

Kardiozirkulatorische und thermische Beanspruchung von Feuerwehrleuten in einer Brandsimulationsanlage

Silke Kadlez-Gebhardt

2010

Aus dem Institut- und der Poliklinik für Arbeits-, Sozial-
und Umweltmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. Dennis Nowak

**Kardiozirkulatorische und thermische Beanspruchung von Feuerwehrleuten in
einer Brandsimulationsanlage**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von Silke Kadlez-Gebhardt

aus München

2010

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. Peter Angerer

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. Katja Anslinger

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter:

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser, FACR, FRCR

Tag der mündlichen Prüfung: 01.07.2010

Glossar

ASW	Atenschutz- Strahlenschutz- Wagen
BSA	Brandsimulationsanlage
BMW	Bayerische Motorenwerke München
CK	Kreatininkinase
DLK	Drehleiter Fahrzeug der Feuerwehr (mit Korb)
GOT	Glutamat-Oxalacetat-Transaminase, Aspartat-Aminotransferase (AST, ASAT)
GPT	Glutamat-Pyruvat-Transaminase, Alanin-Aminotransferase (ALT, ALAT)
LDH	Lactatdehydrogenase
MW	arithmetisches Mittel
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität München
SD	Standardabweichung, ausgehend von einer Stichprobe

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Hintergründe.....	1
1.1.1	Berufliche Gefährdungen bei Feuerwehrleuten.....	1
1.1.2	Hitzeregulationsmechanismen des menschlichen Körpers.....	2
1.1.3	Pathophysiologische Auswirkungen der Hitze auf den Menschen.....	4
1.2	Belastung, Beanspruchung und Gefährdung von Feuerwehrleuten.....	6
1.3	Fragestellung und Zielsetzung.....	10
2	Methodik.....	12
2.1	Studienteilnehmer.....	12
2.1.1	Rekrutierung, Einschluss- und Ausschlusskriterien.....	12
2.1.2	Aufklärung, schriftliche Einverständniserklärung und Votum der Ethikkommission.....	13
2.2	Studienablauf.....	14
2.2.1	Zeitpunkt, Ort und Vorbereitung der Untersuchungen.....	14
2.2.2	Zeitlicher und methodischer Ablauf der Messungen.....	17
2.2.3	Belastung während des Einsatzes und Einsatzaufgaben.....	19
2.3	Statistische Methoden.....	23
2.3.1	Statistisches Programm.....	23
2.3.2	Beschreibende Statistik und statistische Tests.....	23
3	Ergebnisse.....	24
3.1	Aufbau des Kollektivs.....	24
3.1.1	Rekrutierung.....	24
3.1.2	Gewicht, Body Mass Index und Größe.....	24
3.1.3	Anamnese.....	24
3.1.4	Alkoholkonsum und Raucheranamnese.....	25
3.1.5	Sport.....	25
3.2	Nachbefragung und Borg-Skala.....	26
3.3	Herzfrequenz und Körpergewicht.....	28
3.4	Körperkerntemperatur.....	28
3.5	Blutdruck und Schellong-Test.....	30
3.6	Laborparameter.....	32
3.6.1	Blutbild und Differentialblutbild.....	32
3.6.2	Erythrozytenparameter.....	33
3.6.3	Elektrolyte, Osmolalität, Blutzucker und Thromboplastinzeit.....	33
3.6.4	Enzyme und Kreatininkinase.....	34
4	Diskussion.....	36
5	Zusammenfassung.....	49
6	Literaturverzeichnis.....	52
7	Anhang.....	56
7.1	Anamnese-/ untersuchungsbogen.....	56
7.2	Fragebogen.....	59
7.3	Datenerhebungsbogen.....	61
7.4	Borg-Skala.....	63
7.5	Teilnehmerinformation.....	64
7.6	Danksagung.....	69

1 Einleitung

1.1 Hintergründe

1.1.1 Berufliche Gefährdungen bei Feuerwehrleuten

Feuerwehrleute sind in ihrem Beruf einem hohen gesundheitlichen Risiko ausgesetzt. Insbesondere bei der Brandbekämpfung ist das Risiko, einen plötzlichen Herztod zu erleiden gegenüber anderen Tätigkeiten wie zum Beispiel Bürodienst, stark erhöht [Kales, Soteriades, 2007]. Der plötzliche Herztod stellt sogar die häufigste Todesursache bei Feuerwehrangehörigen dar [NIOSH, 2007]. Ein möglicher Auslöser hierfür ist zum einen die massive physische Belastung bei Brandeinsätzen [Rosenstock, Olsen, 2007]: Schwere körperliche Tätigkeit bei der Personenbergung und beim Löschvorgang in schwierigem Gelände am und um den Brandort mit drohenden Verletzungs-, Verbrennungs-, und Vergiftungsgefahren durch einstürzende Gebäude, Absturz oder Rauchgasentwicklung sind Beispiele hierfür. Feuerwehrleute sind bei solchen Einsätzen einer beachtlichen kardiovaskulären Beanspruchung ausgesetzt.

Der zweite wichtige Faktor ist die Hitzebelastung: Bei jedem akuten Brandereignis entsteht eine extrem hohe Hitzebelastung, die ohne Schutzkleidung sowie -ausrüstung zu schweren Verbrennungen und Inhalationstraumata führen würde. Die Kombination aus hoher körperlicher Arbeitsintensität und von außen einwirkender Hitzestrahlung führt zum Anstieg der Körperkerntemperatur. Als wichtigster Mechanismus zur Entwärmung setzt rasch starkes Schwitzen ein. Die Schweißverdunstung ist bei dieser Art der Schutzausrüstung aber nur sehr begrenzt möglich, da das Luftpolster zwischen Anzug und Körper schnell flüssigkeitsgetränkt ist und auch Hitzeabstrahlung nur unzureichend erfolgen kann [Susebach, Engels, 2004/5]. Ein Verzicht auf eine adäquate Feuerschutzkleidung bzw. Ausrüstung ist jedoch nicht möglich, da Verbrennungen zu den bedeutendsten arbeitsbedingten Verletzungen bei Feuerwehrangehörigen zählen. So konnten Prezant et al. anschaulich zeigen, dass der Wechsel von einer älteren Schutzkleidung auf eine modernere, gefertigt unter Verwendung hitzeresistenter Textilien und zusätzlich mit Schutzüberhosen, die Zahl der Verbrennungen der unteren Extremitäten um 93 %, die der oberen Extremitäten um 86 % senken konnte. Die gesundheitlich bedingten Fehlzeiten (durch Verbrennungen der Arme oder Beine) der Feuerwehrangehörigen (New York City Fire Department) konnten so um 89 % gesenkt werden [Prezant, 2000].

Die folgende Studie wurde durchgeführt, um das Ausmaß der kardiozirkulatorischen und thermischen Beanspruchung von Feuerwehrangehörigen während eines Einsatzes zur Brandbekämpfung und Personenrettung in einer Brandsimulationsanlage zu untersuchen. Zu diesem Zweck erfassten wir verschiedene Untersuchungsparameter wie beispielsweise Herzrate, EKG-Veränderungen, Körperkerntemperatur, Gewicht und Blutdruck einer Gruppe junger, unselektierter Feuerwehrleute. Diese Parameter wurden hin-

sichtlich ihrer Aussagekraft bezüglich einer möglichen akuten Überbeanspruchung der Teilnehmer untersucht. Weiterhin wurde der Frage nachgegangen, ob Laborparameter einen Organschaden anzeigen können und ob akut auftretende Symptome während des Einsatzes auf eine drohende hitzebedingte Erkrankung hinweisen können. Es wurde außerdem verglichen, ob die subjektive Einschätzung der Einsatzbelastung durch die Teilnehmer, der tatsächlich aufgetretenen entspricht.

Die Realbrandausbildung kann sehr gefährlich sein. Übungsbrände müssen unter hohen Sicherheitsmaßnahmen durchgeführt werden, damit sie nicht außer Kontrolle geraten. Zudem sind sie aufwendig zu organisieren und belasten durch Brandrauch und Brandrückstände die Umwelt [Branddirektion München, Brandsimulationsanlage, 2001]. Deswegen werden bei der Berufsfeuerwehr München solche Ausbildungseinsätze in der hierfür eingerichteten Brandsimulationsanlage durchgeführt. Hier kann im Bedarfsfall die Gaszufuhr für den Brandherd sofort abgeschaltet werden und somit ist die Gefahr beim Übungseinsatz durch Verbrennen bzw. Asphyxie oder Vergiftung zu Tode zu kommen oder verletzt zu werden, minimiert. Trotzdem ist die Arbeits- und Hitzebeanspruchung auch in einer Brandsimulationsanlage hoch. Finteis et al. konnten beispielsweise in ihrer Studie an jungen Feuerwehrleuten der Freiwilligen Feuerwehr eine sehr hohe Arbeits- und Hitzebelastung bei Übungseinsätzen mit umluftunabhängigem Atemschutz nachweisen [Finteis, Oehler, 2002].

1.1.2 Hitzeregulationsmechanismen des menschlichen Körpers

Die Vitalprozesse des menschlichen Körpers sind wesentlich von konstanten, in einem bestimmten Bereich befindlichen Bedingungen, abhängig. Hierfür sorgen ständig physiologische Regulationsmechanismen, die im Wesentlichen aus Rezeptorsystem, zentralem Reglerzentrum und Effektorsystem aufgebaut sind. So sind die Lebensvorgänge bei einer konstant gehaltenen Körperkerntemperatur um 37°C optimiert. Der menschliche Körper kann Umgebungstemperaturen von -70°C bis +100°C kurzzeitig und unter bestimmten Bedingungen tolerieren. Schwankungen der Körperkerntemperatur von 37°C dürfen jedoch nur in einem Bereich von 4°C auftreten. Veränderungen der Körpertemperatur außerhalb des Normbereichs beeinflussen vor allem die enzymatischen Aktivitäten und die Zellstrukturen. So lässt aktive muskuläre Beanspruchung unter Hitzebedingungen mit einem Anstieg der Körpertemperatur auf über 39°C die Serumenzyme Glutamat-Oxalacetat-Transaminase (GOT), Glutamat-Pyruvat-Transaminase (GPT) sowie Lactatdehydrogenase (LDH) und Kreatininkinase (CK) verstärkt ansteigen. Als letaler Grenzwert gelten 43,5°C [Hollmann, Hettinger, 2000]. Zur autonomen Thermoregulation verfügt der Körper in Zentralnervensystem, Haut und auch in den Eingeweiden und Muskeln [Werner, Hexamer, 1995] über örtlich verteilte Thermorezeptoren, die die

gemessenen Informationen ständig neuronal über das Rückenmark bis zum Hypothalamus senden. Von dort werden die Regulationssysteme der Körperkerntemperatur gesteuert.

Ein wichtiges Regulationssystem ist das Kreislaufsystem, das mit der Blutzirkulation gleichzeitig auch Körperwärme vom Körperinneren zur Peripherie transportiert. Über Vasodilatation und Dezentralisation des Blutvolumens wird Wärme über Konvektion (Wärmeströmung) und Konduktion (Wärmeleitung) abgegeben, über Vasokonstriktion und Zentralisation zurückgehalten. Konvektion ist die Wärmeabgabe mittels Wärmeströmung vor allem durch den Blutfluß entlang des normalen thermischen Gefälles an die umgebende Luft bei Lufttemperaturen unterhalb der mittleren Hauttemperatur von ca. 33°C [Piekarski, Zerlett, 1998]. Konduktion ist Wärme fluß in einem Kontinuum (Feststoff oder ruhendes Fluid) infolge Temperaturunterschiede [Hering, Martin, 1989]. In geringem Maße findet auch Infrarotstrahlung vom Körper an umgebende Flächen statt. Letzterer Prozess spielt allerdings für die Regulierung der Körperkerntemperatur bzw. die Entwärmung nur eine untergeordnete Rolle.

Ein sehr viel effektiveres System ist die Evaporation, also die Verdunstung von Schweiß auf der Haut, die zum Beispiel in Ruhe bei geringer Luftbewegung und mittlerer Feuchtigkeit bei ca. 25-30°C einsetzt. Ab einer Umgebungstemperatur von > 30°C erfolgt die Wärmeabgabe fast ausschließlich über das Verdunsten des Schweißes und die dabei entstehende Verdunstungskälte. Die Schweißproduktion beginnt bei einer Hauttemperatur von ca. 33°C und mehr, wenn Konvektion nicht mehr möglich ist [Nowak, 1999]. Hierbei können, vor allem bei körperlicher Beanspruchung durch Sport oder Arbeit, erhebliche Schweißmengen abgegeben werden. So kann zum Beispiel an einem Hitze arbeitsplatz kurzfristig, d.h. bis zu einem Zeitraum von maximal einer Stunde, die Schweißmenge bis auf 1200 g gesteigert werden. Die Schweißabgabe lässt dann aber nach, so dass als maximaler Schichtmittelwert eine Schweißproduktion von 750 g/h gilt [Enderle, 2004]. Durch Arbeitsbelastung mit gesteigerter Atemtätigkeit wird, wenn auch in geringerem Umfang, die evaporative Wärmeabgabe über den Atemtrakt gesteigert.

Die zweite, wichtige Regulationsmöglichkeit der Körpertemperatur liegt im Verhalten bzw. in technischen Lösungen: Sie beinhaltet die Wahl der adäquaten Bekleidung und die Möglichkeit die Arbeitsintensität unter Hitzebelastung zu verändern -wie zum Beispiel in mediterranen Gegenden die „Siesta“- weiterhin die Regulation der Umgebungstemperatur durch beispielsweise Kühlungssysteme oder Belüftungssysteme wie Klimaanlage, Ventilatoren oder Heizungen. Gerade diese sehr wichtige Regulationsmöglichkeit scheidet aber bei manchen Arbeitsplätzen, so vor allem auch bei dem des Feuerwehrangehörigen, aus. Durch seine Feuerschutzausrüstung, die ihn wesentlich vor schweren Verbrennungen schützt, wird er zusätzlich thermisch belastet. Die Schweißverdunstung ist hier nur sehr begrenzt möglich.

1.1.3 Pathophysiologische Auswirkungen der Hitze auf den Menschen

Ein Problem besteht darin, dass sowohl die Temperaturregulation als auch die Regulation des Blutdrucks, Blutvolumens und Wasserhaushalts im Wesentlichen das Kreislaufsystem beanspruchen und bei höheren Belastungen gegeneinander konkurrieren. So führt die Hitzebelastung zur Erhöhung der Schweißrate und zu einer gesteigerten peripheren Durchblutung mit daraus resultierendem verminderten, zentralen Blutvolumen sowie Flüssigkeitsverlust durch Schwitzen mit letztlich Abfall des arteriellen Blutdrucks und Anstieg der Herzschlagfrequenz. Dies kann zur Mangel durchblutung des Gehirns vor allem in aufrechter Position mit Bewusstseinsverlust und damit zum sog. Hitzekollaps führen. Kommt es zu keiner Sturzverletzung und ist das Kreislaufsystem gesund, so sind keine schweren Folgeschäden zu erwarten [Werner, Hexamer, 1995]. Beim Hitzekollaps sind keine Dehydratation und keine Elektrolytentgleisungen zu erwarten. Er stellt eine orthostatische Dysregulation dar, die eher bei statischer Körperhaltung in heißer Umgebung und hoher Luftfeuchtigkeit, als bei körperlicher Belastung auftritt.

Anders sieht es hingegen bei der Hitzeerschöpfung durch Wasserverarmung aus. Hier wird durch hohe thermische Belastung eine erhebliche Schweißproduktion ausgelöst. Der Schweißverlust führt ohne gegensteuernde Flüssigkeitszufuhr zu einem erheblichen Wasserverlust mit Verminderung des zirkulierenden Blutvolumens und bedrohlicher Einschränkung der Organfunktionen. Starkes Schwitzen ist auch die Ursache für das Krankheitsbild der hitzebedingten Salzverarmung, das insbesondere bei nicht akklimatisierten Personen unter erhöhter Hitzebelastung auftritt. Es ist charakterisiert unter anderem durch Kopfschmerzen, Reizbarkeit, Unruhe, Übelkeit mit Erbrechen, Karpopedal-spasmen bis hin zu Hitzekrämpfen [Nowak, 1999]. Diese zeichnen sich durch schmerzhafte Spasmen der durch Sport oder Arbeit belasteten Muskelgruppen aus. Sie setzen häufig erst einige Stunden nach Beendigung der körperlichen Belastung ein. Krämpfe der Bauchwandmuskulatur können hier das Bild eines akuten Abdomens vortäuschen. Auslöser ist vor allem eine Kochsalzverarmung bei langen Belastungszeiten (> 4 Stunden) und ungenügender Substitution [Huonker, 2003].

Eine weitere hitzebedingte Störung ist der Sonnenstich. Ursächlich für diesen ist eine starke und direkte Bestrahlung der Kopfes, die zu einem umschriebenen Hirnödem führen kann. Es treten vor allem zentrale Symptome wie Schwindel, Sehstörung, Ohrensausen, Eintrübung, Bewusstlosigkeit, Kollaps und Meningismus auf. Der Sonnenstich kann durch zerebrale Krämpfe, erhöhtem Hirndruck und zentralem Kreislaufversagen zum Tode führen [Nowak, 1999].

Schwankungen der Körperkerntemperatur außerhalb des Normbereichs beeinflussen vor allem die enzymatischen Aktivitäten, in Verbindung damit die Zellstrukturen und chemischen Reaktionen. Temperaturen zwischen 41,6°C und 42°C gelten als kritisches Temperaturmaximum und führen zu einem Anstieg der Serumenzyme wie Glutamat-

Pyruvat-Transaminase, Glutamat-Oxalacetat-Transaminase, Lactatdehydrogenase und Alkalische Phosphatase [Abdulaziz, 1997].

Sefrin definiert den Hitzschlag als ein Krankheitsbild mit schwersten Störungen der Wärmeregulation, die bei großer Wärmezufuhr (Umgebungstemperatur wesentlich höher als Körpertemperatur) oder –produktion und Behinderung der Wärmeabgabe durch Versagen der Schweißsekretion infolge intensiver Sonnenbestrahlung und geringer Luftbewegung auftritt [Sefrin, 1999].

Beim Hitzschlag kann man zwei Typen unterscheiden:

Einmal die klassische Form, die typischerweise während der Sommermonate auftritt.

Betroffen sind vor allem Kleinkinder und ältere Personen die nicht rechtzeitig und adäquat auf die Hitzebelastung reagieren können. Außerdem sind Menschen mit kardiovaskulären, zerebrovaskulären oder fieberhaften Erkrankungen sowie Diabetiker und Personen mit bestimmter medikamentöser Therapie gefährdet. Medikamente wie zum Beispiel Diuretika, Antihypertonika, Neuroleptika, Benzodiazepine, Anticholinergika und Antihistaminika können die Entstehung eines Hitzschlags fördern. Wichtige Symptome des Hitzschlags sind Hyperpyrexie, Anhidrosis und Bewusstseinsveränderungen [Wexler, 2002].

Der andere Typ des Hitzschlags betrifft vorzugsweise Sportler und Arbeiter bzw. Berufstätige, die sich unter Hitzebedingungen belasten. Dieser (Belastungs-)Hitzschlag wird typischerweise durch die Kombination von hoher Umgebungstemperatur und körperlicher Anstrengung hervorgerufen und besteht aus einem Missverhältnis zwischen Wärmeproduktion und Wärmeabgabe. Typischerweise kommt es im fortgeschrittenen Fall zu einem Versiegen der Schweißproduktion mit weiter ansteigender Körperkerntemperatur mit zentral-nervösen Symptomen wie Verwirrtheit bis Krämpfen [Dinman, Horvath, 1984]. Die Sterblichkeit bei schwerem Krankheitsbild ist durch schweren Schock, disseminierter intravasaler Gerinnung mit daraus resultierendem Multiorganversagen trotz intensiv-medizinischer Maßnahmen hoch. Beim Überleben eines solchen Krankheitsbildes bleiben häufig erhebliche Beeinträchtigungen der inneren Organe zurück [Piekarski, Zerlett, 1998].

1.2 Belastung, Beanspruchung und Gefährdung von Feuerwehrleuten

Der Feuerwehrmann bzw. die Feuerwehrfrau übt eine sehr verantwortungsvolle und zum Teil auch gefährliche Tätigkeit aus. Wichtig ist eine grundlegende und umfassende Ausbildung, die neben der Theorie vor allem auch die Praxis betonen muss. Betroffen durch Hitze- und schwere Arbeitsbelastung sind alle aktiven Feuerwehrleute. Über 1,3 Millionen Feuerwehrfrauen und Feuerwehrmänner arbeiten in Deutschland im Feuerwehrdienst zur Erhaltung des Brand- und Katastrophenschutzes der Bevölkerung [Deutscher Feuerwehrverband, Feuerwehr-Jahresstatistik, 1999]. Siehe Tabelle 1. Das Tätigkeitsspektrum ist groß und umfasst unter anderem folgende Einheiten: Brandbekämpfung, technische Hilfeleistung, Übungsdienst, Arbeits- und Werkstattdienst, Tiere /Insekten (Bienen, Wespen u.a.), Dienstsport, Rettungsdienst / Krankentransporte, Katastrophenschutz und Ausbildung und Fortbildung des eigenen Personals sowie von Laien.

