

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik

Lehrstuhl für Anlagentechnik und Anlagensicherheit



Hochschule Magdeburg-Stendal

Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit

Untersuchungen zu Konzepten zur Realbrandausbildung im internationalen Vergleich

Bachelorarbeit

vorgelegt von: Carsten Mohr

Erstgutachter: M.Sc. Tim-Michael Romahn

Zweitgutachter: PD Dr.-Ing. habil. Ulrich Klenk

Magdeburg, den 04.04.2018

Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit beschreibt die allgemeinen naturwissenschaftlichen Grundlagen der Realbrandausbildung. Brandphänomene und Brandverläufe werden umrissen, erläutert und kategorisiert. Es werden Lernziele und Inhalte definiert und unter taktischen, didaktischen und methodischen Gesichtspunkten erläutert. Einsatztaktische Hintergründe, Bewertungen und Entwicklungen werden dabei berücksichtigt. Bereits vorhandene Arten und Varianten der Realbrandausbildung werden vorgestellt, kategorisiert, bewertet und den unterschiedlichen Lernzielen zugeordnet. Unter Berücksichtigung der veränderten Ausgangslage von Brandverläufen und der aktuellen Situation der Feuerwehren in Deutschland werden ihre Notwendigkeit und Grenzen aufgezeigt. Gefahren im Atemschutzeinsatz und aktuelle Erkenntnisse im Bereich Gesundheitsschutz werden vorgestellt. Mögliche Ursachen erhöhter Krebsrisiken bei Feuerwehrleuten werden beschrieben und Expositionswege erläutert. Dabei werden Rauchgaszusammensetzung und krebserregende Stoffe charakterisiert. Die Notwendigkeit von Gefährdungsanalysen und Gesundheitsschutz wird daraus abgeleitet und ein Muster-Hygienekreislauf entwickelt. Ein Vergleich von Realbrandausbildungskonzepten untersucht zum einen auf Grundlage der Lernziele die vorhandene Methodik und Didaktik und zum anderen auf Grundlage des erarbeiteten Muster-Hygienekreislaufs die Hygienekonzepte der Anlagen von Queensland Fire and Emergency Services, der Feuerwehr Frankfurt am Main und der Firma Dräger Safety AG & Co. KGaA. Dabei durchgeführte Messungen zu Ausgasungen der verwendeten Schutzkleidung konkretisieren die Ergebnisse. Aus den gewonnenen Erkenntnissen und Ergebnissen werden Handlungsempfehlungen entwickelt, die als Grundlage für Verbesserungen dienen sollen.

Abstract

This thesis describes the fundamentals of compartment fire behaviour training (or live fire training). It summarizes the basic principles of fire dynamics, fire development and the phenomenons of rapid fire progress. In order to analyze live fire training capacities the thesis defines and explains learning objectives for firefighter trainees. The different devices and methods of live fire training facilities are presented and assigned to the different learning objectives. The new fire development situation is outlined and it's impact to fire service's tactics and live fire training reviewed and the legal situation relating to live fire training in Germany is explained. The different risks during incidents in compartment fires are analysed, including live fire training and the dangers in the use of self-contained breathing apparatuses. The chemical composition of smoke gases are studied, together with the different exposure routes on a body and the connection between smoke exposure and increased cancer risk among firefighters. Investigation is undertaken into how to best organize hygiene in order to minimize the health-damaging impact of incidents and live fire trainings. Part of this investigation is a comparison between three international live fire training facilities: Queensland Fire and Emergency Services (Live Fire Campus at Queensland Combined Emergency Services Academy, Australia), Fire Department of Frankfurt Main, Germany (FRTC) and manufacturer company Dräger Safety AG & Co. KGaA. Analysis is undertaken on measurements of polycyclic aromatic hydrocarbons and other volatile organic compounds on outgassing of the protective clothing used. In conclusion, recommendations are made which aim to improve the development of live fire training in manner of hygiene, didactics and methodology.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Bachelorarbeit stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form als Bachelorarbeit eingereicht und ist als Ganzes auch noch nicht veröffentlicht.

Magdeburg, den 04.04.2018

Carsten Mohr

Danksagung

Ich möchte mich bei allen bedanken, die zur Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen haben, die mir halfen oder mich unterstützten. Zuallererst möchte ich dabei Herrn Tim Romahn und Herrn Dr. Ulrich Klenk danken, die mir hervorragende Betreuer waren, mir mit Tat und Rat, mit Rückmeldung und Kritik stets zur Seite standen. Des Weiteren möchte ich mich bei Kevin Sündermann (Dräger Academy) und Thomas Gruber (Feuerwehr Frankfurt) bedanken, die mir als Ansprechpartner, Wissensquelle, Praxisanleiter und Begleiter wertvolle Inputs gaben. Natürlich gebührt mein Dank vor allem der Firma Dräger Safety AG & Co. KGaA, die diese Arbeit finanziert hat, der Dräger Academy, bei der ich diese Arbeit schreiben durfte und Dräger Analysenservice, die meine Messungen untersuchten. Dem FRTC der Feuerwehr Frankfurt möchte ich danken, bei der ich Tests durchführen und die Ausbildung begleiten durfte. Auch möchte ich Shan Raffel, Brett Finnis und Queensland Fire and Emergency Services danken, bei denen ich im Rahmen meines Praxissemesters ein Praktikum absolvieren konnte und eine Menge über das Feuerwehrwesen im Allgemeinen, aber auch über Realbrandausbildung an sich, gelernt habe. Shan Raffel war dabei nicht nur ein toller Mentor, sondern auch ein wirklich guter Lehrer. Sigrid Mohr, Tilo Garlipp, Ulrike Schumacher, Luise Prell, Johannes Müller, Astrid Kempe und Sven-Iver Lorenzen möchte ich danken, dass sie sich meiner Fehler und Formulierungen angenommen haben und gnadenlos ehrliche Rückmeldungen gaben.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Familie, meinen Freund_innen, Kommiliton_innen und vor allem Clara Weskamm danken, die zu jeder Zeit voll hinter mir standen und damit zum Abschluss dieser Arbeit beigetragen haben.

Merci.

Sperrvermerk

Die vorliegende Bachelorarbeit enthält unternehmensinterne Informationen und vertrauliche Sachverhalte. Sie ist daher nur folgenden Personen, Personengruppen bzw. an folgenden Orten zugänglich zu machen:

- den Gutachtern
- den Mitgliedern des Prüfungsausschusses zu Prüfungszwecken
- den an der Arbeit beteiligten Personen und Organisationen
- der Fachbibliothek des Institut für Brand- und Katastrophenschutz in Heyrothsberge
- der Fachinformationsstelle des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe

Weitere Veröffentlichungen und Vervielfältigungen der unten genannten Kapitel – auch auszugsweise – sind ohne ausdrückliche Genehmigung des Unternehmens nicht gestattet.

Den Sperrvermerk betreffen folgende Kapitel:

- Kapitel *4.1.3 Dräger Realbrandausbildung*
- Kapitel *4.2.3 Dräger Realbrandausbildung*
- Kapitel *4.3 durchgeführte Messungen*
- und die dazugehörigen Anhänge

Alle anderen Kapitel sind vom Sperrvermerk ausgenommen.

Magdeburg, den 04.04.2018

Carsten Mohr

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	X
Symbolverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung	1
1.2 Methodik, Eingrenzung und Terminologie	2
2 Grundlagen	5
2.1 Brandgeschehen	5
2.1.1 Brandverläufe	6
2.1.2 Brandlastbedingte Brandphänomene	10
2.1.3 Ventilationsbedingte Brandphänomene	11
2.1.4 Sonstige Brandphänomene	13
2.2 Notwendigkeit der Realbrandausbildung	15
2.2.1 Lernziele im Stufenaufbau	16
2.2.2 Kontinuierliche Lernziele	23
2.3 Arten der Realbrandausbildung	25
2.3.1 Einteilung	26
2.3.2 Methodik und Didaktik im Stufenkonzept	29
2.4 Grenzen der Realbrandausbildung und ihrer Umsetzung	29
2.4.1 Organisatorische und politische Faktoren	30
2.4.2 Methodische, technische und sicherheitsrelevante Faktoren	31
2.5 Neue Herausforderungen und Erkenntnisse	34
2.5.1 Veränderte Brandverläufe	35
2.5.2 Rauchzusammensetzung	36
3 Gesundheitsschutz in der Realbrandausbildung	39
3.1 Gefahren im Atemschutzeinsatz	39
3.1.1 Exposition schädlicher Stoffe	40
3.1.2 Hyperthermie und Dehydration	41
3.1.3 Kardiale Faktoren	43
3.1.4 Psychische Faktoren	44
3.2 Gefährdungsbeurteilung	45
3.3 Maßnahmen des Gesundheitsschutzes	47
3.3.1 Pädagogische Gesichtspunkte	54
3.3.2 Ganzheitliche Konzeptionierung	55
4 Vergleich internationaler Umsetzungskonzepte	57
4.1 Methodisch-didaktische Gesichtspunkte	57
4.1.1 QCESA - Live Fire Campus	58
4.1.2 FRTC Feuerwehr Frankfurt	60
4.1.3 Dräger Realbrandausbildung	63
4.2 Gesundheitsschutz und Hygienekonzepte	63
4.2.1 QCESA - Live Fire Campus	66
4.2.2 FRTC Feuerwehr Frankfurt	68
4.2.3 Dräger Realbrandausbildung	71

4.3	Durchgeführte Messungen	71
4.3.1	Fehlerbetrachtung	71
4.3.2	Bewertung	71
5	Handlungsempfehlung	72
6	Fazit und Ausblick	78
	Literaturverzeichnis	80
	Anhang	i
	A.1 Abfrageschema der Lernziele	i
	A.2 Schematische Expositiosgraphen	vi
	A.3 Hygienekreisläufe mobiler Anlagen	vii
	A.4 Analysebericht	viii

Abbildungsverzeichnis

2.1	Schematische Darstellung von Brandphasen	6
2.2	Übersicht Brandphänomene im Vergleich zur Norm	9
2.3	Skizzierung einer Rauchexplosion im t-T-Diagramm	12
2.4	Skizzierung einer ventilationsbedingten Raumdurchzündung im t-T-Diagramm	13
2.5	Skizzierung der Temperatur einer kalten Rauchexplosion über die Zeit . . .	14
2.6	Phase-I-Container (mobile Version: Dräger <i>FireDragon 1000</i>)	26
2.7	Beispiel eines Phase-II-Containers	27
2.8	Beispiele von Phase-IV-Containern	28
2.9	Beispiele von Phase-V-Systemen	28
2.10	Beispiel einer Kombination (<i>FTS 8000</i>)	29
2.11	Spannungsfeld der Umsetzung von Realbrandausbildung	33
2.12	Strukturformel Naphthalin $C_{10}H_8$	38
3.1	Schematische Darstellung der Dekontaminationsbereiche als Hygienekonzept	50
3.2	Krisenmanagement Zyklus	56
4.1	Schematische Darstellung des Muster-Hygienekreislaufs	64
4.2	Skizzierte Exposition über die Zeit	66
4.3	Hygienekreislauf am LFC der QCESA	67
4.4	Hygienekreislauf am FRTC	69
4.5	Hygienebereiche am FRTC	70

Tabellenverzeichnis

3.1	Empfohlene maximale Anzahl an Durchgängen pro Zeiteinheit	52
-----	---	----

Abkürzungsverzeichnis

AED	Automatischer Externer Defibrillator
AEGL	Acute Exposure Guideline Levels
AGT	Atemschutzgeräteträger_in
AGW	Arbeitsplatzgrenzwert
AK	Aktivkohleröhrchen
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
AS	Atemschutzgerät
AW	Akzeptanzwert
BMI	Body Mass Index
BSA	Brandsimulationsanlage am FRTC
CAFS	Compressed Air Foam System
CFOA	Chief Fire Office Association
DLS	Druckluftschaum
EH	Einmalhandschuhe
ETW	Einsatztoleranzwert
F	Frankfurt am Main
FD 1000	FireDragon 1000 (Produktname)
FF	Freiwillige Feuerwehr(en)
FFP 3	Partikelfiltermaske nach FFP 3 Standard
FRTC	Feuerwehr-Rettungstrainingscenter
FSK	Feuerschutzkleidung
HiOrg	Hilfsorganisation(en)
LFC	Live Fire Campus <i>Campus der Realbrandausbildung an QCESA</i>
NIST	National Institute of Standard and Technology
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
PTBS	Posttraumatische Belastungsstörung
QCESA	Queensland Combined Emergency Services Academy <i>Landesfeuerwehr- und Rettungsdienstschule im Bundesstaat Queensland, Australien</i>
QFES	Queensland Fire and Emergency Services <i>staatliche Feuerwehr im Bundesstaat Queensland, Australien</i>
RH	Realbrandhalle am FRTC
ST	Simultantest
SW	Schweinfurt
TW	Toleranzwert
UB	Unterbekleidung
UEG	untere Explosionsgrenze

Symbolverzeichnis

Lateinische Formelzeichen

BD	Blutdruck	[$mm\ HG$]
$c_{[mg/m^3]}$	Konzentration	[mg/m^3]
$c_{[ppm]}$	Konzentration	[mL/m^3]
d	Durchmesser	[mm]
HF	Herzfrequenz	[min^{-1}]
HF_{max}	maximale Herzfrequenz	[min^{-1}]
HF_X	Wärmestromdichte <i>eng. Heat Flux</i>	[kW/m^2]
HRR	Wärmefreisetzungsrate <i>eng. Heat Release Rate</i>	[MW]
l	Länge	[m]
l_{con}	Containerlänge	[ft]
L	massenbezogene Leistung	[W/kg]
M	molare Masse	[g/mol]
p_{Atm}	Umgebungsluftdruck	[kPa]
R	universelle Gaskonstante	[$8,314\ J/(kg \cdot K)$]
T	Temperatur	[$^{\circ}C$]
T_K	Temperatur	[K]
Δt	Zeitdauer	[min]
Δt_{mess}	Messdauer	[min]
V	Volumen	[m^3]
V_{mess}	Messvolumen	[l]

Griechische Formelzeichen

α	Wärmeübergangskoeffizient	[$W/(m^2K)$]
β	Bogengrad	[$^{\circ}$]
φ_{LF}	relative Luftfeuchtigkeit	[$\%$]

Einheiten und deren Präfixe sind hierbei wie im Text verwendet aufgelistet. Daher kann es zu Abweichungen gegenüber der SI-Einheiten kommen.

Chemische Bezeichnungen

C	Kohlenstoff
CH ₄	Methan
C ₃ H ₈	Propan
C ₄ H ₁₀	Butan
C ₇ H ₈	Toluol
C ₁₀ H ₈	Naphthalin
C ₁₆ H ₁₀ O	1-Hydroxypyren
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COCl ₂	Carbonylchlorid (Trivialname: Phosgen)
H ₂	Wasserstoff
HCl	Chlorwasserstoff (Trivialname: Salzsäure)
HCN	Cyanwasserstoff (Trivialname: Blausäure)
NH ₃	Ammoniak
NO _x	Stickoxide (Nitrosegase)
O ₂	Sauerstoff
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD	Polychlorierte Dibenzodioxine
PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
SO ₂	Schwefeldioxid
SVOC	Schwerflüchtige Organische Verbindungen
VOC	Flüchtige Organische Verbindungen

Anmerkung: Die Verwendung von geschlechtsgerechter Sprache ist dem Autor sehr wichtig. Gerade im Feuerwehrwesen sind u. a. Frauen unterrepräsentiert und der Autor möchte sich ausdrücklich dafür aussprechen, dass Frauen gleiche Rechte und Chancen in diesem Bereich haben und bekommen - dazu gehört nach Meinung des Autors auch, in Texten und Untersuchungen genannt zu werden. Der Autor verwendet weitestgehend geschlechtsneutrale Sprache. Falls dies ihm nicht möglich erscheint, greift er auf den Unterstrich zurück, der männliche, weibliche, queere, intersexuelle, transsexuelle, transgender als auch andere Geschlechtsidentitäten umfasst. Siehe dazu auch unter [1].

1 Einleitung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Realbrandausbildung, die zum Ziel hat, Feuerwehrfrauen und -männer auf Einsätze mit Brandereignissen vorzubereiten.

1.1 Motivation und Zielsetzung

Motivation dieser Arbeit ist ein sechsmonatiges, im Rahmen des Studiums durchgeführtes Praktikum bei einer Feuerwehr im australischen Ausland, in dem der Autor zum ersten Mal mit umfangreichen Konzepten der Realbrandausbildung in Berührung kam. Um die dortigen Konzepte mit denen in Deutschland zu vergleichen, wurde sowohl der Kontakt zur Firma Dräger Safety AG & Co. KGaA als auch zur Feuerwehr in Frankfurt am Main aufgebaut. Anhand dieser drei Konzepte soll ein beispielhafter Vergleich stattfinden und laut Aufgabenstellung eine Handlungsempfehlung erwachsen.

