

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Untersuchung von nicht fabrikneuen
Atemschutzausrüstungen der
Feuerwehren

179

Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder,
Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten,
Katastrophenschutz und zivile Verteidigung

Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder,
Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten,
Katastrophenschutz und zivile Verteidigung

Forschungsbericht Nr. 179

Untersuchung von nicht fabrikneuen Atemschutzausrüstungen
der Feuerwehren

von

Dr. rer. nat. Horst Starke (Projektleiter),

M. Sc. Michael Neske

Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge
Abteilung Forschung - Institut der Feuerwehr -

Heyrothsberge

September 2014

Der projektbegleitende Ausschuss hat sich auf der Grundlage der im vorliegenden Abschlussbericht dargestellten Ergebnisse der Bewertung der Abteilung Forschung – Institut der Feuerwehr – des Instituts für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge angeschlossen.

Die Ergebnisse dieser 4. Versuchsserie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- a) Die Temperaturen im Wärmeschrank waren u. a. aufgrund höherer Umgebungstemperaturen um ca. 10 K höher als bei den Versuchen nach dem Versuchsregime 2 des 2. Teilschrittes, d.h., die Tests sind als konservativer zu bewerten.
- b) Bei keinem der berücksichtigten gebrauchten Versuchsobjekte trat ein funktioneller Ausfall ein.
- c) Die äußeren, sichtbaren Beschädigungen stimmen im Wesentlichen mit denen im 2. Teilschritt überein.
- d) Im Ergebnis kann daher festgestellt werden, dass bei den untersuchten Geräteensembles trotz deren langjährigem Gebrauch bei Einsätzen und Übungen keine Einschränkungen hinsichtlich ihrer Resistenz gegenüber den im Versuchsmaßstab erzeugten Wärmexpositionsbedingungen beobachtet wurden. Zudem gibt es keine Anzeichen dafür, dass die thermische Belastbarkeit der untersuchten gebrauchten Geräteensembles geringer ist als bei fabrikneuen Geräten, wenn diese sachgemäß gewartet werden.

Auf der 35. Sitzung des Ausschusses "Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung" des Arbeitskreises V der Ständigen Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder (AFKzV) vom 16. / 17. September 2014 in Bremen wurde nach Vorlage des Abschlussberichtes zum Forschungsvorhaben „Untersuchung von nicht fabrikneuen Atemschutzausrüstungen der Feuerwehren“ nachfolgend dargestellter Beschluss gefasst.

1. Der AFKzV nimmt den Bericht des Vertreters von Baden-Württemberg und den Entwurf des Forschungsberichts 179 „Untersuchung von nicht fabrikneuen Atemschutzausrüstungen der Feuerwehren“ zur Kenntnis.
2. Der AFKzV schließt sich der oben dargestellten Bewertung an und bittet das IdF, diese Bewertung mit dem Hinweis auf die Beschlusslage des AFKzV in den Forschungsbericht auf einer gesonderten Seite einzufügen.
3. Der AFKzV gibt den vorgelegten Forschungsbericht zur Veröffentlichung frei, wenn evtl. Hinweise aus dem PbA ausschließlich redaktioneller Art sind. Sollten inhaltliche Änderungen nötig sein, die Auswirkungen auf obige Einschätzung haben, so ist der Bericht in der AFKzV-Frühjahrssitzung 2015 erneut vorzulegen.
4. Der AFKzV begrüßt es, wenn das IdF die Gerätehersteller über die Ergebnisse der Belastungstests ihrer jeweiligen Geräteensembles informiert.
5. Der AFKzV dankt dem IdF für die Projektbearbeitung und den Mitgliedern des Projekt begleitenden Ausschusses (PbA) für ihre konstruktive Mitarbeit.

BERICHTS-KENNBLETT

Nummer des Berichtes: 179		Titel des Berichtes Untersuchung von nicht fabrikneuen Atemschutzausrüstungen der Feuerweh- ren		ISSN: 0170-0060	
Autoren: Dr. rer. nat. Horst Starke (Projektleiter) M. Sc. Michael Neske		durchführende Institution: Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge Biederitzer Straße 5 D-39175 Biederitz, OT Heyrothsberge Direktor: Ltd. BrD Hubert Lux			
Nummer des Auftrages: 82 (2/2013) IdF		Auftrag gebende Institution: Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder, Arbeitskreis V - Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung			
Datum des Berichtes: September 2014					
Seitenzahl:	Bilder:	Tabellen:	Literaturverweise:		
Kurzfassung: Im Teilschritt 2 des IMK-PSA-Projektes wurde die thermische Belastbarkeit von 45 fabrikneuen Geräteensembles, bestehend aus je einem Pressluftatmer (inkl. Druckbehälter), einer Vollmaske (Klasse 3) und einem Lungenautomaten untersucht. Daraus ergab sich die Fragestellung, wie resistent gebrauchte, kurz vor der Ausmusterung stehende Geräteensembles, die im langjährigen Gebrauch bei Einsätzen und Übungen waren, gegenüber den im Abschlussbericht zum Teilschritt 2 formulierten thermischen Expositionsbedingungen sind. Untersucht werden sollte zudem, ob ältere zum Teil nicht mehr im Handel erhältliche Geräte, die bei Feuerwehren noch heute eingesetzt werden, den gleichen Stand hinsichtlich der thermischen Belastbarkeit aufweisen. Da im Teilschritt 2 des Forschungsprojektes abgeleitet wurde, dass die Expositionsbedingungen des Versuchsregimes 2 denen eines Innenangriffes entsprechen, wurden diese für die Experimente mit gebrauchten Geräteensembles verwendet. Im Ergebnis der Experimente mit 25 gebrauchten Geräteensembles kann festgehalten werden, dass keines der untersuchten Geräte funktionell ausfiel. Für die gemeinsame Veratmung von Pressluftatmern, Vollmasken und Lungenautomaten bei Wärmeschranktemperaturen von mehr als 60 °C existieren keine normativen Grenzwerte für die Atemwiderstände. Die bei den 25 Experimente gemessenen Ein- und Ausatemwiderstände wurden daher anhand der normativen Grenzwerte für Wärmeschranktemperaturen von 60 °C bewertet. Hierbei wurde gezeigt, dass die Atemwiderstände in der Regel innerhalb der Grenzwerte lagen. Bei einigen Geräten wurde jedoch festgestellt, dass besonders die Einatemwiderstände infolge der Wärmeexposition geringfügig anstiegen, ohne dabei ein Niveau zu erreichen, das vom Geräteträger als ein Blockieren der Atemluftzufuhr hätte empfunden werden können. Es kann daher eingeschätzt werden, dass bei den untersuchten Geräteensembles trotz deren langjährigem Gebrauch keine Einschränkungen hinsichtlich ihrer Resistenz gegenüber den im Versuchsmaßstab erzeugten Expositionsbedingungen existieren. Zudem gibt es keine Anzeichen dafür, dass die thermische Belastbarkeit der untersuchten gebrauchten Geräteensembles geringer ist, als bei den untersuchten fabrikneuen.					
Schlagwörter: Thermisches Belastungsprofil, Pressluftatmer, Vollmasken, Lungenautomaten, Wärmestrahlung, Konvektion, Wärmeschrank					

Inhaltverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	4
Abbildungsverzeichnis.....	4
Abkürzungsverzeichnis	6
Symbole	6
Literaturverzeichnis	7
Danksagung	8
1 Einleitung.....	9
2 Ausgangssituation	11
3 Messkonzept	14
3.1 Versuchsobjekte im Teilschritt 3	14
3.2 Versuchsregime	15
3.3 Messstellen und Messwerterfassung	17
3.4 Instrumentierung, Versuchsdurchführung und Versuchsstand	18
4 Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen mit nicht fabrikneuen Geräteensembles	19
4.1 Temperaturen auf den Oberflächen der untersuchten Komponenten der Versuchsserie 4	19
4.2 Temperaturen im Inneren der untersuchten Druckbehälter der Versuchsserie 4	24
4.3 Temperaturen der Atemluft der Versuchsserie 4	25
4.4 Atemwiderstände der Versuchsobjekte der Versuchsserie 4.....	29
4.5 Beschädigungen an Versuchsobjekten der Versuchsserie 4.....	32
Zusammenfassung	34

Tabellenverzeichnis

1.1	Mitglieder des PbA	10
2.1	Übersicht zu den Versuchsregimen der Versuchsserien (VS) 1 bis 3 (die Versuchsserien 1 bis 3 wurden auf der Basis der Versuchsregime 1 bis 3 durchgeführt)	12
3.1	Versuchsobjekte für die Experimente des Teilschrittes 3	14
3.2	Temperaturmessstellen an den untersuchten Geräteensembles der Versuchsserie 4	18
4.1	Maximaltemperaturen an den Oberflächen der untersuchten Versuchsobjekte der Versuchsserie 4	23
4.2	Maximaltemperaturen an den Oberflächen der um 180° gedrehten Versuchsobjekte der Versuchsserie 4	24
4.3	Grenzwerte für Atemwiderstände für die gemeinsame Veratmung von Pressluftatmern und Vollmasken nach DIN EN 137 bei einer sinusförmigen Veratmung (Veratmungsrates muss 50 l/min betragen, 2 l/Hub, 25 Hübe/min)	30

Abbildungsverzeichnis

3.1	Wärmeschränktemperaturen bei den Versuchsserien (VS) 1 - 4	16
3.2	Ablaufschema der Experimente im Teilschritt 3 [Starke und Neske 2013]	17
4.1	Zeitabhängige Temperaturverläufe bei Versuch 4 (Versuchsobjekt in Normaldruckausführung und Stahl-Druckbehälter)	19
4.2	Zeitabhängige Temperaturverläufe bei Versuch 6 (Versuchsobjekt in Normaldruckausführung und CFK-Druckbehälter)	20
4.3	Zeitabhängige Temperaturverläufe bei Versuch 24 (Versuchsobjekt in Normaldruckausführung und Stahl-Druckbehälter)	21
4.4	Ausgewählte zeitabhängige Temperaturverläufe bei Versuch 19 (Versuchsobjekt in Überdruckausführung und CFK-Druckbehälter)	24
4.5	Ausgewählte zeitabhängige Temperaturverläufe bei Versuch 20 (Versuchsobjekt in Überdruckausführung und CFK-Druckbehälter)	25

4.6	Zeitabhängige Atemlufttemperaturen bei den Experimenten mit Stahl-Druckbehältern der VS_4	26
4.7	Zeitabhängige Atemlufttemperaturen bei den Experimenten mit CFK-Druckbehältern der VS_4	27
4.8	Zeitabhängiger Verlauf der mittleren Temperatur der Atemluft für die Experimente mit Stahl-Druckbehältern der VS_4, die grau schraffierte Fläche zeigt den Bereich der Abweichung vom Mittelwert ($\pm 1\sigma$)	28
4.9	Zeitabhängiger Verlauf der mittleren Temperatur der Atemluft für die Experimente mit CFK-Druckbehältern der VS_4, die grau schraffierte Fläche zeigt den Bereich der Abweichung vom Mittelwert ($\pm 1\sigma$)	28
4.10	Zeitabhängige Atemwiderstände (Differenzdruckverläufe zum Umgebungsdruck) von Versuchsobjekten in Normaldruckausführung (Stahl-Druckbehälter) im Versuch 10 (links) und Versuch 9 (rechts); Versuchsserie 4	30
4.11	Zeitabhängige Atemwiderstände (Differenzdruckverläufe zum Umgebungsdruck) von Versuchsobjekten in Überdruckausführung im Versuch 11 (links, Stahl-Druckbehälter) und Versuch 14 (rechts, CFK-Druckbehälter); Versuchsserie 4	30
4.12	Zeitabhängige Atemwiderstände (Differenzdruckverläufe zum Umgebungsdruck) von Versuchsobjekten in Normaldruckausführung im Versuch 12 und in Überdruckausführung Versuch 1 (beides Stahl-Druckbehälter); Versuchsserie 4	31

