

**Stressbelastung von Atemschutzgeräteträgern bei der  
Einsatzsimulation im Feuerwehr-Übungshaus Bruchsal  
Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg  
(STATT-Studie)**

**T. Finteis<sup>1,4</sup>, J.-C.Oehler<sup>1</sup>, H. Genzwürker<sup>1</sup>, J. Hinkelbein<sup>1</sup>,  
C.-E. Dempfle<sup>2</sup>, H. Becker<sup>3</sup>, K. Ellinger<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universitätsklinikum Mannheim, Institut für Anästhesiologie  
und Operative Intensivmedizin, Bereich Notfallmedizin

<sup>2</sup>Universitätsklinikum Mannheim, I. Medizinische Klinik,  
Funktionsbereich Klinische und experimentelle Hämostasiologie

<sup>3</sup>Gemeinschaftspraxis Dres. Becker/ Baumgart, Mannheim

<sup>4</sup>Freiwillige Feuerwehr Zeilhard

---

Korrespondenzanschrift:

Dr. med. Thorsten Finteis  
Klinikum Mannheim gGmbH - Universitätsklinikum –  
Institut für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin  
Theodor-Kutzer-Ufer 1-3  
68167 Mannheim

© 23.11.2002

**Diese Studie wurde erstellt im  
Auftrag des Innenministeriums Baden-Württemberg,  
unter feuerwehrfachspezifischer Begleitung der  
Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg  
und  
mit finanzieller Unterstützung des  
Bundesverbandes der Unfallkassen,  
des Badischen Gemeindeunfallversicherungsverbandes und  
des Württembergischen Gemeindeunfallversicherungsverbandes**

# Inhaltsverzeichnis

<b><u>EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG</u></b>	<b>1</b>
<b><u>MATERIAL UND METHODE</u></b>	<b>2</b>
<b><u>ERGEBNISSE</u></b>	<b>8</b>
<b><u>DISKUSSION</u></b>	<b>32</b>
<b><u>SCHLUSSFOLGERUNG</u></b>	<b>49</b>
<b><u>LITERATURVERZEICHNIS</u></b>	<b>51</b>
<b><u>DANKSAGUNG</u></b>	<b>60</b>

## Einleitung

Atemschutzgeräteträger sind im Feuerwehreinsatz erheblichen physischen und psychischen Belastungen ausgesetzt.

Einfluss auf die körperliche Belastung von Einsatzkräften beim Brandeinsatz haben die vorherrschenden Temperaturen sowie die Beschaffenheit der Schutzausrüstung (isolierende Schutzkleidung, umluftunabhängiges Atemschutzgerät) und die zu leistenden körperlichen Arbeit (Menschenrettung, Löscharbeiten).

In den letzten Jahren haben sich die Belastungsfaktoren, insbesondere durch eine verbesserte Schutzkleidung und die Entwicklung moderner Brandübungsanlagen, wesentlich gewandelt. Das Feuerwehr-Übungshaus der Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg in Bruchsal ermöglicht die realitätsnahe Simulation eines Einsatzszenarios mit offenen Flammen und Hitze (Gasfeuer), Verqualmung (Nebelöl) und Flash-Over-Simulation.

Infolge neuer Trainingsmöglichkeiten wurde die Ausbildung der Einsatzkräfte verbessert und die körperliche Belastung erhöht. Detaillierte Erkenntnisse über die Stressbelastung bei der realitätsnahen Einsatzsimulation in einer modernen Brandsimulationsanlage liegen bisher noch nicht vor.

## Fragestellung

Die vorliegende Studie untersucht die akute physische Belastung von Atemschutzgeräteträgern bei der Übung in einem Feuerwehr-Übungshaus unter Einwirkung von Hitze und beim Tragen der heute vorhandenen Schutzkleidung. Hierzu wurden die Feuerwehreinsatzkräfte mit einem standardisierten, realitätsnahen Einsatzszenario konfrontiert.

## Material und Methoden

Nach positivem Votum der zuständigen Ethik-Kommission der Universität Heidelberg wurden an acht Untersuchungsterminen insgesamt 57 männliche Feuerwehrangehörige einer jeweils identischen, simulierten Einsatzsituation unter umluftunabhängigem Atemschutz im Feuerwehr-Übungshaus (Hersteller: International Code Services Ltd., United Kingdom) der Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg in Bruchsal ausgesetzt.

Das Probandenkollektiv der Gruppe I setzte sich aus 50 männlichen Angehörigen von 11 Freiwilligen Feuerwehren im Alter zwischen 18 und 32 Jahren zusammen, die alle die Ausbildung zum Atemschutzgeräteträger absolviert hatten und zum Zeitpunkt der Untersuchung über eine gültige Untersuchung nach Grundsatz 26/3 der berufsgenossenschaftlichen Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen verfügten. Alle Probanden der Gruppe I hatten zum Studienzeitpunkt nur geringe Erfahrung im Brandeinsatz unter umluftunabhängigem Atemschutz.

An einem Untersuchungstermin wurde eine Vergleichsgruppe von sieben männlichen Berufsfeuerwehrlern (Gruppe II) mit langjähriger Einsatzerfahrung mit einer identischen Einsatzsimulation konfrontiert. Diese Probanden waren zwischen 32 und 41 Jahren alt und verfügten ebenfalls über eine gültige G26-Untersuchung.

Zwei Wochen vor dem jeweiligen Studientag wurden die Probanden schriftlich über Art, Umfang und Risiken der Studie und ihren Versicherungsschutz im Rahmen des Feuerwehrdienstes informiert und gebeten, einen Erhebungsbogen zu ihrem aktuellen Gesundheitszustand auszufüllen. Dieser wurde bei der Vorbereitungsbesprechung am Untersuchungstermin mit den Probanden besprochen und fehlende Daten ergänzt.

Während des Untersuchungszeitraums bestand für alle Teilnehmer Rauchverbot. Bis zum Einsatzbeginn war den Rauchern der Konsum von Zigaretten, vergleichbar mit den realistischen Bedingungen auf einem Lehrgang mit Übungsbetrieb, allerdings

erlaubt. Ab Untersuchungsbeginn war kein Teilnehmer Zigarettenrauch oder anderen Aerosolen ausgesetzt.

Die Voruntersuchung beinhaltete neben der ausführlichen Anamnese die körperliche Untersuchung mit Erhebung von Körpergröße, Körpergewicht ohne Kleidung (Waage S20, Soehnle) sowie der Körpertemperatur am Ohr (Thermometer First Temp Genius, Sherwood Medical). Nach zehn Minuten in Ruhelage erfolgte die Messung von Herzfrequenz und Blutdruck (Blutdruckmessgerät Viridia 24 C, Hewlett Packard) zur Bestimmung der Ausgangswerte.

Mittels digitaler Langzeit-EKG-Aufzeichnung (EKG Lifecard CF, Reynolds Medical) wurden die elektrischen Herzaktionen mit den Ableitungen II, V1 und V5 vor, während und nach dem simulierten Brandeinsatz aufgezeichnet. Folgende Parameter wurden dokumentiert: minimale und maximale Herzfrequenz, ST-Streckenveränderungen, jegliche Formen von Herzrhythmusstörungen inkl. Extrasystolen (supraventrikuläre Extrasystolen (SVES), ventrikuläre Extrasystolen (VES)). Die Auswertung der EKG-Daten erfolgte durch einen erfahrenen Facharzt für Innere Medizin.

Um den dauerhaften Kontakt der EKG-Elektroden (ARBO) zu garantieren, wurden die Ableitungsorte (5. Intercostalraum (ICR) vordere Axillarlinie rechts, 3. ICR mittlere Clavicularlinie rechts, 5. ICR vordere Axillarlinie links) ausgiebig mit Isopropylalkohol (70%) gereinigt, rasiert, aufgerauht und die Klebeelektroden zusätzlich mit Leukoplast-Klebestreifen (Beiersdorf) fixiert. Das wasserdicht verpackte Aufnahmegerät wurde mittels Fixomull Stretch (Beiersdorf) ebenfalls nach Reinigung der Haut mit Isopropylalkohol auf den ventralen Thorax geklebt, um eine optimale Bewegungsfreiheit im Einsatz zu gewährleisten.

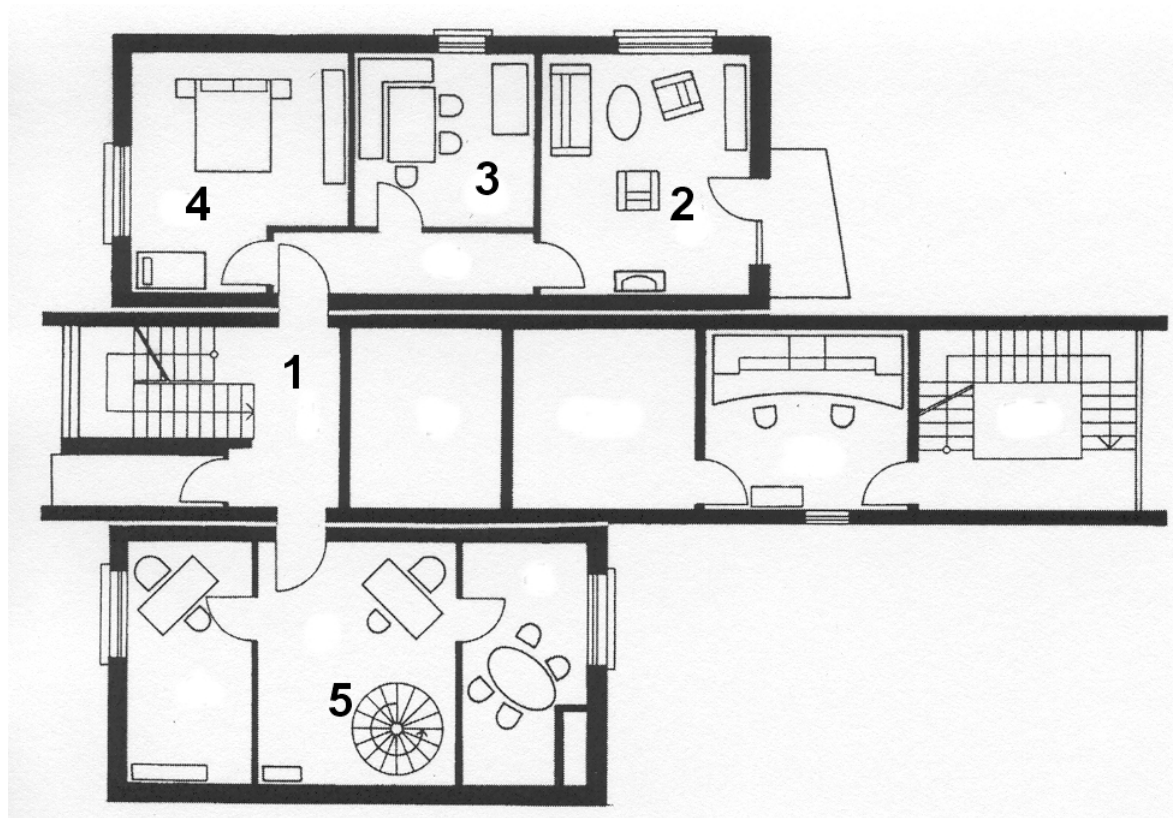
Nach Anlage der persönlichen Schutzausrüstung (Feuerwehrschutzanzug, bestehend aus Einsatzhose und Einsatzjacke, Feuerwehrschutzhandschuhen, Feuerwehrschutzschuhwerk, Feuerwehrhelm, Flammschutzhaube, Feuerwehr-Sicherheitsgurt, Feuerwehr-Fangleine mit Feuerwehrleinenbeutel, Atemschutzmaske und Pressluftatmer) wurde jeweils ein Trupp in die Brandsimulationsanlage geschickt. Die Zuordnung zu den Einsatzaufgaben als Truppführer und -mann

geschah nach dem Zufallsprinzip. Die Gewichte der Schutzausrüstung sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

**Tabelle 1:**  
**Persönliche Schutzausrüstung**

<b>Ausrüstungsgegenstand</b>	<b>Hersteller/Modell</b>	<b>Gewicht (g)</b>
Feuerwehrlhelm mit Nackenschutz	Schuberth HF 2 Alu	1400
Flammschutzhaube	Isotemp Nomex Delta C	100
Feuerwehrschtzhandschuhe	Seiz 1532815F/Kevlar	370
Feuerwehr-Einsatzhose	Eschbach BW 92.0.0678-H-2	830
Feuerwehr-Einsatzjacke	HF Sicherheitstechnik Einsatzjacke Typ 90, Baden-Württemberg	2100
Feuerwehr-Sicherheitsgurt	Eduard Kaufmann	2050
Atemschutzgerät	Dräger PA 80, Pressluft (EN12021)	14200
Atemschutzmaske	Dräger Panorama Nova	650
Feuerwehr-Schutzschuhe	Steitz Secura	2000
Feuerwehrleine im Leinenbeutel	Seilflechter	1730
<b>Gesamtgewicht</b>		<b>25430</b>

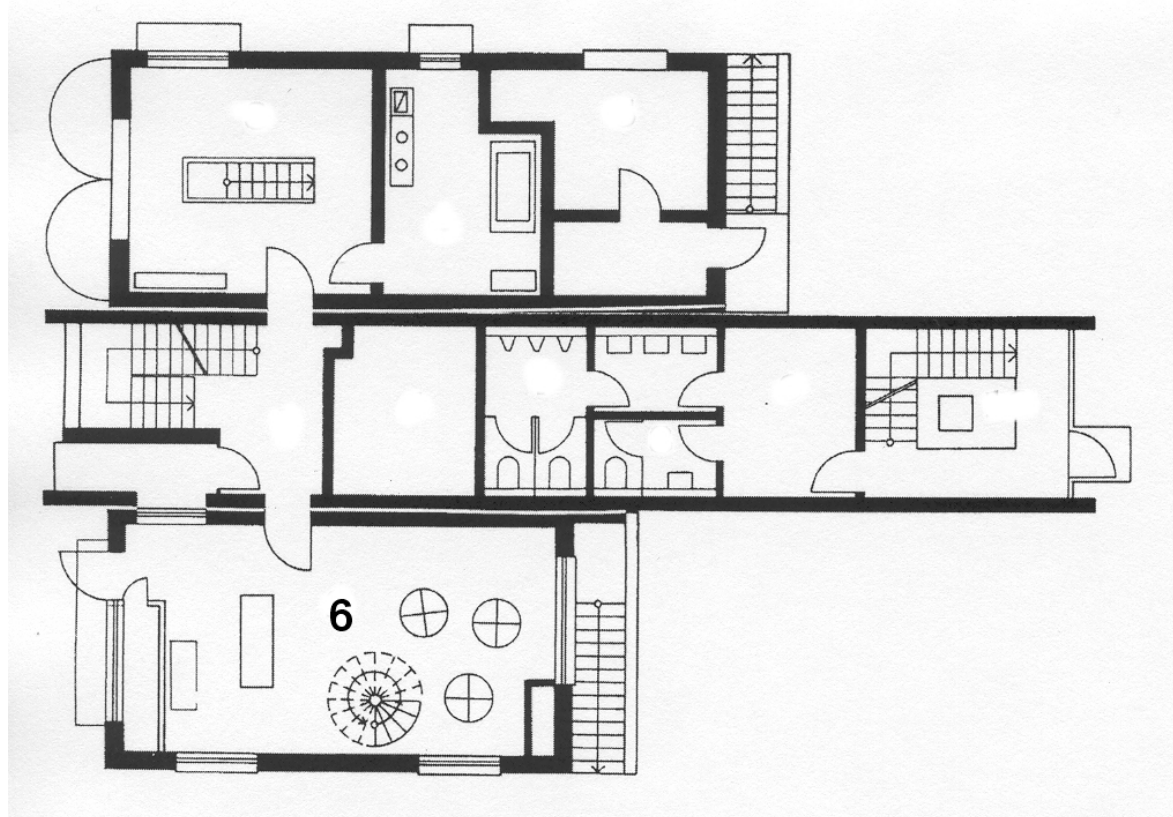
Die Probanden hatten folgende Einsatzsituation zu bewältigen: Nach Betreten des Feuerwehr-Übungshauses erreichte der Trupp über eine Betontreppe (1) unter Vornahme eines C-Rohres das 1. Obergeschoss (siehe Abbildung 1). Alle dort befindlichen Räume mussten in der Hocke nach verletzten Personen und Brandnestern abgesucht werden.



**Abbildung 1: Grundriss, 1. Obergeschoss Feuerwehr-Übungshaus**

Nach erfolgreicher Brandbekämpfung im 1. Obergeschoss beginnend im Wohnzimmer (2) (brennendes Sofa), weiter in Küche (3) (brennende Friteuse und Dunstabzugshaube) und Schlafzimmer (4) (brennendes Bett, Zündung eines Flash-Overs) führte der Einsatz vom ersten Obergeschoss über eine brennende Wendeltreppe (5) in das Ladengeschäft im Erdgeschoss (siehe Abbildung 2).





**Abbildung 2: Grundriss, Erdgeschoss Feuerwehr-Übungshaus**

Nach Ablöschen der Treppe und Zugang zum Ladengeschäft (6) im Erdgeschoss wurden dort der brennende Verkaufstresen sowie zwei in Flammen stehende Kleiderständer gelöscht und die Einsatzübung beendet.

Im Leitstand des Feuerwehr-Übungshauses wurden die Zeiten zwischen Betreten und Verlassen des Übungshauses, die Raumtemperaturen zu Beginn und Ende der Einsatzsimulation sowie die Maximaltemperatur während des gesamten Einsatzes in 1,50 m Raumhöhe im Schlafzimmer (4) dokumentiert.

Unmittelbar nach Einsatzende wurden bei allen Probanden Herzfrequenz, Blutdruck, Ohrtemperatur und das Körpergewicht gemessen. Diese Messung wurde, mit Ausnahme des Körpergewichts, nach zehn, 15, 20 und 60 Minuten jeweils unter konstanten Umgebungsbedingungen (Raumtemperatur 21,8 °C, Luftfeuchtigkeit 60%) wiederholt.

Die Probanden behielten ihre Einsatzkleidung bis zum Ende der Messungen an. Nach der Übung wurden jedem Probanden Mineralwasser zur Verfügung gestellt; die

Trinkmenge war den Probanden freigestellt. 60 Minuten nach Einsatzende wurde die Trinkmenge durch Abwiegen der Restmengen (Waage diabetic control, Soehnle) in den Mineralwasserflaschen ermittelt.

Unmittelbar vor und direkt nach dem Brandeinsatz sowie 60 Minuten nach Einsatzende wurde den Teilnehmern an jeweils unterschiedlichen Punktionsorten mit einer Kanüle (Butterfly 19 G, Becton Dickinson) peripher-venöses Blut entnommen.