Der Autor hat sich zum Ziel gesetzt, im ersten Teil der Arbeit die wissenschaftlichen Grundlagen inklusive dem aktuellen Verständnis von Brandphänomenen darzustellen und daraus die zu erlernenden Fähigkeiten und Lernziele abzuleiten. Dabei werden Notwendigkeit und die Grenzen der Realbrandausbildung beleuchtet.

Als Überleitung zum nächsten Teil werden die im Laufe der Jahre stattgefundenen Veränderungen in den Brandverläufen genannt. Wissenschaftliche Arbeiten haben im letzten Jahrzehnt gezeigt, dass sich die Brandverläufe in den letzten 50 Jahre signifikant verändert haben - auch in Deutschland [2]. Im internationalen Raum wird es mit den Worten „You are not fighting grandfather’s fire anymore“ [3] auf den Punkt gebracht. Diese neuen Herausforderungen gilt es auszuarbeiten und Ausbildungskonzepte zu reflektieren. Neuere wissenschaftliche Erkenntnisse u. a. aus Kanada zeigen, dass, trotz Schutz vor gesundheitsgefährdenden Stoffen durch umluftunabhängige Atemschutzgeräte, jene durch dermale Aufnahme in den menschlichen Körper gelangen [4]. Somit ist es von eminenter Bedeutung, Gesundheitskonzepte zu entwickeln, die Feuerwehrleute schützen. Ziel dieser Arbeit ist daher auch, einen Überblick über die Gesundheitsgefahren zu geben und Ausblicke für angemessene Gesundheitskonzepte abzuleiten.

Ziel des dritten Teils ist es, die anfangs genannten Beispiele miteinander zu verglei-

chen. Dräger Safety AG & Co. KGaA ist Hersteller und im Rahmen der Dräger Academy auch internationaler Nutzer ihrer Realbrandausbildungsprodukte. Die Feuerwehr Frankfurt hat mit ihrem Feuerwehr-Rettungs-Training-Center (kurz FRTC) eine lokale Ausbildungsstätte für Feuerwehrleute geschaffen. Der Live Fire Campus der Queensland Combined Emergency Services Academy (kurz QCESA) als Realbrandausbildungsstätte der Landesfeuerwehrschule der Feuerwehr im australischen Bundesstaat Queensland (Queensland Fire and Emergency Services, kurz QFES) dient dabei als internationaler Vergleich.

Zusammenfassend soll diese Arbeit einen Überblick über Realbrandausbildung unter didaktischen, methodischen, taktischen, organisatorischen, gesundheitspolitischen, sicherheitsrelevanten und hygienischen Gesichtspunkten geben und Handlungsempfehlungen in diesen Bereichen für Feuerwehren, Betreiber_innen, Hersteller_innen und politische Ebenen ableiten.

1.2 Methodik, Eingrenzung und Terminologie

Als langjähriges Mitglied einer Freiwilligen Feuerwehr sind dem Autor Einsätze, Technik, allgemeine Ausbildung und Vorgehensweisen bekannt. Er besitzt zudem die Tauglichkeit als und Ausbildung zum Atemschutzgeräteträger. Um die nötigen Vergleiche zu ziehen, hat der Autor diverse Ausbildungsvorgänge der oben genannten Beispiele begleitet, beobachtet und mit absolviert. So war es dem Autor unter anderem möglich, die komplette Realbrandausbildung eines_r australischen Berufsfeuerwehrmannes_frau an der QCESA zu durchlaufen und zu begleiten. Am FRTC der Feuerwehr Frankfurt am Main wurde eine Fortbildung in der Realbrandausbildungsanlage begleitet, die Arbeitsweise und -philosophie kennengelernt und Messungen an kontaminierter Kleidung durchgeführt. Die Firma Dräger Safety AG & Co. KGaA stellt eigene Anlagen her, betreibt einige der Anlagen und hat im Rahmen der Dräger Academy eigene Ausbildungskonzepte. Durch das Begleiten eines *Global Trainers* konnte der Autor Fachinformationen erhalten und Ausbildung begleiten. Auch hier wurden Messungen an kontaminierter Kleidung durchgeführt. Die durchgeführten Messungen am FRTC und in der Dräger Ausbildungsanlage wurden vom Analyseteam der Dräger Safety AG & Co. KGaA analysiert und firmenintern finanziert.

Die Erkenntnisse aus diesen Erfahrungen zusammen mit der wissenschaftlichen Recherche, der Mitarbeit in der Scientific Unit von QFES, der persönliche Austausch mit Träger_innen

und Expert_innen der nationalen und internationalen Realbrandausbildung sowie die oben genannten Messungen, die im Rahmen dieser Bachelorarbeit durchgeführt wurden, sind Grundlage für die vorliegende Thesis. Die zu Grunde liegende Literatur besteht neben wissenschaftlichen Untersuchungen, Studien und Veröffentlichungen auch aus Fachliteratur der Feuerwehr, die oft aktuell, praxisnah und interdisziplinär gestaltet ist. Dabei wurde stets auf Plausibilität und Validierung durch (internationale) wissenschaftliche Artikel geachtet. Aussagen ohne wissenschaftlichen oder genormten Hintergrund sind als solche gekennzeichnet.

Die Beispiele aus dieser Arbeit sind weder repräsentativ für die Situation der Realbrandausbildung in Deutschland noch für jene auf internationaler Ebene. Sie müssen somit nur als Beispiele der Umsetzung verstanden werden. Dabei wird auf feststoffbetriebene, (flüssig-)gasbetriebene Anlagen sowie Brandhäusern eingegangen. Eine Norm regelt dabei in Deutschland die allgemeinen und sicherheitsrelevanten Anforderungen für Bau und Betrieb solcher Feuerwehrübungsanlagen [5]. Bei der Realbrandausbildung geht es um das Verstehen und Erlernen von Brandverhalten und Rauchphänomenen in geschlossenen Räumen, Wohnungen und Häusern. Außerdem sollen Fertigkeiten zum Schutz der Feuerwehrleute, zur Handhabung des Strahlrohrs, zur Suche und Rettung von Personen und die taktische Ventilation erlernt, verinnerlicht und ausprobiert werden. Eine obligatorische, didaktische oder minimale Einbindung von Realbrandausbildung in die Ausbildung von Feuerwehrleuten, die im Inneren von Häusern Brände bekämpfen, sogenannten Atemschutzgeräteträger_innen (AGT), ist weder genormt noch flächendeckend üblich. Generell ist sie eine verhältnismäßig junge Entwicklung, die sich vor allem in Schweden begründet [6].

Es gibt neben ortsfesten auch mobile Anlagen. Träger der Anlagen sind staatliche Feuerweherschulen, kommunale Feuerwehrstrukturen oder private Firmen. Unter dem Begriff Realbrandausbildung können auch Übungsanlagen verstanden werden, die sich beispielsweise für die Bekämpfung von Industriebränden, von Bränden im Freien (auch Fahrzeugbränden) oder von Flugzeugbränden eignen. Diese werden in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt, obgleich sie sehr wohl wichtiger Bestandteil der Realbrandausbildung sind.

Die Terminologie in diesem Feld ist weder durchgehend genormt noch einheitlich. Einige der gängigen Begriffe sind veraltet, irreführend oder als Überbegriff schlicht untauglich. So wurde oft der Begriff *Flash-Over-Container* als Synonym für die Realbrandausbildung

verwendet, als würde es in dieser primär oder ausschließlich um eben dieses Brandphänomen gehen. Der englische Begriff *Flash-Over* wurde zudem im deutschsprachigen Raum für ein Phänomen verwendet, welches man im englischen mit *Roll-Over* beschreibt, was die Verständigung abermals komplizierter machte (siehe zur Beschreibung der Brand- und Rauchphänomene Kapitel 2.1.2 bis 2.1.4). *Heißausbildung* oder *Wärmegewöhnung* als weitere zu findende Begriffe implizieren die Hitze, Wärme oder gar eine mögliche körperliche Gewöhnung an diese als primäres Ausbildungsziel. Dem ist nicht so und daher sollten auch diese Begriffe nicht verwendet werden.

Weitere, fachlich korrektere Begriffe, die man in der Fachliteratur findet, sind *Training für das Verhalten in der Innenbrandbekämpfung* oder *Brandsimulationsanlage*. International hat sich weitestgehend die englische Bezeichnung *Live Fire Training* bzw. *Compartment Fire Behaviour Training* durchgesetzt. Auch wenn einige dieser Begriffe sehr viel expliziter sind, hat sich der Begriff *Realbrandausbildung* im deutschsprachigen Raum etabliert. Er wird so in der Norm und somit auch in dieser Arbeit verwendet [7].

Die in dieser Arbeit angewandte Methodik zur Analyse und Kategorisierung der Realbrandausbildung wurde lernzielorientiert gestaltet und dient als Grundlage für den Vergleich der Konzepte. Der Vergleich des Gesundheitsschutzes und insbesondere der Hygiene basiert auf den vorhandenen und kennengelernten Konzepten. Die daraus hervorgehenden Handlungsempfehlungen und Konzepte sind als Schlussfolgerung aus den Erfahrungswerten, Erkenntnissen und dem jetzigen Stand der Forschung zu betrachten.

2 Grundlagen

Feuerwehrleute sind im Brandeinsatz sowohl für die Rettung von Personen, Tieren und Sachwerten als auch für die Brandbekämpfung zuständig. Kommunen haben in Deutschland die gesetzliche Pflicht eine leistungsfähige Feuerwehr aufzustellen und zu unterhalten. Die Bedarfsplanung basiert auf zuvor festgelegten Schutzziele. Besondere Aufmerksamkeit bekommt dabei der sogenannte kritische Wohnungsbrand. Dieser ist ein fiktives Szenario, bei dem eine Wohnung im Obergeschoss eines Mehrfamilienhauses brennt und Menschen vermisst werden. Diese Menschen müssen im Sinne der Schutzziele gerettet, die Brand- und Rauchausbreitung gestoppt und der Brand wirksam bekämpft werden [8]. Um diesen Zielen gerecht werden zu können, dringen Feuerwehrleute ins Innere des Gebäudes vor. Sie nutzen dabei sogenannte Persönliche Schutzausrüstung (PSA) mit umluftunabhängigen Atemschutzgeräten, die sie vor Rauch, Hitze und Sauerstoffmangel schützen (siehe dazu Kapitel 3.1 *Gefahren im Atemschutzeinsatz*).

Wohnungsbrände, also Brände in geschlossenen Räumen, verhalten und entwickeln sich anders als beispielsweise Vegetations- oder Fahrzeugbrände im Freien. Um die Notwendigkeit von Realbrandausbildung zu verstehen, muss zunächst auf die besonderen Brandverläufe sowie Brand- und Rauchphänomene in geschlossenen Räumen näher eingegangen werden.

2.1 Brandgeschehen

Um einen Zimmerbrand erklären zu können, wird auf ein Beispiel zurückgegriffen. Ein brennbarer Holzgegenstand wird auf eine eingeschaltete Herdplatte gelegt. Die Wärme wirkt in Form von Wärmestrahlung auf den Gegenstand. Es wird von der thermischen Aufbereitung gesprochen. Bei ca. 100 °C ($\hat{=} 373,16\text{ K}$)¹ findet der Phasenübergang der Wasserbestandteile im Holz statt, sie wechseln also den Aggregatzustand von fest/flüssig zu gasförmig. Das physikalisch gebundene Wasser verdampft. An der kühleren Umgebungsluft kondensieren Wassertropfen und bilden ein feines, farbloses, aufsteigendes Aerosol. Bei einer Temperatur ab ca. 150 °C entstehen erste Pyrolysegase [9]. Beim Vorgang der Pyrolyse spricht man auch vom Ausgasen. Feste Bestandteile des Brennstoffes (in diesem Fall des Holzes) verlieren an thermischer Stabilität, zersetzen sich und treten u. a. in Form von Gasen aus. Eine Oxidation findet nicht statt [10]. Bei weiter steigender Tem-

¹ Der Phasenübergang ist abhängig von Druck (und damit auch ortsabhängig von der Höhe).

peratur (ab ca. 280 °C) findet die exotherme Pyrolyse statt, bei der brennbare Gase freigesetzt werden [11]. Diese sind bei Holz (hauptsächlich bestehend aus Zellulose) u. a. Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H₂) und Methan (CH₄) [9]. Erreichen diese Gase (bei ausreichender Konzentration) ihre Zündtemperatur oder wird eine andere Zündquelle hinzugefügt, so findet erst die eigentliche Verbrennung statt. Weitere Wärmestrahlung folgt, die wiederum andere Gegenstände im Raum erwärmt und thermisch aufbereitet. Auch dabei entstehen Pyrolysegase. Diese sammeln sich, aufgrund der Wärme, der daraus resultierenden geringeren Dichte und Konvektion unter der Decke. Der Raum erhitzt sich zunehmend und weitere Gegenstände fangen Feuer, was wiederum höhere Wärmestrahlung und damit stärkere Pyrolyse zur Folge hat.

2.1.1 Brandverläufe

In geschlossenen Räumen werden Brände allgemein in sogenannte Brandphasen eingeteilt [12]. In Abbildung 2.1 werden diese Phasen in 1 bis 4 unterteilt und schematisch dargestellt.

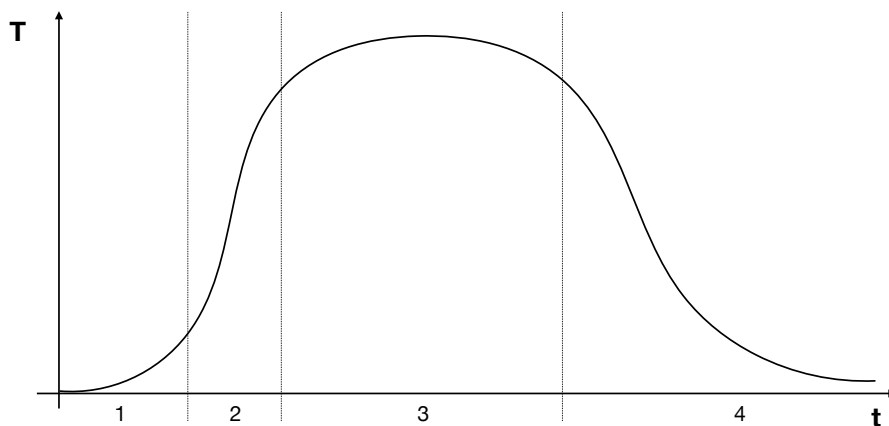


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung von Brandphasen (nach [13])

In der ersten Phase passiert oben Beschriebenes. Der Brand entwickelt sich, Pyrolysegase entstehen, diverse Gegenstände im Raum werden thermisch aufbereitet und geben ihrerseits Pyrolysegase ab. Der Raum füllt sich zunehmend mit Rauch, die durchsichtige Luftschicht am Boden wird immer kleiner. Die Brandphase zwei wird als Raumdurchzündung (engl. *flashover*) bezeichnet [7]. Sie markiert den Übergang zwischen einem lokalen Brand und einem Vollbrand des Zimmers bzw. der Wohnung. Die Wärmestrahlung, ausgehend vom Brandherd und aus der Rauchsicht heraus, reicht aus, um die restlichen pyrolysierenden Gegenstände zu entzünden. Die Raumdurchzündung wird häufig durch

eine Rauchdurchzündung eingeleitet (siehe dazu Kapitel 2.1.2). Nach der Raumdurchzündung stehen folglich alle brennbaren Oberflächen in Flammen. Die nun eingeleitete dritte Phase wird Vollbrandphase genannt. Den weiteren Verlauf bestimmt neben der Brandlast, also der Energie, die durch die im Raum befindlichen Stoffe freigesetzt werden kann, ein zweiter wichtiger Faktor: die Ventilation, also die Sauerstoffzufuhr. Es wird in sogenannte brandlast- und ventilationsgesteuerte Brände unterschieden.

Brandlastgesteuert

In der Entwicklungsbrandphase steht dem Feuer genug Sauerstoff (O_2) zur Verfügung. Durch die noch verhältnismäßig niedrigen Temperaturen läuft die Pyrolyse langsam ab. Die schon brennenden Pyrolysegase verbrennen nahezu vollständig, d.h. die entstehenden Verbrennungsprodukte sind selbst nicht brennbar [11]. Die freiwerdende Wärmeenergie, quantifiziert durch die Wärmefreisetzungsrate (engl. *heat release rate* - im Folgenden mit HRR abgekürzt), hängt also davon ab, was und wieviel brennt, weswegen man von brandlastgesteuerten bzw. -kontrollierten Bränden oder Verhältnissen spricht.

