

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich tatkräftig bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Zuallererst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Andre Klusmann und Herrn Florian Hartart M.A. von der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg für die Betreuung dieser Arbeit bedanken. Bei benötigten Materialien und sämtlichen Fragen wurde mir stets weitergeholfen.

Ein weiterer großer Dank geht an die Feuerwehr Ibbenbüren, für das zur Verfügung stellen des in Eigenarbeit errichteten Übungshauses. Auch möchte ich mich bei der Feuerwehr Ibbenbüren sowie der Firma Parsch Schläuche Armaturen GmbH & Co. KG für die finanzielle Unterstützung bei der Beschaffung der benötigten Feuerwehr-Druckschläuche bedanken.

Ein besonderer Dank gilt auch allen Teilnehmer*innen der Übungen für einen reibungslosen Ablauf und die tatkräftige Mitarbeit.

An dieser Stelle möchte ich allen Freunden danken, die mir jeder Zeit mit Rat und Tat zur Seite standen. Durch eure Kommentare und Fragen habt ihr in gewisser Weise einen wesentlichen Beitrag zur Erstellung dieser Arbeit geleistet.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Familie danken, die mir dieses Studium ermöglicht und mich bei meiner Bachelorarbeit und in jeder Situation des Studiums unterstützt hat.

Thema der Bachelorthesis:

Analyse der körperlichen Belastung beim Einsatz der genormten Feuerwehrschräuche C52 und C42 im Vergleich zum C38 zur Innenbrandbekämpfung

Stichworte:

Innenbrandbekämpfung, Feuerwehr-Druckschräuche, physische Belastung, C38, C42, C52

Hintergrund:

Druckschräuche mit den Innendurchmessern 42 mm und 52 mm sind in Deutschland genormt und für die Brandbekämpfung empfohlen. In anderen Ländern werden Druckschräuche mit einem Innendurchmesser von 38 mm verwendet. Ein größerer Innendurchmesser führt zu einem erhöhten Eigengewicht des mit Wasser gefüllten Druckschlauches. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die körperlichen Belastungsunterschiede zwischen diesen Druckschräuchen zu analysieren.

Methode:

Für die Analyse der Druckschräuche wurde ein standardisiertes Übungsszenario erarbeitet, welches für jeden der Druckschräuche C52, C42 und C38, von insgesamt 26 Proband*innen, truppweise unter Atemschutz einmal durchgeführt. Während der Übung wurden die Parameter Herzschlagfrequenz und Zeitdauer erfasst. Im Anschluss wurde der Gesamtenergieumsatz durch das verbrauchte Luftvolumen der Atemschutzflasche, nach dem Absolvieren des Übungsszenarios, berechnet und die empfundene Belastungsintensität nach Borg erhoben. Abschließend wurden die Übungsdurchläufe mit Leitmerkalmethoden objektiv betrachtet sowie eine subjektive Bewertung der Proband*innen erhoben.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse zeigen, dass der C38 Druckschlauch bei einer Mehrheit der betrachteten Parametern zu einer signifikanten Belastungsreduzierung, im Vergleich zum C42 Druckschlauch, führt. Bei dem Vergleich des C52 Druckschlauches zum C38 Druckschlauch kommt es in allen Parametern, außer der Herzschlagfrequenz, zu einer signifikanten physischen Belastungsreduktion.

Diskussion:

Die Verwendung eines C38 Druckschlauches führt, im untersuchten Übungsszenario, zu einer signifikanten Reduzierung der körperlichen Belastung im Vergleich zu dem Druckschräuchen C52. Diese Reduzierung ermöglicht den Einsatzkräften eine effektivere und sicherere Innenbrandbekämpfung. Aus diesem Grund sollte auf Grundlage weiterer Studien eine Normierung des C38 Druckschlauches angestrebt werden.

Title of the paper:

Analysis of physical stress during the use of the standardised fire hoses C52 and C42 in comparison to the C38 for indoor fire fighting.

Keywords:

Indoor firefighting, firefighting pressure hoses, physical strain, C38, C42, C52.

Abstract:

Pressure hoses of inner diameters 42 mm and 52 mm are standardised and recommended for firefighting in Germany. In other countries, pressure hoses with an inner diameter of 38 mm are used. A larger inner diameter leads to an increased dead weight of the pressure hose filled with water. The aim of this paper is to analyse the physical load differences between these pressure hoses.

Methods:

For the analysis of the pressure hoses, a standardised exercise scenario was developed and carried out once for each of the pressure hoses C52, C42 and C38, by a total of 26 participants, in squads under breathing protection. During the exercise, the parameters heart rate and duration were recorded. Subsequently, the total energy expenditure was calculated by the volume of air consumed in the breathing apparatus cylinder during the exercise and the perceived stress intensity according to Borg was recorded. Finally, the exercise runs were objectively observed with key feature methods and a subjective evaluation of the test persons was collected.

Results:

The results show that the C38 pressure hose leads to a significant reduction in load for a majority of the parameters considered, compared to the C42 pressure hose. When comparing the C52 pressure hose to the C38 pressure hose, there is a significant physical strain reduction in all parameters except heart rate.

Discussion:

The use of a C38 pressure hose leads to a significant reduction in physical strain compared to the C52 pressure hose in the exercise scenario examined. This reduction enables emergency services to fight internal fires more effectively and safely. For this reason, a standardisation of the C38 pressure hose should be aimed for on the basis of further studies.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	IX
Begriffs- und Abkürzungsverzeichnis	X
1 Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen	4
2.1 Einführung in das deutsche Feuerwehrwesen	4
2.2 Feuerwehr-Druckschläuche	6
2.2.1 Grundlagen der DIN 14811-2008	6
2.2.2 Verwendete Feuerwehr-Druckschläuche in Deutschland	9
2.2.3 International verwendete Feuerwehr-Druckschläuche	9
2.3 Physische Belastungen in der Innenbrandbekämpfung	10
2.4 Fragestellung	13
3 Material und Methoden	14
3.1 Experimentelle Untersuchung anhand eines Übungsszenarios	14
3.1.1 Übungsszenario	14
3.1.2 Proband*innen	19
3.1.3 Material	20
3.1.4 Durchführung	24
3.2 Erhobene Parameter während und nach dem Übungsszenario	28
3.2.1 Herzschlagfrequenz	28
3.2.2 Energieumsatz	29
3.2.3 Borg-Skala	30
3.2.4 Leitmerkmalmethoden	31
3.2.5 Zeitdauer	33
3.2.6 Befragung der Proband*innen	34
3.3 Statistische Auswertung der Daten	35

4	Ergebnisse der Übungsdurchführen	36
4.1	Auszuwertende Daten	36
4.2	Ergebnisse der Charakterisierung der Proband*innen	37
4.3	Ergebnisse der ermittelten Herzschlagfrequenz	40
4.4	Ergebnisse des ermittelten Gesamtenergieumsatzes	43
4.5	Ergebnisse der Borg-Skala	46
4.6	Ergebnisse der Leitmerkmalmethoden	49
4.6.1	Leitmerkmalmethode „Ganzkörperkräfte“	49
4.6.2	Leitmerkmalmethode „Körperfortbewegung“	50
4.7	Ergebnisse der ermittelten Zeitdauer	52
4.8	Ergebnisse der subjektiven Bewertung der Proband*innen	56
4.9	Zusammenfassung der Ergebnisse	59
5	Diskussion	60
5.1	Diskussion der Methodik	60
5.2	Diskussion der Ergebnisse	66
5.3	Limitation	73
6	Fazit und Ausblick	74
	Literaturverzeichnis	XI
	Anhang	XVIII
	Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit	XXVII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Bezeichnung nach DIN 14811-A2	8
Abbildung 2: Angepasster Übungsablauf (eigene Darstellung)	15
Abbildung 3: Übungsaufbau in der Draufsicht (eigene Darstellung)	16
Abbildung 4: Erdgeschoss des Übungshauses der Feuerwehr Ibbenbüren	17
Abbildung 5: Obergeschoss des Übungshauses der Feuerwehr Ibbenbüren	17
Abbildung 6: Platzierte Hindernisse und Übungsbedingungen (eigene Darstellung)	18
Abbildung 7: Getragene persönliche Schutzausrüstung	20
Abbildung 8: Schlauchhöhen im Vergleich (eigene Darstellung)	23
Abbildung 9: Hohlstrahlrohr "HAMBURG FORCE"	23
Abbildung 10: Endpunkt der Übung (Brandort) (eigene Darstellung)	26
Abbildung 11: Position des getragenen Herzschlagfrequenzsensors mit Brustgurt (eigene Darstellung)	28
Abbildung 12: Abschlussbefragung der Proband*innen	34
Abbildung 13: Altersstruktur der Proband*innen Gruppe C52/42 (n=26) und der Proband*innen Gruppe C38 (n = 22)	37
Abbildung 14: Body-Maß-Index der Proband*innen Gruppe C52/42 (n=26) und der Proband*innen Gruppe C38 (n = 22)	38
Abbildung 15: Feuerwehrangehörigkeit in Jahren der Proband*innen Gruppe C52/42 (n=26) und der Proband*innen Gruppe C38 (n = 22)	38
Abbildung 16: Real durchgeführte Innenbrandbekämpfungen der Proband*innen Gruppe C52/42 (n=26) und der Proband*innen Gruppe C38 (n = 22)	39
Abbildung 17: Darstellung der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz zwischen den Truppmitgliedern bei der Verwendung des C52 Druckschlauches	40
Abbildung 18: Darstellung der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz zwischen den Truppmitgliedern bei der Verwendung des C42 Druckschlauches	41

Abbildung 19: Darstellung der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz zwischen den Truppmitgliedern bei der Verwendung des C38 Druckschlauches	41
Abbildung 20: Darstellung der durchschnittlich ermittelten Herzschlagfrequenz zwischen den Druckschläuchen C52, C42 und C38 während des Absolvierens des Übungsszenarios	42
Abbildung 21: Darstellung des Gesamtenergieumsatzes zwischen den Truppmitgliedern bei der Verwendung des C52 Druckschlauches	43
Abbildung 22: Darstellung des Gesamtenergieumsatzes zwischen den Truppmitgliedern bei der Verwendung des C42 Druckschlauches	44
Abbildung 23: Darstellung des Gesamtenergieumsatzes zwischen den Truppmitgliedern bei der Verwendung des C38 Druckschlauches	44
Abbildung 24: Darstellung des durchschnittlichen Gesamtenergieumsatzes zwischen den Druckschläuchen C52, C42 und C38 während des Absolvierens des Übungsszenarios	45
Abbildung 25: Darstellung der angegebenen numerischen Belastung nach Borg zwischen den Truppmitgliedern bei der Verwendung des C52 Druckschlauches	46
Abbildung 26: Darstellung der angegebenen numerischen Belastung nach Borg zwischen den Truppmitgliedern bei der Verwendung des C42 Druckschlauches	47
Abbildung 27: Darstellung der angegebenen numerischen Belastung nach Borg zwischen den Truppmitgliedern bei der Verwendung des C38 Druckschlauches	47
Abbildung 28: Darstellung der angegebenen numerischen Belastung nach Borg zwischen den Druckschläuchen C52, C42 und C38 nach dem Absolvieren des Übungsszenarios	48
Abbildung 29: Darstellung der Vergleiche zwischen dem C52 mit dem C38 und dem C42 mit dem C38 in Hinblick auf die benötigte Gesamtzeitdauer	52
Abbildung 30: Darstellung der Vergleiche zwischen den Druckschläuchen C52, C42 und C38 in Hinblick auf die benötigte Zeitdauer zwischen Position 1 und 2	53

Abbildung 31: Darstellung der Vergleiche zwischen dem C42 und C38 in Hinblick auf die benötigte Zeitdauer zwischen Position 2 und 3	54
Abbildung 32: Darstellung der Vergleiche zwischen dem C42 und C38 in Hinblick auf die benötigte Zeitdauer zwischen Position 3 und 4	55
Abbildung 33: Darstellung der durchschnittlichen persönlichen Bewertung für den Bereich „Außen“ mit den Druckschläuchen C52, C42 und C38	56
Abbildung 34: Darstellung der durchschnittlichen persönlichen Bewertung für den Bereich „Innen“ mit den Druckschläuchen C52, C42 und C38	57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Spezielle Taktiken nach DIN 14011:2018	1
Tabelle 2: empfohlene Feuerwehrdienstvorschriften in Deutschland	4
Tabelle 3: Übersicht der vorgeschriebenen Prüfungen nach DIN 14811:2008	6
Tabelle 4: Übersicht Feuerwehr-Druckschläuche nach DIN 14811:2008	7
Tabelle 5: Leistungsstufen der Klasse 1 nach DIN 14811:2008-A2	8
Tabelle 6: PSA zur Brandbekämpfung nach DGUV Information 205-014	10
Tabelle 7: Gewicht mit Wassergefüllter C-Druckschläuche	12
Tabelle 8: Eigenschaften der verwendeten C-Druckschläuche	22
Tabelle 9: Übersicht der Übungstage	25
Tabelle 10: Benötigte personenbezogene Werte für den Energieumsatz	29
Tabelle 11: Annahme zur Ermittlung des verbrauchten Atemluftvolumens	29
Tabelle 12: Borg-Skala angepasst durch Verfasser [48]	30
Tabelle 13: Ermittelte mitzuführende Last im Übungsobjekt bei der Innenbrandbekämpfung	32
Tabelle 14: Ermittelte Merkmals-Wichtungen der Druckschläuche C52, C42 und C38 während des Absolvierens des Übungsszenarios für die LMM-GK	49
Tabelle 15: Ermittelte Merkmals-Wichtungen der Druckschläuche C52, C42 und C38 während des Bewegens von Position 1 nach Position 2 und von Position 3 nach Position 4 für die LMM-KB	50
Tabelle 16: Ermittelte Merkmals-Wichtungen der Druckschläuche C52, C42 und C38 während des Bewegens von Position 2 nach Position 3 für die LMM-KB	51
Tabelle 17: sonstige Bemerkungen der Proband*innen aus den Freitext-Feldern zu den C- Druckschläuchen	58
Tabelle 18: Zusammenfassung aller in Kapitel 4 ermittelten Ergebnisse	59

Begriffs- und Abkürzungsverzeichnis

Begriff oder Abkürzung	Bezeichnung
%	Prozent
°C	Grad Celsius (Temperatureinheit)
AFKvZ	Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung
AGBF-Bund	Die Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren in der Bundesrepublik Deutschland
bar	Bar (Druckeinheit)
bpm	Beats per minute, Herzschlagfrequenz pro Minute
C-Rohr	C-Druckschlauch mit angeschlossenen C- Strahlrohr
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
FwDV	Feuerwehr-Dienstvorschrift
kg	Kilogramm
m	Meter (Längeneinheit)
m ²	Quadratmeter (Flächeneinheit)
min	Minute
mm	Millimeter (Längeneinheit)
n	Anzahl
NFPA	National Fire Protection Association
Nr.	Nummer
p	p-Wert (Signifikanzwert)
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
s	Sekunde
Trupp	Ein Trupp besteht aus zwei Personen
VAP 1.2- Feu	Verordnung über die Ausbildung und Prüfung für die Laufbahn des zweiten Einstiegsamtes der Laufbahngruppe 1 des feuerwehrtechnischen Dienstes im Land Nordrhein-Westfalen

1 Einleitung

Die insgesamt circa 1,3 Millionen Einsatzkräfte der Feuerwehren in Deutschland wurden, im Jahr 2018 zu insgesamt 1,4 Millionen Einsätzen gerufen. 17,55 % dieser Einsätze waren Brände und Explosionen 47,44 % Technische Hilfeleistungen. Die restlichen 35,01 % fallen auf Fehl- und sonstige Einsatz ab [1 S.320]. Werden diese Zahlen auf Einsätze pro Tag umgerechnet, so wurden jeden Tag 680 Brände gelöscht und 1838-mal technische Hilfeleistung durchgeführt [1 S.320]. Mindestens 90 % aller Brände fallen unter die Brandklasse A. und lassen sich am einfachsten mit dem Löschmittel Wasser bekämpfen [2 S.28-30]. Das Löschmittel Wasser wird durch Feuerwehr-Druckschläuche zum Brandobjekt transportiert und in den meisten Fällen mittels (Hohl-)Strahlrohr abgegeben [3].

74,91 % der 680 täglichen Brände mussten mit einem oder mehreren Strahlrohren gelöscht werden (509 Brände) [1 S.326]. Somit wird in Deutschland alle 2,83 Minuten mindestens ein Strahlrohr vorgenommen. Wenn von einem Strahlrohr gesprochen wird, wird immer die Kombination aus einem Strahlrohr (welches zur Wasserabgabe verwendet wird) und einem Feuerwehr-Druckschlauch betrachtet. Für die Brandbekämpfung stehen in Deutschland verschiedene Feuerwehr-Druckschläuche zur Verfügung. Beschrieben sind diese in der DIN 14811:2008. In Verbindung mit der FwDV3 kommen für die Brandbekämpfung die Feuerwehr-Druckschläuche der Größen „B“ und „C“ in Frage [3, 4].

Die Einsatztaktik an Brandstellen lässt sich nach DIN 14011:2018 in neun Bereiche einteilen (Tabelle 1) [5 S.16-18].

Tabelle 1: Spezielle Taktiken nach DIN 14011:2018

Nummer	Einsatztaktik
3.2.3.1	Innenangriff
3.2.3.2	Außenangriff
3.2.3.3	Abriegeln
3.2.3.4	Brandschneise
3.2.3.5	Brandwache
3.2.3.6	Rauchkühlung
3.2.3.7	Raumkühlung
3.2.3.8	direkte Brandbekämpfung
3.2.3.9	Anleiterbereitschaft

Ist bei einer der in Tabelle 1 aufgeführten Tätigkeiten außerdem nicht auszuschließen, dass Einsatzkräfte durch Sauerstoffmangel oder durch das Einatmen von toxikologischen Stoffen die über die Atmung aufgenommen werden können, gefährdet werden, so ist ein geeigneter Atemschutz zu tragen, um eine mögliche Gefährdung für die Gesundheit auszuschließen [6 S.5].

Jedoch führt bereits das Tragen von geeigneten Atemschutzgeräten und der persönlichen Schutzausrüstung zu einer deutlich erhöhten Belastung der Einsatzkräfte [7]. Neben der persönlichen Schutzausrüstung und geeigneten Atemschutz müssen sich Einsatzkräfte bei Brandszenarien mit diversen Einsatzmitteln und einem Strahlrohr samt notwendigen Schlauchmaterial ausrüsten [8]. Hinzu kommen thermische Belastungen und psychischer Stress die zu einer erneuten Steigerung der Belastung führen [9, 10]

Faktoren wie die thermische Belastung oder der zu tragende Atemschutz lassen sich nicht beeinflussen, da dies zum einen Eigenschaften eines Brandes sind und zum anderen eine vorgeschriebene und lebensnotwendige persönliche Schutzausrüstung darstellen [2, 6].

Jedoch lässt sich zum Beispiel der Faktor des verwendeten Schlauchmaterials beeinflussen. Denn je geringer der Druckschlauchdurchmesser ist, desto weniger Volumen besitzt der Druckschlauch und desto geringer ist das Gewicht des mit Wasser gefüllten Druckschlaches. Somit muss die Einsatzkraft weniger Gewicht mitführen, was vermutlich zu einer Belastungsreduzierung führt. Für den Innenangriff und die direkte Brandbekämpfung werden in Deutschland die Druckschläuche mit einem Innendurchmesser von 52mm und 42mm empfohlen [11]. In den USA werden häufig Druckschläuche mit einem Innendurchmesser von 38mm verwendet, dieser Innendurchmesser ist jedoch in der DIN 14811:2008 mit dem Verweis „zu vermeiden“ gekennzeichnet [4, 12].

Das Ziel dieser Arbeit ist die physischen Belastungsunterschiede zwischen den in Deutschland genormten Druckschläuchen mit den Innendurchmessern 52 mm und 42 mm und dem in Deutschland nicht genormten Druckschlauch C38 zu bestimmen. Hierfür wird folgende Hypothese angenommen: Mit Verringerung des Innendurchmessers des Feuerwehr-Druckschlaches wird eine subjektive und objektive Belastungserleichterung deutlich.

Hierzu wurde ein Standard-Übungsszenario ausgearbeitet: Es ist zu einem Brandereignis im Obergeschoss einer zweigeschossigen Nutzungseinheit gekommen. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Betrachtung der Innenbrandbekämpfung. Während der Übungsdurchführung wurde die Herzschlagfrequenz mittels Herzschlagfrequenzsensor erfasst sowie die Durchführungsdauer ermittelt. Nach absolvieren des Übungsszenarios wurde die empfundene Belastung nach Borg und das verbrauchte Luftvolumen ermittelt. Im Anschluss aller Übungen wurde ein Fragebogen ausgegeben. Mit dem durchgeführten Übungsszenario und der Erhebung von objektiven und subjektiven Messdaten sowie dem Fragebogen soll die aufgestellte Hypothese verifiziert werden.

Die vorliegende Arbeit umfasst sechs Kapitel, welche sich an der Erfassung der beschriebenen Parameter, deren Ergebnisse und der Beantwortung der Hypothese orientieren.

Das zurückliegende Kapitel eins gibt eine Einführung in die Thematik sowie den Anlass dieser Arbeit. Kapitel zwei schafft die theoretischen Grundlagen in den Themenbereichen des Deutschen Feuerwehrwesens, der Normung und der physischen Belastungen in der Innenbrandbekämpfung. Die Charakterisierung der Proband*innen sowie Darstellung des standardisierten Übungsszenarios mit allen erhobenen Messwerten und subjektiven Bewertungen erfolgt im dritten Kapitel. Des Weiteren werden in diesem Kapitel die Methoden aufgeführt, mit denen eine wissenschaftliche Betrachtung und Beantwortung der Hypothese möglich ist. Anschließend werden in Kapitel vier die erhobenen Ergebnisse dargestellt. Hierzu werden die Messwerte statistisch und grafisch aufgearbeitet. Im anschließenden fünften Kapitel findet eine kritische Diskussion der in Kapitel vier beschriebenen Ergebnisse sowie der in Kapitel drei aufgeführten Methoden statt. Die vorliegende Arbeit endet mit einem abschließenden Fazit.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Einführung in das deutsche Feuerwehrwesen

Das Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland legt die Zuständigkeit für die staatlichen Befugnisse und Aufgaben bei den Bundesländern (Föderalismus) fest [13, Art. 30, 70, 83]. Jedes Bundesland regelt eigenständig, mit Landesfeuerwehr- und Katastrophenschutzgesetzen, die zentralen Belange des Brandschutzes, der Hilfeleistung und des Katastrophenschutzes [14, 15]. Jedoch lässt sich aus den Landesfeuerwehrgesetzen einheitlich ableiten, dass eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen der lokalen Feuerwehr vorgenommen wird. So werden die einzelnen Feuerwehren eines Landes in Berufsfeuerwehren, Freiwillige Feuerwehren, Pflichtfeuerwehren und Werkfeuerwehren eingeteilt. Neben den gesonderten Aufgaben und der Gliederung, je nach Einordnung der Feuerwehr, muss man ebenfalls die Ausbildung der einzelnen Einsatzkräfte dieser Wehren differenziert betrachten [16 S.5]. Denn obwohl, wie bereits beschrieben, das Feuerwehrwesen föderalistisch aufgebaut ist, werden, durch den „Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung“ (AFKzV) des Arbeitskreises V der Innenministerkonferenz, Feuerwehrdienstvorschriften (FwDV) verabschiedet, überarbeitet und den Bundesländern zur Einführung empfohlen [17]. Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt auf, dass für viele Bereiche des Feuerwehrwesens bundeseinheitliche Vorschriften empfohlen wurden [17].

Tabelle 2: empfohlene Feuerwehrdienstvorschriften in Deutschland

Feuerwehrdienstvorschrift	Bedeutung
FwDV 1	Grundtätigkeiten - Lösch- und Hilfeleistungseinsatz
FwDV 2	Ausbildung der Freiwilligen Feuerwehren
FwDV 3	Einheiten im Lösch- und Hilfeleistungseinsatz
FwDV 7	Atemschutz
FwDV 8	Tauchen
FwDV 10	Die tragbaren Leitern
FwDV 100	Führung und Leitung im Einsatz: Führungssystem
FwDV 500	Einheiten im ABC-Einsatz
FwDV 800	Informations- und Kommunikationstechnik im Einsatz
FwDV 810	Sprech- und Datenfunkverkehr

Die Ausbildung des ehrenamtlichen Feuerwehrpersonals wird somit bundeseinheitlich nach der FwDV 2 empfohlen [16 S.2]. Für den Bereich der Ausbildung innerhalb einer Berufsfeuerwehr, sind die einzelnen Ausbildungsabschnitte und Themengebiete in landesspezifischen Ausbildungsverordnungen geregelt, da es sich in diesem Bereich um Laufbahnausbildung des feuerwehrtechnischen Dienstes handelt [18 S.1]. Jedoch orientiert sich so zum Beispiel die Ausbildungsverordnung des Landes Nordrhein-Westfalen an der FwDV 2 [18 Anlage 1]. Somit lässt sich insgesamt eine nahezu einheitliche und standardisierte Ausbildung aller Feuerwehrangehörigen in Deutschland ableiten. Neben einem einheitlichen Ausbildungsstand, wird auch das Vorgehen bei verschiedenen Einsatzszenarien durch die verabschiedeten Feuerwehrdienstvorschriften bundeseinheitlich empfohlen und auch fast gänzlich umgesetzt. Darüber hinaus veröffentlichen die einzelnen Landesfeuerweherschulen Lehrunterlagen sowie aktuelle Fachempfehlungen, an denen sich die Ausbildung der Feuerwehreinsatzkräfte orientiert. So zum Beispiel der „Leitfaden Innenangriff“ der Landesfeuerweherschule Schleswig-Holsteins oder die Lehrunterlage „Atemschutzgeräteträger“ der staatlichen Feuerweherschule Bayern [8, 19].

Neben den Feuerwehrdienstvorschriften, die bundeseinheitliche Empfehlungen darstellen, gibt es in Deutschland Gesetze und Regelwerke der DGUV, welche bundesweit einzuhalten sind. Hauptsächlich sind die DGUV Vorschriften 1 und 49 [20, 21 S.5]. Diese werden durch einsatzspezifische DGUV Regeln und Informationen ergänzt.

