

**Diplomarbeit**

**Kardiovaskuläre Anpassung im schweren Atemschutz  
der Feuerwehr**

eingereicht von  
**Katrin Schole**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktorin der gesamten Heilkunde  
(Dr<sup>in.</sup> med. univ.)**

an der  
**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt am  
Otto-Loewi Forschungszentrum, Lehrstuhl für Physiologie

unter der Anleitung von  
PD DI Dr.scient.med. Helmut Karl Lackner  
Mag<sup>a</sup>. Dr<sup>in.</sup>. rer.nat. Karin Schmid-Zalaudek,

Graz, 28. Oktober 2019

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 28. Oktober 2019

Katrin Schole eh

## Widmung

Allen Feuerwehrleuten gewidmet, die täglich ihren Dienst zum Wohle der Gemeinschaft tun.

## DANKE

Ein herzliches Dankeschön an die Feuerwehr- und Zivilschutzschule in Lebring und dem steirischen Landesfeuerwehrverband, die die Studie möglich gemacht haben und natürlich allen Feuerwehrleuten, die bei meiner Studie mitgewirkt haben.

## Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Eidesstattliche Erklärung .....                            | 2  |
| Widmung .....  | 3  |
| Abkürzungen und deren Erklärungen.....                     | 6  |
| Zusammenfassung .....                                      | 7  |
| Cardio-vascular adaptation of firefighters using SCBA..... | 8  |
| Abstract.....  | 8  |
| Einleitung .....   | 9  |
| Bisherige Untersuchungen zum Thema.....                    | 10 |
| Materialien und Methoden.....                              | 13 |
| Testkollektiv .....  | 13 |
| AGT-Kursablauf.....  | 13 |
| Kardiovaskuläre Daten .....                                | 19 |
| Beschleunigungssensoren.....                               | 19 |
| Jackeninnentemperatur .....                                | 20 |
| Biografische Angaben .....                                 | 20 |
| PANAS .....  | 20 |
| KUSTA.....   | 21 |
| Statistische Analyse.....                                  | 21 |
| Ergebnisse.....  | 23 |
| Testkollektiv .....  | 23 |
| Temperaturmessungen.....                                   | 24 |
| EGK-Aufzeichnungen .....                                   | 27 |
| Standardabweichung der Herzfrequenz.....                   | 32 |
| Beschleunigungssensor.....                                 | 33 |
| Luftverbrauch .....  | 35 |
| Gewicht der Ausrüstung .....                               | 36 |

|  |    |
|--|----|
| Psychologische Fragebögen .....  | 36 |
| Abhängigkeit von Herzfrequenz von den anderen Parametern .....                     | 38 |
| Diskussion .....   | 45 |
| Körperliche Aktivität pro Woche .....  | 45 |
| Jackeninnentemperatur .....  | 45 |
| Psychologische Fragebögen .....  | 46 |
| EKG .....  | 47 |
| Standardabweichung der Herzfrequenz .....  | 47 |
| Beschleunigungssensor .....  | 48 |
| Luftverbrauch .....  | 48 |
| Zusammenhang der Herzratensteigerung mit anderen Messwerten .....                  | 49 |
| Offen gebliebene Fragen .....  | 50 |
| Literaturverzeichnis .....   | 51 |
| Abbildungsverzeichnis .....  | 54 |
| Diagrammverzeichnis .....  | 54 |
| Anhang .....   | 55 |
| Information und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der klinischen Studie..... | 58 |
| Biographischer Fragebogen .....  | 63 |
| KUSTA .....  | 64 |
| PANAS .....  | 65 |

## Abkürzungen und deren Erklärungen

AGT - Atemschutzgeräteträgerin oder Atemschutzgeräteträger

AKL - feuerwehrärztliche Tauglichkeitsuntersuchung

ANOVA – analysis of variance

BMI – Body-Mass-Index

KUSTA - Kurztest Stimmung Aktivität (psychologischer Test)

LA - Lungenautomat

ÖFAST - Österreichischer Feuerwehr Atemschutzleistungstest

PA - Pressluftatmer

PANAS - Positive and Negative Affect Schedule (psychologischer Test)

SCBA – self-contained breathing apparatus

## Zusammenfassung

Feuerwehrleute sind im Rahmen von Atemschutzeinsätzen besonderen Belastungen ausgesetzt (schwere Ausrüstung, extreme Temperaturen, Lärm, Dunkelheit, lebensfeindliche Umgebung, etc.) Bevor Feuerwehrleute ein schweres Atemschutzgerät benutzen dürfen, durchlaufen sie eine Ausbildung, bei der sie schrittweise diesen vermehrten Belastungen ausgesetzt werden. In dieser Diplomarbeit wurde untersucht, welchen Einfluss einzelne Belastungsfaktoren, wie beispielsweise Temperatur, psychologischer Stress in dieser Belastungssituation haben.

30 Feuerwehrleute wurden während ihrer Atemschutzausbildung zweimal beim Absolvieren der Atemschutzstrecke beobachtet. Es wurden EKG, Temperatur und Luftverbrauch aufgezeichnet. Mittels PANAS und KUSTA wurde die psychische Belastung beurteilt. Die erhobenen Daten wurden dann verwendet, um zu beurteilen, welchen Anteil diese an der Gesamtbelastung unter schwerem Atemschutz haben.

Die Ergebnisse zeigen insbesondere die starke physische Beanspruchung der Feuerwehrleute. Herzraten von bis zu 200 Schlägen/min bei Jackentemperaturen von bis zu 35°C wurden gemessen. Die Korrelation zwischen Jackentemperatur und maximaler Herzfrequenz war signifikant. Es konnte jedoch keine Korrelation zwischen Ruhepuls, Alter, Luftverbrauch, angegebener regelmäßiger körperlicher Aktivität, Ausrüstungsgewicht, PANAS und maximaler Herzfrequenz gezeigt werden.

Die Ergebnisse lassen vermuten, dass einige Einflussfaktoren, die oft in der Sportphysiologie herangezogen werden, sich nicht so eins zu eins auf den Atemschutz übertragen lassen und einige Faktoren neu in Betracht genommen werden sollten.

## Cardio-vascular adaptation of firefighters using SCBA

### Abstract

Firefighters using SCBA for their duties face extreme challenges such as heavy equipment, extreme temperatures, extreme noise, darkness and a life-threatening environment. Before any firefighter is allowed to assume duty using SCBA they have to take a course for the use of SCBA in firefighting. During this course the firefighters are exposed to these challenges one by one. This study was conducted to examine in how far stress factors such as temperature, psychologic stress contribute to this challenge.

30 firefighters were observed while they take the course for the use of SCBA in firefighting. ECG, temperature and air consumption were logged. Mental stress was evaluated using PANAS and KUSTA tests. The collected data was then used to evaluate in how far they distribute towards the overall stress during SCBA firefighting.

The study revealed especially the extreme physical stress the firefighters experienced. Heartrates of up to 200 beats per minute and temperatures up to 35°C were measured in the inside-pocket of the uniform. A significant correlation between jacket temperature and maximum heartrate was seen. We could not observe a significant correlation between resting heartrate, age, air consumption, self-reported physical activity, weight of the equipment, psychologic test and maximum heartrate.

These results suggest that some of the factors often used in sports-physiology are not applicable in firefighters using SCBA. Other factors, which are usually disregarded in sports-physiology, however, seem to be relevant in firefighting using SCBA.

## Einleitung

Feuerwehrleute sind im Rahmen von Atemschutzeinsätzen besonderen Belastungen ausgesetzt. Aufgrund der persönlichen Schutzkleidung sowie der erhöhten Umgebungstemperatur können die Feuerwehrleute bei vermehrter körperlicher Anstrengung die zusätzliche Körperwärme nur eingeschränkt durch Schwitzen regulieren. Auch eine Erhöhung des Atemminutenvolumens ist durch das Atemschutzgerät erschwert. Zusätzlich kommt es im schweren Atemschutz zu psychischen Belastungen durch das Einsatzgeschehen. Im Rahmen der Ausbildung zur Atemschutzgeräteträgerin/zum Atemschutzgeräteträger (AGT) werden die Feuerwehrleute schrittweise diesen vermehrten Belastungen ausgesetzt. Im Rahmen dieser Diplomarbeit sollen die Einflüsse der einzelnen Belastungsfaktoren objektiviert werden.

Die Bedeutung der kardiovaskulären Anpassung bei Feuerwehrleuten wird insbesondere klar, wenn man berücksichtigt, dass der plötzliche Herztod die häufigste Todesursache für Feuerwehrleute im Dienst in den USA zwischen 1994 und 2004 war und zwar noch weit vor Verkehrsunfällen und Unfällen im Zusammenhang mit Bränden (Centers for Disease Control and Prevention (CDC) 2006). Eine genauere Analyse bei welchen Tätigkeiten diese Tode passierten führen Kales u.a durch und kommen zu dem Schluss, dass insbesondere während der Brandbekämpfung besonders viele Todesfälle durch plötzlichen Herztod zu verzeichnen sind (Kales, Soteriades et al. 2007).

In der Literatur ließ sich relativ wenig Studienmaterial spezifisch zu Feuerwehrleuten im schweren Atemschutz finden. Was mehrere Gründe haben dürfte. Einerseits ist der Feuerwehrdienst eine sehr spezielle Tätigkeit, die nur sehr wenige Menschen betrifft, und nur wenige haben eine Vorstellung von den zusätzlichen Belastungen durch die Ausrüstung im schweren Atemschutz. Dazu kommt, dass die Uniformen in der heutigen Ausführung erst seit den 1990 Jahren im allgemeinen Gebrauch sind. Die zuvor verwendete Dienstbekleidung aus Baumwolle führte nicht zu einem Hitzestau. Daher sind ältere Studien nicht auf die heutige Situation übertragbar. Andererseits ist das Feuerwehrwesen in Österreich sehr speziell. Hier wird ein Großteil der Feuerwehrarbeit von Freiwilligen geleistet. Berufsfeuerwehren finden sich nur in wenigen größeren Städten. Solch einen ausgeprägten Anteil an Freiwilligen findet man sonst nur noch in Deutschland und Südtirol. In anderen Ländern gibt es nur vereinzelt freiwillige Feuerwehren, hier dominieren

Berufsfeuerwehren. Dies hat vermutlich auch auf die körperliche Verfassung der durchschnittlichen Feuerwehrleute einen enormen Einfluss.

Bisherige Untersuchungen zum Thema

Smith untersuchte die kardiovaskuläre Anpassung von 16 Berufsfeuerwehrlern in dem er sie bei Zimmertemperatur und bei einer erhöhten Außentemperatur von ca. 90°C körperlich arbeiten ließ. Smith maß dabei die Körpertemperatur tympanisch und fand sowohl bei der Körpertemperatur als auch bei der Herzrate signifikante Erhöhung bei höherer Umgebungstemperatur (Smith, Petruzzello et al. 1997).

Porto u. a. beschäftigte sich mit Herzratenvariabilität und Adaption des kardiovaskulären Systems bei Feuerwehrleuten. Allerdings fokussierten sich Porto u. a. auf die Zeit außerhalb des Einsatzes. Sie beobachteten eine große Streuung der Herzratenvariabilität und einen starken Zusammenhang mit der kardiovaskulären Fitness. Sie haben ein entsprechendes Training für die Feuerwehrleute empfohlen (Porto, Schmidt et al. 2019).

Louhevaara untersuchte den Einfluss der persönlichen Schutzausrüstung auf die maximale Leistungsfähigkeit von Feuerwehrleuten. In dieser Studie trugen die Feuerwehrleute allerdings keine Atemschutzmasken, sondern eine Maske zur Analyse der Atemgase. Auch die körperliche Belastung wurde mit Hilfe eines Laufbandes gemessen und ist daher wenig feuerwehrspezifisch. Die Studie kam zu dem Schluss, dass die schwere Ausrüstung ein entscheidender Einflussfaktor für die Leistungsfähigkeit ist (Louhevaara, Ilmarinen et al. 1995).

Shin u. a. untersuchten die Herzratenvariabilität koreanischer Feuerwehrleute und untersuchten dazu die Feuerwehrleute bei einer Gesundheitsuntersuchung im Krankenhaus. Sie beobachteten eine reduzierte Herzratenvariabilität vor allem bei Feuerwehrleuten, die einem hohen Stresslevel ausgesetzt sind. Diese Studie lässt sich auf die Bedingungen während des Einsatzes übertragen (Shin, Lee et al. 2016).

Smith u. a. untersuchten 7 Feuerwehrrekruten vor und nachdem sie eine Reihe von standardisierten Übungen in vollständiger Atemschutzausrüstung in einer Feuerwehrübungsanlage mit Feuer durchgeführt hatten. Die Raumtemperatur betrug zwischen 46°C und 60,5°C. Im Rahmen eines Echokardiogramms, das vor und nach den Übungen durchgeführt wurde beobachteten sie ein deutlich reduziertes Schlagvolumen, Herzraten am Maximum der jeweiligen Altersgruppe. Psychologische Testung zur state

anxiety veränderte sich im Verlauf der Testung nicht, Temperaturempfindung und Atemnot steigen im Verlauf der Übungen an (Smith, Manning et al. 2001).

Kim untersuchte 14 Feuerwehrinstructoren insbesondere auf Veränderungen im Blut, die durch eine Heißübung verursacht werden könnten. Untersucht wurden unter anderem Hämokrit, Hämoglobingehalt, Plättchenanzahl, aber auch Herzfrequenz und Körpertemperatur. Einschränkend sein angeführt, dass bei dieser Studie nicht während, sondern erst nach den Übungen gemessen wurde (Kim, Lee et al. 2018).

Al-Zaiti u. a. untersuchten in ihrer Studie Atemschutzgeräteträger mit einem 12-kanaligen EKG. 42 Feuerwehrleute durchliefen einen Brandbekämpfungsparcours, während dieses Parcours wurden EKG Daten aufgezeichnet. Signifikante Tachykardien wurden in 97,6% der Fälle beobachtet, pathologische ST-Strecken in 26,2% der Fälle. Teilweise dauerten diese pathologischen Veränderungen auch noch längere Zeit nach der Belastung an. Genauere Untersuchungen, welche Faktoren zu dieser Belastung führen machen Al-Zaiti u. a. nicht (Al-Zaiti, Rittenberger et al. 2015).

Schwerdtfeger untersuchte in seiner Arbeit psychische Belastungen und Herzratenvariabilität im Feuerwehr- und Rettungsdienst. Er beschäftigte sich allerdings nicht spezifisch mit den Belastungen des schweren Atemschutzes. Er untersuchte insbesondere den Zusammenhang der Ergebnisse der Messung der Herzratenvariabilität mit den Ergebnissen der Messung der psychischen Belastung durch Fragebögen wie den PANAS im Feuerwehralltag. Allerdings konnten die Erfahrungen Schwerdtfegers bei seiner psychologischen Untersuchung, wichtige Hinweise für die Untersuchung der psychischen Belastung der Feuerwehr mittels PANAS liefern (Schwerdtfeger, Dick 2019).

Durch die Zusammenarbeit mit der Feuerwehr- und Zivilschutzschule in Lebring war es möglich die Belastung der Feuerwehrleute unter äußerst einsatzrealistischen Bedingungen zu untersuchen. Die hier untersuchten Übungen wurden nicht ausgewählt, weil sie besonders gut für die Untersuchung zugänglich sind oder weit verbreitete physiologische Belastungstest darstellen, sondern diese Übungen wurden gestaltet, um eine optimale Ausbildung der Feuerwehrleute im Atemschutz zu gewährleisten. Im Laufe der Ausbildung zum AGT werden mit jeder Übung weitere, für die Auszubildenden neue unterschiedlichste Belastungen, hinzugefügt. Dieses schrittweise Hinzufügen ist für die Untersuchung der einzelnen Belastungsfaktoren äußerst hilfreich.

Dazu wurden die Aktivitäten der Feuerwehrleute engmaschig protokolliert. Die Feuerwehrleute trugen während des gesamten Kurses ein einkanaliges EKG. Der Gesamtluftverbrauch während der Übungen unter schwerem Atemschutz wurde protokolliert, und es wurden im Laufe des Kurses fünfmal ein kurzer psychologischer Testbogen ausgefüllt.

## Materialien und Methoden

### Testkollektiv

Die Untersuchungen fand an der Feuerwehr- und Zivilschutzschule in Lebring statt. Alle Maßnahmen der Studie waren im Vorhinein mit der Schulleitung abgesprochen. Auch der steirische Landesfeuerwehrverband war über die Durchführung der Untersuchungen informiert. An der Studie haben 30 Feuerwehrleute freiwillig teilgenommen. Sie wurden über den Ablauf der Studie informiert und gaben ihr schriftliches Einverständnis dazu. Die Studie wurde durch die Ethikkommission der medizinischen Universität Graz geprüft und genehmigt (31-005 ex 18/19). Da die Feuerwehrleute als Voraussetzung für die Teilnahme am Kurs Atemschutzgeräteträger, eine streng geregelte



*Abbildung 1: Atemschutzgeräteträgerin in vollständiger Ausrüstung*

Tauglichkeitsuntersuchung durchlaufen, konnte auf eine weitere medizinische Untersuchung der Feuerwehrleute im Vorfeld der Studie verzichtet werden. Während aller Übungen tragen die Feuerwehrleute die vorgeschriebene Schutzbekleidung. Diese besteht aus einer Überhose, einer Schutzjacke, Schutzstiefeln, einer Flammenschutzhaube, einem Helm, Schutzhandschuhen, einen Feuerwehrgurt, einer Atemschutzmaske und einem Atemschutzgerät. Insgesamt wiegt diese Schutzausrüstung, je nach Ausführung 20-25kg.