Die Unfallgefahren bei der Arbeit durch zum Beispiel Absturz, Einsturz, herabfallende Gegenstände, Verbrennungen und Explosionen sind hoch. Das Statistische Bundesamt Wiesbaden ermittelte zum Beispiel für 1999 bei aktiven Feuerwehrangehörigen im Dienst der Freiwilligen-, Berufs- und Werksfeuerwehren Deutschland 8.619 Verletzungen und 12 Tote.

Aber nicht nur Verletzungen und Unfälle gefährden Feuerwehrangehörige. Es besteht zudem ein hohes Risiko für kardiovaskuläre Ereignisse wie beispielsweise Herzinfarkte und plötzlicher Herztod, insbesondere bei der Arbeit im Einsatzdienst. Dies zeigt beispielsweise eine Studie im New England Journal of Medicine von Stefanos Kales et al. bei der das Berufsrisiko für kardiovaskuläre Ereignisse über 10 Jahre bei US-amerikanischen Feuerwehrleuten untersucht wurde. Es wurden alle 1.144 Todesfälle analysiert, die zwischen 1994 und 2004 im Dienst eintraten. 39 % der Todesfälle waren durch kardiovaskuläre Ereignisse bedingt. Kales et al. konnten zeigen, dass das Risiko an einem tödlichen Herzinfarkt zu versterben, während Rettungsarbeiten um den Faktor 12-136, während eines Alarms um den Faktor 2,8-14 und bei der Rückkehr von Einsätzen um den Faktor 2,2-10,5 im Vergleich beispielsweise zum Bürodienst, anstieg. Auch beim Dienstsport kam es 2,9-6,6 fach häufiger zu einem Herzinfarkt als im normalen Bürodienst [Kales, Soteriades, 2007].

Andere epidemiologische Studien deuten ebenfalls auf eine erhöhte Sterberate bezüglich Herzerkrankungen bei Feuerwehrleuten hin. In einer Studie der US Fire Administration wurden Arbeitsunfälle, die an amerikanischen Feuerwehren 1996 auftraten, untersucht. 72 % der tödlichen Ereignisse ereigneten sich während Rettungseinsätzen, wobei die meisten Personen (40 % der Fälle) bei der Brandbekämpfung starben. Der akute Herzinfarkt war mit fast 50 % die häufigste Ursache für die Todesfälle [United States Fire Administration, 1997]. Mögliche Gründe für das erhöhte Risiko einer akuten, koro-

naren Erkrankung resultieren aus einer Kombination aus persönlichen Risikofaktoren und arbeitsplatzbedingten Faktoren. Zu den persönlichen Faktoren, wie sie bei der Normalbevölkerung vorkommen, zählen: Alter, Geschlecht, familiäre Belastung, Raucher- gewohnheiten, Blutcholesterinspiegel, arterieller Blutdruck, körperliche Untätigkeit (Unsportlichkeit), Fettleibigkeit oder Übergewicht, Diabetes mellitus und andere Fakto- ren des persönlichen Gesundheitszustands [American heart Association, 2007].

Tabelle 1 Zusammensetzung Feu- erwehrwesen Deutsch- land	Aktive gesamt	davon hauptberufliche Aktive	davon weibliche Aktive
Freiwillige Feuerwehr	1080983	5889	58288
Berufsfeuerwehr	26683	26487	261
Jugendfeuerwehr	245323	0	53089
Werksfeuerwehr	32819	7227	308
Betriebsfeuerwehr	152	59	2
Summe (Zahl)	1385960	39662	111948

Arbeitsplatzbedingte Faktoren der Feuerwehren, die sich auf Herz und Kreislaufsystem auswirken, sind zum einen die schwere körperliche Tätigkeit und die hohe psychische Belastung: Eine Studie der US Fire Administration (USFA) konnte zeigt, dass in den Jahren von 1977 bis 1996 Stress und Überanstrengung die häufigste Ursache für tödliche Ereignisse während der Brandbekämpfung waren. Diese Tätigkeit kann als eine der körperlich anstrengendsten, beruflichen Aktivität, die der menschliche Körper leistet, angesehen werden. Eine Ursache hierfür ist, neben der Tätigkeit an sich, die Schutzausrüstung. So ist zum Beispiel die Brandschutzausrüstung der Berufsfeuerwehr München mit einem Gewicht von ca. 24 kg schwer und schränkt die Bewegungsfreiheit ein. Einen wesentlichen Anteil an der physischen Belastung trägt der Pressluftatmer bei. Mit seinem Gewicht von ca. 13 kg (Pressluftatmer der Firma Auer, BD 96 AE) und seiner zylindrischen Form ist er nicht nur schwer, sondern auch ergonomisch ungünstig. Insbe-

sondere bei Beuge- und Drehbewegungen des Körpers kommt es beim Einsatz von Pressluftatmern zu Einschränkungen der Beweglichkeit [Griefahn, 1998].

Weiterhin ist die Rettungs- und Löscharbeit an sich, mit nicht nur Bewegungen wie Stehen, Gehen, Laufen, sondern auch Kriechen, Bücken, Ziehen, Tragen von Verletzten und Vornehmen von Schlauchleitungen, eine körperlich schwere Tätigkeit. Zeitdruck und schlechte Sicht durch die Maske kommen als Stressoren noch hinzu. Die Schutzausrüstung ist aber nicht nur schwer und bewegungseinschränkend. Durch ihre Schutzwirkung gegen von außen einstrahlende Hitze, isoliert sie gleichzeitig deren Abgabe von innen nach außen und kann so rasch zur Verminderung der Entwärmung des Körpers führen. Verbunden mit vermehrter Wärmeproduktion des Körpers bei schwerer Arbeit, resultiert ein Hitzestau mit der Gefahr eines Hitzschlags.

Ein weiterer Faktor, der sich auf die Gesundheit der Feuerwehrleute auswirkt, ist die von außen einwirkende Hitzebelastung während der Einsatzarbeiten, die bei Bränden entsteht und sehr hoch sein kann. In Kombination mit schwerer, körperlicher Arbeit ist sie ein wesentlicher Faktor, der neben einem Anstieg der Körperkerntemperatur und einem Flüssigkeitsverlust durch Schwitzen mit vermindertem Herzschlagvolumen und Elektrolytveränderungen, auch zu Hitzschlag mit erhöhtem Risiko für Myokardischämie und Arrhythmien führen kann. Akhtar et al. fanden in einer Studie an Hitzschlagopfern in Saudi Arabien EKG-Veränderungen, wie beispielsweise Verlängerung der QT-Zeit, Sinustachykardien, Überleitungsstörungen und ST-Streckenveränderungen, als Zeichen für myokardiale Ischämien, die sie ursächlich auf den Hitzschlag zurückführten. Aber auch persönliche Faktoren jedes einzelnen Individuums, wie beispielsweise kardiovaskuläre Vorerkrankungen, spielen eine Rolle. Die genannten EKG-Veränderungen während Hitzschlag spiegelten, so die Autoren, auch den bestehenden Zustand des kardiovaskulären Systems jedes Patienten wieder [Akhtar, al-Nozha, 1993].

Zahger und Mitarbeiter berichteten von zwei Patienten die während eines Trainings einen Hitzschlag erlitten hatten. Es handelte sich um junge, gesunde Militärrekruten, die bei (ärztlicher) Aufnahme neben anderen Symptomen ein Lungenödem bzw. periphere Ödeme zeigten. Nach Überstehen der Akutphase bestanden noch für Wochen bei beiden eine diffuse Hypokinesie und Dilatation des rechten Ventrikels. Die Autoren sind der Meinung, dass beide Ödeme bei den jungen, ursprünglich gesunden Patienten nicht iatrogen, durch zum Beispiel Gabe von mehreren Infusionen in der Notfallbehandlung, allein ausgelöst worden waren. Vielmehr vermuten sie, ähnlich wie Akhtar in seiner Studie, dass es zu einer hitzebedingten myokardialen Schädigung kam, die zur Herzinsuffizienz führte [Zahger, Moses, 1989].

Nicht nur Stress, schwere physische Arbeit und Hitze belasten die Feuerwehrleute. Sie sind auch verschiedenen Vergiftungsgefahren durch verschiedene Substanzen, die während Bränden entstehen, ausgesetzt. Dadurch kann es zu einer direkten Schädigung des Myokards kommen, die zu akuten Herzereignissen führen kann. An dieser Stelle wäre vor allem Rauchgas zu nennen, das vor allem aus den Gasen Stickstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Wasserdampf, sowie aus Festkörperpartikeln wie Flugasche, Ruß- und Feinstaub, besteht. Eine besondere Bedeutung hat hier das Kohlenmonoxid, das bei allen Bränden vorkommt. Durch seine höhere Affinität zu Hämoglobin als Sauerstoff, wird es erheblich leichter gebunden als dieser und kann nicht so schnell wieder dissoziieren [Thomas, 2005(1)]. Es resultiert eine Hypoxie, die Myokardschäden verursachen kann [Henry, Satran, 2006].

Eine weitere Substanz die schädigenden Einfluss haben kann ist Cyanwasserstoff (Blausäure, HCN). Eine farblose bis leicht gelbliche, leicht brennbare und wasserlösliche Flüssigkeit, die häufig bei Bränden vorkommt. Sie entsteht durch die unvollständige Verbrennung von cyanidhaltigem Material wie zum Beispiel Papier, Baumwolle, Seide oder Plastik. Cyanwasserstoff ist sehr giftig und verdunstet bereits bei Raumtemperatur. Die Aufnahme kann inhalativ, oral oder auch durch Resorption über die Haut erfolgen. In der Zelle bindet sich CN^- mit hoher Affinität reversibel an das Fe^{3+} der mitochondrialen Cytochrome aa_3 und anderer Metalloenzyme. Infolge der Hemmung der Atmungskette kann O_2 nicht aktiviert werden. Es folgt eine ATP-Verarmung mit „innerem Ersticken“. Die akute Wirkung reicht von Brechreiz, Atemnot bis Erregungsleitungsstörungen am Herzen, Krämpfe, Atemlähmung bis hin zum Herzstillstand [Reichl, 1997]. Weiterhin entsteht bei Bränden Feinstaub, der ebenfalls schädigend auf das Herz- und Kreislaufsystem wirkt, insbesondere wenn schon Vorerkrankungen bestehen [Dominici, 2006].

Den Feuerwehreinsatzkräften der Landeshauptstadt München steht zur realitätsnahen Ausbildung seit 2001 in der Feuerwache 2 eine Brandsimulationsanlage zur Verfügung. Erfahrungen im Übungseinsatz haben gezeigt, dass auch in Brandsimulationsanlagen im Innenangriff vorgehende Trupps bis an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit belastet werden. Die Beanspruchung bei Trainingseinsätzen setzt sich zusammen aus schwerer körperlicher Arbeit, schwerer Schutzausrüstung, aus psychischer Belastung und aus thermischer Belastung. Die thermische Belastung wird durch hohe Umgebungstemperaturen am Brandort und durch die Schutzkleidung verursacht, die aufgrund ihrer Hitzebeständigkeit und Thermoisolation auch eine Schweißverdunstung als wichtigste Möglichkeit der Thermoregulation weitgehend erschwert [Susebach, Engels, 2004/05]. An hitzebedingten Erkrankungen drohen der Hitzekollaps und der Hitzschlag. Problematisch bei ersterer Erkrankung ist die Verletzungsgefahr bei einem Sturz mit -unter Umständen- daraus resultierender Bewusstlosigkeit, die unter Einsatzbedingungen rasch kritisch werden kann. Der Hitzschlag selbst ist ein potentiell lebensbedrohliches Krankheitsbild.

1.3 Fragestellung und Zielsetzung

Ziel der Untersuchung war die Bestimmung der kardiozirkulatorischen und thermischen Beanspruchung von Feuerwehrleuten bei Übungseinsätzen in einer Brandsimulationsanlage, sowie deren mögliche Gefährdung bei realen Einsätzen. Als weiteres Ziel wurde die aufgetretene Beanspruchung der Feuerwehrangehörigen mit den Ergebnissen der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung nach dem berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 26 und den Ergebnissen des jährlichen Leistungstests verglichen, um die Notwendigkeit von verbesserten Präventionsmaßnahmen abzuklären bzw. anzuregen.

Im Einzelnen soll die vorliegende Arbeit folgende Fragen untersuchen:

- Kommt es bei normalen Übungseinsätzen zum Überschreiten von medizinisch begründeten Grenzwerten für die Körperkerntemperatur (d.h. bei einer Erwärmung von 1°C oder die gemessene Temperatur von 38°C für eine schnelle Wärmespeicherung, wie sie in der ISO 9886-01:2002 definiert sind) ?
- Treten Frühzeichen von Organschäden (Leber, Niere, Muskel, Gerinnungssystem) auf, die zum Beispiel anhand von Laborparameter erkannt werden könnten ?
- Kommt es nach den Einsätzen, zum Beispiel infolge einer möglichen Überbeanspruchung und Dehydrierung, zu einer Kreislaufdysregulation im Sinne einer orthostatischen Reaktion ?
- Gibt es individuelle Prädiktoren für die thermische Beanspruchung ?
- Besteht insbesondere eine Beziehung zwischen der kardiozirkulatorischen Leistungsfähigkeit, wie sie in der routinemäßig vorgeschriebenen arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung (G 26, Atemschutzgeräte) geprüft wird und der kardiozirkulatorischen und thermischen Beanspruchung ?
- Gibt es individuell spürbare Symptome oder messbare Zeichen, die die Entstehung eines Hitzekollaps oder Hitzschlags rechtzeitig erkennen lassen ?
- Reicht die Eigenwahrnehmung der Einsatzkräfte bei etwaigen Situationen zur korrekten Einschätzung der Leistungsfähigkeit aus ?

- Wie hoch ist die kardiozirkulatorische Beanspruchung, gemessen an der Herzfrequenz ?
- Ist die Höhe der Beanspruchung (maximale Herzfrequenz) bei den Einsätzen gleich hoch oder ähnlich der Beanspruchung (Puls 170) bei der Untersuchung nach dem berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 26.3 Atemschutzgeräte oder ähnlich derer die bei dem jährlichen Belastungstest auftritt ? Reicht somit die getestete Beanspruchung bei dem jährlichen Leistungstest bzw. bei der Vorsorgeuntersuchung aus, um gesundheitliche Folgen der Beanspruchung (insbesondere das Risiko für ein akutes koronares Syndrom) bei einem Brandeinsatz abzuschätzen ?

2 Methodik

2.1 Studienteilnehmer

2.1.1 Rekrutierung, Einschluss- und Ausschlusskriterien

Als Probanden konnten von insgesamt 69 Berufsfeuerwehranwärtlern des Lehrgangs 2/2002 der Feuerweherschule München Aidenbachstraße, nach Berücksichtigung der Einschluss- bzw. Ausschlusskriterien, 52 Personen rekrutiert werden. Davon kamen zur Datenerhebung bzw. Datenauswertung 51 Männer und eine Frau im Alter zwischen 19 und 32 Jahren, mit einem Durchschnittsalter von 24 Jahren. Die Auszubildenden waren hauptsächlich Anwärter für die Berufsfeuerwehr München, aber auch für die Werksfeuerwehr der Bayerischen Motorenwerke München und der Feuerwehr des Flughafens München sowie der Freiwilligen Feuerwehr Erlangen. Siehe Tabelle 2.

Der Lehrgang 2/2002 wurde seitens der Feuerweherschule in die zwei Gruppen A und B aufgeteilt. Die Aufteilung erfolgte in alphabetischer Reihenfolge nach den Nachnamen der Berufsfeuerwehranwärter. Gruppe A bestand aus 36 Personen und Gruppe B bestand aus 33 Personen. Aus gesundheitlichen oder zeitlichen Gründen nahmen 16 Personen nicht an der Studie teil. Ein Berufsfeuerwehranwärter verweigerte die Teilnahme.

Einschlusskriterien für die Aufnahme in die Studie waren:

1. Die Durchführung der betriebsärztlichen Vorsorgeuntersuchung sowie die Bescheinigung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit nach den berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen, Grundsatz G 26 Klasse 3 (Schwerer Atemschutz).
2. Die Volljährigkeit jeder teilnehmenden Person.
3. Die körperliche und geistige Gesundheit (zum Zeitpunkt der Studie sollte bei keinem der Probanden eine akute Erkrankung vorliegen und ein schweres Grundleiden musste ausgeschlossen sein).
4. Das Einverständnis der Mitwirkenden (die Teilnehmer mussten, nachdem sie umfassend informiert worden waren, ihr schriftliches Einverständnis erklärt haben (siehe Anhang)). Die Aufklärung erfolgte in schriftliche und mündlicher Form.

Tabelle 2

Anzahl Probanden	Anzahl
Lehrgang 2/2002 Gruppe A (insgesamt)	36
davon nicht teilgenommen aus folgendem Grund:	
• krankheitsbedingt	4
• verweigert	0
• sonstiges (z.B. zeitlich nicht möglich)	4
• Summe	8
Studienteilnehmer von Lehrgang 2 A	28
Lehrgang 2/2002 Gruppe B (insgesamt)	33
davon nicht teilgenommen aus folgendem Grund:	
• krankheitsbedingt	0
• verweigert	1
• sonstiges (z.B. zeitlich nicht möglich)	8
• Summe	9
Studienteilnehmer von Lehrgang 2 B	24

2.1.2 Aufklärung, schriftliche Einverständniserklärung und Votum der Ethikkommission

Alle Probanden wurden einige Wochen vor Beginn der Studie über den technischen Ablauf, die Art, den Zweck und den Hintergrund sowie mögliche Risiken der Studie, in schriftlicher und mündlicher Form aufgeklärt (siehe Anhang). Als positiven Gewinn für die Teilnahme an der Studie konnte den Berufsfeuerwehranwärtinnen zunächst die Mitteilung und Kontrolle ihrer medizinischen Untersuchungsergebnisse, insbesondere ihre Labordaten, in Aussicht gestellt werden. Jedoch trägt diese Studie möglicherweise zur Klä-

rung der unter 1.3 genannten Fragen bei. Hier ist besonders erwähnenswert, dass die Frage bezüglich der Eigenwahrnehmung bzw. korrekten Einschätzung der Eigenbeanspruchung und Leistungsfähigkeit der Einsatzkräfte für etwaige Gefahrensituationen im Einsatz in der Brandsimulationsanlage ausdrücklich aus den Reihen der Feuerwehrleute kam. Anlass für den Wunsch nach einer wissenschaftlichen Studie war das Auftreten eines Unfalls in einer (anderen) Brandsimulationsanlage während eines Übungseinsatzes gewesen.

Risiken, über die die Teilnehmer informiert wurden, waren:

Hämatombildung bei der Blutentnahme und in sehr seltenen Fällen Nervenlähmung durch diese, sowie während des Schellong-Tests das Erleiden eines Kreislaufkollaps. Jeder Proband hatte jederzeit und ohne Begründung das Recht, die Teilnahme an der Studie zu beenden. Nach positivem Votum der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München unter dem Vorsitz von Herrn Professor Dr. med. Gustav Paumgartner, Marchioninistrasse 15, 81377 München, konnte die Studie begonnen werden.

2.2 Studienablauf

2.2.1 Zeitpunkt, Ort und Vorbereitung der Untersuchungen

Die Teilnehmer für diese Studie wurden aus dem Lehrgang 02/2002 der Berufsfeuerwehr München rekrutiert, der im Oktober 2002 begann. Die Untersuchungen fanden vom 04.02.2003 bis 20.02.2003 statt. Die Voruntersuchungen wurden im November 2002 durchgeführt. Die praktische Ausbildung der Feuerwehranwärter beinhaltete unter anderem zwei Kurse:

1. Kurs 1: Die Wärmegewöhnung. Hier wurden die Auszubildenden mit Hitze und Feuer konfrontiert. Das Augenmerk lag vor allem auf der Bewältigung der psychischen Belastungssituation. Es wurde das Einschätzen von Gefahrensituationen und das richtige Verhalten in solchen trainiert. Weiterhin wurde das Tragen und Bedienen der Pressluftatmer und der Ausrüstung geübt. Die Möglichkeiten und Grenzen der Feuerschutzausrüstung konnten so kennen gelernt werden. Der Aufenthalt in den Räumlichkeiten der Brandsimulationsanlage war auf 10-15 Minuten begrenzt und es fand keine erhebliche physische Belastung statt.
2. Kurs 2: Dieser besteht im Gegensatz zu Kurs 1 aus kompakten Übungen in den Räumlichkeiten der Brandsimulationsanlage. Es wurden geübt: Alle zur Brandbekämpfung gehörenden Tätigkeiten, Menschenrettung und Eigenschutz, sowie Orientierung in verrauchten Räumlichkeiten. Der Kurs fand an sechs Tagen statt.

Jeder Trupp wurde für eine Einsatzdauer von ca. 30 Minuten (inklusive Pause) in die Räumlichkeiten der Brandsimulationsanlage in Begleitung eines erfahrenen Ausbilders geschickt. Siehe Tabelle 3a und 3b für die Einteilung der Teilnehmer. Alle gezündeten Feuer in der Anlage wurden vom Leitstand aus durch eine erfahrene Einsatzkraft, die im Funkkontakt zum Ausbilder vor Ort stand, kontrolliert.