Zuerst wurde eine heparinisierte 2 ml-Spritze (Braun) mit Blut gefüllt und mit Verschlussstopfen versehen in einem Wasser-Eisbad in horizontaler Lagerung zur Auswertung einem stationären Blutgasanalyse-Automaten (ABL System 625; Radiometer) zugeführt.

Jeweils eine Monovette (Sarstedt) zur Bestimmung von Blutbild (Inhaltsstoff: Kalium-EDTA), Gerinnung (Inhaltsstoff: Citrat) und Serum (Inhaltsstoff: Gerinnungsaktivator) wurde den Probanden zu jedem Messzeitpunkt abgenommen. Kalium-EDTA-Monovetten wurden bei konstant 10 °C in einer Kühlbox gelagert und nach maximal acht Stunden Lagerungs- und Transportzeit in einem Labor ausgewertet. Serum- und Gerinnungsmonovetten wurden sofort nach der Blutentnahme 15 Minuten bei 4000 U min<sup>-1</sup> zentrifugiert (Zentrifuge 426-C, Laborgeräte Vetter), in Save-Lock-Behälter (Eppendorf) pipettiert und in einem Flüssigstickstoffbehälter schockgefrostet. Die schockgefrosteten Behälter wurden in Kryoboxen (Eppendorf) auf Trockeneis (-70 °C) transportiert und anschließend in einem Gerinnungslabor bei gleicher Temperatur bis zur Auswertung gelagert.

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe der Software SAS 8.0 unter Verwendung des Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben. Aufgrund der vorher festgelegten geringen Probandenzahl in Gruppe II war dies nur für die Ergebnisse der Gruppe I sinnvoll.

## Ergebnisse

In die Studie eingeschlossen wurden 50 männliche Probanden in Gruppe I (Einsatzkräfte von Freiwilligen Feuerwehren) und sieben männliche Probanden in Gruppe II (Einsatzkräfte einer Berufsfeuerwehr). Das Durchschnittsalter in Gruppe I betrug 24,9 Jahre (18,4-32,4 Jahre) und in Gruppe II 35,3 Jahre (30,4-41,1 Jahre). Alle Teilnehmer waren nach Grundsatz 26 untersucht und damit zum Einsatz als Atemschutzgeräteträger geeignet. Eine akute Erkrankung zum Studienzeitpunkt lag bei keinem der Probanden vor.

Gesundheitliche Probleme wie z.B. Kollaps, Schwindel, Erbrechen oder Übelkeit bei bisherigen Übungen oder Einsätzen unter umluftunabhängigem Atemschutz wurden von keinem der Probanden angegeben. Gesundheitliche Beeinträchtigungen während des Übungsbetriebs unter Atemschutz wurden in keinem Fall beobachtet. Alle Studienteilnehmer konnten ihre Einsatzübung unter Atemschutz im Feuerwehr-Übungshaus erfolgreich abschließen.

Die Durchschnittsgröße der Teilnehmer in Gruppe I betrug 180 cm (165-200 cm), in Gruppe II 181 cm (176-188 cm). Das Durchschnittsgewicht vor Beginn der Einsatzübung betrug in Gruppe I 82,4 kg (56,9-139,0 kg), in Gruppe II ebenfalls 82,4 kg (69,1-100,0 kg). Der Body Mass Index (BMI) betrug in Gruppe I durchschnittlich  $25,8 \text{ kg m}^{-2}$  (18,6-36,6  $\text{kg m}^{-2}$ ), in Gruppe II  $25,2 \text{ kg m}^{-2}$  (20,6-29,1  $\text{kg m}^{-2}$ ). Durchschnittlich trugen die Teilnehmer der Gruppe I 31,3% (18,3-44,7%) (Gruppe II 31,6% (25,4-40,0%)) ihres Körpergewichtes als zusätzliche Last in Form ihrer persönlichen Schutzausrüstung inklusive Atemschutzgerät mit sich.

Im Verlauf der Einsatzübung verloren die Probanden der Gruppe I im Vergleich zum Ausgangsgewicht statistisch signifikant an Körpergewicht ( $p < 0,0001$ ). Im Durchschnitt betrug der Gewichtsverlust 0,5 kg (0-1,8 kg), was einer prozentualen Veränderung von 0,6% (0-1,7%) entspricht. In Gruppe II waren es durchschnittlich 0,6 kg (0,2-1,0 kg), entsprechend einer prozentualen Veränderung von im Mittel 0,7% (0,3-1,3%).

30% der Teilnehmer in Gruppe I waren Raucher (Gruppe II: 29%). Alle Probanden gaben gelegentlichen Alkoholkonsum an.

Die Gesamteinsatzdauer des Löschangriffs unter umluftunabhängigem Atemschutz im Feuerwehr-Übungshaus betrug in Gruppe I durchschnittlich 21 Minuten (17-28 min) und in Gruppe II 20 Minuten (19-21 min).

Die Raumtemperatur an der Einsatzstelle im Schlafzimmer des Feuerwehr-Übungshauses, gemessen in 1,50 m Höhe, stieg im Verlauf eines Übungstages kontinuierlich an. Bei Gruppe I betrug sie zu Beginn der Übung im Durchschnitt 161 °C (78-282 °C), in Gruppe II 122 °C (94-156 °C). Die Temperatur erreichte während des Flash-Over-Manövers in Gruppe I Spitzenwerte bis 580 °C, der Mittelwert lag bei 451 °C (379-580 °C). In Gruppe II wurden im Durchschnitt 515 °C (428-600 °C) erreicht.

Nach Beendigung des Übungseinsatzes und Einschalten der Belüftungseinrichtung des Feuerwehr-Übungshauses betrug die Temperatur nach zwei Minuten in Gruppe I noch durchschnittlich 92 °C (30-275 °C), Gruppe II 58 °C (39-75 °C).

Alle Probanden der Gruppen I und II zeigten vor Beginn des Übungseinsatzes sowie 60 Minuten nach dessen Ende im Durchschnitt normofrequente Pulswerte (Tabelle 2). 50% der Probanden der Gruppe I wiesen vor dem Einsatz in Ruhelage (nach 10 min im Liegen) eine Herzfrequenz von 80 oder mehr Schlägen pro Minute auf (Gruppe II: 14,3%).

Zusätzlich zu den punktuellen Messungen wurden 36 Probanden der Gruppe I sowie sieben Probanden der Gruppe II während des Übungseinsatzes mittels Langzeit-EKG-Aufzeichnung überwacht. Eine Dislokation von Elektroden oder der Abriss eines EKG-Kabels wurden nicht beobachtet. Alle EKG-Aufzeichnungen (n=43) konnten in qualitativ sehr guter bis befriedigender Aufzeichnungsqualität in die Auswertung durch einen erfahrenen Internisten eingeschlossen werden (Aufzeichnungsqualität nach Schulnotensystem: 13,9% sehr gut, 69,8% gut, 16,3% befriedigend). Die durchschnittliche maximale Herzfrequenz stieg während der Einsatzsimulation in Gruppe I signifikant ( $p < 0,0001$ ) auf 186 Schläge  $\text{min}^{-1}$  und in Gruppe II auf 157 Schläge  $\text{min}^{-1}$  (Tabelle 2).

Die persönliche maximale Herzfrequenz, definiert als  $220 \text{ Schläge min}^{-1}$  minus Lebensalter, wurde von neun Probanden (25%) in Gruppe I um durchschnittlich fünf Schläge  $\text{min}^{-1}$  ( $0-11 \text{ min}^{-1}$ ) überschritten. In der Vergleichsgruppe II wurde sie von keinem der Teilnehmer erreicht.

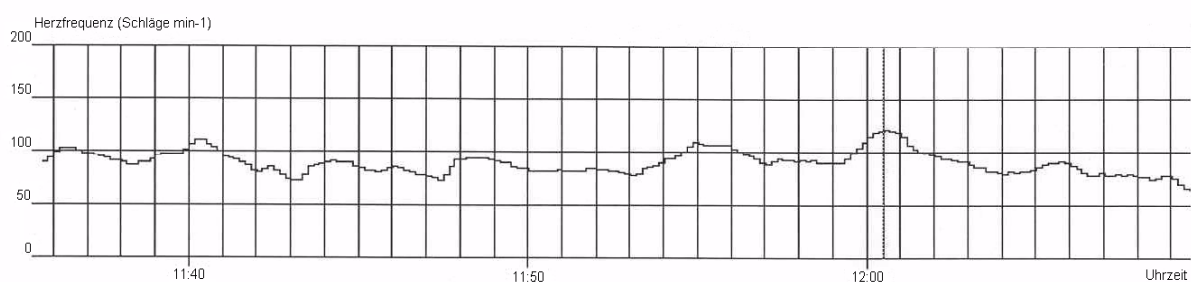
Die Teilnehmer in Gruppe I erreichten im Mittel 95,4% (84,7-105,9%) ihrer persönlichen maximalen Herzfrequenz, in Gruppe II wurden durchschnittlich 85,8% (66,7-96,2%) der maximalen persönlichen Herzfrequenz erreicht.

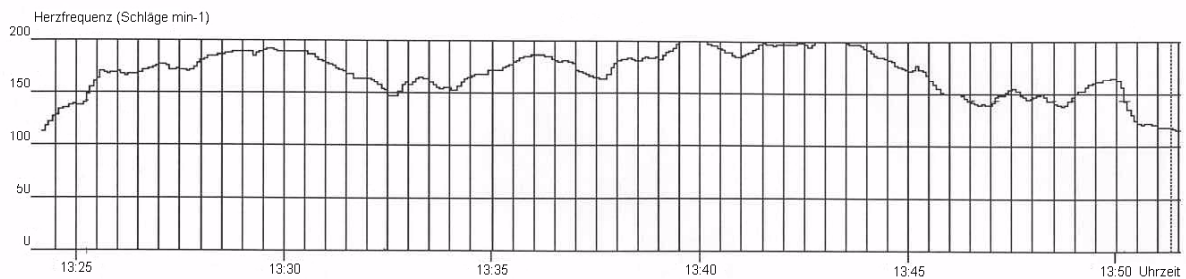
Die im Ausdauersport verwendete Dauerleistungsgrenze von 75% der maximalen Herzfrequenz ( $220$  minus Lebensalter) lag im Mittel bei  $147 \text{ Schlägen min}^{-1}$  ( $141-152 \text{ min}^{-1}$ ) in Gruppe I und bei  $139 \text{ Schlägen min}^{-1}$  ( $143-143 \text{ min}^{-1}$ ) in Gruppe II. Sie wurde von allen Probanden in Gruppe I im Schnitt für die Dauer von 21,9 Minuten ( $17,7-31,9 \text{ min}$ ) überschritten. In der Gruppe II wurde sie für einen Zeitraum von durchschnittlich 7,4 Minuten ( $0-13,4 \text{ min}$ ) überschritten, ein Proband dieser Gruppe erreichte seine persönliche Dauerleistungsgrenze ( $139 \text{ Schläge min}^{-1}$ ) zu keinem Zeitpunkt. Seine Herzfrequenz erreichte ein Maximum von  $110 \text{ Schlägen min}^{-1}$  während des gesamten Beobachtungszeitraums. Auf Befragung gab der Proband an, er betreibe in seiner Freizeit Triathlon.

Im Folgenden sind beispielhaft die Herzfrequenzverläufe der EKG-Überwachung von zwei vergleichbaren Probanden (Alter, Gewicht, Größe) abgebildet. Abbildung 3 zeigt das Herzfrequenzverhalten des Probanden (Gruppe II), der Triathlon betreibt (Maximum:  $110 \text{ Schläge min}^{-1}$ ). Abbildung 4 zeigt das Herzfrequenzverhalten eines untrainierten Probanden (Gruppe I) während der EKG-Überwachungszeit (Maximum:  $199 \text{ Schläge min}^{-1}$ ).

### Abbildung 3

#### Herzfrequenzverhalten während der Einsatzübung (Sportler)



**Abbildung 4****Herzfrequenzverhalten während der Einsatzübung (untrainierter Proband)**

Unmittelbar nach dem Einsatz betrug die durchschnittliche Herzfrequenz in sitzender Position in Gruppe I noch  $130 \text{ Schläge min}^{-1}$  ( $88\text{-}188 \text{ min}^{-1}$ ), in Gruppe II  $98 \text{ Schläge min}^{-1}$  ( $60\text{-}136 \text{ min}^{-1}$ ). Zehn Minuten nach Einsatzende war die Pulsfrequenz der Gruppe I im Liegen auf durchschnittlich  $102 \text{ Schläge min}^{-1}$  ( $80\text{-}139 \text{ min}^{-1}$ ) abgefallen (29,5% über dem Ausgangswert), in Gruppe II war sie zu diesem Zeitpunkt mit  $80 \text{ Schlägen min}^{-1}$  ( $62\text{-}101 \text{ min}^{-1}$ , entsprechend 14,2% über dem Ausgangswert) wieder im Normbereich. Bei der Messung nach 60 Minuten lag die durchschnittliche Herzfrequenz in beiden Gruppen wieder im Normbereich (Gruppe I:  $76 \text{ Schläge min}^{-1}$  ( $54\text{-}108 \text{ min}^{-1}$ ), Gruppe II:  $70 \text{ Schläge min}^{-1}$  ( $40\text{-}86 \text{ min}^{-1}$ )).

**Tabelle 2:****Durchschnittliche Herzfrequenz mit Minimal- und Maximalwerten**

	<b>Gruppe I</b> <b>(Schläge min<sup>-1</sup>)</b>	<b>Gruppe II</b> <b>(Schläge min<sup>-1</sup>)</b>
- vor Einsatz	79 (58-100)	70 (52-90)
- niedrigste HF im Einsatz	111 (85-173)	92 (60-121)
- höchste HF im Einsatz	186 (167-202)	157 (110-178)
- direkt nach Einsatzende	130 (88-188)	98 (60-136)
- 10 min nach Einsatzende	102 (80-139)	80 (62-101)
- 60 min nach Einsatzende	76 (54-108)	70 (40-86)

Normbereich:  $60\text{-}80 \text{ Schläge min}^{-1}$

Bei durchschnittlich 4944 (2791-7346) ausgewerteten QRS-Komplexen pro Proband während der Langzeit-EKG-Aufzeichnung fanden sich in Gruppe I bei drei Feuerwehrmännern vereinzelt zwischen zwei und 15 supraventrikuläre

Extrasystolen. Fünf Probanden dieser Gruppe zeigten vereinzelt (eins bis drei) ventrikuläre Extrasystolen.

Unter Belastung während des Brandeinsatzes fiel ein Proband durch Bigeminus- bzw. Trigemini-Perioden im EKG auf (90 sec Bigeminus, 45 sec Trigemini), dieser gab jedoch bei Nachfrage keine Beeinträchtigung seiner subjektiven Leistungsfähigkeit während der Übung an.

In Gruppe II wurden durchschnittlich 3582 (1725-4675) QRS-Komplexe je Teilnehmer ausgewertet. Dabei fanden sich bei drei von sieben Probanden (43%) supraventrikuläre oder ventrikuläre Extrasystolen. Ein Proband hatte eine SVES, ein Zweiter eine VES, der Dritte eine VES und eine SVES.

Bei der ST-Streckenanalyse des Langzeit-EKGs beider Gruppen zeigten sich in den Ableitungen II, V1 und V5 keine Ischämiezeichen.

Vor Beginn der Einsatzübung wurde bei den Probanden in Gruppe I im Liegen ein systolischer Blutdruck von im Mittel 132 mmHg (105-160 mmHg) und in Gruppe II von 128 mmHg (115-140 mmHg) gemessen (Tabelle 3).

Bei der Messung unmittelbar nach Einsatzende in sitzender Position fand sich in beiden Gruppen ein signifikanter Anstieg des systolischen Blutdrucks ( $p < 0,0001$ ) auf durchschnittlich 137 mmHg (110-174 mmHg) in Gruppe I (plus 3,8%) und 133 mmHg (118-145 mmHg) in Gruppe II (plus 3,9%).

Zehn Minuten nach Einsatzende war der Durchschnittswert auf 129 mmHg (100-169 mmHg) in Gruppe I (minus 2,3%) und auf 118 mmHg (108-130 mmHg) in Gruppe II gefallen (minus 7,9%).

Nach einer Stunde Erholungszeit betrug der systolische Blutdruck in Gruppe I im Mittel 125 mmHg (100-144 mmHg) und in Gruppe II 120 mmHg (108-140 mmHg), was einer Unterschreitung der Ausgangswerte um 5,3% bzw. 6,0% entspricht. Übersicht in Tabelle 3.

**Tabelle 3:****Durchschnittlicher systolischer Blutdruck mit Minimal- und Maximalwerten**

	<b>Gruppe I (mmHg)</b>	<b>Gruppe II (mmHg)</b>
- vor Einsatz	132 (105-160)	128 (115-140)
- direkt nach Einsatzende	137 (110-174)	133 (118-145)
- 10 min nach Einsatzende	129 (100-169)	118 (108-130)
- 60 min nach Einsatzende	125 (100-144)	120 (108-140)

Normbereich: 120-140 mmHg

Die von dem RR-Monitor gemessenen diastolischen Blutdruckwerte der Probanden wurden als fehlerhaft zu niedrig eingestuft und kamen daher nicht zur Auswertung.

Die Umgebungstemperatur im Innenraumbereich wurde im Untersuchungszeitraum engmaschig kontrolliert und durch Wärmeregulation konstant gehalten. Sie betrug im Mittel 21,8 °C (20,7-23,1 °C) für Gruppe I und 21,1 °C (19,8-22,0 °C) für Gruppe II.

Die durchschnittliche Körpertemperatur der Teilnehmer in Gruppe I betrug vor der Einsatzübung 37,3 °C (36,0-37,9 °C). Direkt nach dem Einsatz zeigten die Teilnehmer der Gruppe I eine Temperaturerhöhung auf durchschnittlich 38,1 °C (36,4-39,2 °C) entsprechend 4,7% über dem Ausgangswert (Tabelle 4). Bei vier der 50 Probanden (8%) wurden Spitzenwerte zwischen 39,0 und 39,2 °C gemessen, bei 26 Teilnehmern (52%) lagen die Temperaturen zwischen 38,0 und 38,9 °C, bei 20 Probanden (40%) zwischen 36,4 und 37,9 °C. Die Abkühlung auf durchschnittlich 37,1 °C (35,4-38,0 °C) innerhalb eines Beobachtungszeitraums von 60 Minuten in dieser Gruppe entspricht einer Überschreitung des Ausgangswertes um 1,6%.