### AGT-Kursablauf

Der Kurs findet regelmäßig an der Feuerwehr und Zivilschutzschule in Lebring statt und dauert insgesamt drei Tage. Er ist Voraussetzung für den Einsatz der Feuerwehrleute im schweren Atemschutz. Teilnahmebedingungen sind:

- abgeschlossene Grundausbildung für den Feuerwehrdienst,
- Teilnahme am ÖFAST, Mindestalter 18 Jahre und

- eine feuerwehrärztlich bestätigte Atemschutztauglichkeit.

Die Untersuchung für die Atemschutztauglichkeit beinhaltet ein Belastungs-EKG, eine Spirometrie und eine allgemeine körperliche Untersuchung (*RL - 4.6 /92 - 2008 Atemschutzgeräteträger-Tauglichkeitsuntersuchung - "AKL-Test" und "ÖFAST"*. 2017).

Eine Grafik über den gesamten Kursablauf findet sich im Anhang.

Die Feuerwehrleute wurden am ersten Tag des Kurses auf die Möglichkeit zur Teilnahme an der Übung hingewiesen. Mit den Feuerwehrleuten, die zur Teilnahme bereit waren, wurde ein Aufklärungsgespräch geführt und es wurde ein schriftliches Einverständnis eingeholt. Dann wurden sie mit EKGs und Thermometern ausgerüstet und sie füllten den biografischen Fragebogen und den ersten psychologischen Fragebogen aus. Der erste Kurstag besteht fast ausschließlich aus theoretischem Unterricht im Lehrsaal. Lediglich am späten Nachmittag ist eine erste praktische Übung im Brandhaus. Bei dieser Übung tragen die Feuerwehrleute ihre persönliche Schutzbekleidung, bestehend aus Jacke, Überhose, Stiefel, Handschuhe, Helm, Feuerwehrgurt und Flamschaube. Außerdem tragen sie eine Atemschutzmaske mit Filter, allerdings ohne Atemschutzgerät (leichter Atemschutz). Im Brandhaus wird ein Reizgas versprüht, um die Dichtheit der Masken zu testen. Die Feuerwehrleute müssen keine physisch anstrengenden Tätigkeiten durchführen. Die Übungen dauern drei bis zehn Minuten. Nachts können die Feuerwehrleute entweder nach Hause fahren oder in der Feuerwehr- und Zivilschutzschule übernachten. Um einen Basiswert für das EKG zu erhalten, wurden die Feuerwehrleute gebeten, das EKG nachts zu tragen.

Am zweiten Tag des Kurses gibt es 5 praktische Übungen

- Atemschutzstrecke 1. Durchlauf
- Übungen im Freien mit Leitersteigen
- Atemschutzstrecke 2. Durchlauf
- Trockenübung Brandbekämpfung im Innenangriff
- Erleben von Rauchausbreitung im Keller des Brandhauses

Bei den Übungen wird schwerer Atemschutz getragen. Dies bedeutet Einsatzjacke, Überhose, Stiefel, Handschuhe, Flamschutzhaube, Helm, Feuerwehrgurt und zusätzlich Atemschutzmaske mit Pressluftatmer. Die Ausrüstung hat je nach Ausführung ein Gewicht von etwa 20-25kg. Den größten Einfluss auf das Gewicht der Ausrüstung hat hierbei die

Atemluftflasche. Die Ausführung aus Compositematerial wiegt etwa 4,4 kg die Ausführung aus Stahl wiegt ca. 8,9kg.

Atemschutzstrecke

Die Atemschutzstrecke besteht aus drei Räumen. Der erste Raum (Fitness) ist eine Art



*Abbildung 2: Endlosleiter, Laufband und Schlaghammer im Fitnessraum*

Fitnessraum. Auf einem Laufband mit 6km/h Geschwindigkeit müssen die AGTs 100m laufen, auf einer Endlosleiter müssen die AGTs 15m steigen und an einem Schlaghammer müssen die AGTs zehnmal ein Gewicht von 25 kg aus der Wand ziehen.

Der zweite Raum (Zimmerbrandsimulator) ist eine Hindernisstrecke aus Drahtgitter, welche die AGTs durchlaufen müssen. Diese Hindernisse sollen die Situation darstellen, die man vorfindet um zu einem Brand zu gelangen.



*Abbildung 3: Zimmerbrandsimulator*

Der dritte Raum (Industrieanlage) enthält einen Kessel, der von den AGTs durchstiegen werden muss und eine Rohrleitung, die erkundet werden muss.



*Abbildung 5: Rohr in der Industrieanlage*

Die Atemschutzstrecke wird bei jedem Durchlauf von neun Feuerwehrleuten gleichzeitig beübt. Drei von ihnen beginnen als Trupp im Zimmerbrandsimulator, drei von ihnen

beginnen in der Industrieanlage und drei von ihnen beginnen jeweils an einem Gerät im Fitnessraum. Im Fitnessraum werden die Geräte gleichzeitig reihum beübt. Sobald in allen drei Räumen die Feuerwehrleute ihre Aufgaben abgeschlossen haben, wechseln die Feuerwehrleute in den jeweils nächsten Raum. Dies wird noch einmal wiederholt bis alle Feuerwehrleute alle Übungen durchlaufen haben. Beim zweiten Durchlauf durch die Atemschutzstrecke beginnen die Feuerwehrleute wieder im gleichen Raum, wie beim ersten Durchlauf.

Der erste und zweite Durchlauf durch die Atemschutzstrecke unterscheiden sich in einigen Aspekten. Beim ersten Durchlauf ist es in allen Räumen hell und sie haben Zimmertemperatur. Beim zweiten Durchlauf sind der zweite und dritte Raum finster und Heizstrahler erwärmen Teile des Raumes auf 40°C. Beim zweiten Durchlauf müssen die AGTs zusätzlich einen 10kg Kanister mit sich tragen. Die Rohrleitung im dritten Raum wird wegen der Sturzgefahr beim zweiten Durchgang nicht beübt.

Die Atemschutzstrecke ist für die Untersuchung der kardiovaskulären Anpassung von besonderer Bedeutung, da hier die gleichen Übungen zweimal unter leicht veränderten Bedingungen gemacht werden. Daher ist die genaue Untersuchung der Übungen in der Atemstrecke von besonderem Interesse. Um die individuellen psychischen Belastungen in den beiden Durchgängen der Atemschutzstrecke für die Studie zu quantifizieren wurden vor und nach dieser Übung psychologische Tests durchgeführt. Diese Diplomarbeit wird sich auf die Auswertung dieser beiden Durchgänge durch die Atemschutzstrecke beschränken. Eine Auswertung des gesamten Materials ist im Rahmen einer Diplomarbeit zu umfangreich.

Die Übungen im Freien.

Bei dieser Übung durchlaufen die AGTs drei Stationen:

- sie steigen über eine zweiteilige Schiebeleiter in ein Fenster im 2.Stock ein
- sie kriechen unter einem Hindernis hindurch, dass so niedrig ist, dass man das Atemschutzgerät vom Rücken nehmen muss und vor sich herschieben muss
- sie üben einen Kameraden über den Zweitanschluss mit Luft zu versorgen

Diese drei Stationen sind physisch nicht sehr anstrengend. Von Interesse ist das Besteigen der Leiter, da diese Übung auch in der Atemschutzstrecke vorkommt und so die Unterschiede zwischen einer realen Leiter und einer Endlosleiter betrachtet werden können.

Diese Übung wurde zwar protokolliert, wird aber im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht ausgewertet.

#### Trockenübung Innenangriff

Bei dieser Übung besprechen die AGTs das konkrete Vorgehen bei einem Innenangriff zur Bekämpfung eines Zimmerbrandes im 1.Stock mit Menschenrettung. Sie üben die korrekte Technik bei der Türöffnung und das korrekte Verhalten bei der Kameradenrettung. Auch diese Übung ist körperlich nicht extrem fordernd. Diese Übung wurde zwar protokolliert, wird aber im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht ausgewertet.

#### Rauchkeller

Abschließende Übung am 2. Tag ist das Begehen des Rauchkellers. Hier wird ein Feuer aus mehreren Strohhallen entzündet. Die AGTs beobachten im Keller die Rauch- und Hitzeentwicklung des Feuers und machen anschließend eine Orientierungsübung im Keller. Zu Beginn dieser Übung sind die Feuerwehrleute sehr nah am Feuer, und sind daher einer gewissen Hitzebelastung von außen ausgesetzt. Während der Orientierungsübung bewegen sich die AGTs vom Feuer weg und daher spielt diese Hitzebelastung keine Rolle mehr. Aber der Rauch behindert die Orientierung massiv. Die Sicht beträgt im gesamten Keller nur wenige Zentimeter, was die Orientierung schwierig macht. Dies und das Bewusstsein, dass dieser Rauch ein bedrohliches Atemgift ist, stellt sicherlich eine psychische Belastungssituation dar. Diese Übung wurde zwar protokolliert, wird aber erst zu einem späteren Zeitpunkt ausgewertet.

#### Dritter Tag

Am dritten Tag haben die AGTs eine Abschlussübung, bei der sie ihre gelernten Fähigkeiten unter Beweis stellen müssen. Dabei müssen sie im Brandhaus jeweils einen von zwei Zimmerbränden im 1.Stock löschen. Die Übung erfolgt in zwei Gruppen. Die erste Hälfte des Kurses muss eine „Menschenrettung“ (mit einem Dummie) durchführen und einen Zimmerbrand löschen. Während dieser Zeit steht die zweite Hälfte des Kurses als Rettungstrupp zur Sicherheit der ersten Gruppe vor dem Gebäude. Anschließend werden die Rollen der Gruppen getauscht. Die erste Gruppe ist Rettungstrupp und die zweite Gruppe löscht den zweiten Zimmerbrand, die zweite Gruppe muss keine Person retten. Diese Übung soll ein typisches Einsatzgeschehen abbilden. Das Szenario entspricht der Trockenübung am zweiten Tag. Diese Übung wurde zwar protokolliert, wird aber im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht ausgewertet.

## Kardiovaskuläre Daten

Die Aufzeichnung der elektrischen Herzaktivität erfolgte mittels eMotion Faros 180° Geräten. Dabei handelt es sich um kleine 13g-leichte EKG-Messgeräte, die mit zwei Klebeelektroden im Brustbereich befestigt werden. Um Druckstellen zu vermeiden, wurde darauf geachtet, dass die Elektroden nicht im Bereich der Schultergurte der Atemschutzgeräte angebracht wurden. Diese Geräte eignen sich besonders gut für Messungen unter erschwerten Bedingungen. Die Geräte zeichnen ein einkanaliges EKG auf und verfügen zusätzlich über einen 3D-Beschleunigungssensor. Diese Beschleunigungsaufzeichnungen wurden verwendet, um die protokollierten Aktivitäten der Feuerwehrleute zu ergänzen. Dies erleichterte der Studienleitung die Zuordnung zu den einzelnen Aktivitäten. Dies war insbesondere in Phasen des Lehrganges hilfreich, die in nicht-atembarer Umgebungsluft stattfanden, da dort die Protokollierung äußerst schwierig ist. Um den Lehrgangsablauf nicht unnötig zu stören, wurde die EKG-Geräte während des gesamten Lehrganges an den Feuerwehrleuten belassen, statt jedes Mal vor eine Belastungssituation die Geräte neu anzulegen und anschließend wieder zu entfernen. Allerdings wurden nach besonders schweißtreibenden Phasen der Studie die Klebeelektroden von den Feuerwehrleuten selbständig gewechselt, um eine ausreichende Signalqualität zu garantieren, da trotz der Verwendung von größtmöglichen Elektroden und zusätzlicher Fixierung mittels Leukoplast, es immer noch vorkam, dass sich Elektroden lösten.

Eine kardiologische Auswertung der EKG Aufzeichnungen auf das Vorhandensein von Abweichungen, wie beispielsweise ST-Streckensenkungen oder QT-Zeit Veränderungen, war nicht geplant. Eine kardiologische Diagnostik wäre anhand der 1-Kanaligen Aufzeichnungen auch nicht möglich gewesen.

## Beschleunigungssensoren

Jedes EKG-Messgerät ist mit einem Beschleunigungssensor ausgestattet, der die Beschleunigung in die drei Achsen aufzeichnet. Die Beschleunigungssensoren registrieren also jede Lageänderung und damit Bewegung der AGTs. Die Standardabweichung der Beschleunigung wurde ausgewertet, um die individuelle Bewegungsaktivität der AGTs zu quantifizieren.

### Jackeninnentemperatur

Die thermische Belastung wurde nicht als Körperkerntemperatur gemessen, da dies eine zu große Belastung der Feuerwehrleute während der Übung wäre. Stattdessen wurde die Temperatur im Inneren der Schutzkleidung mittels eines streichholzschachtelgroßen Temperatur Loggers (RC-5 USB Temperature Data Logger der Firma Elitech) gemessen. Dieser wurde an einer Stelle an der Innenseite der Einsatzjacke befestigt, wo er die Feuerwehrleute nicht behinderte und auch keinen Schaden an der Ausrüstung verursachte. Der Temperatursensor zeichnet alle 30 Sekunden die Temperatur auf 0,1° genau auf. Gleichzeitig wurde auch die Umgebungstemperatur mittels eines Raumthermometers, so weit möglich, gemessen werden. So konnte die, auf die Feuerwehrleute einwirkende thermische Belastung quantifiziert werden und sowohl die thermische Belastung durch erhöhte Außentemperatur, als auch durch mangelnde Ableitung der Körperwärme berücksichtigt werden.

### Biografische Angaben

Es wurden die folgenden Parameter erhoben: Alter, Rauchen/Nichtrauchen, Zugehörigkeit zu einer freiwilligen Feuerwehr/Betriebsfeuerwehr/Berufsfeuerwehr, Geschlecht, Einnahme von kreislaufwirksamen Medikamenten, Pflasterallergie, Häufigkeit von regelmäßiger körperlicher Anstrengung/Woche, Abschließen beim AKL als voll oder bedingt tauglich.

Dieser AKL ist eine feuerwehrärztliche Tauglichkeitsuntersuchung und Teilnahmebedingung für den Kursus Atemschutzgeräteträger. Da man sich an der Feuerwehr- und Zivilschutzschule der besonderen Anforderungen an die AGTs bewusst ist, wird das Vorliegen dieser Tauglichkeitsuntersuchung streng kontrolliert. Ein BMI von über 32, Erkrankungen wie DM1, Epilepsie und Erhöhte Blutungsneigung führen dazu, dass die Feuerwehr als nicht tauglich für den Atemschutz eingestuft werden. Bei einem Belastungs-EKG wird die Herzgesundheit der Feuerwehrleute überprüft. Wer bei einem maximalen Puls von 220-Lebensalter auf einem Fahrradergometer eine Leistung von 200 Watt leisten kann, wird als voll tauglich eingestuft, wer nur eine Leistung von 160 Watt erreicht, gilt als befristet tauglich (*RL - 4.6 /92 - 2008 Atemschutzgeräteträger-Tauglichkeitsuntersuchung - "AKL-Test" und "ÖFAST". 2017*).

### PANAS

Für die Erhebung des positiven und negativen trait-Affekts wurde, die PANA-Skala eingesetzt (Krohne, Egloff et al. 1996, Watson, Clark et al. 1988). Anhand des PANAS wird

die Stimmung der Studienteilnehmer/in während der einzelnen Übungselemente erfasst. Bei der Aufnahme in die Studie wurde zunächst ein Basiswert ermittelt. Am zweiten Tag wurden dann insgesamt vier Testungen, jeweils vor und nach den Übungen in der Atemschutzstrecke durchgeführt.

Beim PANAS kreuzen die Feuerwehrleute bei 20 Adjektiven an, wie sehr dieses Adjektiv ihrer momentanen Stimmung entspricht. Es sind 10 Adjektive, die einen positiven Affekt beschreiben und 10 Adjektive, die einen negativen Affekt beschreiben. Die Feuerwehrleute können auf einer Skala von 1 bis 5 ankreuzen, wie sehr dieses Adjektiv ihrer momentanen Verfassung entspricht. Von beiden Kategorien wird bei der Auswertung der Mittelwert gebildet und geht dann als positiver/negativer Affekt in die Auswertung der Studie ein.

#### KUSTA

Der KUSTA besteht aus drei Kategorien: Stimmung, Aktivität und Spannung-Entspannung. In jeder Kategorie können die Feuerwehrleute auf einer Skala von 1-17 ihre momentane Verfassung angeben. Er wurde ebenfalls während der einzelnen Übungselemente verwendet. Der Test hat im Vergleich zum PANAS eine feinere Skalierung und lediglich drei Elemente, war also daher von den Feuerwehrleuten innerhalb kürzester Zeit erledigt und liefert auch Informationen über geringfügigere Abweichungen. (Binz, Wendt 1984)

#### Statistische Analyse

Neben der deskriptiven Statistik wurden die erhobenen Daten mittels t-Tests und ANOVA (analysis of variance) analysiert. Um Effekte der kognitiven Tests bzw. des Stressparadigmas auf die kardiovaskuläre Dynamik zu prüfen, wurden für die statistischen Vergleiche die einzelnen (Stress-) Bedingungen und Tests als Messwiederholungsfaktoren (within-subjects factors) berücksichtigt. Das Herzkreislaufsystem, beziehungsweise das autonome Nervensystem, welches das Herz-Kreislaufsystem innerviert, reagiert äußerst schnell auf physische und psychische Belastungen aus der Umwelt (McCorry 2007). Die hochsynchronisierte Aufzeichnung von EKG und der körperlichen Aktivitäten bei den praktischen Übungselementen, insbesondere beim 1. und 2. Durchlauf der Atemschutzstrecke ermöglichen eine hochsynchronisierte mathematische Analyse und damit Rückschlüsse auf die einzelnen Belastungsfaktoren, welche auf die Feuerwehrleute einwirken. Bei der Interpretation der Messungen der Herzaktivität wurden die Richtlinien der Taskforce beachtet (Heart rate variability: standards of measurement, physiological

interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. 1996).