Als Räumlichkeit für die Voruntersuchungen und Nachuntersuchungen diente ein kleinerer Hörsaal, der direkt neben dem Überwachungsleitstand der Brandsimulationsanlage der Feuerwache lag, jedoch von den Räumen dieser getrennt war. Somit konnten alle Probanden in unmittelbarer Nähe zu ihrem Einsatzort vorbereitet und nachuntersucht werden. Der Untersuchungssaal hatte eine Raumtemperatur von ca. 21 °C.

Die Brandsimulationsanlage der Berufsfeuerwehr München umfasst fünf Räumlichkeiten in denen mittels einer fest verlegten Gasversorgung an acht Stellen Brände dargestellt werden können. Als Brandherde stehen zur Verfügung: Ein Bett, ein Sofa, eine Küchenzeile, eine Werkbank, zwei Gasflaschen und ein Papierkorb. Die ganze Anlage besteht aus Stahl. Corten- und Schwarzstahlplatten tragen eine komplett nachgestellte Wohnung. Das Feuer der Brände wird kontrolliert mittels Flüssiggas erzeugt und kann punktgenau zum jeweiligen Übungseinsatz gesteuert werden. Der Gitterrostboden ermöglicht das Abfließen des Löschwassers. Die Steuerung erfolgt über einen Zentralen Rechner [Branddirektion München, Ausbildung, BSA, 2001]. Die Räume lassen sich mit Nebelöl verrauchen, so dass die Sichtverhältnisse den Bedingungen im Realfall entsprechen. Zusätzlich kann die passende Geräuschkulisse eingespielt werden. Auch besondere Einsatz-Szenarien lassen sich simulieren: Z.B. das Durchzünden einer überhitzten Rauchgaswolke beim Öffnen der Zimmertüre (sog. Rollover/ flash-over) oder aus dem Fenster schlagende Flammen für Löschangriffe über tragbare Leitern oder die Drehleiter.

Die Probanden befanden sich am jeweiligen Kurstag in den Lehrräumen der Brandsimulationsanlage. Alle Trupps hatten ihre Einsatzzeit am Vormittag. Diese wurde durch die Gruppe und die alphabetische Reihenfolge von den Lehrkörpern der Feuerwache bestimmt. Die Einsätze der jeweiligen Trupps erfolgten nacheinander. Jeder Einsatz setzte sich aus zwei durch eine Pause getrennte Einsätze zusammen. Die gesamte Einsatzzeit betrug im Durchschnitt 29 ± 5 Minuten mit einer durchschnittlichen Pausenzeit von 12 ± 4 Minuten. Die reine Einsatzzeit (ohne Pause) betrug 16 ± 4 Minuten. Die Persönliche Schutzausrüstung der Feuerwehranwärter im Einsatz setzte sich aus folgenden Bestandteilen zusammen:

- Einsatzjacke und -hose
- Schutzhandschuhe

- Schutzhaube
- Feuerwehrhelm
- Atemschutzgerät (sog. Pressluftatmer, schwerer Atemschutz)
- Atemschutzmaske
- Sicherheitsgurt mit Feuerwehrleine
- Feuerwehrstiefel

Tabelle 3a

Einteilung

Lehrgang 02/2002 A

Gruppe	I	II	III
Trupp à 2 Personen	6 x 2	6 x 2	6 x 2
Anzahl	12	12	12
Tag	1	2	3

Die Probanden waren angehalten, unmittelbar vor und während des Einsatzes bis zum Abschluss der Untersuchungen, keine Speisen und Getränke zu sich zu nehmen. Danach war eine Flüssigkeitszufuhr empfohlen.

Tabelle 3b

Einteilung

Lehrgang 02/2002 B

Gruppe	I	II	III
Trupp à 2 / 3 Personen	5 x 2	6 x 2	4 x 2, 1 x 3
Anzahl	10	12	11
Tag	4	5	6

2.2.2 Zeitlicher und methodischer Ablauf der Messungen

Alle Untersuchungen, Blutentnahmen, Befragungen und Vorbereitungen auf den Einsatz wurden in dem, vom Arbeits- und Einsatzgeschehen, separaten Untersuchungssaal durchgeführt (siehe oben).

Teil 1 (vor Einsatz):

Die Probanden kamen jeweils in Trupps von 2 bis 3 Personen vor dem Einsatz in den Untersuchungssaal. Sie legten sich auf eine Untersuchungs- liege, so dass als erstes peripher venös Blut mittels Kanüle entnommen werden konnte. Dieses wurde nach den Standardlaborverfahren des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München zur Bestimmung folgender Laborwerte getestet:

- Blutbild mit Differentialblutbild
- Elektrolyte (Kalium, Natrium, Chlorid)
- Glutamat- Oxalacetat- Transaminase
- Glutamat- Pyruvat- Transaminase
- γ - Glutamyltransferase
- Kreatinin
- Kreatininkinase
- Lactatdehydrogenase
- Blutglucose
- Thromboplastinzeit (Quick)
- Osmolalität

Danach folgte eine Anamnese über aktuelle Erkrankungen, Vorerkrankungen, Medikamenteneinnahme, Alkoholkonsum, Rauchergewohnheiten, sportliche und körperliche Betätigungen (siehe Anhang). Im Anschluss an die Anamnese folgte ein Schellong-Test [Braune, Lücking, 1997]. Hierfür wurden, noch im Liegen unter Ruhebedingungen, Blutdruck und Puls mit dem vollautomatischen Oberarm - Blutdruckmessgerät des Typs bosomedicus prestige (Bosch & Sohn, GmbH u. Co) gemessen. Diese Werte dienten als

Ausgangswerte für den Schellong-Test. Die dabei ermittelte Pulsfrequenz wurde als minimale Herzfrequenz vor dem Einsatz gewertet.

Danach stand der Proband auf und es wurden jeweils nach einer, zwei und drei Minuten der Blutdruck und der Puls im Stehen gemessen. Aus diesen Werten wurde der Mittelwert gebildet. Verglichen wurden die Blutdruckmittelwerte vor und nach Einsatz. Im Anschluss wurde dreimal in einem Abstand von 20 Sekunden, immer in dem selben Ohr, mit einem Ohrthermometer der Marke First Temp Genius Modell 3000 A (Sherwood Medical Company St. Louis, MO 63103, USA) die Körperkerntemperatur gemessen. Die Probanden durften sich hierfür auf die Liege oder einen Stuhl setzen. Für die statistische Auswertung wurde aus den drei Werten der Mittelwert berechnet und mit dem Mittelwert der Temperatur nach Einsatz verglichen.

Nach Messung der Temperatur entkleideten sich die Studienteilnehmer bis auf die Unterhose. Zum Wiegen des Körpergewichts wurde eine medizinische Personenwaage (mechanisch geeichte Säulenwaage) verwendet. Zum Abschluss von Teil 1 erhielten 21 Probanden einen Pulsmessgurt des Typs S710 Polar, der unterhalb des Brustbereichs um den Thorax geschnallt wurde. Eine Messuhr, die am Handgelenk angebracht war, zeichnete die Herzfrequenz zusammen mit der Uhrzeit auf. Mittels Computer und dem Programm Polar Precision Performance wurden die Daten ausgelesen und ausgewertet. 29 Probanden erhielten ein Langzeit-EKG-Gerät der Marke custo tera 500. Die Herzschlagfrequenz wurde aus dem Elektrokardiogramm errechnet. Nach Anlegen der EKG-Geräte oder Pulsmessgurte wurden diese initialisiert. Danach konnte die Schutzkleidung und -Ausrüstung angelegt werden und die Trupps betraten die Brandsimulationsanlage. Sowohl die Langzeit-EKG-Geräte als auch die Pulsmesser konnten im Einsatz unter der Schutzkleidung anbehalten werden. Jeweils ein Trupp, bestehend aus zwei oder drei Auszubildenden, wurde zum Einsatz geschickt.

Teil 2 (nach Einsatz):

Unmittelbar nach Einsatz kam der zu untersuchende Trupp aus der Brandsimulationsanlage in den Untersuchungssaal. Die folgenden Untersuchungen wurden in identischer Weise wie vor dem Einsatz durchgeführt:

Im Sitzen, nach Ablegen der Ausrüstung, wurde die Tympanum-Temperatur gemessen. Danach legten sich die Teilnehmer auf eine Liege und es wurde peripher venös Blut entnommen. Nach einer Ruhephase von 4 Minuten erfolgte dann die Messung des Ruheblutdrucks und -pulses. Diese Pulsfrequenz wurde als minimale Herzfrequenz nach dem Einsatz gewertet. Danach standen die Probanden auf und es wurde wie vor Einsatz auch nach der ersten, zweiten und dritten Minute der Blutdruck und Puls gemessen. Nach dem Schellong-Test wurde das EKG-Gerät bzw. der Pulsmessgurt abgenommen. Erneut wurden die Probanden gewogen. Die Schweißabgabe wurde aus der Differenz

der vor und nach dem Einsatz bestimmten Körpergewichte der Probanden errechnet. Da bei der Messung des Körpergewichts nur die Gewichts Differenz zwischen dem Gewicht vor und nach dem Einsatz entscheidend war, konnten die Probanden in Unterwäsche (bei Männern: Unterhose, bei Frauen: Unterhose und BH) gewogen werden.

Nach Beendigung aller Untersuchungen wurde ein Fragebogen zur Ermittlung von akuten, während des Einsatzes aufgetretener Beschwerden und eine Borg-Skala zur Selbsteinschätzung der körperlichen Anstrengung von jedem Teilnehmer beantwortet (siehe Anhang). Das Anstrengungsempfinden, das bei der Borg-Skala ermittelt wird, gibt die subjektive Antwort auf die Reizintensität einer physikalischen Leistung wieder. Es wird dabei mit einer numerischen Skala erfasst (RPE, rate of perceived exertion) [Löllgen, 2004]. Im Fragebogen wurde nach folgenden Symptomen gefragt:

- Beengtheit im Sinne von Angst
- Schwindel / Benommenheit
- Durst, Kopfschmerzen
- Sehstörungen
- Atemnot
- Übelkeit
- Krämpfe in Händen und / oder Füßen
- Kribbeln oder taubes Gefühl zum Beispiel im Mundbereich
- Schwäche

Die Abstufung der Bewertung erfolgte von 0 für gar nicht, 1 für sehr gering, 2 für mittel stark, 3 für stark bis 4 für sehr stark.

2.2.3 Belastung während des Einsatzes und Einsatzaufgaben

Die Beanspruchung während eines Einsatzes in der Brandsimulationsanlage wurde durch folgende Belastungen hervorgerufen:

1. Eine thermische Belastung des Körpers bedingt durch die hohen Umgebungstemperaturen in der Brandsimulationsanlage und durch die Hitzeschutzklei-

dung, die zwar zeitlich begrenzt vor allem hohe Hitzestrahlung abhält, gleichzeitig aber auch die Schweißverdunstung behindert. So ist die wichtigste Möglichkeit der Hitzeabgabe des Körpers größtenteils blockiert. Beim Einsatz traten nach der ersten Minute nach Zünden des Brandherds 150°C, nach drei Minuten 200°C in 1,5 m Höhe auf. In Höhe der Decke wurden nach drei Minuten 470°C gemessen.

2. Ein physisch schwerer Arbeitseinsatz und das Tragen schwerer Schutzkleidung und -ausrüstung, bestehend aus der Grundausrüstung: Schutzhose und Schutzmantel aus hitzeabweisendem und schwer brennbarem Textil (bestehend aus Aramidfasern, Marke: Nomex), Schutzhandschuhe, Schutzhaube, Feuerwehrhelm mit Nackenleder und Visier, Feuerwehrstiefel mit Stahlkappe und Stahlsohle, Sicherheitsgurt mit Beil und Atemschutzgerät und -maske. Insgesamt eine Gewichtsbelastung von 24 Kg (Details s.u.).

3. Eine psychische Belastung durch die Einsatzsituation, in der bestimmte Aufgaben von allen Teilnehmern erfüllt werden müssen. Hinzu kommt eine starke Bewegungseinschränkung durch die Schutzausrüstung mit schlechter Sicht in den stark vernebelten Räumen und durch den Schutzhelm. Insbesondere Helm, Mütze, Atemgerät und Handschuhe wirken einschränkend [Griefahn, Künemund, 1998].

Tabelle 4

Beanspruchung in der
Brandsimulationsanlage

psychische Belastung	Belastendes Gefahrenszenario, schlechte Sicht / verrauchtes Gebäude, Bewegungseinschränkung durch Ausrüstung
thermischer Belastung	Isolationswirkung der Schutzkleidung, Hitze
physische Belastung	Gewicht und Atemwiderstand des Atemschutzes, Gewicht der Einsatzgeräte, Gewicht der zu rettenden Person (Puppe)

Der Ausbildungseinsatz simuliert sehr wirklichkeitsnah die reale Einsatzsituation während eines Wohnungsbrands. Die Einsatzaufgaben, die zu bewältigen waren, setzten sich aus zwei Teilen wie folgt zusammen:

1. **Brandbekämpfung:** Jeder Trupp musste den Brandherd finden, sichern und löschen. Hierbei war vor allem die Sicherung der Mitglieder zu beachten. Dafür war unter anderem das Vornehmen einer Schlauchleitung unter Druck (d.h. der Schlauch ist mit Wasser gefüllt) wichtiger Bestandteil der Sicherungstätigkeit. Dies stellt eine erhebliche physische Arbeitsbelastung dar, da eine gefüllte Schlauchleitung ein erhebliches Gewicht hat und sehr schwer zu ziehen ist. Die Wohnung der Brandsimulationsanlage war zum Zweck der Schaffung einer möglichst realitätsnahen Situation mit Nebelöl, als Ersatz für den Brandrauch vernebelt, so dass die Feuerwehrleute nur in Hockstellung oder in tief gebückter Haltung Sicht hatten und vorgehen konnten. Weiterhin wurde ein Rollover, das ist das Durchzünden einer überhitzten Rauchgaswolke z.B. beim Öffnen einer Zimmertüre, simuliert. Die Hitze in den BSA-Räumen erreichte, je nach Raumhöhe und Branddauer, Temperaturen bis 700°C [Branddirektion München, Brandsimulationsanlage, 2001].
2. **Personenrettung:** Nach erfolgter Brandbekämpfung musste eine 80 Kg schwere Puppe oder ein „Kamerad“ gesucht und aus der Wohnung „gerettet“ -also herausgetragen werden.

Die Überwachung der BSA-Räume erfolgte vom Leitstand aus. Hier wurden auch die Einsatzzeiten der einzelnen Trupps dokumentiert. Jeder Einsatz wurde in kompletter Schutzausrüstung einschließlich Atemschutzgerät durchgeführt. Als solche wurden Pressluftatmer, das sind umluftunabhängige Isoliergeräte mit Druckluft, eingesetzt. Die Standard-Atemschutzgeräte der Feuerwehr München, die in dieser Studie zum Einsatz kamen, waren sog. Einflaschengeräte der Firma MSA Auer, Gerätetyp BD 88 AS und BD 96 AS. Sie bestehen aus einer 6 l-Flasche mit 300 bar. Für Einsatzsituationen, die lange Einsatzzeiten unter Atemschutz erfordern, werden sog. Langzeit-Pressluft-Atemschutzgeräte des Typs BD-96 AS verwendet, mit 18 Kg Gewicht und zwei Flaschen mit 6,8 l (Einsatzzeit von maximal 60 Minuten). Die Geräte werden im Löschzug (Drehleiter DLK 23-12 CC) und auf dem Atemschutz-Strahlenschutz-Wagen (ASW) mitgeführt [Branddirektion München, Pressluftatmer, 2001].

Die beim Trainingseinsatz in der Brandsimulationsanlage ermittelten Ergebnisse, wurden mit den Daten des jährlichen Leistungstests und der Vorsorgeuntersuchung nach den berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen G 26.3 verglichen. Die Vorsorgeuntersuchungen waren vom betriebsärztlichen Dienst durchgeführt und die Ergebnisse mit Einver-

ständnis der Studienteilnehmer uns zu Verfügung gestellt worden. Der ca. 30 minütige Leistungstest war in den letzten 6 Monaten von den Auszubildenden absolviert worden und setzte sich aus folgenden vier Einheiten zusammen: Treppensteigen, Fahrradergometer, Laufband und Cross-Trainer. Alle Testeinheiten mussten mit den Schutzzanzügen und Atemschutzgeräten, die auch bei Einsätzen getragen werden, durchgeführt werden. Um die maximale Herzfrequenz aufzuzeichnen wurden Pulsmessgurte, wie sie auch bei den Studieneinsätzen in der Brandsimulationsanlage zum Einsatz kamen, verwendet.

Zum Nachweis der körperlichen Eignung für das Tragen von schwerem Atemschutz (Pressluftatmer) erfolgte eine spezielle arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung nach dem berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 26 „Atemschutzgeräte“ für die Gerätegruppe 3. Diese Untersuchung umfasste im Wesentlichen folgende Punkte [Reich, GUV-X 99950, 2005]:

- Erhebung der Krankheitsvorgeschichte
- Körperliche Untersuchungen
- Sehtest
- Hörtest
- Urinuntersuchung
- Röntgen der Lunge
- Lungenfunktionsprüfung
- Belastungs-EKG

Die Nachuntersuchungsfrist lag bei diesem Studienkollektiv bei 36 Monaten. Die dabei gewonnenen Ergebnisse wurden mit jenen verglichen, die bei den Einsätzen in der Brandsimulationsanlage und bei dem jährlichen Leistungstest erhoben werden konnten.

2.3 Statistische Methoden

2.3.1 Statistisches Programm

Zur Tabellenerstellung, Verarbeitung und Auswertung aller gewonnener Daten wurde das statistische Gesamtpaket von SPSS Version 12.0 auf einem Windows-PC angewandt. Die Kontrolle der Daten und die statistische Beratung wurde vom Institut für Medizinische Statistik und Epidemiologie, Lehrstuhl für Medizinische Informatik der Technischen Universität München durchgeführt. Die graphischen Darstellungen wurden mit dem Programm Open Office.org Writer erstellt.

2.3.2 Beschreibende Statistik und statistische Tests

Zur statistischen Auswertung kam der Wilcoxon Test für verbundene Stichproben zur Anwendung. Der p-Wert bezeichnet das Signifikanzniveau. Ein Unterschied wurde als signifikant angesehen, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner oder gleich 5 % betrug ($p \leq 0,05$). Um Werte für eine Gruppe von Probanden zu beschreiben, wurde der arithmetische Mittelwert (MW) und die Standardabweichung (SD, $MW \pm SD$) gebildet.

3 Ergebnisse

3.1 Aufbau des Kollektivs

3.1.1 Rekrutierung

Insgesamt wurden von 69 Auszubildenden des Jahrgangs 02/2002 der Berufsfeuerwehr München 52 Personen, unter Berücksichtigung der Einschluss- bzw. Ausschlusskriterien und des Einverständnisses zur Teilnahme, für die Studie rekrutiert. Siehe Tabelle 2/ Methodik. Alle Personen waren noch nicht als Feuerwehrleute aktiv tätig gewesen. Das Durchschnittsalter betrug $24,5 \pm 3,3$ (19-32) Jahre. Nach Abschluss der Einsätze konnten die Daten von zwei Teilnehmern nicht gewertet werden, da diese aus technischen Gründen den Einsatz vorzeitig abbrechen mussten (n= 50).

3.1.2 Gewicht, Body Mass Index und Größe

Das Durchschnittsgewicht lag bei 80 ± 8 Kg, die Durchschnittsgröße lag bei 180 ± 6 cm (170-195). Die Probanden waren angewiesen worden, nach dem Einsatz bzw. vor der zweiten Gewichtsmessung, keine Getränke und Speisen zu sich zu nehmen. Bei einem Probanden trat dieser Fall jedoch trotzdem ein, so dass seine Gewichtsdaten nicht gewertet werden konnten (n= 49). Der Body Mass Index betrug im Durchschnitt $24,3 \pm 2$ Kg/m² (19,9-29,5). Durchschnittlich waren die Teilnehmer mit zusätzlich $30,7 \pm 3$ % (24,7-38) ihres Körpergewichts durch die Schutzausrüstung belastet. Hinzu kamen noch Gewichte in Form einer Übungspuppe (Dummy) mit ca. 80 kg Gewicht und eine Gewichtsbelastung beim Vornehmen der gefüllten Wasserleitung hinzu.

3.1.3 Anamnese

Anamnestisch gaben 11 Probanden (22 %) zum Zeitpunkt der Studie eine leichte, akute Erkältungskrankheit („leichter Schnupfen, -Husten, -Erkältung, -grippaler Infekt“) ohne Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens an.

In der Vorgeschichte wurden eine chronische Mandelentzündung, Zustand nach Hodentumor ohne nähere Angaben und Zustand nach „Mageninfekt“ mit weiter andauernder Medikamenteneinnahme (Pantoprazol) genannt. Kein Proband hatte in seiner Vorgeschichte Erkrankungen wie arterielle Hypertonie, Hypotonie, Lebererkrankung oder Diabetes mellitus. Ebenso hatte noch keiner einen Hitzschlag erlitten. Bei einer Person war es schon einmal zu einem Hitzekollaps bedingt durch Hitzeerschöpfung, bei weiteren sechs zu einem Kreislaufkollaps ohne Hitzeeinwirkung, gekommen. Ein Proband nannte unter der Rubrik Herzfehler nicht genauer bekannte Arrhythmien ohne Beeinträchtigung des Allgemeinzustands.