Ventilationsgesteuert

Nach der Raumdurchzündung findet ein Wechsel dieser Umstände statt. Die Temperatur steigt, was nicht nur die weitere Pyrolyse verstärkt, sondern auch zur Selbstentzündung der brennbaren Gase führt. Es brennen nun sowohl der Rauch als auch die im Raum befindlichen brennbaren Gegenstände. Durch die hohen Temperaturen entstehen deutlich mehr Pyrolysegase, die nun im Überfluss vorhanden sind. Beschränkend wirkt nun der Sauerstoff: dieser Zustand wird als ventilationsgesteuert bzw. -kontrolliert bezeichnet. Eine vollständige Verbrennung kann kaum noch stattfinden. Schwelgase entstehen, die, wie auch viele Pyrolysegase, selbst brennbar sind. Sie sind Verbrennungsprodukte einer unvollständigen Verbrennung, also einer Verbrennung unter Sauerstoffmangel. Dieser unterventilierte Zustand wird bei Wohnungsbränden heutzutage deutlich schneller erreicht (u.U. sogar ohne Raumdurchzündung) - die Konsequenzen daraus werden in Kapitel 2.5.1 beschrieben.

Je nach Art der Ventilation stellt sich eine Schwerkraftströmung ein. Die heißen Rauchgase, bestehend aus Pyrolyse- und Schwelgasen, Wasserdampf, Rußpartikeln und Aerosolen, expandieren, haben im Vergleich zur Umgebungsluft eine geringere Dichte und sammeln sich unter der Decke. In diesem Bereich herrscht im Vergleich zur Umgebung ein leichter

Überdruck, weswegen dieser Bereich als Überdruckzone beschrieben wird. Dieser Überdruck führt dazu, dass Rauchgase aus eventuell vorhandenen Raumöffnungen ausströmen. Im gleichen Maße dringt kalte Luft mit höherer Dichte in den Raum ein und strömt im Bodenbereich in Richtung des Feuers. In der Thermodynamik wird das gegensätzliche Strömen zweier Fluide unterschiedlicher Dichte auch als Schwerkraftströmung betitelt. Es stellt sich ein Gleichgewicht innerhalb des Systems ein [14]. Die in der Unterdruckzone befindliche Luft grenzt sich sichtbar von den in der Überdruckzone befindlichen Rauchgasen ab. In der Strömungsmechanik ist dieses Phänomen mit Scherströmungen zu vergleichen. Diese Grenzschicht wird als neutrale Zone, neutrale Ebene oder neutrale Grenzschicht (engl. *neutral plane*) bezeichnet. Im Folgenden wird das Phänomen dieser entgegengesetzten Strömungen Schwerkraftströmung (engl. *flowpath* oder *air track*) genannt. Eine sich absenkende Grenzschicht ist ein Hinweis für eine zunehmende Schwerkraftströmung. An Öffnungen kommt es dabei oft zu einem Effekt, der als Lokomotiveneffekt bekannt wurde [9]. Findet die Schwerkraftströmung durch eine Öffnung (bspw. ein Fenster) statt, so strömt dort, vorausgesetzt es ist die einzige Öffnung, Luft ein und Rauchgase aus. Wird die Schwerkraftströmung größer, sinkt die Grenzschicht ab und die austretenden Rauchgase können den kompletten Querschnitt der Fensterfläche einnehmen. Ein Einströmen von Luft wird damit unterbrochen. Die HRR reduziert sich aufgrund des folgenden Luftmangels und die Schwerkraftströmung, die Rauchproduktion und -expansion lassen nach. Der Querschnitt des austretenden Rauchs reduziert sich damit, was wiederum Querschnitt für eintretende Luft freigibt. Dieses Phänomen kann sich periodisch wiederholen und unterschiedlicher Ausprägung sein. Es ist ein Zeichen für eine starke Schwerkraftströmung, welche ein Warnsignal für Brandphänomene sein kann, die unter ventilationskontrollierten Verhältnissen ablaufen (vgl. Kapitel 2.1.2).

Um die Phasen von Abbildung 2.1 zu vervollständigen, wird zum Schluss die vierte Phase beschrieben: das Abklingen des Brandes. Der Brand wird eingedämmt, wenn:

1. sich die Brandlast dem Ende zuneigt,
2. die Temperatur (beispielsweise durch Löscharbeiten) so abnimmt, dass immer weniger Pyrolysegase entstehen,
3. oder der Sauerstoff entzogen wurde (Inertisierung) respektive aufgebraucht ist.

Durch die verschiedenen Verhältnisse können, abhängig von Ventilation und Entwicklung, verschiedene Brandphänomene stattfinden, die mitunter für Feuerwehrleute lebensgefährlich sein können. Wie eingangs beschrieben, sind viele der verbreiteten Begriffe irreführend, bisher unterschiedlich verwendet worden und einige sogar falsch im Umlauf. Seit 2010 wird in der deutschen Norm (DIN 14011 siehe [7]) die Terminologie für einige Phänomene definiert und auch international gängige Begrifflichkeiten sind darin impliziert [7]. Eine genaue Beschreibung liefert die Norm nicht und auch der zu verwendende Überbegriff bleibt different. Während der Autor allgemein von Brandphänomenen schreibt, verwenden andere Autor_innen den Begriff Rauchgasphänomene, wieder andere schreiben von Phänomenen der schnellen oder extremen Brandausbreitung [14]. Die Festlegung auf den Begriff Brandphänomene soll den übergeordneten Charakter verdeutlichen, der sowohl Brandverhalten als auch Rauchgasverhalten in ganz unterschiedlicher Art und Wirkung abdecken kann. Die Abgrenzung ist nicht immer klar. Oft werden einige Phänomene nur *einer* Begrifflichkeit zugeordnet, während andere Autor_innen weiter ausdifferenzieren und unterschiedliche Namen verwenden. Auch wenn die Terminologie nicht einheitlich ist, so besteht kein Zweifel, dass Feuerwehrleute mögliche Brandphänomene kennen und verstehen müssen und sich im Einsatz nicht mit „begriffliche[n] Spitzfindigkeiten“ [13] beschäftigen können. Da die fachliche Ausdifferenzierung der Brandphänomene heute über die drei Begriffe der Norm hinausgeht, fasst der Autor im Folgenden eine umfangreiche Form der Definitionsauslegungen zusammen.

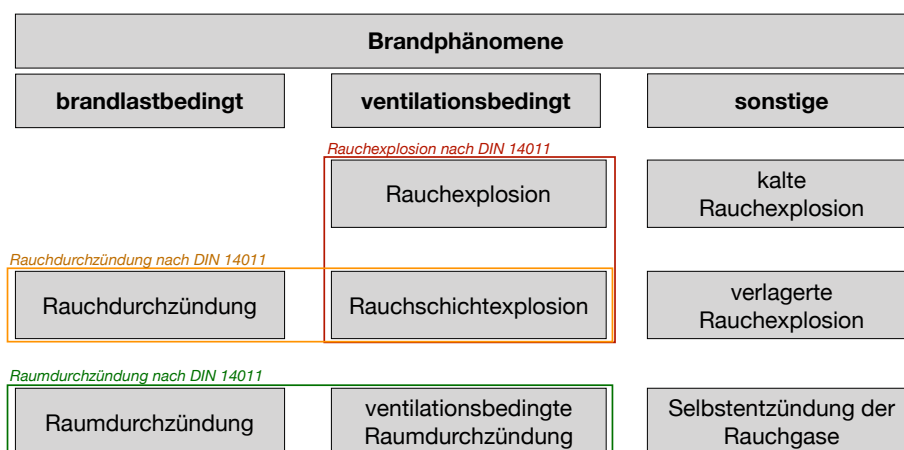


Abbildung 2.2: Übersicht Brandphänomene im Vergleich zur Norm

Durch den knappen und sehr allgemein gehaltenen Wortlaut in der Norm entstehen begriffliche Doppelungen. Spezifische Phänomene haben in der ausdifferenzierten Form

teilweise den gleichen Namen wie in der Norm, die allerdings inhaltlich mehrere Phänomene abdeckt. Unterschieden wird in dieser Arbeit in brandlastbedingte, ventilationsbedingte und sonstige Brandphänomene. Sowohl die Einteilung als auch die begrifflichen Doppelungen werden in Abbildung 2.2² verdeutlicht. Rot markiert sind dabei alle Brandphänomene, die in der Norm mit Rauchexplosion beschrieben werden. Gelb markiert sind alle Phänomene, die sich mit der Definition der Rauchdurchzündung nach Norm decken. Grün markiert sind alle Phänomene, die der Definition nach Norm für eine Raumdurchzündung entsprechen.

2.1.2 Brandlastbedingte Brandphänomene

Es werden zunächst jene Brandphänomene beschrieben, die unter brandlastgesteuerten Verhältnissen entstehen oder ablaufen - auch auf mögliche Spezifizierungen oder Varianten wird dabei eingegangen (vgl. Abbildung 2.2).

Raumdurchzündung

Die Raumdurchzündung (engl. *flashover*) beschreibt den schlagartigen Übergang von der Entstehungs- zur Vollbrandphase (vgl. Kapitel 2.1.1) und ist prinzipiell den brandlastbedingten Brandphänomenen zuzuordnen³. Einleitend wirken Wärmestromdichten HFX (engl. *heat flux* - im Folgenden mit HFX abgekürzt) von ca. 20 kW/m^2 , am Boden und im Rauch herrschen Temperaturen von über $500 - 600 \text{ °C}$, was der Zündtemperatur vieler brennbarer Pyrolysegasen entspricht. Nach dem quadratischen Temperaturanstieg einer Raumdurchzündung findet man im Brandraum Temperaturen von 1000 °C und mehr [15]. Eingeleitet wird die Raumdurchzündung durch das Erreichen der genannten Wärmestromdichte oder durch eine Rauchdurchzündung. Warnsignale sind eine sich senkende neutrale Ebene, das genannte Temperaturspektrum und die allgemeinen Anzeichen einer Rauchdurchzündung.

Rauchdurchzündung

Die Rauchdurchzündung (engl. *rollover*) ist ein Rauchgasphänomen, das unter brandlastgesteuerten Verhältnissen stattfindet. Pyrolysegase sammeln sich an der Decke und der Luftsaurestoff im Raum ist ausreichend, allerdings ist das Gemisch zu mager, um zu zünden. Sobald die Pyrolyse genug brennbare Gase freigesetzt hat und die untere

² Abbildungen (Fotos und Grafiken) ohne Quellenbezug in der Bildunterschrift (auch im Folgenden) sind Abbildungen des Autors.

³ Eine andere Variante der Raumdurchzündung (ventilationsbedingte Raumdurchzündung) findet unter ventilationsgesteuerten Verhältnissen statt und wird somit in Kapitel 2.1.3 beschrieben.

Explosionsgrenze (UEG) erreicht wurde, können die Rauchgase zünden. Typischerweise findet die Verbrennung an der Unterseite der Rauchschrift (neutrale Grenzschicht) statt, wo Sauerstoff aus der Luft und Pyrolysegase aufeinandertreffen. Die turbulente Verbrennung bringt Verwirbelungen hervor, die einzelne Flammzungen (im Englischen als *dancing angels* bezeichnet) erscheinen lassen. Bei starken Verwirbelungen kommt es zu einer stärkeren Durchmischung und es können somit auch Stichflammen entstehen. Durch den Grad der Verwirbelung und die Ventilationsverhältnisse kann es auch zu einer Entzündung der ganzen Rauchschrift kommen, weshalb auch von einer Rauchschriftdurchzündung gesprochen wird [13]. Es wird auch von Entzündungen innerhalb der Rauchschrift berichtet, bei der die Flammen von unten nicht sichtbar sind [13]. Der Druckanstieg ist nicht signifikant, die HFX hingegen schon, weswegen die Rauchgasdurchzündung oft den einleitenden Faktor für die Raumdurchzündung darstellt. Die Rauchschriftdurchzündung ist damit auch für Feuerwehrfrauen_männer ein potentiell gefährliches Phänomen. Warnsignale für eine Rauchschriftdurchzündung sind Flammzungen in der Grenzschicht sowie die allgemeinen Warnsignale einer Raumdurchzündung.

Eine sogenannte Rauchschriftdurchzündung mit Druckanstieg, die unter Sauerstoffmangel abläuft, wie in [9] beschrieben, wird in dieser Arbeit den ventilationskontrollierten Phänomenen zugeordnet und als Rauchschriftexplosion bezeichnet.

2.1.3 Ventilationsbedingte Brandphänomene

Gerade in Hinblick auf die in den letzten Jahrzehnten stattgefundenen Veränderungen in den Brandverläufen (vgl. Kapitel 2.5.1 *Veränderte Brandverläufe*), werden im Folgenden die Brandphänomene, die unter ventilationskontrollierten Verhältnissen stattfinden, erläutert.

Rauchexplosion

Die Rauchexplosion (engl. *backdraft*, teilweise auch als Rauchgasexplosion betitelt) ist ein Brandphänomen, bei dem die Schwel- und Pyrolysegase „nach Vermischung mit plötzlich zugetretener Luft“ [7] explodieren bzw. verpuffen. Bei der Entstehung befindet sich der Brand bereits unter ventilationsgesteuerten Bedingungen. Pyrolyse- und Schwelgase füllen den Brandraum und das Gemisch ist zu fett, um sich zu entzünden. Durch Schaffen einer Öffnung (Türöffnung oder Zerspringen eines Fensters) strömt Luft ein. Eine Skizzierung des Ablaufs ist in Abbildung 2.3 zu sehen. Eine Schwerkraftströmung stellt sich ein. An der Grenzschicht entzündet sich die Mischung aus Luft und brennbaren Rauchgasen. Durch

die Verbrennung und die an der Wand reflektierte Luftströmung finden Turbulenzen statt, die Luft und Rauchgase vermischen. Diese nun vorgemischten Gase entzünden sich von der Grenzschicht ausgehend und es kommt zu einer Explosion in deren Verlauf ein Feuerball aus der Öffnung (Tür, Fenster) austritt. Dieses Phänomen ist eines der gefährlichsten für Feuerwehrleute, was diverse, auch tödliche, Unfälle zeigen [16]. Eindeutige Warnzeichen gibt es nicht. Stark ausgeprägte Schwerkraftströmung (Lokomotiveneffekt), pulsierender Rauch am Brandraum (aus Türschlitzen) und ölige Scheiben (sich ablagernde Schwelprodukte) sind Indikatoren für einen Brand unter ventilationskontrollierten Verhältnissen [9].

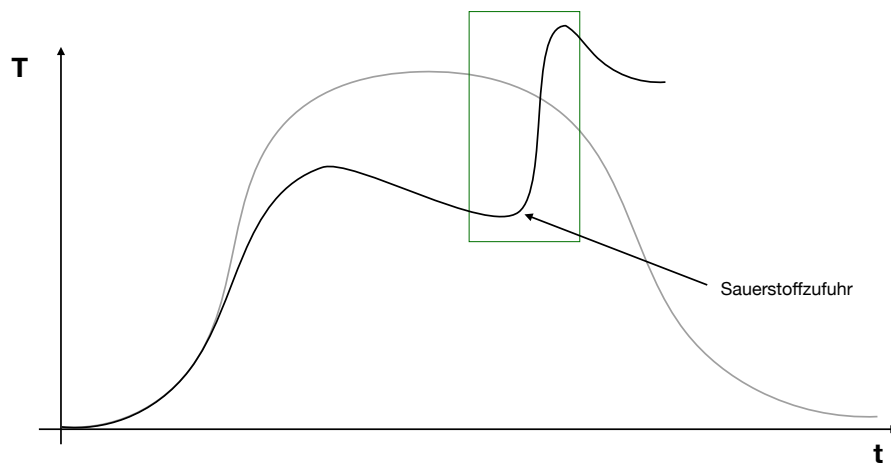


Abbildung 2.3: Skizzierung einer Rauchexplosion im t-T-Diagramm (nach [13])

Ventilationsbedingte Raumdurchzündung

Die ventilationsbedingte Raumdurchzündung findet gerade im Hinblick auf Erkenntnisse von heutigen Brandverläufen seine Beachtung. Kommt es gar nicht erst zur Raumdurchzündung, da noch vor Erreichen der nötigen Temperaturen und HFX ein Sauerstoffmangel (zu fettes Gemisch) eintritt, so findet erst bei Luftzufuhr die Raumdurchzündung statt. Hier wird ein bisher klar als brandlastbedingt definiertes Brandphänomen zu einem ventilationsbedingten mit vergleichbaren Eigenschaften der Rauchexplosion. Die Druckwelle und der Feuerball allerdings bleiben hierbei aus [17]. Verdeutlicht wird dieses Phänomen in Abbildung 2.4.