In den gemessenen EKG Daten werde zunächst isolierte Artefakte durch Interpolation mittels des Mittelwertes benachbarter Werte ausgeglichen. Anschließend wurden der erste Wert, der die 95% Perzentile überschritt und das Kriterium der Artefaktkorrektur erfüllte als Herzrate gewählt. Zur näheren Beschreibung der Auswertungsmethode vlg. (Lackner, Goswami et al. 2010)

Im Rahmen dieser Arbeit sollen nur die Daten des ersten und zweiten Durchgangs durch die Atemschutzstrecke am zweiten Tag ausführlich analysiert werden.

Zur Durchführung der Berechnungen wurde IBM SPSS Statistics 25 verwendet. Als Signifikanzniveau wurde  $p < 0,05$  verwendet.

## Ergebnisse

Im Laufe der Studie konnte eine große Menge an EKG Daten gesammelt werden. Es kam während des Kurses allerdings auch immer wieder vor, dass einzelne Informationen nicht erhoben werden konnten. Eine noch genauere Erhebung hätte den Ablauf des Kurses und damit die Sicherheit der Feuerwehrleute in ihren zukünftigen Einsätzen gefährdet. Daher wurde darauf geachtet, den Kursablauf möglichst wenig zu behindern. Dies ging leider zulasten der Datenqualität, so dass nicht alle gemessenen Feuerwehrleute bei der Auswertung berücksichtigt werden konnten.

### Testkollektiv

An der Studie haben 30 Feuerwehrleute teilgenommen und bei allen teilnehmenden 30 Feuerwehrleuten wurden die Messungen vorgenommen. Das Durchschnittsalter betrug 21,5 Jahre, die jüngsten Feuerwehrleute waren 18 Jahre und der älteste war 51. Die an der Studie teilnehmenden Feuerwehrleute sind im Durchschnitt so jung, weil dieser Kurs eine Grundlage für den Branddienst ist und daher wird er von vielen Feuerwehrleuten zu Beginn ihrer Feuerwehrkarriere, sobald sie die Voraussetzungen erfüllen, besucht. Viele Feuerwehrmitglieder kommen über die Jungfeuerwehr zur Aktivmannschaft und besuchen daher diesen Kurs, sobald sie 18 Jahre alt sind.

Das Studienkollektiv bestand ausschließlich aus männlichen Feuerwehrleuten. Dies war nicht Absicht. Allerdings liegt der Frauenanteil in den österreichischen Feuerwehren bei ca. 5% (Österreichischer Bundesfeuerwehrverband 2018) unter den Atemschutzgeräteträgern ist der Frauenanteil noch einmal geringer, da die Anforderungen des AKLs unabhängig vom Geschlecht gelten. Damit ist ein rein männliches Testkollektiv bei der Anzahl nicht weiter verwunderlich. Von den Feuerwehrleuten sind 19 Raucher. Im Durchschnitt sind die Feuerwehrleute nach eigenen Angaben 15,2h in der Woche körperlich aktiv. Die Mehrzahl von ihnen (24 Feuerwehrleute) ist in freiwilligen Feuerwehren engagiert, der Rest in Betriebsfeuerwehren. Mitglieder einer Berufsfeuerwehr waren an der Studie nicht beteiligt. Die Feuerwehrleute waren zum Großteil feuerwehrärztlich als voll atemschutztauglich eingestuft worden. Lediglich 2 Feuerwehrleute waren befristet tauglich. Dies heißt sie haben im Rahmen des AKL eine beim Belastungs-EKG eine Leistung von 200 Watt für eine volle Tauglichkeit beziehungsweise 160 Watt für eine befristete Tauglichkeit erbracht und dabei einen maximalen Puls von 220-Lebensalter gehabt. Einen Unterschied nach Geschlecht gibt

es bei den Anforderungen, wie auch im Einsatz nicht. (RL - 4.6 /92 - 2008 Atemschutzgeräteträger-Tauglichkeitsuntersuchung - "AKL-Test" und "ÖFAST". 2017)

Von diesen 30 konnten allerdings nur 25 Feuerwehrleute für die Studie berücksichtigt werden. Ein AGT hat den Kurs vorzeitig beendet und wurde daher bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Bei 4 Feuerwehrleuten war eine Auswertung der Herzfrequenz aus den aufgezeichneten EKG Daten nicht möglich, da die Daten nicht die notwendige Mindestqualität hatten. Ursache hierfür waren vor allem Artefaktbildung durch Bewegung, abgefallene Elektroden, versehentlich ausgeschaltetes EKG. Diese 25 AGTs waren im Durchschnitt 21,8 Jahre alt (Standardabweichung 6,8 Jahre, Min. 18, Max 51). Es waren 5 Betriebsfeuerwehrleute und 20 freiwillige Feuerwehrleute. Von den berücksichtigten AGTs rauchten 32%, ein AGT hat keine Angaben zum Rauchverhalten gemacht und 64% gaben an nicht zu rauchen. Die Feuerwehrleute gaben, an durchschnittlich 17,9 Stunden in der Woche körperlich aktiv zu sein (Standardabweichung 17,0h, Min 1h, Max. 54h)

#### Temperaturmessungen

Die Temperaturmessung in der Jackeninnentasche stellte sich in der praktischen Durchführung als sehr fehleranfällig heraus. Einerseits zeigte sich, dass die Innentaschen der Uniformen sehr unterschiedlich gestaltet waren. Ein Hersteller produziert sogar gefütterte Innentaschen. Andererseits kam es häufiger vor, dass die Feuerwehrleute nach dem Duschen, beim schnellen Bereitmachen, für den nächsten Einsatz die Thermometer unbemerkt in der Umkleide liegen ließen. Diese Thermometer zeichneten während der einzelnen Übungen nur eine Temperatur von ca. 21°C mit nur geringsten Schwankungen auf. Diese Daten wurden bei der Auswertung als fehlende Werte eingetragen um die Ergebnisse nicht zu verfälschen.

Für die Auswertung wurden von den alle 30 Sekunden aufgezeichneten Temperaturen das arithmetische Mittel während der jeweiligen Übungszeit gebildet.

|                 | Temperatur<br>Fitness 1 | Temperatur<br>Zimmer 1 | Temperatur<br>Industrie 1 | Temperatur<br>Fitness 2 | Temperatur<br>Zimmer 2 | Temperatur<br>Industrie 2 |
|-----------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| N               | 28                      | 28                     | 28                        | 25                      | 25                     | 25                        |
| Minimum         | 23,61                   | 23,73                  | 22,20                     | 21,08                   | 22,81                  | 23,73                     |
| Maximum         | 33,16                   | 33,54                  | 33,10                     | 33,51                   | 33,31                  | 32,19                     |
| Mittelwert      | 29,41                   | 29,55                  | 28,93                     | 28,82                   | 29,06                  | 28,16                     |
| Std.-Abweichung | 2,54                    | 2,98                   | 2,84                      | 2,82                    | 3,27                   | 2,31                      |

Tabelle 1: Deskriptive Statistik der Jackeninnentemperatur abhängig von der Übungsart

Die Feuerwehrleute durchlaufen jeder die Stationen Fitness, Zimmerbrand und Industrieanlage in der Atemschutzstrecke. Dies tun sie allerdings nicht alle in der gleichen Reihenfolge. Ein Drittel beginnt mit der Fitnessübung, macht dann die Zimmerbrandsimulation und zum Schluss die Industrieanlage. Ein Drittel beginnt mit der Zimmerbrandsimulation, macht dann die Industrieanlage und zum Schluss die Fitnessübung, Das letzte Drittel beginnt mit der Industrieanlage, macht dann die Fitnessübungen und beübt erst zum Schluss die Zimmerbrandsimulation. Da sich die Jacke im Laufe der einzelnen Übungen immer mehr aufheizt, ist es hier sinnvoll, nach 1.absolvierter Übung, 2.absolvierter Übung und 3.absolvierter Übung zu unterscheiden. Dabei lässt sich ein Anstieg der Jackeninnentemperatur beobachten. Die beiden Durchgänge hatten jeweils unterschiedliche Umgebungstemperaturen. Beim ersten Durchgang herrschte in allen Räumen Zimmertemperatur. Beim zweiten Durchgang herrschten ca. 40°C in der Zimmerbrandsimulation und der Industrieanlage, die Temperatur im Fitnessraum war unverändert.

|                     | Temperatur<br>Übung 1<br>1.Durchlauf | Temperatur<br>Übung 2<br>1.Durchlauf | Temperatur<br>Übung 3<br>1.Durchlauf | Temperatur<br>Übung 1<br>2. Durchlauf | Temperatur<br>Übung 2<br>2. Durchlauf | Temperatur<br>Übung 3<br>2. Durchlauf |
|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| N                   | 28                                   | 28                                   | 28                                   | 25                                    | 26                                    | 25                                    |
| Minimum             | 23,61                                | 21,53                                | 25,43                                | 21,08                                 | 24,02                                 | 26,29                                 |
| Maximum             | 33,54                                | 33,16                                | 33,54                                | 29,42                                 | 32,84                                 | 33,51                                 |
| Mittelwert          | 28,89                                | 29,19                                | 30,53                                | 26,18                                 | 29,10                                 | 30,97                                 |
| Std.-<br>Abweichung | 2,71                                 | 2,94                                 | 2,22                                 | 2,08                                  | 2,18                                  | 1,95                                  |

Tabelle 2: Deskriptive Statistik der Jackeninnentemperatur abhängig von der Übungsreihenfolge

Ein Vergleich der beiden Durchgänge mittels ANOVA ergab für die unterschiedlichen Übungen (Fitness, Zimmerbrand, Industrie) keinen signifikanten Unterschied

$F(2;48)=0,845$ ;  $p=0,436$ . Ebenso ergab sich kein Unterschied zwischen den zwei Durchgängen  $F(1;24)=3,255$   $p=0,084$ ; Interaktion  $F(2;48)=0,831$   $p=0,442$ .

Wenn man statt der verschiedenen Übungen (Fitness, Zimmerbrand, Industrie) allerdings die 1. Übung, 2. Übung, 3. Übung betrachtet, die die Feuerwehrleute absolvieren, ergibt sich folgendes Bild.

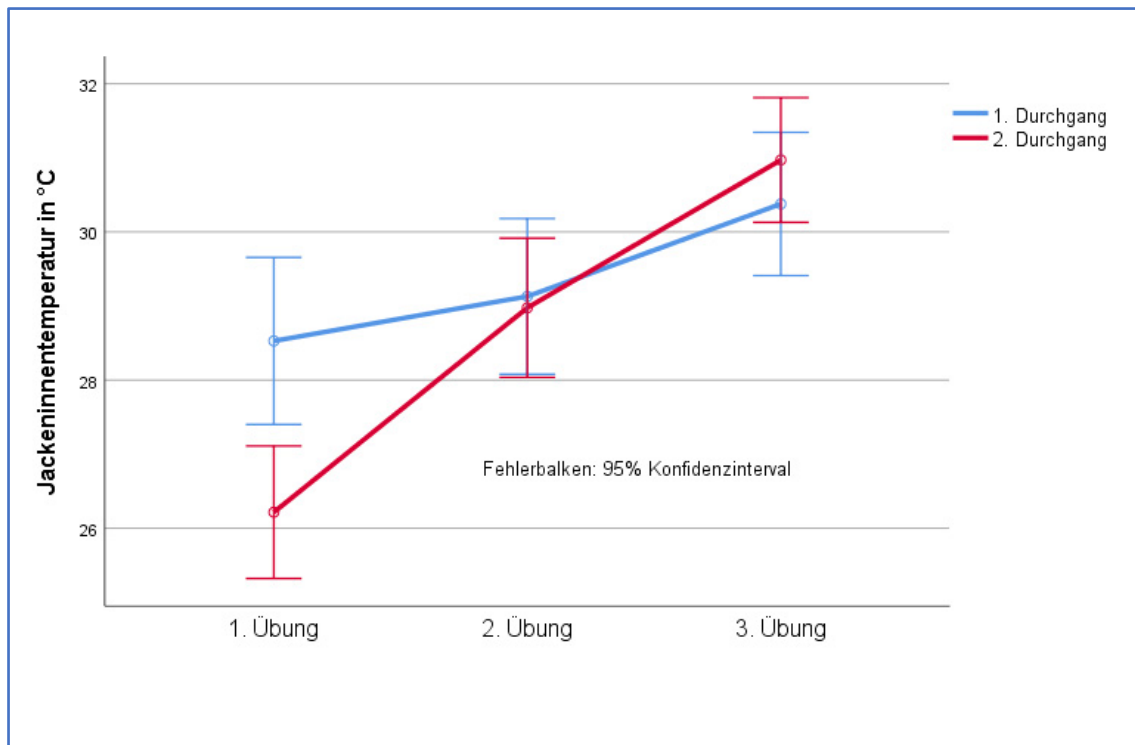


Diagramm 1: Vergleich der Jackeninnentemperaturen im 1. und 2. Durchgang

Eine ANOVA ergibt sowohl bezüglich der Durchgänge, als auch bezüglich der 1.-3. Übung Unterschiede. Unterschied Durchgang 1-Durchgang 2:  $F(1;23)=7,57$ ;  $p=0,011$

Unterschied 1.-3. Übung (Reihenfolge der Übungen);  $F(2;46)=139,64$ ;  $p<0,001$ .

Interaktion zwischen Durchgang und Übung  $F(2;46)=72,71$ ;  $p<0,001$

Eine genauere Betrachtung mittels t-Test für gepaarte Stichproben ergibt ist in Tabelle 4 angeführt.

|                          | Mittelwert<br>Differenz | Std.-<br>Abweichung | T     | df | Sig. (2-seitig) |
|--------------------------|-------------------------|---------------------|-------|----|-----------------|
| Temperatur: Fitness 1/2  | ,30                     | 1,261               | 1,199 | 24 | ,242            |
| Temperatur Zimmer 1/2    | ,31                     | 1,787               | ,865  | 24 | ,396            |
| Temperatur Industrie 1/2 | ,71                     | 1,734               | 2,052 | 24 | ,051            |

*Tabelle 3: Paarweiser Vergleich der Jackeninnentemperatur mittels t-Test für verbundene Stichproben*

Im Verlauf des Beübens der Atemschutzstrecke steigt die Jackeninnentemperatur um ca.2°C, beziehungsweise um ca.5°C.

Dies entspricht dem, was Feuerwehrleute als subjektive Wahrnehmung berichten, nämlich, dass man beim Atemschutz ungewöhnlich stark ins Schwitzen kommt. Die höhere Temperatur bei der 1.Übung im ersten Durchgang lässt sich leicht erklären. Beim ersten Durchgang üben die Feuerwehrleute erst das Anlegen der Atemschutzmasken. Dabei tragen sie bereits die Schutzjacke, die sich während dieses Übens erwärmt. Vor dem zweiten Durchgang ziehen die Feuerwehrleute die Schutzjacken an und beginnen sehr zeitnah mit den Übungen. Bei der ersten Übung des zweiten Durchgangs ist die Jacke daher noch etwas kühler als bei der ersten Übung im ersten Durchgang.

Beim zweiten Durchgang ist der Anstieg der Jackeninnentemperatur größer als beim ersten Durchgang.

#### EGK-Aufzeichnungen

Die Auswertung der EKG Daten fokussiert sich in erster Linie auf die zwei Durchläufe durch die Atemschutzstrecke. Diese Daten sind besonders interessant, da die Feuerwehrleute hier unter sehr ähnlichen Bedingungen die Atemschutzstrecke zweimal durchlaufen. Zur besseren Übersicht noch einmal die beiden Situationen im Vergleich

#### *Fitnessraum*

- 15m Endlosleiter steigen,
- 100m Laufband bei 6km/h
- 10x 25kg Schlaghammer ziehen.

In diesem Raum gibt es beim ersten und zweiten Durchgang keine Veränderungen.

### *Simulator Zimmerbrand*

Die Feuerwehrleute durchqueren eine Anlage mit Hindernissen, Türen, Röhren, niedrige enge Gänge.

Beim ersten Durchgang ist der Raum beleuchtet.

Beim zweiten Durchgang wird der Raum auf etwa 40°C aufgeheizt und komplett verdunkelt. Die Feuerwehrleute haben keine Lichtquelle dabei. In der Übungsanlage sind zwei zusätzliche Hindernisse eingebaut, so dass die Feuerwehrleute beim zweiten Durchgang durch diesen Raum etwas länger brauchen. Außerdem müssen sie einen 10 kg schweren Kanister mit sich führen. Über eine Lautsprecheranlage wird Lärm einer Einsatzstelle eingespielt (Sirenen, schreiende Personen, Verkehrslärm, Feuerknistern...).

### *Simulator Industrieanlage*

Die Feuerwehrleute üben beim ersten Durchgang zwei Übungselemente:

- Ein Kessel, in den sie von oben einsteigen. Im Kessel kriechen sie um Hindernisse herum und kriechen am anderen Ende wieder durch eine Öffnung an der Oberseite des Kessels hinaus.
- Als zweites Element steigen die Feuerwehrleute auf ein 2m hohes Podest und kriechen entlang einer Rohrleitung wieder hinab.

Der zweite Durchlauf durch die Atemschutzstrecke erfolgt wie im zweiten Raum in völliger Dunkelheit, 40°C Raumtemperatur und bei Einsatzlärm. Das zweite Übungselement, also die Rohrleitung mit dem Podest, wird dabei wegen Absturzgefahr ausgelassen. Daher brauchen die Feuerwehrleute beim zweiten Durchgang durch diesen Raum etwas weniger Zeit.