2.2 Feuerwehr-Druckschläuche

2.2.1 Grundlagen der DIN 14811-2008

In Deutschland sind die Anforderungen und Prüfverfahren für Feuerwehr- Druckschläuche für Feuerlöschzwecke, die sich im ungefüllten Zustand flach falten oder rollen lassen, durch die DIN 14811:2008-01 beschrieben. Zu beachten ist, dass die Leistungsanforderungen nach dieser Norm mit dem Prüfmedium Wasser aufgestellt wurden [22 S. 4]. Gültig ist diese in ihrer aktuell dritten Änderung vom Dezember 2018 [22]. In der DIN 14811 werden Anforderungen an die Maße, maximalen Grenzabweichungen, maximale Masse, Kupplungen, den Einband sowie die Farbgebung gestellt. Darüber hinaus wird die einheitliche Kennzeichnung der Schläuche vorgeschrieben. Neben den Anforderungen werden auch bestimmte Prüfverfahren und die zugehörigen Prüfwerte in der DIN 14811:2008 dargestellt. Jeder in Deutschland zugelassene Schlauchtyp (Typprüfung) muss sämtliche Sollwerte der in Tabelle 3 aufgeführten Prüfverfahren einhalten [4 S.19-46].

Tabelle 3: Übersicht der vorgeschriebenen Prüfungen nach DIN 14811:2008

Nr.	Art der Prüfung
1	Prüfung zur Dickenmessung der Schlauchdeckschicht
2	Prüfung auf Maßhaltigkeit des Innendurchmessers
3	Prüfung von Schlaucheinbänden
4	Knick-Druckprüfung
5	Prüfung der beschleunigten Alterung
6	Prüfung der Oberflächen-Abriebfestigkeit
7	Prüfung der Punkt-Abriebfestigkeit
8	Prüfung auf Biegsamkeit bei niedrigen Temperaturen
9	Prüfung des Verhaltens bei Flammeneinwirkung
10	Prüfung der Ozonbeständigkeit
11	Prüfung der Knickfestigkeit
12	Druckverlustprüfung
13	Wiederkehrende Prüfung von Schläuchen und Einbänden sowie deren Reparatur

Die DIN 14811:2008 findet allerdings nicht nur in Deutschland Anwendung. Sie wird mittlerweile international als Grundlage für die dortige Beschaffung verwendet [4 S.6]. Aus diesem Grund sind in der DIN 14811:2008, im Gegensatz zu den vorherigen Normen, neun weitere Druckschläuche eingeführt worden.

Im Allgemeinen erfolgt die Namensgebung eines Feuerwehrdruckschlauches anhand der Größe des verwendeten Knaggenteils (D bis F) der Kupplung und des Innendurchmessers in Millimetern (25 mm bis 152 mm) [4 S.10].

Da die DIN 14811:2008 nicht nur Dimensionen aufführt, die in Deutschland gebräuchlich sind, werden die beinhalteten Feuerwehrschräuche zusätzlich in zwei Gruppen aufgeteilt. Zum einen in die Gruppe „Vorzugsreihe“ zum anderen in die Gruppe „Anwendung in Deutschland ist zu vermeiden“ [4 S.10]. Für die Gruppe „Vorzugsreihe“ werden darüber hinaus die Schlauchlängen sowie die zugehörigen Kupplungen definiert [4 S.10]. Die nachfolgende Tabelle 4 führt die genannten Eigenschaften der Feuerwehrschräuche zusammen und gibt einen Überblick über sämtliche aufgenommenen Kombinationen [4 S.10].

Tabelle 4: Übersicht Feuerwehr-Druckschräuche nach DIN 14811:2008

Knaggen- teil	Zugehörige Norm	Innen- durchmesser	Bezeich- nung	Gruppierung	Schlauch- längen
D	DIN 14301-D	25 mm	D 25	Vorzugsreihe	5m, 15m
C		38 mm	C 38	zu vermeiden	
C		40 mm	C 40	zu vermeiden	
C	DIN 14332- C 42	42 mm	C 42	Vorzugsreihe	15m, 20m
C		45 mm	C 45	zu vermeiden	
C	DIN 14332-C	52 mm	C 52	Vorzugsreihe	15m, 20m
C		55 mm	C 55	zu vermeiden	
B		65 mm	B 65	zu vermeiden	
B		70 mm	B 70	zu vermeiden	
B	DIN 14303-B	75 mm	B 75	Vorzugsreihe	20m, 35m
A		102 mm	A 102	zu vermeiden	
A	DIN 14323-A	110 mm	A 110	Vorzugsreihe	20 m
F		125 mm	F 125	zu vermeiden	
F	Bei Bestellung zu vereinbaren	152 mm	F 152	Vorzugsreihe	Bei Bestellung zu vereinbaren

Für alle Schräuche gilt, dass sie einer der in Kapitel 4 der DIN 14811:2008 beschriebenen drei Klassen entsprechen. Der Klasse 1 werden unbeschichtete Schräuche, der Klasse 2 Schräuche mit einer dünnen Außenbeschichtung und der Klasse 3 Schräuche mit einer Schlauchdeckschicht zugeordnet [4 S.8]. Mit der zweiten Änderung, welche im August 2014 erschienen ist, wurden für die Druckschräuche C und B der Klasse 1 drei weitere Leistungsstufen eingeführt [23 S.6].

Diese weitere Unterteilung ordnet die Schläuche der ersten Klasse nach ihrer Abriebfestigkeit. Tabelle 5 zeigt die zu erreichenden Umdrehungen, bei der Abriebfestigkeitsprüfung nach Anhang F der DIN 14811:2008-A2 der einzelnen Leistungsstufen der Klasse 1 [23 S.6].

Tabelle 5: Leistungsstufen der Klasse 1 nach DIN 14811:2008-A2

Bezeichnung	Leistungsstufe	Anzahl der Umdrehungen nach Anhang F DIN 14811:2008-A2
C 38 bis C 52	L1	200
	L2	400
	L3	600
B 65 bis B 75	L1	80
	L2	120
	L3	140

Sämtliche aufgeführten Anforderungen der Norm 14811 gelten für Feuerwehr-Druckschläuche mit einem Arbeitsdruck von bis zu 16 bar für die Dimensionen D25 bis B75. Außerdem gelten Sie für einen maximalen Arbeitsdruck von 12 bar für die Dimensionen A 102 bis F152 [22 S.4]. Um die in diesem Abschnitt dargestellten Anforderungen und Eingruppierungen einheitlich und auf einem Blick darzustellen, wird in der DIN 14811:2008, mit Ergänzungen aus der ersten und zweiten Änderung, die Position sowie der Aufbau der Kennzeichnung vorgeschrieben [23, 24 S.6]. Der Aufbau nach Abbildung 1 ist vorgeschrieben und darf maximal 0,5 m vor dem Ende des jeweiligen Schlauches beginnen [23, 24].

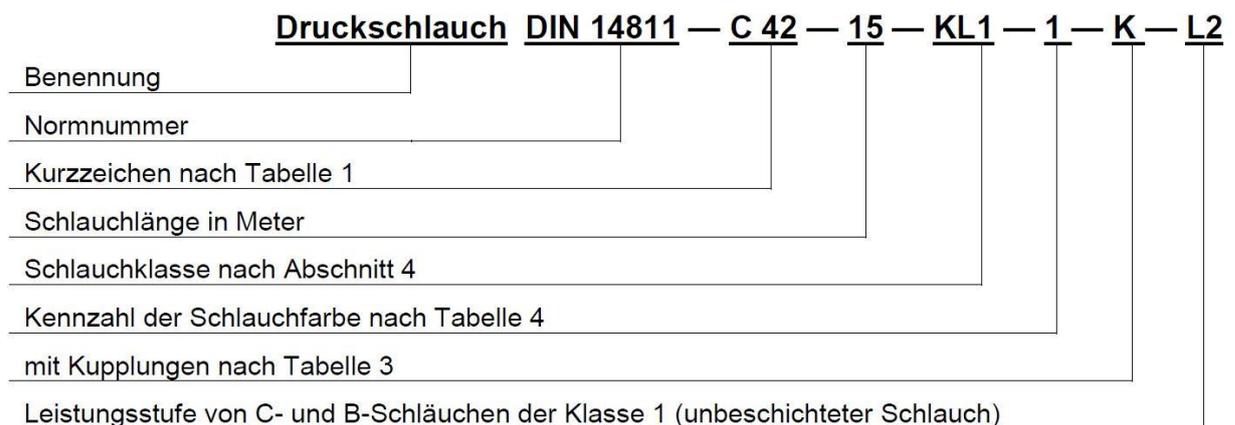


Abbildung 1: Aufbau der Bezeichnung nach DIN 14811-A2

2.2.2 Verwendete Feuerwehr-Druckschläuche in Deutschland

Im Bereich der deutschen Feuerwehren gibt es keinen gesetzlich vorgeschriebenen bundeseinheitlichen Standard für die Verwendung und den Einsatzzweck der verschiedenen Dimensionen von Feuerwehr-Druckschläuchen. Jedoch werden durch die FwDV 3 „Einheiten im Lösch- und Hilfeleistungseinsatz“ standardisierte Vorgehensweisen erläutert. So werden in Abschnitt 5 der FwDV 3 Einsatzabläufe einer Gruppe, einer Staffel und eines selbstständigen Trupps beschrieben [3 S.13-30]. Legt man hierbei den Schwerpunkt der Betrachtung auf den Angriffstrupp, so fällt auf, dass dieser sich für die Brandbekämpfung mit ausreichend C- Druckschläuchen ausrüstet [3 S.19]. Ergänzend hierzu werden Einsatzabläufe mit B-Druckschläuchen und Sonderrohren beschrieben [3 S.13-30]. Jedoch wird in der Regel der B-Druckschlauch zur Wasserförderung zwischen dem Löschfahrzeug und dem Verteiler sowie zum Wassertransport von der Wasserentnahmestelle zum Fahrzeug verwendet [3 S.13-30]. Dieses wird durch die Definition eines Kleinbrandes b und eines Mittelbrandes nach DIN 14010:2005-10 verdeutlicht. Dort wird ein Kleinbrand b mit dem Einsatz von nicht mehr als einem C-Rohr und ein Mittelbrand mit dem gleichzeitigen Einsatz von zwei bis drei C-Rohren beschrieben [25 S.17]. Diese beiden Einsatzszenarien haben im Jahr 2018 circa 44,65 % aller in Deutschland erfassten Brände ausgemacht. Demnach wird bei fast jedem zweiten Brandeinsatz mindestens ein C-Rohr verwendet [1 S.326]. Auch die Lehrunterlagen der Landesfeuerweherschulen lehren die Brandbekämpfung mit einem C-Rohr. So wird zum Beispiel an der staatlichen Feuerweherschule Bayern in den allgemeinen Einsatzgrundsätzen darauf hingewiesen, ausreichend Schlauchreserven mit einem C-Druckschlauch zu bilden [8 S.27]. Nach DIN 14811:2008 werden in Deutschland die C-Druckschläuche der Größe C 52 (52 mm Innendurchmesser) und C 42 (42 mm Innendurchmesser) für die (Innen-)Brandbekämpfung verwendet [4 S.6].

2.2.3 International verwendete Feuerwehr-Druckschläuche

In den USA werden Feuerwehr-Druckschläuche nach der NFPA 1961 genormt [12]. Für den „front line attack“ also der Brandbekämpfung bei Feuern, die der Größe eines Mittelbrandes entsprechen, werden 1,5 Zoll (38,1 mm Innendurchmesser) und 1,75 Zoll (44,45 mm Innendurchmesser) verwendet [12 S.10-11]. Ebenso werden in Großbritannien Schläuche, für die Wohnungsbrandbekämpfung, mit einem Innendurchmesser von 45 mm verwendet [26]. Die Innendurchmesser der Feuerwehr-Druckschläuche in Österreich und der Schweiz orientieren sich an der DIN 14811:2008 und betragen somit 42 mm und 52 mm [27].

2.3 Physische Belastungen in der Innenbrandbekämpfung

Die insgesamt einwirkende physische Belastung während einer Innenbrandbekämpfung, setzt sich aus diversen äußeren Einflüssen und Bedingungen zusammen. Die körperliche Belastung beginnt bereits vor der Innenbrandbekämpfung mit dem Anlegen, der durch die DGUV Information 205-014 vorgeschriebenen, persönlichen Schutzausrüstung. Diese besteht aus acht Bestandteilen, die in Tabelle 6 aufgelistet sind [28 S.24].

Tabelle 6: PSA zur Brandbekämpfung nach DGUV Information 205-014

Nr.	Ausrüstungsgegenstand
1	Feuerwehrrhelm
2	Feuerschutzhaube
3	Atemanschluss
4	Feuerschutzhaube
5	Isoliergerät (Atemschutzgerät)
6	Feuerweherschutzbekleidung
7	Feuerwehrrhandschuhe
8	Schuhe

Durch individuelle Ergänzungen einzelner Feuerwehren, die Verwendung von Schutzausrüstung verschiedener Hersteller und somit verschiedener Modelle und dem technischen Fortschritt, lässt sich das Gewicht im Allgemeinen nicht genau festlegen. Jedoch betrug das durchschnittliche Gewicht, der in Tabelle 6 aufgezählten Schutzausrüstung, bei einer durchgeführten Studie mit 156 Proband*innen 24,9 kg [29 S.89]. Hinzu kommt das Gewicht des feuerwehrtechnischen Materials. Mit folgendem Material muss sich ein Angriffstrupp zur Brandbekämpfung ausrüsten: Universelles Brechwerkzeug, Beleuchtungsgerät, Handfunkgerät, Wärmebildkamera, Strahlrohr, Seilschlauchhalter, Fluchthaube und dem verwendeten Schlauchmaterial [8 S.13].

Bereits das, durch die zu tragende persönliche Schutzausrüstung anfallende Mehrgewicht, bedeutet insgesamt eine signifikant höhere Belastung und verringerte Maximalleistung der Einsatzkräfte [30, 31]. Betrachtet man die maximale Sauerstoffaufnahme beim Tragen der vollständigen persönlichen Schutzausrüstung, so ist diese durchschnittlich um 21 % gemindert [36].

Der arithmetische Mittelwert der Herzschlagfrequenz liegt bei einer Studie mit 156 Proband*innen, während des Tragens der vollständigen persönlichen Schutzausrüstung und der Belastung durch eine Endlosleiter, 186,7 Schläge pro Minute [[29 S.88-89]]. Der arithmetische Mittelwert des Alters wurde für die 156 Proband*innen auf 26,1 Jahre bestimmt. Auf Grund des durchschnittlichen Alters von 26,1 Jahren beträgt die maximale Herzschlagfrequenz nach Such und Meyer 193,9 Schläge pro Minute [32 S.311]. Die anaerobe Schwelle, der körperlichen Belastung wird von Athleten bei 85 Prozent bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz überschritten. Damit liegt die beschriebene Belastung deutlich im anaeroben Bereich [33 S. 42].

Diese Faktoren werden auch in der DGUV Regel 112-190 „Benutzung von Atemschutzgeräten“ aufgegriffen. Dort wird eine Tragezeitbegrenzung beschrieben, um eine Überbelastung des Geräteträgers zu vermeiden [34].

Diese Tragezeitbegrenzung wird bestimmt durch die limitierenden Faktoren: Gewicht, Atemwiderstand und Klima im Gerät. Neben den gerätebedingten Belastungen sind das beispielsweise Arbeiterschwernisse, wie Umgebungsklima, Arbeitsschwere und die Körperhaltung [34].

Das Umgebungsklima ist hierbei ein erheblicher Einflussfaktor. Denn bei einem Wohnungsbrand können Temperaturen von circa 800 °C entstehen [9]. Dieser Einfluss wurde von Winidisch et al. im Jahr 2017 analysiert. Es wurde eine Korrelation zwischen einer extremen Umgebungstemperatur (300°C) und einem signifikanten Anstieg der Herzschlagfrequenz ermittelt [10].

Ebenfalls beeinflusst die zu erbringende Arbeitsschwere die physische Belastung. Die Arbeitsschwere ist bei jedem Übungs- und Einsatzszenario unterschiedlich. Somit lässt sich keine verallgemeinernde Aussage über die konkrete Arbeitsschwere bei der Innenbrandbekämpfung treffen. Verschiedene Studien zeigen, dass die Arbeitsaufgabe „Innenbrandbekämpfung“ ein deutlich höheres Anstrengungslevel mit sich bringt als zum Beispiel Joggen oder Radfahren [35, 36 S.253].

Die Körperhaltung und Fortbewegung des Trupps in der Innenbrandbekämpfung, wird durch die Verrauchung im Brandobjekt bestimmt. Bei einer starken Verrauchung, die es z. B. nicht ermöglicht die eigenen Füße zu sehen, wird in den Ausbildungsempfehlungen der sogenannte „Seitenkriechgang“ (Abbildung im Anhang) mindestens aber eine gebückte Haltung empfohlen [8 S.27-28, 19 S.7]. In einem verrauchten Bereich wird immer mit „Wasser am Rohr“ vorgegangen, das heißt die vorgenommenen C-Druckschläuche müssen in einem mit Wasser gefüllten Zustand mitgeführt werden [8 S.27-28]. Die Anzahl der C-Druckschläuche (á 15m) richtet sich nach der nachfolgenden Standardeinsatzregel: Mindestens eine C-Länge zum Gebäude, eine C-Länge zum Überwinden eines Geschosses und mindestens eine C-Länge je abzusuchender Nutzungseinheit [8 S.27-28]. Tabelle 7 zeigt das Gewicht eines mit Wasser gefüllten 15 Meter langen C-Schlauches mit verschiedenen Innendurchmessern.

Tabelle 7: Gewicht mit Wassergefüllter C-Druckschläuche

Schlauchttyp	Gewicht
C38	21,27 kg
C42	25,81 kg
C52	37,98 kg

Diese Bewegungsabläufe und Lastbewegungen sind physische Belastungen der Bereiche „Ganzkörperkräfte“ und „Körperfortbewegung“ [37 S.46-64]. Denn neben einer gebückten Körperhaltung wird ebenfalls der Oberkörper stark verdreht, um die Last der C-Druckschläuche mitführen zu können. Durch die vorgegebene Körperhaltung, sowie das hohe mitzuführende Gewicht, können enorme Aktionskräfte auftreten. Diese können sich negativ auf das Herz-Kreislauf-System und das Muskel-Skelett-System auswirken [37 S.46-64].

Der Belastungsfaktor Feuerwehr-Druckschlauch wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit näher analysiert.

2.4 Fragestellung

Ziel der vorgelegten Arbeit ist die Analyse der jeweiligen körperlichen Belastung bei der Innenbrandbekämpfung, in Hinblick auf die Verwendung der nach DIN 14811:2008 genormten Feuerwehrschräuche C52 und C42 und des nicht nach DIN 14811:2008 genormten Feuerwehrschräuches C38. Letzterer Innendurchmesser findet zum Beispiel in den USA standardmäßig Anwendung [12]. Hierzu wird zu jedem Feuerwehrschräuch ein identisches Übungsszenario durchlaufen und die jeweilige Herzfrequenz, das verbrauchte Luftvolumen, die Zeitdauer bis zum Erreichen des Übungszieles und die subjektive Belastung anhand der Borg Skala erhoben. Außerdem wird die objektive körperliche Belastung anhand von Leitmerkmalmethoden und einer subjektiven Gesamtbewertung der Proband*innen, welche die Innenbrandbekämpfung durchführt haben, ermittelt.

Mit dieser Analyse soll folgende Frage beantwortet werden:

Gibt es einen signifikanten Unterschied der körperlichen Belastung bei der Verwendung des C38 Druckschräuches im Gegensatz zu den in Deutschland genormten Feuerwehr-Druckschräuchen C52 und C42?

Als Hypothese wird eine subjektive und objektive Belastungserleichterung, bei der Verwendung des C38 Druckschräuches im Vergleich zu den in Deutschland genormten Feuerwehr-Druckschräuchen C52 und C42 angenommen.

Die auftretende Belastung durch die zu tragende persönliche Schutzausrüstung ist nicht Bestandteil dieser Arbeit. Auch äußere Einflüsse, die in einem tatsächlichen Brandszenario auftreten, wie zum Beispiel eine deutlich erhöhte Raumtemperatur, eine erhöhte Belastung auf Grund einer verminderten Sicht, hervorgerufen durch starke Verrauchung (die sogenannte Nullsicht), und psychische Stressoren werden nicht genauer betrachtet.

3 Material und Methoden

3.1 Experimentelle Untersuchung anhand eines Übungsszenarios

3.1.1 Übungsszenario

Als Grundlage für die Analyse der körperlichen Belastung, beim Einsatz der genormten Feuerwehrschräuche C52 und C42 im Vergleich zum C38 zur Innenbrandbekämpfung, dient ein standardisiertes Übungsszenario. Dieses wurde in Anlehnung an das standardisierte Schadensereignis des „kritischen Wohnungsbrandes“ ausgewählt. Der „kritische Wohnungsbrand“ wird als Wohnungsbrand im Obergeschoss eines mehrgeschossigen Gebäudes beschrieben. Neben Rauch und Feuer in der betroffenen Nutzungseinheit, kommt es zu einer Verrauchung des angrenzenden Treppenraums. Darüber hinaus sind Personen aus der betroffenen Nutzungseinheit und einer angrenzenden Wohnung zu retten. Außerdem muss die Brandausbreitung verhindert und der Brand gelöscht werden [38 S.2].

Das für die Analyse ausgewählte Übungsszenario beschränkt sich auf einen Brandausbruch im Obergeschoss einer zweigeschossigen Nutzungseinheit. Der Brand ist aus ungeklärter Ursache in unmittelbarer Nähe zur Treppe ausgebrochen. Dadurch ist die gesamte Nutzungseinheit bereits bei Eintreffen der ersten Einsatzkräfte vollständig verraucht. Die Rauchgrenze, ab der mit „Wasser am Rohr“ vorgegangen werden muss, ist die Eingangstür der Nutzungseinheit. Es kann mit Sicherheit ausgeschlossen werden, dass sich noch Menschen und Tiere in der Nutzungseinheit befinden. Des Weiteren sind in der Nutzungseinheit keine besonderen Sachgegenstände vorhanden. Einsatzziel dieses Übungsszenarios ist, durch die beschriebenen Gegebenheiten, die Brandbekämpfung im ersten Obergeschoss ohne Menschen- oder Sachwertrettung.

Das gewählte Übungsszenario wird in Anlehnung an die FwDV 3 und FwDV7 durchgeführt. Da die vorliegende Bachelorarbeit auf die Analyse der körperlichen Belastung in der Innenbrandbekämpfung abzielt, ist der relevante und zu beobachtende Trupp lediglich der Angriffstrupp. Um eine standardisierte Datenerhebung zu ermöglichen, wurden einige Änderungen, im Gegensatz zur Durchführung nach FwDV3 und FwDV 7, vorgenommen.

So ist zum einen ein Löschfahrzeug an einer vorher bestimmten Stelle und Position bereits in Stellung gebracht. Diese Fahrzeugaufstellung wurde im Vorhinein und nach Rücksprache mit der Feuerwehr Ibbenbüren gewählt. Der Fahrzeugabstand (gemessen an der Fahrzeugfront) betrug 24,00 m zum Objekt. Ebenfalls wurde bereits im Vorfeld eine unabhängige Wasserversorgung zu einem Unterflurhydranten aufgebaut.

Des Weiteren wurde von der FwDV 3 abgewichen, da ein Verteiler bereits im Vorfeld nach einem fünf Meter B-Druckschlauch positioniert wurde. Dieser hat sich in einer Entfernung von 13,00 m vor dem Gebäude befunden.

Um ein schnelles Auffinden und eine einheitliche Entnahme des benötigten Schlauchmaterials und des Strahlrohres zu ermöglichen, wurde dieses auf einem Tisch vor dem Löschfahrzeug platziert. Abbildung 2 zeigt den angepassten Übungsaufbau.



Abbildung 2: Angepasster Übungsaufbau (eigene Darstellung)

Abbildung 3 stellt das angepasste und vorbereitete Übungsszenario schematisch in einer Draufsicht dar.

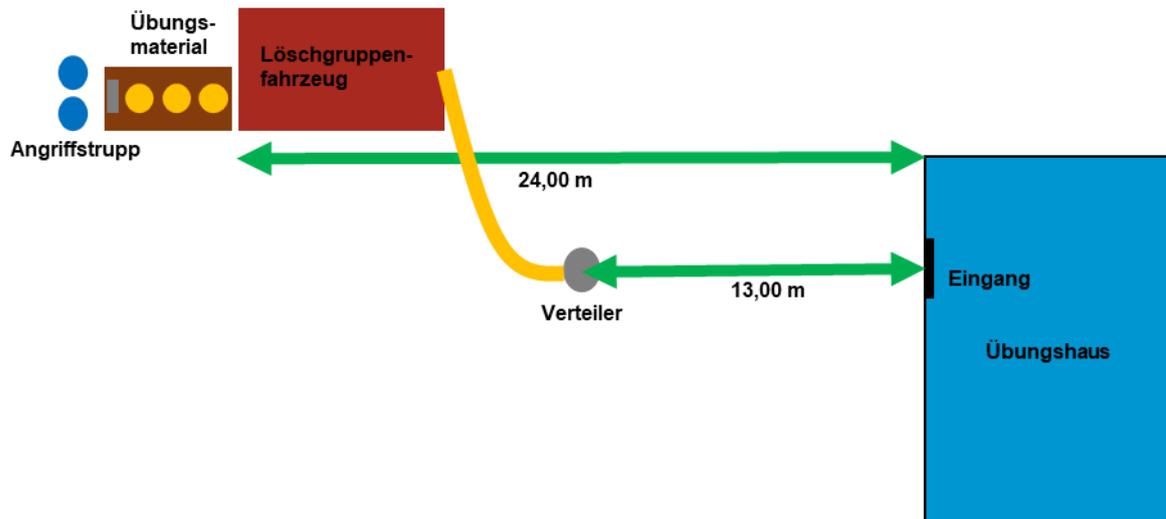


Abbildung 3: Übungsaufbau in der Draufsicht (eigene Darstellung)

Auf Grundlage der genannten Gegebenheiten wurde vom Einheitsführer (in jedem Übungsdurchlauf der Verfasser dieser Arbeit) in Anlehnung an die FwDV 3 folgender Befehl gegeben:

Einheit:	Angriffstrupp
Auftrag:	zur Brandbekämpfung
Mittel:	unter Atemschutz mit 1. C-Hohlstrahlrohr
Ziel:	in das Obergeschoss
Weg:	durch die Eingangstür
	Vor!

Das weitere Vorgehen des Angriffstrupps entspricht wieder dem standardisierten Ablauf einer Staffelstärke nach FwDV 3. Auf einen Sicherheitstrupp nach FwDV 7 wurde in diesem Übungsszenario verzichtet, da dieser für das Übungsszenario nicht relevant ist.