Rauchschiechtexplosion

Die Rauchschiechtexplosion (engl. auch *mini-backdraft*) ist eine Kombination aus beiden zuvor genannten Phänomenen. Eine Rauch(schiecht)durchzündung oder Raumdurchzündung findet aufgrund von Sauerstoffmangel nicht statt. Sollten allerdings ausreichende

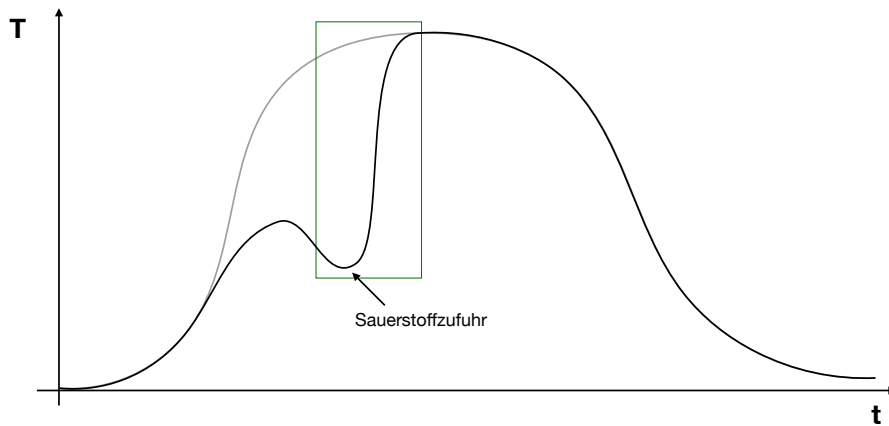


Abbildung 2.4: Skizzierung einer ventilationsbedingten Raumdurchzündung im t-T-Diagramm (nach [13])

Temperaturen vorliegen, reichert sich die Rauchsicht weiter mit Schwel- und Pyrolysegasen an. Kommt es nun zu einer Sauerstoffzufuhr kann es sogar zu einer Explosion in der Rauchsicht kommen. Der bisher verwendete Begriff *Rauchdurchzündung mit Druckanstieg* ist insofern irreführend, als dass die Rauchdurchzündung als ein brandlastgesteuertes Brandphänomen angesehen wird, es sich bei der Rauchsichtexplosion aber um ein ventilationsgesteuertes Brandphänomen (Luftzufuhr als einleitender Faktor) handelt [14]. Die englische Bezeichnung *mini-backdraft* oder Rauchsichtexplosion verdeutlichen die Ähnlichkeit zur Rauchexplosion in Entwicklung und Ablauf - jedoch in abgedämpfter, lokal begrenzter Form.

2.1.4 Sonstige Brandphänomene

Einige der im Folgenden erklärten Brandphänomene sind zwar unter ventilationsbedingten Verhältnissen entstanden, der auslösende bzw. einleitende Faktor ist jedoch ein anderer. Deshalb werden sie in diesem Kapitel zusammengefasst dargestellt.

Kalte Rauchexplosion

Auch bei einer sogenannten kalten Rauchexplosion (engl. *smoke-explosion*) herrschen bereits ventilationskontrollierte Bedingungen. Schwel- und Pyrolysegase sind in einem sehr fetten Gemisch vorhanden. Findet keine plötzliche Luftzufuhr durch eine Öffnung statt, so kann der Sauerstoffmangel die HRR soweit reduzieren, dass die Rauchgase wieder abkühlen. Siehe dazu Abbildung 2.5. Durch die sinkende Temperatur entsteht ein Unterdruck, welcher einerseits für Sauerstoffzufuhr durch kleine Öffnungen sorgt und

andererseits durch turbulente Verwirbelungen eine gut gemischte, zündfähige Atmosphäre herstellt. Der einleitende Faktor ist nun eine Zündquelle (bspw. aufgewirbelte Glut), die das Gemisch zum Explodieren bringt [18].

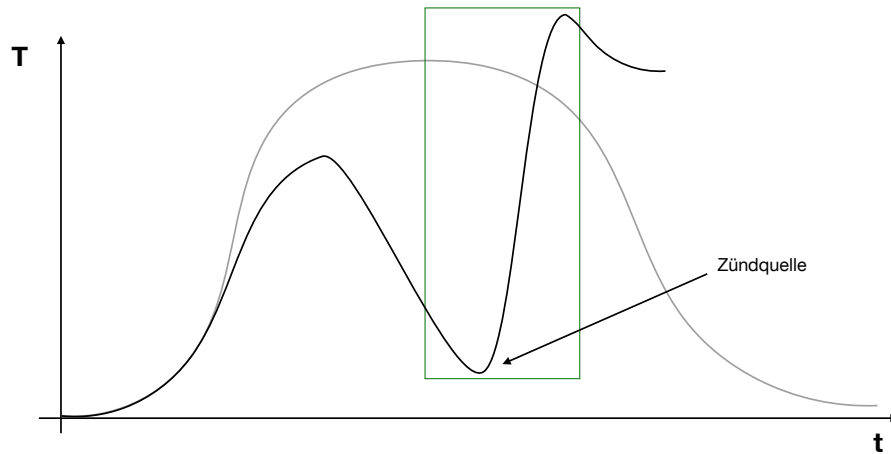


Abbildung 2.5: Skizzierung der Temperatur einer kalten Rauchexplosion über die Zeit (modifiziert nach [13])

Verlagerte Rauchexplosion

Auch die verlagerte Rauchexplosion entsteht zunächst durch ventilationsgesteuerte Verhältnisse im Brandraum. Falls die brennbaren Pyrolyse- und Schwelgase nun aber aus dem Brandraum in einen angrenzenden Raum entweichen, so können sie, gemischt mit der Luft im Raum, dort eine zündfähige Atmosphäre bilden. Somit wären die gleichen Bedingungen der kalten Rauchexplosion im Nachbarraum (oder auch in Schächten, Nischen, abgehängten Decken etc.) geschaffen worden. Auch hier wäre eine Zündquelle der Auslöser für eine mögliche Explosion [18].

Selbstentzündung der Brandgase

Bei einer Selbstentzündung der Brandgase verlassen heiße, brennbare Gase den unter ventilationskontrollierten Verhältnissen stehenden Brandraum durch Tür oder Fenster. Dort entzünden sie sich aufgrund des vorhandenen Sauerstoffs. Dieser Vorgang wird im Englischen auch *auto-ignition* genannt, da die Gase ihre Zündtemperatur bereits haben, lediglich im Brandraum der Sauerstoff fehlt [18].

Winddruckstichflammen (eng. *Blow-Toarch-Effect*) findet man bei windbeaufschlagten Bränden, die eine Ein- und Austrittsöffnung haben. Der starke Wind löst die horizontale

Schichtung der Temperaturen in einem Wohnungsbrand auf, eine Schwerkraftströmung findet nicht mehr statt. Gerade bei Bränden in Hochhäusern liest man von diversen Ereignissen. Eine Brandbekämpfung *in* diesen Räumen kann nicht stattfinden, weswegen dieses Thema in dieser Arbeit nicht weiter behandelt wird [13].

2.2 Notwendigkeit der Realbrandausbildung

Um sich vor Gefahren in Einsätzen zu schützen und den gesetzten Zielen nachkommen zu können, müssen Feuerwehrleute ausgestattet und ausgebildet werden. Die Ausbildung der Feuerwehrleute findet in Deutschland weitestgehend auf kommunaler Ebene statt. Häufig finden erst Fach- und Führungslehrgänge an zentralen Feuerweherschulen statt, die im Verwaltungs- und Verantwortungsbereich des Bundeslandes liegen. Die Qualifikation, die Feuerwehrleute brauchen, um in den Innenangriff zu gehen, ist die fertige Grundausbildung bzw. bei der Freiwilligen Feuerwehr zuzüglich zur Truppmann_frauausbildung⁴ der Atemschutzgeräteträger_in-Lehrgang⁵. Dieser Lehrgang umfasst eine 25-stündige theoretische und praktische Ausbildung, die die „Befähigung zum Einsatz unter Atemschutz“ [19] zum Ziel hat. Die Ausbildung beinhaltet u. a. das Erlernen grundlegender Fertigkeiten, Orientierung, Suchen und Retten von Personen und ein Notfalltraining. Die Ausbildung nach Feuerwehr-Dienstvorschrift beinhaltet weder Realbrandausbildung noch taktische Ventilation oder das Arbeiten mit der Wärmebildkamera [20]. Es ist somit möglich und vielerorts auch üblich, dass ausgebildete AGT vor ihrem ersten Brandeinsatz keinerlei Erfahrung und Kontakt mit Feuer und Brandbekämpfung im Innenangriff haben. Dies könnte ein Grund dafür sein, warum sich viele Feuerwehrleute für den Einsatz im Innenangriff nicht ausreichend befähigt fühlen [21].

Auch international nimmt das Bedürfnis nach umfangreicher Realbrandausbildung zu. In den USA nimmt die Anzahl der Brände ab, die Zahl der getöteten Feuerwehrleute pro 100.000 Brände ist hingegen steigend - trotz verbesserter Ausrüstung und besserem vorbeugenden (also baulichen) Brandschutz. In Kapitel 2.5.1 *Veränderte Brandverläufe* beschreibt der Autor die Veränderung der Brandverläufe weltweit. Die Qualität der Brände, in Form von Energie und Phänomenen der schnellen Brandausbreitung, nimmt zu. Quantitativ hingegen werden Feuerwehrleute immer weniger mit Bränden konfrontiert. Zusammenfassend

⁴ Im Original mit „Truppmannausbildung“ [19] bezeichnet.

⁵ Im Original mit „Atemschutzgeräteträger“ [19] bezeichnet.

lässt sich daher sagen: *immer weniger, dafür sehr viel stärkere Brände.* [22]

Das deutsche Ausbildungskonzept für AGT beruht auf der Annahme, man könne die nötigen Fähigkeiten theoretisch oder im Einsatzgeschehen erlernen. Anders ist die fehlende Realbrandausbildung in den Lehrgängen kaum zu erklären. Nicht nur für freiwillige Feuerwehrleute, sondern auch für Berufsfeuerwehrleute ist der Innenangriff bei einem Wohnungsbrand nicht mehr alltäglich. Das ausreichende Sammeln von Erfahrungen und Fähigkeiten über die Jahre ist damit in Frage zu stellen. Auch ist fraglich, ob Stress, Unerfahrenheit, fehlendes praktisches Wissen, Zeitdruck und extreme Brandphänomene in einem realen Brandereignis die richtigen und sicheren Bedingungen für das Erlernen einer anspruchsvollen Tätigkeit sind. [21]

„However, the number of structure fires has decreased by 53% over the past 30 years, which has had an unintended consequence of limiting the opportunities for firefighters and fire officers to gain the necessary experience to understand the increasingly complex fires they fight.“ [23]

Inzwischen fordern immer mehr Expert_innen die Etablierung von umfangreicher Realbrandausbildung, und das nicht nur in der Ausbildung, sondern auch in Form von regelmäßigen Fortbildungen. So heißt es in einer Dienstvorschrift bereits seit 2006, es solle einmal im Jahr eine Übung unter Einsatzbedingungen stattfinden und das bspw. in einer „Brandübungsanlage“ [20]. Schon seit 2003 fordert der Bundesverband der Unfallkassen „Übungseinrichtungen zur Brandbekämpfung“ [24] einzurichten.

Die Entwicklung der Realbrandausbildung hat sich zum Ziel gesetzt, das Verstehen und Erleben von Bränden und das Erlernen von Fähigkeiten vom Einsatzgeschehen zurück in die Ausbildung zu verlagern. Es ist der Versuch, Feuerwehrfrauen_männer didaktisch, methodisch und unter sicheren Bedingungen, Schritt für Schritt an die Gefahren und nötigen Fertigkeiten in einem realen Brandgeschehen heranzuführen.

2.2.1 Lernziele im Stufenaufbau

Nachstehend wird umrissen, für welche Ziele und zu erlernenden Fähigkeiten die Realbrandausbildung prädestiniert ist. Dabei wird sich auf Ziele beschränkt, die nach Meinung vieler Autor_innen nur durch Realbrandausbildung geeignet abgedeckt und erlernt werden können. Ziele und Lehrinhalte, die bereits in der Theorie oder in einer Übung ohne Feuer

vermittelbar sind, werden hier nicht aufgeführt. Auch wird die Sinnhaftigkeit der bereits in den Dienstvorschriften aufgeführten theoretischen und praktischen Lehrinhalte nicht bewertet.

Es werden Lernziele wie folgt formuliert.

Wärmeerfahrung

Feuerwehrleute haben ein Gefühl für die Wärmeentwicklung eines Brandes und für die Schutzwirkung ihrer persönlichen Schutzausrüstung gegen Wärme und Wasserdampf. Sie kennen die Entwicklung eines Brandes und verstehen Schichtung und Wirkung der Wärme, Wärmestrahlung und Wasserdampf. Sie können sich vor thermischen Bedingungen durch Bewegungsart, Abstand und Deckung schützen. Sie erlangen eine Stressresistenz gegenüber schlechter Sicht und Wärme [21].

Hintergrund: Wie in Kapitel 2.1.1 beschrieben, findet man bei einem Zimmerbrand eine Schichtung der thermischen Verhältnisse vor. Um die thermische Belastung so gering wie nötig zu halten und so viel wie möglich sehen zu können, ist es notwendig, dass Feuerwehrleute lernen, sich dicht am Boden zu bewegen und zu arbeiten. Die thermische Belastung hängt stark vom Wasserdampfgehalt in der Luft ab, da Wasser einen hohen Wärmeübergangskoeffizienten besitzt. Steigt also der Wasserdampfgehalt (beispielsweise durch Löschwasser), so mag die Temperatur im Raum zwar abnehmen, der Wärmeübergang von Luft zu AGT nimmt dennoch zu. Das hat nicht nur ein subjektives Empfinden heißerer Temperatur zur Folge, sondern erhöht auch die Gefahr des Verbrühens. Die PSA hat eine Nässesperre, die den Durchgang von Wasserdampf begrenzt, um ebendiese Gefahr zu minimieren. Diese Schicht kann durchschlagen, Schweiß von innen verdampfen und zu Verzögerungen in der Wahrnehmung der Wärme führen [25]. Für diese Thematik kann in diesem Training sensibilisiert werden.

Brandphänomene

Auszubildende sollen einen Eindruck von Brandphänomenen bekommen und können diese erkennen, verstehen und einschätzen. Sie können Rauch, Flammen und Ventilation abschätzen, Warnzeichen interpretieren und Gefährdungen beurteilen.

Hintergrund: vgl. Kapitel 2.1.2 bis 2.1.4

Strahlrohrtraining

Feuerwehrleute beherrschen die Techniken der Raumkühlung, Rauchkühlung und der

direkten Brandbekämpfung. Sie wissen sie in den richtigen Situationen und Dosen einzusetzen, um schadensarm zu löschen, sich vor Brandphänomenen zu schützen oder diese zu verhindern. Außerdem beherrschen sie die Türöffnungsprozedur, haben ein Verständnis vom sogenannten Schlauchmanagement und wissen um Techniken des Suchens und Rettens. Des Weiteren haben sich die Auszubildenen mit lokal verwendeten Sonderlöschgeräten (bspw. Druckluftschaum, *COBRA*, *Fog Nails*) beschäftigt.

Hintergrund: Neben dem Außenangriff wird in drei Techniken der Brandbekämpfung im Innenangriff unterschieden [7]:

- **Raumkühlung:** Wasser wird breit in den Raum und auf die Oberflächen appliziert. Das Wasser kühlt die Oberflächen und verringert die Pyrolyse. Dabei verdampft es, kühlt und inertisiert⁶ zusätzlich die Rauchsicht. Der Wasserschaden ist bei der Raumkühlung verhältnismäßig hoch, jedoch die Technik einfach in der Anwendung. Es besteht Verbrühungsgefahr, falls sich Personen im Zimmer befinden. Diese Technik eignet sich vor allem für in Vollbrand befindliche Zimmer. [13]
- **Rauchkühlung:** Bei einer brennenden oder sehr heißen Rauchsicht kann Wasser in Form von feinen Tropfen (Nebel) in die Rauchsicht appliziert werden und verdampft dort. Die Energie, die für das Verdampfen des Wassers nötig ist, wird dem Rauch entzogen. Die Methode hat somit drei Wirkungen: Kühlen, Inertisieren und Löschen der Rauchsicht. Sind die Tropfen zu klein, verdampfen sie vor Erreichen der Rauchsicht bzw. dringen nicht tief genug ein. Sind die Tropfen zu groß, verlassen sie die Rauchsicht vor dem Verdampfen. Es wird von einer optimalen Tropfengröße von $0,3\text{ mm}$ im Durchmesser geschrieben [6]. Eine dynamische Rauchkühlung (engl. *gas cooling*) kann zum Kontrollieren der Rauchsicht und Schwerkraftströmung verwendet werden und reduziert den HFX signifikant. Dadurch reduziert sie die Gefahren durch Brandphänomene in der Rauchsicht. Diverse Lehrbücher beschreiben Formationen (bspw. eine liegende 8), die mit dem Strahl in die Rauchsicht geschrieben werden sollen. Diese Vorschläge dienen der Verteilung des Wassers in der gesamten Breite der Rauchsicht und sollten abhängig von der Geometrie des Raums angepasst und verändert werden. Die Sichtverhältnisse können durch das Kühlen und damit Verkleinern des Rauchvolumens verbessert werden. Auch Flammen in der Rauchsicht können bekämpft und in den Raum zurückge-

⁶ Das Inertisieren beschreibt die Verdrängung des Sauerstoffs.

drängt werden (engl. *flame push back*). Die Rauchkühlung im Allgemeinen ist sehr wassersparend und effektiv. Die Gefahr des Verbrühens durch Wasserdampfbildung besteht dennoch. Auf die HRR hingegen hat sie kaum Einfluss, da sie sich auf die Pyrolyse der brennbaren Oberflächen nicht oder kaum auswirkt. Sie kühlt lediglich die Rauchschiicht und ist somit für weit entwickelte Brände unbrauchbar.