3.1.4 Alkoholkonsum und Raucheranamnese

Der angegebene Alkoholkonsum betrug durchschnittlich $7,2 \pm 8,6$ g pro Tag, mit maximal 36g und minimal 0g Alkohol. Fast 60 % der Teilnehmer waren Nie-Raucher (n=31) gewesen, 21 % waren zum Zeitpunkt der Studie aktive Raucher (n=11) und 19 % waren ehemalige Raucher (n=10). Von den Rauchern wurde ein durchschnittlicher Konsum von ca. 12 Zigaretten pro Tag angegeben.

3.1.5 Sport

Die Teilnehmer machten im Mittel $5,6 \pm 3,7$ h Sport pro Woche (0-15) in ihrer Freizeit. Drei Teilnehmer machten keinen Sport. Als Sportarten wurden am häufigsten Fahrradfahren, Krafttraining sowie Joggen genannt. Weit weniger häufig wurden in absteigender Reihenfolge Wandern, Schwimmen, Fußball und Fitness angegeben. Weitere Sportarten wie Kampfsport, Skifahren, Schießen, Handball, Squash, Badminton und Tennis waren selten oder nur einmalig vertreten. Der Schwierigkeitsgrad der sportlichen Betätigung wurde eingeteilt in leicht, mittel und schwer. Siehe Tabelle 5. Die Beanspruchung durch den Sport und damit die Einteilung in einen der drei Schwierigkeitsgrade erfolgte von den Teilnehmern selbst. Als Beanspruchungskriterien wurden die körperliche Ausbelastung und das Schwitzverhalten herangezogen:

1. Leichte sportliche Belastung: Tätigkeit die mit geringem Schwitzen verbunden war, weitere sportliche Tätigkeit im Anschluss möglich.
2. Mittlere sportliche Belastung: Tätigkeit mit starkem Schwitzen verbunden, weitere sportliche Tätigkeit im Anschluss möglich.
3. Schwere sportliche Belastung: Tätigkeit mit starkem Schwitzen verbunden, körperliches Limit erreicht, sportliche Tätigkeit im Anschluss nicht möglich.

Tabelle 5

Sportliche Betätigung in Stunden	Stunde pro Woche Standardabweichung	Minimal- Maxi- malwert
Leichte sportliche Betätigung	$0,8 \pm 1,6$	0-7
Mittlere sportliche Betätigung	$3,3 \pm 3,0$	0-12
Schwere sportliche Betätigung	$1,5 \pm 2,3$	0-8

3.2 Nachbefragung und Borg-Skala

In der Nachbefragung über den Einsatz wurde als akutes Symptom, das unter Belastung auftrat, von 66 % der Teilnehmer Durst angegeben. 40 % der Probanden empfanden Schwächegefühl und 16 % hatten Atemnot im Einsatz. Weitere Symptome die durch die Einsatzbelastung auftraten sind in Tabelle 6 aufgeführt. Die Gesamtdauer des Prüfungseinsatzes unter umluftunabhängigem Atemschutz betrug im Mittel 29 ± 5 Minuten mit einer Pause von 12 ± 4 Minuten.

Tabelle 6

Anzahl der aufgetretenen Symptome während Belastung	nicht vorhanden	sehr gering	mittel	stark	sehr stark
Grad der Ausprägung	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)
Beengtheit i. S. von Angst	44	6	0	0	0
Schwindel/Benommenheit	44	6	0	0	0
Durst	17	9	13	10	1
Kopfschmerzen	48	2	0	0	0
Sehstörungen	50	0	0	0	0
Atemnot	42	5	3	0	0
Übelkeit	48	1	1	0	0
Krämpfe (Hände/Füße)	49	1	0	0	0
Kribbeln oder taubes Gefühl z.B. im Mundbereich	47	3	0	0	0
Schwäche	30	19	0	1	0

Um andere, im Fragebogen nicht aufgeführte Beschwerden zu erfassen, gab es noch die Möglichkeit als freien Text Angaben zu machen. Von dieser Möglichkeit machten 6 Per-

sonen Gebrauch. Genannt wurden zum Teil ein sehr hohes Wärmegefühl, Hunger, empfundener (psychischer) Stress als Hauptbelastungsfaktor und das Gefühl der nachlassenden Muskelkraft.

Die subjektive Einschätzung der körperlichen Anstrengung in der Brandsimulationsanlage durch die Studienteilnehmer mittels Borg-Skala ergab durchschnittlich eine Bewertung von „13“. Das bedeutet in Worten ausgedrückt: „Etwas anstrengend“. Sie reichte von „sehr sehr leicht“ (7) bis „sehr sehr schwer“ (19). Siehe Tabelle 7. Es fand sich eine positive Korrelation zwischen diesen (Borg-Skala) Werten und dem Anstieg der Ruheherzfrequenz ($r= 0,31$; $p=0,027$), aber nicht zwischen den Werten der Borg-Skala und der maximalen Herzfrequenz im Einsatz.

Tabelle 7

Borg-Skala	Benennung in Worten	Anzahl Probanden	%
6		0	0
7	sehr sehr leicht	1	2
8		0	0
9	sehr leicht	5	10
10		2	4
11	leicht	1	2
12		6	12
13	etwas anstrengend	8	16
14		8	16
15	schwer	12	24
16		5	10
17	sehr schwer	0	0
18		1	2
19	sehr sehr schwer	1	2
20		0	0

3.3 Herzfrequenz und Körpergewicht

Durch den Einsatz kam es, durch starkes Schwitzen aufgrund der Hitzebelastung durch die hohe Umgebungstemperatur und die körperliche Anstrengung, zu einem statistisch signifikanten Gewichtsverlust von durchschnittlich $0,6 \pm 0,2$ Kg ($p < 0,001$).

Bei allen Probanden wurde vor Einsatz im Liegen eine normofrequente, durchschnittliche Herzfrequenz von 70 ± 10 S/min (51-93) gemessen. Neun der Teilnehmer hatten Werte zwischen 51 und 59 S/min, 10 Teilnehmer lagen zwischen 80 und 93 S/min. Keiner zeigte Werte über 100 Schläge pro Minute. Die Ruheherzfrequenz stieg nach Einsatz um 24 ± 9 S/min, verglichen mit dem Ausgangswert vor Einsatz an:

Nach Einsatz zeigte sich eine statistisch signifikant erhöhte Ruheherzfrequenz von im Mittel $94 \pm 9,7$ S/min ($p < 0,001$) gegenüber dem Ausgangswert, wobei 10 Probanden im Liegen eine Herzfrequenz von über 100 S/min aufwiesen, 38 Teilnehmer zeigten Frequenzen über 80 S/min und zwei Probanden lagen zwischen 60 und 80 S/min. Keiner hatte Werte unter 60 Schlägen pro Minute.

Die maximale, bei dem Einsatz erreichte Herzfrequenz betrug im Durchschnitt 177 ± 23 S/min (109-201). Die mittlere individuell errechnete maximale Herzfrequenz, definiert als 220 Schläge minus Lebensalter in Jahren, wurde von 7 Probanden (14 %) überschritten und betrug im Mittel 196 ± 3 S/min. Die Teilnehmer erreichten durchschnittlich 91 % (56,77-114,58) ihrer maximalen persönlichen Herzrate. Siehe Tabelle 8. Analysen der Langzeit-Elektrokardiogramme ergaben keine pathologischen Veränderungen oder Herzrhythmusstörungen.

3.4 Körperkerntemperatur

Die durchschnittliche Körperkerntemperatur der Probanden betrug vor Einsatz $36,9 \pm 0,5^\circ\text{C}$; nach Einsatz $37,7 \pm 0,6^\circ\text{C}$. Im Mittel zeigte sich ein statistisch signifikanter Anstieg um $0,9 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ($p < 0,001$). Siehe Tabelle 9.

Von 20 Personen wurde der Grenzwert von 1°C Temperaturanstieg in weniger als einer Stunde bei schneller Wärmespeicherung, wie ihn die ISO 9886 vom Januar 2002 definiert, überschritten oder erreicht. Dies entspricht 40 % der Teilnehmer. Davon zeigte sich bei 7 Studienteilnehmern ein Anstieg $\geq 1,4^\circ\text{C}$.

Betrachtet man den zweiten möglichen Grenzwert der ISO 9886 von 38°C , so fanden sich in dieser Studie 20 Feuerwehrangehörige (entsprechend 40 %), die diesen überschritten oder erreichten.

Tabelle 8

Herzfrequenz während Einsatz in der BSA, während der medizinischen Vorsorgeuntersuchung und während des jährlichen Leistungstests	Mittelwert ± Standardabweichung	Minimal-Maximalwert
Herzfrequenz vor Einsatz (in Ruhe)	70 ± 10	51-93
Herzfrequenz nach Einsatz (in Ruhe)	94 ± 9,7	71-112
Differenz: Herzfrequenz vor Einsatz minus Herzfrequenz nach Einsatz (in Ruhe)	-24 ± 9	-6 - (-)44
Maximale Herzfrequenz im Einsatz	177 ± 23	109-201
Minimale Herzfrequenz im Einsatz	79 ± 15	50-113
Anzahl Probanden (%): Individuell errechnete maximal mögliche Herzfrequenz* überschritten	7 (14%)	-
Differenz: Maximale Herzfrequenz im Einsatz (gemessen) minus individuell errechnete maximal mögliche Herzfrequenz*	18 ± 23	83-(-)28
Anzahl Probanden (%): Maximale Herzfrequenz während Einsatz höher als 170S/ min**	34 (68%)	-
Differenz: Maximale Herzfrequenz während Einsatz minus 170S/ min**	7 ± 23	-61-31
Anzahl Probanden (%): Maximale Herzfrequenz während Einsatz höher als submaximale Herzfrequenz***	30 (60%)	-
Differenz: Maximale Herzfrequenz während Einsatz minus submaximale Herzfrequenz***	1,2 ± 22	-63-25
Anzahl Probanden (%): Maximale Herzfrequenz während Einsatz höher als im jährlichen Leistungstest	38 (84%)	-
Differenz: Maximale Herzfrequenz während Einsatz minus maximale Herzfrequenz im jährlichen Leistungstest	24 ± 25	-48-65
Leistung in Watt pro Kg Körpergewicht bei Pulsfrequenz von 170S/min (PWC 170) während med. Vorsorgeuntersuchung	3,0 ± 0,4	2,2-3,8

* nach der Formel: 220 Schläge/min – Lebensalter in Jahren

** Physical Working Capacity (PWC) ist die in Watt angegebene mechanische Leistung eines Menschen bei einer definierten Herzfrequenz. Hier 170 Schläge pro Minute bei Personen unter 40 Jahre. Die ermittelte Wattangabe wird durch das Körpergewicht dividiert, um den Relativwert - bezogen auf die Körpermasse - zu erhalten.

***submaximale Herzfrequenz errechnet mit der Formel: 200- Lebensalter.

Tabelle 9

Veränderung der Körpertemperatur in °C	Mittelwert ± Standardabweichung (Minimal - Maximalwert)
Temperaturmittelwert vor Einsatz ± Standardabweichung	36,9 ± 0,5 (35,6 – 37,9)
Temperaturmittelwert nach Einsatz ± Standardabweichung	37,7 ± 0,6 (35,7 – 38,8)
P-Wert (vorher - nachher)	< 0,001
Differenz (vorher - nachher)	0,9 ± 0,5

3.5 Blutdruck und Schellong-Test

Durch die Einsatzbelastung kam es zu einem signifikanten Abfall des Ruheblutdrucks ($p < 0,001$). Der systolische Ruheblutdruck sank um durchschnittlich 9 ± 12 mmHg und der diastolische Ruheblutdruck sank um 9 ± 10 mmHg. Siehe Tabelle 10.

Beim Vergleich der Schellong-Tests vor und nach Einsatz, zeigte sich bei den durchschnittlichen Messergebnissen bei den Tests nach Einsatz ein statistisch signifikant stärkerer Blutdruckabfall ($p < 0,001$) als bei jenen vor Belastung. Und zwar sowohl bei den systolischen als auch bei den diastolischen Blutdruckwerten. Bei 3 Personen (6 %) kam es vor Einsatz, bei 8 (16 %) Personen nachher, zu einem asymptomatischen Blutdruckabfall im Stehen um 20 mmHg und mehr systolisch und/oder um 10 mmHg und mehr diastolisch. Im Mittel zeigten 5 (10 %, $p > 0,1$) Teilnehmer einen Blutdruckabfall.

Beim Pulsverhalten fanden wir in der ersten, zweiten und dritten Minute nach dem Aufstehen im Schellong-Test nach Einsatz einen statistisch signifikant höheren Anstieg der mittleren Pulsfrequenz als im Test vor Belastung ($p < 0,001$). Siehe Tabelle 11. Es zeigte sich eine Korrelation zwischen dem Ruheherzfrequenzanstieg und der subjektiven Einschätzung der Belastung durch die Teilnehmer ($r = 0,31$; $p = 0,027$). Zwischen dem Ruheherzfrequenzanstieg und der maximalen Herzfrequenz während Einsatz fand sich keine Korrelation. Weiter wurde eine Korrelation zwischen dem Anstieg der Ruheherzfrequenz und dem Anstieg des systolischen Blutdrucks in Ruhe ($r = 0,29$; $p = 0,042$) gefunden, wobei keine Korrelation zwischen dem Anstieg der Ruheherzfrequenz beziehungsweise der maximalen Herzfrequenz während des Einsatzes sowie dem Anstieg des systolischen Ruheblutdrucks bestand.

Tabelle 10

Blutdruck vor und nach Einsatz in mmHg	Blutdruck systolisch ± Standardabweichung	Minimal-Maximalwert	Blutdruck diastolisch, ± Standardabweichung	Minimal-Maximalwert
Ruheblutdruck vor Einsatz	130 ±11	100-156	77 ±7	50-90
Ruheblutdruck nach Einsatz	120 ±10	100-146	67 ±9	47-93
p-Wert	<0,001	-	<0,001	-

Bei der zuletzt durchgeführten jährlichen Leistungsprüfung betrug die maximale Herzfrequenz 155 ± 13 S/min (125-182) und lag somit unterhalb der maximalen Herzfrequenz von 177 ± 23 S/min, die im Einsatz in der Brandsimulationsanlage gemessen wurde. Die medizinische Vorsorgeuntersuchung G 26.3 wird bei Erreichen einer Herzfrequenz von 170 Schlägen pro Minute (Sollwert bis einschließlich 39. Lebensjahr: 3,0 Watt/kg Körpergewicht bei Männern; 2,5 Watt/kg Körpergewicht bei Frauen) beendet. Auch hier lag die erreichte Herzfrequenz leicht unterhalb derer in der Brandsimulationsanlage im Lösch- und Rettungseinsatz. Bei 84 % der Auszubildenden lag die maximale Herzfrequenz im Einsatz (in der BSA) höher als während des jährlichen Leistungstests; und 60 % der Teilnehmer wiesen eine höhere maximale Herzfrequenz im Brandeinsatz (in der BSA) auf als während der medizinischen Untersuchung. Es zeigte sich keine Korrelation zwischen der maximalen Herzfrequenz, die während des Einsatzes in der Brandsimulationsanlage auftrat, und jener, die bei dem Leistungstest gemessen wurde ($r=0,17$). Zwischen der Leistungsfähigkeit (Physical work capacity, PWC 170) und der maximalen Herzfrequenz während Einsatz bestand eine negative Korrelation ($r=-0,50$; $p=0,01$). Weiter bestand zwischen ersteren und der Dauer der sportlichen Aktivitäten eine schwache Korrelation ($r=-0,28$; $p=0,063$). Keine Korrelation konnte zwischen der PWC 170 und der Dauer der sportlichen Aktivitäten sowie dem Anstieg der Ruheherzfrequenz durch den Einsatz gefunden werden.

Tabelle 11a

Schellong-Test Mittelwert \pm Standard- abweichung (Minimum-Maximum)	Im Liegen vor Einsatz	Im Stehen vor Einsatz	Differenz Liegen-Ste- hen vor Einsatz
Blutdruck systolisch, in mmHg (min-max)	130 \pm 11 (100 - 156)	133 \pm 13 (110 - 170)	- 3 \pm 10 (- 29 - 19)
Blutdruck diastolisch, in mmHg (min-max)	77 \pm 7 (50 - 90)	87 \pm 7 (63 - 100)	10 \pm 6 (- 21 - 5)
Puls, Schläge /min (min-max)	70 \pm 10 (51 - 93)	81 \pm 11 (55 - 106)	11 \pm 8 (-29 - 4)

Tabelle 11b

Schellong-Test Mittelwert \pm Standard- abweichung (Minimum-Maximum)	Im Liegen nach Einsatz	Im Stehen nach Einsatz	Differenz Liegen-Stehen nach Einsatz
Blutdruck systolisch, mmHg (min-max)	120 \pm 10 (100 - 146)	115 \pm 11 (98 - 150)	5 \pm 8 (- 17 - 30)
Blutdruck diastolisch, mmHg (min-max)	67 \pm 9 (47 - 93)	79 \pm 9 (53 - 102)	- 11 \pm 6 (- 26 - 5)
Puls, Schläge /min (min-max)	94 \pm 10 (71 - 112)	109 \pm 11 (81 - 137)	- 15 \pm 8 (- 33 - 0)

3.6 Laborparameter

3.6.1 Blutbild und Differentialblutbild

Die schwere, körperliche, thermische und psychische Beanspruchung während der Brandbekämpfung in der Brandsimulationsanlage wirkte sich nachweislich auf Blutparameter und Serumenzyme aus:

Es kam zu einer signifikanten Zunahme der Leukozyten und Blutplättchen in Kombination mit einer Abnahme der Lymphozyten, Eosinophilen und der Monozyten.

Die durchschnittliche Leukozytenzahl betrug vor Einsatz $6,1 \pm 1,2$ G/l und stieg während des Einsatzes signifikant ($p < 0,001$) um 23 % auf $7,5 \pm 1,7$ G/l an. (SI-Einheit: G/l = Giga = 10^9 pro Liter) Bei der Aufschlüsselung der jeweiligen Leukozytenfraktionen ergab sich folgendes Ergebnis:

Die neutrophilen Granulozyten stiegen um 7,3 % des Anfangswertes statistisch signifikant ($p < 0,001$) an. Vor dem Einsatz lag der mittlere Anteil der eosinophilen Granulozyten bei 2,2 % (0,8-6,7) und danach bei 1,6 % (0,1-3,5). Es zeigte sich ein signifikanter Abfall ($p < 0,001$) um 0,66 %. Der mittlere Lymphozytenanteil fiel nach Einsatz auf 31,6 % (11,6-48,1) signifikant ab ($p < 0,004$). Der Anteil der Monozyten sank signifikant von 7,1 % (3,3-11,8) auf 6,2 % (2,0-10,6) ($p < 0,001$).

Bei der durchschnittlichen Erythrozytenzahl fand sich keine statistisch signifikante Veränderung ($5,03 \cdot 10^{6l^{-1}}$ vor und $5,05 \cdot 10^{6l^{-1}}$ nach Einsatz). Dasselbe Ergebnis zeigte die Auswertung der basophilen Granulozyten. Bei den Thrombozyten zeigte sich ein statistisch signifikanter Anstieg. Siehe Tabelle 12.

3.6.2 Erythrozytenparameter

Der durchschnittliche Hämatokrit (Hkt) im venösen Blut fiel durch den Einsatz nur geringfügig und nicht signifikant von 43,07 % auf 43,03 %, also um 0,04 %. Die Auswertung des Hämoglobinwertes (Hb) hingegen zeigte eine statistisch signifikante Zunahme um 0,13 g/dl, von 15,31 g/dl auf 15,43 g/dl ($p = 0,003$). Gleichzeitig nahm die Erythrozytenanzahl geringfügig (nicht signifikant) zu. Das durchschnittliche mittlere corpusculäre Volumen (MCV) verringerte sich um 0,37 fl signifikant ($p < 0,001$) von 85,8 fl auf 85,4 fl (fl=femtoliter= 10^{-15}). Die durchschnittliche mittlere corpusculäre Hämoglobinkonzentration (MCHC) stieg signifikant ($p < 0,001$) von 35,5 g/dl vor dem Einsatz auf 35,9 g/dl nach Einsatz (+ 0,4 g/dl). Ebenso zeigte sich beim mittleren corpusculären Hämoglobin (MCH) eine statistisch signifikante Zunahme um 0,13 ng ($p < 0,006$). Der Mittelwert lag vor Einsatz bei $30,5 \pm 1,3$ ng und nachher bei $30,6 \pm 1,2$ ng. Die mittlere Erythrozytenverteilungsbreite (RDW) fiel signifikant von 40 % auf 39,53 %. Siehe Tabelle 12.

3.6.3 Elektrolyte, Osmolalität, Blutzucker und Thromboplastinzeit

Nach Einsatz trat eine Hämokonzentration sowie ein Anstieg der Serum Natrium Konzentration und des Kreatinins auf, während die Serum Kalium Konzentration sank. Bei Natrium lag nur ein Proband nach Einsatz wenig unterhalb des Referenzbereichs, wäh-

rend beim Kalium nach Einsatz 20 Probanden Kaliumwerte unterhalb des Referenzbereichs aufwiesen. Keiner hatte einen Natrium- oder Kaliumblutspiegel oberhalb dem maximalen Referenzwert von 145 bzw. 5,0 mmol/l.