Für dieses Übungsszenario wurde das Übungshaus der Feuerwehr Ibbenbüren verwendet. Das Obergeschoss des Übungshauses verfügt über eine „Übungsfläche“ von 38,42 m². Das Erdgeschoss verfügt hingegen nur über eine „Übungsfläche“ von 36,89 m², da im Erdgeschoss ein Technikraum vorhanden ist. Die gesamte „Übungsfläche“ beträgt 75,31 m². Das gesamte Übungshaus ist hauptsächlich mit einem Holzfußboden versehen. Lediglich ein geringer Teil des Fußbodens, vor der Treppe im Obergeschoss, besteht aus glattem Metall. Um ein möglichst realitätsnahes Standardszenario zu schaffen, wurden zu den gegebenen baulichen Hindernissen zwei weitere Hindernisse in das Übungshaus verbaut. Die nachfolgende Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen den Grundriss, den Ort des Brandes, die im folgenden Absatz 3.1.4 erläuterten signifikanten Positionen 1 bis 4 sowie die platzierten Hindernisse [39].

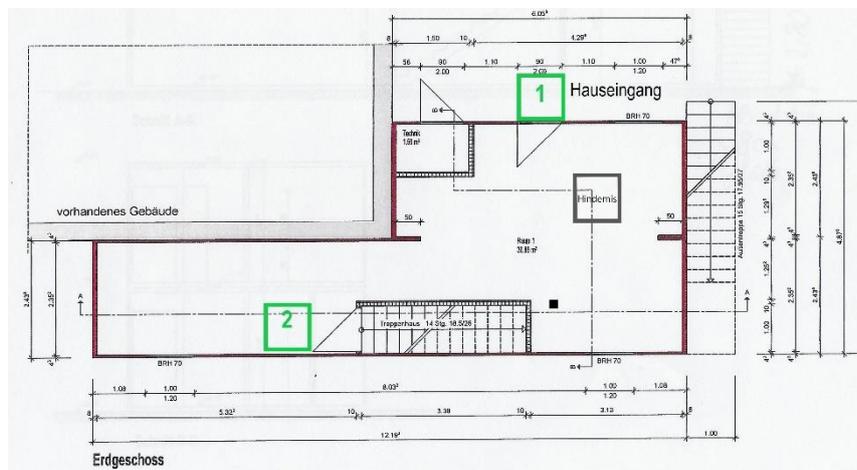


Abbildung 4: Erdgeschoss des Übungshauses der Feuerwehr Ibbenbüren

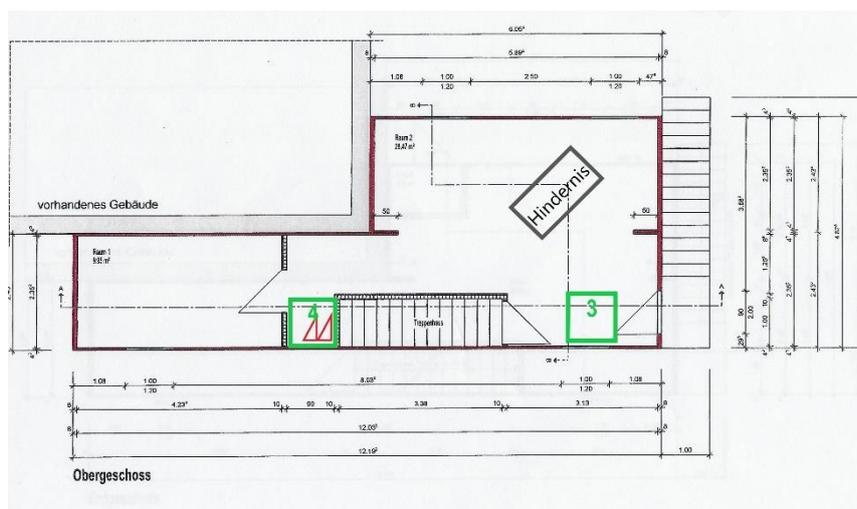


Abbildung 5: Obergeschoss des Übungshauses der Feuerwehr Ibbenbüren

Vor Beginn der Übung wurde das Übungshaus vorbereitet. Hierzu wurden im Ober- und Erdgeschoss des Übungshauses jeweils ein Hindernis platziert (Abbildung 6). Hierbei zeigt das obere Bild das Obergeschoss und das untere Bild das Erdgeschoss. Ebenfalls zeigen die Bilder die weiteren Umgebungsbedingungen der jeweiligen Übungen. Das Übungshaus wurde weder thermisch aufbereitet noch durch eine Nebelmaschine künstlich verraucht. Auch wurde die Sichtscheibe der Atemschutzmasken der Proband*innen nicht verdunkelt. Somit fand die Übung bei „optimalen Bedingungen“ statt.



Abbildung 6: Platzierte Hindernisse und Übungsbedingungen (eigene Darstellung)

3.1.2 Proband*innen

Für die Teilnahme an den standardisierten Übungen wurden Voraussetzungen gestellt, die die Proband*innen erfüllen mussten.

Zum einen musste eine erfolgreiche Teilnahme an einem Atemschutzgeräteträgerlehrgang nach FwDV 2 vorgewiesen werden. Darüber hinaus mussten die Proband*innen, zum Zeitpunkt der Übungstage, über eine durch die FwDV 7 definierte „Atemschutztauglichkeit“ verfügen.

Auf Grundlage, der zum Zeitpunkt der Untersuchung vorliegenden Covid 19 Pandemie und dem damit einhergehenden Hygienekonzept, mussten außerdem alle Teilnehmer*innen eine Zugehörigkeit zur Feuerwehr Ibbenbüren vorweisen.

Vor Beginn der durchgeführten Übungen wurden alle Proband*innen bezüglich des Zwecks, des Inhaltes der Untersuchung und der Verarbeitung der personenbezogenen Daten unterrichtet. Eine Zustimmung für eine wissenschaftliche Auswertung sowie Veröffentlichung der anonymisierten Ergebnisse wurde von allen Proband*innen schriftlich erteilt.

3.1.3 Material

Die zu tragende Schutzbekleidung wurde nach der DGUV Information 205-014 ausgewählt. Alle Proband*innen waren zu jedem Zeitpunkt mit denen in Tabelle 6: PSA zur Brandbekämpfung nach DGUV Information 205-014 vorgeschriebenen Bekleidungsgegenständen ausgestattet. Die Teilnehmer*innen des Grundausbildungslehrganges wurden von verschiedenen Dienststellen entsandt, um diesen bei der Feuerwehr Ibbenbüren zu absolvieren. Dieser Tatsache ist geschuldet, dass alle Proband*innen über eine nicht identische persönliche Schutzbekleidung verfügten. Beispielhaft wird die getragene persönliche Schutzbekleidung durch die Abbildung 7 dargestellt [28 S.24].



Abbildung 7: Getragene persönliche Schutzausrüstung

Quelle: DGUV Information 205-014 [28 S.24]

Die Schutzbekleidung wurde von den Proband*innen selbst mitgebracht und war allen vertraut, da sie diese in der gesamten Grundausbildung verwendet haben. Das zusätzliche Gewicht, durch die zu tragende Schutzbekleidung, beträgt in etwa 24,9 kg [29 S.89].

Bei den verwendeten Atemschutzgeräten handelt es sich, aufgrund der bereits beschriebenen Tatsache, dass die Proband*innen aus verschiedenen Dienststellen entsandt wurden, um verschiedene Hersteller und Modelle. Es wurden hauptsächlich Atemschutzgeräte der Baureihe PSS (Modelle 90 und 7000) des Herstellers Dräger Safety AG & Co. KGaA verwendet. Die restlichen verwendeten Atemschutzgeräte entsprechen dem Modell AirMAXX des Herstellers MSA Safety Incorporated.

Alle Geräte der Proband*innen des Grundausbildungslehrganges wurden mit Atemschutzflaschen mit einem Flaschenvolumen von sechs Liter und einem Flaschenfülldruck von 300 bar bestückt. Der Werkstoff dieser Atemschutzflaschen ist Stahl. Die Atemschutzgeräte der Berufsfeuerwehreute wurden der Atemschutzwerkstatt der Feuerwehr Ibbenbüren entnommen. Sie verfügten über ein Flaschenvolumen von 6,8 Litern und bestehen aus einem Kohlefaserverbundwerkstoff. Diese besaßen ebenfalls einen Flaschenfülldruck von 300 bar. Atemluft verhält sich ab einem Flaschenfülldruck von 200 bar nicht mehr wie ein ideales Gas [40 S.794-795]. Das Atemluftvolumen lässt sich aus diesem Grund nicht mit folgender Formel berechnen.

$$\text{Atemluftvolumen} = \text{Flaschenfülldruck} \cdot \text{Flaschenvolumen}$$

Die vorhandene Formel muss um einen Korrekturfaktor ergänzt werden, der die auftretenden „van der Waals Kräfte“ berücksichtigt.

$$\text{Atemluftvolumen} = \frac{\text{Flaschenfülldruck} \cdot \text{Flaschenvolumen}}{1,1}$$

Das errechnete Atemluftvolumen beträgt 1636,36 Liter bei einem Flaschenvolumen von 6 Litern und 1854,55 Liter bei einem Flaschenvolumen von 6,8 Litern. Hierbei beträgt in beiden Fällen der Flaschenfülldruck 300 bar.

Neben Normaldruck Atemschutzgeräten wurden auch Überdruckgeräte verwendet. Bei allen Übungen haben die Proband*innen das individuelle Atemschutzgerät, welches sie von ihrer Dienststelle zur Verfügung gestellt bekommen haben, verwendet. Somit konnte ausgeschlossen werden, dass ein Wechsel zwischen den Übungen stattgefunden hat und zwischen Normaldruck und Überdruck Atemschutzgeräten gewechselt wurde.

Wie bereits beschrieben verfügt das Übungshaus der Feuerwehr Ibbenbüren über ein Erdgeschoss und ein Obergeschoss. Nach der Empfehlung diverser Landesfeuerwehrschulen, nachdem ein C-Druckschlauch für den Weg vom Verteiler zum Schadenobjekt vorgesehen ist, ein C-Druckschlauch zum Überwinden eines Geschosses und mindestens ein C-Druckschlauch je abzusuchender Nutzungseinheit / Ebene zu verwenden ist, wurden für jedes Übungsszenario drei C-Druckschläuche mit einer jeweiligen Länge von 15 m bereitgestellt. Für die Übungen der Feuerwehr-Druckschläuche mit dem Innendurchmesser von 52 mm und 42 mm wurden jeweils drei Schläuche des Modells SYNTHETIC 4Z REFLEX der Firma Parsch verwendet. Diese sind, wie in Abschnitt 2.2.1 beschrieben, nach DIN 14811:2008-01+A2:2014-08 zertifiziert und entsprechen der Schlauchklasse 1 in der Leistungsstufe 3. Eingebunden sind diese, wie in der DIN 14811 beschrieben, mit einem kurzen Einbindestutzen und einer C-Storz Kupplung. Für die Übung mit dem Druckschlauch des Innendurchmessers von 38 mm wurde ebenfalls das Modell SYNTHETIC 4Z REFLEX der Firma Parsch herangezogen. Dieser ist nur in Anlehnung an die DIN 14811 (Schlauchklasse 1 mit der Leistungsstufe 3) gefertigt, da in der Norm vom Einsatz des C38 abgeraten wird und dieser Schlauchtyp in Deutschland nicht genormt ist [6]. Eingebunden ist der Druckschlauch mit dem Innendurchmesser von 38 mm, in Anlehnung der DIN 14811, mit einem langen Einbindestutzen und einer C-Storz Kupplung. Mit der Schlauchklasse 1 in der Leistungsstufe 3 wurden somit Feuerwehr-Druckschläuche mit einer sehr hohen Qualitätsanforderung bei einer mechanischen Beanspruchung verwendet [51]. Die Eigenschaften der Druckschläuche C52, C42 und C38 werden in der folgenden Tabelle 8 dargelegt sowie der Unterschied des Außendurchmessers in Abbildung 8 auf Seite 23 veranschaulicht.

Tabelle 8: Eigenschaften der verwendeten C-Druckschläuche

Eigenschaft	C52	C42	C38
Länge je Schlauch	15,06 m ± 0,05 m	15,19 m ± 0,03m	15,00 m ± 0,02 m
Gewicht je Schlauch inklusive Kupplung und Einbindestutzen	6011,11 g ± 136,42 g	4766,67 g ± 100,00 g	4266,67 g ± 50,00 g
Höhe im zusammengerollten Zustand je Schlauch	84,56 mm ± 0,53 mm	67,67 mm ± 0,50 mm	62,33 mm ± 0,50 mm



Abbildung 8: Schlauchhöhen im Vergleich (eigene Darstellung)

Als C-Hohlstrahlrohr, wurde das Modell „HAMBURG FORCE“ des Herstellers Leader verwendet. Hierbei handelt es sich um ein Hohlstrahlrohr des Typs 4.2 „Automatik-Strahlrohr“. Dieses Hohlstrahlrohr ist bei der Feuerwehr Ibbenbüren standardmäßig auf den Löschfahrzeugen verlastet. Eine hervorzuhebende Eigenschaft des Modells „HAMBURG FORCE“ ist der entfallende Pistolen-Handgriff des Strahlrohres. Das Gewicht des Hohlstrahlrohres beträgt nach Herstellerangaben 2,70 kg [41]. In Abbildung 9 ist das verwendete Modell dargestellt [41].



Abbildung 9: Hohlstrahlrohr "HAMBURG FORCE"

Quelle: Alpina technologie [41]

3.1.4 Durchführung

Vor den durchgeführten Übungen, mit den drei verschiedenen C-Druckschläuchen, wurden alle Proband*innen über das beschriebene Übungsszenario sowie alle erhobenen Werte aufgeklärt. Außerdem wurde, neben dem beschriebenen Einsatzbefehl, bereits im Vorfeld die Taktik bekannt gegeben nach welcher der Angriffstrupp vorzugehen hat. Auf Grundlage der örtlichen Gegebenheiten wurde für das Erdgeschoss die Taktik der „Linke-Hand-Regel“ und für das Obergeschoss die Taktik „der Rechte-Hand-Regel“ vorgegeben. Bei der „Linke- oder Rechte-Hand-Regel“ orientiert sich der Angriffstrupp bei der Fortbewegung in verrauchten Bereichen, indem die linke oder rechte Hand immer Kontakt zu einer Wand oder Möbelstück hält [8 S.43].

Für die Analyse der körperlichen Belastung beim Einsatz der genormten Feuerwehrschräume C52 und C42 im Vergleich zum C38 zur Innenbrandbekämpfung wurden drei Übungstage angesetzt. Am ersten Übungstag wurde von allen Proband*innen der C52 geübt, am zweiten Übungstag der C42 und am letzten Übungstag der C38.

Die Teilnehmer*innen haben sich selbstständig vor den Übungstagen in Trupps zusammengefunden. Diese Einteilung wurde strikt über alle Übungstage beibehalten. Anhand der Reihenfolge, der von den Trupps durchgeführten Übungen am ersten Übungstag, haben alle Trupps eine fortlaufende Nummer bekommen. Hierbei erhält der Truppführer / die Truppführerin die Kennzahl X.1 und der Truppmann / die Truppfrau die Kennzahl X.2.

Alle erhobenen Daten und Ergebnisse werden diesen Nummern zugeordnet und erst zu diesem Zeitpunkt erhoben. Die folgende Tabelle 9 gibt einen Überblick über die durchgeführten Übungstage.

Tabelle 9: Übersicht der Übungstage

Übungstag 1 (C52)		Übungstag 2 (C42)		Übungstag 3 (C38)	
Trupp	Uhrzeit	Trupp Nr.	Uhrzeit	Trupp Nr.	Uhrzeit
1.1 & 1.2	08:38	10.1 & 10.2	09:20	3.1 & 3.2	11:25
2.1 & 2.2	08:56	4.1 & 4.2	09:33	5.1 & 5.2	11:38
3.1 & 3.2	09:13	11.1 & 11.2	09:46	7.1 & 7.2	11:51
4.1 & 4.2	09:36	9.1 & 9.2	09:58	2.1 & 2.2	12:04
5.1 & 5.2	09:52	12.1 & 12.2	10:10	8.1 & 8.2	12:18
6.1 & 6.2	10:14	6.1 & 6.2	10:24	1.1 & 1.2	12:34
7.1 & 7.2	10:30	13.1 & 13.2	10:38	10.1 & 10.2	12:53
8.1 & 8.2	10:51	1.1 & 1.2	10:59	13.1 & 13.2	13:06
9.1 & 9.2	11:09	2.1 & 2.2	11:14	9.1 & 9.2	13:19
10.1 & 10.2	11:26	3.1 & 3.2	11:27	12.1 & 12.2	13:31
11.1 & 11.2	11:41	5.1 & 5.2	11:40	11.1 & 11.2	13:43
12.1 & 12.2	11:56	8.1 & 8.2	11:57	-	-
13.1 & 13.2	12:17	7.1 & 7.2	12:11	-	-

Alle Übungen wurden nach den gleichen Ablaufschemata durchgeführt. So wurde zuerst, wie in Abschnitt 3.1.1 beschrieben, das Übungshaus vorbereitet. Anschließend wurden drei C-Druckschläuche des jeweiligen zu untersuchenden Schlauchtyps und das Hohlstrahlrohr auf einem Tisch vor dem Löschfahrzeug bereitgelegt. Dieses ist in Abbildung 2 auf Seite 15 dargestellt. Vor dem jeweiligen Übungsbeginn wurden die Positionen des Maschinisten (Bedienung der Fahrzeugpumpe) und des Verteilers (Öffnung des ersten C-Abganges nach Befehl des Angriffstrupps) besetzt. Während diese Positionen besetzt sowie das Material (drei C-Druckschläuche und das Hohlstrahlrohr) und das Übungshaus vorbereitet wurden, hat sich der übende und zu beobachtende Angriffstrupp ausgerüstet. Das heißt, dieser hat den Herzfrequenz-Sensor mit Brustgurt angelegt und sich anschließend mit der in Abschnitt 3.1.3 aufgelisteten persönlichen Schutzausrüstung ausgerüstet. Einsatzbereit positionierte sich der Angriffstrupp neben dem Tisch, auf welchem die Materialien bereitgestellt wurden. Dort hat der Angriffstrupp den oben beschriebenen Einsatzbefehl erhalten.

Nach dem Wort „Vor“ begann die Übung und die Zeitmessung wurde gestartet. Die erste Zwischenzeit wurde an der signifikanten Stelle 1 (Rauchgrenze) erhoben. Dort wurde vom Angriffstrupp die C-Leitung entlüftet (Wasser am Rohr) und der Atemanschluss wurde angeschlossen. Der Angriffstrupp ist nach der vorgegebenen Taktik in gebückter Haltung und mit der „Linke-Hand-Regel“ vorgegangen.

Die zweite Zeiterfassung fand an der signifikanten Stelle 2 (vor dem Treppenaufstieg) statt. Notiert wurde die Zeitdauer die benötigt wurde bis der erste Fuß die Treppe berührt hat.

An der signifikanten Stelle 3 (nach dem Treppenaufstieg) fand eine erneute Zeiterhebung statt. Notiert wurde der Zeitabschnitt bis der Angriffstrupp im Obergeschoss begonnen hat mit der „Rechte-Hand-Regel“ (Wandkontakt) weiter vorzugehen.

Die Zeitmessung wurde gestoppt, sobald der Angriffstrupp mit dem Hohlstrahlrohr den vorher definierten Brandort erreicht hat (signifikante Stelle 4). Dieser wurde durch ein Kantholz gekennzeichnet, wie Abbildung 10 zeigt, welches mit dem Hohlstrahlrohr berührt werden musste.



Abbildung 10: Endpunkt der Übung (Brandort) (eigene Darstellung)

Jeder Angriffstrupp wurde neben dem Verfasser dieser Arbeit von einem weiteren Beobachter durch das Übungshaus begleitet. Der zweite Übungsbeobachter hatte die Aufgabe, Auffälligkeiten in Bezug auf die Eigenschaften des verwendeten C-Druckschlauches zu notieren (z. B. Abknicken, festhaken der Kupplungsteile etc.). Außerdem wurden durch den weiteren Übungsbeobachter das verbrauchte Luftvolumen sowie der numerische Wert der Borg-Skala der Trupp-Mitglieder erfasst. Die Werte wurden im sofortigen Anschluss an das Erreichen des Übungszieles erfasst. Wegen Krankheit und den zu der Zeit geltenden Hygieneregeln aufgrund der Covid 19 Pandemie, wurde die zweite Beobachtungsinstanz an jedem Übungstag durch einen anderen Beamten der Feuerwehr Ibbenbüren durchgeführt. Alle Beamten verfügten jedoch über eine Qualifikation, die mindestens dem hauptamtlichen Gruppenführer (B3) entsprach.

Im Anschluss an den dritten Übungstag wurde der persönliche Bewertungsbogen an die Proband*innen ausgegeben.

3.2 Erhobene Parameter während und nach dem Übungsszenario

3.2.1 Herzschlagfrequenz

Die Herzschlagfrequenz wird maßgeblich durch eine dynamische Belastung großer Muskelgruppen beeinflusst. Darüber hinaus wirken Faktoren, wie eine statische Muskelbeanspruchung und thermische sowie psychische Belastungen, auf die Herzschlagfrequenz ein [42, 43]. Die somit einhergehende Beurteilung der physischen Belastung durch die ermittelte Herzschlagfrequenz ist lange etabliert. Dies trifft vor allem bei der Betrachtung von dynamischer Muskularbeit zu [44 S.30]. Während der Übung wurde die Herzschlagfrequenz, des eingesetzten Angriffstrupps, mittels Herzfrequenz-Sensor mit Brustgurt, auf der Haut unter der persönlichen Schutzausrüstung, aufgezeichnet. Bei den verwendeten Herzfrequenzsensoren handelt es sich, bei den Übungen zu dem C52 Druckschlauch, um das Modell Move 3 des Herstellers Movisens. Aufgrund eines Defektes wurden die Messungen der Truppmänner/-frauen bei den Übungen der Druckschläuche C42 und C38 mit einem anderen Herzfrequenzsensor fortgesetzt. Hierbei handelt es sich um das Modell Dual HR der Firma Decathlon. Die durchschnittliche Herzfrequenz wird bestimmt, indem die Herzschlagfrequenz alle 10 Sekunden, über die Übungsdauer hinweg, bestimmt wurde. Die folgende Abbildung 11 zeigt die Trageweise des Herzschlagfrequenzsensors.



Abbildung 11: Position des getragenen Herzschlagfrequenzsensors mit Brustgurt (eigene Darstellung)

3.2.2 Energieumsatz

Ein entscheidender Faktor zur Berechnung des Energieumsatzes ist der Sauerstoffverbrauch. Der Sauerstoffverbrauch steigt in etwa linear zu einer steigenden Belastungsintensität [45 S.281]. Wie der Sauerstoffverbrauch verhält sich auch das Atemmientenvolumen, welches ein weiterer Bestandteil des Energieumsatzes ist. Bei circa 60 % der maximalen Leistungsfähigkeit kommt es zu einer rascheren Zunahme des Atemminutenvolumen [46 S.32].

Mit den folgenden Befragungs- und Messwerten wurde durch ein spezielles Berechnungsprogramm der durch die Proband*innen aufgebrauchte Energieumsatz berechnet. Vor Übungsbeginn wurden die in Tabelle 10 aufgelisteten Werte von allen Teilnehmer*innen abgefragt.

Tabelle 10: Benötigte personenbezogene Werte für den Energieumsatz

Vor Studienbeginn erhobene Werte
Körpergewicht in [kg]
Körpergröße in [cm]
Alter der Proband*innen
Das Geschlecht der Proband*innen

Neben den in der oben liegenden Tabelle aufgezählten Werten, fließt die für den Übungsdurchlauf benötigte Zeitdauer in die Berechnung ein. Als letzter Messwert wird das verbrauchte Luftvolumen während es Übungsdurchlaufes benötigt. Dieses wird näherungsweise durch den verbrauchten Druck der Atemschutzflasche, welcher durch die Proband*innen am analogen Druckmanometer abgelesen wurde, bestimmt. Hierzu werden die in Abschnitt 3.1.3 erläuterten Annahmen zur Berechnung des Volumens verwendet. Außerdem wird angenommen, dass sich die Abnahme des Flaschendruckes der Atemschutzflasche und somit das verbrauchte Luftvolumen linear verhält und die Ausatemluft der Proband*innen immer 16 % Sauerstoff enthält. Diese daraus resultierenden Werte werden in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Annahme zur Ermittlung des verbrauchten Atemluftvolumens

Atemluftflaschenvolumen	Luftvolumen je verbrauchtem Bar Falschendruck
6,00 Liter	5,45 Liter Atemluft
6,80 Liter	6,18 Liter Atemluft

3.2.3 Borg-Skala

Die Bestimmung des Anstrengungsempfinden bei Belastungsuntersuchungen unter körperlicher Arbeit wird, seit der Einführung vor 40 Jahren, als Standard angesehen [47, 48]. Erfasst wird das Anstrengungsempfinden welches eine subjektive Antwort auf die Reizintensität einer physischen Leistung widerspiegelt mit einer numerischen Skala (die sogenannte Borg-Skala). Diese physische Leistung ist häufig eine physische Beanspruchung [49 S.299]. Die Borg-Skala soll möglichst noch während der Belastung abgefragt werden. In der Endphase der Belastung werden die Proband*innen nach ihrem persönlichen Anstrengungsempfinden befragt. Sie sollen eine, auf der Borg-Skala vorhandene, Zahl nennen. Hierfür wird diese Skala allen teilnehmenden Proband*innen vor Beginn eindrücklich erläutert [49 S.299]. Die Borg-Skala enthält numerische Zahlen im Bereich von sechs bis 20. Wobei die Zahl Sechs das niedrigste Anstrengungsempfinden darstellt und die Zahl 20 das größtmögliche Anstrengungsempfinden [48]. Die nachfolgende Tabelle 12 zeigt die verwendete und grafisch angepasste Borg-Skala nach G. Borg [48].