Eine spezielle Variante der Rauchkühlung wird Impulskühlverfahren⁷ genannt. Ein Wassernebel wird in einem Winkel von 45° in die Rauchschiicht in Form von Sprühstößen (engl. *pulsing*) appliziert. Entwickelt wurde dieses Verfahren mit sehr kurzen Impulsen in holzbefeuerten Containern der Realbrandausbildung. Zu kurze Impulse dringen nicht weit in die Rauchschiicht ein und verhindern bei automatischen Hohlstrahlrohren⁸ die Stabilisierung, die etwas Zeit braucht. Für stärkere und reale Feuer sind sehr viel längere Impulse nötig, die an die Geometrie der Räume angepasst werden müssen.

Die aus Schweden stammende Raumimpulsmethode (engl. *shark method*) stellt eine weitere Variante der Rauchkühlung respektive eine Kombination aus Rauch- und Raumkühlung dar. Dabei wird Wasser durch ein Hohlstrahlrohr in einem breiten Sprühstrahl⁹ auf die naheliegenden Bereiche im Raum gesprüht und hin zu einem schmalen Sprühbild wechselnd in die hinteren Bereiche des Raumes gegeben. Zunächst wurde dabei von periodischen Veränderungen im Sprühwinkel gesprochen, was allerdings gefährlich werden kann. Ein erneutes Öffnen des Winkels sollte unterlassen werden. Beim daraus entwickelten *Up-Down-Verfahren* wird darauf bestanden, mit einem breiten Sprühbild zu beginnen und die Methode mit einem schmalen Sprühwinkel zu beenden. Da komplexe Raumgeometrien u.U. mit diesen Varianten nicht abgedeckt werden können, stellt auch dieses Verfahren nur einen Teil der zu erlernenden Fähigkeiten bezüglich Rauchkühlung dar.

- Direkte Brandbekämpfung (engl. *penciling*): Dabei wird die eigentliche Brandstelle mit Wasser beaufschlagt und gekühlt. Das Ziel ist es, den Brandherd zu löschen (Unterbrechung der Verbrennungsreaktion). Diese Methode hat keinen signifikanten

⁷ Der bisheriger Begriff *Löschimpulsverfahren* ist irreführend, da die Hauptwirkung des Verfahrens das Kühlen ist.

⁸ Bei einem Hohlstrahlrohr kann der Winkel der Wasserabgabe (also das Sprühbild) und ggf. die Durchflussmenge dynamisch reguliert werden.

⁹ Der Sprühstrahl beschreibt ein Sprühbild, bei das Wasser winkelförmig aus einem Strahlrohr zerstäubt wird.

Einfluss auf das Verhalten der Rauchsicht. Für die Innenbrandbekämpfung stellt diese Methode somit den chronologisch letzten Schritt dar und bleibt in der Regel nicht aus. Das Hohlstrahlrohr muss so geführt werden, dass das Wasser den Brandherd direkt trifft und nicht vor Erreichen der brennbaren Oberflächen verdampft. [13]

Zum Strahlrohrtraining gehört auch die sogenannte *Türprozedur*. Sie ist eine Technik, um die Gefahren beim Öffnen einer Tür zu minimieren, die Bedingungen im Raum zu überprüfen und ggf. im Anschluss in den Raum einzudringen. Die Türprozedur ist dabei sehr unterschiedlich ausgeprägt. Einige Feuerweherschulen trainieren festgelegte Abläufe, während andere die Situationsabhängigkeit beim Öffnen von Türen unterstreichen und flexibel halten. In dieser Arbeit beinhaltet der Begriff folgende Lernziele: Auszubildende kennen die Gefahren, die hinter geschlossenen Türen vorherrschen können. Sie wissen, dass nicht jede Tür von Außen klare Anzeichen für die Gefahren dahinter anzeigt (Brandschutztüren zeigen Temperaturanstieg erst nach signifikanter Verzögerung auf der brandabgewandten Seite an [12]). Ein unkontrolliertes Öffnen einer Tür kann Auslöser von ventilationsbedingten Brandphänomenen sein. Sie erlernen durch ein kurzzeitiges, schmales Öffnen einer Tür die Bedingungen, Geometrien, Lage und Farbe der Rauchsicht, Flammenart- und -farbe, Art der Schwerkraftströmung und Lage des Feuers abschätzen zu können. Mit einem sogenannten Temperatur-Check werden die thermischen Verhältnisse im Raum überprüft, indem Wasser an die Decke abgegeben wird. Tropft es herunter, sind die thermischen Bedingungen verhältnismäßig kalt. Je nach vorliegenden Bedingungen ist eine Rauchkühlung notwendig. Dabei wird die Rauchsicht gekühlt und die Tür wieder geschlossen. Das muss im Trupp¹⁰ geübt und koordiniert werden. Die Prozedur wird ggf. wiederholt. Erst wenn die Bedingungen zum Eindringen vorliegen, wird der Raum betreten. [6]

Unter Schlauchmanagement versteht man ein schnelles, kraft- und zeitsparendes Nachziehen des Schlauchs, der beim Vorgehen bereits unter Druck steht und damit sehr steif und schwer ist. Dafür ist die zweite Person im Trupp zuständig. Durch gute Kommunikation zwischen den Truppmitgliedern sowie Techniken, wie das Verlegen in Buchten oder Loops, das Verwenden von Schlauchpaketen und Schlauchtragekörben und ausreichend vorhandene Schlauchreserve, ist ein Vorgehen weniger kraftaufwendig und sicherer. [6]

¹⁰ Ein Trupp ist die kleinste feuerwehrtaktische Einheit in Deutschland und besteht in der Regel aus zwei Einsatzkräften [26]. Auch im Ausland ist es üblich, stets zu zweit (mitunter auch zu dritt) vorzugehen.

Außerdem verwenden einige Feuerwehren Sonderlöschgeräte und Verfahren, deren Anwendung trainiert und Einsatzgrenzen erkannt werden müssen. Sonderlöschgeräte können Geräte sein, bei denen mittels einer Lanze Wasser von außen in den Brandraum appliziert wird (z.B. *Cobra*, *Fog Nail*). Auch die Verwendung von Druckluftschäum (engl. *compressed air foam system*) muss trainiert werden, wenn dieses System konzeptionell auch im Einsatz benutzt wird. [7, 13]

Ventilation

Feuerwehrlaute verstehen die Einflüsse der Ventilation auf Brand, Rettungswegsituation und Sichtweiten. Sie verstehen, wie natürliche Ventilation funktioniert, wissen um die Existenz eines Ventilationskanals und kennen ihre Gefahren. Sie können Techniken der maschinellen Entrauchung¹¹, der offensiven Ventilation¹² und Antiventilation ausführen.

Hintergrund: Der entscheidende Einfluss der Ventilationsbedingungen auf einen Wohnungsbrand wurde bereits in Kapitel 2.1.1 *Brandverläufe* beschrieben. Die taktische Ventilation bewegt sich in einem besonderen Spannungsfeld. Zum einen bewirkt maschinelle Entrauchung (engl. *positive pressure ventilation*) eine Verbesserung der Sichtweiten, das Freihalten von Rettungswegen und eine Verringerung der Brandlast in der Rauchsicht, was den Angriff einfacher und sicherer macht. Zum anderen können aber bei falscher Anwendung ventilationsbedingte Brandphänomene durch eine Luftzufuhr ausgelöst werden. Dies muss in jedem Fall verhindert werden und macht eine umfangreiche Ausbildung, aber auch eine Erkundung an der Einsatzstelle zwingend erforderlich.

Die Taktik der offensiven Ventilation (engl. *positive pressure attack*) stellt eine Möglichkeit der Umsetzung dar, bei der mit den Vorteilen des Ventilierens während des Angriffs gearbeitet wird. Eine gute Kommunikation und Abstimmung der verschiedenen Kräfte ist Voraussetzung. Auch diese Taktik hat Grenzen (Wind, hohe Decken, vorheriger Außenangriff empfehlenswert, optimale Öffnungsfläche nötig etc.) und muss somit geübt und verstanden werden [9, 27]. Standardmäßige, sehr offensive Belüftung war lange Zeit in den USA sehr verbreitet. Gerade bei brandlastgesteuerten Verhältnissen ist diese Methode mit der Umschreibung „taking the lid off“ [28] erfolgsversprechend und empfehlenswert. Unter ventilationsgesteuerten Verhältnissen hingegen kann sie gefährlich werden. Eine Strategie der offensiven Ventilation kann somit nur in bestimmten Situationen, unter

¹¹ Eine maschinelle Entrauchung findet durch Lüfter der Feuerwehr statt; eine Überdruckbelüftung hingegen stellt i.d.R. eine baulich-maschinelle Maßnahme zur Rauchfreihaltung (maschineller Rauchabzug) dar.

¹² Die offensive Ventilation ist auch als *Rettungsbelüftung* bekannt.

Berücksichtigung von Wind und Geometrie und unter gleichzeitiger starken Rauchkühlung, die den Brand in brandlastgesteuerte Verhältnisse bringt, angewandt werden [28].

Die natürliche Belüftung stellt der allgemein bekannte Kamineffekt¹³ dar, der genutzt werden kann, aber sich durch Thermik des Brandes und Windbeaufschlagung signifikant verändern und dadurch auch gefährlich werden kann.

Ein Rauchvorhang hingegen ist Teil der Antiventilation und soll Luftzufuhr und Rauchausbreitung verhindern. Dabei findet auch das auf Grundlage US-amerikanischer Forschung entwickelte VEIS-Schema Anwendung, welches Ventilieren, Eindringen, Isolieren und Suchen (engl. *ventilate, enter, isolate, search* - abgekürzt mit VEIS) propagiert. Das Tür-zu-machen nach dem Eindringen in ein Zimmer bzw. eine Wohnung ist dabei Teil einer wirkungsvollen Antiventilation zur Unterdrückung von Brandphänomenen und Ausbreitung sowie zur Eindämmung des Feuers.

Im Abschlussbericht der US-amerikanischen Studie der NIST (National Institute of Standard and Technology) heißt es:

„Importantly, we demonstrated the viability of closing the door behind the firefighters once Vent, Enter, Isolate and Search (VEIS) operations have commenced. The idea of a firefighter entering a burning building and closing the door behind him or her is both contrary to traditional practice and counterintuitive. However, the experiments definitively show that closing the door interrupts the flowpath, reducing oxygen in the structure, lowering its temperature and improving both victim and firefighter survivability.“ [29]

VEIS kann dabei auch eine taktische Maßnahme sein um Brandbekämpfung und Menschenrettung zu kombinieren. Ein feuerwehrtechnischer Grundsatz besagt, man solle vertikal niemals am Brandherd vorbeigehen. Mittels VEIS können, parallel zur Brandbekämpfung am Brandherd, Feuerwehrleute in den Zimmern und Etagen darüber (im besten Fall von außen) Türen schließen und absuchen. Die Versuche der NIST zeigen auch, dass ein Trennen von Menschenrettung und Brandbekämpfung (gerade im Hinblick auf den Grundsatz Menschenrettung vor Brandbekämpfung) nicht mehr mit den taktischen Möglichkeiten und den neuen Brandverläufen vereinbar ist. Vielmehr heißt es heutzutage eher „Brandbekämpfung zur Menschenrettung“ [30]. [29–31]

¹³ Der sogenannte *Kamineffekt* stellt eine natürliche Konvektion dar.

Taktik

Die Auszubildenden können die gelernten Erkenntnisse und Fähigkeiten in größeren Übungen integrieren, anwenden, kombinieren und verstehen. Sie können in Gruppen- und Zugstärke komplexe Lagen abarbeiten. Sie können sich der Taktik der Einsatzleitung unterordnen, erkennen und melden sicherheitsrelevante Erkenntnisse. Sie können nach Auftragstaktik eigenständig arbeiten. Sie können auch zuvor Gelerntes (bspw. Außenangriff) in die Übung der Realbrandausbildung integrieren.

Hintergrund: Es geht nun darum, alle gelernten Fähigkeiten zu kombinieren, kreative Lösungen zu finden und auszuprobieren. Außerdem gilt es, das Ganze in einen taktischen und strukturellen Rahmen einzubauen, um die verschiedenen Rollen und Aufgaben sowie das Zusammenspiel zu verstehen und zu trainieren. Die einzelnen erlernten Kompetenzen müssen nun einsatznah abgebildet und abgearbeitet werden. Dies ist für die Übertragbarkeit und die Stressresistenz sehr wichtig. Die nötigen Führungsfunktionen müssen dabei integriert werden. Optional können die Übungen mit einer laufenden Führungsausbildung kombiniert werden [32]. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse können hier ausprobiert und in Taktiken und Handlungsabläufe integriert werden. So kommt z. B. die bereits erwähnte Studie der NIST, die im Rahmen einer großangelegten Untersuchung mittels Realbrandversuchen auf Governors Island (New York) durchgeführt wurde, zu dem Ergebnis, dass ein qualifizierter Außenangriff die Bedingungen für den Innenangriff in jedem Fall verbessert und das Feuer nicht, wie oft angenommen, in die Wohnung hinein drückt, solange man nicht mittels Sprühstrahl die Abluftöffnung blockiert, sondern mittels Vollstrahl¹⁴ an die Decke das Wasser im Brandraum verteilt [23].

2.2.2 Kontinuierliche Lernziele

Während der gesamten Ausbildung werden folgende weitere Ziele beachtet und in die einzelnen Disziplinen integriert:

- Sicherheitsfokus: Es ist darauf zu achten, die Ausbildung sicher durchzuführen und damit auch die Sicherheit in den Fokus der Feuerwehrleute zu rücken. Fragestellungen und Entscheidungen sollten stets einen sicherheitsrelevanten Fokus haben. Dazu gehört u. a. Atemschutznotfälle *auch während* der Realbrandausbildung immer wieder zu trainieren. [13]

¹⁴ Der Vollstrahl beschreibt eine durch eine Düse stattfindende, gebündelte Wasserabgabe.

- Stressmanagement: Feuerwehrleute sollten langsam an die Aufgaben und Anforderungen herangeführt werden. Ein proaktives Lernen und Selbstvertrauen in die eigenen Kompetenzen reduzieren Fehler aufgrund menschlicher Faktoren (engl. *human factors*) und tragen signifikant zur Stressresistenz der Einsatzkräfte bei (Primärprevention). Auch hier müssen Strategien für ein umfangreiches Stressmanagement integriert werden. [33]
- Feedback und Fehlerkultur: Umfangreiche Nachbesprechungen auf Augenhöhe minimieren Missverständnisse und etablieren eine sogenannte Fehlerkultur. In dieser werden Fehler als unabdingbare Folgen menschlicher Faktoren anerkannt, die Angst Fehler zu machen abgebaut und es wird gelernt, aus Fehlern zu lernen. Dies begünstigt wiederum den Sicherheitsfokus. [34]
- Wärmebildkamera: Der Umgang mit der Wärmebildkamera kann und muss nach Meinung des Autors in der Realbrandausbildung geübt werden. Nebenher kann sie (falls sie einen Aufnahmemodus besitzt) zur Evaluation dienen. Auszubildende können bspw. die Effektivität ihrer Rauchkühlung im Nachhinein sehen und besprechen.
- Übertragung: Durch die erfahrenen Ausbilder_innen muss stets umrissen werden, inwiefern die Übungen auf die Einsatzsituation übertragbar sind. Den Auszubildenden muss klar gemacht werden, dass die Realbrandausbildung nicht die Wirklichkeit widerspiegelt, sondern ein Abbild im kleinen und sicheren Maßstab ist (vgl. Kapitel 2.4.2).
- Hygiene: Ein umfangreiches Hygienekonzept, auch für Realbrandausbildungsanlagen, ist nach neusten Erkenntnissen unabdingbar. Des Weiteren fördert das frühzeitige Sensibilisieren ein Bewusstsein für Einsatzstellenhygiene im Einsatzalltag (vgl. Kapitel 3.3).

Die Beschreibung der Lernziele und Inhalte (Hintergründe) bilden die in dieser Arbeit ausgearbeitete Didaktik. Sie trägt somit auch dazu bei, die Notwendigkeit der Realbrandausbildung zu erklären.