Die Daten des EKGs wurden softwaregestützt ausgelesen und halbautomatisch mit der zur Verfügung stehenden Software (programmiert in Mathlab®) analysiert. Für jeden einzelnen Übungsabschnitt, d.h. Fitnessraum, Zimmerbrandsimulator und Industrieanlage wurden die Herzfrequenzen für Zeitintervalle von 120sek mit einer Schrittweite von 5-Sekundenintervallen bestimmt. Von diesen 5-Sekundenintervallen wurde dann die 95% Perzentile unter Berücksichtigung der Artefaktkorrektur zur Auswertung verwendet. So konnte die maximale Belastung bei jeder Übung bestimmt werden, ohne dass die Messung durch Artefakte verfälscht wurde.

Für die Auswertung im Rahmen dieser Arbeit wurden 11 Messzeitpunkte (Baseline und je fünf Zeitabschnitte je Durchlauf) verwendet.

Als Ruheherzfrequenz (Baseline) wurde ein zweiminütiger Zeitabschnitt innerhalb der ca. fünf bis zehnminütigen Ruhephase gewählt, bei dem die Feuerwehrleute vor einem backofengroßen Brandsimulator stehen und eine Rauchgasdurchzündung beobachten. (Mittelwert=80,2; Standardabweichung=12,1; N=30)

Die beobachtete Spannweite in der Ruheherzfrequenz verdeutlicht auch die unterschiedliche Grundfitness der Feuerwehrleute.

Bei den zwei Durchgängen durch die Atemschutzstrecke wurde ausgewertet:

- ein Messintervall von jeweils zwei Minuten bis 30 Sekunden vor dem Beginn der Übungen,
- eine Messung im Fitnessraum,
- eine Messung im Zimmerbrandsimulator,
- eine Messung in der Industrieanlage und
- eine Messung beginnend mit 30 Sekunden nach Ende des Durchlaufs

Die deutliche kardiale Belastung der Feuerwehrleute zeigt sich hier in der Herzfrequenz. Wobei hier Herzfrequenz in dem Intervall angegeben wird, das das 95%ige Perzentile darstellt. Das absolute Maximum wurde nicht gewählt, da diese Maxima auf Grund der extremen Bedingungen noch durch Artefakte verfälscht sein können.

|                   | N  | Minimum | Maximum | Mittelwert | Std.-<br>Abweichung |
|-------------------|----|---------|---------|------------|---------------------|
| vor 1. Durchgang  | 29 | 79,06   | 135,99  | 110,19     | 14,47               |
| Fitness 1         | 28 | 116,44  | 190,52  | 169,76     | 17,28               |
| Zimmer 1          | 29 | 123,91  | 188,64  | 161,51     | 15,32               |
| Industrie 1       | 29 | 131,18  | 186,05  | 163,59     | 15,19               |
| nach 1. Durchgang | 28 | 109,81  | 182,40  | 158,83     | 17,13               |
| vor 2. Durchgang  | 27 | 89,48   | 160,91  | 128,36     | 16,96               |
| Fitness 2         | 25 | 134,28  | 191,30  | 171,77     | 14,99               |
| Zimmer 2          | 26 | 137,84  | 191,80  | 172,71     | 15,32               |
| Industrie 2       | 26 | 143,89  | 195,91  | 170,32     | 15,57               |
| nach 2. Durchgang | 25 | 116,36  | 193,94  | 162,62     | 16,36               |

*Tabelle 4: 95% Perzentil der Herzfrequenzen*

Bereits vor dem Beginn der Übungen ließ sich eine Steigerung der Herzfrequenz im Vergleich zur Ruheherzfrequenz beobachten.

Für den weiteren Verlauf der Auswertungen werden allerdings nicht die absoluten Herzraten, sondern die relevanten Steigerungen der Herzrate im Vergleich zur Ruheherzfrequenz im Stehen verwendet. Diese beschreibt besser die zusätzliche Belastung, die die Feuerwehrleute erfahren.

|                 | vor dem<br>1.Durchgang | Fitness 1 | Zimmer 1 | Industrie 1 | nach dem<br>1.Durchgang |
|-----------------|------------------------|-----------|----------|-------------|-------------------------|
| N               | 29                     | 28        | 29       | 29          | 28                      |
| Minimum         | 7,35                   | 30,13     | 36,14    | 50,30       | 35,90                   |
| Maximum         | 51,81                  | 113,34    | 107,29   | 103,64      | 97,54                   |
| Mittelwert      | 30,17                  | 90,39     | 81,49    | 83,57       | 79,46                   |
| Std.-Abweichung | 11,45                  | 16,38     | 15,20    | 13,85       | 15,97                   |

*Tabelle 5: Deskriptive Statistik Steigerung der Herzrate im Vergleich zur Ruheherzfrequenz im ersten Durchgang durch die Atemschutzstrecke in Schlägen pro Minute*

|                 | vor dem<br>2.Durchgang | Fitness 2 | Zimmer 2 | Industrie 2 | nach dem<br>2.Durchgang |
|-----------------|------------------------|-----------|----------|-------------|-------------------------|
| N               | 27                     | 25        | 26       | 26          | 25                      |
| Minimum         | 23,05                  | 63,57     | 69,12    | 60,92       | 60,81                   |
| Maximum         | 78,46                  | 113,64    | 115,85   | 117,11      | 119,11                  |
| Mittelwert      | 48,84                  | 93,25     | 93,43    | 91,04       | 84,10                   |
| Std.-Abweichung | 16,98                  | 13,81     | 12,55    | 14,08       | 13,86                   |

*Tabelle 6: Deskriptive Statistik Steigerung der Herzrate im Vergleich zur Ruheherzfrequenz im zweiten Durchgang durch die Atemschutzstrecke in Schlägen pro Minute*

Ein Vergleich dieser Steigerung der Herzraten in an den verschiedenen Stationen im ersten und zweiten Durchlauf ergibt folgendes Bild

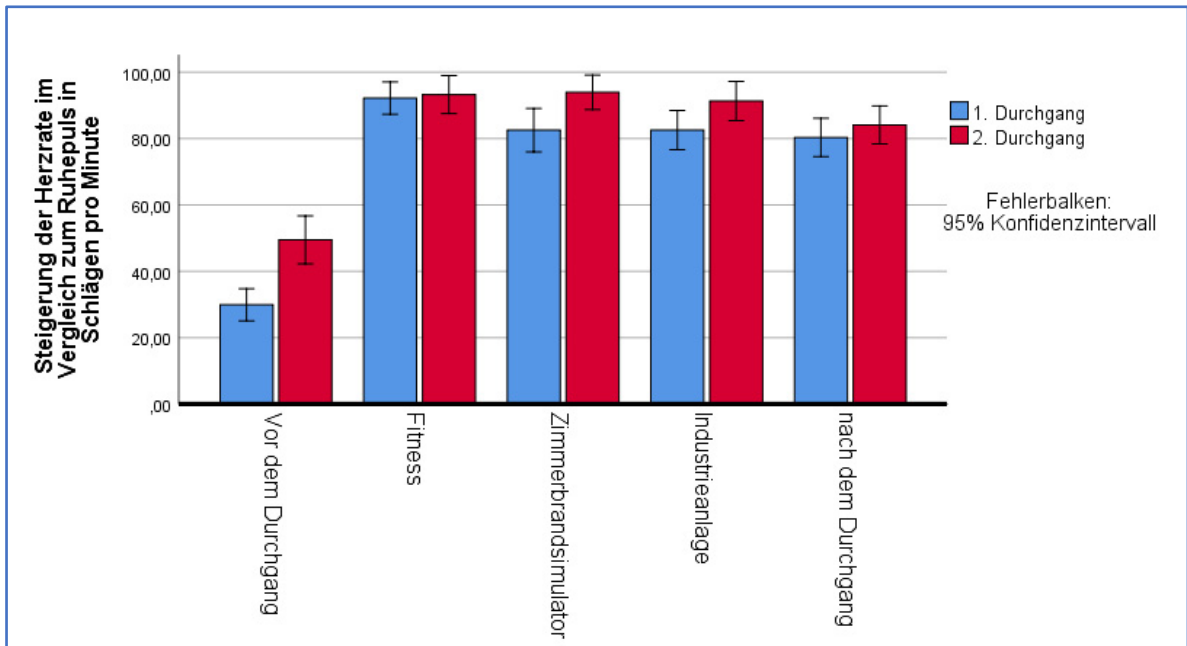


Diagramm 2: Vergleich Steigerung Herzrate im 1. und 2. Durchlauf

Der erste und zweite Durchlauf unterscheiden sich signifikant  $F(1;24)=31,247$ ;  $p<0,001$ .

Die Steigerung der Herzrate ist signifikant unterschiedlich für die einzelnen Übungen (Fitness, Zimmerbrandsimulator, Industrieanlage)  $F(4;96)=154,476$ ;  $p<0,001$ .

Der Durchlauf und die Übung interagierten signifikant  $F(4;96)=15,518$ ;  $p<0,001$ .

Ein paarweiser Vergleich der Messergebnisse mittels t-Test für verbundene Stichproben ergab folgende Ergebnisse.

|  | 30sek vor | Fitness | Zimmerbrand | Industrie | 30sek |
|--|-----------|---------|-------------|-----------|-------|
| Mittlere Differenz                                 | 18,9      | 0,1     | 11,85       | 8,96      | 3,78  |
| Signifikanz (nach Anpassung für Mehrfachvergleich) | <0,01     | 1       | <0,01       | <0,01     | 0,710 |

Tabelle 7: Vergleich der Steigerung der Herzrate

Bei der Fitnessübung und 30 sek nach der Übung sieht man keinen signifikanten Unterschied beim Anstieg der Herzrate. Bei den Übungen in der Zimmerbrandsimulation und der

Industrieanlage sowie 30sek vor der Übung sehen wir eine signifikant größere Steigerung der Herzrate im zweiten Durchlauf als im ersten Durchlauf.

#### Standardabweichung der Herzfrequenz

Für die Intervalle, in denen die maximale Herzrate gemessen wurden, liegen auch die Standardabweichungen der Herzrate vor. Die Standardabweichung der Herzrate ist eine der Methoden, die Task Force für die Beurteilung der Herzratenvariabilität nennt. (Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. 1996). Dieser Wert ist stark von der Dauer des beurteilten Messzeitraumes abhängig. In dieser Studie wurde für die Beurteilung der Herzrate immer ein 120sek Intervall gewählt die Dauer des Messzeitraumes ist also konstant gehalten. Eine weitere Voraussetzung ist, dass in diesem Zeitraum die Aktivität gleichbleibend ist. Dies ist bei dieser Studie nicht immer gegeben. Im Fitnessraum dauert keine Übung länger als eineinhalb Minuten, die daraus resultierende Dynamik beeinflusst daher etwas das Ergebnis. Die Übungen im Zimmerbrandsimulator und in der Industrieanlage sind von ihrem Charakter her so komplex, dass sich nie ein gleichmäßiger Übungsablauf ergibt. Die Voraussetzung der Task Force sind also nicht erfüllt und die Werte der Standardabweichungen lassen sich also nicht verlässlich interpretieren. Ein Vergleich der Werte ergibt folgendes Bild

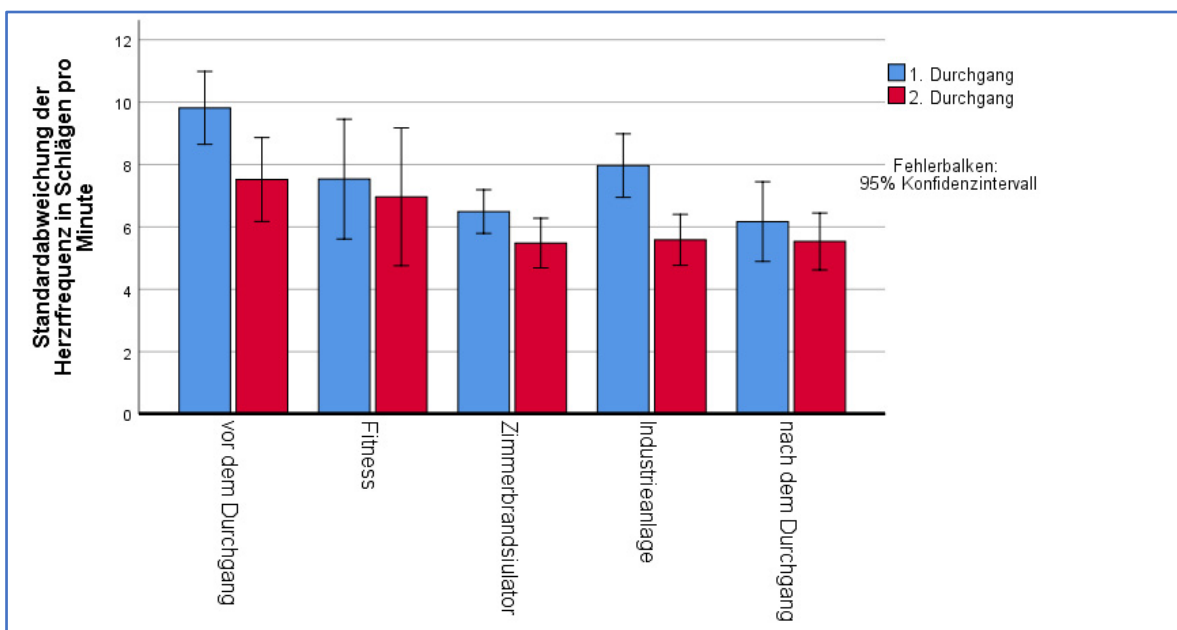


Diagramm 3: Standardabweichung der Herzfrequenzen abhängig vom Übungsverlauf

Ein Vergleich der Werte mittels ANOVA ergibt hier einen signifikanten Unterschied für die beiden Durchgänge  $F(1;24)=118,744$ ,  $p<0,001$ , und für die fünf verschiedenen Messzeitpunkte  $F(4;96)=5,009$ ;  $p=0,001$  für die Interaktion von Messzeitpunkt und Durchlauf erhält man  $F(4;96)=2,202$   $p=0,074$ .

#### Beschleunigungssensor

Die Beschleunigungssensoren im EKG-Gerät wurden einerseits verwendet um hochpräzise Protokolle der Tätigkeiten der Feuerwehrleute zu erstellen und andererseits um die individuelle Belastung der Feuerwehrleute durch die geleistete Bewegungsarbeit zu quantifizieren. Bei den aufgezeichneten Werten entsprechen 1000E der Erdbeschleunigung von einem g, also  $9,81 \text{ m/sek}^2$

|                   | N  | Mittelwert | Std.-Abweichung |
|-------------------|----|------------|-----------------|
| vor 1.Durchlauf   | 29 | 8,63       | 3,87            |
| Fitness 1         | 29 | 31,69      | 8,27            |
| Zimmer 1          | 29 | 23,36      | 4,39            |
| Industrie 1       | 29 | 20,80      | 4,22            |
| nach 1. Durchlauf | 29 | 13,10      | 5,09            |
| vor 2. Durchlauf  | 28 | 12,45      | 6,34            |
| Fitness 2         | 28 | 31,57      | 8,10            |
| Zimmer 2          | 28 | 22,67      | 4,39            |
| Industrie 2       | 28 | 22,59      | 4,06            |
| nach 2. Durchlauf | 28 | 11,22      | 5,38            |

*Deskriptive Statistik der Summe der Beschleunigungssensoren. Standardabweichung der Beschleunigung (1000 entspricht  $9,81 \text{ m/sek}^2$ )*

Im Vergleich für den ersten und zweiten Durchlauf ergibt sich folgendes Bild.

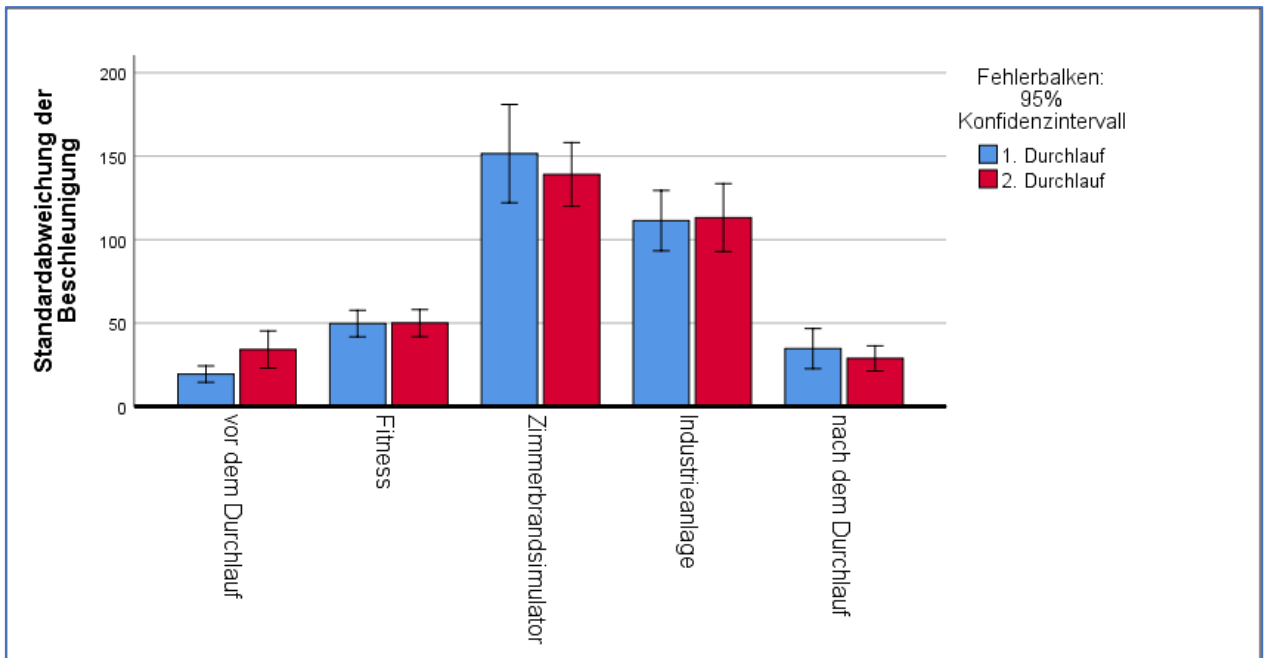


Diagramm 4: Verlauf der Beschleunigung

Eine ANOVA Analyse ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Durchläufen  $F(1;27)=0,005$ ;  $p=0,947$ .