In Gruppe II stieg die Temperatur im Mittel von 36,9 °C (35,6–37,8 °C) vor dem Einsatz auf 37,9 °C (37,3-39,1 °C) direkt nach dem Einsatz (+2,7%). Als Spitzenwerte der einzelnen Teilnehmer in Gruppe II wurden Temperaturen zwischen 37,3 und 39,1 °C gemessen. Ein Teilnehmer dieser Gruppe erreichte 39,1 °C, zwei Probanden lagen zwischen 38,1-38,5 °C, vier Teilnehmer zeigten Temperaturen zwischen 37,3 und 37,6 °C. Bei wiederholter Messung war die Temperatur nach 60



Minuten auf durchschnittlich 36,6 °C (36,5-37,4 °C) gesunken (Unterschreitung des Ausgangswertes um 0,8%).

Einige Probanden in Gruppe I erreichten ihre maximale Ohrtemperatur erst 10 bzw. 15 Minuten nach Einsatzende, so dass auch die durchschnittliche Maximaltemperatur in dieser Gruppe mit 38,3 °C (37,2-39,2 °C) geringfügig über der direkt nach dem Einsatz gemessenen Durchschnittstemperatur von 38,1 °C lag.

Aus der Differenz zwischen der Temperatur vor dem Einsatz und der Maximaltemperatur ergab sich eine signifikante ( $p < 0,0001$ ) durchschnittliche Temperaturveränderung von 1,0 °C (0-2,6 °C) in Gruppe I und von ebenfalls 1,0 °C (0,5-1,7 °C) in Gruppe II.

Übersicht in Tabelle 4.

**Tabelle 4:**

**Durchschnittliche Tympanaltemperatur mit Minimal- und Maximalwerten**

	<b>Gruppe I (°C)</b>	<b>Gruppe II (°C)</b>
- vor Einsatz	36,5 (36,0-37,9)	36,9 (35,6-37,8)
- direkt nach Einsatzende	38,1 (36,4-39,2)	37,9 (37,2-39,1)
- 10 min nach Einsatzende	37,9 (36,5-38,8)	37,0 (36,4-38,4)
- 15 min nach Einsatzende	37,8 (36,8-38,6)	37,2 (36,7-38,1)
- 20 min nach Einsatzende	37,8 (35,7-38,6)	37,0 (36,5-37,8)
- 60 min nach Einsatzende	37,1 (35,4-38,0)	36,6 (36,5-37,4)
- maximale Temperatur	38,3 (37,2-39,2)	37,9 (37,2-39,1)

Normbereich: 36,5-37,0 °C

Die Auswertung der peripher-venösen Blutgase ergab in Gruppe I einen signifikanten ( $p < 0,0001$ ) Anstieg des pH-Werts von im Mittel 7,37 (7,33-7,45) vor dem Einsatz auf 7,40 (7,31-7,45) direkt nach dem Einsatz. Der Abfall des Wertes auf den Ausgangswert von 7,37 (7,33-7,45) in den folgenden 60 Minuten war ebenfalls statistisch signifikant ( $p < 0,0001$ ).

In der Gruppe II zeigte sich eine vergleichbare Veränderung des gemessenen pH-Werts. Vor dem Einsatz betrug der durchschnittliche pH 7,38 (7,35-7,41), direkt nach dem Einsatz 7,40 (7,38-7,42) und nach 60 Minuten wiederum 7,38 (7,34-7,41).

Mit den Veränderungen des pH-Wertes gingen in der Gruppe I signifikante Veränderungen ( $p < 0,0001$ ) des  $p\text{CO}_2$  und des  $p\text{O}_2$  einher: Vor Beginn des Einsatzes wurden ein durchschnittliches  $p\text{CO}_2$  von 49,9 mmHg (39,1-62,4 mmHg) und ein  $p\text{O}_2$  von 29,5 mmHg (12,4-58,6 mmHg) gemessen; direkt nach dem Einsatz lag das  $p\text{CO}_2$  bei 41,8 mmHg (32,4-51,3 mmHg, minus 16,3%) und das  $p\text{O}_2$  bei 53,6 mmHg (27,4-72,6 mmHg) entsprechend einem Anstieg um 81,3% im Vergleich zum Ausgangswert. Nach 60 Minuten wurden mit einem  $p\text{CO}_2$  von 48,1 mmHg (35,2-59,8 mmHg) und einem  $p\text{O}_2$  von 32,9 mmHg (15,8-72,6 mmHg) die Ausgangswerte noch nicht erreicht ( $p\text{CO}_2$  minus 3,7%,  $p\text{O}_2$  plus 11,5%).

In der Gruppe II fiel das  $p\text{CO}_2$  im Mittel von 51,4 mmHg auf 43,2 mmHg (minus 16,0%) direkt nach der Übung und stieg wieder auf 47,9 mmHg (6,8% unter dem Ausgangswert) nach 60 Minuten. Das  $p\text{O}_2$  stieg von 19,8 mmHg auf 45,9 mmHg (plus 131,8%) und fiel dann wieder auf 31,2 mmHg (57,6% über dem Ausgangswert). Übersicht in Tabelle 5.

**Tabelle 5:**

**Durchschnittswerte der peripher-venösen Blutgasparameter mit Minimal- und Maximalwerten**

	Gruppe I	Gruppe II
<b>pH</b>		
- vor Einsatz	7,37 (7,33-7,45)	7,38 (7,35-7,41)
- direkt nach Einsatzende	7,40 (7,31-7,45)	7,40 (7,38-7,42)
- 60 min nach Einsatzende	7,37 (7,33-7,45)	7,38 (7,34-7,41)
<b><math>p\text{CO}_2</math> (mmHg)</b>		
- vor Einsatz	49,9 (39,1-62,4)	51,4 (47,5-58,9)
- direkt nach Einsatzende	41,8 (32,4-51,3)	43,2 (39,5-48,7)
- 60 min nach Einsatzende	48,1 (35,2-59,8)	47,9 (43,0-53,1)
<b><math>p\text{O}_2</math> (mmHg)</b>		
- vor Einsatz	29,5 (12,4-58,6)	19,8 (14,8-26,7)
- direkt nach Einsatzende	53,6 (27,4-72,6)	45,9 (21,8-68,8)
- 60 min nach Einsatzende	32,9 (15,8-72,6)	31,2 (19,6-52,9)
Referenzbereiche gemischt-venös:	pH 7,35-7,45	
	$p\text{CO}_2$ 37-50 mmHg	
	$p\text{O}_2$ 35-44 mmHg	

Die Laktatwerte in Gruppe I stiegen nach der Einsatzübung hochsignifikant ( $p < 0,0001$ ) an. Lag der Ausgangswert direkt vor der Übung im Mittel noch bei  $1,1 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $0,5\text{-}2,4 \text{ mmol l}^{-1}$ ), so wurde unmittelbar nach der Übung ein Durchschnittswert von  $2,3 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $0,8\text{-}7,7 \text{ mmol l}^{-1}$ ) (plus 207,1%) gemessen. Eine Stunde nach der Übung lag der Wert dann wieder im Bereich des Ausgangswertes:  $1,0 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $0,5\text{-}2,2 \text{ mmol l}^{-1}$ ) (minus 13,3% des Ausgangswertes).

In Gruppe II war ein geringerer Anstieg des Laktatwerts zu verzeichnen. Ausgehend von einem Durchschnittswert von  $0,9 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $0,6\text{-}1,1 \text{ mmol l}^{-1}$ ) vor der Übung, ergab sich eine Steigerung auf  $1,3 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $0,7\text{-}3,1 \text{ mmol l}^{-1}$ ) (plus 46,5%) direkt nach der Übung. Nach einer Stunde Ruhe wurde ein Wert von  $0,8 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $0,6\text{-}1,2 \text{ mmol l}^{-1}$ ) (minus 8,2% gegenüber dem Ausgangswert) gemessen. Übersicht in Tabelle 6.

**Tabelle 6:**

**Durchschnittlicher Laktatwert mit Minimal- und Maximalwerten**

	<b>Gruppe I</b> (mmol l <sup>-1</sup> )	<b>Gruppe II</b> (mmol l <sup>-1</sup> )
<b>Laktatspiegel</b>		
- vor Einsatz	1,1 (0,5-2,4)	0,9 (0,6-1,1)
- direkt nach Einsatzende	2,3 (0,8-7,7)	1,3 (0,7-3,1)
- 60 min nach Einsatzende	1,0 (0,5-2,2)	0,8 (0,6-1,2)

Referenzbereich:  $0,5\text{-}2,2 \text{ mmol l}^{-1}$

Mit dem Anstieg des Blutlaktatwertes ging ein signifikanter Abfall ( $p < 0,001$ ) der mittleren Bicarbonatkonzentration im Blut in Gruppe I einher:

Vor der Übung lag die Bicarbonatkonzentration bei  $25,4 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $23,4\text{-}27,0 \text{ mmol l}^{-1}$ ) und direkt nach der Übung betrug sie  $24,6 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $19,0\text{-}27,0 \text{ mmol l}^{-1}$ ), was einem Abfall um 3,4% entspricht. Nach einer Stunde stieg der Wert auf  $25,1 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $23,4\text{-}27 \text{ mmol l}^{-1}$ ).

In der Gruppe II wurde vor der Übung eine mittlere Bicarbonatkonzentration von  $26,1 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $24,6\text{-}27,5 \text{ mmol l}^{-1}$ ) gemessen, direkt nach der Übung  $25,4 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $24,3\text{-}26,4 \text{ mmol l}^{-1}$ ) und nach einer Stunde  $25,6 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $23,8\text{-}27,4 \text{ mmol l}^{-1}$ ).

Der Base Excess (Basenabweichung) sank in der Gruppe I ebenfalls signifikant ( $p < 0,0001$ ): Vor der Übung wurden im Mittel  $2,5 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $-0,5-4,2 \text{ mmol l}^{-1}$ ) gemessen, direkt nach der Übung war der Base Excess nur noch  $0,5 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $-6,7-3,9 \text{ mmol l}^{-1}$ ), was einem Minus von 79,7% entspricht.

Nach einer Stunde war dieser Wert wieder signifikant ( $p < 0,0001$ ) auf  $1,9 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $-1,6-3,5 \text{ mmol l}^{-1}$ ) gestiegen (minus 24,0% gegenüber dem Anfangswert).

In der Gruppe II verhielt sich der Base Excess wie folgt: Vor der Übung war der mittlere Ausgangswert  $3,8 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $2,4-5,3 \text{ mmol l}^{-1}$ ), direkt nach der Übung  $1,7 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $0,5-4,1 \text{ mmol l}^{-1}$ ) und stieg nach einer Stunde auf  $2,6 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $0,7-5,5 \text{ mmol l}^{-1}$ ). Übersicht in Tabelle 7.

**Tabelle 7:**

**Durchschnittliche Bicarbonat- und Base- Excess-Werte**

	Gruppe I	Gruppe II
<b>Bicarbonat (mmol l<sup>-1</sup>)</b>		
- vor Einsatz	25,4 (23,4-27,0)	26,1 (24,6-27,5)
- direkt nach Einsatzende	24,6 (19,0-27,0)	25,4 (24,3-26,4)
- 60 min nach Einsatzende	25,1 (23,4-27,0)	25,6 (23,8-27,4)
<b>Base Excess (mmol l<sup>-1</sup>)</b>		
- vor Einsatz	2,5 (-0,5-4,2)	3,8 (2,4-5,3)
- direkt nach Einsatzende	0,5 (-6,7-,3,9)	1,7 (0,5-4,1)
- 60 min nach Einsatzende	1,9 (-1,6-3,5)	2,6 (0,7-5,5)
Referenzbereiche gemischt-venös: Bicarbonat 21-26 mmol l <sup>-1</sup>		
Base Excess -2 bis +3 mmol l <sup>-1</sup>		

Die Auswertung des venösen Bluts zeigte in Gruppe I für die Anionenlücke (berechnet aus  $c\text{Na}^+ - c\text{Cl}^- - c\text{HCO}_3^-$ ), als Maß für die Entstehung von Säuremetaboliten, eine signifikante Steigerung ( $p < 0,0001$ ) von durchschnittlich  $16,6 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $13,0-19,7 \text{ mmol l}^{-1}$ ) vor dem Einsatz auf  $19,2 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $14,4-26,8 \text{ mmol l}^{-1}$ ) (plus 15,9%) nach dem Einsatz.

Nach 60 Minuten folgte ein signifikanter Abfall ( $p < 0,0001$ ) auf  $17,3 \text{ mmol l}^{-1}$  ( $13,4-23,1 \text{ mmol l}^{-1}$ ) (4,4% über dem Ausgangswert).

In der Gruppe II fielen Anstieg und Abfall geringer aus: 16,1 mmol l<sup>-1</sup> (15,1-18,8 mmol l<sup>-1</sup>) vor der Übung, 17,6 mmol l<sup>-1</sup> (15,4-20,8 mmol l<sup>-1</sup>) (plus 9,3%) direkt nach der Übung und 16,0 mmol l<sup>-1</sup> (13,5-17,7 mmol l<sup>-1</sup>) 60 Minuten nach der Übung (0,6% unter dem Ausgangswert).

Eine Übersicht der Einzeldaten findet sich in Tabelle 8.

**Tabelle 8:**

**Durchschnittliche Anionenlücke mit Minimal- und Maximalwerten**

	<b>Gruppe I</b> (mmol l <sup>-1</sup> )	<b>Gruppe II</b> (mmol l <sup>-1</sup> )
<b>Anionenlücke</b>		
- vor Einsatz	16,6 (13,0-19,7)	16,1 (15,1-18,8)
- direkt nach Einsatzende	19,2 (14,4-26,8)	17,6 (15,4-20,8)
- 60 min nach Einsatzende	17,3 (13,4-23,1)	16,0 (13,5-17,7)

Referenzbereich: 8-16 mmol l<sup>-1</sup>

Hinsichtlich der Elektrolyte Natrium, Kalium und Chlorid ergab die Untersuchung des venösen Bluts Veränderungen des Blutspiegels, die sämtlich im einstelligen Prozentbereich im Vergleich zum Ausgangswert lagen (0,2-7,3%). Für Natrium, Kalium und Chlorid lagen die Durchschnittswerte beider Gruppen vor dem Einsatz, direkt bei Einsatzende und nach 60 Minuten jeweils im Normbereich. Bei Auswertung der Kalium-Werte fiel ein einzelner Proband in Gruppe I mit einem Spitzenwert von 6,7 mmol l<sup>-1</sup> unmittelbar nach Einsatzende auf.

Eine Übersicht der Durchschnittswerte findet sich in Tabelle 9.

**Tabelle 9:****Durchschnittswerte der Elektrolyte Natrium, Kalium, Calcium und Chlorid mit Minimal- und Maximalwerten**

	<b>Gruppe I</b> (mmol l <sup>-1</sup> )	<b>Gruppe II</b> (mmol l <sup>-1</sup> )
<b>Natrium</b>		
- vor Einsatz	143 (139-146)	142 (142-143)
- direkt nach Einsatzende	143 (139-149)	143 (141-146)
- 60 min nach Einsatzende	142 (139-147)	142 (138-144)
<b>Kalium</b>		
- vor Einsatz	3,9 (3,2-5,7)	4,1 (3,7-4,8)
- direkt nach Einsatzende	3,6 (3,1-6,7)	3,8 (3,5-4,1)
- 60 min nach Einsatzende	3,8 (3,0-4,9)	4,0 (3,5-4,3)
<b>Chlorid</b>		
- vor Einsatz	102 (99-105)	101 (97-103)
- direkt nach Einsatzende	103 (99-106)	103 (98-105)
- 60 min nach Einsatzende	101 (97-105)	102 (97-104)
Referenzbereich: Natrium 136-146 mmol l <sup>-1</sup>		
Kalium 3,5-5,0 mmol l <sup>-1</sup>		
Chlorid 98-106 mmol l <sup>-1</sup>		

Der Blutglucosespiegel im venösen Blut stieg in Gruppe I während der Übung signifikant an ( $p < 0,0001$ ). Betrag der mittlere Blutzuckerwert vor der Übung noch 92 mg dl<sup>-1</sup> (73-137 mg dl<sup>-1</sup>), so wurde direkt nach der Übung im Durchschnitt ein Wert von 108 mg dl<sup>-1</sup> (81-189 mg dl<sup>-1</sup>) gemessen (Anstieg um 16,9%). Nach einer Stunde Erholungszeit ohne Nahrungsaufnahme wurde ein mittlerer Wert von 85 mg dl<sup>-1</sup> (62-102 mg dl<sup>-1</sup>) erreicht (11,3% unter dem Ausgangswert).

In der Gruppe II lag der Blutglucosespiegel im Mittel vor der Übung bei 83 mg dl<sup>-1</sup>, direkt nach der Übung bei 95 mg dl<sup>-1</sup> (plus 14,7%) sowie 60 Minuten nach der Übung bei 84 mg dl<sup>-1</sup> (1,2% über dem Ausgangswert).

Die Daten sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

**Tabelle 10:****Durchschnittlicher Glucosewert mit Minimal- und Maximalwerten**

	<b>Gruppe I (mg dl<sup>-1</sup>)</b>	<b>Gruppe II (mg dl<sup>-1</sup>)</b>
<b>Blutglucosespiegel</b>		
- vor Einsatz	92 (73-137)	83 (71-89)
- direkt nach Einsatzende	108 (81-189)	95 (88-107)
- 60 min nach Einsatzende	82 (62-102)	84 (80-89)

Referenzbereich: 60-110 mg/ dl<sup>-1</sup>

Beim Carboxyhämoglobin (COHb), dem mit Kohlenmonoxid beladenen Hämoglobin, stellte sich in beiden Gruppen ein signifikanter Unterschied zwischen Rauchern und Nichtrauchern dar, weshalb die Ergebnisse im Folgenden getrennt dargestellt werden:

In Gruppe I wurde bei den Nichtrauchern (n=35) ein signifikanter Anstieg ( $p < 0,0001$ ) von im Mittel 1,5% (1,1-2,1%) vor der Übung auf 1,9% (1,1-3,1%) direkt nach der Übung gemessen (plus 26,1%). 60 Minuten nach der Übung wurde wieder der Ausgangswert von im Mittel 1,5% (1,0-3,0%) erreicht.

In der Gruppe II (Nichtraucher, n=5) lag das COHb im Mittel vor der Übung bei 1,4% (1,3-1,5%), direkt nach der Übung bei 1,9% (1,4-2,4%) (plus 31,8%) sowie 60 Minuten nach der Übung bei 1,6% (1,2-2,4%) (11,3% über dem Ausgangswert).

