berücksichtigt, in SA und den CSA beobachteten 15-25 S/min höheren Herzfrequenzen als in Sportkleidung weisen auf eine stärkere kardiale Belastung hin.

Auch von anderen Autoren wurde beim Gehen auf dem Laufband bei 7 km/h in normaler Feuerschutzkleidung, jedoch ohne Atemgerät, um 20-25 S/min höhere Herzfrequenzen als in Sportkleidung gemessen, bei einer 10 % signifikant höheren Sauerstoffaufnahme (1). In Chemikalienschutzanzügen und mit Atemschutzgerät wurden beim Gehen mit 5 km/h und 3 % Steigung sogar 30-40 S/min höhere Herzfrequenzen als in Sportkleidung beobachtet (9).

Diese Mehrbelastung ist zum einen durch ungünstigeren Wirkungsgrad beim Gehen in den Schutzanzügen, besonders in den steifen CSA, erklärbar. Dieser kann bei der Leistungsberechnung nach der Jägerformel (8) nicht berücksichtigt werden. Überwiegend ist der kardiale Mehraufwand der in Schutzkleidung verstärkten thermischen Beanspruchung zuzuordnen. Dafür sprechen die bereits vor Belastung in SA, wie bereits beschrieben (9, 18) und in CSA um 15 S/min höheren Herzfrequenzen bei 0,5-0,7 °C höheren Kerntemperaturen. Beide stiegen bei Belastung stärker an als in Sportkleidung. Die für Wärmeabgabe entscheidenden Temperaturdifferenzen zwischen Kern und Haut sowie Haut und Umfeld sind erheblich verringert, z.T. sogar aufgehoben. Zudem stieg die relative Feuchtigkeit in den Anzügen auf bis zu 80 % an, wie auch von anderen Autoren gemessen wurde (18).

Aber weder eine Hyperthermie noch eine Dehydratation allein bieten eine ursächliche Erklärung für die in Schutzanzügen erheblich verminderte Maximalleistung. Der Gewichtsverlust war bei unserer Studie gleich, die Kerntemperaturen lagen nur minimal über der in Sportkleidung und überstiegen nur knapp 38 °C. Im Vergleich zur Literatur sind diese eher als niedrig einzuschätzen. Bei Feuerwehrrübungen wurden Rektaltemperaturen bis 39 °C beobachtet (16, 20). Bei Dauerbelastungen im Gehen unter Hitzebedingungen und/oder bei hoher Luftfeuchtigkeit mit Atemschutzgerät in Feuerwehrschanzkleidungen (18), in CSA- bzw. ABC-Kleidung (2, 9, 10, 13) wurden bei Abbruch Kerntemperaturen bis 39 °C gemessen. Erst das Erreichen einer Rektaltemperatur von 39,5 °C wird von einigen Autoren als Abbruchgrund gewertet, wenn nicht vorher subjektiv abgebrochen wurde (2, 13, 19). Bei Sportlern in Sportkleidung sind bei Erschöpfung nach Dauerbelastungen auf dem Laufband bzw. Fahrradergometer unter ähnlich extremen Bedingungen Kerntemperaturen bis zu 40 °C beschrieben (6, 12, 15). Die Hitzetoleranz ist individuell verschieden und steigt mit der Ausdauerleistungsfähigkeit an (2, 19, 22).