Bei der Übung selbst ergaben sich sehr wohl Unterschiede; die Übungen unterscheiden sich signifikant bezüglich der gemessenen Standardabweichung der Beschleunigung  $F(4;108)=89,645$ ;  $p<0,001$ .

Interaktion  $F(4;108)=1,458$ ;  $p=0,220$ .

Ein paarweiser Vergleich mittels t-Test für verbundene Stichproben ergibt für den 1. und 2. Durchlauf.

|             | 30 sek vor Übung | Fitness | Zimmerbrand-simulator | Industrie-anlage | 30 sek nach Übung |
|-------------|------------------|---------|-----------------------|------------------|-------------------|
| Differenz   | -3,81            | 0,63    | 0,64                  | -1,72            | 1,70              |
| Signifikanz | 0,001            | 0,688   | 0,509                 | 0,097            | 0,111             |

Tabelle 8: Vergleich der Beschleunigung

Damit ergibt die Auswertung des Bewegungssensors nur 30 Sekunden vor der Übung einen signifikanten Unterschied zwischen dem ersten und zweiten Durchgang. Es sind also zwischen den Durchläufen Unterschiede zu beobachten, wie dynamisch die Feuerwehrleute ihre Übungen durchführen.

## Luftverbrauch

Durch eine Protokollierung des Flaschendrucks konnte der Luftverbrauch während der beiden Durchgänge durch die Atemschutzstrecke abgeschätzt werden. Die Messung ist allerdings vergleichsweise ungenau. Dies hat mehrere Ursachen: Die Anzeige des Manometers am Atemschutzgerät hat eine relativ grobe Skala. Bei den meisten Geräten lässt sich der Druck nur auf ca. 5bar genau ablesen. Ein weiterer Faktor, der die Genauigkeit beeinträchtigt ist eine mangelnde Dichtigkeit der Atemschutzmaske. Bei einer undicht aufgesetzten Maske fließt ein Teil der Luft an dieser undichten Stelle vorbei und wird bei der Auswertung aber als Teil des Atemminutenvolumens berechnet. Insbesondere bei unerfahrenen AGTs, was in dieser Studie alle Feuerwehrleute waren, kommt dies gelegentlich vor. Eine weitere Fehlerquelle ist spezifisch für den Übungsbetrieb und kommt im Einsatzgeschehen nicht vor. Wenn bei den Feuerwehrleuten die Atemgasflasche fast leer ist, der Druck in der Flasche also weniger als 50bar beträgt, legen die Feuerwehrleute den Lungenautomaten ab und beenden die Übung, indem sie Umgebungsluft atmen. Dies geschieht, weil vollständig geleerte Atemgasflaschen eine teure Sicherheitsüberprüfung durchlaufen müssen, bevor sie wieder gefüllt werden. Dies kam bei einigen Feuerwehrleuten beim zweiten Durchlauf der Atemschutzstrecke vor. Im Einsatzfall würden die Feuerwehrleute bereits früh genug den Rückzug antreten. Bei der Berechnung des Atemzeitvolumens führt das Atmen von Umgebungsluft zu falsch niedrigen Werten.

Das berechnete Atemzeitvolumen beträgt während des ersten Durchlaufs durch die Atemschutzstrecke 37,3 l/min (Standardabweichung 9,07 l/min) und während des zweiten Durchlaufs 35,0 l/min (Standardabweichung 6,38 l/min). Dies ist wesentlich mehr als der Verbrauch unter Ruhebedingungen von etwa 7-8l/min (Kurtz 2014).

Die Unterschiede bei den beiden Durchläufen sind signifikant nach t-Test für verbundene Stichproben  $t(28)=-7,462$ ;  $p<0,001$ .

Für die Berechnung des Atemzeitvolumens wurde die Zeit, die die Feuerwehrleute ihre Atemschutzmaske tragen, herangezogen. Das verminderte Atemzeitvolumen beim zweiten Durchgang lässt sich erklären, wenn man berücksichtigt, dass die Feuerwehrleute in Dunkelheit arbeiten müssen. Daher benötigen sie etwas länger für die Übungen, allerdings sind die Übungen durch die geringere Geschwindigkeit auch weniger körperlich anstrengend, gleichzeitig ist die psychische Belastung durch die Dunkelheit und die

Geräusche sicherlich höher. Außerdem kommt es durch das Atmen von Umgebungsluft bei der Berechnung zu falsch niedrigen Werten. Dies geschah beim zweiten Durchlauf häufiger.

Insgesamt steht das wesentlich erhöhte Atemzeitvolumen (im Vergleich zum normalen Atemzeitvolumen in Ruhe) sicherlich im Zusammenhang mit den Belastungen der Feuerwehrleute.

#### Gewicht der Ausrüstung

Im Rahmen des Luftverbrauchs wurde auch der Typ der Atemschutzflasche miterfasst. Dies ist insofern relevant, als die Flaschen mit 6,8l Volumen und 300bar aus einem Compositematerial statt aus Stahl bestehen und damit deutlich leichter sind. Zwischen 2x4l bei 200bar und 6l bei 300bar besteht nicht ein so großer Unterschied. Die Compositeflaschen sind etwa 4,5 kg leichter. 5 Feuerwehrleute hatten Flaschen aus Compositematerial, 3 Feuerwehrleute 2x4l Stahlflaschen mit 200bar und 22 Feuerwehrleute 6l Stahlflaschen mit 300bar.

#### Psychologische Fragebögen

Im Rahmen der Studie füllten alle Feuerwehrleute während des Kurses jeweils 5-mal einen psychologischen Fragebogen aus. Einmal bei der Aufnahme in die Studie am ersten Tag und jeweils vor und nach dem ersten und zweiten Durchlauf durch die Atemschutzstrecke. Dazu waren der PANAS und der KUSTAs gewählt worden. So sollten die psychologischen Belastungen des Kurses untersucht werden.

## Statistische Auswertung der psychologischen Testung

|                          | Positiver<br>Affekt | Negativer<br>Affekt | KUSTA<br>Stimmung | KUSTA<br>Aktivität  | KUSTA<br>Spannung-<br>Entspannung |
|--------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Initial                  | 3,7±0,50<br>N=30    | 1,4±0,45<br>N=30    | 14,7±2,00<br>N=30 | 113,4±3,05<br>N=30  | 12,8±3,23<br>N=30                 |
| Vor dem<br>1. Durchgang  | 3,8±0,60<br>N=28    | 1,4±0,37<br>N=28    | 14,7±2,29<br>N=28 | 14,2±2,64<br>N=28   | 11,6±4,10<br>N=28                 |
| Nach dem<br>1. Durchgang | 3,8±0,78<br>N=30    | 1,3±0,26<br>N=30    | 14,5±2,60<br>N=29 | 12,4,0±4,64<br>N=29 | 11,1±3,95<br>N=29                 |
| Vor dem<br>2. Durchgang  | 3,8±0,71<br>N=29    | 1,3±0,29<br>N=29    | 14,4±2,43<br>N=29 | 13,5±3,08<br>N=29   | 13,1±3,00<br>N=29                 |
| Nach dem<br>2. Durchgang | 3,8±0,84<br>N=29    | 1,3±0,29<br>N=29    | 14,2±2,75<br>N=29 | 13,1±3,50<br>N=29   | 12,8±3,5<br>N=29                  |
| Standardwerte            | 3,131±0,765         | 1,600±0,59          |                   |                     |                                   |

*Tabelle 9: Deskriptive Statistik der psychologischen Testung (Standardwerte nach (Crawford, Henry 2004))*

Der Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Erhebungszeitpunkte mittels t-Test für verbundene Stichproben ergab sowohl für die Vergleiche vor oder nach der Übung als auch für die Vergleiche erster Durchlauf oder zweiter Durchlauf keine signifikanten Unterschiede, bis auf eine Ausnahme. Der KUSTA ist im ersten Durchlauf vor und nachher minimal signifikant unterschiedlich (0,870 Zähler Unterschied,  $p=0,047$ ). Im Gesamtzusammenhang betrachtet, ist dieser Unterschied allerdings eher als zufällig und nicht relevant zu bewerten. Für die weitere Beurteilung der psychologischen Testergebnisse und ihren Zusammenhang mit anderen Messgrößen werden daher der Einfachheit halber nur die bei der Aufnahme in die Studie ermittelten Testergebnisse verwendet.

Interessant ist dabei insbesondere die Entwicklung beim KUSTA Spannung Entspannung zu beobachten. Wenngleich die Abweichung nicht signifikant sind ( $p=0,1$ ) ist doch eine Entwicklung von erste zum zweiten Durchgang zu vermuten.

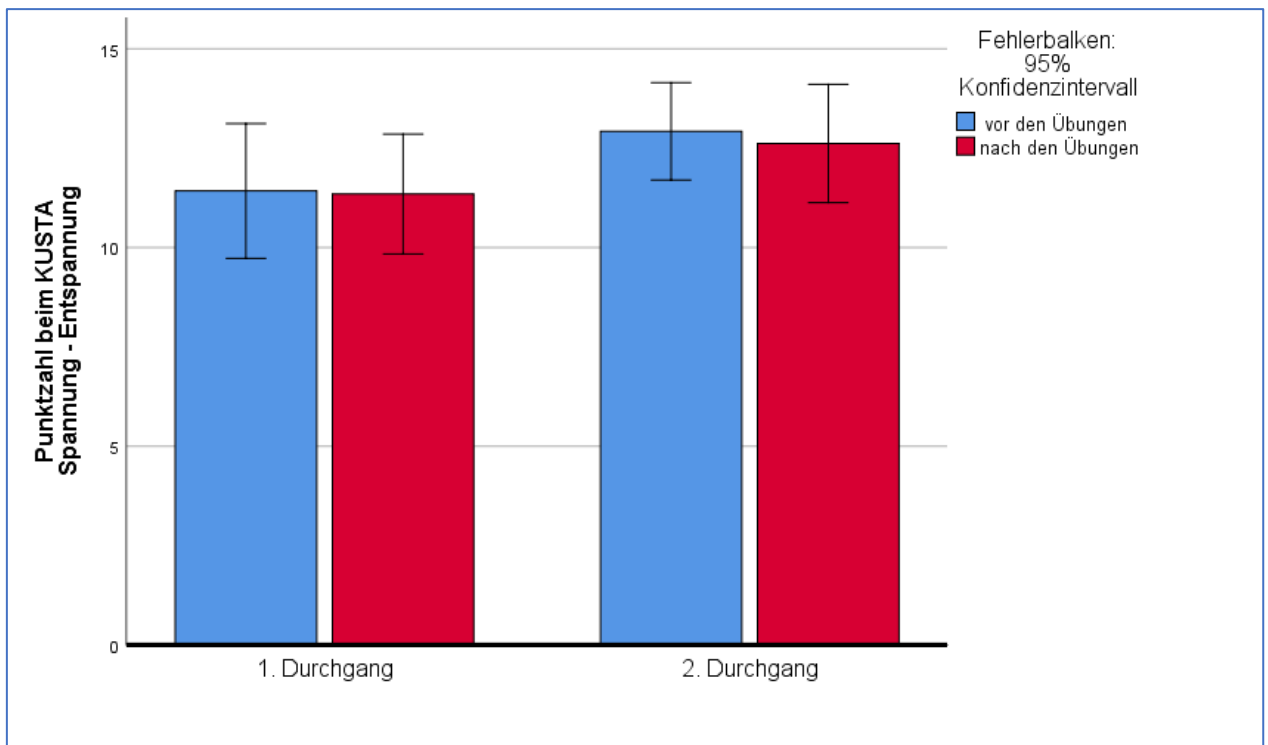


Diagramm 5: Punktzahl beim PANAS Spannung-Entspannung in Abhängigkeit vom Erhebungszeitpunkt

Insgesamt ergab die Auswertung der Fragebogen, dass die Feuerwehrleute im Vergleich zur von Crawford beschriebenen Standardgruppe einen deutlich positiveren Affekt und einen deutlich weniger negativen Affekt hatten (Crawford, Henry 2004). Für den KUSTA liegen keine solche Standardwerte vor.

#### Abhängigkeit von Herzfrequenz von den anderen Parametern

Die individuelle Belastung im schweren Atemschutz stellt sich im Rahmen dieser Studie vor allem in den außergewöhnlich hohen Herzraten dar. Daher sollte untersucht werden, welche Faktoren einen Einfluss auf die Herzrate haben. Als Herzrate wird dabei exemplarisch die Herzrate beim ersten Durchgang im Zimmerbrandsimulator verwendet, da dies einerseits ein Wert ist, bei dem eine vergleichsweise hohe Streubreite unter den einzelnen Feuerwehrleuten beobachtet wurde, und andererseits dies eine besonders feuerwehrtypische Tätigkeit ist.

Bei den psychologischen Tests wurde jeweils das Ergebnis unmittelbar vor dem Durchgang durch die Atemschutzstrecke gewählt.

Zur Auswertung wurden zunächst die Parameter Alter, körperliche Aktivität, PANAS, KUSTA, Luftverbrauch, Beschleunigung, Jackeninnentemperatur und Atemluftflaschengewicht separat auf Korrelation nach Pearson zur Herzfrequenz betrachtet. Zum Ausgleich einer eventuell nicht normalverteilten Verteilung wurde ein Bootstrapping durchgeführt. Eine exemplarische Auswahl der Zusammenhänge ist hier auch graphisch dargestellt. Ebenfalls wurden für den Parameter Rauchverhalten, ein Vergleich der beiden Gruppen durchgeführt. Hier wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben zum Vergleich verwendet. Für eine Auswertung des Einflusses der befristeten Tauglichkeit auf die Herzfrequenzsteigerung sind die Anzahlen zu gering, um eine sinnvolle Auswertung durchzuführen.

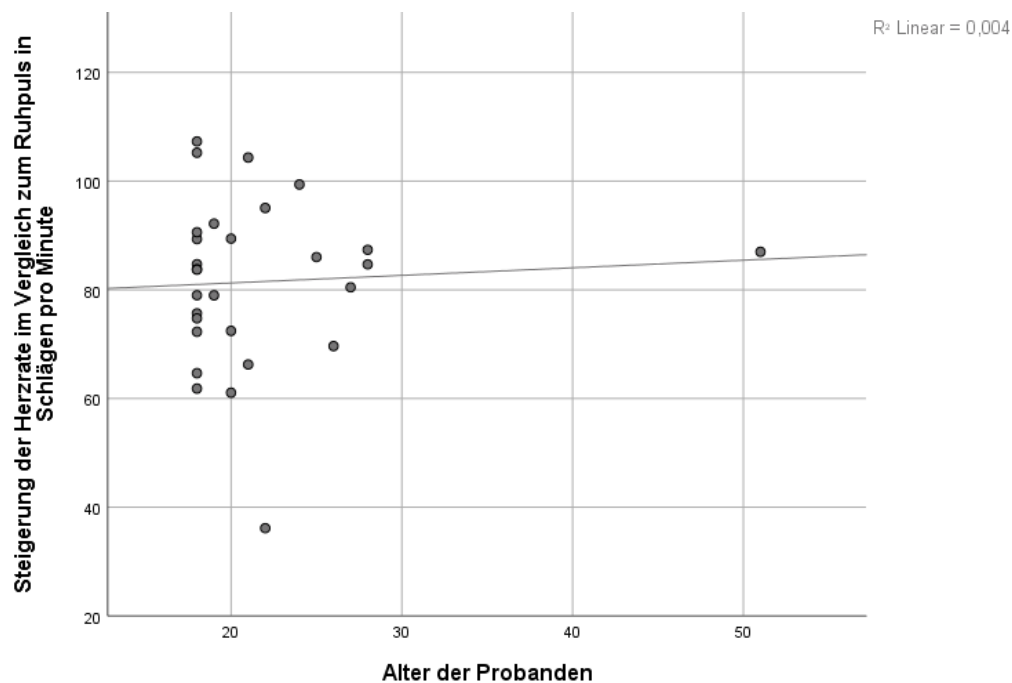


Diagramm 6: Zusammenhang Alter- Steigerung der Herzrate

Das Alter der Probanden korreliert nicht mit der Herzfrequenzzunahme ( $r=-0,06$ ;  $p=0,756$ ;  $N=30$ ). Bei der Betrachtung der Punkt-Streuungskurve zu dieser Korrelation fällt auf, dass nur ein AGT bezüglich seines Alters heraussticht und dieser eine wohl einen starken Einfluss auf die berechnete Korrelation haben könnten. Nach Herausnahme dieses Ausreißers ergeben allerdings sich keine anderen Werte ( $r=-0,06$ ;  $p=0,0756$ ;  $N=29$ ).