Abkürzungsverzeichnis

AFKzV	„Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung“ des Arbeitskreises V der Ständigen Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder
IBK	Institut für Brand- und Katastrophenschutz
CFK	Carbonfaser verstärkter Kunststoff
ESA	Einheitssteckanschluss
IBK	Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge
IdF LSA	Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt
IMK	Innenministerkonferenz
inkl.	Inklusive
NRW	Nordrhein-Westfalen
PbA	Projektbegleitender Ausschuss
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
vfdb	Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.
vgl.	vergleiche
VS	Versuchsserie

Symbole

°C	Grad Celsius
D	Durchmesser
K	Kelvin
l	Liter
min	Minute
kW	Kilowatt
m ²	Quadratmeter
σ	Standardabweichung
T_w	Wärmeschränktemperatur

Literaturverzeichnis

- [Starke und Neske 2013] Starke, H.; Neske, M.; „Anforderungen und Prüfmethode für die Persönlichen Schutzausrüstungen der Feuerwehreinsatzkräfte im Brandeinsatz unter besonderer Berücksichtigung des Atemschutzes (Persönliche Schutzausrüstung - PSA) - Teilschritt 2 - “; Bericht Nr.: 168 des IMK-Brandschutzforschungsprogramms; Heyrothsberge; 2013
- [Grabski et al. 2010] Grabski, R., Brein, D., Kunkelmann, J., Neske, M., Pasch, U.; „Anforderungen und Prüfmethode für die Persönlichen Schutzausrüstungen der Feuerwehreinsatzkräfte im Brandeinsatz unter besonderer Berücksichtigung des Atemschutzes (Persönliche Schutzausrüstung - PSA) - Teilschritt 1 - “; Bericht Nr.: 161 des IMK-Brandschutzforschungsprogramms; Heyrothsberge/Karlsruhe; 2010
- [DIN EN 137 2007] Atemschutzgeräte – Behältergeräte mit Druckluft (Pressluftatmer) mit Vollmaske – Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung; Beuth Verlag Berlin, Januar 2007

Danksagung

Die Bearbeiter des Forschungsprojektes möchten sich an dieser Stelle bei den Berufsfeuerwehren in Berlin, Essen, Halle/Saale, Frankfurt/Main, Hamburg und München sowie der Hessischen Landesfeuerweherschule in Kassel und dem Institut der Feuerwehr NRW in Münster für die Unterstützung bedanken, indem sie gebrauchte, kurz vor der Ausmusterung stehende Pressluftatmer, Druckbehälter, Vollmasken und Lungenautomaten zur Verfügung stellten. Auch den Kolleginnen und Kollegen der Atemschutzwerkstatt des Instituts für Brand- und Katastrophenschutz (IBK) sei an dieser Stelle für die tatkräftige Unterstützung bei der Prüfung der zu untersuchenden Atemschutzgeräte gedankt.

Nicht zuletzt möchten sich die Autoren des Berichtes an dieser Stelle für die sehr engagierte und stets konstruktive Arbeit der Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses bedanken.

1 Einleitung

Der Abschlussbericht zum Teilschritt 2 des PSA-Forschungsvorhabens wurde auf der 33. Sitzung des Ausschusses "Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung" des Arbeitskreises V der Ständigen Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder (AFKzV) am 17. / 18. September 2013 in Würzburg bestätigt. Er steht seitdem als kostenloses Download auf der Homepage des IBK zur Verfügung. Bereits im Vorfeld der Berichtserstellung zum Teilschritt 2 wurde seitens aller am Projekt Beteiligten angeregt, dass auch nicht fabrikneue Geräteensembles, bestehend aus je einem Pressluftatmer (inkl. Druckbehälter), einer Vollmaske der Klasse 3 und einem Lungenautomaten in die Untersuchungen einbezogen werden müssen. Damit sollte in Experimenten festgestellt werden, ob sich durch deren dauerhaften Gebrauch in Übungsanlagen und bei Einsätzen Einschränkungen hinsichtlich der thermischen Belastbarkeit ergeben. Auch aufgrund der geänderten Modellpaletten (im Teilschritt 2 wurden ausschließlich aktuell am Markt verkäufliche Gerätemodelle untersucht) sollte festgestellt werden, ob ältere z.T. nicht mehr im Handel erhältliche Geräte, die noch heute bei Feuerwehren eingesetzt werden, den gleichen Stand hinsichtlich der thermischen Belastbarkeit aufweisen. Die hierfür erarbeitete Vorhabensbeschreibung für das Forschungsprojekt „Untersuchung von nicht fabrikneuen Atemschutzausrüstungen für die Feuerwehren“, nachfolgend Teilschritt 3 genannt, wurde bereits auf der 31. Sitzung des AFKzV im Herbst 2012 behandelt. Die Bearbeitung wurde dem IdF Sachsen-Anhalt (heute Abteilung Forschung –Institut der Feuerwehr– des IBK Heyrothsberge) übertragen. Das Projekt wurde im Zeitraum von April 2013 bis zum April 2014 bearbeitet.

Wie auch bei den Teilschritten 1 und 2 des PSA-Forschungsprojektes wurde der PbA in seiner institutionellen Konstellation im Rahmen der Bearbeitung tätig. Hinsichtlich der personellen Zusammensetzung kam es zu geringfügigen Änderungen (siehe Tabelle 1.1) [Starke und Neske 2013], [Grabski et al. 2010]).

Es sei an dieser Stelle hinzugefügt, dass die Ergebnisse der Untersuchungen in Analogie zu den Teilschritten 1 und 2 anonymisiert dargestellt und keine Fotos von beschädigten Geräteensembles gezeigt werden.

Tabelle 1.1: Mitglieder des PbA

Mitglied	Entsendende Institution
LBrD Hermann Schröder (Vorsitzender)	Innenministerium Baden-Württemberg
RBrD Dr. Thomas Skrzek (Stellvertreter)	Institut der Feuerwehr NRW
Dr. Dirk Hageböling	Vorsitzender Referat 8 der vfdb, Feuerwehr Bochum
BrOAR Reiner Wirth	Feuerwehr Essen
Ltd. BrD Hubert Lux	Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge
Ltd. BrD Dr. Roland Demke	Staatliche Feuerweherschule Würzburg
Tobias Bleyer	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Ar- beitsmedizin
Dr. Stephan Aris	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
Marco Szyrkowski	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
Matthias Drobig	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
Detlef Garz	FUK Mitte, Sachgebiet „Feuerwehren und Hilfeleistungsorganisationen“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)
Tim Pelzl	DGUV
Michael Siebrecht	DEKRA EXAM GmbH
Stephan Finger	DEKRA EXAM GmbH
Dieter Brein	Forschungsstelle für Brandschutztechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

2 Ausgangssituation

Im Teilschritt 2 des Forschungsvorhabens wurde die thermische Belastbarkeit von Geräteensembles in den Ausführungen

- Normaldruck mit Rundgewindeanschluss,
- Überdruck mit M45x3 Gewinde und
- Überdruck mit Einheitssteckanschluss (ESA)

untersucht. Die exakten Gerätekonfigurationen wurden vom vfdb Referat 8 vorgeschlagen. Von den Herstellern Dräger, Interspiro und MSA Auer wurden je 5 Geräteensembles (Pressluftatmer mit Druckbehälter, Vollmaske Klasse 3 und Lungenautomat) in den oben genannten Ausführungen beschafft. Damit standen 45 Geräteensembles für die experimentellen Untersuchungen zur Verfügung.

Nach einer intensiven Literaturrecherche und zahlreichen eigens für das Forschungsprojekt durchgeführten Experimenten wurde im Teilschritt 1 ein thermisches Belastungsprofil erarbeitet. Dieses wurde mit Hilfe von weiteren Experimenten im Teilschritt 2 konkretisiert. Im Ergebnis wurde ein zeitabhängiger Verlauf für die Umgebungstemperatur (konvektive Wärmeexposition) ermittelt. Da die Feuerwehreinsatzkräfte bei Einsätzen im Innenangriff und bei vergleichbaren Übungen zusätzlich mittels Wärmestrahlung exponiert werden, wurde das thermische Belastungsprofil um diese physikalische Größe ergänzt [Grabski et al. 2010], [Starke und Neske 2013]. Um diese zeitabhängigen Temperatur- und Wärmestrahlungsverläufe im Versuchsmaßstab umsetzen zu können, wurde zeitparallel mit der Konzeption eines bislang einmaligen Versuchsstandes begonnen. Details hierzu können dem Abschlussbericht zum Teilschritt 2 entnommen werden [Starke und Neske 2013]. Auf der Basis dieser Untersuchungen wurden drei Versuchsregime erarbeitet, die hinsichtlich der thermischen Belastungen aufeinander aufbauten (siehe Tabelle 2.1 und Bild 3.1).

Tabelle 2.1: Übersicht zu den Versuchsregimen der Versuchsserien (VS) 1 bis 3
(die Versuchsserien 1 bis 3 wurden auf der Basis der Versuchsregime 1 bis 3 durchgeführt)

	Versuchsserien / -regime		
	VS_1 Versuchsregime 1	VS_2 Versuchsregime 2	VS_3 Versuchsregime 3
Versuchsdauer:	10 min	10 min	15 min
Wärmestrahlungs- beaufschlagung (30 kW/m ²):	3-mal gleichverteilt über die Versuchs- zeit; Dauer jeweils 15 s	3-mal gleichverteilt über die Versuchs- zeit; Dauer jeweils 15 s	Keine
Temperaturverlauf im Wärmeschrank:	Siehe Bild 3.1	Siehe Bild 3.1	Siehe Bild 3.1
Versuchsumfang:	9 Geräte <i>(1 Gerät je Gerätetyp)</i>	18 Geräte <i>(2 Geräte je Gerätetyp)</i>	18 Geräte <i>(2 Geräte je Gerätetyp)</i>

Nach Abschluss der experimentellen Untersuchungen hat der PbA die nachfolgend dargestellte Abschlussbewertung abgegeben. Dieser Bewertung schloss sich der AFKzV auf seiner 33. Sitzung an.

- a) Die in den ersten beiden Versuchsserien verwendeten thermischen Belastungen decken die bei Bränden in aller Regel auftretenden Bedingungen des Feuerwehreinsatzes ab. Die in der Praxis beobachteten Schäden weisen darauf hin (vgl. Erhebung zu Unfällen und Beinaheunfällen, [Grabski et al. 2010]).
- b) Im Ergebnis kann daher festgestellt werden, dass unter den üblicherweise auf Atemschutzgeräteträger und Pressluftatmer im Einsatz einwirkenden thermischen Belastungen bei den untersuchten Geräteensembles und bei taktisch richtigem Vorgehen keine Bedenken für deren Verwendung im Feuerwehreinsatz bestehen.
- c) Die dritte und „härteste“ Versuchsserie hat die derzeitigen Grenzen der thermischen Belastbarkeit von Pressluftatmern aufgezeigt. Diese thermischen Belastungen treten offenbar aufgrund der bisher vorliegenden Erkenntnisse über Schäden an Pressluftatmern in aller Regel in der Feuerwehreinsatzpraxis nicht auf. Die Grenzen der thermischen Belastbarkeit in der Versuchsserie 3 waren, bei achtzehn geprüften Geräten, an drei Geräten durch funktionelle Ausfälle

und an vier weiteren Geräten durch deutlich erhöhte Atemwiderstände an den Lungenautomaten gekennzeichnet.