Beim Chlorid fanden wir einen geringfügigen Abfall von durchschnittlich 103,1 mmol/l auf 102,7 mmol/l. Vier der Studienteilnehmer hatten vor Einsatz erhöhte Werte. Alle lagen nach Einsatz im Normbereich.

Hinsichtlich der Osmolalität fanden wir einen statistisch signifikanten Anstieg ($p < 0,001$). Vor dem Einsatz in der Brandsimulationsanlage war die mittlere Osmolalität 308,4 mosm/kg, nachher 313,0 mosm/kg. 67 % der Probanden zeigten vorher ($n = 31$), 87 % unmittelbar nach Einsatz ($n = 41$) eine über den Referenzbereich hinaus erhöhte Osmolalität.

Bei der Messung der Blutglucose fanden sich nach Einsatz bei 11 Probanden erhöhte Blutzuckerwerte. Beim Vergleich der Durchschnittsblutglucosewerte zeigte sich eine statistisch signifikante ($p < 0,001$) Zunahme von $82,1 \pm 12,84$ mg/dl auf $103,2 \pm 22,6$ mg/dl (61-126 und 73-201).

Kein Teilnehmer der Studie zeigte bei der Prothrombinzeit -weder vor noch nach Einsatz- pathologisch erhöhte oder erniedrigte Werte. Siehe Tabelle 12.

3.6.4 Enzyme und Kreatininkinase

Die Mittelwerte der Glutamat-Oxalacetat-Transaminase (GOT) und Glutamat-Pyruvat-Transaminase (GPT) zeigten jeweils statistisch signifikante Anstiege während des Einsatzes ($p < 0,001$). Die Lactatdehydrogenaseaktivität (LDH) zeigte eine statistisch signifikante ($p < 0,001$) Zunahme von $171,5 \pm 36$ U/l auf $190 \pm 28,2$ U/l. Insgesamt hatten zwei Studienteilnehmer schon vor Einsatz und drei Studienteilnehmer nach Einsatz über den Normbereich hinaus erhöhte Lactatdehydrogenasewerte.

Hinsichtlich des Stoffwechselprodukts Kreatinin (Krea) zeigte sich durch die Hitze- und Arbeitsbelastung ein signifikanter Anstieg ($p < 0,001$) von $1 \pm 0,1$ mg/dl auf $1,1 \pm 0,1$ mg/dl. Hatte vor Einsatz lediglich ein Studienteilnehmer einen leicht erhöhten Wert für Kreatinin (1,33 mg/dl), so waren es nach Einsatz 14 Teilnehmer die erhöhte Werte bis maximal 1,44 mg/dl zeigten. Siehe Tabelle 12.

Tabelle 12 Laborparameter	vor Einsatz ± Standardab- weichung	nach Einsatz ± Standardabwei- chung	p-Wert	Differenz Mittelwert	Referenzbereich
Leukozyten	6,1 ± 1,2	7,5 ± 1,7	0,000	1,4	4,0-11,0 G/l
Thrombozyten	231 ± 48	263 ± 50	0,000	36,37	150-440 G/l
Neutrophile Granulozyten	56,1 ± 8,5	60,3 ± 9,2	0,000	4,1	50-70 %
Basophile Granulozyten	0,4 ± 0,3	0,4 ± 0,3	0,472	-0,03%	<2 %
Eosinophile Granulozyten	2,2 ± 1,1	1,6 ± 0,81	0,000	-0,66	<4,0 %
Lymphozyten	34,1 ± 8,0	31,6 ± 8,3	0,004	-2,5	25-40 %
Monozyten	7,1 ± 1,8	6,2 ± 1,8	0,000	-0,9	4-10 %
Hämoglobin	15,3 ± 0,7	15,4 ± 0,7	0,005	0,13	14,0-18,0 g/dl
MCV	85,8 ± 3,2	85,4 ± 3,4	0,001	-0,37	78,0-98,0 fl
MCH	30,5 ± 1,3	30,6 ± 1,2	0,006	0,13	26,0-32,0 ng
MCHC	35,5 ± 0,8	35,9 ± 0,8	<0,001	0,4	32,0-36,0 g/dl
Natrium	141,2 ± 2,3	142,3 ± 2,3	<0,001	1,06	135-145 mmol/l
Kalium	3,7 ± 0,3	3,5 ± 0,3	<0,001	-0,18	3,5-5,0 mmol/l
Chlorid	103,1 ± 4,4	102,7 ± 3,5	0,147	-0,47	95-110 mmol/l
Kreatinin	1,0 ± 0,1	1,1 ± 0,1	<0,001	0,14	0,5-1,2 mg/dl
CK Kreatininkinase	84,1 ± 50,3	96,8 ± 57,2	<0,001	12,7	<180 U/l
LDH	171 ± 36	189 ± 28	<0,001	17,61	<250 U/l
GOT (AST)	12 ± 3,0	13 ± 3,1	<0,001	0,79	<40 U/l
GPT (ALT)	15 ± 9,1	16 ± 9,4	<0,001	0,65	<45 U/l
GGT	14,7 ± 8,6	14,9 ± 8,7	0,004	0,17	<55 U/l
Prothrombinzeit (Quick)	89,6 ± 7,8	89,6 ± 7,9	0,974	-0,02	70-120 %
Glucose	82,1 ± 12,8	103,2 ± 22,6	<0,001	21,11	70-115 mg/dl

4 Diskussion

Mit dieser Studie wurde die Fragestellung nach der tatsächlichen, kardiozirkulatorischen und thermischen Beanspruchung von Angehörigen der Feuerwehr beim Einsatz in einer Brandsimulationsanlage untersucht. Insgesamt liegen Daten von 50 Auszubildenden der Berufsfeuerwehr des Jahrgangs 2/2002 vor.

Bei realen Brandeinsätzen kommt es zum Teil zu massiven Belastungen der Einsatzkräfte durch schwere körperliche Arbeit und starke Hitzebelastung. Diese sind, da es sich um nicht planbare Notfalleinsätze handelt, die unter großem Zeitdruck ausgeführt werden, in der Regel einer kontrollierten Untersuchung nicht zugänglich. Die Übungseinsätze in einer modernen Brandsimulationsanlage bieten hier nun die Möglichkeit, die Belastungen und Beanspruchungen eines Notfalleinsatzes bestmöglich zu simulieren. Somit können individuelle Beanspruchungsreaktionen unter genau definierten Bedingungen studiert werden. Stressfaktoren, die die typischen Notfalleinsätze ausmachen, werden in einer Brandsimulationsanlage durch mehrere (kontrollierte) Feuer mit starker Hitzeentwicklung, Vernebelung der Räumlichkeiten, entsprechender Geräuschkulisse sowie der schwierigen Einsatzaufgaben (Personenrettung und Brandbekämpfung unter hohem, zeitlichen Druck) erzeugt.

In dieser Studie an jungen Berufsfeuerwehrleuten zeigte sich, dass die Kombination aus schwerer Arbeitsbelastung und extremer Hitze, wie sie bei Brandeinsätzen typischerweise auftreten, eine hohe kardiozirkulatorische Beanspruchung bedingt. 60 % der Teilnehmer erreichten im Einsatz eine Herzfrequenz, die oberhalb ihrer individuell vorausgesagten, submaximalen Herzfrequenz lag. Bei dem jährlichen Leistungstest der Feuerwehr wurde eine maximale Herzfrequenz erreicht, die deutlich unterhalb der maximalen Herzfrequenz beim Einsatz in der Brandsimulationsanlage lag. Obwohl die maximale Herzfrequenz im Einsatz in der Brandsimulationsanlage nur gering höher war als in der Vorsorgeuntersuchung für Atemschutzgeräteträger, zeigten 66% der Probanden in der BSA höhere Werte der maximalen erreichten Herzfrequenz als in der Vorsorgeuntersuchung. Ursächlich ist eine weite Streuung der Werte.

Die Leistungsfähigkeit, gemessen als Wattzahl pro kg Körpergewicht bei einer Pulsfrequenz von 170 S/min auf dem Fahrradergometer, korrelierte invers mit der kardiozirkulatorischen Beanspruchung (gemessen an der maximalen Herzfrequenz) beim Einsatz – d.h. je leistungsfähiger die Person war, desto geringer war auch die Beanspruchung im Einsatz.

Hinsichtlich der thermischen Beanspruchung beim Einsatz in der Brandsimulationsanlage kam es bei 40 % (n=20) der Teilnehmer zu einer Grenzwertüberschreitung durch einen Temperaturanstieg von 1°C oder mehr, davon zeigte sich bei 7 Probanden (14 %) einen Anstieg ihrer Körperkerntemperatur von $\geq 1,4^{\circ}\text{C}$ (Definition des Grenzwertes in der ISO 9886).

Bei den Blutuntersuchungen der Probanden zeigte sich nach dem Einsatz ein Anstieg fast aller hitzesensitiver Laborparameter. Es wurden jedoch, bedingt durch die relativ kurze Einsatzzeit, praktisch nie pathologische Werte erreicht. Bei längeren Belastungen können pathologische Veränderungen, insbesondere der Transaminasen, der Lactatdehydrogenase und der Kreatinkinase, nicht ausgeschlossen werden.

Eine Kreislaufdysregulation (starker Abfall des Blutdruck nach dem Aufstehen im Sinne einer orthostatischen Dysregulation) war zwar nach dem Einsatz häufiger zu messen, aber nie symptomatisch und damit klinisch irrelevant.

Ein Hitzekollaps oder Hitzschlag kam -auch in Vorstadien- während des Einsatzes nicht vor. Individuelle Frühzeichen oder Warnsymptome für das Auftreten der genannten Ereignisse konnten nicht identifiziert werden.

Im Rahmen der Befragung mittels Borg-Skala wurde die (subjektiv empfundene) Einsatzbelastung nur als „etwas anstrengend“ von den Einsatzkräften wahrgenommen. Dieses Ergebnis steht im Kontrast zu der gemessenen hohen, kardiozirkulatorischen Beanspruchung. Die Eigenwahrnehmung scheint hier zu täuschen.

Die hohe Beanspruchung der Feuerwehrleute wird durch eine Reihe von Belastungen hervorgerufen: So trägt beispielsweise die Schutzausrüstung einen großen Anteil zur physischen Belastung bei. Nachteil dieser ist zum einen ihr Gewicht:

Einschließlich Atemgerät wiegt sie allein ca. 24 Kg. Das waren bereits 31 % des durchschnittlichen Körpergewichts der Teilnehmer in dieser Studie. Dieses Gewicht und die körperlich schwere Tätigkeit beanspruchen große Muskelgruppen, stellen also einen größeren Anteil der physischen Belastung dar und sind unter anderem für einen raschen Anstieg der Herzfrequenz und der Körperkerntemperatur ursächlich [de Marées, 2003(5)].

Weitere Nachteile sind Behinderung in der Beweglichkeit mit Verlangsamung der tragenden Person und eingeschränkte Sicht mit der Folge von Orientierungsschwierigkeiten. Bei Einsätzen mit Umgebungstemperaturen zwischen 300°C und 700°C ist die Feuerschutzkleidung der Feuerwehrleute einschließlich umluftunabhängigem Atemgerät aber dringend erforderlich, so dass auf sie nicht verzichtet werden kann [Branddirektion München, Ausbildung]. Auch besteht bei solchen Einsätzen die akute Gefahr der plötzlichen Entzündung von Gasen, die zu schweren Verbrennungen der Haut und der Atemwege (Inhalationsverletzungen) mit schwerwiegenden Folgen für die Gesundheit der Betroffenen führen kann.

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass auch bei Übungseinsätzen in einer Brandsimulationsanlage medizinisch begründete Grenzwerte für die Körperkerntemperatur überschritten werden. Die Kombination aus schwerer Arbeitsbelastung und extrem hoher Hitzebelastung führt zu einer hohen kardiozirkulatorischen Beanspruchung der Feu-

erwehrmänner. Während des Lösch- und Rettungseinsatzes in der Brandsimulationsanlage erreichte oder überschritt die mittlere, maximale Herzfrequenz den altersabhängigen Maximalwert. Außerdem war diese höher als die mittlere, maximale Herzfrequenz, die während des jährlichen Leistungstests gemessen wurde oder jene, die bei der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung gemessen wurde. Somit entsprechen die Anforderungen dieser beiden Untersuchungen nicht jener, die in einer realen Einsatzsituation oder in einer Übungssituation in einer Brandsimulationsanlage entsteht. Stefanos Kales et al. konnten zeigen, dass das akute kardiovaskuläre Ereignis für 45% der Todesfälle bei Feuerwehrangehörigen während der Arbeit ursächlich sind. Sowohl der jährliche Leistungstest als auch die Vorsorgeuntersuchung nach den berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen für Angehörige der Feuerwehren sind somit nicht ausreichend, Personen, die ein erhöhtes Risiko für das Erleiden einer belastungsabhängigen, akuten, koronaren Herzerkrankung aufweisen, zu erkennen. Das Ziel gefährdete Personen rechtzeitig herausnehmen zu können, um sie vor Schaden zu bewahren, wird nicht erreicht.

Wegen des Ernstes der Situation (Rettung von Menschenleben, Eigengefährdung), des zeitlichen Drucks und der Unvorhersehbarkeit, wann ein Einsatzereignis nun tatsächlich eintritt, sind die physiologischen Reaktionen der Feuerwehrleute in akuten Einsatzsituationen nur schwer zu erfassen und zu dokumentieren. Um Einsätze so realitätsnah wie möglich, aber auch so kontrolliert und sicher wie nötig zu üben, werden diese in Brandsimulationsanlagen durchgeführt. Und hier besteht auch die Gelegenheit, die Belastungen und daraus resultierenden Beanspruchungen unter kontrollierten Bedingungen zu erfassen und zu dokumentieren. Aufgrund vieler Faktoren (siehe unten) wird eine reale Einsatzsituation jedoch als belastender empfunden als eine simulierte in einer Brandsimulationsanlage. Darauf weist das Ergebnis der Probandenbefragung dieser Studie mittels Borg-Skala hin: Der Einsatz in der Brandsimulationsanlage wurde zwar als anstrengend, jedoch nicht als sehr schwer beurteilt.

Faktoren, die im Ernstfall die Einsatzbelastung erhöhen, sind nicht nur physischer, sondern insbesondere auch psychischer Natur:

- Notfallsituationen ereignen sich nicht an vorgegebenen Terminen. Sie sind unvorhersehbar und treten zum Beispiel während der Nachtruhe auf. Die Feuerwehrleute werden durch ein Alarmsignal geweckt und müssen dann sogleich und unter hohem Zeitdruck an den Einsatzort.
- Der Notfall bzw. das Einsatzereignis ist zunächst unbekannt, ebenso wie die persönliche Gefährdung, die auf den Feuerwehrangehörigen zukommt.
- Das Erleben von Verletzten, Verbrannten oder Menschen in Panik und - unter Umständen - auch Toten kann traumatisierend sein. Die Verantwortung für Personen (z.B. Kinder), die gerettet werden müssen und die Verantwortung für die Sicherheit der eigenen Kameraden ist schwer.

Alle diese Faktoren führen zu einer höheren Beanspruchung während eines realen Einsatzes im Gegensatz zum Übungseinsatz in einer Brandsimulationsanlage. Dennoch ist letztere aus oben genannten Gründen am geeignetsten die Belastungsfaktoren und Beanspruchung festzustellen. Es kann aber angenommen werden, dass gerade die kardiozirkulatorische Beanspruchung im realen Einsatz noch höher ist und physiologische Grenzwerte noch rascher überschritten werden.

Insbesondere aus ethischen Gründen wurde die Untersuchung an einem jungen Kollektiv und nicht an dem eigentlichen Risikokollektiv, um dessen Schutz es hier besonders geht, durchgeführt: Feuerwehrleute höheren Alters mit einem erhöhten Risiko für eine koronare Herzerkrankung und damit einem erhöhten Risiko, beim Notfalleinsatz ein akutes, koronares Syndrom zu erleiden. Als Studienkollektiv wurde vielmehr eine homogene Gruppe, bestehend aus jungen Auszubildenden der Feuerwehr im Alter von 19 bis 32 Jahren in ihrem ersten Trainingsjahr, gewählt. Untersuchungsergebnisse in den USA an Feuerwehrleuten zeigten, dass arbeitsbedingte Todesfälle durch den plötzlichen Herztod im Mittel zwischen dem 45. Lebensjahr und dem 54. Lebensjahr auftraten (mittleres Alter bei Angehörigen der Berufsfeuerwehr: 44. Lebensjahr) [CDC, 2006]. Der Vergleich des jährlichen Leistungstests mit den Einsätzen in der Brandsimulationsanlage hinsichtlich der Beanspruchung ist aber gut auf ein älteres Kollektiv zu übertragen. Ebenso der Vergleich der Vorsorgeuntersuchungen nach den berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen mit den Einsätzen in der Brandsimulationsanlage. Zwar haben die älteren Feuerwehrleute aufgrund ihrer größeren Erfahrung evt. eine geringere psychische Belastung, die schwere körperliche und die hohe thermische Belastung hingegen ist die gleiche wie bei jüngeren Einsatzkräften.

Das Ausmaß der Hitzebeanspruchung wurde anhand des Anstiegs der Körperkerntemperatur, des Flüssigkeitsverlustes sowie anhand der Anzahl der Personen mit orthostatischer Dysregulation nach Einsatz beurteilt.

Zur Messung der Körperkerntemperatur wurde die Temperaturmessung mittels Infrarot-Ohrthermometer (Tympanum-Temperatur) verwendet, da diese Messmethode nicht-invasiv und praktikabel ist. Das Infrarot-Ohrthermometer ist, nach einer kurzen Einlernphase und bei Beachtung der Betriebsanleitung, leicht und schnell zu bedienen. Da die teilnehmenden Personen den Kopf im Einsatz relativ viel bewegen mussten, wurde, vor allem im Hinblick auf die Vermeidung von Verletzungen des Trommelfells und Schmerzempfindungen bei Berührung dieses, auf den Einsatz einer Messsonde am Trommelfell verzichtet. Gerade der Arbeitsablauf in der Brandsimulationsanlage mit schlechter Sicht durch Rauchgas, dem Erfordernis sich in gebückter Haltung vorwärts zu bewegen oder bei Bedarf auch zu Kriechen und gleichzeitig schwere Lasten zu ziehen (Wasserschlauchvornahme) oder zu tragen (Rettung eines Verunglückten), lässt den Einsatz einer direkt am Trommelfell sitzenden Sonde nicht zu. Bei simulierten Arbeitsbelastungen am Fahrradergometer unter Hitzebelastung ist eine solche besser einzusetzen. Von Vorteil ist, dass die Tympanum-Temperatur die Gehirntemperatur und hier insbesondere

die Temperatur des Hypothalamus und damit des Temperaturmess- und Regelzentrums des Körpers, wiedergibt [de Marées, 2003(6)]. Das Trommelfell gehört zum Stromgebiet der Arteria carotis interna. Da die thermische Trägheit des Trommelfells aufgrund seiner geringen Masse und hohen Vaskularisation recht niedrig ist, spiegeln seine Messwerte vor allem die Temperatur des arteriellen Blutes wieder. Dessen Temperatur entspricht der des Gehirns und hier insbesondere auch des Zwischenhirns mit dem Temperaturregelzentrum. Zu beachten ist, dass das Trommelfell zum Teil auch von der Arteria carotis externa versorgt wird, deren Temperatur dadurch auch von Arealen der Kopfoberfläche abhängig ist. Es ist deswegen vor allem bei kontinuierlichen Messungen erforderlich, in Räumen mit hoher Lufttemperatur Kopfschutz zu tragen, um keine zu hohen Messwerte zu erhalten [ISO 9886, 2002-01]. Außerdem bewirkt die geringe thermische Trägheit des Trommelfells, dass nur kurze Abkühlphasen von beispielsweise 1-2 Minuten die gemessene Temperatur niedriger erscheinen lässt, als sie im Einsatz tatsächlich ist. Die maximal erreichte Körperkerntemperatur wird also eher unterschätzt, auf keinen Fall aber überschätzt. Der hier gemessene mittlere Anstieg um $0,9^{\circ}\text{C}$ entsprach in etwa anderen vorausgegangenen Studien mit gleichen Voraussetzungen wie Alter, Größe und Gewicht der Teilnehmer [Sothmann, 1992].

Die Probanden befanden sich in einer Belastungssituation, in der eine relativ einfache und unaufwendige Messmethode Vorrang hatte. Die Akzeptanz einer ösophagealen oder rektalen Sonde bzw. Messung war nicht gegeben. Auch sollten den Studienteilnehmern keine Nachteile durch die Messungen gegenüber Nichtteilnehmern entstehen. Somit war eine kontinuierliche Kontrolle des Temperaturverlaufs während des Einsatzes nicht möglich. Ein intraabdominales Messgerät, - eine sog. "radio pill"- zur Erfassung der intraabdominalen Temperatur ist zwar relativ leicht zu applizieren [Brake, Bates, 2002], liefert aber je nach Aufenthaltsort im Magen-Darmtrakt unterschiedliche Temperaturen:

Die Temperatur ist abhängig von der jeweiligen Nähe zu stark durchbluteten Organen (z.B. Leber) und der Geschwindigkeit der Magen-Darm-Passage, die relativ unterschiedlich sein kann [ISO 9886, 2002-01]. Weiterhin ist ein intraabdominales Messgerät für Messungen in relativ kurzen Zeiträumen (Einsatz insgesamt im Durchschnitt 29 Minuten) nicht sinnvoll. Es ist beispielsweise für ganze Arbeitsschichten geeigneter. Die Messung der oralen Temperatur und die Temperaturmessung des Urins wurden als unpraktikabel für diese Studie eingeschätzt und kamen nicht zur Anwendung, da erstens die Urintemperatur direkt unter dem Urinstrahl und nicht im aufgefangenen Urin gemessen werden sollte [ISO 9886,2002-01] und die Messdauer der Oraltemperatur je nach Umgebungstemperatur (Lufttemperatur von 18°C bis 30°C : Mindestens 8 Minuten bzw. Lufttemperatur höher als 30°C : Mindestens 5 Minuten [ISO 9886,2002-01]) relativ lange dauert.