Bei den 15 Rauchern der Gruppe I (im Mittel 12,7 Zigaretten pro Tag), die noch bis kurz vor der Einsatzübung geraucht haben, ergab sich ein Ausgangswert von 4,7% (3,2-6,7%), gefolgt von einem signifikanten Abfall ( $p < 0,05$ ) auf 4,1% direkt nach dem Einsatz (13,1% unter dem Ausgangswert). Eine Stunde nach der Übung und ohne Zigarettenkonsum in der Zwischenzeit war der Anteil des COHb noch weiter (hochsignifikant mit  $p < 0,0001$ ) auf im Mittel 3,3% (2,0-5,0%) gefallen (minus 29,4%).

In Gruppe II fanden sich nur zwei Raucher, mit einem Konsum von 15 bzw. 20 Zigaretten pro Tag. Das mittlere COHb fiel von 4,9% (4,5-5,2%) auf 4,7% (3,7-5,7%) (minus 3,7%) und nach einer Stunde auf 3,8% (3,1-4,5%) (Abfall um 21,6%).

Übersicht in Tabelle 11.

**Tabelle 11:****Durchschnittlicher Carboxyhämoglobinwert mit Minimal- und Maximalwerten**

	<b>Gruppe I</b> (%)	<b>Gruppe II</b> (%)
<b>COHb, Nichtraucher</b>		
- vor Einsatz	1,5 (1,1-2,1)	1,4 (1,3-1,5)
- direkt nach Einsatzende	1,9 (1,1-3,1)	1,9 (1,4-2,4)
- 60 min nach Einsatzende	1,5 (1,0-3,0)	1,6 (1,2-2,4)
<b>COHb, Raucher</b>		
- vor Einsatz	4,7 (3,2-6,7)	4,9 (4,5-5,2)
- direkt nach Einsatzende	4,1 (2,6-5,6)	4,7 (3,7-5,7)
- 60 min nach Einsatzende	3,3 (2,0-5,0)	3,8 (3,1-4,5)

Referenzbereich: Nichtraucher 0,4-1,6%

Raucher 3-6%

Der durchschnittliche Hämatokritwert im venösen Blut fiel in der Gruppe I nach der Einsatzübung statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ) und blieb nach einer Stunde auf diesem Wert: Wurde vor der Übung ein mittlerer Hämatokrit von 46,7% (39,1-53,5%) gemessen, so erreichten die Probanden direkt nach der Übung einen Wert von 45,3% (31,1-50,0%). Nach 60 Minuten betrug der Wert 45,3% (39,6-52,5%) (Abfall um 3%).

In Gruppe II lag der mittlere Hämatokrit vor der Übung bei 46,3% (43,6-51,1%), direkt danach bei 45,4% (42,0-49,9%) (Abfall um 1,9%) und nach einer Stunde bei 46,2% (42,1-52,2%) (minus 0,2% gegenüber dem Ausgangswert). Übersicht in Tabelle 12.

**Tabelle 12:****Durchschnittlicher Hämatokritwert mit Minimal- und Maximalwerten**

	<b>Gruppe I</b> (%)	<b>Gruppe II</b> (%)
<b>Hämatokrit</b>		
- vor Einsatz	46,7 (39,1-53,5)	46,3 (43,6-51,1)
- direkt nach Einsatzende	45,3 (31,1-50,0)	45,4 (42,0-49,9)
- 60 min nach Einsatzende	45,3 (39,6-52,5)	46,2 (42,1-52,2)

Referenzbereich: 35-52%



Die Auswertung des venösen Bluts in Gruppe I zeigte eine statistisch signifikante ( $p < 0,01$ ) Verringerung des Hämoglobinwerts parallel zur Hämatokritänderung. Vor der Übung wurde ein mittleres Hämoglobin von  $16,0 \text{ g dl}^{-1}$  ( $13,0\text{-}18,5 \text{ g dl}^{-1}$ ) ermittelt, das sich auf  $15,8 \text{ g dl}^{-1}$  ( $13,5\text{-}17,6 \text{ g dl}^{-1}$ ) direkt nach der Übung verringerte (minus 1,25%) und 60 Minuten nach der Übung mit  $15,6 \text{ g dl}^{-1}$  ( $13,1\text{-}17,8 \text{ g dl}^{-1}$ ) noch weiter abgesunken war (Abfall um 2,5% zum Ausgangswert).

In der Gruppe II wurde ebenfalls ein Abfall des mittleren Hämoglobinwerts beobachtet, der nach 60 Minuten wieder den Ausgangswert erreichte. Vor der Übung wurde ein mittleres Hämoglobin von  $15,3 \text{ g dl}^{-1}$  ( $14,2\text{-}17,0 \text{ g dl}^{-1}$ ), direkt nach der Übung von  $15,1 \text{ g dl}^{-1}$  ( $13,8\text{-}16,5 \text{ g dl}^{-1}$ ) (Abfall um 1,3%) und nach 60 min von  $15,3 \text{ g dl}^{-1}$  ( $13,9\text{-}17,2 \text{ g dl}^{-1}$ ) gemessen.

Hinsichtlich der Erythrozytenzahl im venösen Blut konnte in Gruppe I ein signifikanter Abfall ( $p < 0,01$ ) von durchschnittlich  $5,24 \cdot 10^6 \mu\text{l}^{-1}$  ( $4,31\text{-}5,99 \cdot 10^6 \mu\text{l}^{-1}$ ) vor der Übung auf  $5,14 \cdot 10^6 \mu\text{l}^{-1}$  ( $4,47\text{-}5,69 \cdot 10^6 \mu\text{l}^{-1}$ ) direkt nach der Übung gemessen werden (Abfall um 2%), der sich nach 60 Minuten mit  $5,10 \cdot 10^6 \mu\text{l}^{-1}$  ( $4,31\text{-}5,77 \cdot 10^6 \mu\text{l}^{-1}$ ) um nur 40.000 Zellen pro  $\mu\text{l}$  verändert hatte.

In der Gruppe II fiel die mittlere Erythrozytenzahl von  $4,98 \cdot 10^6 \mu\text{l}^{-1}$  ( $4,59\text{-}5,96 \cdot 10^6 \mu\text{l}^{-1}$ ) auf  $4,89 \cdot 10^6 \mu\text{l}^{-1}$  ( $4,47\text{-}5,85 \cdot 10^6 \mu\text{l}^{-1}$ ) (Abfall um 1,8%) und erreichte nach 60 Minuten wieder der Ausgangswert von  $4,98 \cdot 10^6 \mu\text{l}^{-1}$  ( $4,41\text{-}6,01 \cdot 10^6 \mu\text{l}^{-1}$ ).

Die daraus errechneten Erythrozytenindices MCV, MCHC und MCH verhielten sich wie folgt:

Das durchschnittliche mittlere corpusculäre Volumen (MCV) verringerte sich in Gruppe I signifikant (Abfall 0,3%) von  $89,1 \text{ fl}$  ( $82,0\text{-}95,6 \text{ fl}$ ) auf  $88,8 \text{ fl}$  ( $81,1\text{-}95,5 \text{ fl}$ ) ( $p < 0,01$ ) und stieg eine Stunde nach Einsatzübungsende nicht signifikant auf  $88,9 \text{ fl}$  ( $81,4\text{-}95,6 \text{ fl}$ ).

In der Gruppe II lag das durchschnittliche MCV vor dem Übungseinsatz bei  $93,1 \text{ fl}$  ( $85,4\text{-}99,1 \text{ fl}$ ) und veränderte sich bei den folgenden Messungen nicht.

Die durchschnittliche mittlere corpusculäre Hämoglobinkonzentration (MCHC) stieg in der Gruppe I ( $p < 0,01$  signifikant) von  $34,4 \text{ g dl}^{-1}$  ( $33,0\text{-}36,0 \text{ g dl}^{-1}$ ) vor der Übung auf  $34,6 \text{ g dl}^{-1}$  ( $33,0\text{-}36,2 \text{ g dl}^{-1}$ ) direkt nach der Übung (plus 0,6%) und blieb auch 60 Minuten nach der Übung mit  $34,6 \text{ g dl}^{-1}$  ( $32,9\text{-}36,0 \text{ g dl}^{-1}$ ) noch auf diesem Niveau.

In der Gruppe II lagen die Mittelwerte über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg im Bereich von 33,0 bis 33,1 g dl<sup>-1</sup> (32,4-33,7 g dl<sup>-1</sup>).

Beim mittleren corpusculären Hämoglobin (MCH) ergaben sich in beiden Gruppen Mittelwerte im Bereich von 30,6-30,9 pg Zelle<sup>-1</sup> (28,1-33,3 pg Zelle<sup>-1</sup>).

Vor der Übung wurde in Gruppe I eine mittlere Erythrozytenverteilungsbreite (RDW) von 14,5% (12,7-16,5%) gemessen, die direkt nach der Übung und eine Stunde nach Übungsende bei 14,6% (13,0-16,9%; 12,2-16,3%) lag.

In der Gruppe II wurden vor und nach der Übung identische mittlere Erythrozytenverteilungsbreiten von 14,6% (13,3-15,6% bzw. 16,7%) und nach einer Stunde von 14,8% (13,7-16,1%) gemessen.

Eine Übersicht ist in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13:

## Durchschnittliche Erythrozyten-Werte mit Minimal- und Maximalwerten

	Gruppe I	Gruppe II
<b>Hämoglobin (g dl<sup>-1</sup>)</b>		
- vor Einsatz	16,0 (13,0-18,5)	15,3 (14,2-17,0),
- direkt nach Einsatzende	15,8 (13,5-17,6)	15,1 (13,8-16,5)
- 60 min nach Einsatzende	15,6 (13,1-17,8)	15,3 (13,9-17,2)
<b>Erythrozytenzahl (10<sup>6</sup> µl<sup>-1</sup>)</b>		
- vor Einsatz	5,24 (4,31-5,99)	4,98 (4,59-5,96)
- direkt nach Einsatzende	5,14 (4,47-5,69)	4,89 (4,47-5,85)
- 60 min nach Einsatzende	5,10 (4,31-5,77)	4,98 (4,41-6,01).
<b>MCV (fl)</b>		
- vor Einsatz	89,1 (82,0-95,6)	93,1 (85,7-98,5)
- direkt nach Einsatzende	88,8 (81,1-95,5)	93,1 (85,3-99,1)
- 60 min nach Einsatzende	88,9 (81,4-95,6)	93,1 (93,1-98,7)
<b>MCHC (g dl<sup>-1</sup>)</b>		
- vor Einsatz	34,4 (33,0-36,0)	33,0 (32,4-33,6)
- direkt nach Einsatzende	34,6 (33,0-36,2)	33,2 (32,9-33,7)
- 60 min nach Einsatzende	34,6 (32,9-36,0)	33,1 (32,9-33,4)
<b>MCH (pg Zelle<sup>-1</sup>)</b>		
- vor Einsatz	30,6 (28,7-32,6)	30,7 (28,5-32,5)
- direkt nach Einsatzende	30,7 (28,6-33,3)	30,9 (28,1-33,1)
- 60 min nach Einsatzende	30,7 (28,8-32,8)	30,7 (28,4-32,5)
<b>RDW (%)</b>		
- vor Einsatz	14,5 (12,7-16,5)	14,6 (13,3-15,6)
- direkt nach Einsatzende	14,6 (13,0-16,9)	14,6 (13,3-16,7)
- 60 min nach Einsatzende	14,6 (12,2-16,3)	14,8 (13,7-16,1)

Referenzbereich: Hämoglobin 14-18,0 g dl<sup>-1</sup>

Erythrozytenzahl 4,5-5,9 10<sup>6</sup> µl<sup>-1</sup>

MCV 80-96 fl

MCHC 33-36 g dl<sup>-1</sup>

MCH 26-34 pg Zelle<sup>-1</sup>

RDW 11,6-16,0%

Während der Einsatzübung und in den folgenden 60 Minuten stieg in Gruppe I die Anzahl der Leukozyten im Blut signifikant ( $p < 0,0001$ ) an. Vor der Übung ergab die Auswertung eine durchschnittliche Leukozytenzahl von  $6720 \mu\text{l}^{-1}$  ( $4330-10.600 \mu\text{l}^{-1}$ ), direkt nach der Übung fand sich ein Anstieg auf  $7610 \mu\text{l}^{-1}$  ( $4690-16.000 \mu\text{l}^{-1}$ ) (plus 13,2%) und nach einer Stunde eine Durchschnittszahl von  $8850 \mu\text{l}^{-1}$  ( $5000-14.900 \mu\text{l}^{-1}$ ) (31,7% über dem Ausgangswert).

Die durchschnittliche Leukozytenzahl in Gruppe II betrug  $6200 \mu\text{l}^{-1}$  ( $4310-8080 \mu\text{l}^{-1}$ ), stieg direkt nach der Übung auf  $6600 \mu\text{l}^{-1}$  ( $4800-8580 \mu\text{l}^{-1}$ ) (plus 6,5%) und lag nach einer Stunde im Durchschnitt bei  $6540 \mu\text{l}^{-1}$  ( $5050-8170 \mu\text{l}^{-1}$ ) (Anstieg um 5,4% gegenüber dem Ausgangswert).

Die Aufschlüsselung der einzelnen Leukozytenfraktionen ergab folgendes Ergebnis: Der prozentuale Anteil von neutrophilen Granulozyten an der Gesamtleukozytenzahl stieg in der Gruppe I von 60,8% ( $46,1-74,3\%$ ) vor der Übung statistisch nicht signifikant auf 62,0% ( $46,6-83,4\%$ ) an (plus 2,0%).

Eine Stunde nach der Übung ergab die Auswertung einen signifikanten Anstieg ( $p < 0,0001$ ) auf 70,3% ( $49,5-85,0\%$ ) (plus 15,6% gegenüber dem Ausgangswert).

In der Gruppe II stieg der Anteil der neutrophilen Granulozyten von 60,7% ( $39,1-73,1\%$ ) auf 63,2% ( $41,6-74,7\%$ ) (plus 4,1%) und lag nach einer Stunde bei 62,0% ( $41,7-79,4\%$ ) (Anstieg 2,1% gegenüber dem Ausgangswert).

Der mittlere Lymphozytenanteil lag in der Gruppe I direkt vor der Übung bei 28,3% ( $18,6-45,6\%$ ), direkt nach der Übung bei 27,8% ( $9,89-40,4\%$ ) (minus 1,8%) und fiel nach 60 Minuten signifikant ( $p < 0,0001$ ) auf 20,2% ( $8,78-34,4\%$ ) (Abfall um 28,6% gegenüber dem Ausgangswert).

In der Gruppe II konnte eine Verringerung des Lymphozytenanteils von 25,2% ( $17,9-36,9\%$ ) vor der Übung auf 23,6% ( $17,9-33,8\%$ ) (minus 6,3%) verzeichnet werden, der sich nach einer Stunde wieder egalisierte (im Mittel 25,6% ( $13,8-40,6\%$ )) (plus 8,5% bzw. plus 1,6% gegenüber dem Ausgangswert).

Bei der Auswertung der eosinophilen Granulozyten konnte in der Gruppe I ebenfalls eine signifikante ( $p < 0,0001$ ) Veränderung gemessen werden:

Vor der Übung lag der mittlere Anteil bei 2,15% (0,17-6,87%) und direkt danach bei 1,63% (0,11-5,89%) (minus 24,1%).

Nach einer Stunde betrug der Wert nur noch 1,35% (0,10-4,42%) (minus 37,3% gegenüber dem Ausgangswert), was einer signifikanten ( $p < 0,001$ ) Veränderung auch gegenüber dem Messwert direkt nach dem Übungseinsatz entspricht.

In der Gruppe II lag der Anteil der eosinophilen Granulozyten vor der Übung bei 2,19% (0,60-7,23%), direkt nach der Übung bei 2,12% (0,77-2,42%) (minus 3,2%) und nach einer Stunde bei 2,10% (0,56-6,99%) (minus 4,1% gegenüber dem Ausgangswert).

Die Auswertung der basophilen Granulozyten ergab vor und direkt nach der Übung in Gruppe I einen Anteil von 1,1% (0,42-1,94% bzw. 0,54-2,68%), der nach einer Stunde signifikant ( $p < 0,0001$ ) auf 0,88% (0,35-2,04%) (minus 20%) fiel.

In der Gruppe II lag dieser Anteil vor der Übung bei 1,35% (0,70-2,55%) und direkt danach bei 1,40% (0,77-2,42%) (plus 3,7%). Nach einer Stunde lag der Anteil bei 1,34% (0,59-2,75%) (minus 0,7% des Ausgangswertes).

Hinsichtlich der Monozyten gab es in der Gruppe I keine statistisch signifikanten Veränderungen: Ihr Anteil sank von 7,67% (3,94-14,8%) vor der Übung auf 7,46% (3,99-12,5%) (minus 2,7%) direkt danach und weiter auf 7,21% (2,81-11,2%) nach einer Stunde (minus 6% gegenüber Ausgangswert).

In der Gruppe II wurde vor der Übung im Mittel ein Monozytenanteil von 7,4% (4,4-13,0%) gemessen, direkt nach der Übung waren es 6,57% (4,19-11,20%) (minus 11%) und sechzig Minuten nach der Übung 6,11% (4,83-7,90%) (minus 17,3% des Ausgangswertes). Übersicht in Tabelle 14.