- d) Die Hersteller können sich hinsichtlich der Versuchsergebnisse ihrer Produkte an das IdF LSA wenden, um die Versuchsergebnisse ihrer eigenen Geräte zu erfahren und die Erkenntnisse bei weiteren Geräteentwicklungen berücksichtigen zu können.
- e) Das Referat 8 der vfdb wird um Prüfung gebeten, ob die Forschungsergebnisse des Forschungsauftrages 168 Auswirkungen auf die DIN EN 137 haben können.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Teilschrittes 2 wurde im Vorfeld der experimentellen Untersuchungen im Teilschritt 3 durch den PbA festgelegt, dass die Versuche mit nicht fabrikneuen Geräteensembles (Versuchsserie 4) gemäß des Versuchsregimes 2 durchgeführt werden sollen (siehe auch Abschnitt 3.2).

3 Messkonzept

3.1 Versuchsobjekte im Teilschritt 3

Wie bereits im Kapitel 1 erwähnt, wurden von verschiedenen öffentlichen Einrichtungen gebrauchte Atemschutzgeräte zur Verfügung gestellt. Auf diese Art und Weise konnten jedoch nur 18 Versuchsobjekte bezogen werden. Daher wurden wenig beschädigte Geräteensembles aus den experimentellen Untersuchungen des Teilschrittes 2 in die Untersuchungen des Teilschrittes 3 einbezogen (die Versuchsobjekte wurden in Tabelle 3.1 mit einem * markiert). In der nachfolgenden Tabelle 3.1 sind diese Versuchsobjekte dargestellt. Es sei hinzugefügt, dass die lfd. Nr. der Tabelle 3.1 aus Gründen der Anonymisierung nicht mit der Nummerierung der Versuche übereinstimmen. Abweichend zu den Untersuchungen des Teilschrittes 2 wurden bei den hier vorgestellten Experimenten auch Geräteensembles in Überdruckausführung getestet, die mit Stahl-Druckbehältern ausgerüstet waren. Alle hier vorgestellten 25 Geräteensembles wurden im Vorfeld der Experimente in der Atemschutzwerkstatt des IBK Heyrothsberge turnusmäßig auf Funktion überprüft.

Tabelle 3.1: Versuchsobjekte für die Experimente des Teilschrittes 3

Normaldruck mit Rundgewindeanschluss			
Lfd. Nr.:	Pressluftatmer	Vollmaske	Lungenautomat
1	Dräger; PA 94 Plus 6 l Stahl	Dräger; Panorama Nova N	Dräger; PA 94 N
2	MSA-Auer; BD 88 2 x 4 l Stahl	Dräger; Panorama Nova N	MSA-Auer; LA 96 N
3	Dräger; PA 80 6 l Stahl	Dräger; Panorama Nova N	Dräger; PA 80 N
4	Dräger; PA 80 6 l Stahl	Dräger; Panorama Nova N	Dräger; PA 80 N
5	Dräger; PA 80 up 6 l Stahl	Dräger; Panorama Nova N	Dräger; PSS N
6	Dräger; PA 80 up 6 l Stahl	Dräger; Panorama Nova N	Dräger; PSS N
7	Dräger; PA 94 6 l Stahl	MSA-Auer; 3S N	Dräger; PA 94
8	Dräger; PA 94 6 l Stahl	MSA-Auer; 3S N	Dräger; PA 94
9 *	Dräger; PSS 90 6 l Stahl	Dräger, Panorama Nova N	Dräger; PSS N

Tabelle 3.1: Versuchsobjekte für die Experimente des Teilschrittes 3 (Fortsetzung)

10 *	MSA-Auer; AirGo Pro 6 I Stahl	MSA-Auer; Ultra Elite N	MSA-Auer; AutoMaXX N
11	Dräger; PA 80 up 6 I Stahl	Dräger; Panorama Nova N	Dräger; PSS N
12	Dräger; PA 80 up 6 I Stahl	Dräger; Panorama Nova N	Dräger; PSS N
13	Dräger; PA 80 up 6 I Stahl	Dräger; Panorama Nova N	Dräger; PSS N
14	MSA-Auer; BD 96 6,8 I CFK	MSA-Auer 3S N	MSA-Auer; AutoMaXX N
15	Dräger; PSS 90 6,8 I CFK	Dräger; Panorama Nova ESA	Dräger; PSS ESA
Überdruck mit M45x3-Gewinde			
16 *	MSA-Auer; AirGo EXX 6,9 I CFK	MSA-Auer; 3S N	MSA-Auer; AutoMaXX AE
17 *	Dräger; PSS 100 6,8 I CFK	Dräger; FPS 7000 AE	Dräger; PSS AE
Überdruck mit Einheitssteckanschluss (ESA)			
18	MSA-Auer; BD 88 6 I Stahl	Dräger; Panorama Nova ESA	MSA-Auer; LA 96 ESA
19	MSA-Auer; BD 88 6 I Stahl	Dräger; Panorama Nova ESA	MSA-Auer; LA 96 ESA
20 *	Interspiro; Spiromatic QS 6,8 I CFK	Interspiro; S ESA	Interspiro; S ESA
21	MSA-Auer; BD 96 6,8 I CFK	Dräger; Panorama Nova ESA	MSA-Auer; AutoMaXX ESA
22	MSA-Auer; BD 96 6,8 I CFK	Dräger; Panorama Nova ESA	MSA-Auer; AutoMaXX ESA
23 *	Dräger; PSS 7000 6,8 I CFK	Dräger; FPS 7000 ESA	Dräger; PSS ESA
24 *	MSA-Auer; AirMaXX SL; 6,8 I CFK	MSA-Auer; Ultra Elite ESA	MSA-Auer; AutoMaXX ESA
25	Dräger; PSS 90 6,8 I CFK	Dräger; Panorama Nova ESA	Dräger; PSS ESA

3.2 Versuchsregime

Wie bereits im Kapitel 2 erwähnt, wurden die 25 Experimente der Versuchsserie 4 auf der Basis der Versuchsbedingungen des Versuchsregimes 2 durchgeführt. Wie auch bei den Untersuchungen des Teilschrittes 2 konnten die Versuchsobjekte nicht gleichbleibend klimatisiert gelagert werden. Auch die Umgebungstemperaturen im Brandraum 3 des IBK, in dem der Versuchsstand aufgebaut war, konnten nicht konstant ge-

halten werden. Sie lagen mit $18\text{ °C} - 23\text{ °C}$ etwa 5 K höher als bei den Experimenten im Teilschritt 2. Im Unterschied zu den Experimenten im Teilschritt 2 wurden die Versuchsobjekte auf der Halteplattform etwa 10 cm zurückgesetzt in Richtung der Rückwand im Wärmeschrank angeordnet. Aufgrund dieser beiden Tatsachen lag die Temperatur im Wärmeschrank etwa 10 K höher als bei den Experimenten der Versuchsserie 2. Zur Verdeutlichung dieser Sachverhalte sind im nachfolgend dargestellten Bild 3.1 exemplarisch die Wärmeschranktemperaturen dargestellt, die im Rahmen von vier Experimenten aufgezeichnet wurden.

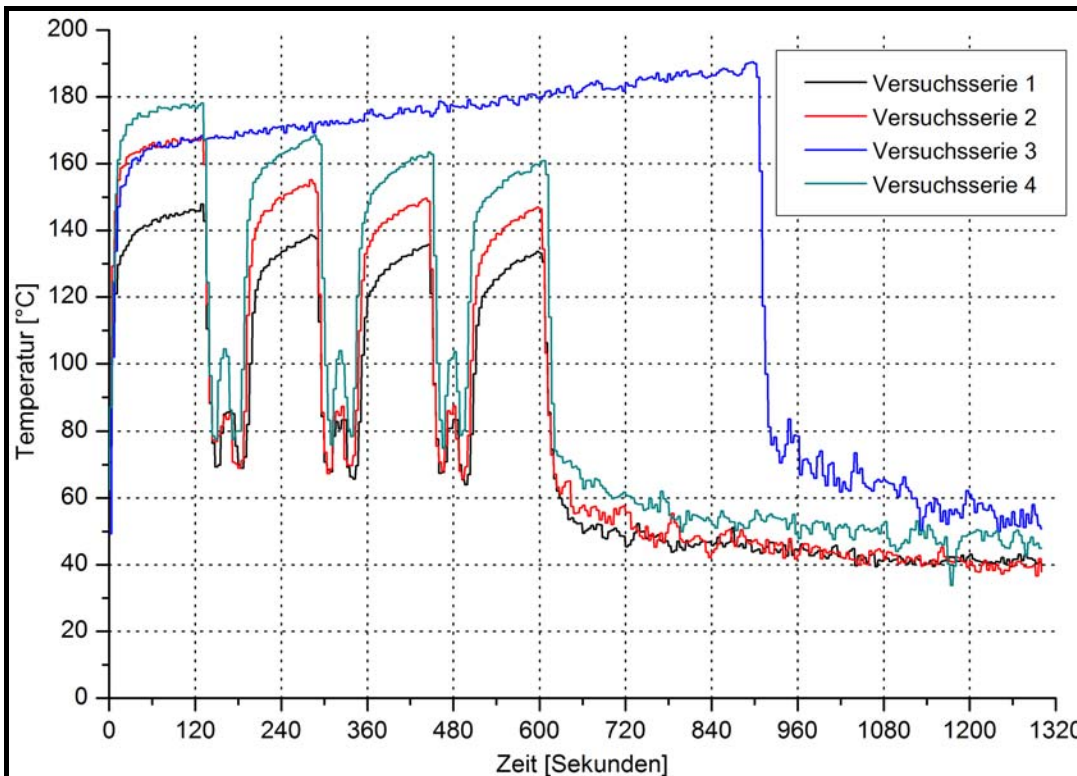


Bild 3.1: Wärmeschranktemperaturen bei den Versuchsserien (VS) 1 - 4

Um reproduzierbare Versuchsbedingungen sicherzustellen, wurde stets nach demselben Ablaufschema gearbeitet (siehe Bild 3.2). In der im Bild 3.2 markierten Vorbereitungszeit wurde der Wärmeschrank mit den Versuchsobjekten beschickt. Innerhalb dieses Zeitraumes wurden die Versuchsobjekte darüber hinaus an die künstliche Lunge angeschlossen. Die im Bild 3.2 dargestellten Versuchszeiten $2\text{ min } 8\text{ s}$, $4\text{ min } 45\text{ s}$ und $7\text{ min } 22\text{ s}$ zeigen die Versuchszeiten, bei denen die Wärmeschranktüren geöffnet wurden, um die 15 s dauernde Wärmestrahlungsbeaufschlagung durchzuführen. Die Versuchszeiten $2\text{ min } 38\text{ s}$, $5\text{ min } 15\text{ s}$ und $7\text{ min } 52\text{ s}$ zeigen die Versuchszeiten, bei denen die Türen wieder geschlossen waren.