Alle Teilnehmer dieser Studie trugen in den Räumen der Brandsimulationsanlage, wie eingangs berichtet, Feuerschutzausrüstung mit Helm und Feuerschutzhaube. Die Tem-

peraturmessungen wurden in einem von der Anlage getrennten Raum durchgeführt, in dem Bedingungen wie folgt herrschten:

Lufttemperatur zwischen 18°C und 21°C, Luftgeschwindigkeit unter 1m/s und keine erheblich von der Lufttemperatur abweichende Strahlungstemperatur [ISO 9886, 2002-01]. Da keine Messsonde, etwa mittels Wachsstopfen, im Ohr an exakt der gleichen Stelle verbleiben konnte, wurde vor und nach Einsatz dreimal die Tympanum-Temperatur gemessen und daraus der Mittelwert gebildet.

Zur Beurteilung der kritischen Körpertemperatur bedingt durch Hitzebelastung gibt es verschiedene Angaben in der Literatur. So empfiehlt die American Conference of Governmental Industrial Hygienists [ACGIH, 1992] eine maximale Körpertemperatur von 38°C bei nicht akklimatisierten Personen am Hitze Arbeitsplatz mit erhöhter Umgebungstemperatur. Die World Health Organisation hingegen fordert, dass - auch kurzzeitig - eine Rektaltemperatur von 39°C nicht überschritten werden darf [Bernard, 1994].

In dieser Studie wurde als Grenzwert eine Erwärmung von 1°C in weniger als einer Stunde oder die gemessene Temperatur von 38°C für eine schnelle Wärmespeicherung, wie sie in der ISO 9886-01.2002 definiert sind, angenommen.

Die durchschnittliche Körperkerntemperatur der Probanden betrug vor Einsatz 37°C. Bei 26 % (n=13) der Teilnehmer kam es zu einer Grenzwertüberschreitung durch einen Temperaturanstieg von 1°C oder mehr, bei weiteren 14 % (n=7) betrug er sogar $\geq 1,4$ °C. Insgesamt kam es bei 40 % der Probanden zur Überschreitung der Toleranzgrenze. Nach Einsatz stieg die gemessene Körperkerntemperatur auf durchschnittlich 38°C mit Einzelwerten bis 39°C. Wird das Erreichen oder Überschreiten von 38°C als Grenzwert zu Grunde gelegt (ACGIH und ISO 9886-01.2002), so kam es bei 40 % (n=20) der Probanden zur Grenzwertüberschreitung. Ähnliche Ergebnisse konnten mit Probanden im simulierten Einsatz in einem Feuerwehr-Übungshaus erhoben werden [Finteis et al., 2002]. Hier konnte auch gezeigt werden, dass einige Probanden ihre Maximaltemperatur erst 10 - 15 Minuten nach Einsatzende erreichten, weshalb ein weiterer Temperaturanstieg bei den Studienteilnehmern dieser Studie nicht ausgeschlossen werden kann.

Aber nicht nur wegen der Gefahr eines Hitzschlags oder einer hitzebedingten Erkrankung ist die Überwachung der Körpertemperatur von Relevanz. Ein Anstieg der Körpertemperatur führt insbesondere zu einer Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems. Die Hitzebelastung addiert sich also noch zusätzlich zur rein physischen Belastung hinzu und erhöht die Gesamtbeanspruchung für Herz und Kreislauf.

Die Untersuchung zeigt weiter, dass es schon bei einem Standardtest bzw. bei einer Einsatzübung mit einer relativ kurzen Einsatzzeit zum Überschreiten der medizinisch begründeten Grenzwerte kommen kann. Es ist zu erwarten, dass noch höhere Einsatzbelastungen, wie sie bei Katastrophen- oder Brandeinsätzen auftreten, zu einer noch stärkeren Beanspruchung der Teilnehmer führen. Mittleman et al. konnten an Infarktpatien-

ten nachweisen, dass schwere, körperliche Anstrengungen als Trigger für akute Myokardinfarkte angesehen werden dürfen. Insbesondere körperlich untätige Personen waren hierfür besonders gefährdet.

Die Probanden dieser Studie waren jung ($24,5 \pm 3$ Jahre), gesund und normal gewichtig (BMI $24,3 \pm 2$ Kg/m²). Nach der Definition der World Health Organisation (WHO) für den Body Mass Index sind Erwachsene ab einem Alter von 20 Jahren mit einem Index von 18,5-24,9 Kg/m² als normalgewichtig anzusehen [WHO, 11/ 2004]. Siehe Tabelle 13. Das Körpergewicht hat entscheidenden Einfluss auf die Arbeitsleistung. Fettleibigkeit bedingt eine abnehmende Leistungsfähigkeit und einen höheren Energieaufwand für dieselbe Arbeit und prädisponiert für hitzebedingte Erkrankungen. Weiterhin ist ein steigender Body Mass Index mit einem erhöhten systolischen Ruheblutdruck, Serumcholesterin und Transaminasen verbunden [Kales et al., 1999]. Die Probanden dieser Studie waren mit einem Body Mass Index von durchschnittlich 24 Kg/m² normalgewichtig, was bei jungen, noch in Ausbildung befindlichen Personen vor der Einstellung erwartet werden kann. Kales et al. konnten zeigen, dass der Body Mass Index auch mit dem Alter steigt und dass bei älteren Angehörigen der Feuerwehr Übergewicht und Fettleibigkeit eher auftraten als bei jungen Angehörigen.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass mit zunehmendem Lebensalter, ansteigendem Körpergewicht und verminderter, regelmäßiger, körperlicher Bewegung bzw. Training das Risiko, einen myokardialen Infarkt während eines Einsatzgeschehens -sei es nun real oder auch nur zu Übungszwecken- zu erleiden, ansteigt. Folglich sollten oben genannte Risikofaktoren minimiert werden.

Ein entsprechendes, auf die Bedürfnisse der Angehörigen der Feuerwehr speziell abgestimmtes, berufsbegleitendes Fitness-Programm und Programme zur Gesundheitsförderung sind deshalb dringend zu empfehlen.

Tabelle 13

BMI*	Einteilung
< 18.5	untergewichtig
18.5 - 24.9	normalgewichtig
25.0 - 29.9	übergewichtig
30.0 - 39.9	fettleibig
> 40	krankhaft fettleibig

* = (Körpergewicht in Kilogramm) dividiert durch (Körpergröße in Meter)²

Rauchen schränkt die körperliche Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Größe des Zigarettenkonsums ein. So steigt beispielsweise der Strömungswiderstand der Atemwege nach (Zigaretten-)Konsum um das 2-3 fache an. Der Gehalt des Methämoglobins (CO-Hämoglobin) erhöht sich bei Rauchern in Abhängigkeit von der Anzahl der gerauchten Zigaretten auf 3-8 % des Hämoglobineisens und vermindert so die O₂-Transportkapazität des Blutes. Bei körperlichen Vorerkrankungen wie zum Beispiel Atherosklerose kann es bei einem CO-Hämoglobin-Wert von 2-6 % unter Belastung zu pectanginösen Beschwerden und Arrhythmien kommen [de Marées, 2003(2), Thomas, 2005(2)]. Bestimmte Berufsgruppen, wie zum Beispiel nicht-rauchende Feuerwehrleute, haben schon um 1-2 % höhere CO-Hämoglobin-Werte als Nichtraucher in anderen Berufen. Zusätzlicher Zigarettenkonsum bei Feuerwehrleuten kann also als gesundheitsgefährdend, insbesondere vor Einsätzen mit Pressluftatmern, angesehen werden. Austin et al. konnten zeigen, dass umluftunabhängige Atemgeräte häufig erhöhte CO-Werte in der bereitgestellten Luft haben. Da die Eliminationshalbwertszeit des CO-Hämoglobins etwa 4 h bei Atmung in Raumluft beträgt, muss das Rauchen nicht unmittelbar vor Einsatz durchgeführt werden, um schädliche Auswirkungen zu haben [Thomas, 2005(2)]. Es kann gefolgert werden, dass Feuerwehrangehörige nicht rauchen sollten. Ähnliches gilt für den Alkoholkonsum:

Anamnestisch gaben die Probanden einen Alkoholkonsum von durchschnittlich 50 g Alkohol wöchentlich an, wobei die meisten diesen auf das Wochenende beschränkten. Ein Liter Bier enthält etwa 50 g Alkohol und ein Liter Wein etwa 120 g Alkohol [Loeschke, 2000]. Der Alkoholkonsum der Studienteilnehmer kann als gering eingestuft werden. Dies ist gerade bei Angehörigen der Feuerwehr wichtig, da Alkohol die Entstehung hit-

zwebedingter Erkrankungen fördert [Wexler, 2002]. Ebenso fördern bestimmte Vorerkrankungen deren Entstehung. Dazu zählen Herz-Kreislaufkrankungen, Diabetes insipidus und -mellitus, Hypertonus, Schilddrüsenerkrankungen und fieberhafte Erkrankungen [Wexler, 2002].

Beim Blutdruckverhalten zeigten sich tendenziell erniedrigte Werte durch die Einsatzbelastung. Sowohl die systolischen als auch die diastolischen Blutdruckwerte fielen statistisch signifikant ab. Erniedrigte Blutdruckwerte können nach körperlicher Betätigung, insbesondere bei Inanspruchnahme großer Muskelgruppen, wie sie beispielsweise beim Laufen, Wandern, Schwimmen oder auch Radfahren beansprucht werden, auftreten [Kenny, Seals, 1993]. Ursächlich kommen Flüssigkeitsverlust und erhöhte Muskeldurchblutung mit vermindertem, venösen Rückstrom in Frage. Eine kontinuierliche Blutdruckmessung auch während des Einsatzes zum Beispiel mittels Langzeit-Blutdruckmessgeräten, wie sie stationär oder auch ambulant zum Einsatz kommen, wurde nicht durchgeführt, da durch die starke körperliche Tätigkeit mit einer erheblichen Messungenauigkeit zu rechnen war. Aus diesem Grund sind Aussagen über den, durch die Belastung resultierenden Blutdruck und mögliche Spitzenwerte, nicht möglich. Anzunehmen sind jedoch vor allem erhöhte Werte im Bereich des systolischen Blutdrucks [de Marées, 2003(4)]. Ähnliche Ergebnisse wie beim Blutdruckverhalten nach Einsatz fanden sich auch beim Schellong-Test. Es kam insgesamt nach Einsatz zu einem stärkeren Blutdruckabfall bei Lageänderung im Schellong-Test als vorher. So war der durchschnittliche, systolische und diastolische Blutdruckabfall nach Belastung statistisch signifikant höher als vor Belastung ($p < 0,001$). Keiner der Probanden zeigte während des Tests akute Symptome die auf einen Kreislaufkollaps schließen hätten lassen können.

Wichtigster Kühlungsmechanismus des menschlichen Körpers bei erhöhter Außentemperatur ist die Schweißverdunstung. Von Nachteil für die Feuerwehrmänner ist ihre Feuerschutzkleidung, die diese Verdunstung nur in sehr geringem Maße zulässt. Bereits nach einem relativ kurzen Einsatz von durchschnittlich 29 Minuten kam es in dieser Studie zu einem Anstieg der Körperkerntemperatur um $0,9^{\circ}\text{C}$ unmittelbar nach Einsatzende. Ein weiterer Anstieg im Verlauf der Ruhepause ist nicht ausgeschlossen. Für die Temperaturregulation des Körpers wird des Weiteren vor allem der Blutkreislauf herangezogen. Die erhöhte Hautdurchblutung entzieht dadurch dem Kreislauf einen Teil des Blutvolumens, das ihm sonst zur Verfügung stehen würde. Bei sehr starker Inanspruchnahme dieses Kühlungsmechanismus, etwa bei Marathonläufen, wird die Durchblutung innerer Organe, vor allem die der Nieren und die der Leber, reduziert. So konnten Zuzuki et al. angiographisch nachweisen, dass die Nierendurchblutung nach anstrengender Belastung auf dem Ergometer um 53,4 % abnahm. Gleichzeitig steigt durch die Belastung die Lactatbildung durch eine verminderte Versorgung der Muskulatur mit Sauerstoff an und das Herz-Kreislauf-System, sichtbar an einem deutlichen Herzfrequenzanstieg, wird belastet. Aus diesen Gründen sinkt die Leistungsfähigkeit unter Hitzebedingungen rasch ab [de Marées, 2003(1)]. Auch bei den Studienteilnehmern zeigten sich Zeichen einer deutlichen physischen Beanspruchung während der Einsätze unter Hitzebedingungen.

Eine kontinuierliche Überwachung der im Einsatz befindlichen Personen ist deswegen empfehlenswert.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen ergaben geringe Abweichungen von den Referenzbereichen:

Bedingt durch die starke Hitzebelastung in der Brandsimulationsanlage kam es, vor allem durch starkes Schwitzen, zu einem Flüssigkeitsverlust mit der Tendenz zur Hypovolämie und Anstieg der Osmolalität ($p < 0,001$). Der durchschnittliche Gewichtsverlust betrug $0,6 \pm 0,2$ Kg ($p < 0,001$). Es fanden sich in der Studie durch die Belastung ein signifikanter Kaliumabfall nach Einsatz sowie ein Natriumanstieg ($p = 0,003$). Gleichzeitig konnten keine signifikanten oder klinisch relevanten Veränderungen beim Chlorid gemessen werden. Bei vermehrtem Schwitzen würde man zunächst eine Hyponatriämie und eine Hyperkaliämie erwarten. Kalium verlässt bei körperlicher Leistung die Muskelzellen und kann im Blut in erhöhter Konzentration nachgewiesen werden, normalisiert sich aber schnell. Durch eine vermehrte (Rück-)Aufnahme von Kalium aus dem Blut in die Muskelzellen, kann nach körperlicher Leistung eine leichte Hypokaliämie gemessen werden [Röcker, Kieseewetter, 2005(1)]. Der Vergleich der Durchschnittsblutglucose zeigte eine statistisch signifikante ($p < 0,001$) Zunahme während des Einsatzes. Ansteigende Blutglucosewerte durch körperliche Anstrengung sind als physiologisch anzusehen [Ulmer, 1997].

Kein Teilnehmer der Studie zeigte bei Werten der Prothrombinzeit statistisch signifikante Veränderungen. Weder vor noch nach Einsatz fanden sich pathologische Werte. Da weitere Gerinnungsfaktoren wie etwa Fibrinogen, D-Dimere, Fibrinkomplexe und PTT (partielle Thromboplastinzeit) nicht untersucht wurden, kann eine Beeinträchtigung des Gerinnungssystems nicht ausgeschlossen werden. Orientierend kann aber angenommen werden, dass die Beanspruchung in der Brandsimulationsanlage unter den Bedingungen dieser Studie zu keinen stärkeren Veränderung des Gerinnungssystems führen sollte.

Die Mittelwerte der Glutamat-Oxalacetat-Transaminase (GOT) und Glutamat-Pyruvat-Transaminase (GPT) zeigten jeweils statistisch signifikante Anstiege während des Einsatzes ($p < 0,001$). Ebenso die Lactatdehydrogenaseaktivität (LDH) ($p < 0,001$). Ähnliches fand sich bei den Befunden der Kreatininkinase (CK), bei deren Mittelwerten es durch den Einsatz ebenfalls zu einer statistisch signifikanten Erhöhung ($p < 0,001$) kam. Abdulazis et al. konnten anhand von Untersuchungen an Hitzschlagopfern (Wallfahrer in Mekka, Saudi Arabien) zeigen, dass insbesondere oben genannte Enzyme bei diesen Patienten nicht nur erhöht waren, sondern der Anstieg und dessen Höhe auch ein prognostisches Kriterium für die Mortalität der betroffenen Personen darstellte. So war ein Anstieg der Enzyme GOT, GPT, CK und LDH im Vergleich mit anderen Laborparametern als prognostisch besonders ungünstig zu bewerten. Folglich könnten auch die in dieser Studie gefundenen Enzymveränderungen, die im Gegensatz zu den Hitzschlagopfern von Mekka bei einer zeitlich begrenzten Arbeitsbelastung von jungen Personen gemessen

sen wurden, als Hinweis auf eine hohe Beanspruchung der jungen Auszubildenden der Feuerwehr angesehen werden.

Bei der Auswertung der weiteren Laborparameter wurden keine Anzeichen für mögliche Organschäden gefunden:

Die durchschnittliche Leukozytenzahl stieg während des Einsatzes signifikant ($p < 0,001$) an. Dieses Ergebnis kann als physiologisch angesehen werden. So führen körperliche Leistungen unterschiedlicher Intensität zu -unter Umständen- erheblichen Leukozytosen. Verantwortlich dafür ist die Ausschüttung von Katecholaminen sowie das konsekutiv erhöhte Herzzeitvolumen, die eine akute Mobilisierung der Leukozyten aus marginalen Speichern insbesondere der Lunge bewirken. [Röcker, Kiesewetter, 2005(2)]. Bei den Leukozytenfraktionen fanden wir einen Anstieg der neutrophilen Granulozyten ($p < 0,001$), eine Abnahme der eosinophilen Granulozyten ($p < 0,001$) und eine leichte (nicht statistisch signifikante) Verminderung der basophilen Granulozyten. Alle diese Ergebnisse entsprechen physiologischen Belastungsreaktionen. Alle Veränderungen der Leukozytenfraktionen waren innerhalb des jeweiligen Referenzbereichs.

Dies zeigte sich auch bei der Anzahl der Thrombozyten, die erwartungsgemäß durch die körperliche Belastung anstieg, sich aber trotzdem noch innerhalb der als physiologisch anzusehenden Parameter bewegte. Wie von Röcker und Kiesewetter berichtet, nimmt nach körperlicher Leistung die Thrombozytenzahl zu. Sie werden aus Gefäßen, Knochenmark, Milz und Lunge freigesetzt. Dieser hier ermittelte relativ geringe Anstieg könnte auch Ausdruck des guten Trainingszustandes der Probanden sein. So zeigen Sportler einen wesentlich geringeren Anstieg der Plättchenzahlen und eine raschere Normalisierung. Die Erythrozytenzahl nahm geringfügig zu. Ursächlich ist der Flüssigkeitsverlust während der Arbeit, der durch Hämokonzentration eine Verschiebung der Erythrozytenzahl und -indizes verursacht. So fanden sich bei den Probanden bei signifikant angestiegener Osmolalität neben der leicht erhöhten Erythrozytenzahl ein signifikanter Anstieg des Hämoglobins, der mittleren zellulären Hämoglobinkonzentration (MCHC) und des mittleren zellulären Hämoglobingehalts (MCH). Übereinstimmend dazu fiel das mittlere Zellvolumen (MCV) bedingt durch intraerythrozytären Wasserverlust signifikant ab. Der Hämatokrit (Hkt) zeigte eine nicht signifikante und sehr geringfügige Erniedrigung der Werte.

Bei der Nachbefragung der Probanden über Symptome, die diese während des Einsatzes verspürten, wurde Durst in unterschiedlicher Ausprägung am häufigsten angegeben. Dies verwundert nicht, da es durch die hohe Hitzebelastung zu einem deutlichen Gewichtsverlust durch starkes Schwitzen kam. Akute Schwäche im Sinne von Muskelschwäche wurde am zweit häufigsten verspürt, gefolgt von Atemnot bei 16 % der Teilnehmer und Beengtheit im Sinne von Angst und Schwindel und/oder Benommenheit bei

jeweils 12 %. Die beiden zuletzt genannten Symptome weisen auf eine höhere Beanspruchung psychischer Natur hin. Trotz der offensichtlichen Hitzebelastung fanden sich keine deutlichen Symptome für hitzebedingte Erkrankungen. Nach dem Einsatz berichteten nur wenige Teilnehmer (siehe oben) von typischen Beschwerden wie Schwindel und Übelkeit. Symptome wie zum Beispiel orthostatisch bedingter Kollaps, Erbrechen oder Verwirrtheit traten nicht auf. Kurze Einsätze in einer Brandsimulationsanlage belasten demnach vor allem das Herz-Kreislaufsystem. Hitzebedingte Erkrankungen sind bei jungen, gesunden Teilnehmern eher nicht zu erwarten.

Ein weiteres Maß für die Beanspruchungsintensität -neben Kenngrößen wie beispielsweise Herzfrequenz, Atemfrequenz, Sauerstoffaufnahme und Blutlaktatwert- ist das individuelle Empfinden und Einschätzen einer Anstrengung und Belastung. Eine zuverlässige Methode hierfür ist die Borg-Skala oder RPE-Skala, die zur Abschätzung des Anstrengungsempfindens herangezogen wird. Sie kann für die meisten Formen der Arbeit und in allen Situationen von Anstrengung eingesetzt werden und basiert auf psychophysikalischen und psychophysiologischen Prinzipien und Experimenten [Borg, 2004]. Die Handhabung der Skala ist einfach, auch Patienten oder Probanden sind sofort in der Lage sie zu verstehen und zu benutzen. Die Akzeptabilität ist sehr gut. Die Reproduzierbarkeit liegt bei einem Korrelationskoeffizienten von 0,91-0,92 [Löllgen, 2004].