2.3 Arten der Realbrandausbildung

Realbrandausbildungsanlagen finden ihren Ursprung in den 1980er Jahren im skandinavischen Raum. Erste Entwicklungen mittels ISO-Containern¹⁵ finden neben Schweden und Finnland auch in Großbritannien, USA und Australien Verbreitung. Im Jahr 1992 wurden die ersten Versionen in Deutschland aufgebaut [13]. Dort wurde eine Norm entwickelt, die hauptsächlich bauliche Anforderungen an die Anlagen stellt. Aufgrund der sehr diversen Anlagentypen der Realbrandausbildung ist eine Einteilung, die alle Versionen abdeckt, nur schwer zu finden. Die einfachste Einteilung unterscheidet nach den unterschiedlichen Befeuersarten. So wird in der Norm [5] zwischen gasbetriebenen, feststoffbetriebenen und flüssigbrennstoffbetriebenen Übungsanlagen unterschieden¹⁶. Die unterschiedlichen Befeuersarten haben diverse Vor- und Nachteile, die in Kapitel 2.4 *Grenzen der Realbrandausbildung und ihrer Umsetzung* beschrieben werden. Flüssigbrennstoffbetriebene Anlagen sind kaum verbreitet und in weiten Teilen der Welt verboten, weswegen sie in dieser Arbeit nicht weiter behandelt werden. Der (sicherheitsrelevante) Rahmen der Realbrandausbildung ist durch die Norm und diverse Empfehlungen gegeben. Gerade für gasbetriebene Anlagen werden diverse Sicherheitsvorkehrungen und -installationen benötigt, u. a. sind das besondere Anforderungen an den Explosionsschutz. So sind pro Brandraum zwei Gas-Sensoren anzubringen, die bei Erreichen bestimmter Mischungsverhältnisse (35% UEG) die Anlage abschalten. Bei Anlagen mit Methan (CH_4) sind diese Sensoren an der Decke anzubringen, bei Flüssiggas C_3H_8 bzw. C_4H_{10} hingegen im Bodenbereich. Temperaturmessungen sind notwendig um die in der Norm geforderte temperaturbedingte, automatische Abschaltung zu gewährleisten. Flüssiggas findet sowohl in der Gasphase als auch in der Flüssigphase in den Anlagen Anwendung. Falls eine Stickstoffnebelanlage zur Simulation von Rauch genutzt wird, sind zusätzlich Sauerstoffsensoren einzubauen, die die Verhältnisse für eine vollständige Verbrennung gewährleisten und überwachen sollen. Außerdem muss eine Notstromversorgung gewährleistet sein, sodass zu jedem Zeitpunkt die Anlage heruntergefahren, not-entraucht, beleuchtet und geöffnet werden kann. Für alle Anlagentypen muss gewährleistet sein, dass Rettungswege nicht länger als fünf Meter sind, stets zwei Rettungswege vorhanden sind, Rettungsdienst- bzw. Sanitätspersonal (inkl. Ausrüstung) bereitsteht und Ventilations-/Steuerklappen bedienbar

¹⁵ Mit ISO-Containern sind hier 40 Fuß (also $l_{con} = 40 \text{ ft}$) Großraumschiffscontainer nach ISO 668 gemeint.

¹⁶ Ein weiterer Teil (Teil 5) der Norm beschreibt die Anforderungen an Brandhäuser. [5]

sind (manuell oder automatisch). Die Löschwasserversorgung hat in jedem Fall redundant zu sein (Angriffs- und Sicherheitsleitung). Weitere sicherheitsrelevante Fragen werden in Kapitel 2.4.2 geklärt. [5,13]

2.3.1 Einteilung

Aufgrund der großen Diversität an Anlagen und parallelen Entwicklungen gibt es sehr unterschiedliche Bezeichnungen. Der Autor greift daher auf eine lernzielorientierte Einteilung aus Schweden zurück. Dabei werden die Anlagen fünf verschiedenen Phasen zugeordnet. [6]

Phase I

Ein Container der Phase I (engl. *observation* oder *demonstrator unit*) hat einen abgesetzten, etwas erhöhten Brandraum, wie in Abbildung 2.6 zu sehen. Er dient zur Beobachtung und für das Erkennen von Brandphänomenen sowie zur Wärmeerfahrung (vgl. Kapitel 2.2.1). Feststoffbefeuerte Anlagen werden zumeist mit Holz betrieben. Phase-I-Container gibt es in zwei Ausführungen. Eine erste Version ist das sogenannte offene System oder der *Flashover-Container*¹⁷, welche zur Abbildung von Rauchdurchzündungen dienen.

Eine zweite Version stellt das Tür-System (auch Rauchdurchzündungsanlagen genannt - RDA) dar, welches sich zur Abbildung von Rauchdurchzündungen und Rauchschichtexplosionen eignet. Eine Tür zwischen Brandraum und Beobachtungsraum sorgt für Kontrollierbarkeit der Ventilationsverhältnisse.



Abbildung 2.6: Phase-I-Container (mobile Version: Dräger *FireDragon 1000*)

Phase II

Ein Container der Phase II (engl. *interior attack* oder *attack unit*) dient zum Strahlrohrtraining. Die drei Methoden Raumkühlung, Rauchkühlung und direkte Brandbekämpfung können hierin geübt werden. Diese Anlagen können sowohl gas- als auch holzbefeuert sein. Bevorzugt werden sollte hier dennoch die feststoffbefeuerte Variante, um die in Phase

¹⁷ Die Bezeichnung *Flashover* ist hier irreführend, vgl. Kapitel 2.1.2.

I gesehenen Phänomene unter vergleichbaren Bedingungen bekämpfen zu können. Ein holzbefeuertes Beispiel aus Australien ist in Abbildung 2.7 zu sehen.



Abbildung 2.7: Beispiel eines Phase-II-Containers

Phase III

Realbrandausbildungsanlagen der Phase III (engl. *backdraft unit*) sind für Demonstrationszwecke geeignet. Sie bilden eine Rauchexplosion ab (eines der Lernziele unter Brandphänomene). Der Aufenthalt in oder vor dem Container ist lebensgefährlich und zu unterlassen [13]. Der Container ist in der Regel ein kleiner ISO-Container, z. B. 10-Fuß-Variante (also $l_{con} = 10 \text{ ft}$). Das in dieser Arbeit in Kapitel 2.3.2 erarbeitete Stufenkonzept beinhaltet in Phase III auch die Abbildung anderer Brandphänomene. Die ursprüngliche Bezeichnung der Phase III meint allerdings lediglich Container zur Abbildung von Rauchexplosionen. Dies muss im weiteren Verlauf der Arbeit berücksichtigt werden (siehe Kapitel 2.3.2).

Phase IV

Realbrandausbildung der Phase IV eignet sich für ein erweitertes Strahlrohrtraining. Durch eine Eck-Lösung, T-Anordnung oder ähnliche Kombination mehrerer Container werden Übungen anspruchsvoller gestaltet. Schlauchmanagement, Türprozeduren, Suchen und Retten, aber auch Ventilation (auch Antiventilation) werden zunehmend integriert. Ursprung dieser Art war die Winkellösung, die mit Flüssiggas betrieben wurde und aus zwei Containern (zwei Räumen) bestand. Auch die in Schweden verwendete sogenannte Garage (engl. *garage*), die aus zwei Containern nebeneinander die doppelte Fläche erzeugt, zählt in diese Kategorie. Dabei können aufgrund der breiten Fläche z. B. die Grenzen des Impulskühlverfahrens verdeutlicht werden; beispielhaft zu sehen in Abbildung 2.8.

Phase V

Realbrandausbildungsanlagen der Phase V sind für das Lernziel Taktik (vgl. Kapitel



(a) Winkellösung [35]



(b) Garage [35]

Abbildung 2.8: Beispiele von Phase-IV-Containern

2.2.1) konzipiert. Sie verbinden alle vorherigen Lernziele, bringen sie in einen Kontext und stellen die nötige Übertragbarkeit zum Realeinsatz her. Hier erst können Einsätze in Gruppen- oder Zugstärke geübt werden, was einem Kräfteaufkommen bei einem Wohnungsbrand (mindestens) entspricht. Phase-V-Systeme sind Brandhäuser oder mehrstöckige Containersysteme (engl. *multi-story system*). Hier wird geübt, ausprobiert und es werden Grenzen von taktischen Maßnahmen erarbeitet. Beispiele hierzu siehe in Abbildung 2.9.



(a) Containerlösung [36]



(b) Brandhaus [37]

Abbildung 2.9: Beispiele von Phase-V-Systemen

Kombinationen

Viele der zur Zeit verwendeten Produkte zur Realbrandausbildung sind nicht klar einer Phase zuzuordnen. Gerade die mobilen Lösungen sind Kombinationen aus mehreren Phasen. Sie sind konzipiert worden, um zu den Feuerwehren zu fahren und müssen daher ein breites Spektrum auf dem Platz eines LKW-Trailers abdecken. Die in Abbildung 2.10 gezeigte, nicht mobile Kombination deckt Lernziele der Phase I (Wärmeerfahrung, Brandverlauf), der Phase II (Strahlrohrtraining), der Phase III (Brandphänomen Rauchdurchzündung, keine Rauchexplosion) und Teile der Phase IV ab. Auf die Beurteilung und Umsetzung dieser Varianten wird in Kapitel 4 *Vergleich internationaler Umsetzungskonzepte* näher eingegangen.



Abbildung 2.10: Beispiel einer Kombination (FTS 8000) [38]

2.3.2 Methodik und Didaktik im Stufenkonzept

Die Lernziele und Inhalte (Hintergründe) umreißen die in dieser Arbeit empfohlene Didaktik. Sie spiegeln wider, was in der Realbrandausbildung vermittelt werden kann und sollte. Parallel dazu wurde im vorigen Kapitel die gängige Technik und zur Verfügung stehenden Anlagentypen vorgestellt. Gut erkennbar sind dabei die Parallelen zwischen den sukzessiv aufgebauten Lernzielen und der Phaseneinteilung der Anlagen. Der Autor kombiniert diese zu einem Stufenkonzept, bei dem die Lernziele in ebendiese Phasen eingeteilt werden und eine Struktur von Zielen, Inhalten und Methoden erhält. Dafür mussten, wie bereits angekündigt, leichte Veränderungen an der ursprünglichen Phaseneinteilung vorgenommen und den Lernzielen bzw. den in dieser Arbeit untersuchten Konzepten angepasst werden. Somit bildet die Phase I im Folgenden das Lernziel und die dazugehörigen Anlagen der Wärmeerfahrung. Mit Phase II werden Lernziele und Anlagen für das Strahlrohrtraining betitelt. Das Lernziel Brandphänomene (nicht nur Rauchexplosion) mit den dazugehörigen Anlagen wird in Phase III behandelt. Das erweiterte Strahlrohrtraining bildet die Phase IV und Taktik sowie Ventilation bilden die Phase V. Die Einteilung ist im Anhang A.1 ab Seite i als Bewertungsbogen spezifiziert und dient als Grundlage für die weitere Terminologie und Untersuchungen in dieser Arbeit. Die chronologische Abarbeitung der Phasen (auch wenn sie in den Quellen meist nicht als Phasen bezeichnet werden) ist eine gängige Form der Realbrandausbildung, die ihren Ursprung in Schweden findet. Sie erzeugt damit Basiswissen und -fähigkeiten für Feuerwehrleute im Innenangriff. [6, 39]

2.4 Grenzen der Realbrandausbildung und ihrer Umsetzung

Die individuelle Umsetzung der Realbrandausbildung in Deutschland und international unterscheidet sich vor allem im Umfang signifikant. Zeitliche Rahmenbedingungen variieren von einmaligen Tagesfortbildungen bis hin zu, in die Grundausbildung integrierten, mehrwöchigen Trainings mit anschließender jährlicher Wiederholung. Dies hat vor allem

politische, organisatorische und nicht zuletzt finanzielle Gründe. Auch technische und sicherheitsrelevante Faktoren spielen bei der letztendlichen Umsetzung eine entscheidende Rolle. Beispiele der praktischen Umsetzung werden in Kapitel 4 *Vergleich internationaler Umsetzungskonzepte* beschrieben. Die Einflussfaktoren für die unterschiedlichen Umsetzungen sollen im Folgenden genannt werden.

2.4.1 Organisatorische und politische Faktoren

Die Feuerwehrstruktur in Deutschland basiert zum größten Teil auf Freiwilligen Feuerwehren (FF). Tageszeitabhängig können nur ein Bruchteil der alarmierten Einheiten in der geforderten Zeit zum Einsatz kommen. Seit jeher müssen FF daher auf Quantität hinsichtlich ihrer Mitglieder setzen, um im Einsatzfall die schutzzielorientierten Anforderungen erfüllen zu können. Wie eingangs beschrieben ist eine Realbrandausbildung nach [19] in Deutschland nicht obligatorischer Teil der AGT-Ausbildung. Schätzungsweise sind ca. 346.000 freiwillige Feuerwehrleute AGT in Deutschland. Die Ausbildung wird im Normalfall auf Ebene der Landkreise bzw. kreisfreien Städte durchgeführt. Je nach örtlicher Struktur, Sensibilisierung und finanzieller Lage wird daher Ausbildung auf sehr unterschiedlichen Niveaus betrieben. Die Aufstellung der Feuerwehr nimmt im Haushalt der Kommunen oft bereits einen großen Anteil ein und beschränkt sich oft auf die gesetzlichen Mindestanforderungen. Diverse mobile Lösungen (Anbieter sind private Firmen oder auch Landesfeuerwehrverbände) können gebucht werden und kommen in der Kommune vorbei. Solche Ausbildungen finden meist in Form von Tages- oder Wochenendfortbildungen statt. Freiwillige Feuerwehrleute müssen in ihrer Freizeit ausgebildet werden. In Zeiten der Flexibilisierung von Arbeitszeiten und sinkender Akzeptanz seitens der Arbeitgeber_innen schwindet daher auch die zeitliche Verfügbarkeit der Feuerwehrleute [40]. Zusätzlich haben diverse deutsche Kommunen in ihren Freiwilligen Feuerwehren mit einem „Mitgliederschwind“ [40] zu kämpfen. Die Schwelle für den Einstieg in ein Ehrenamt nimmt mit dem zeitlichen Aufwand und den dort verbundenen Verpflichtungen zu. Zusätzlich nimmt die Bereitschaft für ein langjähriges Ehrenamt gesellschaftlich ab und verschiebt sich hin zu projektbasierten Tätigkeiten. Dies steht im diametralen Verhältnis zu den Forderungen nach mehr Realbrandausbildung, falls damit ein größerer Ausbildungsaufwand verbunden wäre.

Die Ausbildung von Berufsfeuerwehrleuten hingegen findet oft an Landesfeuerweherschulen oder speziellen Feuerwehrtrainingszentren statt. Hier findet man oft ein umfangreiches

Training diverser Phasen, welches einen festen Bestandteil in der Grundausbildung darstellt und in Vollzeit abgeleistet wird. Ein qualitativer Ausbau stellt hier eine kleinere Hürde dar. In Deutschland sind etwa 27.000 Menschen Berufsfeuerwehrleute, die im Normalfall alle ausgebildete AGT sind. [19, 24, 39, 40]

Eine flächendeckende, umfangreiche und qualitative Umsetzung¹⁸ von Realbrandausbildung auch für FF ist demnach auf kommunaler Ebene kaum realisierbar. Die Forderung nach flächendeckender Realbrandausbildung kann somit nur eine landespolitische sein. Diverse Möglichkeiten und Vorschläge sind bereits wissenschaftlich erarbeitet worden. Auch wenn diese sich in Form und Umfang stark unterscheiden, so sind sie sich in der Beurteilung der Notwendigkeit weitestgehend einig.

2.4.2 Methodische, technische und sicherheitsrelevante Faktoren

Um die Grenzen der Realbrandausbildung zu verdeutlichen werden im Folgenden zunächst die Vor- und Nachteile der verschiedenen Anlagen beleuchtet. Anschließend werden Fragen der Übertragbarkeit bis hin zur Sicherheit geklärt.

Holzbeheizte (also feststoffbeheizte) Anlagen können Brand- und Rauchbedingungen und damit die Lernziele der Wärmeerfahrung und Brandphänomene umfassend abdecken. Auch bei einem Strahlrohrtraining wird die Effektivität des eigenen Handelns direkt durch die dynamische Veränderung der Brandverhältnisse gespiegelt. Die Anlagen sind günstig in der Anschaffung und Wartung. Sie können manuell (d.h. von Hand) und ohne großen technischen Aufwand bedient werden. Jegliche Technik (z. B. Temperatursensoren) sind fakultativ verwendbar, aber nicht vorgeschrieben. Der Brennstoff (unbehandeltes Holz) ist einfach verfügbar und in der Handhabung und Lagerung ungefährlich. Die Nachteile der feststoffbeheizten Anlagen sind u. a., dass sie als „ausbildungsgesteuert“ [13] beschrieben werden. Das bedeutet die Brandentwicklung (und damit die Abbildung der Brandphänomene) hängen vom Können und der Erfahrung der ausbildenden Person ab. Ist das Feuer einmal gelöscht, so ist das Wiederbestücken zeit- und arbeitsintensiv. Eine schnelle Abschaltung der Anlage (z. B. in Notsituationen) ist nicht möglich. Die Verbrennungspro-

¹⁸ Eine umfangreiche und qualitative Umsetzung ist hier im Sinne der oben genannten Lernziele und Inhalte gemeint.

dukte sind toxisch, umweltschädlich, kanzerogen und Rußpartikel haften in der Kleidung (Dekontamination nötig). Verbrennungsrückstände müssen entsorgt werden.