**Tabelle 14:**  
**Durchschnittliche Leukozyten-Werte mit Minimal- und Maximalwerten**

	<b>Gruppe I</b>	<b>Gruppe II</b>
<b>Leukozyten <math>\mu\text{l}^{-1}</math> (gesamt)</b>		
- vor Einsatz	6720 (4330-10.600)	6200 (4310-8080)
- direkt nach Einsatzende	7610 (4690-16.000)	6600 (4800-8580)
- 60 min nach Einsatzende	8850 (5000-14.900)	6540 (5050-8170)
<b>Neutrophile Granulozyten (%)</b>		
- vor Einsatz	60,8% (46,1-74,3)	60,7% (39,1-73,1)
- direkt nach Einsatzende	62,0% (46,6-83,4)	63,2% (41,6-74,7)
- 60 min nach Einsatzende	70,3% (49,5-85,0)	62,0% (41,7-79,4)
<b>Lymphozyten (%)</b>		
- vor Einsatz	28,3% (18,6-45,6)	25,2% (17,9-36,9)
- direkt nach Einsatzende	27,8% (9,89-40,4)	23,6% (17,9-33,8)
- 60 min nach Einsatzende	20,2% (8,78-34,4)	25,6% (13,8-40,6)
<b>Eosinophile Granulozyten (%)</b>		
- vor Einsatz	2,15% (0,17-6,87)	2,19 (0,60-7,23)
- direkt nach Einsatzende	1,63% (0,11-5,89)	2,12 (0,65-7,67)
- 60 min nach Einsatzende	1,35% (0,10-4,42)	2,10 (0,56-6,99)
<b>Basophile Granulozyten (%)</b>		
- vor Einsatz	1,11% (0,42-1,94)	1,35 (0,70-2,55)
- direkt nach Einsatzende	1,12% (0,54-2,68)	1,40 (0,77-2,42)
- 60 min nach Einsatzende	0,88% (0,35-2,04)	1,34 (0,59-2,75)
<b>Monozyten (%)</b>		
- vor Einsatz	7,67% (3,94-14,80)	7,38% (4,40-13,0)
- direkt nach Einsatzende	7,46% (3,99-12,50)	6,57% (4,19-11,20)
- 60 min nach Einsatzende	7,21% (2,81-11,20)	6,11% (4,83-7,90)
<hr/>		
Referenzbereich: Leukozyten	4.400-11.100 Stück $\mu\text{l}^{-1}$ (gesamt)	
Neutrophile Granulozyten	50-70%	
Lymphozyten	22-50%	
Eosinophile Granulozyten	0,0-5,0%	
Basophile Granulozyten	0,0-2,5%	
Monozyten	2,5-10%	

Die durchschnittliche Thrombozytenzahl stieg in der Gruppe I signifikant ( $p < 0,0001$ ) von  $275.000 \mu\text{l}^{-1}$  ( $169.000-403.000 \mu\text{l}^{-1}$ ) direkt vor der Übung auf  $293.000 \mu\text{l}^{-1}$  ( $165.000-424.000 \mu\text{l}^{-1}$ ) (ein Plus von 6,5%) direkt nach der Übung und fiel dann nach einer Stunde wieder auf den Ausgangswert von  $276.000 \mu\text{l}^{-1}$  ( $187.000-394.000 \mu\text{l}^{-1}$ ).

Die durchschnittliche Thrombozytenzahl in Gruppe II fiel von  $236.000 \mu\text{l}^{-1}$  ( $202.000-275.000 \mu\text{l}^{-1}$ ) auf  $221.000 \mu\text{l}^{-1}$  ( $160.000-299.000 \mu\text{l}^{-1}$ ) (minus 6,4%) und erreichte nach einer Stunde einen Wert von  $226.000 \mu\text{l}^{-1}$  ( $202.000-244.000 \mu\text{l}^{-1}$ ) (minus 4,3% gegenüber dem Ausgangswert). Übersicht in Tabelle 15.

**Tabelle 15:**

**Durchschnittliche Thrombozytenzahl mit Minimal- und Maximalwerten**

	<b>Gruppe I</b> ( $\mu\text{l}^{-1}$ )	<b>Gruppe II</b> ( $\mu\text{l}^{-1}$ )
<b>Thrombozyten</b>		
- vor Einsatz	275.000 (168.000-403.000)	236.000 (202.000-275.000)
- direkt nach Einsatzende	293.000 (165.000-424.000)	221.000 (160.000-299.000)
- 60 min nach Einsatzende	276.000 (187.000-394.000)	226.000 (202.000-244.000)

Referenzbereich: 150.000 – 400.000 Zellen  $\mu\text{l}^{-1}$

Die Teilnehmer der Gruppe I und II tranken nach der zweiten Blutentnahme innerhalb von 60 Minuten Mineralwasser zum Ausgleich des Flüssigkeitshaushalts. In Gruppe I wurden innerhalb dieser Stunde im Mittel 764 ml (0-1410 ml) Wasser aufgenommen. Ein Proband blieb ganz ohne Wasserzufuhr, neun Teilnehmer benötigten 1400 ml, 28 Probanden tranken 700-1238 ml, 12 Probanden 290-542 ml.

In Gruppe II wurden im Durchschnitt 554 ml (170-700 ml) Wasser aufgenommen. Vier Teilnehmer nahmen 700 ml, drei Probanden zwischen 170 und 550 ml Mineralwasser zu sich.

Die Auswertung der Gerinnungswerte im Gerinnungslabor ergab folgende Ergebnisse: Der Median des Quickwertes (Test des exogenen Aktivierungsweges der plasmatischen Gerinnung) stieg in der Gruppe I von 99% (83->120%) direkt vor der Übung auf 104% (78->120%) direkt nach der Übung (plus 5%).

Eine Stunde nach der Übung lag dieser Wert unverändert bei 104% (78->120%).

In der Gruppe II verhielt sich der Median des Quickwertes wie folgt: Vor der Übung wurden 102% (92->120%), direkt danach ebenfalls 102% (91->120%) und nach einer Stunde 108% (86->120%) gemessen

Der Median kam zur Anwendung, da kein Mittelwert gebildet werden konnte. Messwerte >120% waren, bedingt durch die gängigen Laborverfahren, nicht detailliert aufgeschlüsselt.

Die partielle Thromboplastinzeit (PTT) als Test des endogenen Aktivierungsweges der plasmatischen Gerinnung veränderte sich in Gruppe I wie folgt:

Unmittelbar vor der Übung wurde eine mittlere PTT von 31 Sekunden (25-39 s), direkt danach von 28 Sekunden (23-34 s) (minus 10%; statistisch signifikant mit  $p < 0,0001$ ) und nach einer Stunde von 29 Sekunden (23-35 s) ermittelt.

In Gruppe II lag die mittlere PTT vor der Übung bei 31 Sekunden (27-34 s) und direkt danach bei 30 Sekunden (26-34 s). Eine Stunde nach der Übung betrug sie wieder 31 Sekunden (27-45 s). Übersicht in Tabelle 16.

**Tabelle 16:**

**Median des Quickwertes und durchschnittliche PTT**

	Gruppe I	Gruppe II
<b>Quick (%)</b>		
- vor Einsatz	99 (83->120)	102 (92->120)
- direkt nach Einsatzende	104 (78->120)	102 (91->120)
- 60 min nach Einsatzende	104 (78->120)	108 (86->120)
<b>PTT (s)</b>		
- vor Einsatz	31 (25-39)	31 (27-34)
- direkt nach Einsatzende	28 (23-34)	30 (26-34)
- 60 min nach Einsatzende	29 (23-35)	31 (27-45)
Referenzbereich:	Quick 70-130%	
	PTT 26-36 s	

Das Fibrinogen (Faktor I der plasmatischen Gerinnung) verringerte sich im Durchschnitt in Gruppe I von 303 mg dl<sup>-1</sup> (234-397 mg dl<sup>-1</sup>) vor der Übung auf 298 mg dl<sup>-1</sup> (235-384 mg dl<sup>-1</sup>) direkt nach der Übung (minus 2%).



Nach einer Stunde lag der Wert fast unverändert bei 299 mg dl<sup>-1</sup> (251-372 mg dl<sup>-1</sup>). In Gruppe II betrug das Fibrinogen vor der Übung im Durchschnitt 301 mg dl<sup>-1</sup> (262-381 mg dl<sup>-1</sup>), direkt danach 292 mg dl<sup>-1</sup> (239-361 mg dl<sup>-1</sup>) und nach einer Stunde 296 mg dl<sup>-1</sup> (250-371 mg dl<sup>-1</sup>).

Bei der Messung der D-Dimere (Fibrinolyseprodukte als Zeichen einer stattgehabten intravasalen Gerinnung) zeigte sich in Gruppe I ein durchschnittlicher Wert von 0,09 µg dl<sup>-1</sup> (0-0,20 µg dl<sup>-1</sup>) vor und nach der Übung. Eine Stunde nach der Übung betrug er 0,10 µg dl<sup>-1</sup> (0-0,21 µg dl<sup>-1</sup>).

In Gruppe II stieg der durchschnittliche Wert von 0,14 µg dl<sup>-1</sup> (0,02-0,21 µg dl<sup>-1</sup>) vor der Übung auf 0,16 µg dl<sup>-1</sup> (0,05-0,42 µg dl<sup>-1</sup>) nach der Übung und fiel dann auf 0,15 µg dl<sup>-1</sup> (0,05-0,35 µg dl<sup>-1</sup>) nach einer Stunde. Übersicht in Tabelle 17.

**Tabelle 17:**

**Durchschnittliches Fibrinogen und durchschnittliche D-Dimere**

	Gruppe I	Gruppe II
<b>Fibrinogen (mg dl<sup>-1</sup>)</b>		
- vor Einsatz	303 (234-397)	301 (262-381)
- direkt nach Einsatzende	298 (235-384)	292 (239-361)
- 60 min nach Einsatzende	299 (251-372)	296 (250-371)
<b>D-Dimere (µg dl<sup>-1</sup>)</b>		
- vor Einsatz	0,09 (0-0,20)	0,14 (0,02-0,21)
- direkt nach Einsatzende	0,09 (0-0,20)	0,16 (0,05-0,42)
- 60 min nach Einsatzende	0,10 (0-0,21)	0,15 (0,05-0,35)
Referenzbereich:	Fibrinogen 180-350 mg dl <sup>-1</sup> D-Dimere 0,02-0,4 µg dl <sup>-1</sup>	

Der Fibrinkomplex I (LIA) stieg in der Gruppe I von im Mittel 1,7 µg dl<sup>-1</sup> (0,8-4,0 µg dl<sup>-1</sup>) vor der Übung auf 2,0 µg dl<sup>-1</sup> (0,9-5,4 µg dl<sup>-1</sup>) direkt nach der Übung und lag nach einer Stunde wieder bei 1,7 µg dl<sup>-1</sup> (0,3-3,9 µg dl<sup>-1</sup>). In der Gruppe II wurden vor der Übung im Mittel 1,4 µg dl<sup>-1</sup> (1,1-1,6 µg dl<sup>-1</sup>), direkt danach 1,4 µg dl<sup>-1</sup> (1,2-1,9 µg dl<sup>-1</sup>) und nach einer Stunde 1,5 µg dl<sup>-1</sup> (1,1-1,7 µg dl<sup>-1</sup>) gemessen.

Beim Fibrinkomplex II (SF) ergab sich in der Gruppe I ein Anstieg von  $0,5 \mu\text{g dl}^{-1}$  ( $0-7,9 \mu\text{g dl}^{-1}$ ) vor der Übung auf  $0,6 \mu\text{g dl}^{-1}$  ( $0-7,9 \mu\text{g dl}^{-1}$ ) direkt nach der Übung. Nach einer Stunde lag der Wert wieder im Bereich des Ausgangswertes von  $0,5 \mu\text{g dl}^{-1}$  ( $0-5,5 \mu\text{g dl}^{-1}$ ). In der Gruppe II konnte kein Fibrinkomplex II nachgewiesen werden.

Der Mittelwert des Fibrinopeptid A (FPA) stieg in der Gruppe I von  $9,26 \text{ ng dl}^{-1}$  ( $0-34,7 \text{ ng dl}^{-1}$ ) vor der Übung auf  $13,54 \text{ ng dl}^{-1}$  ( $0-86,79 \text{ ng dl}^{-1}$ ) direkt nach der Übung und fiel dann auf  $12,64 \text{ ng dl}^{-1}$  ( $0-35,92 \text{ ng dl}^{-1}$ ) nach einer Stunde.

In der Gruppe II kam es zu einem Absinken des FPA-Mittelwertes von  $7,393 \text{ ng dl}^{-1}$  ( $2,297-9,517 \text{ ng dl}^{-1}$ ) vor der Übung auf  $5,570 \text{ ng dl}^{-1}$  ( $2,726-9,514 \text{ ng dl}^{-1}$ ) direkt nach der Übung. Nach einer Stunde lag der Wert bei  $5,974 \text{ ng dl}^{-1}$  ( $1,985-10,5 \text{ ng dl}^{-1}$ ).

Übersicht in Tabelle 18.

**Tabelle 18:**

**Mittelwerte der Fibrinkomplexe I und II und der FPA**

	Gruppe I	Gruppe II
<b>Fibrinkomplex I (<math>\mu\text{g dl}^{-1}</math>)</b>		
- vor Einsatz	1,7 (0,8-4,0)	1,4 (1,1-1,6)
- direkt nach Einsatzende	2,0 (0,9-5,4)	1,4 (1,2-1,9)
- 60 min nach Einsatzende	1,7 (0,3-3,9)	1,5 (1,1-1,7)
<b>Fibrinkomplex II (<math>\mu\text{g dl}^{-1}</math>)</b>		
- vor Einsatz	0,5 (0-7,9)	kein Nachweis
- direkt nach Einsatzende	0,6 (0-7,9)	kein Nachweis
- 60 min nach Einsatzende	0,5 (0-5,5)	kein Nachweis
<b>FPA (<math>\text{ng dl}^{-1}</math>)</b>		
- vor Einsatz	9,26 (0-34,7)	7,393 (2,297-9,517)
- direkt nach Einsatzende	13,54 (0-86,79)	5,570 (2,726-9,514)
- 60 min nach Einsatzende	12,64 (0-35,92)	5,974 (1,985-10,5)
Referenzbereiche:	Fibrinkomplex I $\mu\text{g dl}^{-1}$ (Normalwert entspricht Ruhewert)	
	Fibrinkomplex II $0-2 \mu\text{g dl}^{-1}$	
	FPA $<15 \text{ ng dl}^{-1}$	

## Diskussion

Hauptbelastungsfaktoren beim Feuerwehreinsatz unter Atemschutz sind die Umgebungsbedingungen (Klima, Beleuchtung, Art der Einsatzstelle), die Beschaffenheit und das Gewicht von Schutzausrüstung und Atemschutzgerät sowie die körperlich geleistete Arbeit durch das Bewegen von Lasten (Menschenrettung, Einsatz-ausrüstung).

Die körperliche Belastung im Feuerwehreinsatz ist unabhängig vom Alter und der Einsatzerfahrung (Lusa et al., 1994), jedoch ist die physiologische und psychische Antwort des Organismus auf den Einsatzstress alters- und erfahrungsabhängig (Motohashi und Takano, 1985).

Untersucht wurde die akute physische Belastung im Übungseinsatz anhand von zwei Probandengruppen: Gruppe I, bestehend aus jungen, wenig erfahrenen Einsatzkräften von Freiwilligen Feuerwehren und Gruppe II, bestehend aus älteren, einsatzerfahrenen Angehörigen einer Berufsfeuerwehr.

Zur Optimierung der Aussagekraft der Messwerte und zur Sicherstellung eindeutiger Laborergebnisse wurden weibliche Probanden von der Studie ausgeschlossen. Hinsichtlich der Laborparameter gelten in dieser Gruppe andere geschlechtsspezifische Normwerte als bei männlichen Probanden. Zusätzlich unterliegen Frauen zyklischen hormonellen Schwankungen, die möglicherweise ihre Leistungsfähigkeit beeinflussen (Birch und Reilly, 1997).

Die Probanden beider Gruppen waren mit einer Durchschnittskörpergröße von 180 cm (Gruppe II: 181 cm), einem Gewicht von durchschnittlich 82,4 kg in beiden Gruppen sowie einem Body Mass Index (BMI) von durchschnittlich 25,8 kg m<sup>-2</sup> (Gruppe II: 25,2 kg m<sup>-2</sup>) ein Normkollektiv. Vergleichbare Werte fand Mohr (2001) bei einer retrospektiven Auswertung von 180 durchgeführten G26-Untersuchungen von Angehörigen Freiwilliger Feuerwehren (179,6 cm; 82,7 kg; BMI 25,6 kg m<sup>-2</sup>).

Das untersuchte Kollektiv war entsprechend der Definition der World Health Organization (WHO) zum Body Mass Index präadipös (Hauner, 1999).

Übergewicht ist vergesellschaftet mit einer eingeschränkten Leistungsfähigkeit (Davis et al., 1982), Gewichtsreduktion führt hingegen zu einer besseren Belastbarkeit in der Ergometrie (Schopper-Jochum, 2001). Laut Kales et al. (1999)

sollten hohe BMI-Werte Anlass sein, die Gesundheit von Einsatzkräften durch Fitnessprogramme zu verbessern.

30 % der Teilnehmer in Gruppe I waren Raucher (Gruppe II: 29%). Der Konsum von Zigaretten schränkt die Leistung bei der Arbeit unter umluftunabhängigem Atemschutz signifikant ein (Raven et al., 1977).

Das Tragen der Einsatzkleidung in Verbindung mit umluftunabhängigem Atemschutz hat einen signifikant begrenzenden Effekt auf die Leistungsfähigkeit von Feuerwehrleuten (Sköldstrom, 1987). Eine Reduktion der Leistungsfähigkeit um 25% allein bedingt durch das Tragen eines Pressluftatemgerätes beobachteten Louhevaara et al. (1995).

Durchschnittlich trugen die Probanden der Gruppe I 31,3% (18,6-36,6%) (Gruppe II: 31,6% (25,4-40,0%)) ihres Körpergewichtes als zusätzliche Last in Form ihrer persönlichen Ausrüstung mit sich. Ein Zusatzgewicht von 28-37% des eigenen Körpergewichtes ermittelten Kirsch et al. (1985) bei ihrer Untersuchung an Feuerwehrangehörigen unter Atemschutz mit Chemikalienschutzanzug. Auch sie postulierten als Folge des hohen zusätzlichen Gewichts eine Einschränkung der Leistungsfähigkeit, wie zuvor schon von Gihl (1973) und Pasternack (1982) beschrieben.

Subjektiv schätzten die Teilnehmer die absolvierte Einsatzübung unter Atemschutzgerät zwar als anstrengend, jedoch nicht als überlastend ein. Smith et al. (1996) konnten allerdings nachweisen, dass Feuerwehrmänner ihre wahre Belastung falsch einschätzen. Dies macht eine objektive Kontrolle der körperlichen Belastung mittels einer konkreten Übungssituation notwendig.

Die Probanden der Gruppe I verloren durchschnittlich 0,53 kg (Gruppe II: 0,57 kg) an Gewicht während der Einsatzübung. Gewichtsverlust haben wir mit Flüssigkeitsverlust durch Schwitzen gleichgesetzt.

Die gemessenen Flüssigkeitsverluste durch Schwitzen decken sich mit den Beobachtungen von Schopper-Jochum et al. (1997).

Bei der Untersuchung von Probanden auf dem Laufband unter schwerem Atemschutz (Klimakammer) beobachteten sie innerhalb von 20 Minuten Einsatzzeit einen Flüssigkeitsverlust im Bereich von 0,7-1,0 l.

Von höheren Gewichtsverlusten bis zu 1,1 kg bei Einsatzzeiten von 20 Minuten im Vollschutzanzug bei Hitze und körperlicher Arbeit unter kontrollierten Bedingungen berichteten Richardson und Capra (2001). Längere Einsatzzeiten von 1,5 h unter Atemschutz im Feuerwehrschatzanzug führten zu weitaus höheren Verlusten bis zu 4,2 l (Ilmarinen und Mäkinen, 1992).

Flüssigkeitsverlust während des Einsatzes in Hitze vermindert die Hitzetoleranz und senkt die Arbeitsleistung (Suni et al., 1998).