Tabelle 12: Borg-Skala angepasst durch Verfasser [48]

Wert	Anstrengungsgrad	Auswahl
6	überhaupt nicht anstrengend	
7	extrem leicht	
8		
9	sehr leicht	
10		
11	leicht	
12		
13	etwas schwer	
14		
15	schwer	
16		
17	sehr schwer	
18		
19	extrem schwer	
20	größtmögliche Anstrengung	

3.2.4 Leitmerkmalmethoden

Auf Grundlage von angefertigten Fotos, die während der Übungsdurchführung zu den untersuchten C-Druckschläuchen aufgenommen wurden, sowie der Übungsbeobachtung durch den Verfasser dieser Arbeit, wird die physische Belastung der Proband*innen anhand der Leitmerkmalmethoden zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen bei der Ausübung von Ganzkörperkräften (LMM-GK) und der Leitmerkmalmethoden zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen bei Körperfortbewegung (LMM-KB) bestimmt. Unter Zuhilfenahme der Leitmerkmalmethoden lassen sich wesentliche Belastungsmerkmale relativ simpel festhalten und auswerten [50]. Ein besonderes Augenmerk wird hierbei auf die signifikanten Punkte, die in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt sind, gelegt. Die Leitmerkmalmethode „Ganzkörperkräfte“ berücksichtigt erhebliche Kräfte, die aufgebracht werden müssen, um zum Beispiel Personen manuell zu bewegen. Die Krafteinleitung erfolgt hierbei überwiegend durch die Hände. Auch eine Fortleitung über die Schultern, den Rücken, die Beine und der Füße ist möglich. Charakteristisch ist außerdem, dass die aufzubringende Kraft so hoch ist, dass die Tätigkeit nicht mehr im Sitzen ausgeübt werden kann (siehe Bilder im Anhang) [50]. Die Leitmerkmalmethode „Körperfortbewegung“ bestimmt die Belastung bei Bewegungen des Körpers zu einem Arbeitsort oder einem Arbeitsbereich. Beurteilt wird diese Belastung unabhängig von auftretenden Aktionskräften [51].

Bei der Bewertung mittels der Leitmerkmalmethode „Körperfortbewegung“ wird zwischen dem Bewegen von Punkt 1 (Eingangstür) nach Punkt 2 (Treppenanstieg Erdgeschoss) sowie dem Bewegen von Punkt 3 (Treppenanstieg Obergeschoss) nach Punkt 4 (Brandstelle) und dem Bewegen von Punkt 2 (Treppenanstieg Erdgeschoss) nach Punkt 3 (Treppenanstieg Obergeschoss) unterschieden. Diese Unterscheidung wird vorgenommen, da die Bewegung im Übungsszenario von Punkt 1 nach Punkt 2 und von Punkt 3 nach Punkt 4 in gebückter Haltung stattfindet. Die Bewegung von Punkt 2 nach Punkt 3 findet nicht über eine Ebene statt, sondern über eine Treppe.

Da die beschriebenen Leitmerkmalmethoden nicht explizit für die Tätigkeit „Innenbrandbekämpfung“ entwickelt wurden, müssen einige Annahmen getroffen werden, um diese dennoch anwenden zu können.

Für die benötigte Zeitdauer für die Bewegung zwischen den signifikanten Punkten wurden die ermittelten Durchschnittszeiten auf ganze Minuten gerundet, die im Inneren benötigt wurden. Weitere Annahmen wurden für das mitzuführende Gewicht getroffen. Zum einen wurden für das zu ziehende Gewicht zwei mit Wasser gefüllte C-Längen sowie das verwendete Hohlstrahlrohr einbezogen, da sich die dritte verwendete C-Länge beinahe vollständig vor dem Gebäude befunden hat. Des Weiteren musste ein Reibungskoeffizient angenommen werden, da bei einer Literaturrecherche kein Reibungskoeffizient zwischen dem Schlauchmaterial und Holz ermittelt werden konnte. Als Annahme wurde der Reibungskoeffizient zwischen Leder und Holz angenommen. Dieser beträgt nach Hering et al. 0,47 (Haftreibung) und 0,27 bei einsetzender Gleitreibung [52 S.150]. Die zum Mitführen des jeweiligen Schlauches benötigte Kraft wird mit folgender Formel berechnet [52 S.149]:

$$\text{Reibungskraft} = \text{Gewichtskraft} \cdot \text{Reibungskoeffizient}_{\text{Gleitreibung}}$$

$$\text{Resultierendes Gewicht} = \frac{\text{Reibungskraft}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

Mit der aufgeführten Formel, den Gewichten aus Tabelle 7 und des Hohlstrahlrohres wurden folgende in Tabelle 13 dargestellte Reibungskräfte, aus denen die mitzuführende Last bestimmt wird.

Tabelle 13: Ermittelte mitzuführende Last im Übungsobjekt bei der Innenbrandbekämpfung

Material	Reibungskraft	Resultierendes Gewicht
zwei C52 + Hohlstrahlrohr	208,35 N	21,24 kg
zwei C42 + Hohlstrahlrohr	143,88 N	14,60 kg
zwei C38 + Hohlstrahlrohr	119,83 N	12,22 kg

Für die Leitmerkmalmethode „Ganzkörperkräfte“ orientiert sich die prozentual aufgebrachte individuelle Maximalkraft der durchschnittlichen Bewertung der Belastungsintensität nach Borg für jeden C-Druckschlauch.

Als letzte Annahme wird ein Trupp als eine Einheit betrachtet und es wird nicht zwischen Truppführer / Truppführerin und Truppmann / Truppfrau unterschieden.

3.2.5 Zeitdauer

Die Start- und Enduhrzeit des gesamten Übungsszenarios wurde mit einer handelsüblichen Funkuhr bestimmt. Mit dieser Methode wurde ebenfalls die Uhrzeit des Beginns der Brandbekämpfung ermittelt. Diese dient lediglich zur Bestimmung des relevanten Zeitintervalls für die Herzschlagfrequenzmessung.

Die einzelnen Zeitintervalle zwischen den, im Vorfeld bestimmten, signifikanten Stellen 1 bis 4 (Abbildung 4 und Abbildung 5) wurden mit einer digitalen Stoppuhr gemessen. Die Messungen erfolgten immer durch den Verfasser dieser Arbeit und wurden in einem angefertigten Protokoll (Anhang) notiert. Hierbei wurde die benötigte Zeitdauer im folgenden Format angegeben (Minuten: Sekunden). Für jeden der drei untersuchten C-Druckschläuche wurde ein eignes Protokoll angefertigt und ebenfalls durch den Verfasser dieser Arbeit geführt.

3.2.6 Befragung der Proband*innen

Im Anschluss aller durchlaufenden Übungen wurden den Proband*innen, die die drei C-Druckschläuche in den Übungsszenarien verwendet haben, die Möglichkeit geboten, die jeweiligen C-Druckschläuche zu bewerten. Hierfür wurde jede durchlaufende Übung in zwei Abschnitte aufgeteilt. Zuerst der Abschnitt des Auf- und Abbaus, in welchem explizit nur der Auf- bzw. Abbau vor dem Übungshaus abgefragt wurde. Der zweite Abschnitt beschränkt sich auf die Innenbrandbekämpfung im Übungshaus. Die Proband*innen wurden gebeten, für jeden Abschnitt getrennt, das allgemeine Handling und das empfundene Gewicht in Schulnoten zu bewerten. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit sonstige Bemerkungen, zu jedem Abschnitt, in einem Frei-Text-Feld zu dokumentieren. Durch diese nachgeschaltete subjektive Abfrage wurde allen Teilnehmer*innen die Möglichkeit gegeben, ihre abschließende Meinung anzuführen. Abbildung 12 zeigt den Aufbau des ausgegebenen Fragebogens.

Abschlussbefragung C52

Auf- und Abbau

Handling in Schulnoten (1 bis 6)

Gewicht in Schulnoten (1 bis 6)

Sonstige Bemerkungen

Brandbekämpfung im Gebäude

Handling in Schulnoten (1 bis 6)

Gewicht in Schulnoten (1 bis 6)

Sonstige Bemerkungen

 **FEUERWEHR**
Ibbenbüren

Abbildung 12: Abschlussbefragung der Proband*innen

3.3 Statistische Auswertung der Daten

Für statistische Analysen wurde das Statistikprogramm SigmaPlot in der Version 14.5 auf einem Windows-PC verwendet. Das Vorliegen von normalverteilten Daten wurde zu Beginn mit dem Shapiro-Wilk-Test geprüft. Abhängig von der Anzahl der zu vergleichenden Gruppen wurden erhobene normalverteilte Werte mit einem Welch-Test oder einem t-Test analysiert. Die Untersuchung von nicht normalverteilten Werten erfolgte mittels Mann-Whitney-Rank Sum-Test oder einen Kruskal-Wallis-Test. Für Identifikation der signifikant unterschiedlichen Gruppen wurde sich für einen Post-Hoc-Test nach Dunn entschieden. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt.

Nach DIN 1333:1992-02 „Zahlenangaben“ wurden alle ermittelten Ergebnisse mit zwei Nachkommastellen angegeben. Die aus den Messungen und Befragungen ermittelten Ergebnisse wurden in folgendem Format dargestellt:

Die Ausprägung einer Variable ($n =$ Anzahl Datenpunkte) Mittelwert \pm Standardabweichung

Beispiel:

Durchschnittliches Alter der Proband*innen der Versuche C52 und C42 ($n = 26$) 27,85 Jahre $\pm 6,14$ Jahre

4 Ergebnisse der Übungsdurchführen

4.1 Auszuwertende Daten

Es konnten für die Durchführung der Übungsszenarien der Feuerwehr-Druckschläuche C52, C42 und C38 22 Teilnehmer*innen des Grundausbildungslehrganges 2020-01 nach VAP1.2-Feu der Feuerwehr Ibbenbüren gewonnen werden. Diese wurden für die Übungsdurchläufe der Feuerwehr-Druckschläuche C52 und C42 durch weitere Teilnehmer*innen ergänzt. Diese sind als hauptamtliches Personal, in der Laufbahngruppe 1.2 des feuerwehrtechnischen Dienstes, bei der Stadt Ibbenbüren angestellt.

Für die Durchführung der standardisierten Übungsdurchläufe der Feuerwehr-Druckschläuche C52, C42 und C38 standen somit die gleichen 22 Proband*innen zur Verfügung (20 Männer und zwei Frauen) und für die Übungen der Feuerwehr-Druckschläuche C52 und C42 vier weitere Proband*innen (insgesamt 23 Männer und drei Frauen).

Auf dem ausgegebenen Fragebogen an die Proband*innen, die an allen drei Übungstagen teilgenommen haben, wurde von in 22 Fällen eine Benotung vorgenommen. Dies entspricht einem Anteil von 100 %. Acht Proband*innen haben die Möglichkeit genutzt im Freitextfeld eine individuelle Bewertung vorzunehmen (36,36 %).

4.2 Ergebnisse der Charakterisierung der Proband*innen

Alle Proband*innen absolvierten während ihrer Laufbahnausbildung den vorgeschriebenen Atemschutzgeräteträgerlehrgang erfolgreich. Sie waren zum Zeitpunkt der Übungsdurchgänge G26.3 tauglich und haben im jährlichen Intervall ihre Atemschutzbelastungsübung absolviert. Des Weiteren haben sich alle Proband*innen gesund und einsatzfähig gefühlt.

Das Alter der Proband*innen beträgt bei den Übungen des C52 und C42 Druckschlauches (n=26) 27,85 Jahre \pm 6,14 Jahre und bei der Übung des C38 Druckschlauches (n=22) 26,59 Jahre \pm 4,39 Jahre. Die Abbildung 13 zeigt die unterschiedliche Altersstruktur.

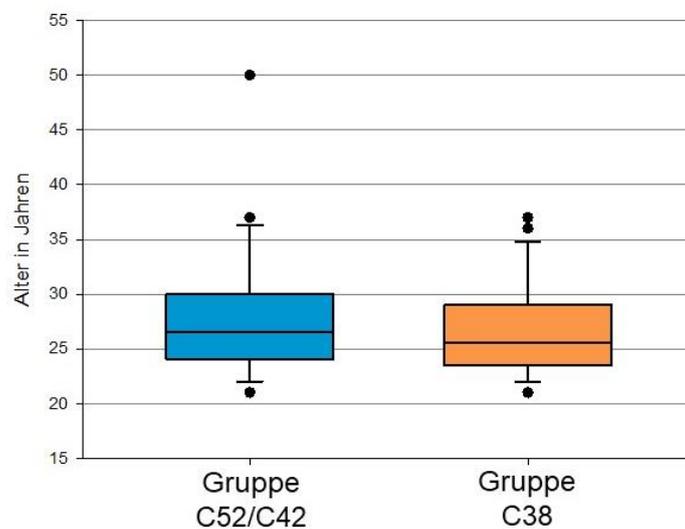


Abbildung 13: Altersstruktur der Proband*innen Gruppe C52/42 (n=26) und der Proband*innen Gruppe C38 (n=22)

Der Body-Maß-Index der Proband*innen beträgt bei den Proband*innen, der Übungen der Feuerwehr-Druckschläuche bei C52 und C42, (n=26) $25,21 \pm 2,81$. Bei den Proband*innen der Druckschläuche C52, C42 und C38 ergibt sich ein BMI von (n=22) $25,27 \pm 2,94$ (Abbildung 14).

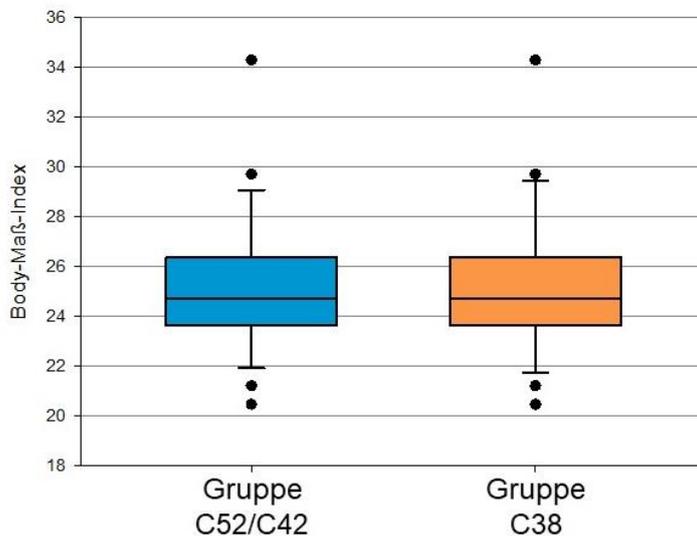


Abbildung 14: Body-Maß-Index der Proband*innen Gruppe C52/42 (n=26) und der Proband*innen Gruppe C38 (n = 22)

Da einige Proband*innen bereits vor der Grundausbildung nach VAP1.2-Feu über eine Mitgliedschaft in einer Freiwilligen Feuerwehr verfügten, variierte die vorhandene Erfahrung stark. So beträgt die Feuerwehrangehörigkeit (n=26) $6,39$ Jahre $\pm 6,07$ Jahre bei den Übungen zu den Feuerwehr-Druckschläuchen C52 und C42. Bei der Übung des C38 lag die vorherige Feuerwehrangehörigkeit bei (n=22) $5,68$ Jahre $\pm 4,70$ Jahre. Abbildung 15 stellt die unterschiedliche Dauer der Feuerwehrangehörigkeit dar.

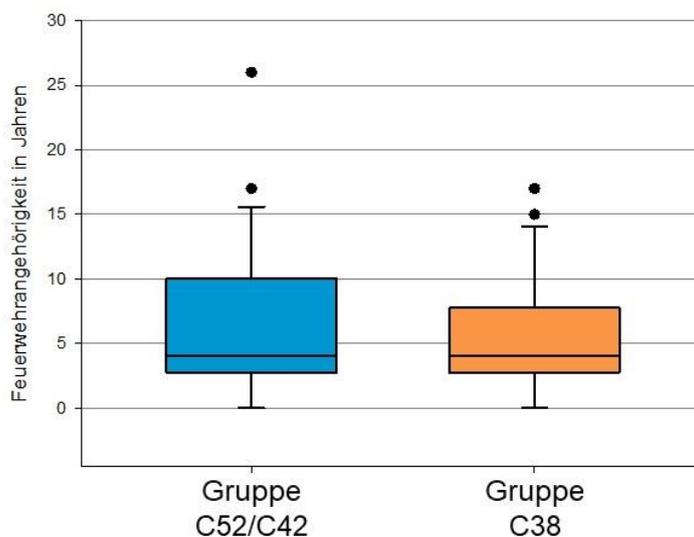


Abbildung 15: Feuerwehrangehörigkeit in Jahren der Proband*innen Gruppe C52/42 (n=26) und der Proband*innen Gruppe C38 (n = 22)

Die bereits durchgeführten realen Innenbrandbekämpfung betragen bei den Versuchsreihen zum C52 und C42 Feuerwehr-Druckschlauch (n=26) 4,62 Innenbrandbekämpfungen \pm 9,85 Innenbrandbekämpfungen. Für den C38 Druckschlauch wurden durch die Proband*innen (n=22) 2,27 Innenbrandbekämpfungen \pm 3,07 Innenbrandbekämpfungen durchgeführt. Diese bereits durchgeführten Innenbrandbekämpfungen der Proband*innen werden in Abbildung 16 verdeutlicht.

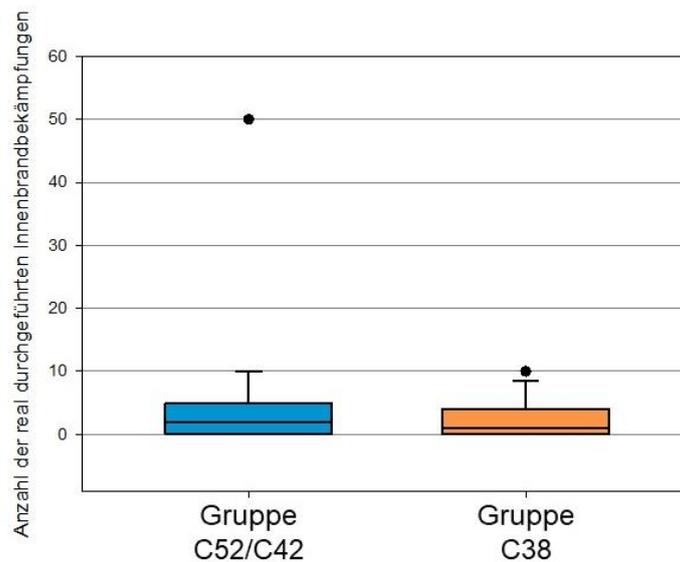


Abbildung 16: Real durchgeführte Innenbrandbekämpfungen der Proband*innen Gruppe C52/42 (n=26) und der Proband*innen Gruppe C38 (n = 22)

4.3 Ergebnisse der ermittelten Herzschlagfrequenz

Für den Vergleich der ermittelten durchschnittlichen Herzschlagfrequenz stehen für die C-Druckschläuche C52 und C42 jeweils 25 (13 Truppführer / Truppführerin, 12 Truppmann / Truppfrau) dokumentierte Herzschlagfrequenzen pro Minute zur Verfügung. Für den C38 Druckschlauch wurden 20 (10 je Truppmittglied) durchschnittliche Herzschlagfrequenzen bestimmt.

Der Vergleich der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz zwischen dem Truppführer / der Truppführerin (n=13) $160,45 \text{ bpm} \pm 10,00 \text{ bpm}$ und dem Truppmann / der Truppfrau (n=12) $154,84 \text{ bpm} \pm 13,24 \text{ bpm}$, während des Absolvierens des Übungsszenarios mit dem Druckschlauch C52, ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Truppmittgliedern (Abbildung 17).

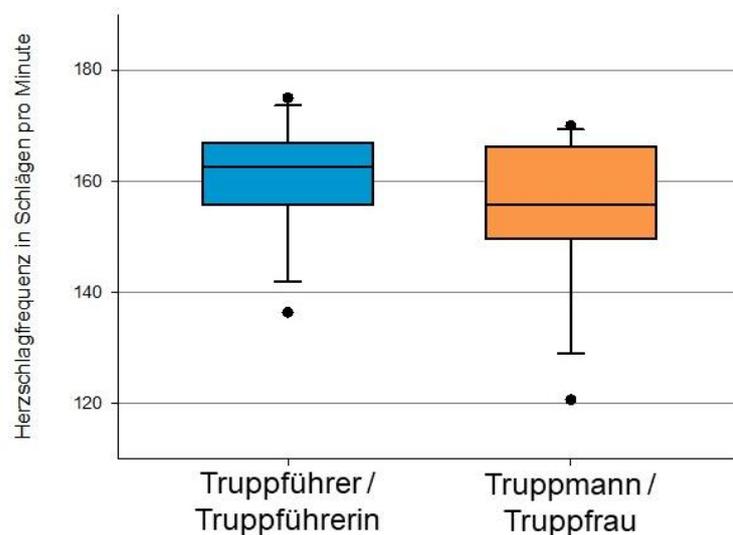


Abbildung 17: Darstellung der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz zwischen den Truppmittgliedern bei der Verwendung des C52 Druckschlauches

Der Vergleich der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz zwischen dem Truppführer / der Truppführerin (n=13) $152,32 \text{ bpm} \pm 15,37 \text{ bpm}$ und dem Truppmann / der Truppfrau (n=12) $152,07 \text{ bpm} \pm 16,39 \text{ bpm}$, während des Absolvierens des Übungsszenarios mit dem Druckschlauch C42, ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Truppmitgliedern (Abbildung 18).

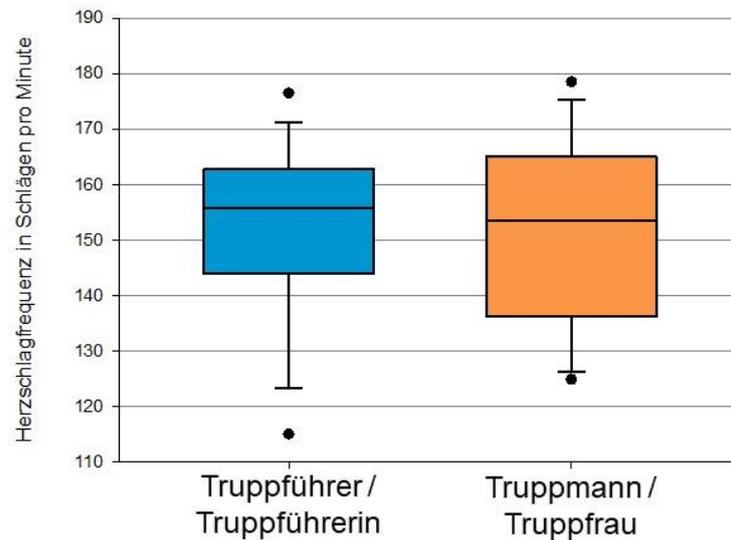


Abbildung 18: Darstellung der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz zwischen den Truppmitgliedern bei der Verwendung des C42 Druckschlauches

Der Vergleich der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz zwischen dem Truppführer / der Truppführerin (n=10) $161,24 \text{ bpm} \pm 10,26 \text{ bpm}$ und dem Truppmann / der Truppfrau (n=10) $157,07 \text{ bpm} \pm 8,79 \text{ bpm}$, während des Absolvierens des Übungsszenarios mit dem Druckschlauch C38, ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Truppmitgliedern (Abbildung 19).

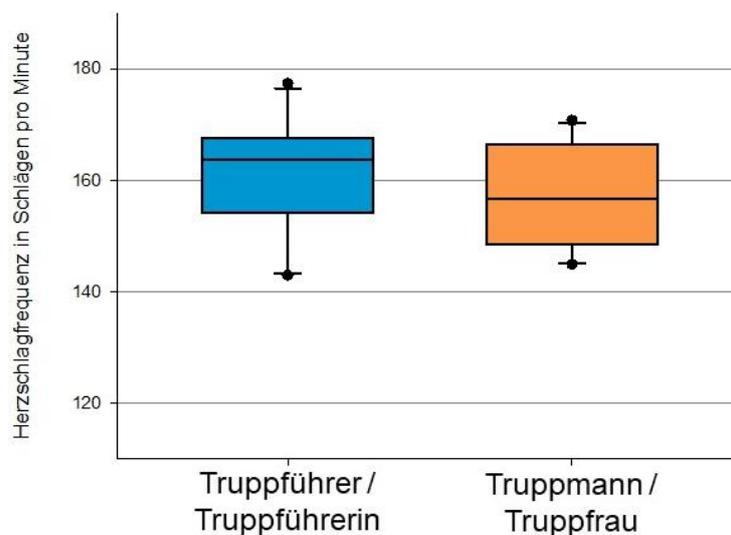


Abbildung 19: Darstellung der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz zwischen den Truppmitgliedern bei der Verwendung des C38 Druckschlauches

Die durchschnittliche Herzschlagfrequenz der Truppmitglieder, beträgt für den Druckschlauch C52 (n=25) $158,22 \pm 6,28$, für den Druckschlauch C42 (n=25) $151,99 \text{ bpm} \pm 12,01 \text{ bpm}$ und für den Druckschlauch C38 (n=20) $159,15 \text{ bpm} \pm 6,08 \text{ bpm}$. Im Vergleich der ermittelten durchschnittlichen Herzschlagfrequenz zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den drei verschiedenen Druckschläuchen. Abbildung 20 stellt die beiden erhobenen durchschnittlichen Herzschlagfrequenzen in einem Boxplot dar.

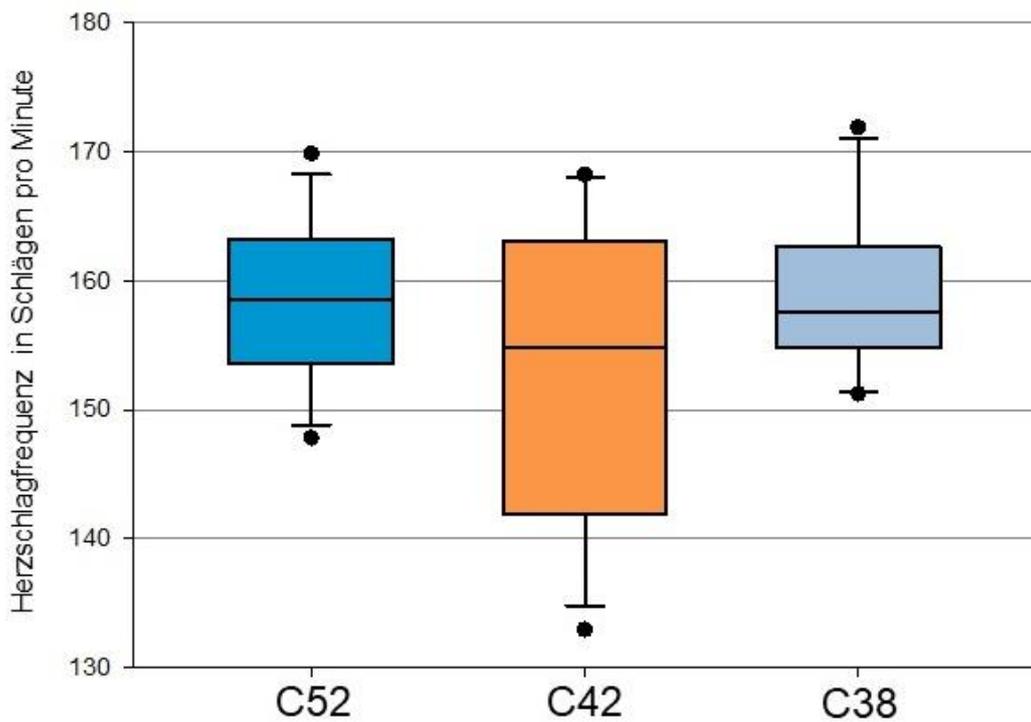


Abbildung 20: Darstellung der durchschnittlich ermittelten Herzschlagfrequenz zwischen den Druckschläuchen C52, C42 und C38 während des Absolvierens des Übungsszenarios

4.4 Ergebnisse des ermittelten Gesamtenergieumsatzes

Für den Vergleich des ermittelten gesamten Energieumsatzes stehen für die C-Druckschläuche C52 und C42 jeweils 26 (13 Truppführer / Truppführerin, 13 Truppmann / Truppfrau) berechnete Werte zur Verfügung. Für den C38 Druckschlauch wurden 22 (11 je Truppmittglied) Gesamtenergieumsätze bestimmt.