Gas- bzw. flüssiggasbefeuerte Anlagen (meist Methan bzw. Propan-Butan-Mischung) erzielen größtenteils eine vollständige Verbrennung. Hierbei entstehen kaum kanzerogene oder umweltschädliche Verbrennungsprodukte; die Emission ist aufgrund von weniger Rauchproduktion geringer. Diese Anlagen werden, im Gegensatz zu den feststoffbefeuerten, als „sensorgesteuert“ [13] bezeichnet. Das heißt der_ die Ausbilder_in ist nicht für die Brandentwicklung und atmosphärischen Bedingungen zuständig. Die Flammen werden auf Knopfdruck produziert und auch die Intensität kann oft sogar per Fernbedienung eingestellt werden. Eine sofortige Abschaltung ist demnach möglich. Auch gibt es keine Zeitverluste beim Hochfahren der Anlage für einen nächsten Durchgang¹⁹. Das Einspritzen von Flüssiggas in der Flüssigphase stellt ein besonderes Flammenbild her, welches gerade in Hinblick auf Brandphänomene in der Rauchsicht wirklichkeitsgetreuer (im Gegensatz zum Abbrand in der Gasphase) wirkt. Doch auch dieser Anlagentyp hat Nachteile. Rauchphänomene können aufgrund fehlender Rauchentwicklung auch mit zusätzlicher Nebelmaschine und Einspritzen in der Flüssigphase nur teilweise dargestellt werden. Die Abbildung des Brandes wird dabei meist von der Anlage selbst eingeleitet und gesteuert. Die Lernzielerreichung und wirklichkeitsgetreue Abbildung der Phänomene hängt aber auch hier von der ausbildenden Person ab. Sie legt nämlich fest, wann ein Feuer suffizient bekämpft wurde, in dem sie die entsprechende Flamme (und ggf. Nebelproduktion) herunterregelt oder abstellt. Die Verwendung von Gas als Brennstoff erfordert außerdem weitere Sicherheitsvorkehrungen und Prüfungen. Für sichere Verhältnisse bezüglich explosiver Gasmische kann nur eine aufwendige Technik sorgen. Die Anschaffungskosten sind daher signifikant höher. [6, 30]

Um die Realbrandausbildung in ihrer Qualität zu beurteilen, muss immer die Frage nach Realitätsnähe, also Übertragbarkeit auf Realeinsätze, gestellt werden. Diese Betrachtung bleibt ein stetiger und dynamischer Prozess, denn Anzahl und Art der realen Brände ändern sich laufend. Wie zielführend und effektiv Realbrandausbildung ist, kann man, neben der subjektiven Beurteilung von Feuerwehrleuten, bestenfalls anhand statistischer Auswertungen (bspw. Einsatzerfolg, Geschwindigkeit oder gar Todesfälle und Verletzte bei

¹⁹ Mit *Durchgang* ist hier und im Folgenden eine Einheit der Realbrandausbildung unter umluftunabhängigen Atemschutz für die Dauer von 20 - 30 Minuten (je nach Anlage, Vorgabe, Flascheninhalt und Belastung) für eine Gruppe an auszubildenden Personen gemeint.

Brandensätzen) im Laufe der Jahre messen. Dennoch ist jeder Brand ein Einzelereignis und wird nicht noch einmal identisch verlaufen. Diverse, äußerst variable Einflüsse, Umwelt- und Randbedingungen wirken bei einem Brand. Die Realbrandausbildung unterliegt zudem einem Spannungsverhältnis zwischen günstiger Umsetzung, Sicherheit und Realitätsnähe, wie in Abbildung 2.11 dargestellt wird.



Abbildung 2.11: Spannungsfeld der Umsetzung von Realbrandausbildung

Eine realitätsnahe Übung in einer Wohnung eines echten Hauses ist für unerfahrene Feuerwehrleute nicht nur pädagogisch sehr zweifelhaft, sondern auch teuer und lebensgefährlich. Feuerwehrleute sind im Brandeinsatz Gefahren ausgesetzt, die in Übungen und praktischer Ausbildung nicht vorherrschen können und dürfen. Im Stufenkonzept der Realbrandausbildung werden einzelne Disziplinen zunächst losgelöst behandelt, um u. a. ein Höchstmaß an Sicherheit zu gewährleisten. Mit steigenden Kompetenzen der Auszubildenden, werden Disziplinen kombiniert und Übungen realitätsnäher. Es ist anzustreben, dass das Sicherheitsniveau nach einer Gefährdungsanalyse mit den neu erlernten Fähigkeiten, gleich bleibt. Eine *realitätsidentische* Ausbildung wird es demnach nie geben. Das schließen auch psychische und organisatorische Faktoren aus (echte Menschen, plötzliche Alarmierung etc.). Den Auszubildenden muss stets klar gemacht werden, dass auch diese Übungen nicht übertragbar sind. Insbesondere die Ausbilder_innen müssen diesen Umstand verinnerlichen und sich stets in Erinnerung rufen. Einige vergangene Entwicklungen sind auf die ausschließliche Übungsrealität zurückzuführen, die sich unter realen Bedingungen als unbegründet oder falsch erwiesen haben. So ist z. B. der sogenannte *Flashover-Reflex* lange gelehrt worden, bei dem sich Feuerwehrleute bei einer Rauchdurchzündung auf den Boden legen und mit breitem Strahl in die Rauchsicht sprühen. Nach Untersuchungen

und auch nach eigenen Erfahrungen des Autors, ist dieses Vorgehen nur in den immer gleichen Geometrien der Übungscontainer zielführend. Eine breitere Geometrie des Raums in Kombination mit dem kontinuierlichen Sprühen in die Rauchsicht zieht Flammen in Richtung des Trupps und erhöht den Wasserdampfgehalt in der Luft (Verbrühungsgefahr). Nach einem Flashover (Raumdurchzündung) befindet sich der Raum in Vollbrand. Ein dortiges Verharren ist nicht zielführend, sondern lebensgefährlich. Das Wort Reflex impliziert zudem ein standardmäßiges, immer gleiches Vorgehen, was der Ausbildungsphilosophie der hier beschriebenen Didaktik entgegensteht (vgl. Kapitel 3.3.1). Ein weiteres Beispiel stellt die Entwicklung geringerer Wasservorhaltungen und Durchflussmengen dar, die auf Erfahrungen in den Containern fußen. Wasserdurchflussmengen, die in einem realen Brand benötigt werden, sind nicht mit denen in der Realbrandausbildung zu vergleichen. Während in den Containern Brände mit Wärmefreisetzungsraten von 1 MW bis 3 MW herrschen, können in Zimmerbränden $HRR \geq 10 MW$ vorgefunden werden. Die benötigten Wassermengen sind demnach unlängst höher. Auch die Mentalität der immer höheren zu verwendenden Brandlasten in der Ausbildung führte zu höheren Temperaturen und damit zu gesundheitlichen Schäden, erhöhter Wärmebelastung und sofort entzündender Pyrolysegase (keine Ansammlung). Die Lernziele konnten folglich nicht erreicht werden (ausbleibende Brandphänomene). Beispiele zeigen außerdem, dass zu hohe Brandlasten in Übungsszenarien schnell tödliche Folgen haben können, wie die in [41] genannten Fälle aus den USA zeigen. [6, 13, 42]

Zusammenfassend kann man sagen: Um für die Grenzen der Realbrandausbildung zu sensibilisieren, muss sie immer in einen didaktischen und methodischen Rahmen gesetzt werden. Die ausschließliche Verwendung einzelner Phasen, einzelner Anlagen oder das Auslassen von Phasen kann zu Einbußen hinsichtlich der Lernzielerreichung führen und sogar zu gefährlichen Überschätzungen oder Fehlentwicklungen. Die Realbrandausbildung bildet nicht die Wirklichkeit ab und ist auch gar nicht dafür entwickelt worden. [6, 13, 42]

2.5 Neue Herausforderungen und Erkenntnisse

Brände, Architektur, Technik der Feuerwehren, Techniken des vorbeugenden, baulichen Brandschutzes, aber auch wissenschaftliche Erkenntnisse, organisatorische und politische Rahmenbedingung ändern sich laufend und stellen die Gefahrenabwehr vor neue Aufgaben. Die Aufstellung der Feuerwehren basiert auf Brandstatistiken, die vor über 40 Jahren

erhoben wurden (Orbit-Studie). Damals wurde eine sogenannte *Reanimationsgrenze* angenommen, eine Zeitdauer von 17 Minuten, nach der eine in einem Brandraum befindliche Person nicht mehr gerettet werden kann. Nach diesem Wert wurde seither Feuerwehrbedarfsplanung betrieben und Hilfsfristen abgeleitet. Wissenschaftliche Untersuchungen stellen die Plausibilität der Orbit-Studie und insbesondere die Reanimationsgrenze in Frage. Dies wirft Fragen nach der zukünftigen strategischen und politischen Aufstellung von Feuerwehren auf, auch im Hinblick auf die oben genannten personellen Problemstellungen. Weitere Faktoren, wie der demographische Wandel (Senior_innen sind gegenüber Bränden vulnerabler als der Durchschnitt), die frühere Erkennung von Bränden (Rauchmelder) oder die bessere Kommunikationstechnik spielen eine wichtige Rolle. In dieser Arbeit werden diese Aspekte jedoch keine weitere Behandlung finden. Zweifelsohne müssen mögliche anstehende Änderungen im Feuerwehrsysteem bei der Forderung nach (flächendeckender) Realbrandausbildung jedoch beachtet werden. [43, 44]

Doch nicht nur die Interpretation der Daten (und strategischen Aufstellungen), sondern die ganze Ausgangslage der Brände in Deutschland und der Welt hat sich verändert. Brände verlaufen heute nicht mehr wie zu Zeiten der oben genannten Studie. Brände neuer Dimension und anderer Verläufe fordern Forschung, neue Taktiken und anderen Brandschutz. Immer neue Erkenntnisse aus Wissenschaft und Einsatzerfahrung bringen auch für die Realbrandausbildung neue Problemstellungen mit sich. Die Gründe und die daraus erwachsenen Auswirkungen der heutigen Brände werden im Folgenden geklärt.

2.5.1 Veränderte Brandverläufe

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 beschrieben, wechselt ein Zimmer- oder Wohnungsbrand im Allgemeinen von anfangs brandlastgesteuerten hin zu ventilationsgesteuerten Verhältnissen. Brände haben sich dahingehend stark verändert [2]:

1. moderne Wohnungseinrichtung besteht vermehrt aus Kunststoffen und elektronischen Geräten, welche höhere Wärmefreisetzungsraten, mehr Rauchgasvolumen, mehr brennbare und giftige Stoffe hervorbringen und zu höheren Temperaturen führen
2. bessere Dämmung, Mehrfachverglasung von Fenstern und dichte Türen führen schneller zu ventilationsgesteuerten Verhältnissen

3. zusätzliche Wärmedämmung schwächt die Wärmeabgabe und verstärkt zusätzlich die Temperatur und dadurch die Wärmefreisetzungsrate

Durch die genannten Punkte ergeben sich Veränderungen der Brandeigenschaften und -verläufe.

Chronologisch

Für die zeitliche Entwicklung von Bränden bedeuten die genannten Veränderungen eine bis zu 8-fach schnellere Brandentwicklung. Für die zeitliche Einordnung der Raumdurchzündung ist daher festzustellen, dass sie durchschnittlich sehr viel früher abläuft. Oft schon innerhalb der ersten zehn Minuten. Für Feuerwehren bedeutet das, bei gleichbleibenden Eintreffzeiten, eine weiter fortgeschrittene Brandentwicklung vorzufinden. Diese Entwicklung ist auch international festzustellen.

Allerdings gibt es eine zweite mögliche Verlaufsvariante. Durch die schnellere Entwicklung des Brandes, können ventilationsbedingte Verhältnisse entstehen, noch bevor die Raumdurchzündung stattgefunden hat. Dabei kann es im weiteren Verlauf zu einer ventilationsbedingten Raumdurchzündung (vgl. Kapitel 2.1.4) kommen. Dies stellt für die Feuerwehr eine weitere Gefahr für gefährliche Brandphänomene dar. [9]

Energetisch

Die verbreitete Verwendung von Kunststoffen (also aus organischen Gruppen erzeugte Polymere) führt zu einer höheren HRR im Vergleich zu Holz. Beispielweise hat Polyethylen eine doppelte, Polystyrol eine vierfache und Polypropylen eine 4,5-fache HRR pro Masse im Vergleich zu Holz. Man geht bei einem Zimmerbrand von einer Gesamtleistung von ca. 12 MW aus. Dies spiegelt sich in der Brandentwicklung, in den Temperaturen und der Menge an benötigtem Löschwasser wider.

2.5.2 Rauchzusammensetzung

Durch die schnell erreichten ventilationsbedingten Verhältnisse verlaufen die Verbrennungsvorgänge unvollständig. Pyrolyse- und Schwelgase entstehen, die nicht nur brennbar, sondern auch erstickend, reizend, giftig oder kanzerogen sind. Um bis zu Faktor 12 hat sich das Rauchvolumen aufgrund der Veränderungen vergrößert. Die Zusammensetzung von Rauch und die darin enthaltenen Rückstände können wie folgt zusammengefasst werden [45]:

- Wasser/Wasserdampf: Das im Brandstoff gebundene Wasser und das ggf. zum Löschen verwendete Wasser sind Bestandteil des Rauchs in Form eines Aerosols
- Asche: Rückstände einer vollständigen Verbrennung. Gerade bei der Verbrennung organischer Stoffe bleibt Asche in Form von anorganischen Stoffen/Mineralstoffen zurück
- Ruß und Rußpartikel: Bestehen vor allem aus Kohlenstoff in Form eines Feststoffes. Darin enthalten sind teerartige Verbindungen sowie polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD bzw. PCDF). An Rußpartikeln können andere Stoffe kondensiert anhaften, also adsorbiert werden (siehe unten)
- Rauchgase: Bestehen zum einen aus den Verbrennungsprodukten bei vollständiger Verbrennung. Diese Oxidationsprodukte sind je nach Brennstoff u. a. Kohlendioxid (CO_2), Chlorwasserstoff (HCl), Schwefeldioxid (SO_2), Stickoxide (NO_x) und Phosphoroxide. Diese Verbrennungsprodukte sind nicht brennbar. Schwelgase (bei unvollständiger Verbrennung) und Pyrolysegase hingegen enthalten beispielsweise CO , Cyanwasserstoff (HCN) oder Carbonylchlorid (auch Phosgen genannt, COCl_2). Einige davon sind brennbar. Kühlen die Rauchgase ab, so lagern sich Dämpfe und kondensierte Schadstoffe ab. Viele der genannten Stoffe sind bei Inhalation reizend (z. B. COCl_2 oder NO_x) oder wirken sich auf Zell- und Nervensysteme aus (z. B. CO und HCN , auch als *toxic twins* bekannt)

Bei der Verbrennung von Kunststoffen sowie bei unvollständigen Verbrennungen entstehen organische Produkte. Das können Aldehyde aber auch diverse zyklische Verbindungen sein, wie Benzol, Phenol, Toluol, polychlorierte Biphenyle oder polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (folgend mit PAK abgekürzt). Diese organischen Verbindungen werden im Englischen in flüchtige (engl. *volatile organic compounds*, im Folgenden mit VOC abgekürzt) und schwerflüchtige (engl. *semivolatile organic compounds*, im Folgenden mit SVOC abgekürzt) organische Verbindungen unterschieden. Sie unterscheiden sich in ihrer Siedetemperatur. VOC sind meist gasförmig respektive als Aerosol vorzufinden und können inhaliert werden. Als VOC klassifiziert sind u. a. Toluol, Alkane und PAK. Demgegenüber stehen SVOC, die nur schwerflüchtig sind. Es sind u. a. polychlorierte Biphenyle (PCB) und PAK. Letztere finden sich in beiden Kategorien, denn einige sind flüchtig, andere nur schwerflüchtig. PAK (engl. *polycyclic aromatic hydrocarbons* - PAH) sind ringförmige

Kohlenwasserstoffe, bei denen zusätzliche Ringe anelliert²⁰ und ggf. weitere Substituenten vorhanden sind. Vertreter dieser PAK in Form eines VOC ist Naphthalin (siehe Abbildung 2.12) und 1-Hydroxypyren als ein Vertreter der SVOC. [45]

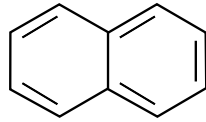


Abbildung 2.12: Strukturformel Naphthalin C₁₀H₈

Während im Brandfall viele dieser Stoffe in ihrer gasförmigen Phase vorliegen, kondensieren einige (bspw. bei abgekühlten thermischen Bedingungen) an Rußpartikeln. So werden VOC aufgrund ihrer Flüchtigkeit nach dem Brand von den Rußpartikeln abdampfen und können inhaliert werden. SVOC, im Brandfall gasförmig, werden aufgrund ihrer schweren Flüchtigkeit besonders lange am Ruß absorbiert bleiben und können sich mit dem Ruß auf Kleidung, Ausrüstung und Haut legen. [45]

²⁰ Die Bezeichnung *annelliert* kann mit „aneinander kondensiert“ [46] erklärt werden.