Aufgrund der Einsatzfähigkeit im Feuerwehr-Übungshaus ist ein Flüssigkeitsausgleich während der Übung nicht möglich, so dass man die zügige Zufuhr von Flüssigkeit im Anschluss an die Übung anstreben sollte. Eine logistische Vorhaltung von 1400 ml Mineralwasser pro Einsatzkraft hat sich im vorliegenden Fall als ausreichend erwiesen.

Wurden im Mittel 764 ml Mineralwasser nach der Einsatzübung in Gruppe I konsumiert (Gruppe II: 553,7 ml), erreichten neun Teilnehmer (18%) die Menge von 1400 ml, 28 Teilnehmer (56%) tranken zwischen 700-1238 ml und 12 Probanden (24%) ein Volumen von 290-542 ml. Da das subjektive Durstgefühl des Einzelnen stark schwanken kann, sollten alle Übungsteilnehmer zur Zufuhr von reichlich Flüssigkeit angehalten werden. Insbesondere Teilnehmer, die nichts oder nur wenig trinken (ein Proband blieb nach der Übung ohne Flüssigkeitszufuhr), sollten auf die Auswirkungen von Flüssigkeitsverlusten und auf die Notwendigkeit zur Substitution hingewiesen werden.

Hohe Umgebungstemperatur führt bei körperlicher Arbeit zu erhöhtem körperlichen Stress, die Körpertemperatur steigt in Abhängigkeit der Beschaffenheit der Kleidung (White et al., 1991; Smith et al., 1997). Bei körperlicher Arbeit während einer Einsatzdauer von 30 Minuten unter umluftunabhängigem Atemschutz in Einsatzkleidung können kritisch hohe Körperkerntemperaturen entstehen (Griefahn et al., 1996; Griefahn et al., 1998).

Die Gesamteinsatzdauer für die Teilnehmer unter umluftunabhängigem Atemschutz im Feuerwehr-Übungshaus wurde daher im Vorfeld auf einen Zielwert von unterhalb 30 Minuten vorgegeben und betrug während der Durchführung im Durchschnitt 21,0 Minuten (Gruppe II: 20,0 Minuten).

Die gemessenen Raumtemperaturen an der Einsatzstelle „Schlafzimmer“ des Übungshauses variierten zu Beginn der Übungen stark (78 °C-282 °C) (Gruppe II: 94 °C -156 °C).

Sie zeigten auch während des Flash Overs differierende Mittelwerte 451 °C (Gruppe II: 515 °C), jedoch fast gleich hohe Spitzenwerte (580 °C bzw. 600 °C ).

Ein beeinflussender Faktor der Temperaturentwicklung im Inneren des Gebäudes ist die Anzahl vorheriger Aufheizungen während des Übungsbetriebs (Wärmespeicherung in der Schutzauskleidung des Hauses (Corten-Stahl)). Weitere Faktoren sind der örtlich variierende Einsatz von Löschwasser während des Innenangriffs im Übungshaus, der eine Abkühlung der Umgebung bewirkt und die herrschende Außentemperatur.

Die genannten Faktoren erklären auch die unterschiedlich starke Abkühlung der Einsatzstelle „Schlafzimmer“ (Gruppe I: 92°C (30-275 °C), Gruppe II: 58 °C (39-75 °C)) nach Betätigung der Be- und Entlüftungseinrichtung des Übungshauses nach den einzelnen Übungsdurchgängen.

Die Teilnehmer in Gruppe I erreichten im Mittel 95,4% (84,7-105,9%) ihrer persönlichen maximalen Herzfrequenz von 220 minus Lebensalter (Trappe und Löllgen, 2000). In Gruppe II wurden durchschnittlich 85,8% (66,7-96,2%) der maximalen persönlichen Herzfrequenz erreicht. Vergleichbar hohe Werte finden sich auch in der Literatur: Dabei erreichen die Atemschutzgeräteträger häufig 80-90% der persönlichen maximalen Herzfrequenz (Richardson und Capra, 2001; Romet und Frim, 1987; Sothmann et al., 1992) und sogar eine Belastung zwischen 90-100% während einer Einsatzübung zur Brandbekämpfung (Manning und Griggs, 1983).

Junge, unerfahrene Einsatzkräfte (Gruppe I) zeigten im Vergleich zu den erfahrenen Berufsfeuerwehrleuten (Gruppe II) ein höheres Maximalfrequenzniveau über den gesamten Zeitraum der EKG-Ableitung. Die mit 75% der maximalen Herzfrequenz definierte Dauerleistungsgrenze wird von Teilnehmern der Gruppe I im Vergleich zur Gruppe II hinsichtlich des Zeitrahmens um den Faktor drei überschritten (21,9 vs. 7,4 Minuten).

Als Gründe können die größere psychische Belastung (Angst durch Unerfahrenheit) oder ein schlechterer körperlicher Trainingszustand vermutet werden.

Auch Schopper-Jochum (2001) berichtete, dass jüngere Probanden mehr Probleme mit dem Herzfrequenzverhalten haben als ältere Einsatzkräfte, jedoch wurden keine konkreten Gründe genannt.

Die Absenkung der Herzfrequenz direkt nach Einsatzende sowie 10 Minuten nach Einsatzende im Übungshaus vollzog sich bei jungen, wenig erfahrenen Einsatzkräften langsamer als bei den erfahrenen Berufsfeuerwehrlern. Teilnehmer der Gruppe II waren bereits 10 Minuten nach Einsatzende wieder an der Obergrenze des Normbereichs für den Ruhepuls angelangt.

Dies könnte als weiterer Hinweis auf den schlechteren Trainingszustand der Freiwilligen Feuerwehrangehörigen (Gruppe I) und eine höhere psychische Belastung gewertet werden.

Normofrequente Pulswerte auf dem Ausgangsniveau wurden 60 Minuten nach Beendigung der Übung in beiden Gruppen erreicht, so dass man von einer ausreichend langen Pausenzeit nach Einsatzende ausgehen kann.

Empfohlen wird eine Pausenzeit, die mindestens der Dauer der Einsatzzeit unter umluftunabhängigem Atemschutz entspricht (Griefahn et al., 1996). Die Höhe der Umgebungstemperatur ist jedoch in die Pausenzeit mit einzuberechnen und so resultiert daher im Sommer eine längere Pausenzeit. Laut Richardson et al. (2001) korrelieren Herzfrequenzanstieg und der benötigte Erholungszeitraum bis zur Rückkehr zur Normofrequenz mit steigender Umgebungstemperatur.

Die Auswertung der EKG-Aufzeichnung hinsichtlich Herzrhythmusstörungen und ST-Strecken-Analyse ergab keine pathologischen Befunde, mit Ausnahme eines Probanden (Gruppe I), der durch Bigeminus- bzw. Trigemini-Perioden im EKG auffiel. Er gab jedoch auf Nachfrage keine Beeinträchtigung seiner subjektiven Leistungsfähigkeit während der Übung an.

Das Auftreten von Bigeminusperioden sowie ST-Streckenveränderungen im Feuerwehreinsatz wurde von Kurt und Peters (1975) beobachtet. Auch Barnard und Duncan (1975) berichteten über ST-Streckenveränderungen im Realeinsatz als Hinweis für eine kardiale Ischämie, Guidotti (1995) postulierte für Feuerwehreinsatzkräfte aufgrund ihrer Tätigkeit ein erhöhtes Risiko für den plötzlichen Herztod. Im Gegensatz zur angeführten Literatur fanden wir in unserem Kollektiv keine

relevanten ST-Streckenveränderungen. Dies ist wohl auf den niedrigen Altersdurchschnitt der Probanden zurückzuführen.

Junge, wenig erfahrene Einsatzkräfte (Gruppe I) erreichen Herzfrequenzwerte, die mit Messergebnissen von Feuerwehrkräften im Realeinsatz vergleichbar sind (Sothmann et al., 1992).

Hinsichtlich der kardialen Belastung liegt die Herzfrequenz in Gruppe I für einen nicht vertretbaren Zeitraum von im Mittel 21,9 Minuten (Brandbekämpfungszeit plus Wegezeiten zum Einsatzort und zurück) oberhalb der empfohlenen Dauerleistungsgrenze von 75% der maximalen Herzfrequenz und sollte als Dauerbelastung vermieden werden.

Bei insgesamt hohem Herzfrequenzniveau während des Einsatzes der Probanden, überschritten ein Viertel der Teilnehmer der Gruppe I zusätzlich ihre persönliche maximale Herzfrequenz.

Dauerhafte Belastungen über der 75%-Marke der maximalen Herzfrequenz oder eine Überschreitung der persönlichen maximalen Herzfrequenz sind im Übungseinsatz aus unserer Sicht nicht tolerabel.

Aufgrund der hohen kardialen Belastung sollten die Übungsteilnehmer während des Übungseinsatzes mittels EKG- oder Pulsmessung online überwacht werden. Als Abbruchkriterium wäre eine Belastung von 90% der maximalen Herzfrequenz, gemessen über einen Zeitraum von einer Minute, denkbar (Richardson und Capra, 2001). Die Vorhaltung eines Automatisierten Externen Defibrillators (AED) und eine rettungsdienstliche Ausbildung von Einsatzkräften mit Unterweisung in die AED-Anwendung erscheinen vor dem Hintergrund der hohen kardialen Belastung sinnvoll. Sportliche Betätigung und die damit verbundene bessere körperliche Fitness können als Möglichkeit zur Vermeidung extrem hoher Herzfrequenzen im Übungseinsatz angesehen werden. Denkbar wäre ein Zeitrahmen von vier Mal eine Stunde sportliche Betätigung unter Anleitung pro Woche, wie von Puterbaugh und Lawyer (1983) beschrieben.

Vergleicht man die EKG-Aufzeichnungen (Abbildung 3) des Freizeit-Triathleten (Gruppe II) mit dem Kurvenverlauf des sportlich wenig trainierten Feuerwehrmannes, vergleichbaren Probanden aus Gruppe I (Abbildung 4), so ergibt sich bei der Gegenüberstellung dieser Einsatzkräfte auch bei unserer Untersuchung ein Hinweis auf den Zusammenhang von Trainingszustand und Herzfrequenzanstieg bei körperlicher Belastung.



Die Herzfrequenz des Sportlers erreichte ein Maximum von nur 110 Schlägen  $\text{min}^{-1}$  während des Übungseinsatzes. Seine persönliche Dauerleistungsgrenze von 139 Schlägen  $\text{min}^{-1}$  wurde zu keinem Zeitpunkt erreicht.

Folglich ist ein durchtrainierter Sportler mit hoher körperlicher Fitness der optimale Atemschutzgeräteträger. Diese Einschätzung deckt sich mit den Ergebnissen von Serra et al. (1998), die nur körperlich gut trainierte Feuerwehrmänner für den Einsatz unter umluftunabhängigem Atemschutz zulassen würden.

Eine Reduktion der Übungsanforderungen zur Senkung der Herzfrequenz der Übungsteilnehmer wäre denkbar, ist jedoch kritisch zu hinterfragen. Denn durch eine Minderung der Belastung im Übungseinsatz würde sich die „Realitätsnähe“ vermindern und bei vergleichbaren Einsatzzeiten dürfte die Belastung im Realeinsatz weitaus höher sein als während des Übungsbetriebs im Feuerwehr-Übungsraum unter kontrollierten Bedingungen. Das höhere Stresspotential im Realeinsatz beschrieben Barnard und Duncan (1975). Sie beobachteten Einsatzkräfte vom Zeitpunkt der Alarmierung bis zur Ankunft an der Einsatzstelle. Direkte Folge der Alarmierung war eine Post-Alarm-Tachykardie mit erheblichem Anstieg der Herzfrequenz (Im Mittel plus 47  $\text{min}^{-1}$  mit einer Messwertbreite von 12-117  $\text{min}^{-1}$ ) während der Anfahrt zur Einsatzstelle. Die Post-Alarm-Tachykardie wird von Puterbaugh und Lawyer (1983) als besonders gefährlich eingeschätzt; gleichzeitig ist sie aber genau wie die Maximalfrequenz im Einsatz durch regelmäßiges körperliches Training positiv beeinflussbar, d.h. durch Erhöhung der Fitness durch sportliche Betätigung absenkbar.

Die untersuchten Probanden der Gruppe I waren zum Teil sehr nervös, was sich in einer hohen Ruhfrequenz in liegender Position widerspiegelt.

Die Hälfte aller Probanden der Gruppe I hatte eine Ruhe-Herzfrequenz von mehr als 80  $\text{min}^{-1}$  und so scheint der Faktor Angst/Respekt vor dem Einsatz eine wichtige Rolle bei der Erhöhung der Herzfrequenz zu spielen.

Diese Einschätzung bezüglich des Faktors Angst teilen auch Barnard und Duncan (1975). Nach Eintreffen der Feuerwehr und Anblick einer bislang unbekanntes realen Einsatzstelle beobachteten Sie bei den Einsatzkräften einen Anstieg der Herzfrequenz auf im Mittel 150  $\text{min}^{-1}$ .

Die systolischen Blutdruckwerte wurden diskontinuierlich vor und nach Ende des Übungseinsatzes erhoben. Von einer kontinuierlichen Messung wurde abgesehen, weil die Probanden während ihrer Einsatzübung durch ein Langzeitblutdruck-Messgerät in ihrer natürlichen Bewegung deutlich eingeschränkt worden wären. Zusätzlich wäre ein hoher Anteil an Messungen durch die Armbewegungen fehlerhaft gewesen.

Bei den Messungen nach dem Einsatz zeigte sich eine mathematisch signifikante, jedoch klinisch vernachlässigbare Erhöhung des durchschnittlichen systolischen Blutdrucks. Wie erwartet, lagen bei allen Einzelmessungen die durchschnittlichen systolischen Blutdruckwerte beider Gruppen im Normbereich.

Aufgrund des exponentiellen Blutdruckabfalls in der Zeitspanne zwischen Einsatzübungsende und Messzeitpunkt ist der Blutdruck bei der Messung nach der Übung wieder im Normbereich. Kiparski und Marschall (1983) verzichteten aus diesem Grund gänzlich auf eine Blutdruckmessung bei ihrer Untersuchung an Feuerwehrleuten. Die punktuelle Blutdruckmessung der Probanden vor und nach Belastung diente der Orientierung, lässt jedoch keine Aussage zur Spitzenbelastung während des Übungseinsatzes zu.

Ein kräftiger Anstieg der systolischen Blutdruckwerte oberhalb des Normbereichs ist bei starker körperlicher Anstrengung während der Übung unter umluftunabhängigem Atemschutz bei kontinuierlicher Messung auch in unserem Kollektiv zu vermuten. Systolische Blutdruckwerte bis 200 mm Hg beobachteten Motohashi und Takano (1985) bei Untersuchungen japanischer Feuerwehrangehöriger auf dem Fahrradergometer (Klimakammer) unter Einsatz eines Atemschutzgeräts.

Mittels tympanometrischer Messung vor und mehrfach nach dem Einsatz wurde die Temperatur der Probanden untersucht. Die tympanometrische Temperaturmessung ist eine etablierte, wenig invasive Methode zur Bestimmung der Körpertemperatur. Laut Greenleaf und Castle (1972) ist die Messung der Ohrtemperatur zur Abschätzung der Körperkerntemperatur geeignet, sofern keine andere Messtechnik zur Verfügung steht.

Um eine weitere Beeinträchtigung der Bewegungsfreiheit der freiwilligen Teilnehmer zu vermeiden und aus Gründen der Motivation und des Komforts wurde auf eine Körperkerntemperaturmessung mittels Rektalsonde verzichtet. Daher ist die

Temperaturmessung hinsichtlich der Temperaturentwicklung während der Einsatzübung limitiert.

Die Teilnehmer der Gruppe I zeigten nach dem Einsatz eine durchschnittliche Temperatur von 38,1 °C (Gruppe II: 37,9 °C). Vereinzelt wurden von Probanden Spitzentemperaturen von 39,2 °C (Gruppe II: 39,1 °C) erreicht.

Ähnlich hohe Temperaturen wurden mit 38,5-39,1°C bzw. durchschnittlich 38,7 °C bei Untersuchungen von Feuerwehrleuten von Faff und Tutak (1989) und Sköldström (1987) gemessen.

Ilmarinen und Mäkinen (1992) und Smith et al. (1996) konnten in ihren Studien mit Einsatzkräften unter extremen Hitzebelastungen noch höhere Körpertemperaturen beobachten (38,5-41,4 °C bzw. durchschnittliche Maximaltemperatur 40,1 °C).

Diese Studien sind jedoch mit den Einsatzbedingungen unserer Untersuchung nicht direkt vergleichbar, da andere Belastungsbedingungen (z. B. Ergometer, Löschangriff über 90 Minuten) vorlagen.

In beiden Gruppen unseres Probandenkollektivs kam es während des Beobachtungszeitraums zu einem durchschnittlichen Temperaturanstieg von einem Grad Celsius.

Einige Probanden erreichten ihre Maximaltemperatur erst 10 bzw. 15 Minuten nach Einsatzende, weshalb die mittlere Spitzentemperatur mit 38,3 °C in der Gruppe I oberhalb der mittleren Temperatur lag, die direkt nach dem Einsatz ermittelt wurde. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen von Griefahn et al. (1998), die bei kontinuierlicher Messung erst drei bis vier Minuten nach Übungsende ein Temperaturmaximum feststellten, Faff und Tutak (1989) berichteten über Temperaturanstiege über 39 °C innerhalb der ersten 10 Minuten nach Übungsende auf dem Ergometer.

Zur Einschätzung der kritischen Grenze der Körpertemperatur gibt es unterschiedliche Auffassungen: Nach Angaben der WHO sollte eine Rektaltemperatur von 39 °C auch kurzzeitig nicht überschritten werden (Bernard et al., 1994).

Nach den Empfehlungen der American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH, 1988) sollte das Maximum der Körpertemperatur bei körperlicher Arbeit an Arbeitsplätzen mit hoher Umgebungstemperatur bei 38 °C liegen. In einer Belastungsstudie mit Arbeitern an Hitzearbeitsplätzen in der Automobilindustrie wird von Ulmer et al. (2000) ebenfalls eine Toleranzgrenze von 38 °C postuliert.

Mit einer durchschnittlichen Maximaltemperatur von 38,3 °C lagen die Teilnehmer der Gruppe I zwar unterhalb der von der WHO als kritisch eingestuften 39 °C-Grenze, sie lagen jedoch oberhalb der Toleranzgrenze von 38 °C (ACGIH). Bei vier Probanden der Gruppe I und einem Probanden der Gruppe II konnten Spitzentemperaturen von 39 °C und darüber gemessen werden, die in jedem Falle als kritisch zu werten sind.