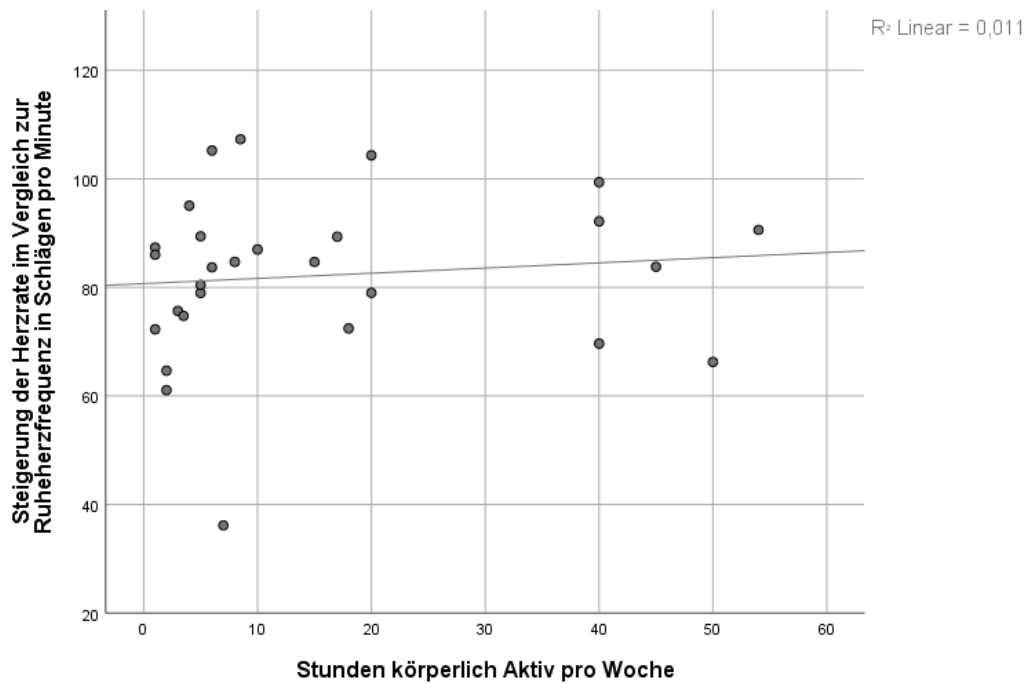


Diagramm 7: Zusammenhang: körperliche Aktivität- Steigerung der Herzrate

Die körperliche Aktivität korreliert nicht mit der Herzfrequenzzunahme ( $r = 0,107$ ;  $p = 0,589$ ;  $N = 28$ ).

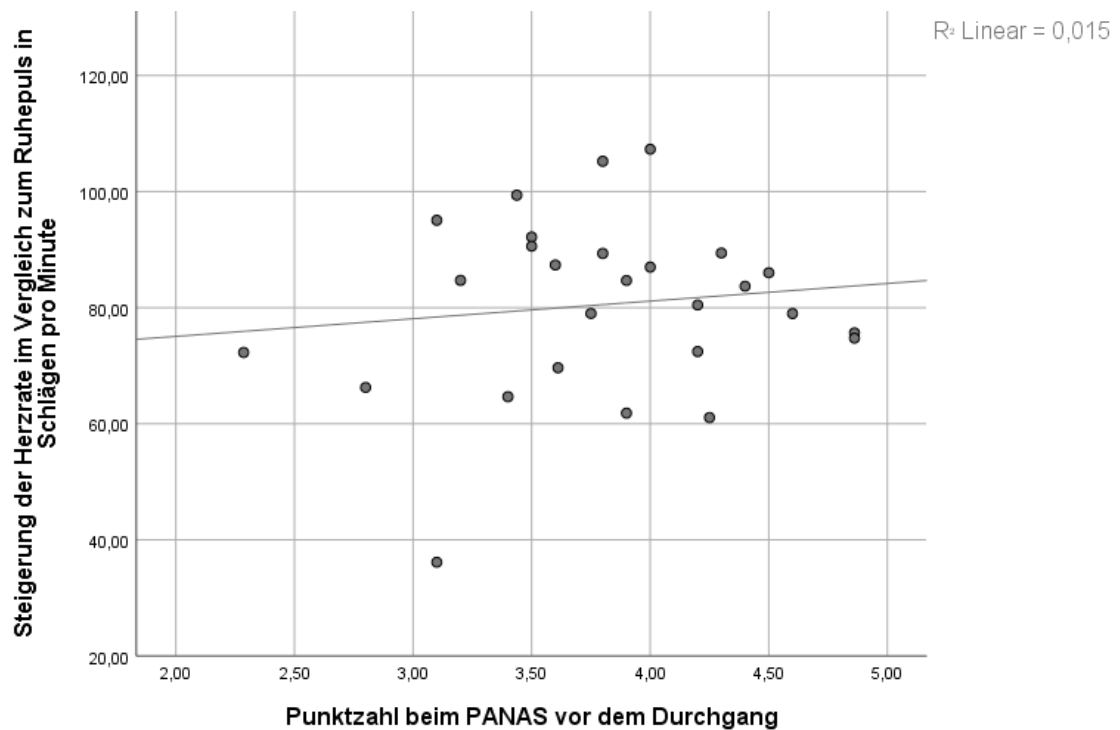


Diagramm 8: Zusammenhang positiver Affekt-Herzrate

PANAS positiver Affekt korreliert nicht mit der Herzfrequenzzunahme ( $r=0,124$ ;  $p=0,539$ ;  $N=27$ ).

PANAS negativer Affekt korreliert nicht mit der Herzfrequenzzunahme ( $r= -0,060$ ;  $p=0,766$ ;  $N=27$ ).

KUSTA Stimmung korreliert nicht mit der Herzfrequenzzunahme ( $r=0,231$   $p=0,247$ ;  $N=27$ )

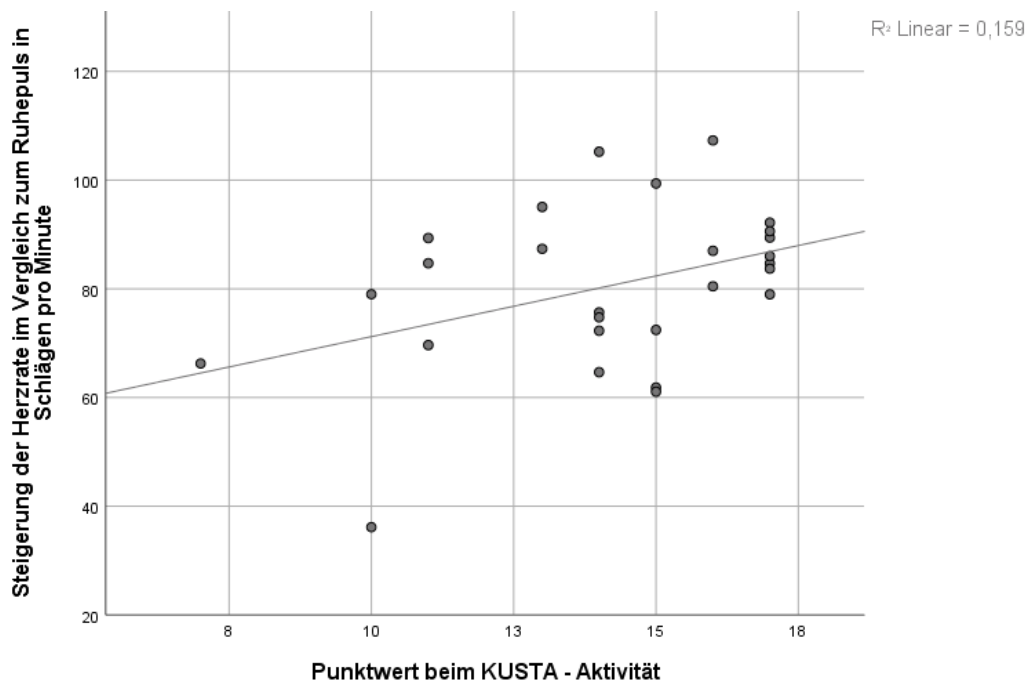


Diagramm 9: Zusammenhang KUSTA-Aktivität -Herzrate

KUSTA Aktivität korreliert mit der Herzfrequenzzunahme ( $r=0,398$ ;  $p=0,04$ ;  $N=27$ ).

KUSTA Spannung-Entspannung korreliert nicht mit der Herzfrequenzzunahme ( $r=0,18$ ,  $p=0,368$ ;  $N=27$ )

Luftverbrauch korreliert nicht mit der Herzfrequenzzunahme ( $r=0,220$   $p=0,251$ ;  $N=29$ )

Beschleunigung korreliert mit der Herzfrequenzzunahme ( $r=0,388$ ;  $p=0,038$ ;  $N=29$ )

Jackeninnentemperatur korreliert mit der Herzfrequenzzunahme ( $r=0,421$ ;  $p=0,29$ ;  $N=27$ )

Die Jackeninnentemperatur als ein Maß für eingeschränkte Temperaturregulation scheint also im Feuerwehrdienst ein signifikanter Belastungsfaktor zu sein.

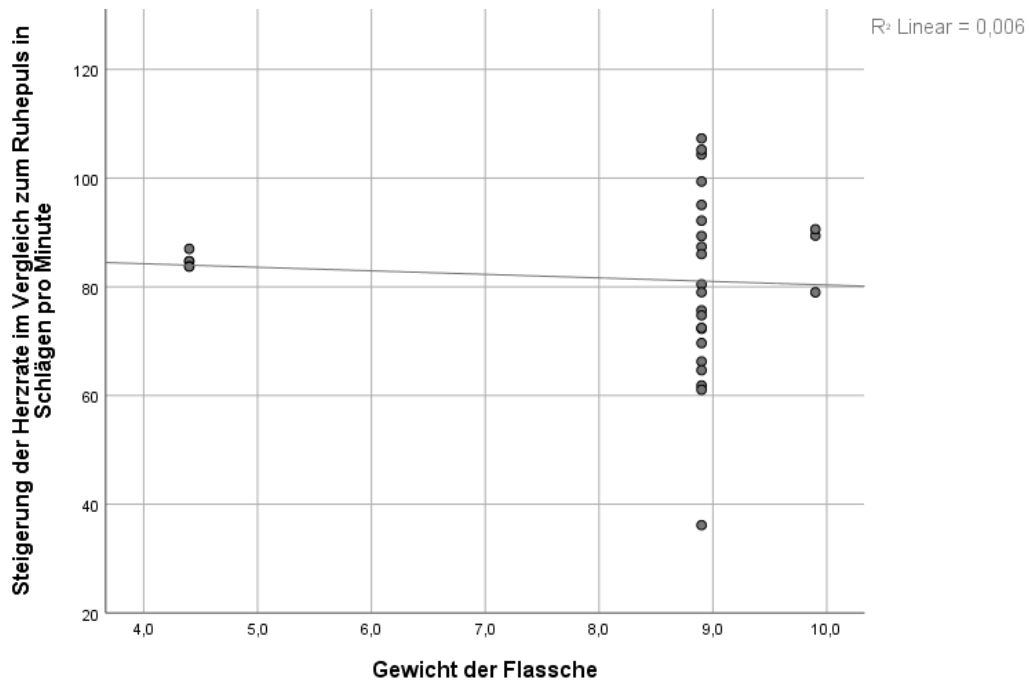


Diagramm 10: Zusammenhang Flaschentyp-Herzrate

Für den Einfluss des Gewichts der Ausrüstung wurden drei Atemschutzflaschentypen verglichen. Die Compositeflaschen mit 6,8l Inhalt sind etwa wiegen etwa 4,4kg, 6l Stahlflaschen wiegen etwa 8,9kg und 2x4l Stahlflaschen wiegen etwa 9,9kg. Das Gewicht der Flaschen im Einzelnen kann je nach Hersteller um einige Gramm abweichen für den Einfluss des Gewichts der Ausrüstung ist allerdings vor allem der große Unterschied zwischen den Stahlflaschen und den Compositeflaschen relevant. Mit einer Compositeflasche wird die gesamte Ausrüstung etwa 20% leichter.

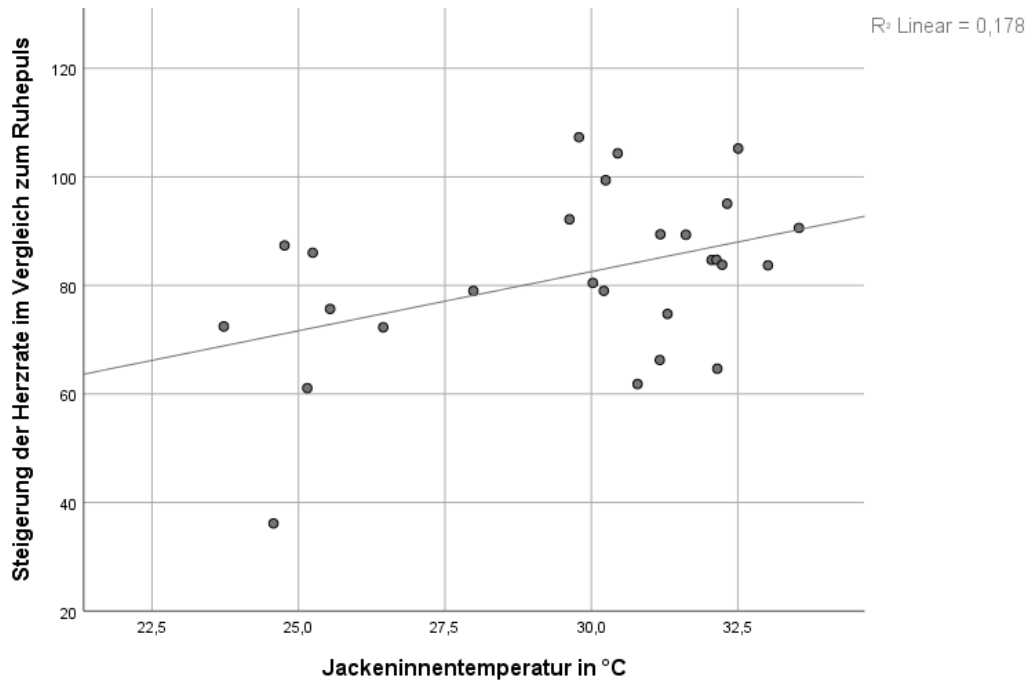


Diagramm 11: Zusammenhang Jackeninnentemperatur-Herzrate

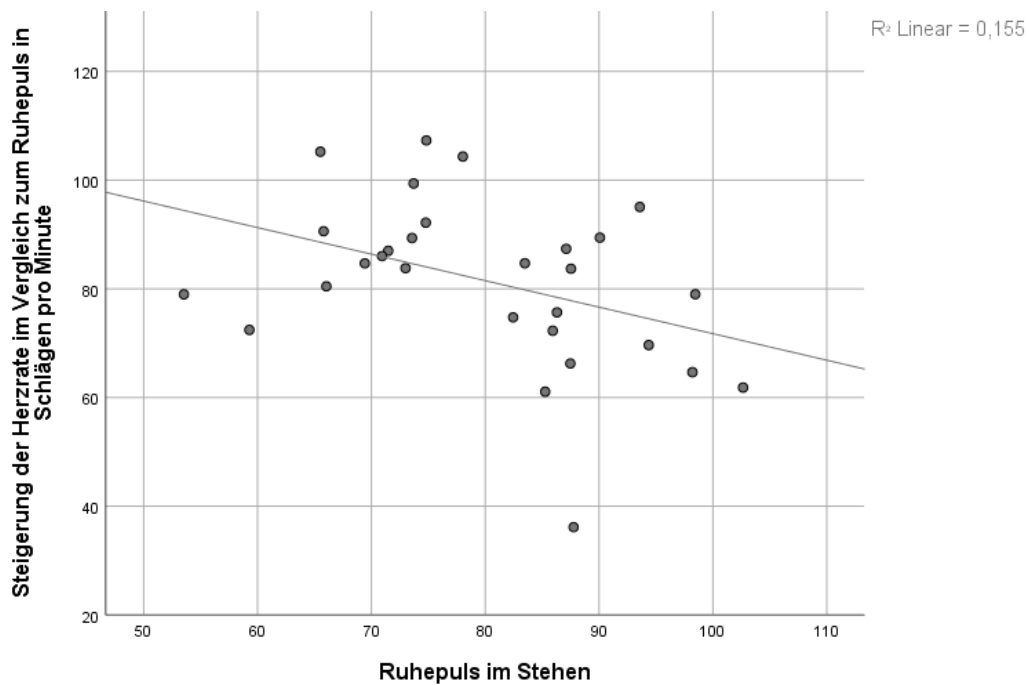


Diagramm 12: Zusammenhang Ruhepuls-Herzfrequenz

Ruheherzfrequenz korreliert nicht mit der Herzfrequenzzunahme ( $r=-0,336$ ;  $p=0,06$ ;  $N=30$ )

Die Dauer der Übung korreliert nicht mit der Herzfrequenzzunahme ( $r=-0,089$ ;  $p=0,647$ ;  $N=29$ ).

Die Nichtraucher unter den Feuerwehrleuten hatten eine durchschnittliche Steigerung der Herzrate um  $73,6 \pm 18,78$  und die Raucher hatten eine durchschnittliche Steigerung um  $86,9 \pm 10,15$ . Ein t-Test für nichtverbundene Stichproben ergab, dass das Rauchverhalten der Feuerwehrleute in keinen Zusammenhang mit der Steigerung der Herzfrequenz steht ( $t(11,99)=-2,08$ ;  $p=0,06$ ).

## Diskussion

Die extremen Herzfrequenzen, die im Laufe der Studie bei den herzgesunden Feuerwehrleuten gemessen wurden machen deutlich, wie wichtig die genauere Betrachtung der Belastungsfaktoren im schweren Atemschutz sind. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass einige Einflussfaktoren, die oft in der Sportphysiologie herangezogen werden, sich nicht so eins zu eins auf den Atemschutz übertragen lassen und einige Faktoren neu in Betracht genommen werden sollten.

### Körperliche Aktivität pro Woche

Die von den Feuerwehrleuten angegebene körperliche Aktivität pro Woche unterscheidet sich individuell sehr stark, da Feuerwehrleute aus verschiedensten Berufsfeldern kommen. Die Angabe von körperlicher Aktivität statt Sport wurde gewählt, um dem Rechnung zu tragen. Jemand, der auf einer Baustelle den ganzen Tag schwere körperliche Arbeit leistet, aber keinen Sport treibt, ist sicherlich körperlich fitter als jemand, der ausschließlich Büroarbeit leistet und zweimal die Woche 1h zum Fußball spielen geht. Leider stellte sich im Laufe der Studie heraus, dass einige Feuerwehrleute diese Formulierung überlesen hatten und ihre tägliche körperliche Aktivität angegeben hatten. Dies könnte den relativ hohen Anteil an körperlich wenig aktiven Feuerwehrleuten, die der hohen Belastung aber dennoch gut gewachsen zu sein scheinen, erklären.