Der Vergleich des Gesamtenergieumsatzes zwischen dem Truppführer / der Truppführerin (n=13) $528,11 \text{ kJ} \pm 86,21 \text{ kJ}$ und dem Truppmann / der Truppfrau (n=13) $502,09 \text{ kJ} \pm 147,62 \text{ kJ}$, während des Absolvierens des Übungsszenarios mit dem Druckschlauch C52, ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Truppmittgliedern (Abbildung 21).

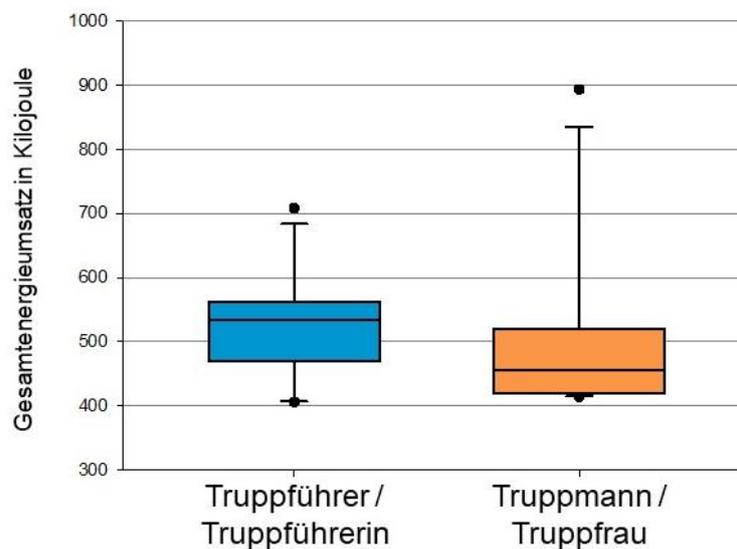


Abbildung 21: Darstellung des Gesamtenergieumsatzes zwischen den Truppmittgliedern bei der Verwendung des C52 Druckschlauches

Der Vergleich des Gesamtenergieumsatzes zwischen dem Truppführer / der Truppführerin (n=13) $356,08 \text{ kJ} \pm 88,72 \text{ kJ}$ und dem Truppmann / der Truppfrau (n=13) $338,71 \text{ kJ} \pm 76,36 \text{ kJ}$, während des Absolvierens des Übungsszenarios mit dem Druckschlauch C42, ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Truppmitgliedern (Abbildung 22).

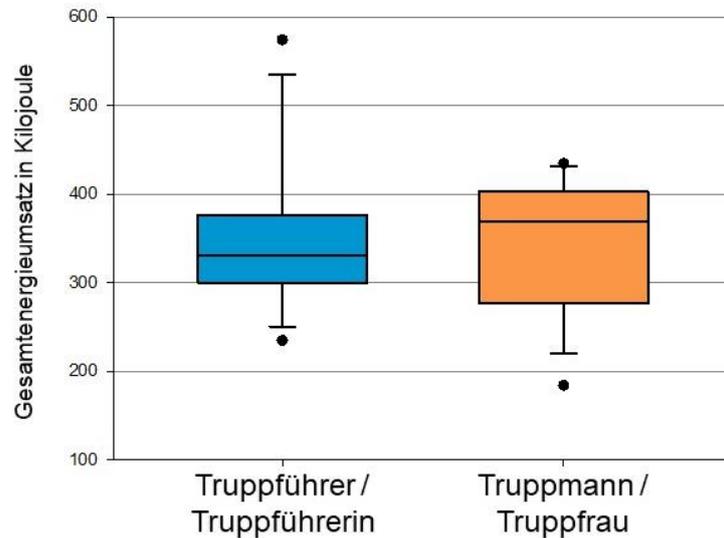


Abbildung 22: Darstellung des Gesamtenergieumsatzes zwischen den Truppmitgliedern bei der Verwendung des C42 Druckschlauches

Der Vergleich des Gesamtenergieumsatzes zwischen dem Truppführer / der Truppführerin (n=11) $287,33 \text{ kJ} \pm 98,27 \text{ kJ}$ und dem Truppmann / der Truppfrau (n=11) $255,35 \text{ kJ} \pm 69,96 \text{ kJ}$, während des Absolvierens des Übungsszenarios mit dem Druckschlauch C38, ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Truppmitgliedern (Abbildung 23).

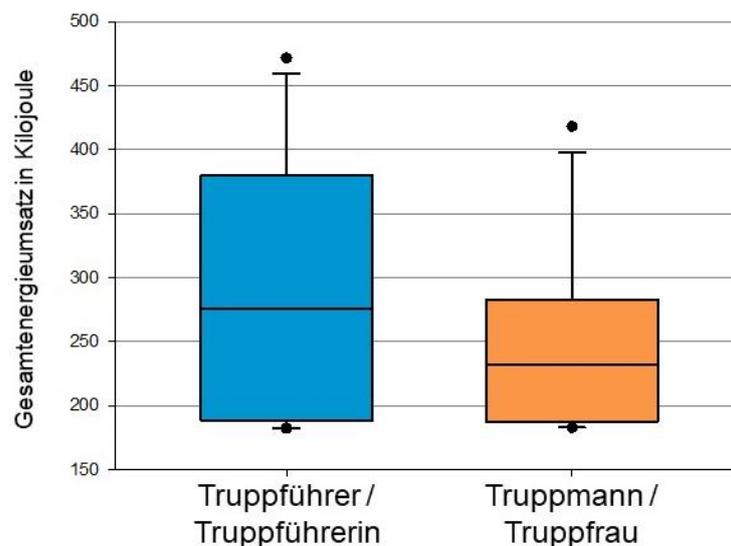


Abbildung 23: Darstellung des Gesamtenergieumsatzes zwischen den Truppmitgliedern bei der Verwendung des C38 Druckschlauches

Der durchschnittliche Gesamtenergieumsatz beträgt für den Druckschlauch C52 (n=26) 516,60 kJ ± 119,01 kJ und für den Druckschlauch C38 (n=22) 271,34 kJ ± 84,84 kJ. Im Vergleich des durchschnittlichen Gesamtenergieumsatzes zeigt sich ein signifikanter Unterschied ($p < 0,001$).

Für den Druckschlauch C42 beträgt der durchschnittliche Gesamtenergieumsatz (n=26) 347,39 kJ ± 81,58 kJ. Im Vergleich des durchschnittlichen Gesamtenergieumsatzes für den C42 und C38 Druckschlauch zeigt sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied ($p = 0,003$).

Abbildung 24 stellt die signifikanten Unterschiede grafisch dar.

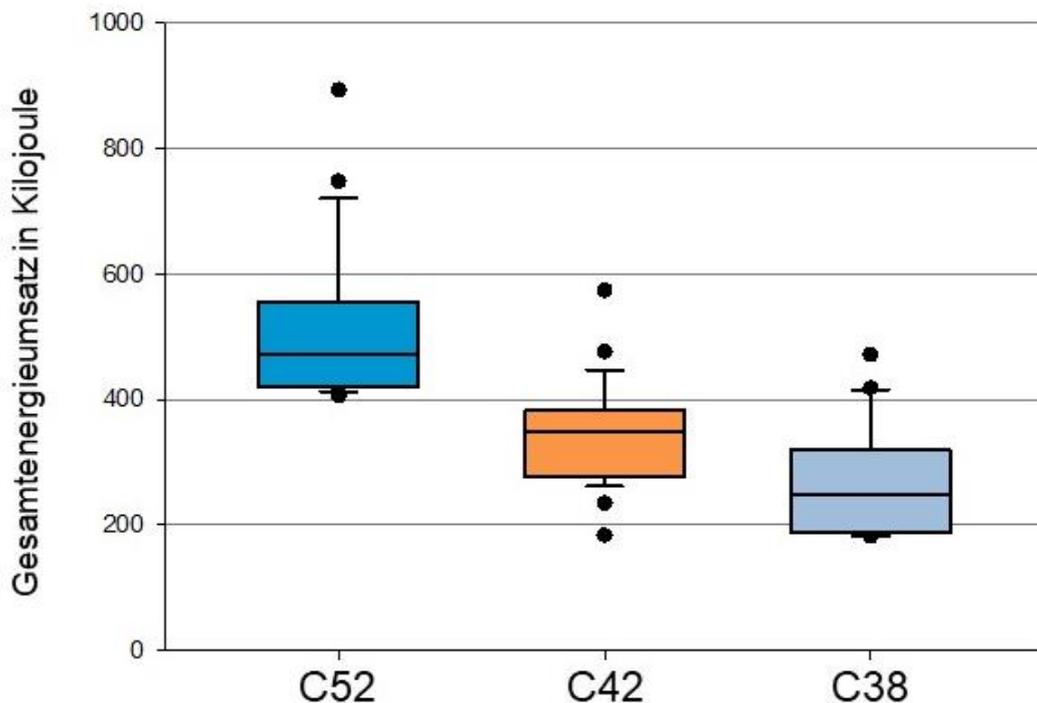


Abbildung 24: Darstellung des durchschnittlichen Gesamtenergieumsatzes zwischen den Druckschläuchen C52, C42 und C38 während des Absolvierens des Übungsszenarios

4.5 Ergebnisse der Borg-Skala

Für die Analyse der empfundenen Belastung anhand der Borg-Skala stehen für die C-Druckschläuche C52 und C42 jeweils 26 (13 je Truppmitglied) numerische Belastungsangaben zur Verfügung. Für den C38 Druckschlauch wurden 22 (11 je Truppmitglied) numerische Belastungsangaben bestimmt.

Der Vergleich der numerischen Belastungsangaben zwischen dem Truppführer / der Truppführerin (n=13) $15,92 \pm 1,12$ und dem Truppmann / der Truppfrau (n=13) $16,15 \pm 1,35$, nach dem erfolgreichen Absolvieren des Übungsszenarios mit dem Druckschlauch C52, ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Truppmitgliedern (Abbildung 25).

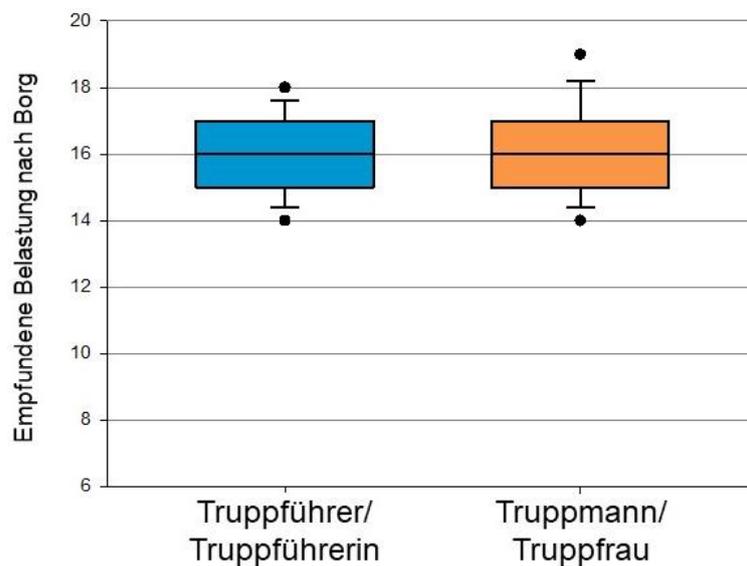


Abbildung 25: Darstellung der angegebenen numerischen Belastung nach Borg zwischen den Truppmitgliedern bei der Verwendung des C52 Druckschlauches

Der Vergleich der numerischen Belastungsangaben zwischen dem Truppführer / der Truppführerin (n=13) $13,46 \pm 1,39$ und dem Truppmann / der Truppfrau (n=13) $13,39 \pm 1,33$, nach dem erfolgreichen Absolvieren des Übungsszenarios mit dem Druckschlauch C42, ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Truppmittgliedern (Abbildung 26).

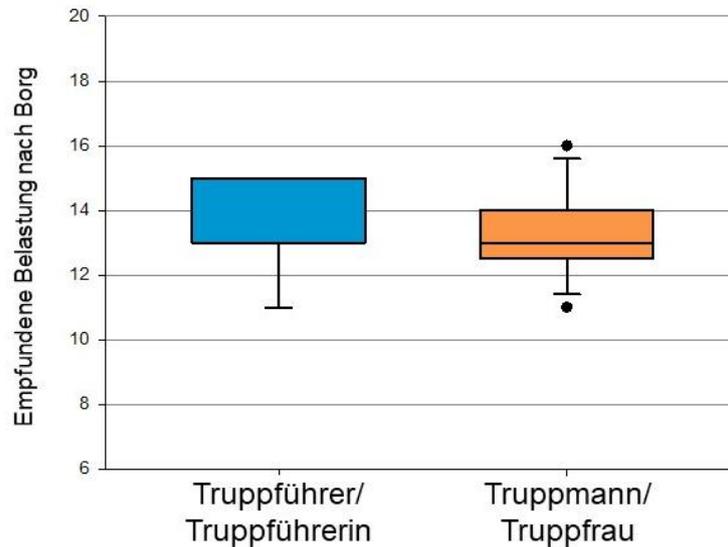


Abbildung 26: Darstellung der angegebenen numerischen Belastung nach Borg zwischen den Truppmittgliedern bei der Verwendung des C42 Druckschlauches

Der Vergleich der numerischen Belastungsangaben zwischen dem Truppführer / der Truppführerin (n=11) $11,46 \pm 1,13$ und dem Truppmann / der Truppfrau (n=11) $11,18 \pm 1,08$, nach dem erfolgreichen Absolvieren des Übungsszenarios mit dem Druckschlauch C38, ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Truppmittgliedern (Abbildung 27).

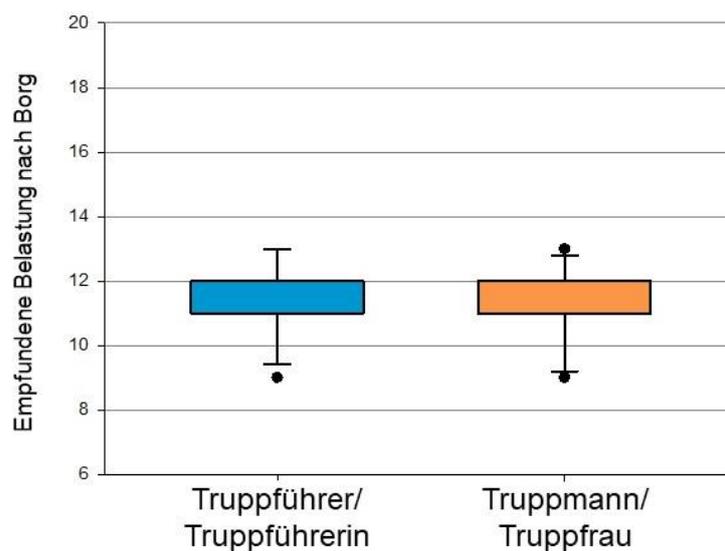


Abbildung 27: Darstellung der angegebenen numerischen Belastung nach Borg zwischen den Truppmittgliedern bei der Verwendung des C38 Druckschlauches

Die empfundene Belastungsintensität nach Borg, also die subjektiv empfundene Belastung der Truppmitglieder, beträgt für den Druckschlauch C52 (n=26) $16,04 \pm 1,09$ und für den Druckschlauch C38 (n=22) $11,32 \pm 0,93$. Im Vergleich der ermittelten Belastungsintensität nach Borg zeigt sich ein signifikanter Unterschied ($p < 0,001$).

Für den Druckschlauch C42 beträgt die empfundene Belastungsintensität nach Borg (n=26) $13,42 \pm 1,15$. Im Vergleich der ermittelten Belastungsintensitäten nach Borg für den C42 und C38 Druckschlauch zeigt sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied ($p < 0,001$).

Abbildung 28 stellt die signifikanten Unterschiede grafisch dar.

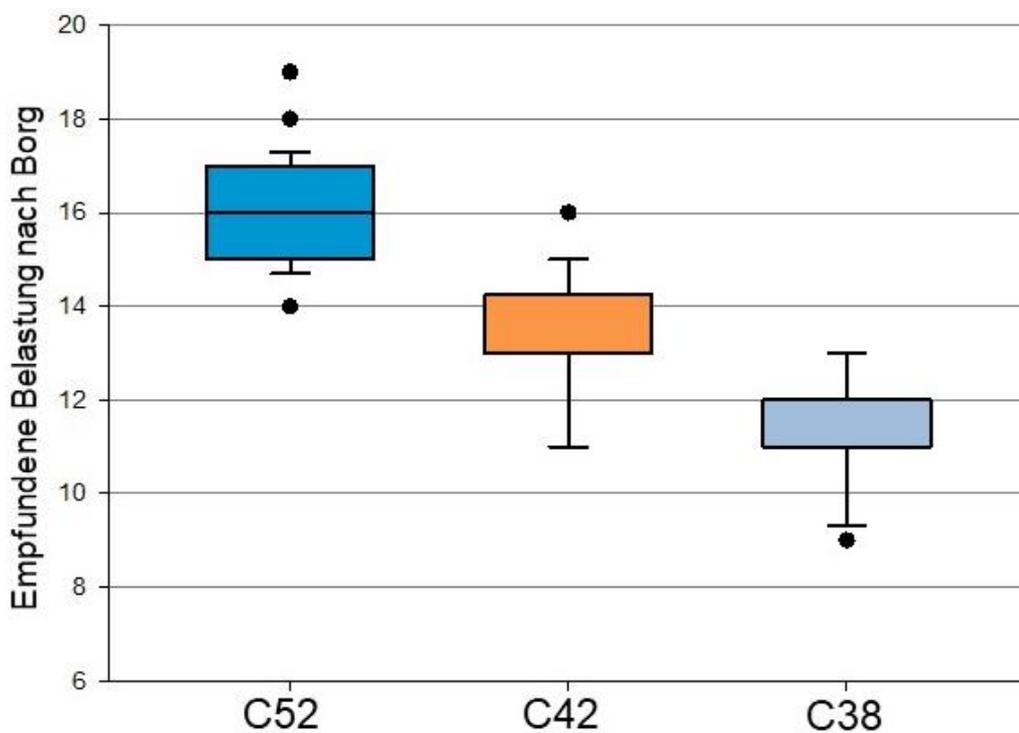


Abbildung 28: Darstellung der angegebenen numerischen Belastung nach Borg zwischen den Druckschläuchen C52, C42 und C38 nach dem Absolvieren des Übungsszenarios

4.6 Ergebnisse der Leitmerkmalmethoden

4.6.1 Leitmerkmalmethode „Ganzkörperkräfte“

Mit denen in Abschnitt 3.2.4 beschriebenen Annahmen und den Beobachtungen haben sich für die Feuerwehr-Druckschläuche C52 und C42 sowie für den Druckschlauch C38 folgende Merkmals-Wichtungen ergeben (Tabelle 14 in Anlehnung an die Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Belastungen bei der Ausübung von Ganzkörperkräften [50]):

Tabelle 14: Ermittelte Merkmals-Wichtungen der Druckschläuche C52, C42 und C38 während des Absolvierens des Übungsszenarios für die LMM-GK

Kategorie	Wichtung C52	Wichtung C42	Wichtung C38
Zeitwichtung	2,00	1,50	1,50
Kraftausübung(en) in einer Norm-Minute	50,00	32,00	17,00
Symmetrie der Kraftaufwendung	2,00	2,00	2,00
Körperhaltung	9,00	9,00	9,00
Ungünstige Ausführungsbedingungen	7,00	7,00	7,00
Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung	4,00	4,00	4,00
Ergebnis für männliche Probanden	144,00 Punkte	81,00 Punkte	58,00 Punkte
Ergebnis für weibliche Probandinnen	194,00 Punkte	105,00 Punkte	71,25 Punkte

4.6.2 Leitmerkmalmethode „Körperfortbewegung“

Mit denen in Abschnitt 3.2.4 beschriebenen Annahmen und den Beobachtungen haben sich für die Feuerwehr-Druckschläuche C52 und C42 sowie für den Druckschlauch C38 für die Bewegungen von Position 1 nach Position 2 und von Position 3 nach Position 4 folgende Merkmals-Wichtungen ergeben (Tabelle 15 in Anlehnung an die Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Belastungen bei Körperbewegung [51]):

Tabelle 15: Ermittelte Merkmals-Wichtungen der Druckschläuche C52, C42 und C38 während des Bewegens von Position 1 nach Position 2 und von Position 3 nach Position 4 für die LMM-KB

Kategorie	Wichtung C52	Wichtung C42	Wichtung C38
Zeitwichtung	1,50	1,50	1,50
Körperfortbewegung ohne Hilfsmittel	100,00	50,00	50,00
Lage des Lastschwerpunktes	8,00	4,00	4,00
Rumpfhaltung	6,00	4,00	4,00
Ungünstige Ausführungsbedingungen	15,00	15,00	15,00
Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung	4,00	4,00	4,00
Ergebnis für männliche Probanden	199,50 Punkte	115,50 Punkte	115,50 Punkte
Ergebnis für weibliche Probandinnen	259,35 Punkte	150,15 Punkte	150,15 Punkte

Mit denen in Abschnitt 3.2.4 beschriebenen Annahmen und den Beobachtungen haben sich für die Feuerwehr-Druckschläuche C52 und C42 sowie für den Druckschlauch C38 für die Bewegungen von Position 2 nach Position 3 folgende Merkmals-Wichtungen ergeben (Tabelle 16 in Anlehnung an die Leitmerkmalermethode zur Beurteilung von Belastungen bei Körperbewegung [51]):

Tabelle 16: Ermittelte Merkmals-Wichtungen der Druckschläuche C52, C42 und C38 während des Bewehens von Position 2 nach Position 3 für die LMM-KB

Kategorie	Wichtung C52	Wichtung C42	Wichtung C38
Zeitwichtung	1,00	1,00	1,00
Körperfortbewegung ohne Hilfsmittel	26,00	22,00	22,00
Lage des Lastschwerpunktes	8,00	4,00	4,00
Rumpfhaltung	6,00	4,00	4,00
Ungünstige Ausführungsbedingungen	15,00	15,00	15,00
Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung	4,00	4,00	4,00
Ergebnis für männliche Probanden	88,50 Punkte	49,00 Punkte	49,00 Punkte
Ergebnis für weibliche Probandinnen	115,05 Punkte	60,00 Punkte	60,00 Punkte

4.7 Ergebnisse der ermittelten Zeitdauer

Für die Analyse der Zeitdauer stehen für die C-Druckschläuche C52 und C42 jeweils 52 Messergebnisse zur Verfügung. Für den C38 Druckschlauch wurden 44 Messergebnisse bestimmt. Aus den 52 Messergebnissen der Druckschläuche C52 und C42 wurden 13 Gesamtzeitdauern sowie aus den 44 Messergebnissen für den C38 Druckschlauch elf Gesamtzeitdauern bestimmt.

Die Aufbauzeit, also die Zeit vom Befehl bis zum Betreten der Rauchgrenze, beträgt für den Druckschlauch C52 (n=13) $84,54 \text{ s} \pm 20,40 \text{ s}$, für den Druckschlauch C42 (n=13) $72,00 \text{ s} \pm 12,21 \text{ s}$ und für den Druckschlauch C38 (n=11) $84,64 \text{ s} \pm 21,02 \text{ s}$. Im Vergleich zwischen den Aufbauzeiten der C-Druckschläuche zeigt sich kein signifikanter Unterschied.

Die Gesamtzeitdauer beträgt bei den Druckschläuchen C52 (n=13) $354,39 \text{ s} \pm 81,60$ und C42 (n=13) $223,15 \text{ s} \pm 33,61 \text{ s}$. Die Übungen des Druckschlauches C38 wurden mit einer Gesamtdauer von (n=11) $224,36 \text{ s} \pm 43,39 \text{ s}$ absolviert. Der Vergleich zwischen der Gesamtzeitdauer des C52 und des C38 zeigt einen signifikanten Unterschied auf ($p < 0,001$). Es gibt keinen signifikanten Unterschied bei dem Vergleich zwischen dem C42 und dem C38 Druckschlauch.

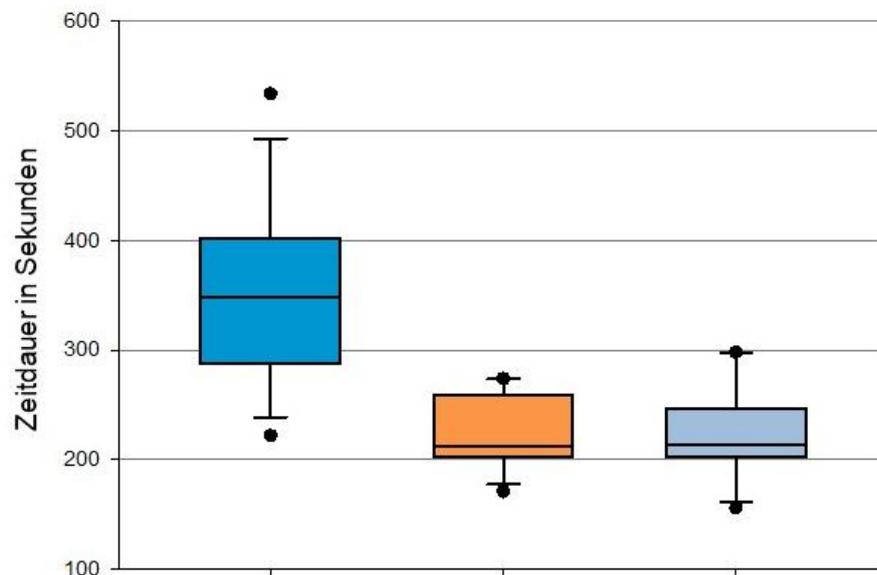


Abbildung 29: Darstellung der Vergleiche zwischen dem C52 mit dem C38 und dem C42 mit dem C38 in Hinblick auf die benötigte Gesamtzeitdauer

In den folgenden Absätzen werden die drei Abschnitte im Übungshaus einzelnen für sich betrachtet. Hierbei wird der Druckschlauch C52 mit dem C38 verglichen sowie der C42 mit dem C38.