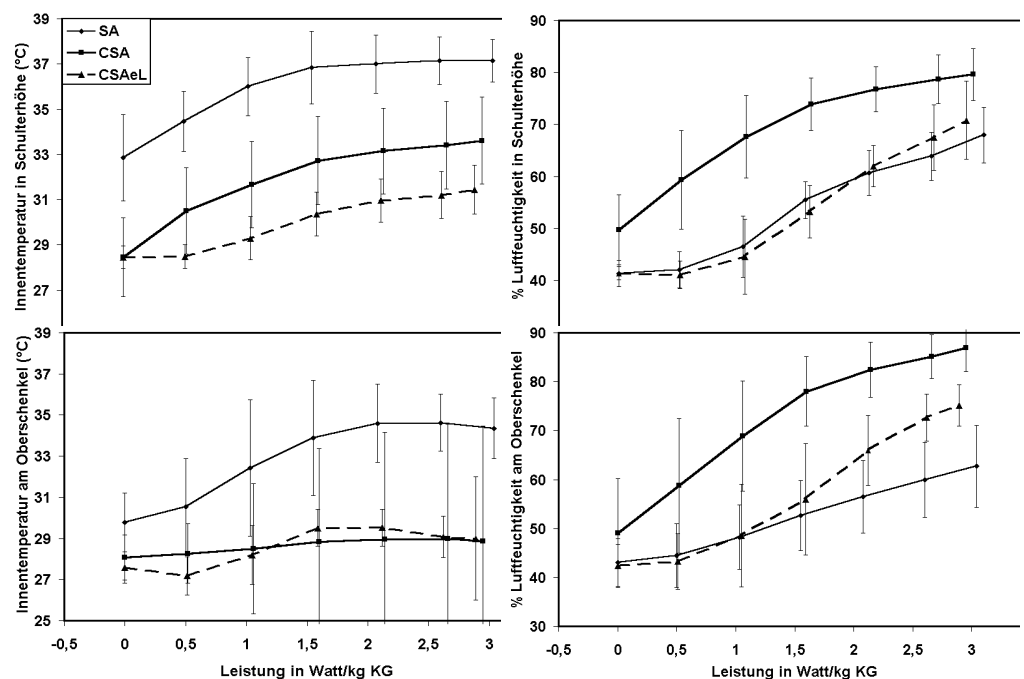


Abbildung 4: Temperatur (links) und Luftfeuchtigkeit (rechts) in den Schutzanzügen unter Atemschutz in Höhe der Schulter (oben) und des Oberschenkels (unten)

Auffallend ist, dass unter Schutzkleidungen bei Abbruch vielfach nur Körperkerntemperaturen zwischen 38 und 39 °C gemessen wurden. Auch bei voller Bekleidung waren die Körperkerntemperaturen bei Abbruch mit 38,5 °C signifikant niedriger als leicht bekleidet (14), ebenso um 0,3 °C tiefer, wenn bei Belastung in semipermeabler ABC-Kleidung bei 40 °C zusätzlich die Luftfeuchtigkeit hoch war (13).

Ursache der Leistungseinschränkung unter vermindertem Wärmeabstrom scheint damit nicht die maximal tolerable Kerntemperatur, sondern die Leistungsgrenze des kardiovas-

kulären Systems zu sein. Eine Erklärung bieten die von MacDougal et al. (12) bereits 1974 publizierten Untersuchungen. Mit Hilfe von wasserdurchströmten Westen schufen sie bei Dauerbelastungen, Gehen entspr. 70 % der VO_2max , hyper- und hypothermale Hautbedingungen von 37 °C bzw. 18 °C. Abgebrochen wurde bei gleichen mittleren Rektaltemperaturen von 39,5 °C, hyperthermal aber mit höheren Herzfrequenzen (181 gegenüber 170 S/min), trotz viel kürzerer Belastungsdauer. Die kardiale Mehrbelastung wird der bei Körperarbeit primär zentral geregelten Verteilung des Herzminutenvolumens in Muskel- und Hautdurchblutung zugeschrieben. Je größer der für die Thermoregulation benötigte Anteil der Hautdurchblutung wird, um so mehr muss bei gleicher Leistung das Herzminutenvolumen gesteigert werden, umso weniger Blut steht dem Muskel für den aeroben Energiestoffwechsel zur Verfügung. Diese Ansicht wird auch von anderen Autoren diskutiert (4, 10). Schlagvolumen und Herzminutenvolumen können nicht mehr der Belastung entsprechend adäquat gesteigert werden (4) bzw. fallen trotz Anstieg der Herzfrequenz ab (6, 10). Bei einem Stufentest ist ein Abbruch bei geringerer Endleistung damit erklärbar. Ob bei unseren Versuchen in Schutzkleidung am Ende anaerob gearbeitet wurde und ein Abbruch durch muskuläre Ermüdung bei lokaler Laktatazidose erfolgte bleibt offen. Die niedrigen Laktatwerte im Kapillarblut wären auch durch Mischung mit dem Blut aus den Hautregionen zu erklären.

Ein leistungsmindernder Einfluss ist bei Pressluftatmung auch durch den höheren Atemwiderstand gegeben, insbesondere bei hohen Belastungsanforderungen (9). Bei einem Laufbandstufentest wurden unter Atemschutz nur 82 % der maximalen O_2 -Aufnahme eines Kontrolltests in Sportkleidung erreicht, bei gleicher Abbruchherzfrequenz (3). Das maximale Atemvolumen war gegenüber Normalatmung vermindert, die Atemfrequenz deutlich erhöht. Der Befund, dass unsere Probanden bei Schutzkleidung mehrheitlich Dyspnoe als Abbruchgrund nannten, ist damit vereinbar.

Bzüglich der arbeitsmedizinischen Fragestellung zeigen die Messergebnisse von Hauttemperatur und Temperatur im CSAeL, durch die zusätzliche Belüftung, günstigere thermoregulatorische Bedingungen als in SA und CSA, dies wirkte sich aber nicht auf die Leistung und physiologische Leistungsparameter aus. Die Gefahr einer kritischen Hyperthermie bestand in keinem der Anzüge.