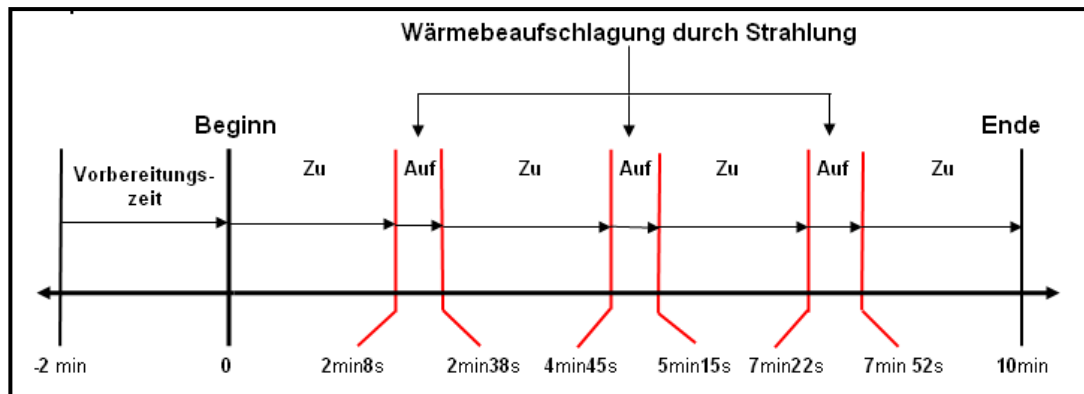


Bild 3.2: Ablaufschema der Experimente im Teilschritt 3
[Starke und Neske 2013]

3.3 Messstellen und Messwerterfassung

In Analogie zu den Experimenten des Teilschrittes 2 wurden an den untersuchten 25 Geräteensembles je 7 Thermoelemente an den Oberflächen der Bauteile angebracht. Zusätzlich erfolgte bei all diesen Experimenten die Messung der Atemlufttemperatur. Hierfür wurde je ein Thermoelement im Übergang zwischen dem Lungenautomaten und der Vollmaske positioniert. Bei zwei Experimenten mit CFK-Druckbehältern (je ein Druckbehälter mit Aluminium- und Kunststoffliner) wurde darüber hinaus der zeitabhängige Temperaturverlauf im Inneren der Druckbehälter messtechnisch erfasst (mittig im Druckbehälter). Entgegen den Experimenten des Teilschrittes 2 wurden hierbei allerdings Mantelthermoelemente mit einem Durchmesser von $D = 0,5 \text{ mm}$ (Toleranzklasse 1) eingesetzt. Da im Rahmen der experimentellen Untersuchungen des Teilschrittes 2 nachgewiesen wurde, dass es im Rahmen der Versuchsserien 1 – 3 nicht zum Anstieg des Druckes im Druckbehälter kam, wurde auf die Messung des Behälterinnendruckes verzichtet. Eine Übersicht der Messstellen zeigt Tabelle 3.2.

Die Aufzeichnung und Speicherung der Messwerte wurde mit Hilfe desselben Messwerterfassungssystems realisiert, wie es im Teilschritt 2 der Fall war.

Tabelle 3.2: Temperaturmessstellen an den untersuchten Geräteensembles der Versuchsserie 4

Lfd. Nr.:	Messstellenbezeichnung
1	Druckbehälter, oben, außen
2	Druckbehälter, mittig, außen
3	Druckbehälter, unten, außen
4	Druckbehälterhals, außen
5	Mitteldruckleitung, vorn, Brusthöhe, außen
6	Gehäuse Lungenautomat, außen
7	Atemanschluss, außen, oberer Rand
8	Atemlufttemperatur im Atemanschluss
9	Schamottesteine *
10	Wärmeschrank
11	Druckbehälter, innen, mittig

* Die Messstelle 9 diene lediglich zur Bestimmung des Zeitpunktes, ab dem der Versuch gestartet wird. Es hat sich in Vorversuchen gezeigt, dass die notwendigen Wärmeschranktemperaturen erreicht werden, wenn die Temperatur in der Schamottesteinschicht 240 °C beträgt. [Starke und Neske 2013]

3.4 Instrumentierung, Versuchsdurchführung und Versuchsstand

Da die Experimente der Versuchsserie 4 im selben Versuchsstand durchgeführt wurden, wie die Versuchsserien 1 – 3, wird an dieser Stelle darauf verzichtet, eine detaillierte Beschreibung anzuführen. Es sei an dieser Stelle auf den Abschlussbericht zum Teilschritt 2 verwiesen [Starke und Neske 2013]. Einzelheiten zur Instrumentierung der Versuchsobjekte und zur Versuchsdurchführung können dem Bericht ebenfalls entnommen werden. Hinzugefügt sei an dieser Stelle, dass die Versuchsobjekte auf der umgebauten Halteplattform montiert wurden, wie sie bei den Versuchsserien 2 und 3 zum Einsatz kam. Die sinusförmige Veratmung der Versuchsobjekte wurde in Analogie zu den Experimenten des Teilschrittes 2 mit einer Veratmungsrate von 50 l/min durchgeführt (2 l/Hub, 25 Hübe/min).

4 Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen mit nicht fabrikneuen Geräteensembles

4.1 Temperaturen auf den Oberflächen der untersuchten Komponenten der Versuchsserie 4

Nachfolgend dargestellt sind beispielhaft die zeitabhängigen Temperaturverläufe zweier Versuche, bei denen in den Pressluftatmern je ein Stahl- und ein CFK-Druckbehälter eingesetzt waren (siehe Bilder 4.1 und 4.2).

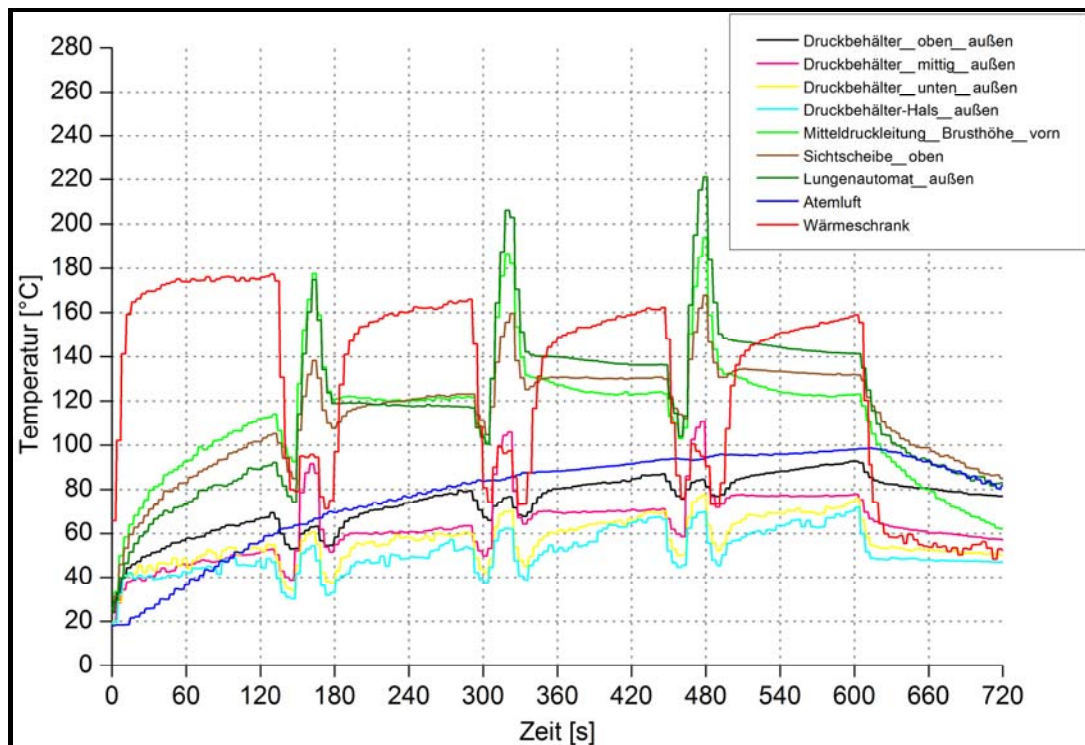


Bild 4.1: Zeitabhängige Temperaturverläufe bei Versuch 4 (Versuchsobjekt in Normaldruckausführung und Stahl-Druckbehälter)

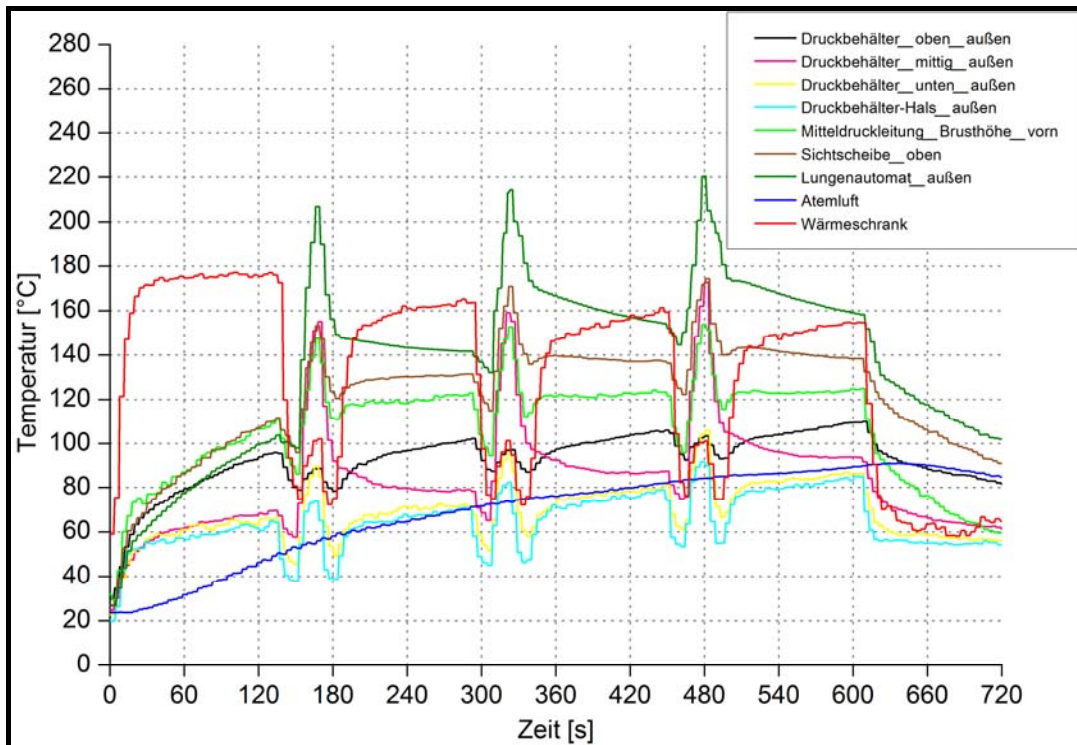


Bild 4.2: Zeitabhängige Temperaturverläufe bei Versuch 6 (Versuchsobjekt in Normaldruckausführung und CFK-Druckbehälter)

Bei der Betrachtung der Bilder wird ersichtlich, dass die zeitabhängigen Temperaturverläufe sehr ähnlich sind. Es zeigte sich, dass die Temperaturen sanken, als die Wärmeschranktüren geöffnet wurden, um die Wärmestrahlungsquelle zum Einsatz zu bringen. Wenige Sekunden danach, als die Wärmestrahlungsquelle vor den Versuchsobjekten positioniert war, traten dadurch verursacht kurze Temperaturspitzen an allen Messstellen auf. Diese waren in Abhängigkeit vom Material der instrumentierten Bauteile und vom Abstand zur Wärmestrahlungsquelle sehr unterschiedlich. So wurden an Messstellen, die weiter von der Wärmestrahlungsquelle entfernt waren, geringere Temperaturen gemessen, als an Messstellen, die der Wärmestrahlungsquelle nahe waren (vgl. Abstandsquadratgesetz). Die Abhängigkeit der Oberflächentemperatur vom eingesetzten Material wird bei der Betrachtung der Messstelle Druckbehälter_mittig_außen besonders deutlich. Erkennbar ist, dass dort die Temperatur im Versuch 4 (Stahl-Druckbehälter) nur auf 110,7 °C anstieg. Dahingegen wurde an der gleichen Messstelle am CFK-Druckbehälter im Versuch 6 ein Maximalwert von 172,6 °C erreicht. Der Grund hierfür liegt in den unterschiedlichen Materialeigenschaften der Druckbehälter. Da das Druckbehälter-Material Stahl einen deutlich höheren Wärmeleitkoeffizienten aufweist als Kohlefaserverbundwerkstoffe, wird Wärme schnell von der Oberfläche des Druckbehälters an tieferliegende Schichten geleitet. Daher treten stets geringere Oberflächentemperaturen auf, als bei Werkstoffen mit geringeren Wärmeleit-

koeffizienten. Darüber hinaus ist die Oberflächentemperatur bei einwirkender Wärmestrahlung vom Absorptionskoeffizienten des Materials abhängig. Dadurch bedingt liegt die Oberflächentemperatur mattschwarzer Oberflächen oberhalb derer, die bei reflektierenden Oberflächen auftreten (bei gleicher Strahlungswärmestromdichte und Wärmeleitfähigkeit). Wie auch bei den Experimenten im Teilschritt 2 zeigte sich, dass an den Oberflächen schwarzer Silikonbauteile die höchsten Oberflächentemperaturen gemessen wurden. Das nachfolgende Bild 4.3 sind die zeitabhängigen Temperaturverläufe eines Experimentes dargestellt, bei dem ein Lungenautomat zum Einsatz kam, der mit schwarzem Silikon ummantelt war.