Interessant ist die subjektive Einschätzung der Belastung durch die Studienteilnehmer mittels Borg-Skala selbst. Trotz der hohen Beanspruchung wurde die Belastung von den Feuerwehrangehörigen mit durchschnittlich „etwas anstrengend“ doch recht gering bewertet. Betrachtet man hierzu andere Studien [Baker, 2000], so wäre eher eine positive Korrelation zwischen der tatsächlichen Beanspruchung und der Höhe der geschätzten Beanspruchung durch die Teilnehmer zu erwarten gewesen. In dieser Untersuchung zeigte sich aber eine deutliche Diskrepanz zwischen eigentlicher Beanspruchung und subjektiver Einschätzung. Mögliche „Warnsymptome“ die den Feuerwehrangehörigen rechtzeitig Überbeanspruchung oder akute Ereignisse wie zum Beispiel Kollaps ankündigen könnte, konnten nicht gefunden werden. Auch aus diesem Grund ist eine gründliche Überwachung der Teilnehmer beim Einsatz in einer Brandsimulationsanlage notwendig und gerechtfertigt.

Bei dieser Studie nahmen nur junge und gesunde Personen mit einer überdurchschnittlich hohen sportlichen, täglichen Betätigung teil. Grund dafür waren die Ein- bzw. Ausschlusskriterien und der Umstand, dass die Probanden aus einem Jahrgang der Feuerwehrschule rekrutiert wurden. Die Ergebnisse dieser Studie können deswegen nicht unbedingt auf andere -vor allem ältere- Einsatzkräfte der Feuerwehren übertragen werden. Insbesondere die Übungsleiter, die die jeweiligen Trupps in den Einsätzen in der Brandsimulationsanlage immer begleiten, sind einer höheren und vor allem länger andauernden Hitze- und einsatzbelastung ausgesetzt und könnten, da älter, auch entsprechende Risikofaktoren mitbringen. Um genaue Aussagen über deren Beanspruchung machen zu können, müssten diese gesondert untersucht werden.

Eine kontinuierliche Überwachung anhand wichtiger Parameter wie zum Beispiel Herzfrequenz, Körpertemperatur oder auch Hauttemperatur und Blutdruckverhalten schon während des Einsatzes wäre auch in einer Brandsimulationsanlage sinnvoll und gerechtfertigt, um eine mögliche Überbeanspruchung rechtzeitig erkennen zu können bzw. um geeignete Maßnahmen ergreifen zu können. Um die Feuerwehrmänner nicht in ihrer Arbeit zu stören, könnte eine telemetrische Überwachung dieser Parameter geeignet sein.

Schlussfolgerungen: Die Untersuchung der Beanspruchung während eines Einsatzes in einer Brandsimulationsanlage im Vergleich zur Beanspruchung während der jährlichen Routineleistungstests und der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen zeigt, dass die klinisch wesentliche Beanspruchung, die extrem hohe Herzfrequenz, in den Routinetests und den Vorsorgeuntersuchungen nicht ausreichend provoziert wird. Mit den hohen Herzfrequenzen geht ein erhöhtes Risiko für ein akutes koronares Syndrom bzw. einen plötzlichen Herztod einher -wie epidemiologische Untersuchungen bei Feuerwehrleuten zeigen. Daher sollten die Feuerwehrmänner bzw -frauen bei medizinischen Vorsorgeuntersuchungen höhere Belastungen, ähnlich wie in einem realen Einsatz, bewältigen müssen. Nur so kann eine verminderte Leistungsfähigkeit bei jedem Einzelnen erkannt werden und (zu dessen Wohle) durch entsprechende Maßnahmen wie zum Beispiel gezielte Fitnessprogramme, Gewichtsreduktion u.a. das Risiko kardialer Ereignisse minimiert werden.

5 Zusammenfassung

Häufig unbeachtet von einer breiten Öffentlichkeit und von ihr meistens als selbstverständlich betrachtet, erbringen tagtäglich ca. 1,3 Millionen Männer und Frauen in den deutschen Feuerwehren einen wesentlichen Beitrag zum Gemeinwohl unserer Gesellschaft.

Trotz der Entwicklung neuer und immer perfekter anmutender Systeme zum Schutz der Einsatzkräfte, kann das Einsatzgeschehen an sich nur gering beeinflusst werden. Im Brand- und Katastrophenschutz treten nach wie vor erhebliche Belastungen für die Einsatzkräfte auf. Ebenso kommt es in Übungseinsätzen, die realitätsnah sein müssen, durch hohe Temperaturen, die notwendige Schutzausrüstung und schwere körperliche Arbeit zu einer starken Beanspruchung der Teilnehmer.

Seit 2001 verfügt die Landeshauptstadt München über eine Brandsimulationsanlage zur Ausbildung von Feuerwehrleuten sowie Laien. Zielsetzung dieser Studie war die Erfassung und Beurteilung der Belastungsfaktoren und die daraus resultierende Beanspruchung, die bei Einsätzen in einer Brandsimulationsanlage auftreten kann sowie der Vergleich mit der Beanspruchung, die im jährlichen Leistungstest bzw. in der medizinischen Vorsorgeuntersuchung auftritt. Das Studienkollektiv wurde aus jungen Feuerwehrzubildenden im Alter von 19 bis 32 Jahren gebildet.

Die Probanden wurden aus den Reihen der auszubildenden Feuerwehrleute der Feuerwache 2 des Jahrgangs 02/2002 in München rekrutiert. Untersucht wurden Laborparameter und klinische Parameter wie zum Beispiel Körperkerntemperatur, Blutdruck und Blutdruckverhalten, Herzfrequenz und Körpergewicht vor und nach dem Übungseinsatz. Zusätzlich wurden die Teilnehmer mittels Fragebogen zu folgenden Themen befragt:

Vorerkrankungen und aktuelle Erkrankungen, Medikamenteneinnahme, Alkoholkonsum, Rauchergewohnheiten und sportliche Betätigungen. Nach Einsatz erfolgte eine weitere Befragung mittels Fragebogen und Borg-Skala. Schwerpunkt dieses Fragebogens waren Symptome, die während des Einsatzes aufgetreten waren und die subjektive Einschätzung der Einsatzbelastung durch den Probanden selbst.

Insgesamt konnten die Daten von 50 Berufsfeuerwehranwärtern ausgewertet und beurteilt werden. Es zeigte sich, dass bei normalen Übungseinsätzen in der Brandsimulationsanlage mit relativ kurzer Einsatzzeit bereits medizinisch begründete Grenzwerte überschritten wurden. Als solche wurden die gemessene Temperatur von 38°C für eine schnelle Wärmespeicherung sowie ein Anstieg der Körperkerntemperatur von 1°C oder mehr in weniger als einer Stunde, wie sie in der ISO 9886-01.2002 definiert sind, angenommen. Insgesamt kam es bei 40 % der Probanden zur Überschreitung der Toleranzgrenze von 1°C oder mehr. Die kardiozirkulatorische Beanspruchung, gemessen an der Herzfrequenz, kann als hoch eingestuft werden. 60 % der Teilnehmer hatten im Einsatz

eine Herzfrequenz, die höher als ihre individuell vorausgesagte, submaximale Herzfrequenz lag. Das Ziel der medizinischen Vorsorgeuntersuchung nach dem berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 26.3 und des jährlichen Leistungstests aber ist es, Personen, die gefährdet sind unter Einsatzbedingungen eine kardiale Belastungsischämie oder Gravierenderes (beispielsweise einen plötzlichen Herztod) zu erleiden, herauszufinden. Anhand der Studienergebnisse zeigte sich aber, dass die Testanforderungen für sowohl Leistungstest als auch medizinische Vorsorgeuntersuchung geringer waren, als jene bei dem Einsatz in der Brandsimulationsanlage und nicht ausreichten, um gesundheitliche Folgen der Beanspruchung bei einem Brandeinsatz abzuschätzen. Feuerwehrmänner bzw. -frauen stehen im Übungseinsatz in einer Brandsimulationsanlage und im realen Einsatz erheblich höheren Anforderungen gegenüber. Folglich sollten die Anforderungen beider Tests entsprechend erhöht bzw. angepasst werden.

Haupteffekt der Hitzebelastung unter gegebenen Studienbedingungen war, neben den kardiozirkulatorischen Effekten auf die Herzrate, eine asymptomatische Hypotension aufgrund des Flüssigkeitsverlustes. Dieser zeigte sich durch einen durchschnittlichen Gewichtsverlust von $0,6 \pm 0,2$ Kg. Bei 16 % der Teilnehmer kam es im Schellong-Test nach Einsatz zu einem Blutdruckabfall im Stehen, der jedoch bei den jungen, sportlichen Probanden asymptomatisch blieb.

Es besteht folgende Beziehung zwischen der kardiozirkulatorischen Leistungsfähigkeit, wie sie in der routinemäßig vorgeschriebenen, arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung geprüft wird und der kardiozirkulatorischen und thermischen Beanspruchung in der Brandsimulationsanlage:

Die Leistungsfähigkeit, gemessen als Wattzahl pro kg Körpergewicht bei einer Pulsfrequenz von 170 S/min auf dem Fahrradergometer, korreliert invers mit der kardiozirkulatorischen Beanspruchung (gemessen als maximale Herzfrequenz) beim Einsatz – d.h. je leistungsfähiger eine Person ist, desto geringer ist die Beanspruchung im Einsatz. Auf physische Leistungsfähigkeit und Fitness ist bei den Angehörigen der Feuerwehren also streng zu achten.

Bei der Auswertung der Laborparameter fiel ein Anstieg der Transaminasen sowie der Kreatinkinase (CK) und der Lactatdehydrogenaseaktivität (LDH) auf. Dieses Ergebnis kann als ein Frühzeichen einer, bei länger andauernder Belastung auftretender, möglicher Organschädigung angesehen werden.

Betrachtet man die Eigenwahrnehmung der Auszubildenden für die Belastung durch den Einsatz, so zeigt sich durch Auswertung der Angaben in der Borg-Skala, dass sie nicht der realen Beanspruchung entsprach. Individuell spürbare Symptome, die die Entstehung einer hitzebedingten Erkrankung ankündigen könnten, konnten nicht gefunden werden. Die häufigsten Symptome die während Einsatz auftraten, wie zum Beispiel Durst (66 %), Schwäche (40 %) und Atemnot (16 %), waren relativ unspezifisch und

können als „Frühwarnsymptome“ nicht herangezogen werden. Um so wichtiger erscheint einerseits die Vorsorgeuntersuchung unter geeigneten Anforderungen und andererseits die kontinuierliche, vor allem auch technische Überwachung der Teilnehmer mittels zum Beispiel Telemetrie. Ebenfalls fanden sich keine individuellen Prädiktoren für die thermische Beanspruchung. Herzfrequenz, Blutdruck und auch Hauttemperatur unter der Einsatzkleidung könnten als messbare Parameter herangezogen werden und helfen, eine zu hohe Beanspruchung zu vermeiden. Da die Hitzebelastung ein wichtiger begrenzender Faktor für die Einsatzzeit ist, sollten alle möglichen Maßnahmen zur Hitzereduktion ergriffen werden. Auf ausreichende Flüssigkeitszufuhr und Pausen nach den Einsätzen sollte ebenso geachtet werden.

6 Literaturverzeichnis

- Abdulaziz H. Alzeer, Mohsen A. F. El-Hazmi, Arjumand S. Warsy, Ziauddin A. Ansari, Mohammed S. Yrkendi. "Serum enzymes in heat stroke: Prognostic implication". *Clinical Chemistry* 1997;43:1182-1187.
- Akhtar MJ., al-Nozha M., al-Harhi S., Nouh MS. "Electrocardiographic abnormalities in patients with heat stroke". *Chest* 104, 1993: 411-414.
- ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1992)
"1992-1993 threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indexes", (Cincinnati: ACGIH), ISBN 0-936712-99-6.
- American Heart Association. „Risk Factors and Coronary Heart Disease“. <http://www.americanheart.org/presenter.jhtml?identifier=4726>. September 07.
- Austin CC, Ecobichon DJ, Dussault G, Tirado C. "Carbon monoxide and water vapor contamination of compressed breathing air for firefighters and divers". *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 1997 Dec 12;52(5): 403-23.
- Baker J; J Grice; L Roby; C Matthews. "Cardiorespiratory and thermoregulatory response of working in fire-fighter protective clothing in a temperate environment". *Ergonomics*, Volume 43, Issue 9 September 2000: 1350–1358.
- Bernard TE, Dukes-Dobos FN, Ramsey JR. "Evaluation control of hot working environments: Part II- The scientific basis (knowledge base) for the guide". *International Journal of Industrial Ergonomics*,14: 119-127.
- Borg Gunnar. "Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität". *Deutsches Ärzteblatt*, 9. April 2004, Jg. 101, Heft 15: A1016-A1021.
- Brake DJ, Bates GP. "Deep body core temperatures in industrial workers under thermal stress". *Journal of Occupational and environmental Medicine*, 2002 Feb; 44(2): 125-135.
- Branddirektion München 2001, Ausbildung, Feuerwehrschnule, Übungsmöglichkeiten, Brandsimulationsanlage:<http://www.feuerwehr.muenchen.de/bd70ausb/b73uebun/b733simu/b733simu.htm>
- Branddirektion München 2001, Berufsfeuerwehr, Geräte, Atemschutz, Langzeit-PA Pressluftatmer:
<http://www.feuerwehr.muenchen.de/bd60tech/b61uab1/b614atw/b6142lzpa/b6142lzpa.htm>
- Braune Stefan, Lücking Carl H. "Orthostatische Hypotonie. Pathophysiologie, Differentialdiagnose und Therapie". *Deutsches Ärzteblatt* 94, Heft 50, 12. Dezember 1997 (41): A-3413-3418.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC): "Fatalities among volunteer and

- career firefighters in the United States, 1994-2004“. *MMWR, Morbidity and Mortality Weekly Report* 2006;55: 453-455.
- De Marées Horst. „Sportphysiologie“. Neunte Auflage, Köln: Verlag Sport und Buch Strauß, 2003: 554ff(1), 237(2), 454-458(3), 281-283(4), 458(5), 535ff(6)
- Deutscher Feuerwehrverband e.V., Bonn. „Feuerwehr-Jahrbuch. Das Feuerwehrwesen in der Bundesrepublik Deutschland“. DFB Medien GmbH, Bonn, 2000/1: 296.
- Dinman Bertram D, Horvath Stephen. “Heat Disorders in Industry, A Reevaluation of Diagnostic Criteria“. *Journal of Occupational Medicine*; 26, No.7/July: 489-495.
- Dominici Francesca, Roger D. Peng, Michelle L. Bell, Luu Pham, Aidan McDermott, Scott L. Zeger, Jonathan M. Samet. “Fine Particulate Air Pollution and Hospital Admission for Cardiovascular and Respiratory Diseases“. *Journal of the American Medical Association*. 2006; 295:1127-1134.
- Enderle Gerd, Seidel Hans-Joachim. „Arbeitsmedizin. Fort- und Weiterbildung, Kurs A-C“. Erste Auflage, München: Elsevier, Urban & Fischer, 2004: 135f.
- EN ISO 9886, Januar 2002. „Ermittlung der thermischen Beanspruchung durch physiologische Messungen“ (ISO 9886: 1992). Europäisches Komitee für Normung. Brüssel. Deutsche Fassung EN ISO 9886. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2001.
- Finteis T., Oehler J.-C., Grenzwürker H., Hinkelbein J., Dempfle C.-E., Becker H., Ellinger K.: “Stressbelastung von Atemschutzgeräteträgern bei der Einsatzsimulation im Feuerwehr-Übungshaus Bruchsal Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg (STATT Studie)“. 2002: 13-14.
- Griefahn B, Künemund C, Bröde P. “Beanspruchung durch Pressluftatmer bei Einsatzübungen der Feuerwehr“. Dokumentationsband über die 38. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V., Heft 38, 1998: 261-265.
- Henry R. Christopher, Satran Daniel, Lindgren Bruce, Adkinson Cheryl, Nicholson Caren I., Henry Timothy D. “Myocardial Injury and Long-term Mortality Following Moderate to Severe Carbon Monoxide Poisoning“. *Journal of the American Medical Association*. January 25, 2006; Vol 295, No4: 398-402.
- Hering Ekbert, Martin Rolf, Stohrer Martin. „Physik für Ingenieure“. Dritte Auflage, Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 1989: 203ff.
- Hollmann Wildar, Hettinger Theodor. „Sportmedizin, Grundlagen für Arbeit, Trainings- und Präventivmedizin“. Vierte Auflage, Stuttgart: Schattauer, 2000: 477-485.
- Huonker M. “Hitzeerkrankungen beim Sport- Prophylaxe und Therapie“. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. München: Süddeutscher Verlag onpact GmbH Jahrgang 54, Nr. 4 (2003): 122-123.
- Kales Stephen N., Polyhronopoulos Gerry N., Aldrich Jon M., Leitao Edward O., Chris-

- tiani David C. "Correlates of Body Mass Index in Hazardous Materials Firefighters". *Journal of occupational and environmental medicine (JOEM)*, Volume 41, Number 7, July 1999: 589-595.
- Kales Stefanos N, Soteriades Elpidoforos S, Christophi Costas A, Christiani David C. "Emergency Duties and Deaths from Heart Disease among Firefighters in the United States". *The New England Journal of Medicine*. Massachusetts Medical Society. Volume 356, Number 12, March 22, 2007: 1207-1215.
- Kenney DR Seals. "Postexercise hypotension. Key features, mechanisms, and clinical significance". *Hypertension*, Vol 22, 1993: 653-664.
- Löllgen Herbert. "Das Anstrengungsempfinden (RPE, Borg-Skala)". *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, Jg. 55, Nr. 11, 2004: 299- 300.
- Loeschke K. „Erkrankungen der Leber“. Scriba Peter C., Pforte Almuth. Taschenbuch der medizinisch-klinischen Diagnostik. 73. Auflage, Berlin: Springer Verlag, 2000: 654.
- Mittleman MA, Maclure M, Tofler GH, Sherwood JB, Goldberg RJ, Muller JE. "Triggering of Acute Myocardial Infarction by Heavy Physical Exertion- Protection against Triggering by Regular Exertion". *New England Journal of Medicine*. Massachusetts Medical Society, Volume 1993;329: 1677-1683.
- National Institute for Occupational Safety and Health, Department of Health and Human Services. „Preventing Fire Fighter Fatalities Due to Heart Attacks and Other Sudden Cardiovascular Events“. NIOSH Publication No. 2007-133, Cincinnati, Ohio: 05ff.
- Nowak Dennis. „Erkrankungen und Beeinträchtigungen durch physikalische Einwirkungen: Klima. Thiemes Innere Medizin-TIM“. Alexander Klaus, Daniel W.G., Diener H.-Chr. (Hrsg.). 1. Auflage. Stuttgart: Thieme Verlag, 1999:2032-2035.
- Piekarski C, Zerlett G. "Schädliche Einwirkungen und Noxen aus der Umwelt- physikalische Einwirkungen". *Innere Medizin*. Classen, Diehl, Kochsiek. 4. Auflage. München: Urban und Schwarzenberg, 1998: 1001-1007.
- Prezant David J., Freeman Katherine, Kelly Kerry J., Malley Kevin S., Karwa Manoj L., McLaughlin Mary T., Hirschorn Robin, Brown Audrey: "Impact of a Design Modification in Modern Firefighting uniforms on Burn Prevention Outcomes in New York City Firefighters". *Journal of occupational and environmental medicine (JOEM)*. Volume 42(8), August 2000: 827-834.
- Reich Boris, Roselt Thomas, Schmitt Hans-Joachim: „Arbeitsmedizinische Vorsorge für Atemschutzgeräteträger im Feuerwehrdienst, Informationen für Bürgermeister und Kommandanten, Atemschutzgeräteträger sowie ermächtigte Ärzte“. Bayerischer Gemeindeunfallversicherungsverband, Dezember 2005: 1-38.
- Reichl Franz-Xaver, Eckert K-G, Golly I, Kreppel H, Liebl B, Mückter H, Szinicz L,

- Zilker T. „Taschenatlas der Toxikologie. Substanzen, Wirkungen, Umwelt“. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1997: 134- 135.
- Röcker Lothar, Kiesewetter Holger., „Einfluß körperlicher Leistung auf Laborbefunde“. Lothar Thomas (Hrsg.). Labor und Diagnose, Indikation und Bewertung von Laborbefunden für medizinische Diagnostik. 6. Auflage, Frankfurt: TH-Books Verlagsgesellschaft, 2005: 1985-1988(2), 1991(1)
- Rosenstock L, Olsen J. „Firefighting and death from cardiovascular causes“. *New Engl Journal of Medecine*. 356 (2007): 1261-1263.
- Sefrin Peter. „Notfalltherapie, Erstversorgung im Rettungsdienst“. Sechste Auflage, München: Urban und Schwarzenberg Verlag, 1999: 389.
- Sothmann MS, Saupe K, Jasenof D, Blaney J: „Heart rate response of firefighters to actual emergencies. Implications for cardiorespiratory fitness“. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 34 (1992): 797-800.
- Susebach Klaus, Engels Heinz : „Physiologische Belastung von Einsatzkräften in Feuerwehrschutzkleidung, Erfahrung an zwei Feuerweherschulen“. *Brandschutz, Arbeitssicherheit, Jahrbuch 2004/05*: 104-107.
- Thomas Lothar. „Labor und Diagnose, Indikation und Bewertung von Laborbefunden für die medizinische Diagnostik“. Sechste Auflage, Frankfurt: TH-Books Verlagsgesellschaft, 2005: 698ff(1), 697-700(2), 421 ff(3).
- Ulmer, H V. „Dynamisch Arbeit“. Physiologie des Menschen. Schmidt Robert F, Thews Gerhard (Hrsg.) 27. Aufl. Heidelberg, Berlin, Springer Verlag, 1997: 677-682.
- United States Fire Administration, Federal Emergency Management Agency, Contract No. EMW-95-C-4713, TriData Corporation, Arlington, Virginia: „Firefighter Fatalities in the United States in 1996“. August 1997:1-53.
- Werner Jürgen, Hexamer Martin. „Überleben in der Hölle. Vom Zusammenspiel technischer und physiologischer Regulationen“. *Rubin* (1/95), Juni 1995: http://www.ruhr-uni-bochum.de /rubin/rbin1_95/rubin6.htm
- Wexler Randell K.: „Evaluation and treatment of heat-related illnesses“. *American Family Physician*. 2002 Jun 1;65(11): 2307-2314.
- World health organisation, Regionalbüro für Europa, 11/2004: http://www.euro.who.int/nutrition/20030507_1?language=German. Definition Body Mass Index (BMI)
- Zahger Doron, Moses Allon, Weiss Avraham T. „Evidence of Prolonged Myocardial Dysfunction in Heat Stroke“. *Chest*, 1989; 95: 1089-1091.
- Zuzuki M, Sudoh M, Matsubara S, Kawakami K, Shiota M, Ikawa S. „Changes in renal blood flow measured by radionuclide angiography following exhausting exercise in humans“. *European Journal of Applied Physiology*, 1996;74: 1-7.