### Jackeninnentemperatur

Es konnte ein starker Anstieg der Jackeninnentemperatur im Verlauf der 3 Stationen bei der Atemschutzstrecke gesehen werden. Insbesondere beim zweiten Durchgang. Dies lässt zwei Schlussfolgerungen zu.

Trotz Schutzkleidung stellt die Außentemperatur eine zusätzliche Belastung für die Feuerwehrleute dar.

Die Schutzkleidung behindert die Wärmeregulation der Feuerwehrleute.

Dies deckt sich auch mit den berichteten Wahrnehmungen von Feuerwehrleuten. Insbesondere im Hochsommer wird das Tragen der Schutzbekleidung als besonders belastend empfunden. Hierbei wäre es interessant zu erforschen, ob die behinderte

Wärmeregulation sich durch ein verbessertes Feuchtigkeitsmanagement oder durch eine aktive Kühlung in der Jacke signifikant verbessern lassen.

Es wäre auch denkbar, dass die erhöhte Jackentemperatur eine Folge der erhöhten Herzrate ist. Dann wäre eine Verbesserung der Wärmeabgabe nach außen wahrscheinlich nicht wirksam.

Dies ist ein Bereich, in dem noch weitere Forschung notwendig ist.

#### Psychologische Fragebögen

Die höheren Werte der Feuerwehrleute in den Dimensionen positiver Affekt und die niedrigen Werte in der Dimension negativer Affekt im Vergleich zur Standardgruppe lassen sich wahrscheinlich damit erklären, dass die Feuerwehrleute im allgemeinen freiwillig beim Atemschutzgeräteträgerlehrgang sind. Sie sind mit der Situation daher insgesamt zufrieden und erleben sie trotz der großen physischen Belastung als angenehm. Auf die Feuerwehrleute kommt im echten Einsatz natürlich auch noch eine erhebliche psychische Belastung zusätzlich hinzu. Erstens kommt hinzu, dass anders als in der Übung der Verlauf des Einsatzgeschehens im Vorhinein nicht bekannt ist. Zweitens ist es sicherlich eine ganz andere psychische Belastung einen echten Menschen nachts um drei Uhr aus Lebensgefahr zu retten als einen Dummie aus einem Feuer zu ziehen. Und drittens ist die Gefahr für die Feuerwehrleute im Einsatz natürlich eine andere als in einer Übungssituation, in der eine wirkliche Gefährdung des Lebens der Feuerwehrleute auch ethisch nicht zu vertreten wäre, so dass viele Übungssituationen erheblich entschärft sind. Dazu sind Beobachtungsstudien erforderlich, welche die Feuerwehrleute während des Einsatzgeschehens beurteilen, was recht schwierig sein wird. Daher empfiehlt Pannier für eine ausreichende psychische Belastungsfähigkeit der AGTs eine entsprechende Vorbereitung in Übungen durch realistische Darstellungen von Verletzungen und Einsatzgeschehen (Pannier 2011).

Die psychologischen Testungen ergaben einen Unterschied zwischen den Beiden Durchläufen beim KUSTA – Aktivität. Obgleich dieser Unterschied nicht signifikant ist, lässt sich vermuten, dass die Feuerwehrleute die ihnen bevorstehende Belastung wahrnehmen und ihrem Fragebogen wiedergeben. Andersherum ist dieser Erklärung natürlich auch möglich, dass bei Feuerwehrleuten, die sich selber als besonders aktiv wahrnehmen, dies auch zu einer entsprechenden Herzratensteigerung führt. Dies bestätigt noch einmal die von Schwerdtfeger berichtete Korrelation zwischen Herzratenvariabilität

(hier als Steigerung der Herzrate) und Ergebnissen der Fragebögen. (Schwerdtfeger, Dick 2019)

EKG

Während der Übungen werden erheblich erhöhte Herzfrequenzen gemessen. Diese können sowohl ein Zeichen für die physische als auch psychische Anstrengung während der Übungen sein. Angesichts der Tatsache, dass es sich bei dem untersuchten Kollektiv um junge, herzgesunde Menschen handelt, wird die besondere Belastung im schweren Atemschutz noch einmal deutlich. Versuche zur kardiovaskulären Fitness bei Feuerwehrleuten mit einem Abbruchkriterium bei einer Herzfrequenz von unter 200 Schlägen pro Minute können sicherlich nicht als einsatzrealistisch eingestuft werden.

Die unterschiedlichen Ruheherzfrequenzen lassen vermuten, dass die Tatsache, dass in Österreich viele Freiwillige Dienst bei der Feuerwehr leisten, für die Verallgemeinerung von Aussagen über Belastungen im Feuerwehrdienst schwierig sind. Bei einer Berufsfeuerwehr ist das Kollektiv bezüglich der körperlichen Fitness sicherlich homogener als in einer freiwilligen Feuerwehr.

Der Anstieg der Herzfrequenz im zweiten Durchgang kann unterschiedliche Gründe haben. Einerseits ist es möglich, dass die Feuerwehrleute durch die Einsatzgeräusche und die Dunkelheit zusätzlich psychisch belastet sind und diese Belastung allerdings nicht in den psychologischen Fragebögen erfasst wurde. Andererseits ist es auch möglich, dass die Feuerwehrleute durch die vorherigen Übungen schon stark ermüdet sind und daher beim zweiten Durchlauf durch die Atemschutzstrecke höhere Herzfrequenzen haben.

Standardabweichung der Herzfrequenz

Die Task Force of The European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology stellen in ihren Guidelines die verschiedenen Methoden zur Beurteilung des autonomen Nervensystems dar. Allen Methoden gemeinsam ist, dass sie eine gewisse Mindestmessdauer haben in denen quasistationäre Bedingungen herrschen. Dies ist im Feuerwehrdienst kaum zu erreichen. Es ist gerade für die Feuerwehrarbeit typisch, dass in schneller Abfolge eine Vielzahl von verschiedenen Tätigkeiten ausgeführt werden. Dauerhafte gleichmäßige Tätigkeit ist eher feuerwehruntypisch. Laborde und Mosley schlagen vor in Fällen, in denen ein Messzeitraum von 1min nicht erreicht wird stattdessen mehrere kurze Zeiträume zu messen. (Laborde, Mosley et al. 2017). Dies ließe

sich im Bereich der Feuerwehr eventuell mit Hilfe von Videoaufzeichnungen bewerkstelligen.

Die gemessenen Unterschiede in der Standardabweichung der Herzfrequenz lassen allerdings vermuten, dass das autonome Nervensystem im Feuerwehrdienst eine große Rolle spielen könnte. Eine genauere Untersuchung ist hier sicher von Interesse. Eine detailliertere Analyse mit Hilfe von wesentlich aufwendigeren Messverfahren sprengt allerdings den Rahmen einer Diplomarbeit.

#### Beschleunigungssensor

Trotzdem die einzelnen Übungen vorgegeben sind zeigte sich bei den einzelnen Feuerwehrleuten eine unterschiedliche körperliche Belastung. Diese Unterschiede könnte man als Grad der Effizienz bei der Durchführung der Übung interpretieren. Zur Verifikation dieser These könnte man überprüfen, ob bei mehrmaliger Durchführung eine gewisse Steigerung der Effizienz eintritt und die Werte für die Beschleunigung sich verringern.

Auffällig ist, dass die Beschleunigungswerte für den ersten und zweiten Durchgang und damit die Aktivierung der Feuerwehrleute sich nicht unterscheiden. Die Dunkelheit beeinflusst anscheinend die Geschwindigkeit, mit der die Übungen in der maximalen Belastungsphase durchgeführt werden, nicht. Eine Untersuchung der durchschnittlichen Beschleunigungswerte in den einzelnen Stationen könnte hier noch einen Hinweis geben, inwieweit die Dunkelheit die Feuerwehrleute in ihrer Geschwindigkeit bei der Durchführung der einzelnen Übungen beeinflusst. Ein direkter Vergleich der Übungsdauer war leider nicht möglich, weil im Zimmerbrandsimulator im Vergleich zum ersten Durchgang beim zweiten Durchgang zwei zusätzliche Hindernisse eingebaut wurden, die dazu führten, dass sich die im Zimmerbrandsimulator verbrachte Gesamtzeit unterschied. Ebenso wurde bei der Industrieanlage ein Element nicht beübt, so dass sich hier im zweiten Durchgang die Übungszeit trotz Dunkelheit verkürzte.

#### Luftverbrauch

Der Luftverbrauch war im Rahmen der Studie schwierig genau zu messen. Aber er ergab trotz der Ungenauigkeit einen Zusammenhang mit der maximalen Herzfrequenz während der Übungen. Da das Atemzeitvolumen auch für Feuerwehrleute in der täglichen Praxis ein

einfach zu bestimmender Wert ist, böte es sich an, dass Feuerwehrleute mittels Atemminutenvolumen ihre individuelle Belastung abschätzen könnten. Dieses Vorgehen wird auch im deutschen Feuerwehrwesen praktiziert. Dort ist jährlich eine Atemschutzübung mit einer festgelegten Belastung von 80kJ mit einem maximalen Luftverbrauch von 1600l zu absolvieren (*Feuerwehr-Dienstvorschrift 7 - FwDV 7. 2005*).

Zusammenhang der Herzratensteigerung mit anderen Messwerten.

#### *Alter und körperliche Aktivität*

In der Sportphysiologie spielen Alter und regelmäßiges Training eine große Rolle. In dieser Studie konnte ein Zusammenhang zwischen den beiden Größen allerdings nicht beobachtet werden. Im Fall des Alters liegt dies wahrscheinlich an der Altersstruktur des Testkollektivs. Fast alle Feuerwehrleute waren um die 20 Jahre alt. Abgesehen von einem AGT war auch niemand über 28, so dass in diesem Testkollektiv auch keine große Varianz des Alters vorhanden war, die eventuell einen Einfluss auf die physische Leistungsfähigkeit gehabt haben könnte. Dies ließe sich vermeiden, wenn man statt eines Anfängerkurses einen Kurs für erfahrenere AGTs für eine Studie beobachtet.

Zwischen der angegebenen körperlichen Aktivität und der Herzrate ließ sich in dieser Studie kein Zusammenhang nachweisen. Bei der Betrachtung des Punktwolken-Diagramms zum Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und Steigerung der Herzrate (Diagramm 6, S. 38), sind zwei Gruppen erkennbar. Einerseits Feuerwehrleute die mehr als 30 Stunden pro Woche aktiv sind und andererseits Feuerwehrleute, die deutlich weniger als 30 Stunden pro Woche aktiv sind. Dies sind wohl die Gruppen mit und ohne körperlich anstrengende Berufe. Leider ist nicht auszuschließen, dass etliche Feuerwehrleute, statt ihrer wöchentlichen Aktivität anzugeben, ihre tägliche Aktivität angegeben haben. Es ist möglich, dass dieser Fehler im Datenmaterial einen Zusammenhang verschleiert.

#### *Jackeninnentemperatur*

Zwischen der Jackeninnentemperatur gegen Ende des Übungsdurchganges und der Steigerung der Herzrate im Zimmerbrandsimulator gab es einen deutlich beobachtbaren Zusammenhang. Dies bestätigt auch die subjektiv berichteten Wahrnehmungen der Feuerwehrleute, dass vor allem das Schwitzen während des Einsatzes ein Problem ist. Ein möglicher Versuchsaufbau zur Bekräftigung dieser These wäre es, eine Kontrollgruppe mit Atemschutz und Sportbekleidung die gleiche Leistung erbringen zu lassen und zu überprüfen, ob sich hier signifikante Unterschiede ergeben. Ebenso wäre es sicherlich

interessant zu sehen in wie weit sich die Uniformen verschiedener Hersteller in ihren Auswirkungen auf die Belastung der Feuerwehrleute auswirken. Thorns sieht die hier die Atmungsaktivität (messbar am  $R_{ET}$ -Wert) und das Ersetzen des Feuerwehrgurtes durch eine Rettungsschleufe, um eine „Zuschnürung“ zu vermeiden als mögliche Ansatzpunkte (Thorns 2017).

### *Gewicht der Ausrüstung*

Eine weitere Frage ist, ob das Gewicht der Ausrüstung eine entscheidende Rolle bei der Leistungsfähigkeit spielt. In dieser Studie gab es keinen Hinweis, dass sich die Feuerwehrleute mit den deutlich leichteren Compositeflaschen signifikant in ihrer Steigerung der Herzrate von denen mit schwereren Stahlflaschen unterschieden. Allerdings ist die Aussagekraft dieser Studie in dieser Frage nicht besonders hoch, da nur wenige Feuerwehrleute Compositeflaschen benutzten. Louhevaara u.a. haben bereits den Einfluss der Ausrüstung im schweren Atemschutz auf die Leistungsfähigkeit der Feuerwehrleute untersucht. Sie vergleichen die Leistungsfähigkeit mit und ohne persönliche Schutzausrüstung und kommen zu dem Schluss, dass die Ausrüstung zu schwer sei. (Louhevaara, Ilmarinen et al. 1995). Diese Beobachtung konnte in dieser Studie so nicht bestätigt werden. Es scheint eher so zu sein, dass die thermoisolierende Wirkung der Ausrüstung der größere Einflussfaktor ist.

### *Offen gebliebene Fragen*

Die weitere Analyse der bisher noch nicht berücksichtigten Daten im Rahmen einer weiteren retrospektiven Studie könnte auch noch interessante Informationen ergeben. Ein Vergleich der Daten der Trockenübung am Nachmittag des zweiten Tages, der Übung im Rauchkeller und der Einsatzübung am dritten Tag könnte noch ein genaueres Verständnis über den Einfluss der Belastung durch wirkliches Feuer liefern. Denn die Trockenübung und die Einsatzübung unterscheiden sich im Grunde genommen darin, dass bei der Trockenübung keine Feuer brennt und kein Wasser am Schlauch ist. Die Feuerwehrleute üben in beiden Fällen die Menschenrettung und Brandbekämpfung im 1.Stock eines Wohnhauses. Bei der Übung im Rauchkeller sind die Feuerwehrleute nur den Belastungen des Feuers und Rauches ausgesetzt. Es herrscht im Rauchkeller eine sehr schlechte Sicht und die Luft ist nicht atembar. Die Feuerwehrleute müssen bei der Übung im Rauchkeller allerdings keine große physische Leistung erbringen. Bei der Einsatzübung am dritten Tag kommen die beiden Faktoren physische Belastung und Belastung durch Rauch dann gemeinsam zum Tragen.

## Literaturverzeichnis

RL - 4.6 /92 - 2008 Atemschutzgeräteträger-Tauglichkeitsuntersuchung - "AKL-Test" und "ÖFAST". 2017. Richtlinie edn. Landesfeuerwehrverband Steiermark.

Feuerwehr-Dienstvorschrift 7 - FwDV 7. 2005. Dienstvorschrift edn. Heyrothsberge: Deutscher Feuerwehrverband.

Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. 1996. *Circulation*, **93**(5), pp. 1043-1065.

AL-ZAITI, S., RITTENBERGER, J.C., REIS, S.E. and HOSTLER, D., 2015. Electrocardiographic Responses During Fire Suppression and Recovery Among Experienced Firefighters. *Journal of occupational and environmental medicine*, **57**(9), pp. 938-942.

BINZ, U. and WENDT, G., 1984. *Die Kurz-Skala Stimmung/Aktivierung (KUST) Manual*. Frankfurt/M: Ciba-geigy GmbH.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC), 2006. Fatalities among volunteer and career firefighters--United States, 1994-2004. *MMWR.Morbidity and mortality weekly report*, **55**(16), pp. 453-455.

CRAWFORD, J.R. and HENRY, J.D., 2004. The positive and negative affect schedule (PANAS): construct validity, measurement properties and normative data in a large non-clinical sample. *The British journal of clinical psychology*, **43**(Pt 3), pp. 245-265.

KALES, S.N., SOTERIADES, E.S., CHRISTOPHI, C.A. and CHRISTIANI, D.C., 2007. Emergency duties and deaths from heart disease among firefighters in the United States. *The New England journal of medicine*, **356**(12), pp. 1207-1215.

KIM, S.C., LEE, H.J., SHIN, D.M., KU, B.S., OH, J.H., CHO, B.J., IN, H. and MA, J.Y., 2018. Cardiovascular risk in fire academy instructors during live-fire simulation activity. *Annals of burns and fire disasters*, **31**(4), pp. 313-321.

KROHNE, H.W., EGLOFF, B., KOHLMANN, C. and TAUSCH, A., 1996. Untersuchungen mit einer deutschen Version der "Positive and Negative Affect Schedule" (PANAS). [Investigations with a German version of the Positive and Negative Affect Schedule (PANAS).]. *Diagnostica*, **42**(2), pp. 139-156.

KURTZ, A., 2014. Atmung. In: H. PAPE, A. KURTZ and S. SILBERNAGEL, eds, *Physiologie*. 7 edn. Stuttgart: Thieme, pp. 303-364.

LABORDE, S., MOSLEY, E. and THAYER, J.F., 2017. Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research - Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. *Frontiers in psychology*, **8**, pp. 213.

LACKNER, H.K., GOSWAMI, N., PAPOUSEK, I., ROESSLER, A., GRASSER, E.K., MONTANI, J.P., JEZOVA, D. and HINGHOFER-SZALKAY, H., 2010. Time course of cardiovascular responses induced by mental and orthostatic challenges. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, **75**(1), pp. 48-53.

LOUHEVAARA, V., ILMARINEN, R., GRIEFAHN, B., KUNEMUND, C. and MAKINEN, H., 1995. Maximal physical work performance with European standard based fire-protective clothing system and equipment in relation to individual characteristics. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, **71**(2-3), pp. 223-229.