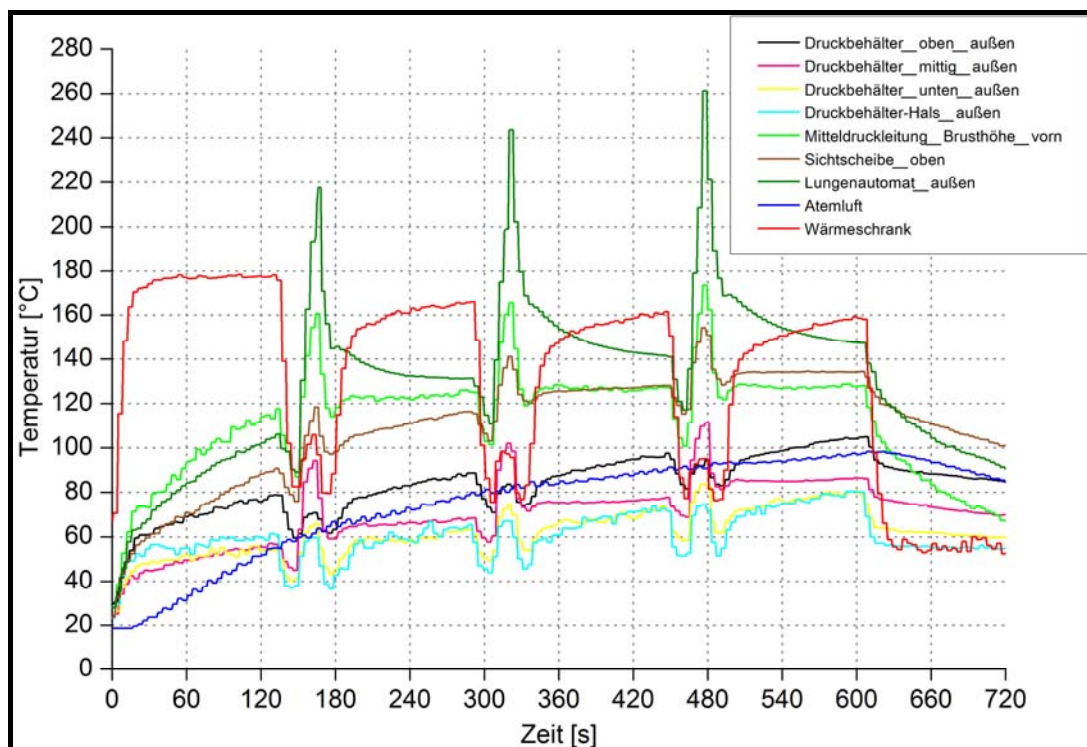


Bild 4.3: Zeitabhängige Temperaturverläufe bei Versuch 24 (Versuchsobjekt in Normaldruckausführung und Stahl-Druckbehälter)

Wie zu erkennen ist, erreichte die Temperatur an der Oberfläche des Lungenautomaten im Rahmen der dritten Wärmestrahlungsbeaufschlagung sein Maximum bei 261,2 °C. Ähnlich hohe Werte wurden bei allen derartig ausgerüsteten Versuchsobjekten gemessen. Ob und in welchem Maße diese hohen Temperaturen durch den hohen Absorptionskoeffizienten bzw. die geringe Wärmeleitfähigkeit von Silikon zurückzuführen sind, konnte nicht geklärt werden. Ein Einfluss derartig hoher Oberflächentemperaturen auf die Funktion des Lungenautomaten bzw. auf die Höhe der Einatemtemperaturen wurde nicht festgestellt. Im Rahmen des Versuches 22 riss die Schutzfolie eines Druckbehälters infolge der Wärmestrahlungsbeaufschlagung auf, sodass die Kohlefaserwicklung frei lag. Dementsprechend löste sich auch das daran angebrachte Ther-

moelement. Die an dieser Messstelle ermittelten Temperaturen wurden daher verworfen. In der nachfolgend dargestellten Tabelle 4.1 sind die an den Oberflächen der untersuchten Bauteile gemessenen Maximalwerte für die Temperatur aufgeführt. Wie auch bei den Experimenten der Versuchsserien 2 und 3 wurden im Rahmen der Versuchsserie 4 bei zwei Experimenten die Fluidtemperaturen im Inneren der beiden Druckbehälter gemessen. Bedingt durch die Konstruktion des eingebauten Prüfadapters mussten die Pressluftatmer um 180° gedreht auf der Halteplattform positioniert werden (siehe Abschnitt 6.1 im Abschlussbericht zum Teilschritt 2). Das Druckbehälter-Ventil war daher entgegen der üblichen Tragweise oben positioniert. Der Prüfadapter wurde zum Schutz vor thermischer Einwirkung mittels PROMAGLAF®-HTI Glaswolle ummantelt. Die Glaswolle überdeckte dabei Teile des Ventils und des Druckbehälter-Halses. Aufgrund der Überdeckung des Druckbehälter-Halses wurde dort kein Thermoelement angebracht. Es wurde daher zusätzlich in der Nähe der Messstelle Druckbehälter_mittig_außen angebracht. Die maximalen Temperaturmesswerte dieser beiden Versuche sind in der Tabelle 4.2 aufgeführt.

Tabelle 4.1: Maximaltemperaturen an den Oberflächen der untersuchten
Versuchsobjekte der Versuchsserie 4

Versuch/ Druck- behälter- Material	Maximale Temperaturen an den Messstellen in °C							
	Druck- behälter oben	Druck- behälter mittig	Druck- behälter unten	Druck- behälter Hals	Mittel- druck- leitung	Sicht- scheibe	Lun- genau- tomat außen	Atemluft
1, Stahl	103,4	120,1	89,2	80,2	190,7	174,4	210,3	97,2
2, Stahl	96,4	119,9	87,8	82	177,4	161,8	220,4	96,9
3, CFK	103	175,4	95,6	74,5	128	165,3	247,4	90,3
4, Stahl	92,7	110,7	77,6	71,8	193,9	167,7	221	98,6
5, Stahl	100,9	136	97,2	90,1	190,2	174,5	209,8	99,6
6, CFK	110	172,6	106	91,7	153,8	174,3	220,3	87
7, Stahl	100,8	120,9	84	78,6	156,2	167,4	227,8	96,2
8, Stahl	106,4	123,8	86,7	78,4	163,7	168,1	215,7	102,7
9, Stahl	101,6	122,7	81,9	82,8	197,2	154,2	260,3	99,1
10, Stahl	100,5	126,3	81,9	72,6	188,6	155	262,8	98,3
11, CFK	106,8	187,3	95,9	70,7	184,4	170,9	259,1	95,1
12, Stahl	98,6	146,4	86,6	76,6	190,9	172,2	235,9	95,5
13, Stahl	102,4	123,6	83,6	77,2	190,1	176,4	236,4	96,6
14, CFK	113,1	176,4	105,6	82,6	177,4	174,4	258,8	95,9
15, CFK	113,6	180,9	97,9	101	158,6	172,8	261,8	91,9
16, CFK	*	179,7	97,1	115	177,7	175	233,6	95,2
17, Stahl	93,1	120,2	96,5	96,6	171,5	169,2	251,3	96,1
18, Stahl	99,5	120,4	90,1	87,8	190,3	177,9	236,1	103
21, CFK	115,8	184,2	109,4	93,3	188,1	168,1	239,1	89,6
22, CFK	125,7	**	122,4	65,9	183,5	167,7	235,6	88,3
23, Stahl	109,9	114,4	87,7	79,3	175,3	153,5	261,3	96,4
24, Stahl	104,8	111,2	83,6	80,5	173,4	154,1	261,2	98,3
25, Stahl	96,7	126,6	87,3	87,6	185	155,2	264	97,1

* Thermoelement ist ausgefallen

** Messwerte wurden verworfen

Tabelle 4.2: Maximaltemperaturen an den Oberflächen der um 180° gedrehten Versuchsobjekte der Versuchsserie 4

Versuch/ Druck- behälter- Material	Maximale Temperaturen an den Messstellen in °C							
	Druck- behälter innen mittig	Druck- behälter Nähe Ventil	Druck- behälter mittig	Druck- behälter mittig 3 cm darunter	Mittel- drucklei- tung	Sicht- scheibe	Lun- genau- tomat außen	Atemluft
19, CFK	54,7	170,4	176,6	152,9	225,7	176	236,3	92,7
20, CFK	59,2	116,4	183	175,4	174	175,1	237	91,8

4.2 Temperaturen im Inneren der untersuchten Druckbehälter der Versuchsserie 4

Wie bereits erwähnt, wurden im Rahmen zweier Experimente die Fluidtemperaturen im Inneren von CFK-Druckbehältern gemessen. Die dabei gemessenen zeitabhängigen Temperaturverläufe sind in den nachfolgenden Bildern 4.4 und 4.5 dargestellt. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden als Referenzwerte nur die zeitabhängigen Verläufe der Wärmeschrank- und der Atemlufttemperatur eingefügt.

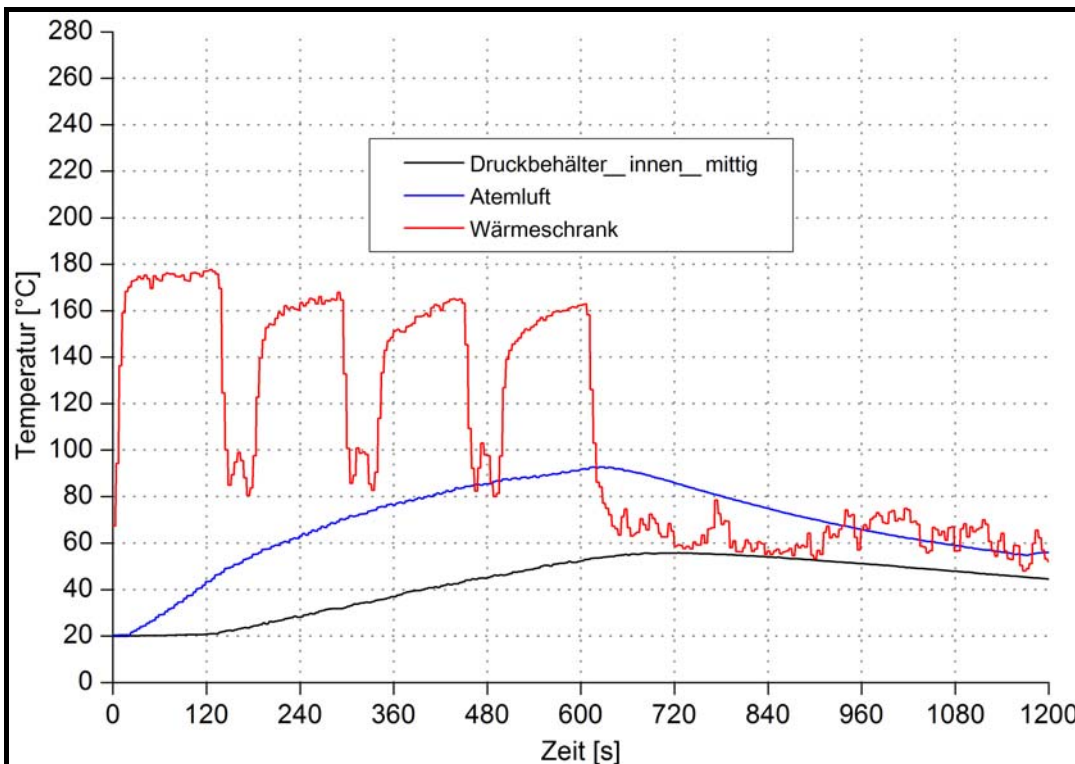


Bild 4.4: Ausgewählte zeitabhängige Temperaturverläufe bei Versuch 19 (Versuchsobjekt in Überdruckausführung und CFK-Druckbehälter)