Die benötigte Zeit, die von der signifikanten Position 1 (Wohnungstür) zur signifikanten Position 2 (Treppenanfang Erdgeschoss) benötigt wurde, beträgt für den C52 Druckschlauch (n=13) 122,23 s \pm 39,36 s, für den C42 Druckschlauch (n=13) 74,92 s \pm 15,20 s und für den C38 Druckschlauch beträgt die Zeitdauer (n=11) 65,09 s \pm 18,60 s. Vergleicht man die ermittelten Ergebnisse für den C52 Druckschlauch mit denen des C38, so zeigt sich ein signifikanter Unterschied ($p < 0,001$). Kein signifikanter Unterschied zeigt sich bei dem Vergleich der Druckschläuche C42 und C38 (Abbildung 30).

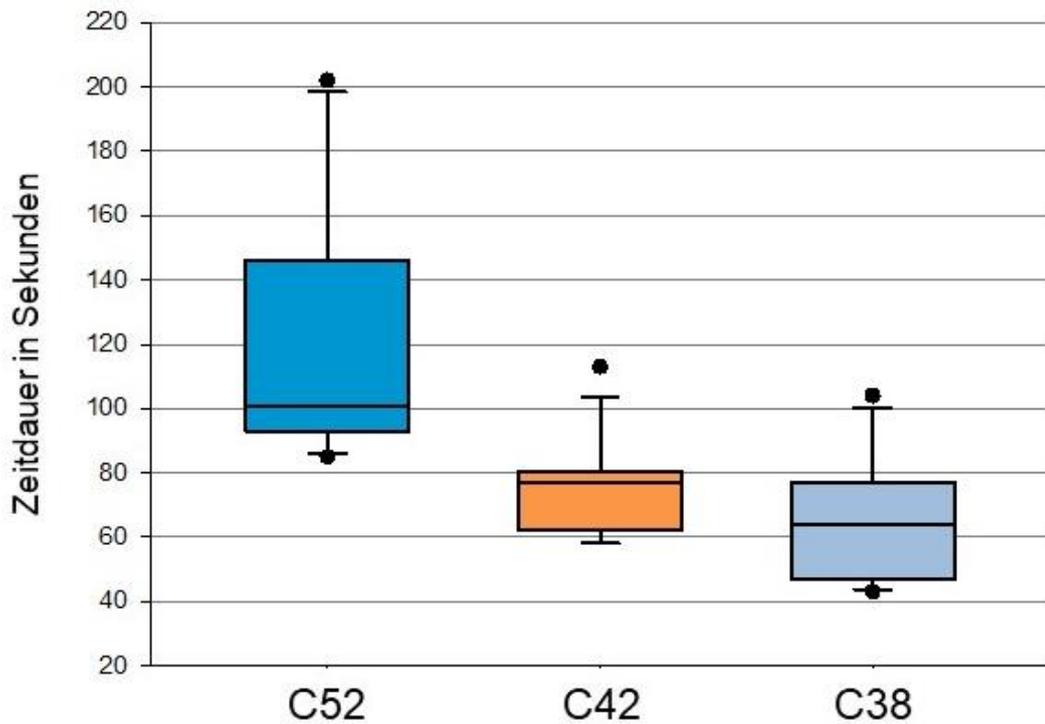


Abbildung 30: Darstellung der Vergleiche zwischen den Druckschläuchen C52, C42 und C38 in Hinblick auf die benötigte Zeitdauer zwischen Position 1 und 2

Die benötigte Zeit, die von der signifikanten Position 2 (Treppenanfang Erdgeschoss) zur signifikanten Position 3 (Treppenanfang Obergeschoss) benötigt wurde, beträgt für den C52 Druckschlauch (n=13) $72,54 \text{ s} \pm 30,57 \text{ s}$, für den C42 Druckschlauch (n=13) $40,54 \text{ s} \pm 6,62 \text{ s}$ und für den C38 Druckschlauch beträgt die Zeitdauer (n=11) $34,73 \text{ s} \pm 10,00 \text{ s}$. Vergleicht man die ermittelten Ergebnisse für den C52 Druckschlauch mit denen des C38, so zeigt sich ein signifikanter Unterschied ($p < 0,001$). Kein signifikanter Unterschied zeigt sich bei dem Vergleich der Druckschläuche C42 und C38 (Abbildung 31).

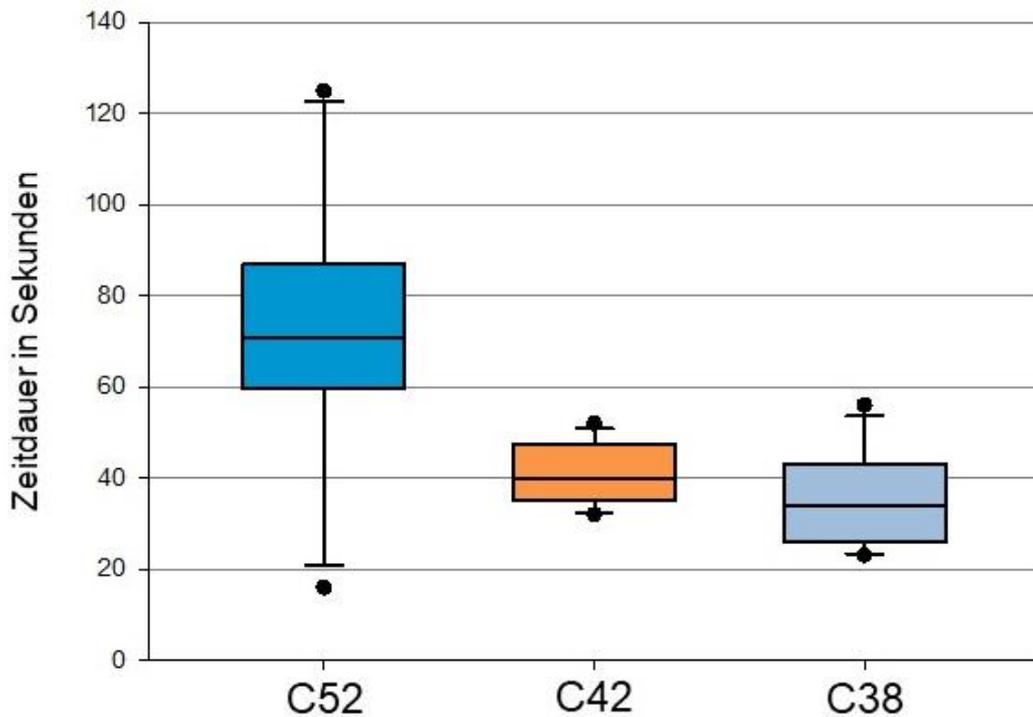


Abbildung 31: Darstellung der Vergleiche zwischen dem C42 und C38 in Hinblick auf die benötigte Zeitdauer zwischen Position 2 und 3

Die benötigte Zeit, die von der signifikanten Position 3 (Treppenanfang Obergeschoss) zur signifikanten Position 4 (Brandstelle) benötigt wurde, beträgt für den C52 Druckschlauch (n=13) 75,08 s ± 39,00 s, für den C42 Druckschlauch (n=13) 35,69 s ± 12,02 s und für den C38 Druckschlauch beträgt die Zeitdauer (n=11) 39,91 s ± 12,40 s. Vergleicht man die ermittelten Ergebnisse für den C52 Druckschlauch mit denen des C38, so zeigt sich ein signifikanter Unterschied ($p < 0,002$). Kein signifikanter Unterschied zeigt sich bei dem Vergleich der Druckschläuche C42 und C38 (Abbildung 32).

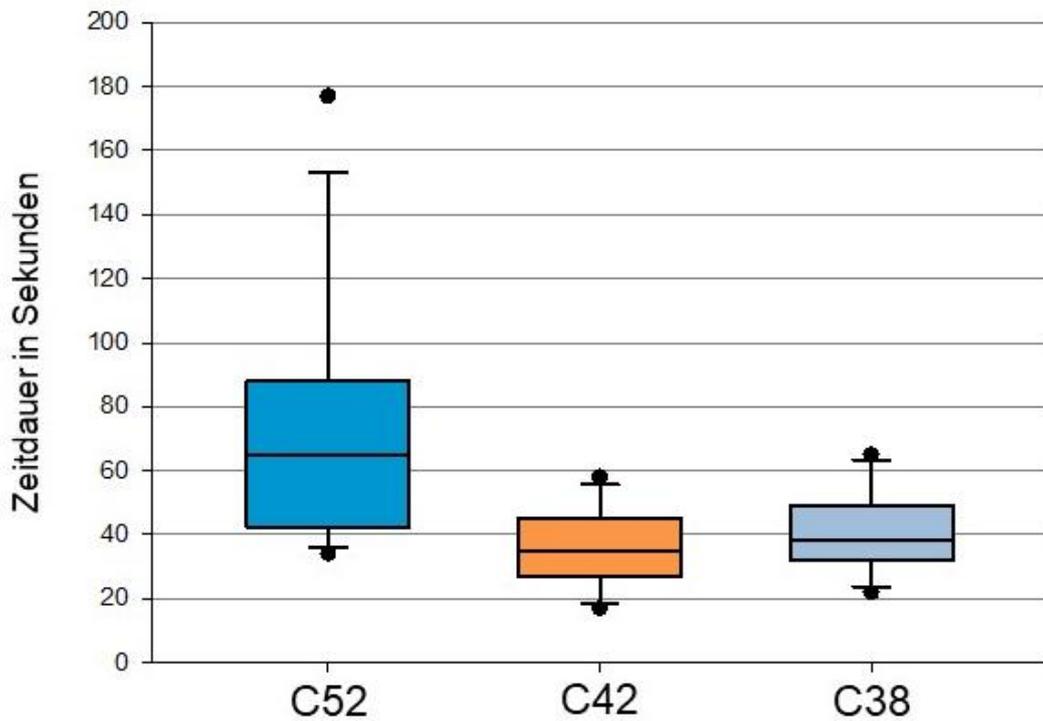


Abbildung 32: Darstellung der Vergleiche zwischen dem C42 und C38 in Hinblick auf die benötigte Zeitdauer zwischen Position 3 und 4

4.8 Ergebnisse der subjektiven Bewertung der Proband*innen

Für die Auswertung der persönlichen Bewertung stehen insgesamt 22 beantwortete Fragebögen zur Verfügung. Zu jedem untersuchten C-Druckschlauch stehen insgesamt 88 Schulnoten zur Verfügung. Diese bestehen zu gleichen Teilen aus den Bereichen Handling vor dem Übungsobjekt sowie Gewicht vor dem Übungsobjekt (Handling Außen und Gewicht Außen), also den Übungsabschnitt, indem die C-Druckschläuche noch nicht mit Wasser gefüllt sind. Besteht er aus den Bereichen Handling im Übungsgebäude und Gewicht im Übungsgebäude (Handling Innen und Gewicht Innen). Diese persönliche Bewertung betrachtet somit den Bereich, indem die C-Druckschläuche mit Wasser gefüllt sind.

Für den Bereich Außen stehen 44 Bewertungsergebnisse pro C-Druckschlauch zur Verfügung. Die durchschnittliche Benotung für den C52 Druckschlauch lag bei dieser Betrachtung bei der Note (n=22) $3,61 \pm 0,69$, für den C42 bei der Note (n=22) $2,48 \pm 0,57$ und für den C38 beträgt die Benotung $1,71 \pm 0,48$. Vergleicht man die ermittelten Ergebnisse für den C52 Druckschlauch mit denen des C38, so zeigt sich ein signifikanter Unterschied ($p < 0,001$). Ebenfalls gibt es einen signifikanten Unterschied bei dem Vergleich der Benotung des C42 mit der Benotung des C38 ($p < 0,001$). Grafisch dargestellt wird dieses in Abbildung 33

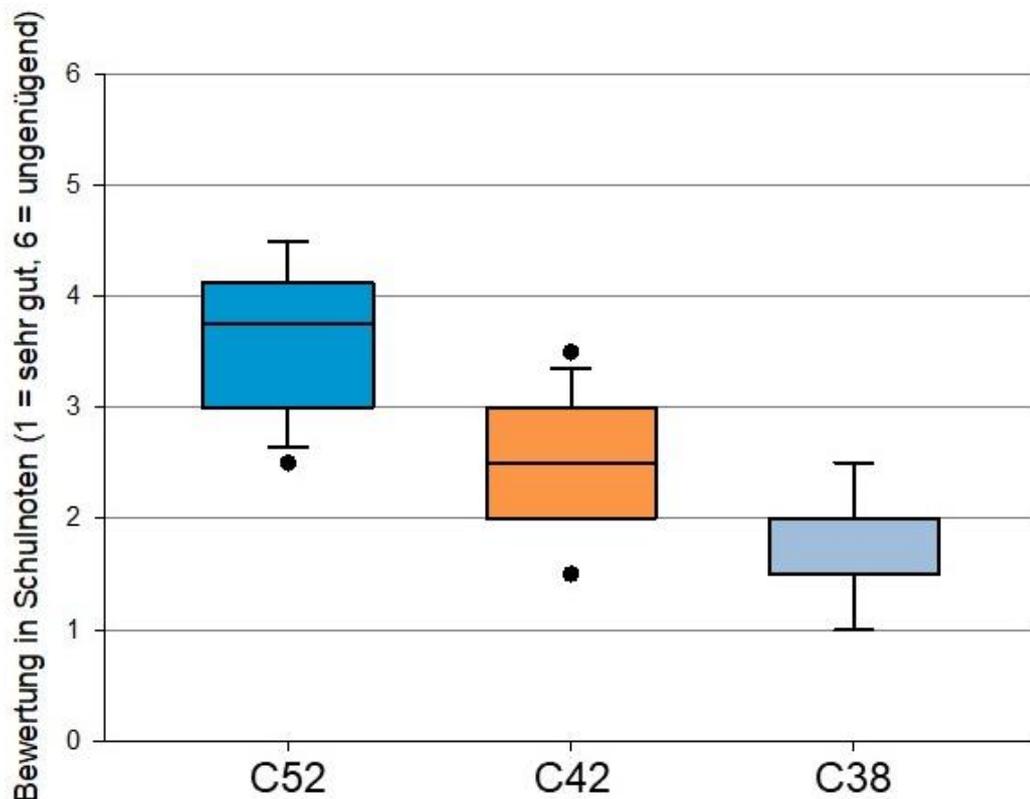


Abbildung 33: Darstellung der durchschnittlichen persönlichen Bewertung für den Bereich „Außen“ mit den Druckschläuchen C52, C42 und C38

Für den Bereich Innen stehen somit 44 Bewertungsergebnisse pro C-Druckschlauch zur Verfügung. Die durchschnittliche Benotung für den C52 Druckschlauch lag bei dieser Betrachtung bei der Note (n=22) $4,27 \pm 0,61$, für den C42 bei der Note (n=22) $2,68 \pm 0,61$ und für den C38 beträgt die Benotung $1,41 \pm 0,48$. Vergleicht man die ermittelten Ergebnisse für den C52 Druckschlauch mit denen des C38, so zeigt sich ein signifikanter Unterschied ($p < 0,001$). Ebenfalls gibt es einen signifikanten Unterschied bei dem Vergleich der Benotung des C42 mit der Benotung des C38 ($p < 0,001$). Grafisch dargestellt wird dieses in Abbildung 34.

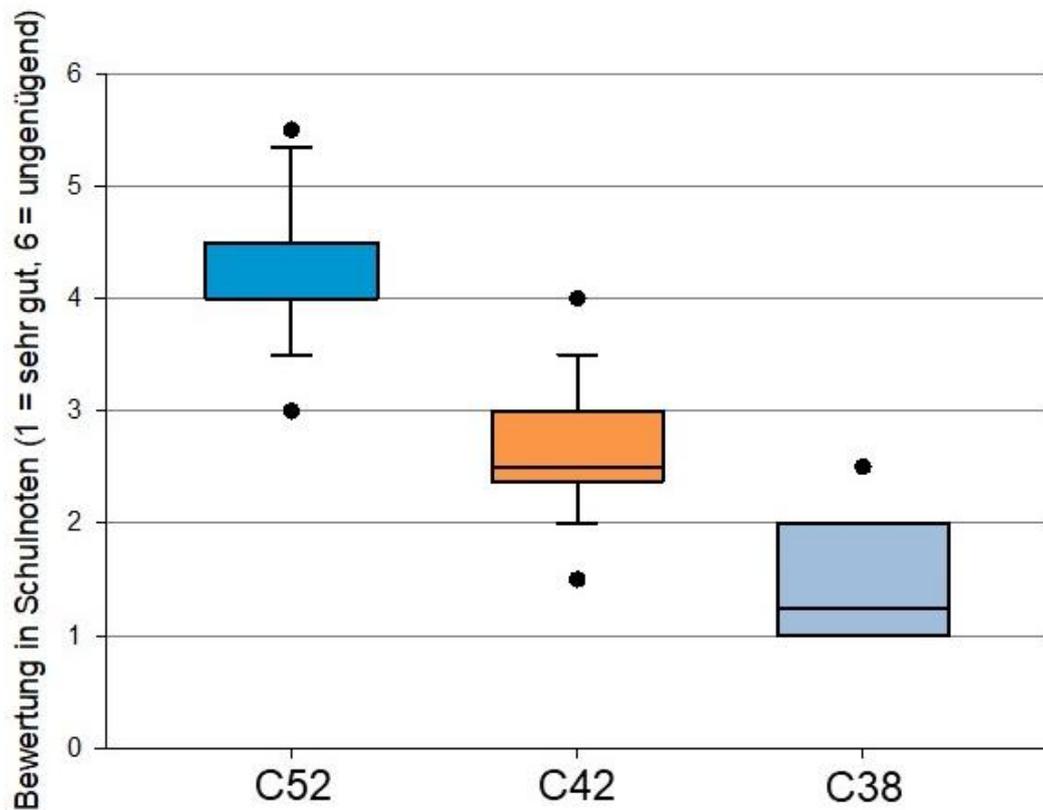


Abbildung 34: Darstellung der durchschnittlichen persönlichen Bewertung für den Bereich „Innen“ mit den Druckschläuchen C52, C42 und C38

Die Auswertung der sonstigen Bemerkungen, in den Freitext-Feldern der acht zum Teil ausgefüllten Fragebögen, ergibt folgende in Tabelle 17 aufgelistete Ergebnisse.

Tabelle 17: sonstige Bemerkungen der Proband*innen aus den Freitext-Feldern zu den C-Druckschläuchen

Druckschlauch	Bereich Außen	Bereich Innen
C52	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr hohes Gewicht • Zusätzliches höheres Gewicht, wenn Schlauch nass 	<ul style="list-style-type: none"> • Bildung der Schlauchreserve nur unter großer Anstrengung möglich • Große Belastung durch hohes Gewicht beim Etagenwechsel • Nachziehen des Schlauches nur unter größter Anstrengung möglich • Verursacht im realen Einsatz zusätzlichen mentalen Stress
C42	<ul style="list-style-type: none"> • Deutlicher Unterschied des Gewichtes im Gegensatz zum C52 	<ul style="list-style-type: none"> • Schnelles „Vorgehen“ möglich • Besseres Gewicht als bei dem C52 • Deutliche Erleichterung zum C52
C38	<ul style="list-style-type: none"> • Kräftesparend • Angenehmes Gewicht 	<ul style="list-style-type: none"> • Bildung der Schlauchreserve schnell und einfach möglich • Spürbare Verbesserung • Sehr angenehm und gut zu führen (Nachziehen) • Deutlicher Unterschied des Gewichtes zum C52

4.9 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der folgenden Tabelle 18 werden alle im vierten Kapitel ermittelten Ergebnisse zusammengeführt und dargestellt.

Tabelle 18: Zusammenfassung aller in Kapitel 4 ermittelten Ergebnisse

Bereich	Ergebnis C52 Druckschlauch	Ergebnis C42 Druckschlauch	Ergebnis C38 Druckschlauch
Durchschnittliche Herzschlagfrequenz Abschnitt 4.3	158,22 bpm ± 6,28 bpm	151,99 bpm ± 12,01 bpm	159,15 bpm ± 6,01 bpm
Durchschnittlicher Gesamtenergieumsatz Abschnitt 4.4	516,60 kJ ± 119,01 kJ	347,39 kJ ± 81,58 kJ	271,34 kJ ± 84,84 kJ
Empfundene numerische Belastung nach Borg Abschnitt 4.5	16,04 ± 1,09	13,42 ± 1,15	11,32 ± 0,93
Ergebnis LMM-GK gesamt Abschnitt 4.6.1	144,00 (männlich) 194,00 (weiblich)	81,00 (männlich) 105,00 (weiblich)	58,00 (männlich) 71,25 (weiblich)
Ergebnis LMM-KB Ebene Abschnitt 4.6.2	199,50 (männlich) 259,35 (weiblich)	115,50 (männlich) 150,15 (weiblich)	115,50 (männlich) 150,15 (weiblich)
Ergebnis LMM-KB Treppe Abschnitt 4.6.2	88,50 (männlich) 115,05 (weiblich)	49,00 (männlich) 60,00 (weiblich)	49,00 (männlich) 60,00 (weiblich)
Durchschnittlich benötigte Zeitdauer Abschnitt 4.7	354,39 s ± 81,60 s	223,15 s ± 33,61 s	224,36 s ± 43,39 s
Persönliche Bewertung in Schulnoten für den Bereich „Innen“ Abschnitt 4.8	4,27 ± 0,61	2,68 ± 0,61	1,41 ± 0,48

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Methodik

Übungsszenario/Übungsobjekt

Das Übungsszenario wurde in Anlehnung des „kritischen Wohnungsbrandes“ der AGBF-Bund Empfehlung „Qualitätskriterien für die Bedarfsplanung von Feuerwehren in Städten“ sowie der FwDV 3 ausgewählt. Der „kritische Wohnungsbrand“ dient in vielen Brandschutzbedarfsplänen als Bemessungsgrundlage und ist somit ein wichtiger Bestandteil des Feuerwehrwesens in Deutschland. Charakteristisch für den „kritischen Wohnungsbrand“ ist ein Brand in einer Nutzungseinheit im Obergeschoss eines mehrgeschossigen Gebäudes. Verraucht ist neben der betroffenen Nutzungseinheit ebenfalls der gesamte Treppenraum [38]. Die Anzahl der zu löschenden Brände, mit einem bis drei Strahlrohren, ist im Zeitraum von 2013 bis 2018 um circa 22 % gestiegen, somit nimmt die Relevanz des beschriebenen Übungsszenarios in den letzten Jahren weiter zu [1 S.326].

Die Übungsfläche von insgesamt 75,31 m² ist außerdem annähernd vergleichbar mit der durchschnittlichen Wohnfläche einer Wohnung in Deutschland (91,9 m²) [53 S.6].

Das betrachtete und durchgeführte Übungsszenario wurde unter Rahmenbedingungen durchgeführt, die bei realen Innenbrandbekämpfungen nicht vorzufinden sind. Neben einer enormen thermischen Belastung, kommt es bei einer realen Innenbrandbekämpfung zu einer enormen Verrauchung des Gebäudes sowie zu psychischen Stress [54]. Dies führt bei realen Innenbrandbekämpfungen, im Vergleich zu Übungsszenarien ohne diese Faktoren, zu einer erhöhten körperlichen Belastung [10]. Diese äußeren Faktoren lassen sich nicht durch die Auswahl des verwendeten Arbeitsmaterials beeinflussen und würden bei jedem der untersuchten Druckschläuche gleichermaßen vorliegen. Die durchgeführte Untersuchung sollte jedoch nicht die körperliche Belastung bei einer realen Brandbekämpfung zwischen den drei Druckschläuchen C52, C42 und C38 untersuchen. Die körperliche Belastung bei der Verwendung der beschriebenen Druckschläuche sollte in ein Verhältnis zueinander gesetzt werden und die Frage beantworten, ob es einen signifikanten Unterschied der körperlichen Belastung bei der Verwendung des C38 Druckschlauches im Gegensatz zu den in Deutschland genormten Feuerwehr-Druckschläuchen C52 und C42 gibt. Aus diesem Grund wurde auf die oben beschriebenen Umgebungsfaktoren, welche bei einer realen Innenbrandbekämpfung entscheidend sind, bewusst verzichtet [11, 54].

Material

Die persönliche Schutzausrüstung (inklusive Atemschutzgerät) wurde von den Proband*innen selbst zu den Übungstagen mitgebracht. Alle verwendeten Atemschutzgeräte entsprachen der notwendigen Kennzeichnung und Normung nach DGUV Regel 112-190. Ebenso wurden alle entsprechenden Prüfintervalle eingehalten [34]. Vor Beginn der Übung wurde eine Dichtigkeitsprüfung der Maske sowie eine Funktionsprüfung des Atemschutzgerätes nach FwDV 7 durchgeführt, sodass ein technischer Defekt und eine damit einhergehende Abweichung der Messergebnisse ausgeschlossen werden kann. Das Ablesen des benötigten Druckes wurde bei allen Atemschutzgeräten gleichermaßen über ein analoges Druckmanometer vorgenommen, sodass bei allen Proband*innen die gleichen Bedingungen vorherrschten. Die dadurch auftretende Variation verschiedener Atemschutzgeräte kann im Rahmen dieser Arbeit vernachlässigt werden

Wie in Abschnitt 3.1.3 beschrieben wurde der Übungsdurchlauf mit drei Druckschläuchen der Klasse 1 in der Leistungsstufe 3 durchgeführt. Mit der ausgewählten Leistungsstufe wird der Empfehlung entsprochen bei einer besonderen Benutzung (z. B. Schlauchpaket für die Innenbrandbekämpfung) Feuerwehr-Druckschläuche der Klasse 3 zu verwenden [55]. Alle beübten Druckschläuche wurden explizit für die Untersuchung angeschafft und wurden von dem gleichen Hersteller nach dem gleichen Verfahren gefertigt. Somit konnte garantiert werden, dass eine Verfälschung der Ergebnisse, die durch nicht einheitliche Gestaltung des Oberflächengewebes der Druckschläuche entstehen könnte, ausgeschlossen wird. Obwohl der C38 Druckschlauch nur in Anlehnung der DIN 14811:2008 gefertigt wurde, ist daher davon auszugehen, dass alle Druckschläuche den Prüfkriterien der DIN 14811:2008 entsprechen

Das verwendete Hohlstrahlrohr Modell „Hamburg Force“ des Typs 4.2 nach DIN EN 15182-2 verfügt über keinen Pistolengriff und muss somit an den Hauptbedienelementen geführt werden. Dieses Modell ist standardmäßig auf den (Hilfeleistungs-) Löschgruppenfahrzeugen der Feuerwehr Ibbenbüren verlastet und entspricht der Empfehlung der Landesfeuerwehrschule Hessen aus dem Jahr 2014 [56]. In der Innenbrandbekämpfung sollten sich die Hände ebenfalls ständig an den Hauptbedienelementen des Hohlstrahlrohr befinden, lediglich bei einem Stellungswechsel ist ein Pistolengriff hilfreich [56 S.15]. Die Handhabung des Hohlstrahlrohrs war im Vorfeld allen Proband*innen bekannt und dieses wurde für alle Übungen verwendet, wodurch eine mögliche Verzerrung der Ergebnisse durch die Verwendung eines anderen Strahlrohrtyps ausgeschlossen werden kann.