7 Anhang

7.1 Anamnese-/ untersuchungsbogen

Anamnesebogen:

ID: _____

Name:.....

Datum der heutigen Untersuchung:.....

Geb.-Datum:.....

Alter: _____ Jahre

Geschlecht: 1= männlich _____

2= weiblich

Größe: _____ cm

Status: 1= Azubi _____

2= Instruktor

Wo wurde die G 26/schwerer Atemschutz abgeleistet? _____

1= Betriebsarzt

2= extern

3= nicht durchgeführt

Untersuchungsdatum der G 26: _____

Liegen bei Ihnen eine aktuelle Erkrankungen vor?

.....

.....

Vorerkrankungen:

Ist bei Ihnen bereits die Diagnose eines Bluthochdrucks (vom Arzt) gestellt worden ?

0= nein

1= ja

—

Sind Sie schon einmal ohnmächtig geworden oder hatten Sie schon einmal einen Kollaps erlitten?

0= nein

1= ja

Und ist in diesem Zusammenhang die Diagnose Hypotonie durch einen Arzt bei Ihnen gestellt worden ?

0= nein

1= ja

—

Liegt bei Ihnen ein/eine.....

Diabetes mellitus-Erkrankung

—

Herzfehler

—

Lebererkrankung vor ?

—

0= nein

1= ja

Haben Sie schon einmal einen Hitzschlag erlitten ?

—

0= nein

1= ja

Haben Sie schon einmal einen Hitzekollaps erlitten ?

—

0= nein

1= ja

Wenn ja, wann und bei welcher Gelegenheit?

.....
.....

Medikation:

Nehmen Sie regelmäßig Medikamente ein ?

—

0= nein

1= ja

Wenn ja, welche?

.....

Alkohol:

Wieviel alkoholische Getränke trinken Sie im Schnitt pro Woche?

.....

.....

.....

----> ? g Alkohol/d _ _ _ g

Rauchen:

Wieviel Zigaretten rauchen Sie pro Tag ? _ _

Wieviel Zigaretten haben Sie in Ihrem Leben geraucht?

.....

.....

---> ? Packyears _ _

Nichtraucher seit wann ? _ _ . _ _ (Mo/Jahr)

Sport/körperliche Betätigung:

Wieviel Stunden pro Woche....

a) ...**leichten** Sports z.B. Wandern (mit kaum Schwitzen verbunden) wurden von Ihnen im

letzten Jahr absolviert ? _ _

b) ...**mittelschweren** Sports z.B Radfahren, Joggen im letzten Jahr ? _ _

c) ...**schweren** Sports (erreichen des eigenen körperlichen Limits) z.B Krafttraining im letzten Jahr?

_ _

7.2 Fragebogen

Fragebogen zur Studie: „Thermische und kardiozirkulatorische Beanspruchung von Feuerwehrleuten in einer Brandsimulationsanlage“

ID

--

Datum

--.:.:--

Name: _____

Fragen zum Aufenthalt in der Brandsimulationsanlage:

Während des Einsatzes kam es bei mir zu/verspürte ich...

Bitte zutreffendes ankreuzen:

	gar nicht	sehr gering	mittel	stark	sehr stark
Beengtheitsgefühl im Sinne					
von Angst	0	0	0	0	0
Schwindel/Benommenheit	0	0	0	0	0
Durst	0	0	0	0	0
Kopfschmerzen	0	0	0	0	0
Sehstörungen	0	0	0	0	0
Atemnot	0	0	0	0	0
Übelkeit	0	0	0	0	0
Hand-und Fußkrämpfe	0	0	0	0	0
Kribbeln oder taubes Gefühl					
z.B im Mundbereich	0	0	0	0	0
Schwächegefühl	0	0	0	0	0

Oben nicht genannte Beschwerden wie z.B. Erbrechen, Bauchschmerzen, Gefühl der Hitze:

.....

.....

.....

7.3 Datenerhebungsbogen

Nr.: ___

Datum __. __. __

Name:.....

Anamnese (körperliche Auffälligkeiten):.....

Schellong:

Im Liegen:

Blutdruck		mmHg
Puls		S/min

Im Stehen:	RR	Puls
1 min		
2 min		
3 min		

Körperkerntemperatur im Ohr: __, __ °C, __, __ °C **und** __, __ °C

(3 Messungen !)

Ohr **rechts** oder **links** (Bitte ankreuzen)

Körpergewicht: _____, **Kg**

EKG oder Pulsgürtel ? (Bitte ankreuzen)

Zeitlicher **Beginn des Einsatzes:** _____ h _____ min

Ende des Einsatzes: _____ h _____ min

Einsatz

Nach Einsatz: !EKG abschalten!

Körperkerntemperatur im Ohr: __, __ ° C, __, __ ° C **und** __, __ ° C

(3 Messungen !)

Ohr **rechts** oder **links** (*Bitte ankreuzen*)

Schellong:

Im Liegen:

Blutdruck		mmHg
Puls		S/min

Im Stehen:	RR	Puls
1 min		
2 min		
3 min		

EKG abnehmen. Erst dann Körpergewicht bestimmen !!

Körpergewicht: _____ **Kg**

EKG auswerten: max. Herzfrequenz ____,
 min. Herzfrequenz ____ S/min

7.4 Borg-Skala

Wie schätzen Sie Ihre persönliche Belastung in der BSA während eines Einsatzes ein?

Sie sehen hier eine Skala von 6 bis 20. Bitte kreuzen Sie die zutreffende Zahl an.

6	
7	sehr sehr leicht
8	
9	sehr leicht
10	
11	leicht
12	
13	etwas anstrengend
14	
15	schwer
16	
17	sehr schwer
18	
19	seht sehr schwer
20	

7.5 Teilnehmerinformation

Teilnehmerinformation

zur Studie: "Untersuchung zur thermischen und kardiozirkulatorischen Beanspruchung von Feuerwehrleuten in einer Brandsimulationsanlage (BSA).“

Sehr geehrter Teilnehmer.

Für die Ausbildung der Münchener Feuerwehr steht seit kurzem in der Feuerwache Aidenbachstraße eine Brandsimulationsanlage zu Verfügung, in der Einsätze im Innenangriff "wirklichkeitsnah" geübt werden können. Hier bietet sich die Möglichkeit, das medizinische Risiko einer kardiovaskulären Überbeanspruchung und eines Hitzschlags bei den Einsatzkräften in Ausbildung und den Ausbildern unter sicheren, d.h. kontrollierten Bedingungen zu untersuchen.

Was bedeutet die Untersuchung für Sie?

Allen Auszubildenden eines Ausbildungshalbjahres der Berufsfeuerwehr und der Freiwilligen Feuerwehr, wird die Teilnahme angeboten. Für die Untersuchungen werden keine Belastungen erforderlich, die über die Übungen im Rahmen der Ausbildung in der Brandsimulationsanlage hinausgehen. Bei jedem Teilnehmer werden vor, während und nach dem Einsatz in der BSA folgend Messdaten erhoben:

Vor dem Einsatz:

Anamnese zu aktuellem Gesundheitszustand (auch Medikamente etc.)

Gewicht ohne Kleidung

Blutdruck und Herzfrequenz im Sitzen und minütlich während 3 min Stehen (kurzer Schellong-Test)

Körperkerntemperatur (Messung im Gehörkanal, oder Messung der Temperatur des Trommelfells)

Blutentnahme: Z.B. CRP, LDH, GOT, GPT, CK, K, Na, Kreatinin, HKT, Leukos, Thrombos, D-Dimer, Quick und PTT

Urin: Stix und Sediment

während des Einsatzes:

Minütliche Messung mittels Telemetrie von Herzfrequenz und Körperkerntemperatur

nach dem Einsatz:

Körperkerntemperatur

Gewicht ohne Kleidung

Blutdruck und Herzfrequenz im Sitzen und minütlich während 3 min Stehen (kurzer Schellong-Test)

Blutentnahme s.o.

Urin: Stix und Sediment

Fragebogen zu Symptomen einer thermischen Überlastung (z.B. Kopfschmerzen, Schwächegefühl, Schwindel, Übelkeit, Krämpfe der Arm-/Beinmuskulatur, periorale Parästhesien)

Eine definierte Belastung während des Einsatzes in der BSA könnte - wenn organisatorisch möglich - durch eine Stufentest-Ergometrie (Ersteigen einer definierten Stufenhöhe in einer definierten Geschwindigkeit) durchgeführt werden. Dadurch wäre eine für alle untersuchten Personen gleiche Belastung und damit eine bessere Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse zu erreichen.

Die Daten über die Belastung, insbesondere in den Räumen erreichte Temperaturen, werden von der Anlagenüberwachung übernommen.

Bei jeder Blutentnahme werden etwa 20 ml Blut entnommen. Insgesamt sind 2 Blutentnahmen geplant. Der gesamte Blutverlust (maximal 40 ml) liegt somit weit unter der Menge, die bei einer Blutspende auf einmal entnommen wird. Die Blutentnahme ist ein alltägliches Routineverfahren der ärztlichen Tätigkeit mit den üblichen Risiken, wie sie auch bei Ihrem Hausarzt auftreten können (z.B. Hämatombildung, sehr selten Nervenlähmung) und verläuft in der Regel ohne Komplikationen.

Die Messungen sind zunächst an einem Einsatztag geplant. Eine Wiederholung der Messung erhöht die Zuverlässigkeit der Messergebnisse. Der zeitliche Umfang beträgt x Stunden (20 min Expositionsdauer + ca. 20-30 min vor und nachher). Wenn eine innerhalb der Studie durchgeführte Maßnahme für den Probanden zu unangenehm ist, aber auch aus jedem anderen Grund, kann der Proband jederzeit und ohne Begründung die Teilnahme beenden.

Welchen Nutzen haben Sie davon?

Im Innenangriff vorgehende Feuerwehrtrupps sind erhöhten Belastungen ausgesetzt, die sie bis an die Grenzen ihrer körperlichen Leistungsfähigkeit beanspruchen können.

Kritische Größen dabei sind v.a. die Herzfrequenz und Körperkerntemperatur.

Als Hauptfaktoren für die Belastung sind außer der offensichtlichen Gefahr durch die Brandstelle zu nennen:

schwere dynamische und statische muskuläre Arbeit

hohe Umgebungstemperatur/Hitzebelastung

Gebrauch von schwerer Schutzkleidung, die trotz Verwendung moderner Materialien (z.B. Nomex) aufgrund der Anforderungen an Hitzebeständigkeit und Thermoisolation Schweißverdunstung als wichtigste Möglichkeit der Thermoregulation weitgehend verhindert

Verwendung von "schwerem Atemschutz", der durch das Tragegewicht (ca. 15 kg) belastet

u.U. psychologisch sehr belastender Auftrag

Neben den Gefahren der Verletzung während eines Einsatzes besteht das medizinische Risiko einer kardiovaskulären Überbeanspruchung und eines Hitzschlages. Der Hitzschlag ist ein potentiell lebensbedrohliches Krankheitsbild, das typischerweise durch die Kombination von hoher Umgebungstemperatur und körperlicher Anstrengung hervorgerufen wird. Es ist durch eine Körperkerntemperatur über 40,5 °C und zentral-nervöse Symptome gekennzeichnet. Die Sterblichkeit bei schweren Krankheitsbildern ist durch Multiorganversagen trotz intensiv-medizinischer Maßnahmen hoch.

In der Studie soll v.a. die kardiozirkulatorische und thermische Beanspruchung der Ausbilder und der auszubildenden Feuerwehrleute untersucht werden, um daraus Leistungsgrenzen für die Gruppe und den Einzelnen aufzeigen zu können. Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

Kommt es bei normalen Übungseinsätzen zum Überschreiten von medizinisch begründeten Grenzwerten?

Treten Frühzeichen von Organschäden auf? (Blutuntersuchung).

Gibt es individuelle Unterschiede in der thermischen Beanspruchung bei gleicher Belastung?

In welchem Verhältnis stehen die Leistungsfähigkeit, die in der G26 geprüft wird und

die thermische Beanspruchung? (Kann durch körperliches Training das Risiko einer thermischen Überbeanspruchung verringert werden?)

Gibt es individuelle Frühsymptome, die die Entstehung eines Hitzschlags, oder einer ähnlich bedrohlichen Situation rechtzeitig erkennen lassen?

Kann die Eigenwahrnehmung der Einsatzkräfte für etwaige Situationen sensibilisiert werden?

Von Bedeutung ist dies ferner, da in einer anderen bayerischen Brandsimulationsanlage (BSA) ein Ausbilder während seiner Ausbildungstätigkeit einen Hitzschlag erlitten hat (laut mündlichem Bericht), der einen längeren Krankenhausaufenthalt erforderte.

Die Teilnehmer bekommen Informationen über wichtige Blutwerte wie, Nierenwerte, Leberwerte, Blutbild. Für alle Teilnehmer an dieser Studie besteht der gesetzlich vorgeschriebene, verschuldensunabhängige, Versicherungsschutz, der alle Schäden abdeckt, die durch die Untersuchung verursacht werden könnten; ausgenommen sind genetische Schäden. Die Versicherung wurde bei der xxxxx unter der Versicherungsnummer: xxxx abgeschlossen. Die Versicherungsbedingungen sind dem Informationsblatt beigelegt. Im Versicherungsfall beträgt die Höchstgrenze für die Leistungen je Teilnehmer xxxx EU. Im Schadensfall kann sich der Teilnehmer direkt an den Versicherer wenden und seine Ansprüche selbständig geltend machen. Um den Versicherungsschutz nicht zu gefährden, darf während der Dauer der Untersuchung eine medizinische Behandlung nur im Einvernehmen mit dem behandelnden Prüfarzt durchgeführt werden; ausgenommen davon sind Notfälle. Dies gilt auch für die zusätzliche Einnahme von Medikamenten. Auch muss eine Gesundheitsschädigung, die als Folge der klinischen Prüfung eingetreten ist, dem behandelnden Prüfarzt und der oben genannten Versicherungsgesellschaft unverzüglich mitgeteilt werden.

Datenschutz: Nur die Prüfarzte haben Zugang zu den vertraulichen Daten, in denen der Teilnehmer namentlich genannt wird. Die Prüfarzte unterliegen der Schweigepflicht. Die Weitergabe der Daten (z. B. an andere Institutionen, die bei der Auswertung helfen) erfolgt nur nach Anonymisierung.

Diese Studie wurde durch die Ethikkommission am xxx zustimmend zur Kenntnis genommen.

München,

Unterschrift des Teilnehmers

Unterschrift des Prüfarztes

Datum

Datum

Einwilligungserklärung

Ich, der Unterzeichnende (Vorname, Nachname)

Wohnhaft in (Adresse)

erkläre hiermit mein Einverständnis zur Teilnahme an der Studie:

„Untersuchung zur thermischen und kardiozirkulatorischen Beanspruchung von Feuerwehrleuten in einer Brandsimulationsanlage (BSA).“

Herr/Frau Dr., der diese Studie durchführt, hat mich ausführlich über Inhalt, Ziel und Dauer der Studie aufgeklärt. Ich konnte ihm/ihr Fragen zu allen Aspekten der Studie stellen. Zusätzlich wurde mir eine Kopie der Teilnehmerinformation überreicht. Über Natur, Zweck und mögliche Risiken der Untersuchung, an der ich teilnehme, bin ich unterrichtet worden. Ich habe die Informationen verstanden, die mir von einem Arzt in mündlicher und schriftlicher Form gegeben wurden. Ich kann auch jederzeit weitere Auskünfte über die Studie erhalten. Ich erkläre mich damit einverstanden, mit den Studienbetreuern (genannt in der Teilnehmerinformation) zusammenzuarbeiten und sie im Falle einer Veränderung sofort zu informieren. Ich bin darüber informiert, dass ich jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile von der Studie zurücktreten kann, falls ich dies wünschen sollte. Mir ist bekannt, dass im Rahmen der Studie für mich ein gesetzlich vorgeschriebener Versicherungsschutz für etwaige Gesundheitsschäden bei der xxxx, xxx unter der Versicherungsnummer: xx-xxxx besteht und ich studienbedingte Gesundheitsschäden dem Prüfarzt zu melden habe. Meine Identität und die erfassten Daten werden streng vertraulich behandelt. Ich bin damit einverstanden, dass die im Rahmen der Studie an mir erhobenen Daten aufgezeichnet werden. Eine Weitergabe ist nicht geplant. Sie erfolgt ggf. ausschließlich zu Zwecken der Prüfung und in ausschließlich anonymisierter Form. Im Falle der Veröffentlichung der Studienergebnisse bleibt die Vertraulichkeit meiner persönlichen Daten ebenfalls gewährleistet.

München,

Unterschrift des Teilnehmers

Unterschrift des Prüfarztes

Datum

Datum

7.6 Danksagung

Die vorliegende Dissertation wurde in Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität unter der Leitung von Herrn Professor Dr. med. Dennis Nowak, in Zusammenarbeit mit der Berufsfeuerwehr München, angefertigt.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. med. Peter Angerer für die vorbildliche und stets freundliche Beratung und Betreuung bei der Durchführung der Studie. Ebenso danke ich ihm für die Überlassung des Themas. Seine wertvollen Anregungen und Ratschläge habe ich immer sehr geschätzt.

Ich danke auch den jungen Berufsfeuerwehranwärtern des Jahrgangs 02/2002 der Feuerweherschule, die den Untersuchungen und Befragungen sehr positiv gegenüberstanden und tatkräftig das Studienprogramm absolvierten. Weiter danke ich Herrn Dipl.-Ing. Christian Zollner von der Berufsfeuerwehr München, Abteilung Aus- und Fortbildung, der mich bei allen organisatorischen und technischen Fragen sehr engagiert beriet und unterstützte und den Ablauf der Studie in der Brandsimulationsanlage an der Aidenbachstrasse überhaupt ermöglichte.

Weiter möchte ich mich an dieser Stelle auch bei all denen bedanken, die mich auf vielfältige Weise unterstützten:

- Bei Herrn Dr. med. Ehemann, betreuender Betriebsarzt der Feuerwehr München, für die unterstützende Hilfe bezüglich der Daten der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen G 26.3.
- Bei den Ausbildern bzw. Gruppenführern der Feuerweherschule der Feuerwache 2 für ihre positive Bereitschaft bei den Untersuchungen mitzuwirken.
- Bei Herrn Christof Reithinger, Leiter der zentralen Ausbildung Atemschutz der Freiwilligen Feuerwehr München, der auf die Belastung und Beanspruchung der Feuerwehrangehörigen unter schwerem Atemschutz hinwies.
- Sowie bei Frau Susanne Aicher und Herrn Franz Gerhardinger für die Hilfe beim praktischen Teil der Studie und für die sehr nette und freundschaftliche Zusammenarbeit.

Mein Dank gilt nicht zuletzt meinem Mann, meinen Eltern und meinen Schwestern, die mich zu jeder Zeit mit Rat und Tat unterstützten und mir somit die notwendige Ruhe für die Erstellung dieser Arbeit gaben. Insbesondere möchte ich hier die unermüdliche Unterstützung meiner lieben Mutter und meines Mannes bei der Betreuung meiner beiden Kinder hervorheben, ohne die die Fertigstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.