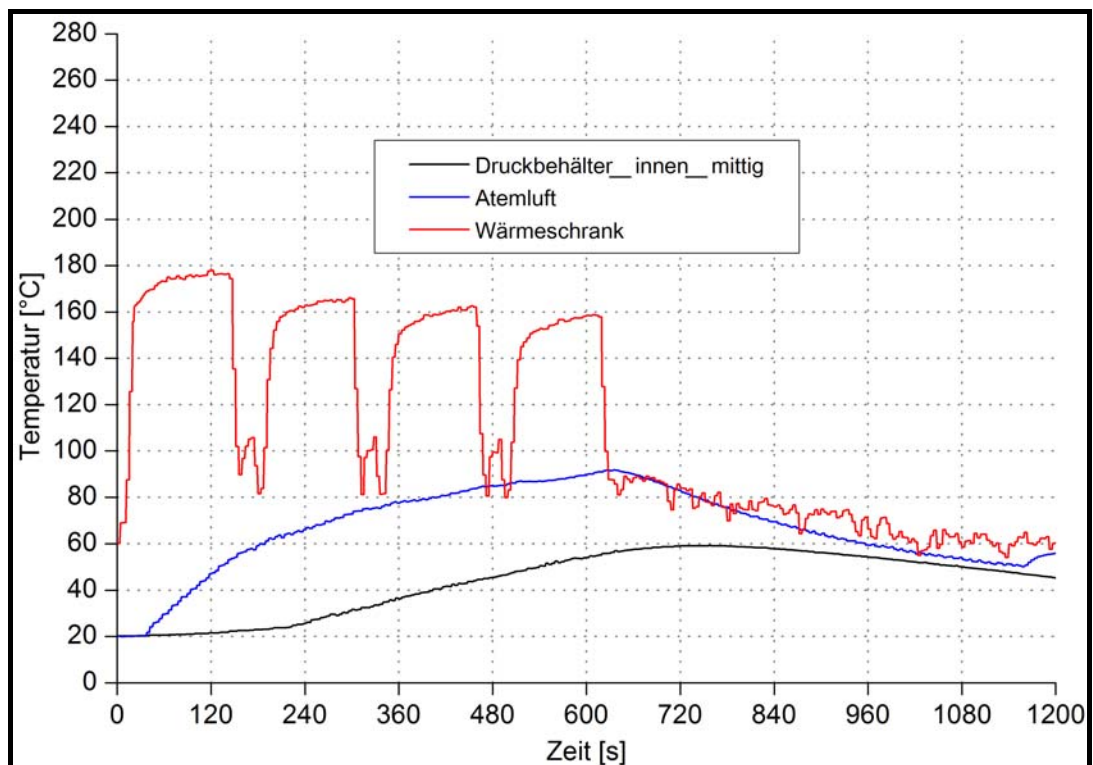


Bild 4.5: Ausgewählte zeitabhängige Temperaturverläufe bei Versuch 20 (Versuchsobjekt in Überdruckausführung und CFK-Druckbehälter)

Bei der Betrachtung der Temperaturverläufe wird sichtbar, dass die Fluidtemperaturen im Inneren der Druckbehälter erst nach einer Anlaufzeit signifikant steigen. Diese Anlaufzeit variierte bei beiden Versuchen. Während die Temperaturen im Versuch 19 bereits ab einer Versuchszeit von etwa 120 s signifikant stiegen, war eine entsprechende Temperaturerhöhung im Versuch 20 erst nach etwa 150 s zu verzeichnen. Ihr Maximum erreichten beide Kurven bei 55,7 °C (Versuchszeit 680 s; Versuch 19) und 59,2 °C (Versuchszeit 756 s; Versuch 20). Insgesamt kann eingeschätzt werden, dass keine kritischen Temperaturen gemessen wurden. Auch die gemäß Norm (DIN EN 137) vorgeschriebene maximale Funktionstemperatur von 60 °C wurde im Inneren der Druckbehälter nicht überschritten.

4.3 Temperaturen der Atemluft der Versuchsserie 4

Wie auch bei den 45 Experimenten der Versuchsserien 1 bis 3, wurden auch bei der hier vorgestellten Versuchsserie 4 die Atemlufttemperaturen im Übergang zwischen dem Lungenautomaten und der Vollmaske gemessen. Diese zeitabhängigen Temperaturverläufe sind in den nachfolgenden Bildern 4.6 und 4.7 getrennt nach dem Druckbe-

haltermaterial dargestellt. Die Maximalwerte für die Temperaturen können den Tabellen 4.1 und 4.2 entnommen werden.

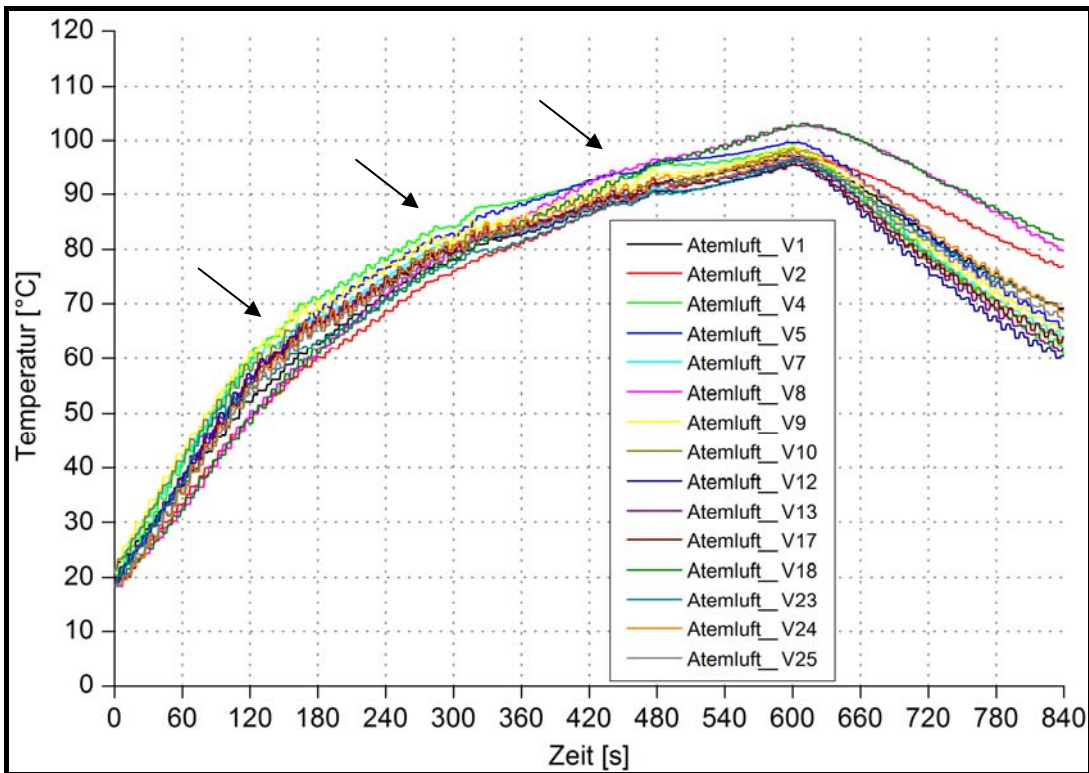


Bild 4.6: Zeitabhängige Atemlufttemperaturen bei den Experimenten mit Stahl-Druckbehältern der VS_4

Die Pfeile in den Bildern 4.6 und 4.7 zeigen die Versuchszeiten, bei denen die Wärmeschranktüren geöffnet und geschlossen wurden sowie den Einsatz des Heizfeldes.

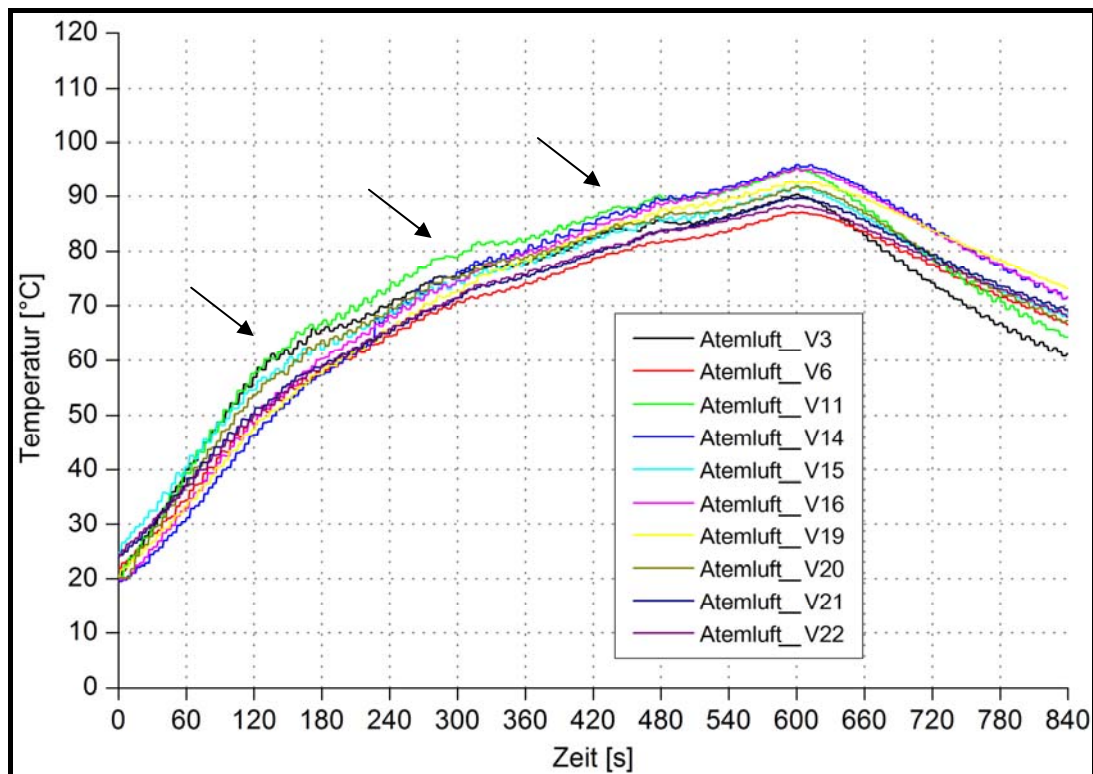


Bild 4.7: Zeitabhängige Atemlufttemperaturen bei den Experimenten mit CFK-Druckbehältern der VS_4

Betrachtet man diese zeitabhängigen Temperaturverläufe, wird ersichtlich, dass bei den Versuchsobjekten, bei denen Stahl-Druckbehälter eingesetzt waren, tendenziell höher Temperaturen gemessen wurden, als bei Geräten mit CFK-Druckbehältern. Besonders deutlich sichtbar wird diese Tatsache, wenn die Mittelwerte über all diese Versuche gebildet werden (unterschieden wurde auch hier nach dem Druckbehältermaterial). Diese mittleren Temperaturverläufe sind in den Bildern 4.8 und 4.9 dargestellt. Ebenfalls eingefügt ist jeweils die Standardabweichung vom Mittelwert ($\pm 1\sigma$). Es zeigt sich, dass der mittlere zeitabhängige Temperaturverlauf im Bild 4.8 (Stahl-Druckbehälter) sein Maximum bei 98,1 °C erreicht. Im Unterschied dazu liegt das Temperaturmaximum im Bild 4.9 (CFK-Druckbehälter) bei 91,7 °C. Diese Temperaturdifferenz von 6,4 K zwischen den Druckbehälter-Materialien entspricht im Übrigen auch etwa der Differenz, die bei den Experimenten der Versuchsserie 2 ermittelt wurde (die Temperaturdifferenz betrug 5,2 K [Starke und Neske 2013]).