MCCORRY, L.K., 2007. Physiology of the autonomic nervous system. *American Journal of Pharmaceutical Education*, **71**(4), pp. 78.

ÖSTERREICHISCHER BUNDESFEUERWEHRVERBAND, März 2015, 2018-last update, Landesfeuerwehrverband Steiermark - Statistik. Available: <https://www.bundesfeuerwehrverband.at/landesfeuerwehrverbaende/lfv-steiermark/#statistik> [01.10.2019, 2019].

PANNIER, C., 2011. Persönliche Voraussetzungen für einen sicheren Einsatz unter Atemschutz - Psychische Leistungsfähigkeit. In: U. CIMOLINO, ed, *Atemschutz sicheres und effizientes Vorgehen, suchverfahren, Geräte und Hilfsmittel*. 5. edn. ecomed, pp. 352-354.

PORTO, L.G.G., SCHMIDT, A.C.B., DE SOUZA, J.M., NOGUEIRA, R.M., FONTANA, K.E., MOLINA, G.E., KORRE, M., SMITH, D.L., JUNQUEIRA, L.F. and KALES, S.N., 2019. Firefighters' basal cardiac autonomic function and its associations with cardiorespiratory fitness. *Work (Reading, Mass.)*, **62**(3), pp. 485-495.

SCHWERDTFEGER, A.R. and DICK, K., 2019. Episodes of momentary resilience in daily life are associated with HRV reductions to stressful operations in firefighters: an ambulatory assessment approach using bayesian multilevel modeling. *The Journal of Positive Psychology*, **14**(5), pp. 593-602.

SHIN, J.H., LEE, J.Y., YANG, S.H., LEE, M.Y. and CHUNG, I.S., 2016. Factors related to heart rate variability among firefighters. *Annals of occupational and environmental medicine*, **28**, pp. 25-016-0111-6. eCollection 2016.

SMITH, D.L., MANNING, T.S. and PETRUZZELLO, S.J., 2001. Effect of strenuous live-fire drills on cardiovascular and psychological responses of recruit firefighters. *Ergonomics*, **44**(3), pp. 244-254.

SMITH, D.L., PETRUZZELLO, S.J., KRAMER, J.M. and MISNER, J.E., 1997. The effects of different thermal environments on the physiological and psychological responses of firefighters to a training drill. *Ergonomics*, **40**(4), pp. 500-510.

THORNS, J., 2017. Persönliche Schutzausrüstung. In: REDAKTION DER FACHZEITSCHRIFT BRANDSCHUTZ/DEUTSCHE FEUERWEHRZEITUNG, ed, *Das Feuerwehr-Lehrbuch Grundlagen-Technik-Einsatz*. 5. edn. Kohlhammer, pp. 146-158.

WATSON, D., CLARK, L.A. and TELLEGEN, A., 1988. Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales. *Journal of personality and social psychology*, **54**(6), pp. 1063-1070.

## Abbildungsverzeichnis

(Fall nicht anders angegeben, handelt es sich um selbst erstellte Abbildungen)

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Atemschutzgeräteträgerin in vollständiger Ausrüstung (mit freundlicher Genehmigung von Sarah Schiller)..... | 13 |
| Abbildung 2: Endlosleiter, Laufband und Schlaghammer im Fitnessraum .....  | 15 |
| Abbildung 3: Zimmerbrandsimulator.....   | 16 |
| Abbildung 4: Kessel in der Industrieanlage .....   | 16 |
| Abbildung 5: Rohr in der Industrieanlage .....   | 16 |

## Diagrammverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Diagramm 1: Vergleich der Jackeninnentemperaturen im 1. und 2. Durchgang .....                     | 26 |
| Diagramm 2: Vergleich Steigerung Herzrate im 1. und 2. Durchlauf.....                              | 31 |
| Diagramm 3: Standardabweichung der Herzfrequenzen abhängig vom Übungsverlauf ....                  | 32 |
| Diagramm 4: Verlauf der Beschleunigung.....  | 34 |
| Diagramm 5: Punktzahl beim PANAS Spannung-Entspannung in Abhängigkeit vom Erhebungszeitpunkt ..... | 38 |
| Diagramm 6:Zusammenhang Alter- Steigerung der Herzrate.....  | 39 |
| Diagramm 7:Zusammenhang: körperliche Aktivität- Steigerung der Herzrate .....                      | 40 |
| Diagramm 8:Zusammenhang positiver Affekt-Herzrate.....   | 40 |
| Diagramm 9: Zusammenhang KUSTA–Aktivität -Herzrate.....  | 41 |
| Diagramm 10:Zusammenhang Flaschentyp-Herzrate .....  | 42 |
| Diagramm 11: Zusammenhang Jackeninnentemperatur-Herzrate .....                                     | 43 |
| Diagramm 12: Zusammenhang Ruhepuls-Herzfrequenz .....  | 43 |

## Anhang

Grafik Kursablauf

Biographischer Fragebogen

Probandeninformation

PANAS

KUSTA





## **Kardiovaskuläre Anpassungen im schweren Atemschutz der Feuerwehr**

Sehr geehrte Teilnehmerinnen und Teilnehmer!

Wir laden Sie ein an der oben genannten klinischen Studie teilzunehmen. Die Aufklärung darüber erfolgt in einem ausführlichen Gespräch.

**Ihre Teilnahme an dieser klinischen Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen aus der Studie ausscheiden. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie hat keine nachteiligen Folgen für Ihre medizinische Betreuung oder ihr Abschneiden im Atemschutzgeräteträgerkurs.**

Klinische Studien sind notwendig, um verlässliche neue medizinische Forschungsergebnisse zu gewinnen. Unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung einer klinischen Studie ist jedoch, dass Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dieser klinischen Studie schriftlich erklären. Bitte lesen Sie den folgenden Text als Ergänzung zum Informationsgespräch mit Ihrer Studienleitung sorgfältig durch und zögern Sie nicht Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

wenn Sie Art und Ablauf der klinischen Studie vollständig verstanden haben,

wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen und

wenn Sie sich über Ihre Rechte als Teilnehmer an dieser klinischen Studie im Klaren sind.

Zu dieser klinischen Studie, sowie zur Patienteninformation und Einwilligungserklärung wurde von der zuständigen Ethikkommission eine befürwortende Stellungnahme abgegeben.

### **1. Was ist der Zweck der klinischen Studie?**

Während eines Einsatzes unter schwerem Atemschutz ist der Körper besonderen Belastungen ausgesetzt. Diese Belastungen entstehen durch die körperliche Anstrengung, die Veränderungen in der Atmung durch den Pressluftatmer, die Belastungen durch Hitze und die psychischen Belastungen im Einsatz.

Damit wir den Einfluss all dieser Belastungen auf das Herz-Kreislaufsystem besser verstehen, sollen während der Ausbildung von Atemschutzgeräteträgerinnen und Atemschutzgeräteträgern (AGTs) das Verhalten des Herz-Kreislaufsystems beobachtet werden.

### **2. Wie läuft die klinische Studie ab?**

Diese klinische Studie wird an der Feuerwehr und Zivilschutzschule in Lebring durchgeführt, und es werden 12-39 Feuerwehrleute daran teilnehmen.

Ihre Teilnahme an dieser klinischen Studie für die Dauer des Kurses an der Feuerwehr und Zivilschutzschule vorgesehen (3 Tage)

Folgende Maßnahmen werden ausschließlich aus Studiengründen durchgeführt:

Während dieser klinischen Studie werden die folgenden Untersuchungen durchgeführt:

Zu Beginn werden Sie gebeten, zwei Fragebögen auszufüllen. Anschließend werden zwei Elektroden Brustkorbbereich befestigt. An diesen Elektroden wird ein kleines EKG-Aufzeichnungsgerät befestigt (Aufnahme der elektrischen Aktivität der Herzmuskelzellen). Sie werden gebeten, dieses Gerät während des Kurses zu tragen. Außerdem werden sie gebeten werden im Laufe des Kurses zwei weitere Male einen kurzen Fragebogen auszufüllen.

**3. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Klinischen Studie?**

Es ist nicht zu erwarten, dass Sie aus Ihrer Teilnahme an dieser klinischen Studie einen unmittelbaren gesundheitlichen Nutzen ziehen werden. Ziel dieser klinischen Studie ist jedoch den Einfluss einzelner Belastungsfaktoren auf die AGTs genauer zu untersuchen.

**4. Gibt es Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen?**

Es können die im Rahmen dieser klinischen Studie durchgeführten Maßnahmen zu Beschwerden führen, wie z. B. in äußerst seltenen Fällen zu einer geringfügigen Hautreizung durch die EKG-Elektroden oder ein leichter Druckschmerz durch die Platzierung des EKG-Aufzeichnungsgeräts. Die Ergebnisse der Messung werden keinen Einfluss auf ihr Bestehen des Kurses haben.

**5. Zusätzliche Einnahme von Arzneimitteln?**

Nein.

**6. Hat die Teilnahme an der klinischen Studie sonstige Auswirkungen auf die Lebensführung und welche Verpflichtungen ergeben sich daraus?**

Bei Teilnahme an der klinischen Studie werden Sie gebeten, auf das EKG Gerät acht zu geben und dies beim Duschen abzulegen und nachher wieder anzulegen. Außerdem werden ihre Aktivitäten während des Kurses durch die Versuchsleitung protokolliert um die Herzaktivität den entsprechenden Belastungen zuordnen zu können.

**7. Was ist zu tun beim Auftreten von Symptomen, Begleiterscheinungen und/oder Verletzungen?**

Sollten im Verlauf der klinischen Studie irgendwelche Symptome, Begleiterscheinungen oder Verletzungen auftreten, müssen Sie diese Ihrem Arzt mitteilen, bei schwerwiegenden Begleiterscheinungen umgehend, ggf. telefonisch (Telefonnummern, etc. siehe unten).

## 8. Wann wird die klinische Studie vorzeitig beendet?

Sie können jederzeit auch ohne Angabe von Gründen, Ihre Teilnahmebereitschaft widerrufen und aus der klinischen Studie ausscheiden, ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile entstehen.

Ihre Studienleitung wird Sie über alle neuen Erkenntnisse, die in Bezug auf diese klinische Studie bekannt werden, und für Sie wesentlich werden könnten, umgehend informieren. Auf dieser Basis können Sie dann Ihre Entscheidung zur **weiteren** Teilnahme an dieser klinischen Studie neu überdenken.

Es ist aber auch möglich, dass Ihre Studienleitung entscheidet, Ihre Teilnahme an der klinischen Studie vorzeitig zu beenden, ohne vorher Ihr Einverständnis einzuholen, sofern Sie den Erfordernissen der klinischen Studie nicht entsprechen.

## 9. Datenschutz

Bei den Daten, die über Sie im Rahmen dieser klinischen Studie erhoben werden, ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen

- 1) jenen personenbezogenen Daten, anhand derer Sie direkt identifizierbar sind (z.B. Name, Geburtsdatum, Adresse...) und
- 2) pseudonymisierten (verschlüsselten) Daten, bei denen alle Informationen, die direkte Rückschlüsse auf Ihre Identität zulassen, durch einen Code (z. B. eine Zahl) ersetzt werden.

Der Code wird von den verschlüsselten Datensätzen streng getrennt und nur an Ihrem Prüfzentrum aufbewahrt. Zugang zu Ihren nicht verschlüsselten Daten haben die Studienleitung und andere Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Prüfzentrums, die an der klinischen Studie oder Ihrer medizinischen Versorgung mitwirken. Die Daten sind gegen unbefugten Zugriff geschützt. Zusätzlich können autorisierte und zur Verschwiegenheit verpflichtete Beauftragte des Sponsors (Medizinische Universität Graz) sowie Beauftragte von In- und/oder ausländischen Gesundheitsbehörden und jeweils zuständige Ethikkommissionen in die nicht verschlüsselten Daten Einsicht nehmen, soweit dies für die Überprüfung der ordnungsgemäßen Durchführung der klinischen Studie notwendig bzw. vorgeschrieben ist. Diese Personen unterliegen einer strengen Geheimhaltungspflicht.

Eine Weitergabe der Daten, insbesondere an den Sponsor (Medizinischen Universität Graz) und seine Vertragspartner, erfolgt nur in verschlüsselter Form. Auch für etwaige Publikationen werden nur die verschlüsselten Daten verwendet.

Sie können Ihre Einwilligung zur Erhebung Ihrer Daten jederzeit widerrufen. Nach Ihrem Widerruf werden keine weiteren Daten mehr über Sie erhoben. Die bis zum Widerruf erhobenen Daten können allerdings weiter im Rahmen dieser klinischen Studie verwendet werden.

Aufgrund der gesetzlichen Vorgaben haben Sie außerdem, sofern dies nicht die Durchführung der klinischen Studie beeinträchtigt, das Recht auf Einsicht in die von Ihnen erhobenen Daten und die Möglichkeit der Berichtigung, falls Sie Fehler feststellen.

Sie haben auch das Recht, bei der österreichischen Datenschutzbehörde eine Beschwerde über den Umgang mit Ihren Daten einzubringen ([www.dsb.gv.at](http://www.dsb.gv.at)).

Sämtliche Personen, die Zugang zu Ihren verschlüsselten und nicht verschlüsselten Daten erhalten, unterliegen im Umgang mit den Daten dem österreichischen Datenschutzgesetz in seiner gültigen Fassung sowie der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO).

Auch die Dauer der Speicherung Ihrer Daten ist durch Rechtsvorschriften geregelt.

Falls Sie Fragen zum Umgang mit Ihren Daten in dieser klinischen Studie haben, wenden Sie sich zunächst an Ihre Studienleitung. Diese kann Ihr Anliegen ggf. an die Personen, die beim Sponsor oder am Prüfzentrum für den Datenschutz verantwortlich sind, weiterleiten.

Datenschutzbeauftragter *des Prüfzentrums*: [datenschutz@m\\*\\*\\*\\*\\*z.at](mailto:datenschutz@m*****z.at) oder  
Tel.: ..+43/664/\*\*\*\*\*

#### **10. Entstehen für die Teilnehmer Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?**

Durch Ihre Teilnahme an dieser klinischen Studie entstehen für Sie keine zusätzlichen Kosten. Ein Kostenersatz oder eine Vergütung ist nicht vorgesehen.

#### **11. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen**

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser klinischen Studie stehen Ihnen die Studienleitung gern zur Verfügung. Auch Fragen, die Ihre Rechte als Teilnehmerin oder Teilnehmer an dieser klinischen Studie betreffen, werden Ihnen gerne beantwortet.

Name der Kontaktperson: Katrin Schole

Ständig erreichbar unter: 067\*\*\*\*\*

Name der Kontaktperson: Dr.<sup>in</sup> Karin Schmid-Zalaudek

Ständig erreichbar unter: 0676 \*\*\*\*\* oder 316 \*\*\*\*\*

## 12. Einwilligungserklärung

Name des Patienten in Druckbuchstaben: .....

Geb.Datum: .....

Ich erkläre mich bereit, an der klinischen Studie „**Kardiovaskuläre Anpassungen im schweren Atemschutz der Feuerwehr.**“ teilzunehmen. Ich bin von Frau Katrin Schole ausführlich und verständlich über die klinische Studie, mögliche Belastungen und Risiken, sowie über Wesen, Bedeutung und Tragweite der klinischen Studie, sich für mich daraus ergebenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text dieser Probandenaufklärung und Einwilligungserklärung, die insgesamt 7 Seiten umfasst gelesen. Aufgetretene Fragen wurden mir von der Studienleitung verständlich und genügend beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zu entscheiden. Ich habe zurzeit keine weiteren Fragen mehr.

Ich werde den ärztlichen Anordnungen, die für die Durchführung der klinischen Studie erforderlich sind, Folge leisten, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile für meine weitere medizinische Betreuung oder für das Bestehen des Lehrgangs Atemschutzgeräteträger entstehen.

Ich stimme ausdrücklich zu, dass meine im Rahmen dieser klinischen Studie erhobenen Daten wie im Abschnitt „Datenschutz“ dieses Dokuments beschrieben verwendet werden.

Für den Fall, dass ich aus der Studie ausscheide, bin ich einverstanden, dass meine Proben weiterhin aufbewahrt und analysiert werden, wie in dieser Information beschrieben:

ja

nein

Eine Kopie dieser Probandeninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten.

Das Original verbleibt bei der Studienärztin.

.....  
(Datum und Unterschrift des Probanden/der Probandin)

.....  
(Datum, Name und Unterschrift der verantwortlichen Prüferin)

## Biographischer Fragebogen

Fragebogen Studie – Kardiovaskuläre Anpassung im schweren Atemschutz der Feuerwehr

Teilnehmeridentifikationsnummer: \_\_\_\_\_

Alter: \_\_\_\_\_

Geschlecht: weiblich  männlich

AKL-befristet tauglich  AKL-tauglich  AKL-nicht tauglich

Raucher  Nichtraucher

Berufsfeuerwehr  Betriebsfeuerwehr  freiwillige Feuerwehr

wöchentliche körperliche Belastung (Sport und/oder Arbeit) in Stunden ca. \_\_\_\_\_ Stunden

Medikamenteneinnahme: \_\_\_\_\_

Pflasterallergie: nein  ja



**Geben Sie bitte an, wie Sie sich MOMENTAN fühlen**

|                | gar nicht                | ein bisschen             | einigermaßen             | erheblich                | äußerst                  |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| aktiv          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| interessiert   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| bekümmert      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| freudig erregt | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| verärgert      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| schuldig       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| stark          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| erschrocken    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| angeregt       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| stolz          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| feindselig     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| begeistert     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| gereizt        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| wach           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| beschämt       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| nervös         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| durcheinander  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| entschlossen   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ängstlich      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| aufmerksam     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

MÜSTER