Proband*innen

Mit denen in Abschnitt 4.2 beschriebenen Eigenschaften waren zum Zeitpunkt der Übungstage alle Proband*innen nach FwDV 7 uneingeschränkt atemschutztauglich [6]. Erkrankungen des Herzkreislaufsystems, die zu einer Verzerrung der Messergebnisse führen könnten, können durch eine zum Übungszeitraum gültige G26.3 weitestgehend ausgeschlossen werden. Ebenfalls kann eine Grundfitness aller Proband*innen vorausgesetzt werden [3].

Die Proband*innen Gruppen C52/C42 und C38 unterscheiden sich in ihrer Charakteristik nicht signifikant voneinander (Abschnitt 4.2). Grund hierfür ist, dass für alle drei Übungstage dieselben 22 Proband*innen zur Verfügung standen und für die Übungen des C52 und C42 Druckschlauches um lediglich vier Proband*innen ergänzt wurden. Deshalb hat für den Vergleich der Übungsszenarien für die Druckschläuche C52, C42 und C38 keine weitere Unterscheidung der Proband*innen Gruppe stattgefunden.

Um eine Verzerrung der Ergebnisse durch Probleme mit dem generellen Umgang des Übungsmaterials auszuschließen, wurden lediglich Proband*innen mit Erfahrung (Mittelwert der Feuerwehrangehörigkeit 4,07 Jahre) im Bereich Feuerwehr ausgewählt. Dieses wurde gewährleistet, indem die Proband*innen Gruppe hauptsächlich aus Personen bestand die sich unmittelbar vor der Zwischenprüfung nach VAP1.2 NRW befanden sowie Personen die als Berufsfeuerwehrmann / Berufsfeuerwehrfrau tätig sind und der Umgang während der Grundausbildung ausreichend vermittelt wird [18].

Die geringe Erfahrung im Bereich der realen Innenbrandbekämpfung kann für die Untersuchung dieser Arbeit vernachlässigt werden, da durch das standardisierte Übungsszenario die Technik der Vorgehensweise sowie das mitzuführende Material vorgegeben und durch die erfolgreiche Ausbildung zum Atemschutzgeräteträger / zur Atemschutzgeräteträgerin vertraut waren [6 S.22-25].

Güte der Methodik

Um eine Aussage über die Güte einer Studie zu treffen, muss diese in mehreren Schritten überprüft werden. Dies erfolgt über die Testgütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität [57 S.123]. Daher werden im folgenden Absatz die Methoden anhand der drei Testgütekriterien diskutiert.

Das Testkriterium Objektivität unterscheidet man in drei weitere Unterpunkte. Die Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität [57 S.124-125].

Ob eine hohe Durchführungsobjektivität gegeben ist, hängt davon ab wie sehr die Durchführung einer Untersuchung variiert. Ein Beispiel für eine Beeinträchtigung wäre zum Beispiel eine Instruktion durch unterschiedliche Testleiter*innen [57 S.124]. Um zu prüfen, ob eine hohe Durchführungsobjektivität gewährleistet ist, muss jede Übungsdurchführung für sich betrachtet werden und ob die Übungsbeobachter Einfluss auf die Übungsdurchführung haben. Durch das erarbeitete standardisierte Übungsszenario ist jede der insgesamt 37 durchgeführten Übungen durch einen identischen Befehl des Studienleiters gestartet und absolviert worden. Während des Übungsszenarios fand keine Kommunikation durch einen Übungsbeobachter statt. Jeder Übungsbeobachter wurde vor dem Übungsbeginn eingewiesen, damit die Parameterabfrage zum selben Zeitpunkt stattfindet. Dadurch ist diese Tatsache, der unterschiedlichen Übungsbeobachter, zu vernachlässigen, da der zweite Übungsbeobachter keinerlei Einfluss auf die Durchführung hatte und lediglich nach Übungsende die objektive Parametererhebung vorgenommen hat.

Durch die beschriebenen Faktoren lässt sich für die durchgeführten Übungsszenarien eine hohe Durchführungsobjektivität ableiten

Ein weiterer Unterpunkt der Objektivität ist die Auswertungsobjektivität. Diese ist gegeben, wenn die Ergebnisse von keinerlei Interpretationen der auswertenden Person abhängig sind [57 S.124-125]. Die Ergebnisse der erhobenen Daten wurden mit dem Statistikprogramm SigmaPlot ausgewertet, weshalb kein Interpretationsspielraum gegeben ist. Somit ist für die Untersuchung ein hohes Maß an Auswertungsobjektivität für die durchgeführte Untersuchung gegeben.

Nach Hinrichs ist die Interpretationsobjektivität der letzte Unterpunkt der Objektivität [57 S.124-125]. Werden unabhängig von der auswertenden Person die gleichen Interpretationen aus den Daten gewonnen, so ist eine hohe Interpretationsobjektivität gegeben [57 S.125]. Die gewonnenen Ergebnisse wurden mit Hilfe einschlägiger Literatur und Richtlinien interpretiert, sodass die Interpretationsergebnisse unabhängig vom Verfasser dieser Arbeit getroffen werden können. Auch die Interpretationsobjektivität kann für die Ergebnisse als ausreichend hoch betrachtet werden

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass eine hohe Objektivität der Untersuchung vorliegt und eine qualitative Auswertung gegeben ist. Die Objektivität sagt jedoch nichts über die Messgenauigkeit (Reliabilität) einer Untersuchung aus [58 S.20].

Für die Bewertung der Reliabilität wird die Erhebung der aufgenommenen Parameter näher betrachtet. Die Erfassung der Parameter Herzschlagfrequenz und empfundene Belastungsintensität nach Borg und der Gesamtenergieumsatz, können als sehr reliabel angesehen werden. Alle Werte wurden standardisiert über ein Abfrageprotokoll und einen Herzschlagfrequenzsensor mit Brustgurt erhoben. Dieses ermöglicht eine zuverlässige erneute Datenerhebung. Der Gesamtenergieumsatz wurde anstelle des Energieumsatzes pro Minute berechnet, da durch die Kürze des Übungsszenarios eine Verzerrung der Messergebnisse, durch den eingetretenen Simonson-Effekt stattgefunden hätte [59 S.25-27]. Der Simonson-Effekt beschreibt, dass für die erste Arbeitsphase nach einer langen Pause (Einarbeitung) ein deutlich erhöhter Energieumsatz benötigt wird und somit der ermittelte Energieumsatz nach wenigen Minuten die eigentliche Belastungsintensität nicht widerspiegelt [59 S.25-27].

Die Bestimmung der körperlichen Belastung mittels der beschriebenen Leitmerkmalmethoden weist eine ausreichend hohe Reliabilität auf. Eine ausreichende Reliabilität ist gegeben, da bei einer allgemeinen Bewertung mittels Leitmerkmalmethode zwar eine hohe Reliabilität gewährleistet ist, aber für die Betrachtung des Übungsszenarios einige Annahmen getroffen werden mussten die abhängig vom Verfasser dieser Arbeit waren. Die im Abschnitt 3.2.4 beschriebenen Annahmen sind notwendig, da für die Bewertung der Tätigkeit der Innenbrandbekämpfung zum Zeitpunkt der Erstellung keine gesonderte Leitmerkmalmethode zur Verfügung stand. Aus diesem Grund kann mit den verwendeten Leitmerkmalmethoden nur eine eingeschränkte Aussage über die tatsächliche Belastung getätigt werden. Da für jeden Druckschlauch jedoch die identischen Annahmen getroffen wurden, lässt sich die ermittelte körperliche Belastung sehr gut untereinander vergleichen und somit eine Aussage über die verschiedenen Belastungsintensitäten getroffen werden.

Bei der Erfassung der Zeitdauer zwischen den signifikanten Stellen, kann es zu geringen Ungenauigkeiten aufgrund von fehlenden Markierungen an den Wänden gekommen sein. Aus diesem Grund müssen die Daten der Zeitdauer als weniger reliabel angesehen werden. Für den durchgeführten Fragebogen, welcher im Anschluss der drei Übungstage versendet wurde, muss die im Abschnitt Herzschlagfrequenz beschriebene Einschränkung der Aussagekraft der Messergebnisse beachtet werden, weshalb die Ergebnisse nur eine Tendenz darstellen können.

Zusammenfassend lässt sich für drei der sieben untersuchten Parameter eine sehr hohe Reliabilität, für drei Parameter eine ausreichende Reliabilität und für den Fragebogen nur eine begrenzte Reliabilität ableiten. Dadurch ist insgesamt eine hohe Reliabilität gegeben

Um eine Aussage über die Güte einer Untersuchung treffen zu können, muss abschließend dessen Validität überprüft werden. Stimmt das tatsächlich gemessene Merkmal mit dem Merkmal überein, welches gemessen werden sollte, so ist eine hohe Validität gegeben [57 S.127]. Die Übungen wurden von den gleichen Proband*innen auf Grundlage eines standardisierten Übungsszenarios und somit annähernd konstanten Umgebungsbedingungen durchgeführt. Die gewonnenen Ergebnisse weisen signifikante Belastungsreduzierungen durch die Verringerung der Innendurchmesser auf und beruhen auf etablierten Parametern und Methoden für die Betrachtung der körperlichen Belastung, wie der Belastungsempfindung nach Borg, der benötigte Energieumsatz der Proband*innen und durch Leitmerkmalmethoden der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin [32 S.311, 49 S.299, 50, 51]. Daher kann auf eine hohe interne Validität geschlossen werden. Eine hohe externe Validität kann auf Grundlage der Proband*innen Anzahl ($n = 26$ bzw. $n=22$) und der Untersuchungssituation nicht getroffen werden [60 S.8].

Nachdem die Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität abschließend diskutiert wurden, lässt sich abschließend das Fazit bilden, dass die durchgeführte Untersuchung über die notwendige Güte verfügt, da alle Gütekriterien über eine notwendige Ausprägung verfügen.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Herzschlagfrequenz

Die (maximale) Herzschlagfrequenz wird in der Leistungsdiagnostik analysiert, um eine Aussage auf die maximale Ausbelastung zu treffen [32 S.311]. Die Herzschlagfrequenz hat sich außerdem als Mittel zur Beurteilung der physischen Arbeitsschwere lange etabliert und ist somit ein valides Maß zur Beurteilung der Belastungshöhe [44 S.30].

Für die Analyse der Belastungsunterschiede wurde die durchschnittliche Herzschlagfrequenz herangezogen, da die individuelle Herzschlagfrequenz der Proband*innen durch eine Vielzahl interner und externer Faktoren beeinflussbar ist [44 S.19-22]. Aus diesem Grund lässt sich mit der ermittelten durchschnittlichen Herzschlagfrequenz nur eine generelle Aussage über die Belastungsintensität machen.

Die ermittelten durchschnittlichen Herzschlagfrequenzen unterscheiden sich zwischen dem Absolvieren der Übungsszenarien der Druckschläuche C52 (158,22 bpm), C42 (151,99 bpm) und C38 (159,15 bpm) nicht signifikant. Somit lässt sich durch die ermittelte Herzfrequenz keine Belastungserleichterung durch die Verringerung des Innendurchmessers der Druckschläuche ableiten. Die durch Finteils et. al erhobenen durchschnittlichen Herzschlagfrequenzen, während des Absolvierens eines Übungsszenarios unter Atemschutz, korrelieren mit den ermittelten durchschnittlichen Herzschlagfrequenzen in den Übungsszenarien dieser Arbeit [61 S.11].

Durch einen durchschnittlichen Herzschlagfrequenzbereich von 151,99 bpm bis 159,15 bpm lässt sich die Belastung während des Absolvierens der Übungsszenarien, für die Proband*innen, ungefähr im Bereich eines mittleren bis intensiven Ausdauertrainings einordnen und liegt somit im mittleren bis hohen Leistungsbereich für Freizeit- und Leistungssportler*innen. [32 S.311, 62 S.100].

Gesamtenergieumsatz

Auf Grundlage der Tatsache, dass der Sauerstoffverbrauch linear zur Größe der körperlichen Belastung ansteigt, lässt sich durch die Berechnung des Gesamtenergieumsatzes, welcher unter anderem durch das benötigte Atemluftvolumen berechnet wurde, eine Aussage über die Höhe der körperlichen Belastung, durch die verschiedenen Druckschläuche bei dem Absolvieren des Übungsszenarios, treffen [45 S.285]. Durch die ermittelten Differenzen in Höhe von 169,21 kJ (C52-C42) und 76,05 kJ (C42-C38) lässt sich eine deutliche Reduzierung der Belastungsintensität durch einen verringerten Innendurchmesser ableiten. Grund für die signifikante Reduzierung des Gesamtenergiebedarfes ist das abnehmende Gewicht der mitzuführenden Last, durch das geringere Eigengewicht des mit Wasser gefüllten Druckschlauches [59 S.40]. Hierbei ist die Reduzierung vom C52 Druckschlauch zum C42 Druckschlauch deutlich größer als die Reduzierung des C42 Druckschlauches zum C38 Druckschlauches. Dies lässt sich auf die jeweilige Höhe der Verringerung des Innendurchmessers zurückführen.

Verglichen mit Referenzwerten aus verschiedenen Untersuchungen, erscheinen die erhobenen Energieumsätze insgesamt als zu hoch. Spitzer et. al gibt zum Beispiel für das Aufwärtsgehen (10% Steigung) mit Hitzeschutzbekleidung und Vollschutz einen Energieumsatz von $47,9 \frac{kJ}{min}$ und Bugajska et. al einen Energieumsatz von circa $55 \frac{kJ}{min}$ [59 S.39, 63 S.327]. Dieses könnte durch die getroffenen Annahmen wie zum Beispiel der konstante Sauerstoffgehalt der Ausatemluft von 16 % begründet sein sowie den Simonson-Effekt. Dadurch lässt sich durch die erhobenen Daten keine allgemeine Aussage über die tatsächliche Belastungshöhe treffen. Da das Ziel der vorliegenden Arbeit jedoch nicht die genaue Belastungsuntersuchung, sondern die Analyse der auftretenden Belastungsunterschiede ist, ist die Möglichkeit des Vergleiches der Belastungshöhe auf Grund der gleichen Annahmen für alle Proband*innen trotzdem gegeben.

Borg-Skala

Der Mittelwert der empfundenen Belastung lag für die Proband*innen (n=26) nach dem Absolvieren des Übungsszenarios mit dem C52 Druckschlauch bei 16,04 (Anstrengungsgrad: schwer bis sehr schweren). In der Ergonomie werden Werte größer gleich 17 als Ausbelastung der Befragt*innen angesehen. Somit grenzt die empfundene Belastungsintensität für den Druckschlauch C52 an die Ausbelastung der Proband*innen [64 S.1014]. Für die empfundene Belastung während der Ausbildung in einem Brandcontainer, also unter realen Brandtemperaturen, wurde in einer durchgeführten Studie ein Mittelwert von 15 ermittelt [10 S.5]. Heblich und Sammito ermittelten nach dem zweimaligen Absolvieren einer Atemschutzübungsstrecke einen Mittelwert der empfundenen Belastung für die Endlosleiter von 14,7 [29 S.91]. Das direkte zweimalige Absolvieren der Atemschutzübungsstrecke stellt eine enorme Belastung dar, welches durch die ermittelte maximale Herzfrequenz dargestellt wird [29 S.91].

Durch die dargestellten Referenzwerte lässt sich eine extreme Belastung durch den mit Wasser gefüllten C52 Druckschlauch ableiten, die die Belastungsintensität eines zweimaligen Absolvierens der Atemschutzübungsstrecke übersteigt.

Nach dem Absolvieren des Übungsszenarios mit dem C42 Druckschlauch wurde ein Mittelwert von 13,42 erhoben (Anstrengungsgrad: etwas schwer). Bei normalem Ausdauertraining wird in der Regel ein Wert von 14 nicht überschritten, dadurch lässt sich die Belastung durch den mit Wasser gefüllten C42 Druckschlauch mit der Belastung durch Ausdauertraining vergleichen [49 S.300]. Ebenso lässt sich die empfundene Belastung mit der Belastungsintensität der Endlosleiter bei einmaligem Absolvieren der Atemschutzübungsstrecke vergleichen [29 S.91].

11,34 beträgt der Mittelwert für die empfundene Belastung nach dem Absolvieren des Übungsszenarios mit dem C38 Druckschlauch (Anstrengungsgrad: leicht). Dieser Mittelwert liegt unter den Mittelwerten der Belastungsintensität durch das einmalige Absolvieren der Atemschutzübungsstrecke [10 S.5, 29 S.91]. Somit weist der Mittelwert der empfundenen Belastungsintensität des C38 Druckschlaches zum C42 eine Differenz von 2,08 und zu dem C52 eine Differenz von 4,70 auf. Dieses weist auf eine signifikante Reduzierung der empfundenen Belastung durch die Verwendung eines verringerten Innendurchmessers hin.

Leitmerkmalmethoden

Bei der Betrachtung des Übungsszenarios mit dem C52 Druckschlauch, in Hinblick auf die Leitmerkmalmethode „Ganzkörperkräfte“, ergibt sich sowohl für weibliche als auch für männliche Proband*innen ein hohe Belastungshöhe. Bei dieser Belastungshöhe ist eine körperliche Überbeanspruchung wahrscheinlich und stärker ausgeprägte Beschwerden auftreten können [50]. Für den Übungsdurchlauf des C42 wird für weibliche Probandinnen ebenfalls eine hohe Belastungshöhe deutlich. Eine wesentlich erhöhte Belastungshöhe ergibt die Auswertung für männliche Probanden. Bei einer wesentlichen Erhöhung ist eine körperliche Überbeanspruchung auch bei normal belastbaren Personen möglich, wobei Beschwerden auftreten können [50]. Wesentlich erhöht ist für weibliche wie männliche Proband*innen die Belastungshöhe während des Übungsdurchganges des C38 Druckschlauches. Die Übergänge zwischen den Belastungshöhen sind flexibel. Der mäßig erhöhte Bereich bei einer Punktzahl kleiner 50 und somit grenzt die Belastung der männlichen Probanden (ermittelte Gesamtpunktzahl 58) an diesen Risikobereich [50]. Somit korrelieren Ergebnisse der Leitmerkmalmethode „Ganzkörperkräfte“, obwohl diese nur vergleichend betrachtet werden sollten, mit den Ergebnissen des Gesamtenergieumsatzes, der Belastungsintensität nach Borg sowie der persönlichen Bewertung.

Bei der Bewertung des Übungsszenarios durch die Leitmerkmalmethode „Körperfortbewegung“ unterscheiden sich die ermittelten Belastungen für den C42 und den C38 Druckschlauch nicht. Sowohl für die Bewegung in der Ebene wie auch bei der Bewegung über die Treppe wurden für die Druckschläuche C42 und C38 die gleichen Gesamtpunkte ermittelt. Der C52 Druckschlauch führt jedoch auch bei der Bewertung durch die Leitmerkmalmethode „Körperfortbewegung“ zu einer deutlich erhöhten Gesamtpunktzahl. Für den Bereich der Fortbewegung in der Ebene ist für alle drei Druckschläuche mindestens eine Gesamtpunktezahl von 115,50 ermittelt worden. Somit liegt die Belastungshöhe aller drei Übungsszenarios im hohen Bereich. Dadurch ist eine körperliche Überbeanspruchung wahrscheinlich und stärker ausgeprägte Beschwerden sind denkbar [51]. Dieses Ergebnis wird durch diverse Studien belegt, die die Belastungsintensität von Feuerwehreinsatzkräften erhoben haben [10, 29, 36]. Der Gesamtpunktwert ist für den C52 im Vergleich zu den Druckschläuchen C42 und C38 wesentlich erhöht. Die Differenz beträgt bei den männlichen Probanden 84,00 Punkte und bei den weiblichen Probandinnen 109,25 Punkte.

Für den Bereich des Treppensteigens liegt die Belastungshöhe, für den Übungsdurchlauf mit dem C52 Druckschlauch, bei weiblichen Probandinnen im hohen und für männliche Probanden im wesentlich erhöhten Bereich. Die Übungsszenarien der Druckschläuche C42 und 38 haben für den Bereich des Treppensteigens bei weiblichen Probandinnen zu einer wesentlichen Erhöhung der Belastungshöhe geführt [51]. Die Gesamtpunktzahl der männlichen Probanden beträgt 49 und liegt somit im mäßig erhöhten Bereich. In diesem Bereich ist eine körperliche Überbeanspruchung bei vermindert belastbaren Personen möglich, wobei es zu einer Ermüdung kommt [51]. Die Grenzen der Risikobereiche sind auch bei der Leitmerkmalermethode „Körperfortbewegung“ flexibel und stellen nur einen Richtwert dar, weshalb der für die männlichen Probanden ermittelte Belastungsbereich darf nur als Tendenz gesehen werden, da dieser lediglich einem Punkt unterhalb des wesentlich erhöhten Bereiches liegt [51].

Die generell erhöhte Belastungsintensität aller Proband*innen ist durch die Vorgehensweise in verrauchten Räumen (Seitenkriechgang) und das hohe Gewicht der mit Wasser gefüllten Druckschläuche zu erklären. Das Füllen der Schläuche ist nötig da die „Rauchgrenze“ an der Eingangstür durchschritten wurde [8].

Zeitdauer

Anhand der ermittelten Zeit lässt sich eine Aussage über eine mögliche Reichweite der Einschränkung durch die C-Druckschläuche ableiten. Die Mittelwerte der Gesamtzeitdauer für das Absolvieren des standardisierten Übungsszenarios unterscheiden sich signifikant für den Vergleich der Druckschläuche C52 und C38. Die Mittelwerte des C38 weisen eine Differenz von 130,03 Sekunden im Vergleich zum C52 auf. Dies entspricht einer Zeitersparnis bis zum Erreichen des Übungsziels von circa 36 % für das ausgewählte Übungsszenario. Somit ist durch die benötigte Gesamtzeitdauer eine deutliche Einschränkung durch den höheren Innendurchmesser zu erkennen, da der Druckschlauch der einzige Einflussfaktor war der sich geändert hat [65 S.725].

Durch die verringerte Zeitdauer, für das Absolvieren des Übungsszenarios bei der Verwendung des C38 zum C52 Druckschlauches, kommt es zu einer deutlichen Reduzierung der gesamten körperlichen Belastung. Grundlage hierfür ist, dass die Zeitdauer, in der die Belastung auf die Proband*innen einwirken kann, ein entscheidender Faktor für die Höhe der Gesamtbelastung ist [37, 50, 51]. Des Weiteren könnte eine verringerte Zeitdauer, die benötigt wird um einen Brand zu erreichen, positiv auf die körperliche Belastung auswirken. Durch das schnellere Erreichen des Brandortes könnte eine Brandausbreitung und eine einhergehende thermische Aufbereitung minimiert werden, da mit zunehmender Branddauer exponentiell bis zu einer gewissen Endtemperatur zunimmt [66 S.686].

Die Mittelwerte der Gesamtzeitdauer für das Absolvieren des standardisierten Übungsszenarios sind im Vergleich der Druckschläuche C42 und C38 nahezu identisch. Der Mittelwert des C42 Druckschlauches ist 1,21 Sekunden geringer als der des C38 Druckschlauches. Diese Differenz in der Praxis zu vernachlässigen. Dadurch lässt sich ableiten, dass es durch den C42 Druckschlauch und den C38 Druckschlauch zur gleichen Einschränkung kommt, welche jedoch signifikant geringer ist als die des C52 Druckschlauches. Für die Belastungshöhe lässt sich in Hinblick auf die Dauer der Einwirkung auf die Proband*innen ebenfalls kein signifikanter Unterschied ableiten [50, 51]. Des Weiteren muss in folgenden Untersuchungen überprüft werden, welche Zeitdauer benötigt wird, um das Übungsszenario ohne Feuerwehr-Druckschlauch zu durchlaufen, um eine Aussage treffen zu können, ob durch das Mitführen der Druckschläuche C42 und C38 eine Erhöhung der Übungsdauer hervorgerufen wird.

Subjektive Bewertung

Die persönliche Bewertung der Faktoren Gewicht und Handling für die Bereiche Innen und Außen durch die Proband*innen, die alle drei Druckschläuche beübt haben (n=22), korreliert mit dem Vergleich der objektiv erhobenen Parameter des C52 zum C38, da der C38 Druckschlauch für beide Bereiche signifikant besser benotet wurde. Die Differenz des Mittelwerts der Benotung des C38 Druckschlauhes ist für den Bereich Außen beträgt 1,90 zum C52 Druckschlauch und ist somit besser bewertet. Für den Bereich Innen ist die Differenz zwischen dem C52 und dem C38 Druckschlauch noch höher und beträgt 2,86, das heißt der C38 Druckschlauch wurde im Mittelwert um fast 3 Notenstufen besser bewertet. Dies lässt auf eine deutliche Erleichterung durch ein geringeres empfundenes Gewicht sowie ein erleichtertes Handling schließen. Diese Annahme wird durch die ausgefüllten Frei-Text-Felder des Fragebogens weiter bekräftigt.

Der Vergleich der Druckschläuche C42 und C38 der persönlichen Bewertung der Proband*innen zeigt ebenfalls einen signifikanten Unterschied für die Bereiche Außen und Innen. Für den Bereich Außen weist der Mittelwert des C38 Druckschlauch eine Differenz von 0,77 auf und für den Bereich Innen eine Differenz von 1,27. Im Vergleich zu der Benotung des C52 Druckschlauhes zeigt sich, dass eine Gewichtserleichterung zwischen dem den C42 und C38 Druckschlauch empfunden wurde, diese jedoch nicht so signifikant ist, wie zwischen dem C52 und C38. Diese Erkenntnis spiegelt sich in den gewonnenen Ergebnissen wider. Das empfundene verbesserte Handling lässt sich anhand der Zeitdauer nicht bekräftigen, da keine signifikante Zeitminimierung zwischen dem C42 und C38 Druckschlauch vorliegt.