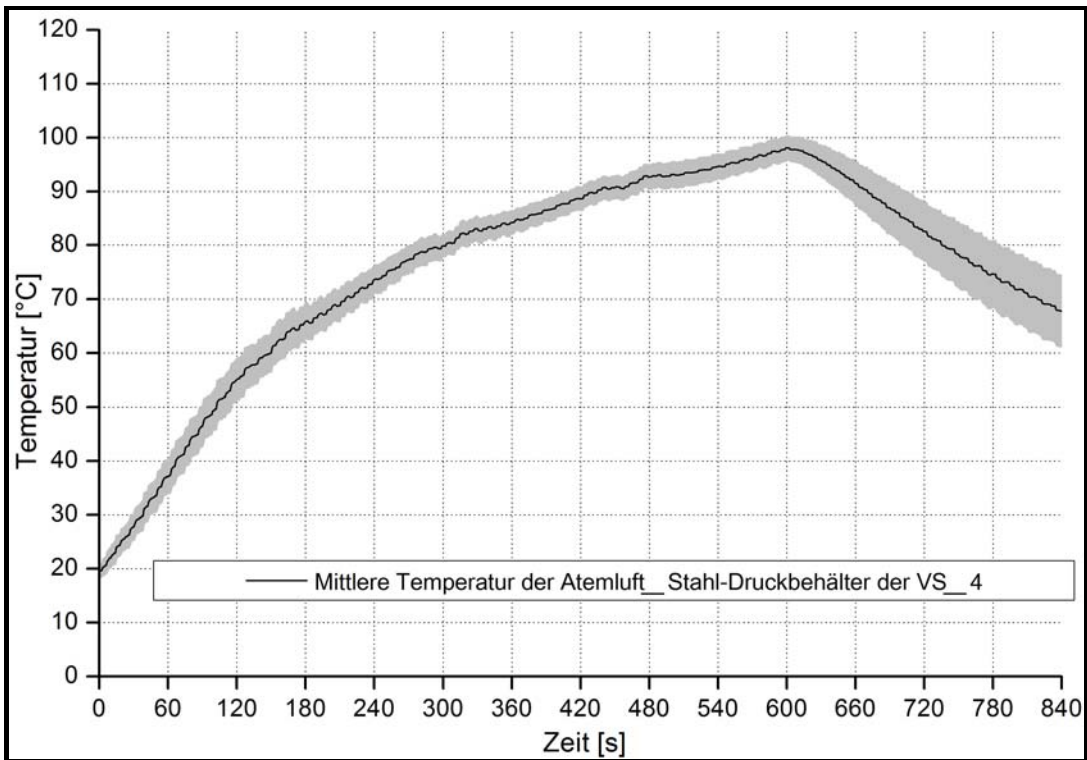


Bild 4.8: Zeitabhängiger Verlauf der mittleren Temperatur der Atemluft für die Experimente mit Stahl-Druckbehältern der VS_4, die grau schraffierte Fläche zeigt den Bereich der Abweichung vom Mittelwert ($\pm 1\sigma$)

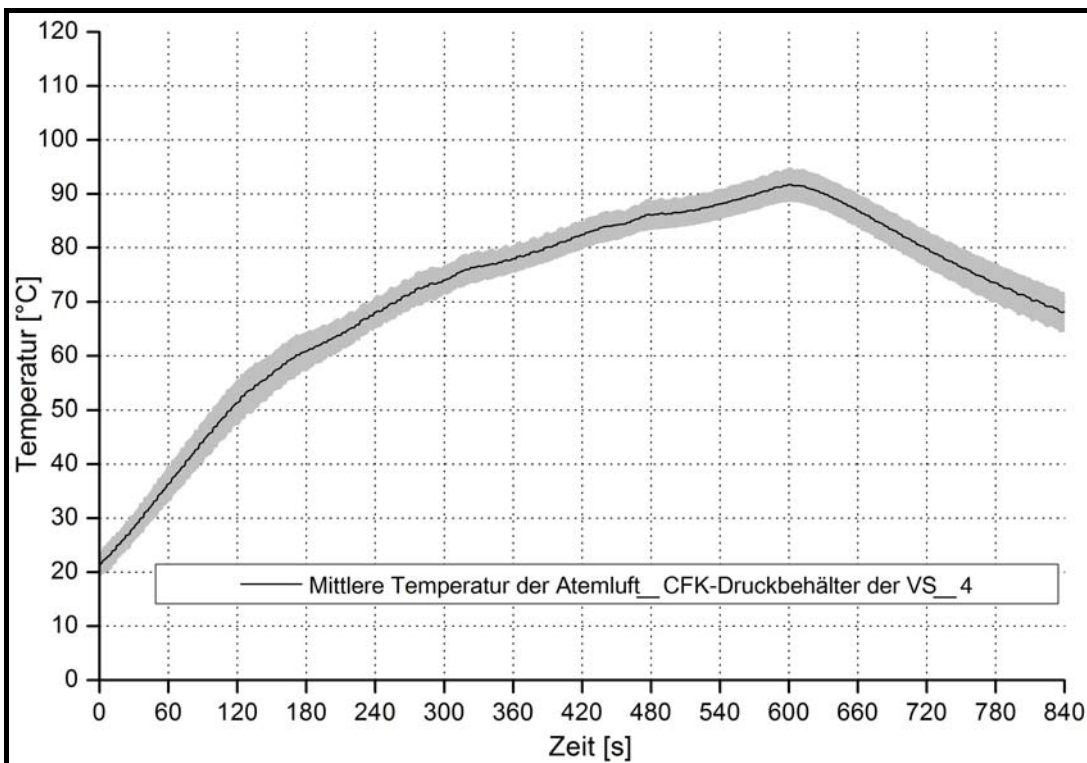


Bild 4.9: Zeitabhängiger Verlauf der mittleren Temperatur der Atemluft für die Experimente mit CFK-Druckbehältern der VS_4, die grau schraffierte Fläche zeigt den Bereich der Abweichung vom Mittelwert ($\pm 1\sigma$)

Der Unterschied zwischen den Temperaturmaxima kann auf das Druckbehälter-Material zurückgeführt werden. Bedingt durch den höheren Wärmeleitkoeffizienten von Stahl gegenüber dem Druckbehältermaterial CFK, wird Wärme schneller und effektiver ins Innere der Druckbehälter transportiert. Daher resultieren an den Oberflächen der Stahl-Druckbehälter geringere Temperaturen. Die Fluidtemperaturen im Inneren von Stahldruckbehältern erreichen daher bei angenommener konstanter Wärmebeaufschlagung und gleicher Expositionsdauer höhere Werte als bei der Verwendung von CFK-Druckbehältern (siehe auch Abschnitt 8.2 im Abschlussbericht zum Teilschritt 2 [Starke und Neske 2013]).

4.4 Atemwiderstände der Versuchsobjekte der Versuchsserie 4

Mit Hilfe des in der künstlichen Lunge eingebauten Feindruckmanometers war es möglich, die im Maskeninneren resultierenden Ein- und Ausatemwiderstände (Differenzdrücke zum Umgebungsdruck) zu messen. Hierfür ist am Sheffield-Prüfkopf im Bereich des Mundes herstellerseitig eine Druckmessstelle angebracht. Gemäß der für Pressluftatmer gültigen Norm, müssen die bei der gemeinsamen Veratmung von Pressluftatmern und Vollmasken im Maskeninnenraum resultierenden Atemwiderstände bei Wärmeschränktemperaturen von $T_w = 60\text{ }^\circ\text{C}$ bestimmt werden [DIN EN 137 2007]. Bei diesen Messungen wird vorausgesetzt, dass die Druckmessstelle am Sheffield-Prüfkopf im Bereich des Auges angebracht ist. Ist dies, wie eben beschrieben, nicht der Fall, können geringfügig abweichende Differenzdrücke gemessen werden. Bedingt durch die Tatsache, dass die Wärmeschränktemperaturen bei den Experimenten der hier vorgestellten Versuchsserie 4 deutlich oberhalb der normativ vorgeschriebenen Wärmeschränktemperaturen lagen und dem Umstand, dass die Messstelle nicht im Bereich des Auges angebracht war, können die im Folgenden vorgestellten Messwerte nur eingeschränkt anhand der Grenzwerte beurteilt werden.

In den nachfolgend dargestellten Bildern 4.10 und 4.11 werden zeitabhängige Verläufe für die Atemwiderstände vorgestellt, die im Rahmen der Experimente gemessen wurden. Die normativen Grenzwerte für die sinusförmige Veratmung mit einer Veratmungsrates von 50 l/min sind in Tabelle 4.3 dargestellt.

Tabelle 4.3: Grenzwerte für Atemwiderstände für die gemeinsame Veratmung von Pressluftatmern und Vollmasken nach DIN EN 137 bei einer sinusförmigen Veratmung (Veratmungsrate muss 50 l/min betragen, 2 l/Hub, 25 Hübe/min)

Geräteausführung	Einatemwiderstand	Ausatemwiderstand
Normaldruck	≥ -700 Pa	≤ 300 Pa
Überdruck	≤ 500 Pa*	≤ 700 Pa

* Differenzdruck muss positiv bleiben im Verlauf des Einatemvorgangs

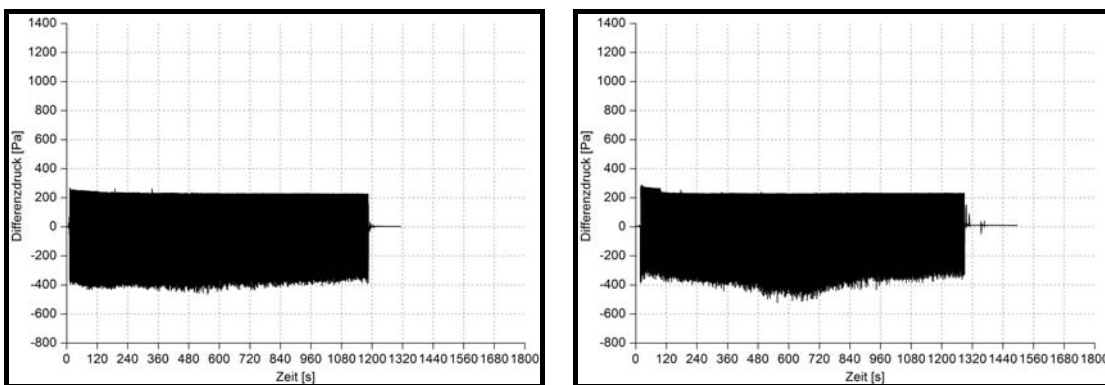


Bild 4.10: Zeitabhängige Atemwiderstände (Differenzdruckverläufe zum Umgebungsdruck) von Versuchsobjekten in Normaldruckausführung (Stahl-Druckbehälter) im Versuch 10 (links) und Versuch 9 (rechts); Versuchsserie 4

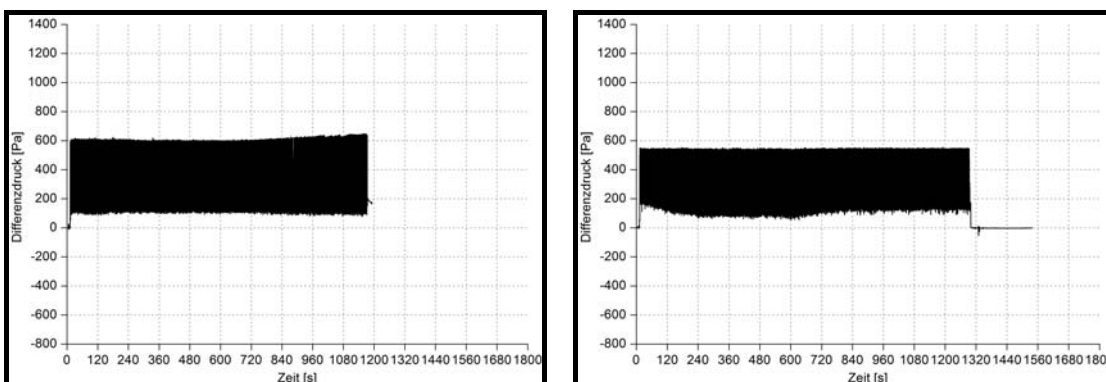


Bild 4.11: Zeitabhängige Atemwiderstände (Differenzdruckverläufe zum Umgebungsdruck) von Versuchsobjekten in Überdruckausführung im Versuch 11 (links, Stahl-Druckbehälter) und Versuch 14 (rechts, CFK-Druckbehälter); Versuchsserie 4

Jeweils links in den Bildern 4.10 und 4.11 sind zeitabhängige Verläufe der Ein- und Ausatemwiderstände (Differenzdrücke zum Umgebungsdruck) dargestellt, die trotz der hohen Wärmeschranktemperaturen innerhalb der normativen Grenzwerte für die gemeinsame Veratmung von Pressluftatmern und Vollmasken lagen. Auch die rechts in den Bildern dargestellten Atemwiderstände lagen innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte. Es wurde jedoch festgestellt, dass bei diesen Druckverläufen infolge der Wärmebeaufschlagung im Verlauf der Experimente die Einatemwiderstände geringfügig zunahmen. Negative Differenzdrücke wurden bei diesen Experimenten jedoch nicht beobachtet.