Legt man die Toleranzgrenze von 38 °C zu Grunde, so erreichen die Probanden der Gruppe I zu hohe Körpertemperaturen. In Gruppe II wurde die 38 °C-Grenze mit durchschnittlich 37,9 °C knapp unterschritten.

Griefahn et al. (1996) verglichen die Körpertemperaturen von Atemschutzgeräteträgern auf dem Laufband bei Übungszeiten von 25 vs. 15 Minuten. Im Gegensatz zur Übungsdauer von 25 Minuten, kam es bei einer Übungsdauer von 15 Minuten zu keiner kritischen Temperaturerhöhung (Durchschnittstemperatur kleiner 38 °C). Kein Teilnehmer erreichte die Marke von 39 °C. Diese Ergebnisse legen nahe, dass sich eine Übungszeitverkürzung positiv auf die erreichte Maximaltemperatur auswirkt.

Aus diesem Grund sollten die Übungszeiten im Feuerwehr-Übungshaus Bruchsal auf Werte unterhalb der in unserer Studie gemessenen Zeiten verkürzt werden.

60 Minuten nach Übungsende befanden sich die Durchschnittstemperaturwerte der Teilnehmer beider Gruppen im Normbereich, weshalb man auch in bezug auf die Temperatur von einer ausreichenden Pausenzeit ausgehen kann.

Die Veränderungen im Säure-Base-Status der Probanden sind Ausdruck eines Zusammenspiels verschiedener Einzelveränderungen, die im Folgenden skizziert werden sollen:

Aufgrund der körperlichen Arbeit kam es in beiden Gruppen zu einem Anstieg des Blutlaktatwertes, der vor allem in Gruppe I als relevant angesehen werden muss. Hier stieg das Laktat von im Mittel 1,1 mmol l<sup>-1</sup> vor der Übung auf 2,3 mmol l<sup>-1</sup> nach der Übung (Blutentnahme 30 Minuten nach Übungsbeginn).

Als Dauerleistungsgrenze ist ein Wert von 2 mmol l<sup>-1</sup> definiert (Ulmer, 1997a). Aufgrund der erhöhten Laktatwerte lagen die untersuchten Probanden aus Gruppe I im anaeroben Bereich.

Man kann davon ausgehen, dass der Laktatwert während der Einsatzübung noch höher lag, da ein Maximum des Laktatwertes zehn Minuten nach Aufnahme körperlicher Arbeit erreicht ist und in der Folge kontinuierlich auf etwa  $2 \text{ mmol l}^{-1}$  nach etwa 30 Minuten fällt (Thomas, 2000a).

Dieser Sachverhalt erklärt auch die höheren Laktatwerte von Smith et al. (1996), die unter ähnlichen Bedingungen deutlich größere Laktatanstiege messen konnten. Sie fanden acht Minuten nach Übungsbeginn einen Anstieg von 1,4 auf  $4,2 \text{ mmol l}^{-1}$  bzw. nach 16 Minuten noch einen Wert von  $3,8 \text{ mmol l}^{-1}$ .

Kurzzeitige Anstiege des Laktatwertes während einer Arbeitstätigkeit über die Dauerleistungsgrenze sind nach Ulmer (1997b) dann erlaubt, wenn anschließend eine ausreichende Ruhephase ermöglicht wird.

Als Folge des Anstieges des Laktatwertes kommt es im Blut zu einer metabolischen Azidose, die wiederum zum Abfall der Bicarbonatkonzentration im Plasma und damit zum Anstieg der Anionenlücke (bei gleichzeitig konstanter Natrium- und Chloridkonzentration) führt (Thomas, 2000b).

Ein Abfall des Bicarbonats und ein Anstieg der Anionenlücke konnte in der vorliegenden Studie in beiden Gruppen beobachtet werden. Die Parameteränderungen fielen allerdings in Gruppe I deutlich größer aus.

Zur Gegenregulation der metabolischen Azidose steht dem Körper unter anderem die Erzeugung einer respiratorischen Alkalose durch Hyperventilation zur Verfügung (Müller-Plathe, 2000).

Dieser Mechanismus wurde von den Probanden beider Gruppen aktiviert, was man anhand des deutlichen Abfalls der Kohlendioxidpartialdrücke ( $p\text{CO}_2$ ) einerseits und des Anstieg des Sauerstoffpartialdruckes ( $p\text{O}_2$ ) andererseits belegen kann.

Auf eine metabolische Azidose (in diesem Falle Laktatazidose) folgt regelhaft eine negative Basenabweichung (Müller-Plathe, 2000), was bei unseren Probandengruppen nicht sichtbar war (Gruppe I: Abfall des Base Excess im Mittel von  $2,5$  auf  $0,5 \text{ mmol l}^{-1}$ ), da gleichzeitig eine hyperventilationsbedingte respiratorische Alkalose als Ausgleich vorlag.

Der pH-Wert als Marker für den Säure-Basen-Status stieg in beiden Gruppen an, was sich durch die Kompensation der Azidose durch die hyperventilationsbedingte Alkalose erklären lässt.

Zusammenfassend kann man also folgendes postulieren: In Folge der körperlichen Anstrengung kam es bei den Probanden zu einer metabolischen Azidose, hervorgerufen durch einen Anstieg des Blutlaktatwertes.

Diese wurde allerdings durch eine hyperventilationsbedingte respiratorische Alkalose vollständig kompensiert.

Diese Reaktion des Körpers ist nach Müller-Plathe (2000) physiologisch und deshalb als ungefährlich einzustufen, auch wenn der Laktatspiegel direkt nach der Übung oberhalb der Dauerleistungsgrenze lag und man deshalb von einer ermüdenden Arbeit ausgehen muss (Ulmer, 1997c).

Alle Säure-Basen-Parameter lagen 60 Minuten nach der Übung wieder im Bereich ihrer Ausgangswerte. Hinsichtlich des Säure-Base-Haushalts scheint daher eine Ruhezeit von einer Stunde zur Erholung auszureichen.

Bei der Messung der Elektrolyte konnten weder signifikante noch klinisch relevante Veränderungen gemessen werden. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen von O'Toole et al. (2000), die Feuerwehreinsatzkräfte auf Mineralienverlust nach exzessivem Schwitzen untersucht haben. Es fanden sich keine relevanten Elektrolytveränderungen.

Die Blutglukose stieg in beiden Gruppen während der Übung an und fiel nach 60 Minuten wieder ab. Es handelt sich um einen physiologischen Vorgang und deckt sich mit Aussagen von Ulmer (1997c).

Durch die körperliche Anstrengung steigt der Sympathikotonus, das Nebennierenrindenmark schüttet vermehrt Adrenalin und Noradrenalin aus und von der Nebennierenrinde wird vermehrt Kortisol abgegeben.

Adrenalin und Noradrenalin hemmen die Insulinausschüttung und führen damit indirekt zu einem Anstieg der Blutglukosekonzentration. Außerdem führen sie, wie Kortisol, zu einer Mobilisierung von Glukose aus den Glykogenspeichern der Leber und zu einer gesteigerten Gluconeogenese (Löffler, 1998; Petrides, 1998).

Einzelne Probanden wiesen Extremwerte von 174 bzw. 189 mg dl<sup>-1</sup> auf, die beobachtungswürdig sind und vom Hausarzt kontrolliert werden sollten.

Während der Ruhephase kam es bei den Probanden zu einer vermehrten Insulinausschüttung, weshalb sie nach einer Stunde, während der sie nur Mineralwasser zu sich nahmen, Blutglukosespiegel unterhalb des Ausgangswertes aufwiesen.

Die Veränderungen des mit kohlenmonoxidbeladenen Hämoglobins (COHb) werden im Folgenden für Raucher und Nichtraucher getrennt diskutiert:

Bei den Nichtrauchern beider Gruppen kam es zu einem signifikanten Anstieg auf Werte oberhalb des Referenzbereiches. Werte bis 10% führen in der Regel zu keinen wesentlichen Beschwerden (Thomas, 2000c), weshalb unsere Ergebnisse nicht als akut lebensbedrohlich einzustufen sind. Die COHb-Belastung sollte jedoch minimiert werden, da jede Belastung als potenziell cardiotoxisch anzusehen ist (Takano et al, 1981).

Bei der Brandbekämpfung im Realeinsatz kommt es jedoch fast immer zu einer Konfrontation mit Kohlenmonoxid (Barnard und Weber, 1979; Kurt und Peters, 1975; Brandt-Rauf et al., 1988; Gold et al., 1978).

Fehlbedienungen, wie ein zu spätes Aufsetzen und zu frühes Absetzen der Atemschutzmaske, führen im Realeinsatz nach Jankovic et al. (1991) zu einem gefährlichen Anstieg des COHb im Blut.

Es stellt sich die Frage, woher der hohe COHb-Anstieg im Blut der Probanden kommt. Hierzu sind drei Erklärungsansätze möglich:

Einerseits entsteht im menschlichen Stoffwechsel bei extremer körperlicher Belastung aufgrund von starker Hämolyse und Myolyse endogenes COHb (Thomas, 2000c). Da gleichzeitig aber keine Hinweise für das Vorliegen dieser beiden Ereignisse gefunden werden konnten (siehe Blutparameter), kann dieser Ansatz den deutlichen COHb-Anstieg nicht erklären.

Andererseits kann es beim Befüllen der Pressluftflaschen zu einer Kontamination mit Kohlenmonoxid kommen, die beim Einsatz der Atemluft aus der Flasche zu einem Anstieg des COHb führen kann.

Austin et al. (1997) fanden in Pressluftflaschen, die stichprobenartig von verschiedenen Feuerwachen Montreals/ Kanada ausgewählt wurden, bis zu zwölfmal höhere CO-Konzentrationen als der erlaubte Grenzwert.

Mit diesen Flaschen arbeitende Probanden erreichten in CO-freier Umgebung COHb-Spiegel von bis zu 17%. Die Autoren berichten darüber hinaus von Symptomen wie Übelkeit, Erbrechen und Kopfschmerzen bei den Probanden als Zeichen einer CO-Vergiftung.

Tödliche Kohlenmonoxidvergiftungen von Tauchern nach Tauchgängen mit Pressluft, die auf Verunreinigungen in der Flasche zurückgeführt werden konnten, wurden u.a. von Daenens (1973) beschrieben.

Da dieser Erklärungsansatz nicht sicher ausgeschlossen werden kann, sollte eine Verunreinigung der Atemluft durch den Befüllungsvorgang der Pressluftflaschen ausgeschlossen werden. Es bietet sich eine stichprobenartige Überprüfung der Atemluft im Druckbehälter nach dem Füllvorgang an.

Als dritte Möglichkeit kommt eine Undichtigkeit beim Tragen der Atemschutzmaske mit Einatmung von Umgebungsluft in Betracht.

Im Feuerwehr-Übungshaus ist aufgrund des Einsatzes von Nebelöl zur Rauchsimulation und der Entstehung von Verbrennungsprodukten des Nebelöls durch die Brandsimulation mit der Bildung von Gefahrstoffen, darunter auch Kohlenmonoxid, zu rechnen (Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, 2000; Levine, 1979).

Bei den Rauchern beider Gruppen zeigt sich im Blut ein anderer COHb-Verlauf als bei den Nichtrauchern: Hier kommt es zu einem Abfall des deutlich höheren Ausgangswerts von COHb.

Bei der unvollständigen Verbrennung des Tabaks einer Zigarette entsteht Kohlenmonoxid. Daher haben Raucher eine deutlich höhere COHb-Konzentration im Blut als Nichtraucher. In Ruhelage hat dies keine Auswirkung auf das Wohlbefinden des Rauchers, jedoch kann es bei starken Rauchern durch körperliche Anstrengung zu Kurzatmigkeit kommen (Thomas, 2000c).

Die gemessene Reduktion des COHb während Übung und Ruhephase lässt sich durch die Zigarettenkarenz erklären, deren Effekt während der Übung scheinbar größer ist als die mögliche Zufuhr von CO über die Pressluftflasche oder undichte Atemschutzmaske.



Kann man eine CO-Exposition im Übungseinsatz nicht ausschließen, so muss den Teilnehmern anschließend ein Rauchverbot ausgesprochen werden, um mögliches Kohlenmonoxid im Blut nicht noch weiter zu erhöhen (Loke et al., 1976).

Im Realeinsatz mit sicherer CO-Exposition (Barnard und Weber, 1979) gilt diese Empfehlung umso mehr.

Betrachtet man die Ergebnisse des kleinen Blutbildes, so verringerte sich der Hämatokritwert zwar mathematisch signifikant, jedoch ohne klinische Relevanz.

Das Absinken des Hämatokrits ist auf eine arbeitsbedingte Mobilisation von Flüssigkeit aus dem Extrazellulärraum (EZR) zurückzuführen, die das zirkulierende Blutvolumen erhöht.

Diese physiologische Flüssigkeitsmobilisation führt zwangsläufig zu einer Verdünnung des Blutes und deckt sich mit den Aussagen von Thomas (2000d). Die Folge der Flüssigkeitsverschiebung ist eine Verminderung der Zellzahl pro Volumeneinheit.

Dies zeigt sich auch bei der Erythrozytenzahl, die erwartungsgemäß bei beiden Probandengruppen abfiel. Aufgrund des höheren Volumens wurden pro Volumeneinheit weniger Erythrozyten gemessen, so dass sich der mittlere Hämoglobinwert auch verringerte. Diese Veränderung konnte in beiden Gruppen festgestellt werden.

Die Erythrozytenindices MCV, MCHC und MCH zeigten keine relevanten Veränderungen und wurden der Vollständigkeit halber erwähnt. Auch die Erythrozytenverteilungsbreite (RDW) änderte sich nur unwesentlich. Sehr hohe Werte sind Ausdruck einer stattfindenden starken Hämolyse (Thomas, 2000e). Die geringen Veränderungen zeigen an, dass es während der Übung zu keiner relevanten Hämolyse gekommen ist.

Die Veränderungen im Bereich der roten Zellreihe können folglich als ungefährlich und physiologisch eingestuft werden.

Die Auswertung der Leukozyten ergab in beiden Gruppen einen deutlichen Anstieg nach der Einsatzübung, der in Gruppe I noch deutlicher ausfiel als in Gruppe II.

Diese Veränderung ist als physiologisch einzustufen und deckt sich mit den Beobachtungen von Rumler und Helbig (2002). Sie berichteten ebenfalls über einen

Anstieg der Leukozytenzahl bei der Untersuchung der Arbeitsbelastungen von Übungsleitern, die in einer Feuerlösch-Übungsanlage tätig sind.

In der Gruppe I stieg die Leukozytenzahl sogar noch während der Ruhephase an. Dies lässt sich zum einen durch die um wenige Minuten versetzte Freisetzung der Leukozyten und zum anderen durch die lange Halbwertszeit im Blut (sechs Stunden) erklären (Thomas, 2000f).

Bei der Differenzierung der einzelnen Leukozytenfraktionen konnte eine deutliche Zunahme des neutrophilen Granulozytenanteils in beiden Gruppen festgestellt werden.

Die Zunahme der neutrophilen Granulozyten war in Gruppe I stärker ausgeprägt als in Gruppe II und korreliert mit einer höheren Stressbelastung (Herzfrequenz) der jungen, unerfahrenen Probanden.

Neben der deutlichen Zunahme der Neutrophilen kam es auch zu einer Erhöhung der Lymphozyten und Monozyten. Diese wurden jedoch in geringerem Umfang freigesetzt als die Neutrophilen. Somit verringerte sich ihr relativer Anteil am Gesamtaufkommen der Leukozyten.

Unsere Ergebnisse spiegeln sich in den Ausführungen von Thomas (2000f) wider, der eine deutlich höhere Freisetzung von neutrophilen Granulozyten im Vergleich zu Lymphozyten und Monozyten postuliert.

Bei körperlicher Arbeit kommt es zu einer sogenannten Pseudoneutrophilie. Dabei werden kurzfristig neutrophile Granulozyten aus den marginalen Pools (u.a. Lunge, Milz) freigesetzt und in das zirkulierende Blut abgegeben.

Eine Pseudoneutrophilie kann man auch bei Laborkontrollen in der Geburtshilfe bei Spontangeburt sehen. Allein durch den körperlichen Stress bei der Geburt kann die Leukozytenzahl der Mutter bis auf  $20.000 \mu\text{l}^{-1}$  ansteigen (Thomas, 2000f).

Auch die Veränderungen in der weißen Reihe sind als physiologisch und ungefährlich einzustufen.

Hinsichtlich der Thrombozytenzahl ergaben sich in beiden Gruppen gegenläufige Veränderungen. Während die Thrombozytenzahl in Gruppe I nach der Übung deutlich über dem Ausgangswert lag, waren die Thrombozyten in der Gruppe II gefallen.

Nach einer Stunde Ruhe waren sie in beiden Gruppen wieder auf dem Ausgangsniveau. Die Ergebnisse der Gruppe I stehen im Einklang mit der Beschreibung von Thomas (2000g), der die Veränderungen der Thrombozytenzahl bei körperlicher Anstrengung beschreibt. Im Widerspruch dazu steht jedoch der Thrombozytenabfall der Gruppe II. Rund 15 Minuten nach Beginn der körperlichen Arbeit kommt es zu einem Anstieg der Thrombozyten um 50% des Ausgangswertes, der sich 30 Minuten nach Beginn der Anstrengung wieder normalisiert.

Aufgrund dieser Feststellung kann man vermuten, dass die Thrombozytenzahl in beiden Gruppen zwischen den beiden Messpunkten (direkt vor und 25 Minuten nach Übungsbeginn) noch deutlich höher gelegen haben muss. Die geringere Thrombozytenzahl nach der Übung in der Gruppen II wäre mit einem stärkeren Abfall im Rahmen des beschriebenen Mechanismus vereinbar.

Diese Veränderungen sind folglich als physiologisch und ungefährlich einzuordnen.

Bei der Gerinnungsanalyse wurden neben Globaltests der Hämostase (Prothrombinzeit nach Quick, PTT) auch Fibrinogen und Aktivierungsparameter der Hämostase (Fibrinkomplexe I+II, FPA und D-Dimere) gemessen.

Auffällig ist eine signifikante Verkürzung der PTT in der Gruppe I, welche auf eine erhöhte Gerinnungsbereitschaft hindeutet. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen von El-Sayed (1996), der ein Absinken der PTT in Folge körperlicher Anstrengung beschreibt. Korte et al. (2000) werten eine Verkürzung der PTT als Risikoerhöhung für ein thrombembolisches Ereignis. Die Fibrinspaltprodukte FPA, Fibrinogen, die Fibrinkomplexe I+II und die D-Dimere verändern sich jedoch nicht signifikant.