Insgesamt müssen die gewonnen persönlichen Bewertungen kritisch betrachtet werden, da es bei der subjektiven Bewertung eine Verzerrung der Ergebnisse, durch ein Vergleichen zwischen den drei untersuchten Druckschläuchen, stattgefunden haben könnte (response bias) [67].

5.3 Limitation

Limitierende Faktoren stellen die Größe und Art der untersuchten Proband*innen Gruppe dar. Mit der betrachteten Proband*innen Gruppe, lässt sich keine inferenzstatistische Aussage über die Gesamtpopulation vornehmen. Zum einen weist sie eine zu geringe Größe ($n = 26$ und $n = 22$) auf und zum anderen wurde die betrachtete Gruppe nicht zufällig aus der Gesamtpopulation aller Feuerwehreinsatzkräfte ausgewählt, sondern war zum Großteil eine bereits bestehende Objektgruppe (Grundausbildungslehrgang) [60 S.80-85].

Die Ergebnisse eines quantitativen Experimentes, welches in dieser Arbeit durchgeführt wurde, hängt von diversen Faktoren ab. So ist die Isolation der hypothesenrelevanten Variablen die Grundvoraussetzung zur Ermittlung der kausalen Abhängigkeiten, welche durch die Manipulation des Untersuchungsobjektes entstehen [65 S.725]. Um diese Abhängigkeiten verzerrungsfrei ableiten zu können, müssen alle anderen Faktoren während des quantitative Experimentes konstant bleiben [65 S.725]. Da die Übungen an verschiedenen Tagen stattgefunden haben, konnten Faktoren wie die Umgebungstemperatur, die Raumtemperatur, der exakte Weg des Vorgehens im Übungshaus und die körperliche Ausgangssituation der Proband*innen nicht konstant gehalten werden, was zu einer geringfügigen Abweichung der Ergebnisse führen könnte.

6 Fazit und Ausblick

In Deutschland besteht die Möglichkeit sowohl auf den Feuerwehr-Druckschlauch C52 (52 mm Innendurchmesser), als auch auf den C42 (42 mm Innendurchmesser), für die (Innen-) Brandbekämpfung zurückzugreifen. In den USA wird jedoch ein Druckschlauch mit einem geringeren Innendurchmesser von 38 mm zur (Innen-)Brandbekämpfung vorzugsweise herangezogen [12]. Der in den USA verwendete Feuerwehr-Druckschlauch ist in der DIN14811:2008 aufgeführt jedoch mit einem Hinweis „zu vermeiden“ gekennzeichnet. Mit täglich bis zu 680 zu bekämpfenden Bränden, ist die (Innen-)Brandbekämpfung auch in der heutigen Zeit immer noch eine der Hauptaufgaben der Feuerwehr in Deutschland [1 S.320]. Da die physische Belastung der Einsatzkräfte bereits mit der notwendigen persönlichen Schutzausrüstung deutlich erhöht ist, ist der Anlass gegeben, zu prüfen wie stark sich die verschiedenen Innendurchmesser auf die physische Belastung der Feuerwehreinsatzkräfte während der Innenbrandbekämpfung auswirken [29].

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die körperliche Belastung der genormten Feuerwehr-Druckschläuche C52 und C42 mit der des nicht genormten C38 zu vergleichen. Hierzu wurde explizit die Forschungsfrage: "Gibt es einen signifikanten Unterschied der körperlichen Belastung bei der Verwendung des C38 Druckschlauches im Gegensatz zu den in Deutschland genormten Feuerwehr-Druckschläuchen C52 und C42?" analysiert.

Für die Beantwortung der gestellten Forschungsfrage wurde ein standardisiertes Übungsszenario entwickelt und von einer Proband*innen Gruppe durchlaufen (für die Druckschläuche C52/C42 $n = 26$ und für den Druckschlauch C38 $n = 22$). Während und nach durchlaufen des Übungsszenarios wurden insgesamt sieben (sowohl subjektive als auch objektive) Parameter der körperlichen Belastung erhoben sowie ein Fragebogen an die Proband*innen Gruppe ($n = 22$) ausgegeben. Anschließend wurden alle erhobenen Parameter statistisch ausgewertet.

Mit den Ergebnissen der erhobenen Parameter lässt sich die gestellte Forschungsfrage für den Vergleich des C52 mit dem C38 Druckschlauch eindeutig beantworten. Bei der Verwendung eines C38 Druckschlauches im Vergleich zur Verwendung eines C52 Druckschlauches, bei der Absolvierung des standardisierten Übungsszenarios, wurde in vier von fünf Parametern eine signifikante Belastungsreduzierungen ($p < 0,001$) nachgewiesen. Lediglich bei der ermittelten Herzschlagfrequenz wurde keine signifikante Belastungsreduzierung deutlich.

Bei der objektiven Betrachtung mittels der Leitmerkmalmethoden „Ganzkörperkräfte“ und „Körperfortbewegung“ wurde ebenfalls eine deutliche Belastungsreduzierung bei dem Vergleich der Druckschläuche C52 und C38 deutlich.

Für den Vergleich des C42 mit dem C38 lässt sich die gestellte Forschungsfrage nicht eindeutig beantworten, da lediglich bei drei der fünf Parameter ein signifikanter Unterschied ermittelt wurde. Die Parameter Gesamtenergieumsatz ($p=0,003$), die empfundene Belastung nach Borg ($p<0,001$) und die persönliche Bewertung ($p<0,001$) wiesen eine signifikante Belastungsreduzierung auf. Auch bei dem Vergleich des C42 mit dem C38 Druckschlauch wies die Herzschlagfrequenz keine signifikante Belastungsreduzierung auf. Gleiches trifft bei dem Vergleich der benötigten Zeitdauer sowohl auf die gesamte Zeitdauer als auch auf die einzelnen Zeitabschnitte zwischen den signifikanten Positionen zu. Bei der objektiven Betrachtung mittels der Leitmerkmalmethoden „Ganzkörperkräfte“ wurde eine deutliche Belastungsreduzierung bei dem Vergleich der Druckschläuche C52 und C38 deutlich. Bei der objektiven Betrachtung mittels der Leitmerkmalmethode „Körperfortbewegung“ wurde keine Belastungsreduzierung deutlich.

Somit kann durch die Verwendung eines geringeren Innendurchmessers, bei der betrachteten Proband*innen Gruppe, im Vergleich eine signifikante Belastungsreduzierung erzielt werden. Um die exakte körperliche Belastung die allein durch die beschriebenen Feuerwehr-Druckschläuche hervorgerufen wird, herauszuarbeiten zu können, müssen weitere Untersuchungen vorgenommen werden. Hierbei sollte der Faktor körperliche Belastung während des Übungsszenarios ohne Feuerwehr-Druckschlauch mit aufgenommen werden.

Auf Grundlage der gewonnenen Ergebnisse sowie weiterer Untersuchungen sollte eine Anpassung der DIN 14811:2008 und die Aufnahme des C38 Druckschlauches in die „Vorzugsreihe“ angestrebt werden, sodass der C38 als genormter Feuerwehr-Druckschlauch auch in Deutschland Anwendung finden könnte. Durch die Verwendung eines C38 Druckschlauches könnte die Belastungsintensität während der Innenbrandbekämpfung signifikant reduzieren und den Einsatzkräften eine effektivere und sicherere Innenbrandbekämpfung ermöglicht werden.

Literaturverzeichnis

1. Deutscher Feuerwehr Verband e.V. Feuerwehr-Jahrbuch 2020: Das Feuerwehrwesen in der Bundesrepublik Deutschland. Bonn: Versandhaus des Deutschen Feuerwehr Verbandes GmbH; 2020.
2. Pfeiffer A. Löschmittel in der Brandbekämpfung. 1st ed. Wiesbaden: Springer Vieweg; 2016.
3. Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung (AFKzV). Einheiten im Lösch- und Hilfeleistungseinsatz: Feuerwehr-Dienstvorschrift 3; 21.02.2008.
4. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Feuerlöschschläuche – Druckschläuche und Einbände für Pumpen und Feuerwehrfahrzeuge 01.2008;13.220.10; 23.040.70. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
5. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Feuerwehrwesen –Begriffe 01.01.2018;01.040.13; 13.220.01. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
6. Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung (AFKzV). Atemschutz: Feuerwehr-Dienstvorschrift 7; 19.09.2002.
7. Perroni F, Cignitti L, Cortis C, Capranica L. Physical fitness profile of professional Italian firefighters: differences among age groups. *Applied Ergonomics*. 2014;45:456–61. doi:10.1016/j.apergo.2013.06.005.
8. Arbeitskreis Atemschutzgeräteträger-Ausbildung. Atemschutzgeräteträger: Merkblatt für die Feuerwehren Bayerns. 4th ed. Würzburg: Staatliche Feuerweherschule Würzburg; 2018.
9. Angerer P, Kadlez-Gebhardt S, Delius M, Raluca P, Nowak D. Comparison of cardiocirculatory and thermal strain of male firefighters during fire suppression to exercise stress test and aerobic exercise testing. *The American Journal of Cardiology*. 2008;102:1551–6. doi:10.1016/j.amjcard.2008.07.052.

10. Windisch S, Seiberl W, Hahn D, Schwirtz A. Physiological Responses to Firefighting in Extreme Temperatures Do Not Compare to Firefighting in Temperate Conditions. *Frontiers in Physiology*. 2017;8:1–11. doi:10.3389/fphys.2017.00619.
11. Südmersen J. *Standard-Einsatz-Regeln*. Heidelberg: Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm; 2014.
12. National Fire Protection Association. *Standard on Fire Hose 01.01.2020: NFPA*.
13. Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 1 und Satz 2 des Gesetzes vom 29. September 2020 (BGBl. I S. 2048) geändert worden ist.
14. Härtel I. *Handbuch Föderalismus: Föderalismus als demokratische Rechtsordnung und Rechtskultur in Deutschland, Europa und der Welt*. Heidelberg: Springer; 2012.
15. Gesetz über den Brandschutz, die Hilfeleistung und den Katastrophenschutz vom 17. Dezember 2015 (GV.NRW.2015 S.886), das durch Artikel 8 des Gesetzes vom 17. Mai 2018 (GV.NRW. S.244) geändert worden ist
16. Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung (AFKzV). *Ausbildung der Freiwilligen Feuerwehren: Feuerwehr-Dienstvorschrift 2; 01.03.2012*.
17. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. *Feuerwehr-Dienstvorschriften*.
https://www.bbk.bund.de/DE/Service/Fachinformationsstelle/RechtundVorschriften/VorschriftenundRichtlinien/VolltextFwDv/FwDV-volltext_einstieg.html. Accessed 4 May 2021.
18. Verordnung über die Ausbildung und Prüfung für die Laufbahn des zweiten Einstiegsamtes der Laufbahngruppe 1 des feuerwehrtechnischen Dienstes im Land Nordrhein-Westfalen vom 05. November 2015 , Überschrift, § 1 Absatz 1, § 6 Absatz 1 Satz 1, § 7 Absatz 5 Satz 3, § 12 Absatz 1 Satz 1 geändert, § 12 Absatz 2 Satz 1 und 2 durch Satz 1 ersetzt durch Verordnung vom 29. September 2016 (GV. NRW. S.796), in Kraft getreten mit Wirkung vom 1. Juli 2016.

19. Heinrich D, Peusner M, Ueth R. Leitfaden Innenangriff: Handlungsanweisungen für die Aus- und Fortbildung. Harrislee: Innenministerium des Landes Schleswig-Holstein, Landesfeuerweherschule; 2011.
20. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. DGUV Vorschrift 49: Unfallverhütungsvorschrift Feuerwehren 01.06.2018. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.
21. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. DGUV Vorschrift 1: Unfallverhütungsvorschrift Grundsätze der Prävention 01.11.2013. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.
22. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Feuerlöschschläuche – Druckschläuche und Einbände für Pumpen und Feuerwehrfahrzeuge; Änderung A3 12.2018;13.220.10; 23.040.70. 3rd ed. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
23. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Feuerlöschschläuche – Druckschläuche und Einbände für Pumpen und Feuerwehrfahrzeuge; Änderung A2 08.2014;13.220.10; 23.040.70. 2nd ed. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
24. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Feuerlöschschläuche – Druckschläuche und Einbände für Pumpen und Feuerwehrfahrzeuge; Änderung A1 03.2012;13.220.10; 23.040.70. 1st ed. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
25. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Angaben zur statistischen Erfassung von Bränden 01.04.2019;13.220.01. 4th ed. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
26. London Fire Brigade. Hose: We use a variety of hose to tackle fire and floods, and have a team who manufacture and repair this crucial part of our equipment.
<https://www.london-fire.gov.uk/about-us/services-and-facilities/vehicles-and-equipment/hose/>. Accessed 10 May 2021.
27. ON Österreichisches Normungsinstitut. Feuerwehrdruckschläuche: Anforderungen, Prüfung, Normkennzeichnung 01.09.2007;13.220.10. Wien: ON Österreichisches Normungsinstitut.

28. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. DGUV Information 205-014: Auswahl von persönlicher Schutzausrüstung für Einsätze bei der Feuerwehr 01.09.2016. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.
29. Heblich F, Sammito S. Belastung von Atemschutzgeräteträgern: Wie tauglich ist die Tauglichkeitsuntersuchung? Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie. 2015;87–91. doi:10.1007/s40664-015-0002-7.
30. Lorenz R, Franz K, Krieger S, Zeilberger K, Jeschke D. Dynamische Leistungsfähigkeit bei reduzierter Wärmeabgabe in Feuerweherschutanzügen. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin. 2007;58:132–7.
31. Preuß G, Schäcke G. Arbeitsmedizinische Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung für Feuerwehrleute – eine Leitlinie nach neuen Erkenntnissen. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie. 2004:379–92.
32. Such U, Meyer T. Die maximale Herzfrequenz. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin. 2010;61:310–1.
33. Meyer T, Lucía A, Earnest CP, Kindermann W. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters--theory and application. Int J Sports Med. 2005;26 Suppl 1:S38-48. doi:10.1055/s-2004-830514.
34. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. DGUV Regel 112-190: Benutzung von Atemschutzgeräten 01.12.2011. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.
35. Holmér I, Gavhed D. Classification of metabolic and respiratory demands in fire fighting activity with extreme workloads. Applied Ergonomics. 2007;38:45–52. doi:10.1016/j.apergo.2006.01.004.
36. Williams-Bell FM, Boisseau G, McGill J, Kostjuk A, Hughson R. Air management and physiological responses during simulated firefighting tasks in a high-rise structure. Applied Ergonomics. 2010;41:251–9. doi:10.1016/j.apergo.2009.07.009.
37. Kittelmann M, Adolph L, Michel A, Packroff R, Schütte M, Sommer S. Handbuch Gefährdungsbeurteilung- Teil 2: 8 Gefährdungen durch physische Belastung. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; 2021.

38. ARBEITSGEMEINSCHAFT DER LEITER DER BERUFSFEUERWEHREN in der Bundesrepublik Deutschland. Qualitätskriterien für die Bedarfsplanung von Feuerwehren in Städten 19.11.2015. Bonn: AGBF-Bund.
39. Fachdienst Bauen Stadt Ibbenbüren. Bauantrag Übungsgebäude.[PDF - nicht öffentlich] Ibbenbüren; 2020.
40. Antekeuer B, Lottner K, Maldener H, Röder N. Belastung durch Atemschutzgeräte: Untersuchungen der Hauptstelle für das Grubenrettungswesen Friedrichsthal. BRANDSchutz. 1999;9:793–805.
41. Alpina technologie. Berlin Force, Hamburg Force, Berlin Force, Hamburg Berlin Force, Hamburg Force, MidMatic und MidForce Hohlstrahlrohre: DIN EN 15182.
42. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Ergonomie Ermittlung der thermischen Beanspruchung durch physiologische Messungen (ISO 9886:2004);Deutsche Fassung EN ISO 9886:2004 01.05.2004;13.180. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
43. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Ergonomie der thermischen Umgebung – Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes (ISO/DIS 8996:2020);Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 8996:2020 01.11.2020;13.180. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
44. Sammito S, Thielmann B, Seibt R, Klussmann A, Weippert M, Böckelmann I. Leitlinie Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft. 2014. https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-042l_S2k_Herzschlagfrequenz_Herzfrequenzvariabilit%C3%A4t_2014-07.pdf. Accessed 20 May 2021.
45. Ulmer W, Berta G. Herzminutenvolumen und Herzindex, Schlagvolumen und Schlagvolumenindex, Sauerstoffverbrauch und arterielle und venöse Blutgaswerte von gesunden Versuchspersonen in Ruhe und bei körperlicher Belastung. Pflügers Archiv European Journal of Physiology. 1964;280:281–96.
46. Tomasits J, Haber P. Leistungsphysiologie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2016.

47. Borg G. Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign, Ill.: Human Kinetics; 1998.
48. Borg G. Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. Deutsches Ärzteblatt. 2004;101.
49. Löllgen H. Das Anstrengungsempfinden (RPE, Borg-Skala). Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin. 2004;55.
50. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Leitmerkalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen bei der Ausübung von Ganzkörperkräften LMM-GK 01.06.2019. 12th ed. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
51. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Leitmerkalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen bei Körperfortbewegung LMM-KB 01.04.2019. 12th ed. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
52. Hering E, Martin R, Stohrer M. Taschenbuch der Mathematik und Physik. 5th ed. Berlin: Springer; 2009.
53. Statistisches Bundesamt. Bautätigkeit und Wohnungen: Bestand an Wohnungen. Fachserie. 2019;5.
54. Ridder A, Cimolino U, editors. Brandbekämpfung im Innenangriff: Flashover und Backdraft, Löschmethoden, Einsatztaktik, Realbrandausbildung. Heidelberg, Hamburg: Ecomed Sicherheit Verl.-Gruppe Hüthig Jehle Rehm; 2013.
55. Deutscher Feuerwehr Verband e.V. Hinweise zu Druckschläuchen für die Feuerwehr nach neuer Schlauchnorm 30.07.2015. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.
56. Arbeitsgruppe „Hohlstrahlrohr“. Hohlstrahlrohrausbildung: - Lehrunterlage Hohlstrahlrohr - 01.11.2014. Kassel: Hessische Landesfeuerweherschule.
57. Hinrichs A-C, editor. Erfolgsfaktoren beruflicher Weiterbildung. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; 2016.

58. Mittag H-J. Statistik: Eine Einführung mit interaktiven Elementen. 3rd ed. Berlin: Springer Spektrum; 2014.
59. Spitzer H, Hettinger T, Kaminsky G. Tafeln für den Energieumsatz bei körperlicher Arbeit. 6th ed. Berlin: Beuth; 1982.
60. Bortz J, Schuster C. Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. 7th ed. Berlin, Heidelberg: Springer; 2010.
61. Finteils T, Oehler J, Genzwürker H, Hinkelbein J, Dempfle C, Becker H, Ellinger K. Stressbelastung von Atemschutzgeräteträgern bei der Einsatzsimulation im Feuerwehr-Übungshaus Bruchsal Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg (STATT-Studie); 2002.
62. Walterspacher S, Friedmann-Bette B, Sorichter S. Belastungsuntersuchungen in der Pneumologie. *Pneumologie*. 2011;8:98–104. doi:10.1007/s10405-010-0452-8.
63. Bugajska J, Zuzewicz K, Szmauz-Dybko M, Konarska M. Cardiovascular stress, energy expenditure and subjective perceived ratings of fire fighters during typical fire suppression and rescue tasks. *Int J Occup Saf Ergon*. 2007;13:323–31. doi:10.1080/10803548.2007.11076730.
64. Löllgen, H, Ulmer H. Das „Gespräch“ während der Ergometrie: Die Borg-Skala. *Deutsches Ärzteblatt*. 2004;101:1014–5.
65. Kleining G. Das qualitative Experiment. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*. 1986;38:724–50.
66. Willems WM, editor. *Lehrbuch der Bauphysik: Schall - Wärme - Feuchte - Licht - Brand - Klima*. 8th ed. Wiesbaden: Springer Vieweg; 2017.
67. Sedgwick P. Non-response bias versus response bias. *BMJ*. 2014;348:g2573-g2573. doi:10.1136/bmj.g2573.

Anhang

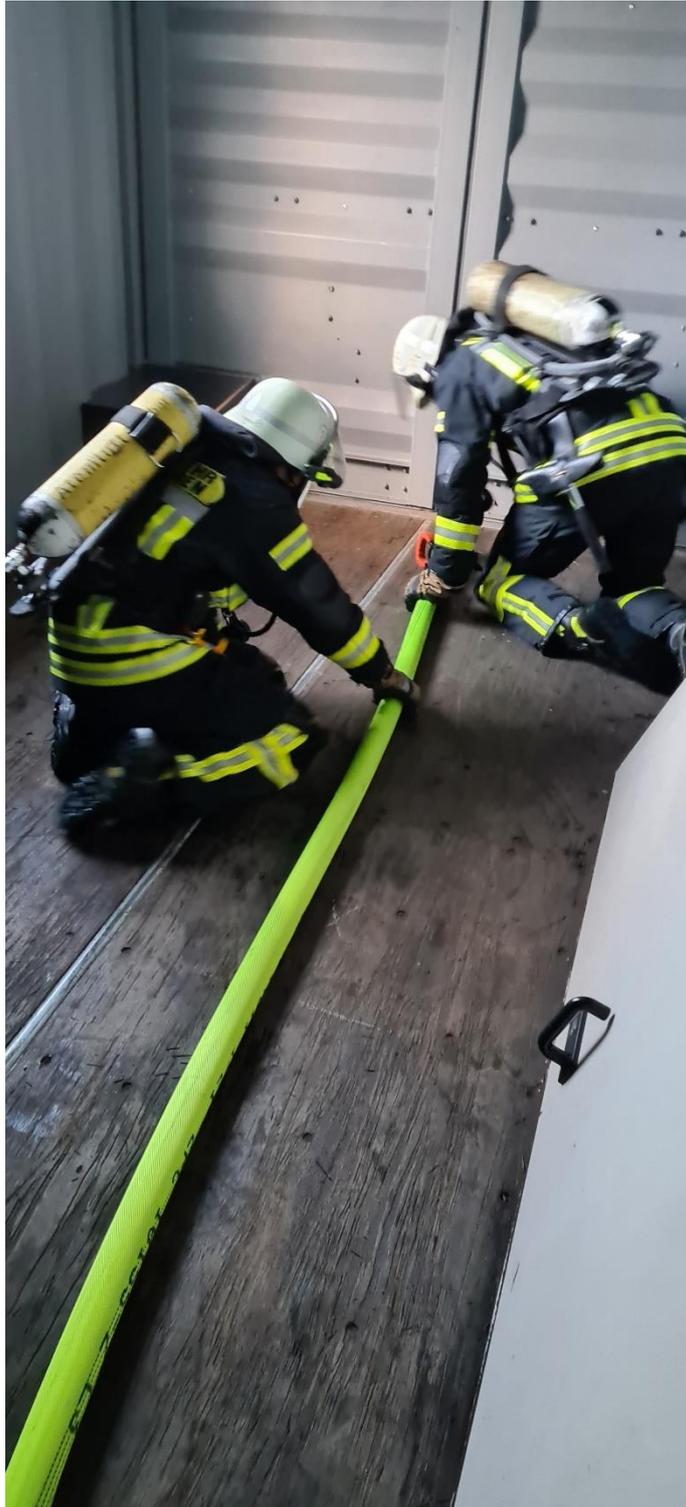
1. Bilder während des Absolvierens des standardisierten Übungsszenarios (eigene Darstellung)
2. Übungsprotokoll
3. Protokoll der Übungszeiten

Anhang 1: Bilder während des Absolvierens des standardisierten Übungsszenarios (eigene Darstellung)









Übungsprotokoll C-__Schlauch Datum: _____

Allgemein

Übungsbeobachter:in: _____

Trupp Nummer: _____

Außentemperatur: _____

Truppführer:in

Gewicht: _____

Größe: _____

Alter: _____

Geschlecht: _____

Feuerwehrangehörigkeit in Jahren: _____

Durchgeführte Innenangriffe: _____

Luftverbrauch in bar: _____

Herzschlagfrequenz Ruhe: _____

Truppmann/Truppfrau

Gewicht: _____

Größe: _____

Alter: _____

Geschlecht: _____

Feuerwehrangehörigkeit in Jahren: _____

Durchgeführte Innenangriffe: _____

Luftverbrauch in bar: _____

Herzschlagfrequenz Ruhe: _____

Aufbau

Startuhrzeit: _____

Dauer bis zum betreten der Rauchgrenze: _____

Probleme:

Sonstige Beobachtungen:

Menschenrettung

Startuhrzeit: _____

Dauer bis zum Erreichen der Treppe: _____

Dauer bis zum Erreichen des 1.OG: _____

Dauer bis zum Erreichen der Puppe: _____

Probleme:

Sonstige Beobachtungen:

Abschluss

Truppführer:in

RPE-Skala nach Borg zur Einschätzung des subjektiven Anstrengungsempfinden

Wert	Anstrengungsgrad	Auswahl
6	Überhaupt nicht anstrengend	
7	Extrem leicht	
8		
9	Sehr leicht	
10		
11	leicht	
12		
13	Etwas schwer	
14		
15	schwer	
16		
17	Sehr schwer	
18		
19	Extrem schwer	
20	Größtmögliche Anstrengung	

Truppmann/Truppfrau

RPE-Skala nach Borg zur Einschätzung des subjektiven Anstrengungsempfinden

Wert	Anstrengungsgrad	Auswahl
6	Überhaupt nicht anstrengend	
7	Extrem leicht	
8		
9	Sehr leicht	
10		
11	leicht	
12		
13	Etwas schwer	
14		
15	schwer	
16		
17	Sehr schwer	
18		
19	Extrem schwer	
20	Größtmögliche Anstrengung	

Anhang 3: Protokoll der Übungszeiten

Übersicht Übungszeiten C- Druckschlauch							
Trupp Nr.	Startuhrzeit Aufbau	Dauer bis betreten der Rauchgrenze (min:sek)	Startuhrzeit (BBK)	Dauer bis zur Treppe EG (min:sek)	Dauer bis Ende Treppe 1.OG (min:sek)	Dauer bis Erreichen des Zieles (min:sek)	Enduhrzeit
1							
2							
3							
5							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Hiermit versichere ich,

Name: **Nico**

Nachname: **Üffing**

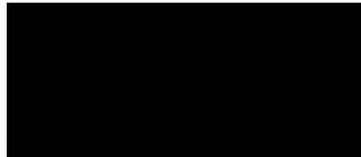
dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Thema:

Analyse der körperlichen Belastung beim Einsatz der genormten Feuerwehrschräuche C52 und C42 im Vergleich zum C38 zur Innenbrandbekämpfung

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Zitate sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hopsten, den 13.06.2021

Ort und Datum

A large black rectangular box redacting the signature in the original document.

Unterschrift im Original