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass bei vier der untersuchten 11 Geräteenssembles in Überdruckausführung infolge der Wärmebeaufschlagung geringfügig höhere Einatemwiderstände gemessen wurden, als gemäß Norm vorgeschrieben sind. Mit zunehmender Versuchszeit verliefen diese leicht in den negativen Differenzdruckbereich (siehe auch Diagramm rechts im Bild 4.12).

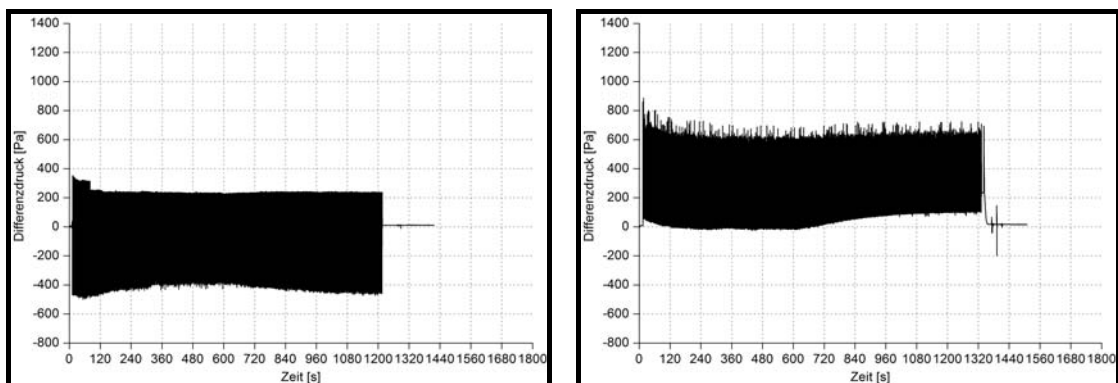


Bild 4.12: Zeitabhängige Atemwiderstände (Differenzdruckverläufe zum Umgebungsdruck) von Versuchsobjekten in Normaldruckausführung im Versuch 12 und in Überdruckausführung Versuch 1 (beides Stahl-Druckbehälter); Versuchsserie 4

Nach Beendigung der Experimente normalisierten sich die Einatemwiderstände schnell und lagen dann wieder regulär im positiven Differenzdruckbereich. Bei den Messungen der Einatemwiderstände bei den Versuchsobjekten in Normaldruckausführung wurden keine Grenzwertüberschreitungen registriert.

Die Ausatemwiderstände, die notwendig sind, um die Ausatemventile der Vollmasken zu öffnen, wurden bei drei der untersuchten 11 Geräte in Überdruckausführung geringfügige Grenzwertüberschreitungen festgestellt (siehe auch Diagramm rechts im Bild 4.12). Bei den Geräten in Normaldruckausführung wurden bei drei der untersuchten 14 Versuchsobjekte geringfügig höhere Ausatemwiderstände gemessen, als nach Norm maximal zulässig gewesen wären (siehe auch Diagramm links im Bild 4.12).

Die geringfügige Zunahme der Einatemwiderstände durch den Einfluss der Wärmebeaufschlagung wurde bei sieben Überdruck- und 5 Normaldruckgeräten festgestellt. Infolge der Wärmebeaufschlagung steigende Ausatemwiderstände wurden nicht registriert.

4.5 Beschädigungen an Versuchsobjekten der Versuchsserie 4

In Analogie zu den Versuchsserien 1 bis 2, bei denen die Wärmestrahlungsquelle zum Einsatz kam, wurden alle in der Versuchsserie 4 untersuchten Versuchsobjekte äußerlich sichtbar beschädigt. Die Beschädigungsmuster waren trotz der 10 K höheren Wärmeschranktemperaturen im Vergleich zur Versuchsserie 2 vergleichbar mit denen der oben genannten Versuchsserien. Der Beschädigungsverlauf konnte mit Hilfe der am Porenstrahler angebrachten Videokamera während der Wärmestrahlungsbeaufschlagung aufgezeichnet werden. Es zeigte sich, dass die Beschädigungen der im Wärmeschrank konditionierten Versuchsobjekte im Wesentlichen durch die zum Einsatz gelangte Wärmestrahlungsquelle verursacht wurden. Nach der Beendigung der einzelnen Experimente wurde eine umfangreiche Fotodokumentation der Beschädigungen durchgeführt. Im Ergebnis der Detailuntersuchungen wurden die nachfolgenden stichpunktartig aufgeführten Beschädigungen registriert.

Es sei an dieser Stelle hinzugefügt, dass Bauteile, die der Wärmestrahlungsquelle am nächsten waren, die höchsten Beschädigungsgrade aufwiesen. Ausgenommen hiervon waren Bauteile, die aus Silikon bestanden bzw. davon umschlossen waren.

Wie auch bei den Experimenten der Versuchsserien 1 und 2 wurde im Rahmen eines Experimentes (Versuch 22) die Kunststoffhülle eines CFK-Druckbehälters beschädigt. Diese riss im Verlauf des Experimentes vollständig auf, sodass die Kohlefaser-Wicklung freigelegt war. Die Kohlefaser-Wicklung wurde allerdings nicht beschädigt. Diese Art von Beschädigung wurde als unkritisch gewertet, da dies keinen Einfluss auf die Festigkeit des Druckbehälters hatte. Im Unterschied zu den Experimenten der Versuchsserien 1 – 3 waren aufgrund der vielfachen Benutzung der Druckbehälter bei Einsätzen und Übungen häufig nur noch wenige Reste von Produktaufklebern auf deren Oberflächen vorhanden. Beschädigungen derartiger Aufkleber wurden nicht beobachtet.

Festgestellt wurde zudem, dass Vollmasken ebenso wie in den Versuchsserien 1 – 3, selten beschädigt wurden. Traten geringfügige Blasenbildungserscheinungen auf, waren Kunststoffteile im Bereich der Sprechmembranen und die Rahmen von Sichtschei-

ben betroffen. Beschädigungen an den Sichtscheiben selbst wurden bei keinem der Experimente festgestellt.

Beschädigungen an Lungenautomaten

- Blasenbildung (Aufschäumungen) an den Gehäusen, die nicht von Silikon ummantelt waren
- Blasenbildung (Aufschäumungen) an den Handrädern

Flaschenbänder (Befestigung der Druckbehälter auf dem Pressluftatmer)

- Schmelzen der Kunststoffummantelung bei metallischen Flaschenbändern
- Verkohlung von textilen Flaschenbändern
- Verfärbung von textilen Flaschenbändern

Manometer

- Verformung von Schaugläsern (Bildung von nach außen gewölbten Dellen)
- Aufschäumen von Schaugläsern

Hochdruckleitung

- Aufreißen der Ummantelung einer Hochdruckleitung, sodass die Armierung frei zugänglich war

Zusammenfassung

In der hier vorgestellten Versuchsserie 4 wurde im Rahmen von Experimenten die thermische Belastbarkeit von 25 gebrauchten Geräteensembles, bestehend aus je einem Pressluftatmer (inkl. Druckbehälter), einer Vollmasken der Klasse 3 und einem Lungenautomaten untersucht. Das Spektrum der Versuchsobjekte umfasste Geräte in Normal- und Überdruckausführung. Darin eingesetzt waren sowohl Stahl- als auch CFK-Druckbehälter. Im Vorfeld der Untersuchungen wurde im projektbegleitenden Ausschuss festgelegt, dass die Versuchsbedingungen des Versuchsregimes 2 angewandt werden sollten, da diese Expositionsbedingungen der Einschätzung des PbA zufolge, den Konditionen eines Innenangriffes entsprechen. Das Versuchsregime 2 umfasste neben der konvektiven Wärmeexposition (erzwungene Konvektion) im Wärmeschrank zusätzlich die dreimalige 15 s andauernde Wärmestrahlungsexposition. Die Versuchsdauer betrug 10 min. Durch geringfügige Umbaumaßnahmen am Versuchstand konnte die Wärmeschranktemperatur im Vergleich zum Versuchsregime 2 noch einmal um etwa 10 K gesteigert werden. Die am Versuchsobjekt wirkende Strahlungswärmestromdichte wurde in Analogie zu den Experimenten des Teilschrittes 2 auf 30 kW/m^2 eingestellt. Diese wirkte beispielsweise am Gehäuse der Lungenautomaten und an der Oberfläche der Druckbehälter. An Bauteilen, die einen größeren Abstand von der Wärmestrahlungsquelle hatten, war die Strahlungswärmestromdichte geringer (vgl. Abstandsgesetz).

Im Ergebnis der Untersuchungen kann festgestellt werden, dass keines der untersuchten gebrauchten Versuchsobjekte funktionell ausfiel. Zudem lagen die gemessenen Atemwiderstände in der Regel innerhalb der Grenzwerte für die gemeinsame Veratmung von Pressluftatmern, Vollmasken und Lungenautomaten bei Wärmeschranktemperaturen von $T_w = 60 \text{ }^\circ\text{C}$. Bei einigen Experimenten wurde festgestellt, dass die Einaatemwiderstände infolge der Wärmeexposition geringfügig anstiegen, ohne dabei ein Niveau zu erreichen, das vom Geräteträger als ein Blockieren der Atemluftzufuhr hätte empfunden werden können. Die Temperaturen der Atemluft lagen bei der Verwendung von Stahl-Druckbehältern um etwas oberhalb derer, die bei der Verwendung von CFK-Druckbehältern gemessen wurden. Wie auch bei den Experimenten des Teilschrittes 2 wurden infolge der Wärmeexposition alle Versuchsobjekte äußerlich beschädigt. Betroffen waren die gleichen Bauteile wie im Teilschritt 2. Auch der Beschädigungsgrad war fast identisch mit den experimentellen Untersuchungen der fabrikneuen Geräteensembles.

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Forschungsergebnisse kann resümierend eingeschätzt werden, dass bei den untersuchten Geräteensembles trotz deren langjährigem Gebrauch bei Einsätzen und Übungen keine Einschränkungen hinsichtlich ihrer Resistenz gegenüber den im Versuchsmaßstab erzeugten Wärmexpositionsbedingungen festgestellt wurde. Zudem gibt es keinerlei Anzeichen dafür, dass die thermische Belastbarkeit der untersuchten gebrauchten Geräteensembles geringer ist, als bei fabrikneuen Geräten.