Anstiege der Fibrinkomplexe I+II (Hamano et al., 2002; Soe et al., 1996), der FPA oder der D-Dimere wären Anzeichen für eine vermehrte stattfindende Gerinnung gewesen, wie sie von Weiss et al. (1998) und Bartsch et al. (1995) bei schwerer Arbeit und bei Triathleten beschrieben wird.

Da keiner dieser Marker signifikant ansteigt, kann eine akute Thrombose oder Embolie ausgeschlossen werden.

Ebenfalls ist trotz des signifikanten Absinkens der PTT, das möglicherweise zu einer leichten Hyperkoagulabilität führt, nicht von einer manifesten Gerinnungsaktivierung auszugehen. Die Belastung im Feuerwehr-Übungshaus ist folglich aus hämostasiologischer Sicht als unbedenklich einzustufen.

## Schlussfolgerung

Übungseinsätze unter umluftunabhängigem Atemschutz gehen mit einer erheblichen körperlichen Belastung einher.

In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass die Einsatzkräfte bei standardisierten Übungseinsätzen im Feuerwehr-Übungshaus der Landesfeuerwehrschule Bruchsal extrem hohen Belastungen ausgesetzt werden.

Junge, wenig erfahrene Feuerwehrangehörige Freiwilliger Feuerwehren mit einem durchschnittlichen BMI von  $25,8 \text{ kg m}^{-2}$  erreichten durchschnittlich 95,4% ihrer persönlichen maximalen Herzfrequenz und befanden sich während der gesamten Einsatzübung oberhalb der Dauerleistungsgrenze von 75% der persönlichen maximalen Herzfrequenz. Die Herzfrequenz stieg signifikant an ( $p < 0,0001$ ) und erreichte im Durchschnitt  $186 \text{ Schläge min}^{-1}$ .

Die Körpertemperatur stieg unter den Bedingungen der körperlichen Arbeit während der Brandbekämpfung mit umluftunabhängigem Atemschutzgerät und persönlicher Schutzausrüstung signifikant ( $p < 0,0001$ ) um  $1,0 \text{ ° Celsius}$  und erreichte kritisch hohe Werte.

Die Auswertung der Blutgase zeigte eine respiratorisch vollständig kompensierte metabolische Azidose. Auffällig war ein signifikanter Anstieg ( $p < 0,0001$ ) des Carboxyhämoglobins (COHb) während der Arbeit in verqualmter Umgebung unter Atemschutz in der Gruppe der Nichtraucher aus Gruppe I.

Laborchemische Parameter (Blutbild, Klinische Chemie und Gerinnungsparameter) zeigten physiologische Reaktionen auf die schwere körperliche Anstrengung. Eine manifeste Gerinnungsaktivierung konnte nicht nachgewiesen werden. Die Einsatzbelastung ist somit aus hämostasiologischer Sicht als unbedenklich einzustufen.

Hinsichtlich Körpergewicht und Körpergröße vergleichbare ältere, erfahrene Einsatzkräfte einer Berufsfeuerwehr zeigten bei allen relevanten Messparametern, mit Ausnahme der Körpertemperatur, ein niedrigeres Stressantwortniveau.

Aus den vorliegenden Ergebnissen folgern wir, dass die Gesamtstressbelastung für junge, wenig erfahrene Feuerwehrangehörige während des Übungseinsatzes als zu hoch einzustufen ist. Aufgrund der Ergebnisse der Vergleichsgruppe und der vorliegenden arbeitsmedizinischen Literatur, empfehlen wir in Zukunft zur

Vermeidung kritisch hoher Herzfrequenzen, nur sportlich aktive, gut trainierte Feuerwehrangehörige zum Einsatz im Feuerwehr-Übungshaus zuzulassen.

Eine Online-EKG-Überwachung zur Erkennung kardialer Ischämien und Rhythmusstörungen während des Übungseinsatzes ist aus unserer Sicht wünschenswert.

Die Vorhaltung eines Automatisierten Externen Defibrillators (AED) und eine rettungsdienstliche Ausbildung von Einsatzkräften mit Unterweisung in die AED-Anwendung erscheinen vor dem Hintergrund der hohen kardialen Belastung sinnvoll.

Zur Vermeidung kritisch hoher Körpertemperaturen sollte die Übungszeit begrenzt werden, eine durchschnittliche Einsatzzeit von 21 Minuten hatte bereits kritisch hohe Körpertemperaturen zur Folge.

Nach dem Einsatz ist eine ausreichende Flüssigkeitszufuhr und Pausenzeit zu gewährleisten. Im vorliegenden Fall hat sich die Vorhaltung von 1400 ml Mineralwasser pro Einsatzkraft als ausreichend erwiesen. Eine Pausenzeit von 60 Minuten reichte nach einer durchschnittlichen Einsatzzeit von 21 Minuten zur Erholung der Einsatzkräfte aus.

Der beobachtete Anstieg des Carboxyhämoglobins (COHb) im Blut der Nichtraucher während des Übungseinsatzes bedarf einer Erklärung. Hierzu sollte eine Kohlenmonoxidkontamination der Pressluftflaschen ausgeschlossen werden. Allen Einsatzkräften muss dringend geraten werden auf das Rauchen nach dem Einsatz zu verzichten, um die Kohlenmonoxidbelastung möglichst gering zu halten.

---

## Literaturverzeichnis

American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH) (1988)

Threshold Limit Values for Physical Agents in the Work Environment 1986-1989

American conference of Governmental Industrial Hygienists

Austin CC, Ecobichon DJ, Dussault G, Tirado C (1997)

Carbon monoxide and water vapor contamination of compressed breathing air for firefighters and divers

J Tox Env Health 52: 403-423

Barnard RJ, Duncan HW (1975)

Heart rate and ECG responses of fire fighters

J Occup Med 17: 247-250

Barnard RJ, Weber JS (1979)

Carbon monoxide: a hazard to fire fighters

Arch Environ Health 34: 255-257

Bartsch P, Welsch B, Albert M, Friedmann B, Levi M, Kruithof EK (1995)

Balanced activation of coagulation and fibrinolysis after a 2-h triathlon

Med Sci Sports Exerc 27: 1465-1470

Bernard TE, Dukes-Dobos FN, Ramsey JR (1994)

Evaluation control of hot working environments: Part II- The scientific basis (knowledge base) for the guide

Int J Ind Ergonomics 14: 119-127

Birch KM, Reilly T (1997)

The effect of eumenorrheic menstrual cycle phase on physiological responses to a repeated lifting task

Can J Appl Physiol 22: 148-160

Brandt-Rauf PW, Fallon LF Jr, Tarantini T, Idema C, Andrews L (1988)

Health hazards of fire fighters: exposure assessment

Br J Ind Med 45: 606-612

Daenens P (1973)

A case of carbon monoxide poisoning during skin diving

Arch Toxicol 31: 181-184

Davis PO, Dotson CO, Santa Maria DL (1982)

Relationship between simulated fire fighting tasks and physical performance

Med Sci Sports Exerc 14: 65-71

El-Sayed MS (1996)

Effects of exercise on blood coagulation, fibrinolysis and platelet aggregation

Sports Med 22: 282-298

Faff J, Tutak T (1989)

Physiological responses to working with fire fighting equipment in the heat in relation to subjective fatigue

Ergonomics 32: 629-638

Gihl M (1973)

Untersuchungen der Pulsfrequenz beim Tragen von Atemschutzgeräten

Drägerheft 292: 32-36

Gold A, Burgess WA, Clougherty EV (1978)

Exposure of firefighters to toxic air contaminants

Am Ind Hyg Assoc J 39: 534-539

Greenleaf JE, Castle BL (1972)

External auditory canal temperature as an estimate of core temperature

J Appl Physiol 32: 194-198

Griefahn B, Kühnemund C, Bröde P (1998)

Vergleichende Bewertung von Pressluftatmern

Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 33: 444-449

Griefahn B, Ilmarinen R, Louhevaara V, Mäkinen H, Kühnemund C (1996)

Arbeitszeit und Pausen im simulierten Einsatz der Feuerwehr

Z Arb Wiss 50: 89-95

Guidotti TL (1995)

Occupational mortality among fire fighters: Assessing the association

J Occup Environ Med; 37:1348-56

Hamano A, Tanaka S, Takeda Y, Umeda M, Sakata Y (2002)

A novel monoclonal antibody to fibrin monomer and soluble fibrin for the detection of soluble fibrin in plasma

Clin Chim Acta 318: 25-32

Hauer H (1999)

Übergewicht im Erwachsenenalter, 246-269

In: Biesalski HK, Fürst P, Kasper H, Kluthe R, Pöler W, Puchstein C, Stähelin HB:

Ernährungsmedizin

2. Aufl. Thieme, Stuttgart New York

Ilmarinen R, Mäkinen H (1992)

Heat Strain in Fire-Fighting Drills

Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Environmental Ergonomics

Maastricht, The Netherlands, Nov. 2-6, 1992, Lotens WA, Havenith G

Jankovic J, Jones W, Burkhart J, Noonan G (1991)

Environmental study of firefighters

Ann Occup Hyg 35: 581-602

Kales SN; Polyhronopoulos GN; Aldrich JM; Leitao EO; Christiani DC (1999)

Correlates of body mass index in hazardous materials firefighters

J Occup Environ Med 41: 589-595

Kirsch K, Vogt-Kirsch C, Wicke HJ (1985)

Die Leistungsgrenzen des Menschen beim Tragen von Atemschutz und Schutzanzug

Arbeitsmed Sozialmed Präventivmed 20: 173-176

Kiparski Rv; Marschall B (1983)

Die Beanspruchung von Feuerwehrleuten bei Übungen und im Einsatz

Arbeitsmed Sozialmed Praeventivmed 18: 58-63



Korte W, Clarke S, Lefkowitz JB (2000)

Short activated partial thromboplastin times are related to increased thrombin generation and an increased risk for thromboembolism

Am J Clin Pathol 113: 123-127

Kurt TL, Peters JM (1975)

Epidemiology of cardiac risks in firefighters with Holter electrocardiograms and carbon monoxide sampling

Circulation 52: 204

Landesanstalt für Umweltschutz (2000)

Messung und Beurteilung der Gefahrstoffbelastung bei der Simulation von Bränden

Unveröffentlichtes Gutachten

Levine MS (1979)

Respirator use and protection from exposure to carbon monoxide

Am Ind Hyg Assoc J 40: 832-834

Loke J, Farmer WC, Matthay RA, Virgulto JA, Bouhuys A (1976)

Carboxyhemoglobin levels in firefighters

Lung 154: 35-39

Louhevaara V, Ilmarinen R, Griefahn B, Kunemund C, Makinen H (1995)

Maximal physical work performance with European standard based fire-protective clothing system and equipment in relation to individual characteristics

Eur J Appl Physiol Occup Physiol 71: 223-229

Löffler G (1998)

Katecholamine, 800-811

In: Löffler G, Petrides PE: Biochemie und Pathobiochemie

6. Aufl. Springer, Heidelberg Berlin

Lusa S, Louhevaara V, Kinnunen K (1994)

Are the job demands on physical work capacity equal for young and aging fire fighters?

J Occup Med 36: 70-74

Manning JE, Griggs TR (1983)

Heart rate in fire fighters using light and heavy breathing equipment: similar near-maximal exertion in response to multiple work load conditions

J Occup Med 25: 215-218

Mohr W (2001)

Das Belastungs-EKG bei der G26

Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 36: 141-145

Motohashi Y, Takano T (1985)

Influence of age on cardiorespiratory responses of firefighters during exercise in the heat

Ind Health 23: 289-293

Müller-Plathe O (2000)

Säure-Basen-Gleichgewicht und Blutgase, 327-338

In: Thomas L (Hrsg): Labor und Diagnose

5. erw. Aufl. TH-Books, Frankfurt

O'Toole ML, Johnson KC, Satterfield S, Bush AJ, Koo WW, Klesges RC, Applegate WB (2000)

Do sweat calcium losses affect bone mass during firefighter training?

J Occup Environ Med 42: 1054-1059

Pasternack A (1982)

Atemschutzgeräte – Belastungsfaktor des cardio-pulmonalen Systems?

Drägerheft 323: 19-25

Petrides PE (1998)

Zelluläre Wirkungen des Kortisols, 832-833

In: Löffler G, Petrides PE: Biochemie und Pathobiochemie

6. Aufl. Springer, Heidelberg Berlin

Puterbaugh JS, Lawyer CH (1983)

Cardiovascular effects of an exercise program: a controlled study among firemen

J Occup Med 25: 581-586

Raven PB; Davis TO; Shafer CL; Linnebur AC (1977)

Maximal stress test performance while wearing a self-contained breathing apparatus

J Occup Med 19: 802-806

Richardson JE, Capra MF (2001)

Physiological responses of firefighters wearing level 3 chemical protective suits while working in controlled hot environments

J Occup Environ Med 43: 1064-1072

Romet TT, Frim J (1987)

Physiological responses to fire fighting activities

Eur J Appl Physiol Occup Physiol 56: 633-638

Rumler R, Helbig A (2002)

Arbeitsmedizinische Untersuchung und wissenschaftlich begründete Stellungnahme zur Belastung und Beanspruchung von Übungsleitern beim Betrieb der Feuerlösch-Übungsanlage Würzburg

Unveröffentlichte Studie

Schopper-Jochum S (2001)

Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 36: 404

Leserbrief zu W. Mohr (2001)

Das Belastungs-EKG bei der G26 – Eine kritische Bestandsaufnahme

Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 36.3 141-145

Schopper-Jochum S, Schubert W, Hocke M (1997)

Vergleichende Bewertung des Trageverhaltens von Feuerwehr-Einsatzjacken (Phase I)

Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 32: 138-144

Serra A, Denti S, Masia, Pintore P, Sanna Randaccio F (1998)

The energy cost and the use of individual protective devices in firefighters

G Ital Med Lav Ergon 20: 233-238

Skoelstroem B (1987)

Physiological responses of fire-fighters to workload and thermal stress

Ergonomics 30: 1589-1597

Smith DL, Petruzzello SJ, Kramer JM, Misner JE (1997)

The effects of different thermal environments on the physiological and psychological responses of firefighters to a training drill

Ergonomics 40: 500-510

Smith DL, Petruzzello SJ, Kramer JM, Misner JE (1996)

Physiological, psychophysical, and psychological responses of fire-fighters to firefighting training drills

Aviat Space Environ Med 67: 1063-1068

Soe G, Kohno I, Inuzuka, Itoh Y, Matsuda M (1996)

A monoclonal antibody that recognizes a neo-antigen exposed in the E domain of fibrin monomer complexed with fibrinogen or its derivatives: its application to the measurement of soluble fibrin in plasma

Blood 88: 2109-2117

Sothmann MS, Saupe K, Jasenof D, Blaney J (1992)

Heart rate response of firefighters to actual emergencies. Implications for cardiorespiratory fitness

J Occup Med 34: 797-800

Suni JH, Millunpalo SI, Asikainen TM, Laukkanen RT, Oja P, Pasanen ME, Bos K, Vuori IM (1998)

Safety and feasibility of a health-related fitness test battery for adults

Phys Ther 78:134-148

Takano T, Miyazaki Y, Shimoyama H, Maeda H, Okeda R, Funata N (1981)

Direct effects of carbon monoxide on cardiac function

Int Arch Occup Environ Health 49: 35-40

Thomas L (2000a)

Lactat, 164-170

In. Thomas L (Hrsg): Labor und Diagnose

5. erw. Aufl. TH-Books, Frankfurt

Thomas L (2000b)

Chlorid, 303-307

In. Thomas L (Hrsg): Labor und Diagnose

5. erw. Aufl. TH-Books, Frankfurt

Thomas L (2000c)

Hämoglobine, 487-491

In. Thomas L (Hrsg): Labor und Diagnose

5. erw. Aufl. TH-Books, Frankfurt

Thomas L (2000d)

Hämatokrit, 492-495

In. Thomas L (Hrsg): Labor und Diagnose

5. erw. Aufl. TH-Books, Frankfurt

Thomas L (2000e)

Erythrozyten, 482-487

In. Thomas L (Hrsg): Labor und Diagnose

5. erw. Aufl. TH-Books, Frankfurt

Thomas L (2000f)

Leukozyten, 516-522

In. Thomas L (Hrsg): Labor und Diagnose

5. erw. Aufl. TH-Books, Frankfurt

Thomas L (2000g)

Thrombozyten, 509-516

In. Thomas L (Hrsg): Labor und Diagnose

5. erw. Aufl. TH-Books, Frankfurt

Trappe HJ, Löllgen H (2000)

Leitlinien zur Ergometrie

Z Kardiol 89: 1821-1837

Ulmer HV, Kuhn P, Carow C (2000)

Orientierende Untersuchung zur Hitzetoleranz bei kurzzeitigen Einsätzen an extrem exponierten Arbeitsplätzen (170°C)

<http://www.uni-mainz.de/FB/Sport/physio>

Ulmer HV (1997a)

Tests und Leistungstests, 693-695

In: Schmidt RF, Thews G (Hrsg): Physiologie des Menschen

27. Aufl. Springer, Heidelberg Berlin

Ulmer HV (1997b)

Leistungsgrenzen, Ermüdung und Erholung, 686-690

In: Schmidt RF, Thews G (Hrsg): Physiologie des Menschen

27. Aufl. Springer, Heidelberg Berlin

Ulmer HV (1997c)

Dynamische Arbeit, 677-682

In: Schmidt RF, Thews G (Hrsg): Physiologie des Menschen

27. Aufl. Springer, Heidelberg Berlin

Weiss C, Seitel G, Bartsch P (1998)

Coagulation and fibrinolysis after moderate and very heavy exercise in healthy male subjects

Med Sci Sports Exerc 30: 246-251

White MK, Hodous TK, Vercruyssen M (1991)

Effects of thermal environment and chemical clothing on work tolerance, physiological responses, and subjective ratings

Ergonomics 34: 445-457

## Danksagung

Wir danken allen beteiligten Angehörigen Freiwilliger Feuerwehren aus Baden-Württemberg für ihr ehrenamtliches Engagement, ihr Interesse und die Unterstützung, die wir bei der Durchführung dieser Studie erfahren durften. Desgleichen gilt unser Dank auch den Einsatzkräften der teilnehmenden Berufsfeuerwehr.

Den Ausbildern Udo Dentz, Frank Jahraus und Roy Bergdoll sowie Schulleiter Hermann Schröder der Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg in Bruchsal schulden wir großen Dank für ihren unermüdlichen Einsatz und die großartige Unterstützung bei der Organisation und Durchführung der Studie. Besonderer Dank gilt Frau Tanja Burgstahler, die viele Stunden ihrer Freizeit opferte und unsere Arbeit mit großem Engagement vor Ort logistisch unterstützte.