Literatur

- Baker SJ, Grice J, Roby L, Matthews C: Cardiorespiratory and thermoregulatory response of working in fire-fighter protective clothing in a temperature environment. *Ergonomics* 43 (2000) 1350-1358.
- Cheung SS, McLellan TM: Heat acclimation, aerobic fitness, and hydration effects on tolerance during uncompensable heat stress. *J Appl Physiol* 84 (1998) 1731-1739.
- Dreger RW, Jones RL, Petersen SR: Effect of a self-contained breathing apparatus and fire protective clothing on maximal oxygen uptake. *Ergonomics* 49 (2006) 911-920.
- Fogarty AL, Armstrong KA, Gordon CJ, Groller H, Woods BF, Stocks JM, Taylor NAS: Cardiovascular and thermal consequences of protective clothing: a comparison of clothed and unclothed states. *Ergonomics* 47 (2004) 1073-1086.
- Franz K: Chemikalienschutzanzüge mit externer Luftspeisung. *Deutsche Feuerwehr Zeitung* 11 (2001) 770-774.
- González-Alonso J, Teller Ch, Andersen SL, Jensen FB, Hyldig T, Nielsen B: Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol* 86 (1999) 1032-1039.
- Huonker M: Hitzeerkrankungen beim Sport – Prophylaxe und Therapie. *Dtsch Z Sportmed* 54 (2003) 122-123.
- Jäger E, GmbH (Hrsg): Bedienungsanleitung zur Spirometrieanlage Oxycan Alpha.
- Kirsch K, Vogt-Kirsch C, Wicke HJ: Die Leistungsgrenzen des Menschen beim Tragen von Atemschutz und Schutzanzug. *Arbeitsmed.Sozialmed. Präventivmed* 20 (1985) 173-176.
- Latzka WA, Sawka MN, Montain SJ, Skrinar GS, Fielding RA, Matott RP, Pandolf KB: Hyperhydration: tolerance and cardiovascular effects during uncompensable exercise-heat stress. *J Appl Physiol* 84 (1998) 1858-1864.
- Louhevaara V, Ilmarinen R, Griefahn B, Künemund C, Mäkinen H: Maximal physical work performance with European standard based fire-protective clothing system and equipment in relation to individual characteristics. *Eur J Appl Physiol* 71 (1995) 223-229.
- MacDougal JD, Reddan WG, Layton CR, Dempsey JA: Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise. *J Appl Physiol* 36 (1974) 538-544.
- McLellan TM, Pope JI, Cain JB, Cheung SS: Effects of metabolic rate and ambient vapour pressure on heat strain in protective clothing. *Eur J Appl Physiol* 74 (1996) 518-527.
- Montain SJ, Sawka MN, Cadarette BS, Quigley MD, McKay JM: Physiological tolerance to uncompensable heat stress: effects of exercise intensity, protective clothing, and climate. *J Appl Physiol* 77 (1994) 216-222.
- Nielsen B, Hales JRS, Strange S, Christensen NJ, Warberg J, Saltin B: Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *J Physiol (Lond)* 460 (1993) 467-485.
- Romet TT, Frim J: Physiological responses to fire fighting activities. *Eur J Appl Physiol* 56 (1987) 633-638.
- Rost R, Hollmann W (Hrsg.): Belastungsuntersuchungen in der Praxis. Grundlagen, Technik und Interpretation ergometrischer Untersuchungsverfahren. Georg Thieme Verlag, Stuttgart – New York, 1982, 78.
- Schopper-Jochum S, Schubert W, Hocke M: Vergleichende Bewertung des Trageverhaltens von Feuerwehr-Einsatzjacken (Phase I). *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed* 32 (1997) 138-144.
- Selkirk GA, McLellan TM: Influence of aerobic fitness and body fatness on tolerance to uncompensable heat stress. *J Appl Physiol* 91 (2001) 2055-2063.
- Smith DL, Petruzzello SJ, Kramer JM, Misner JE: The effects of different thermal environments on the physiological and psychological responses of firefighters to a training drill. *Ergonomics* 40 (1997) 500-510.
- Swank AM, Adams KJ, Barnard KL, Berning JM, Stamford BA: Age-related aerobic power in volunteer firefighters. A comparative analysis. *J Strength Conditioning Research* 14 (2000) 170-174.

Korrespondenzadresse:

Dr. rer. nat. habil. Rudolf Lorenz
 Eggerfeld 3 F
 85560 Ebersberg
 e-Mail: RudolfLorenz@gmx.de