3 Gesundheitsschutz in der Realbrandausbildung

Feuerwehrleute sind diverser gesundheitlicher Risiken ausgesetzt. Hauptaugenmerk bekommen dabei hauptsächlich die akuten Gefahren, die im Einsatz herrschen. Im folgenden Kapitel sollen neben diesen Gefahren aber auch Prävalenzen für langfristige Krankheiten erörtert und Faktoren zum Gesundheitsschutz erklärt werden. Statistiken und Untersuchungen zeigen, dass Feuerwehrleute ein erhöhtes Risiko für verschiedene Krebsarten haben, vor allem Leukämie, Hautkrebs, Prostatakrebs und Hirnkrebs, aber auch erhöhte Raten für koronare Herzkrankheiten und psychische Erkrankungen. [47, 48]

Bevor auf die Notwendigkeit einer Gesundheitsschutzbetrachtung eingegangen wird und die nötigen Konsequenzen abgeleitet werden, beschreibt der Autor diverse Einflussfaktoren auf die Gesundheit von Einsatzkräften im Atemschutzeinsatz.

3.1 Gefahren im Atemschutzeinsatz

In den Lehrunterlagen der Feuerwehren in Deutschland findet man stets einen Abschnitt, in dem Gefahren an der Einsatzstelle umrissen werden. Auf folgende Gefahren wird dabei eingegangen: Atomare Gefahren, Atemgifte, Ausbreitung, Angst, chemische Stoffe, Elektrizität, Explosion, Erkrankung, Einsturz. Einige Autor_innen erweitern die Aufzählung mit Wetter, Verkehr, Absturz, biologische Gefahren, Wasser etc. Dabei wird auf die akuten Gefahren eingegangen und Maßnahmen zur Unfallverhütung abgeleitet. Gefahren mit Folgen, die sich erst nach Jahren ergeben, sind bei Entstehung oft nicht als solche bekannt oder werden unterschätzt. Die Reaktion des Körpers auf die physischen und psychischen Belastungen im Atemschutzeinsatz hängen signifikant von Alter, Erfahrung und Fitnesszustand ab. Die Arbeit im Innenangriff erfordert kurzzeitige, sehr hohe Leistungsfähigkeit. Die Exposition schädlicher Stoffe, diverse körperliche und psychische Reaktionen, (mögliche) Vorerkrankung und die schwere Ausrüstung (bis zu 30 % des Körpergewichts zusätzlich) schränken die Leistungsfähigkeit ein. Feuerwehrleute müssen daher nicht nur ihre eigenen Grenzen kennen und erkennen, sondern auch verstehen, dass die Aufrechterhaltung und Stärkung der eigenen Leistungsfähigkeit in ihrem Interesse und unabdingbar sind. Ein hoher BMI, Zigarettenkonsum, ungesunde Ernährung, aber auch fehlende gesundheitsfördernde Strukturen und mangelnde Vorbildfunktionen schränken die Leistungsfähigkeit und Bewältigungsressourcen²¹ weiter ein. Realbrandausbildung kann hier eine präventive

²¹ Bewältigungsressourcen, auch -strategien, -kompetenzen oder Coping, beschreibt den Umgang eines Menschen mit einschneidenden, belastenden und traumatischen Ereignissen.

und bewusstseinsbildende Maßnahme sein. Um einige der oben genannten Prävalenzen und Gefahren zu erklären, haben sich wissenschaftliche Untersuchungen mit folgenden Themen beschäftigt, die nicht nur einen direkten Einfluss auf die Realbrandausbildung, ihre Konzepte und Handlungsweisen, sondern auch auf den Brandeinsatz als solchen haben. [49]

3.1.1 Exposition schädlicher Stoffe

Die Gefahr der Atemgifte nimmt beim Atemschutzeinsatz eine sehr zentrale Rolle ein. Um sich vor Atemgiften zu schützen, tragen Feuerwehrleute umluftunabhängige Atemschutzgeräte. Unter Druck stehende Atemluft wird über eine Maske dem_ der AGT zur Verfügung gestellt. Er_Sie schützt sich damit u. a. vor Reizungen in den Augen und vor Inhalation schädlicher Stoffe. Wie in Kapitel 2.5.2 beschrieben, können das u. a. Gase wie CO sein, aber auch VOC oder gar SVOC, die an Rußpartikeln anhaften.

Die Aufnahme schädlicher Stoffe in den menschlichen Körper (in der Medizin auch als Inkorporation bezeichnet) erstreckt sich allerdings auf mehr Expositionswege als nur die Inhalation. In dieser Arbeit werden folgende Expositionspfade (engl. *exposure routes*) unterschieden:

- Inhalation: Aufnahme von Stoffen über die Atemwege in die Lunge (engl. *inhalation*)
- Ingestion: orale Aufnahme vor allem über Anhaftungen an den Händen in den Verdauungstrakt (engl. *hand-to-mouth ingestion*)
- Dermale Absorption: (in der Medizin auch transdermale Resorption genannt) die Aufnahme von Stoffen über die Haut (engl. *dermal exposure*)

Schädlichen Stoffen sind Feuerwehrleute nicht nur während des Einsatzes unter Atemschutz ausgesetzt. Untersuchungen beschreiben das *Ausgasen* (Übersetzung aus dem Englischen von *off-gassing*)²² von Schutzkleidung der Feuerwehrleute nach dem Einsatz. Demnach können gasförmige Verbrennungsprodukte sowohl in Zwischenräumen in der Kleidung als auch zwischen Kleidung und Körper verweilen und nach und nach abgegeben werden. Das sind u. a. CO, HCN und VOC. Sie konnten noch 20 Minuten nach dem Ende der Exposition nachgewiesen werden. Neuere Untersuchungen zeigen, dass die Ausgasung von VOC im

²² Irreführend ist hier eine begriffliche Doppelung mit dem *Ausgasen* von Pyrolysegasen aus thermisch aufbereiteten Gegenständen (vgl. Kapitel 2). Ggf. sollte zukünftig von *Abgasen* in diesem Kontext gesprochen werden.

Zeitraum von 17 bis 36 min nach dem Einsatz zunächst zunimmt und erst anschließend wieder abnimmt. Auch aufgewirbelte Rußpartikel können mitsamt der anhaftenden Stoffe eingeatmet werden. Vergleichend dazu eigene Messungen in Kapitel 4.3. [50, 51]

Krebserregende Stoffe (in diesem Fall PAK), die an Rußpartikeln anhaften, können sich trotz Schutzkleidung auf der Haut ablagern, was weitere Untersuchungen zeigen. So können Feuerwehrleute PAK durch orale Ingestion (bspw. durch Nahrungsaufnahme, Rauchen, Trinken) aufnehmen. Gerade an den Handflächen ist die Kontamination von PAK besonders hoch²³. Untersuchungen zeigen zusätzlich eine dermale Aufnahme von PAK. So wurde nach der Realbrandausbildung im Urin der Feuerwehrleute 1-Hydroxypyren als Biomarker für PAK nachgewiesen. [4, 50–53]

Ein Zusammenhang zwischen den erhöhten Krebsraten für Leukämie, Hautkrebs, Prostatakrebs (u. a.) bei Feuerwehrangehörigen und der Exposition durch PAK im Brandrauch kann nicht direkt nachgewiesen werden. Dies liegt hauptsächlich an der hohen Latenzzeit dieser Krankheiten. Auch eine qualitative Ausdifferenzierung beispielsweise zwischen dermalen Aufnahme und Inhalation ist nicht möglich. Viele weitere Risikofaktoren (bspw. Schichtarbeit oder Ernährung) machen eine nachweisbare Kausalkette nahezu unmöglich. Dennoch ist die Gefährlichkeit von PAK unumstritten und auch bei kurzzeitiger Exposition nachweislich als Risikofaktor zu werten. Ein Zusammenhang zwischen der Exposition krebserregender Stoffe im Brandrauch und erhöhten Krebsrisiken bei Feuerwehrleuten ist naheliegend und daher anzunehmen. Maßnahmen zur Eindämmung der Exposition krebserregender Stoffe sind demnach von hoher Wichtigkeit. [48, 54, 55]

3.1.2 Hyperthermie und Dehydration

Feuerwehrleute arbeiten im Einsatz und in der Realbrandausbildung unter sehr hohen Umgebungstemperaturen (in einigen Anlagen bis zu 200 °C [56]). Die verwendete Kleidung schützt dabei nur bedingt. Mit steigender Luftfeuchtigkeit (bspw. durch Löschwasser) nimmt die Energieabgabe des Körpers durch Verdunstung des Schweißes ab und wird ineffektiv. Der Wärmeübergangskoeffizient zwischen Umgebungsluft und Haut nimmt bei feuchter Luft zu. Somit erwärmt sich der Körper und die Thermoregulation des

²³ Untersuchungen zeigen, dass durch das Bewegen am Boden und Absuchen nach Patient_innen im Innenangriff sich besonders viele PAK auf den Handflächen ansammeln. Dies unterstreicht die Wichtigkeit der Minimierung der oralen Ingestion.

Körpers, die im Normalfall für konstante Körpertemperatur sorgt, gelangt an ihre Grenzen. Mit steigender Temperatur und Luftfeuchtigkeit verringert sich die Leistungsfähigkeit des Körpers und folgende Krankheitsbilder, die mit Hitzestress oder Hitzeschäden (engl. *heatstress*) beschrieben werden, können eintreten:

- Hitzeerschöpfung (auch Hitzeschock genannt, engl. *heat shock*): Aufgrund des starken Schwitzens bei Hitze kommt es zu Flüssigkeitsverlust. Zur Reduzierung der Körpertemperatur weiten sich die Gefäße und es kommt zu einem Abfall des Blutdrucks. Durch die Unterversorgung kann es zu einer Schocksymptomatik und zur Synkope (Kreislaufkollaps) mit Bewusstlosigkeit (Hitzekollaps) kommen.
- Hitzekrämpfe (engl. *heat cramps*): Durch die Hitze und Dehydration (siehe unten) kommt es zur Unterversorgung von Muskeln und in der Folge zu schmerzhaften Muskelkrämpfen.
- Hitzschlag (auch Hyperthermiesyndrom oder hyperthermisches Koma genannt, engl. *heatstroke*): Durch das längere Einwirken von hohen Temperaturen, Dehydration und insuffiziente Thermoregulation kann ein lebensbedrohlicher Notfall entstehen. Die Körpertemperatur kann dabei auf über 40 °C steigen. Es kommt zu Krämpfen, Fieberfantasien, niedrigem Blutdruck, hohem Puls und Bewusstlosigkeit.

Als die Grenze des Toleranzbereichs wird eine Erhöhung der Körperkerntemperatur auf über 38 °C bzw. 39 °C beschrieben. In der Realbrandausbildung können kritische Temperaturen erreicht werden. [56]

Die Dehydration (auch Dehydratation oder ugs. Dehydrierung genannt, engl. *dehydration*) bezeichnet eine negative Flüssigkeitsbilanz (Flüssigkeitsabnahme) im Körper. Sie entsteht durch starkes Schwitzen und unzureichende Wasser- und Elektrolytaufnahme. Den Zustand eines stark dehydrierten Körpers nennt man Exsikkose. Er stellt eine Störung, ein Ungleichgewicht im Wasser- und Elektrolyt-Haushalt dar. Es kann zu einem hypovolämischen Schock, Somnolenz und einer Synkope kommen. Eine Dehydration kann an der Urinfarbe (gelb) einfach erkannt werden. Bereits während einer 20-minütigen Übung verlieren Feuerwehrleute bis zu einem Liter Wasser. Dies kann unter anderen Bedingungen (bspw. im Einsatz) ungleich höher ausfallen. [49, 56]

3.1.3 Kardiale Faktoren

Die Herzfrequenz (engl. *heart rate*) steigt bei körperlicher Anstrengung und wird daher als Kenngröße für die körperliche Belastung verwendet. Die maximale Herzfrequenz (im Folgenden mit HF_{max} abgekürzt) ist eine definierte Größe, die als Kriterium für die altersabhängige sogenannte Ausbelastung dient. Sie ist ein Richtwert für die maximale Leistungsfähigkeit, die ein Mensch erreichen kann.

Errechnet wird sie über eine Faustformel:

$$HF_{max} = 220 \text{ min}^{-1} - \text{Lebensalter} \quad (1)$$

Die tatsächliche individuelle Ausbelastung unterliegt einer eminenten Streuung, weshalb die HF_{max} nur als Orientierung dienen kann. Das Lebensalter muss hierbei in Jahren eingegeben werden. Gerade junge, unerfahrene Feuerwehrangehörige erreichen oder übersteigen gar diesen Wert in der Realbrandausbildung. Sie überlasten dann ihren Körper. Durch Erfahrung und körperliche Fitness (trainierter Körper) werden geringere Herzfrequenzen während hoher Belastungen erreicht.

Für eine andauernde Belastung gibt es die Dauerleistungsgrenze:

$$\text{Dauerleistungsgrenze} = HF_{max} \cdot 0,75 \quad (2)$$

Sie sollte im Durchschnitt über die Zeit der Leistungsabgabe aus medizinischen Gesichtspunkten nicht überschritten werden. Die genannten Werte werden in der Realbrandausbildung gerade von untrainierten Feuerwehrlern häufiger überschritten.

Eine erhöhte Herzfrequenz wird auch als Tachykardie bezeichnet. Das Phänomen der sogenannten Post-Alarm-Tachykardie beschreibt einen erhöhten Ruhepuls nach Alarmierung. Gerade bei unerfahrenen Feuerwehrlern sind das bis zu 47 Schläge pro Minute mehr. Sie ist mit Angst, Aufregung und Respekt vor dem Einsatz erklärbar. Auch der Ruhepuls während der Realbrandausbildung kann erhöht sein und durch Aufregung erklärt werden. Durch Fitness und Erfahrungswerte sind auch diese beiden Phänomene reduzierbar. [57]

Der Blutdruck als weitere Kenngröße der Vitalfunktionen des menschlichen Körpers gibt Auskunft über die Herzleistung und den Zustand der Blutgefäße. In der Realbrandausbildung wurden bereits systolische Blutdrücke (engl. *systolic blood pressure*) von über

200 mm HG gemessen, was einer starken Hypertonie entspricht. Hoher Blutdruck gilt als begünstigender Faktor und Auslöser für kardiale Folgen (bspw. Akutes Koronarsyndrom). [49]

Koronare Herzkrankheiten (wie Angina Pectoris) sind chronische Erkrankungen in den Herzkranzgefäßen (engl. *coronary heart diseases*). Meist herrscht eine Verengung vor, die im Rahmen der alltäglichen Belastungen weder einschränkt noch erkannt wird. Im Einsatzalltag von Feuerwehrleuten entstehen psychischer Stress und starke körperliche Belastung oft unvermittelt. Gerade diese Situationen gelten als stark risikobehaftet in Folge einen Herzinfarkt zu erleiden. Symptome dafür werden z.T. im Rahmen der Realbrandausbildung nicht erkannt oder falsch gedeutet, was diverse, auch tödliche Unfälle zeigen. Risikofaktoren für koronare Herzkrankheiten sind hoher Blutdruck, Rauchen, Übergewicht, schlechte Fitness und hoher Cholesterinspiegel. [41, 49]

3.1.4 Psychische Faktoren

Tätigkeitsbezogene, sozial-kollegiale, arbeitsorganisatorische und extrem-belastende Stressoren haben Einfluss auf die Quantität und Qualität von psychischen Reaktionen (bspw. Panikattacke, Akute Belastungsreaktion) und im weiteren Verlauf auch von PTBS oder Burnout.

Akute Folgen von Stress können auch taktisch-organisatorische Einschränkungen nach sich ziehen. So beschreibt die kognitive Notfallreaktion eine stressbedingte Einschränkung der Handlungsfähigkeit und Überforderung. Das bedachte und komplexe Handeln, was bei der Feuerwehr überlebenswichtig sein kann, geht dabei verloren. Stressmanagement auf allen Ebenen hilft somit nicht nur dem Individuum, sondern bestimmt somit klar die Leistungsfähigkeit der Feuerwehr. [33]

Untersuchungen, die von verschiedenen Feuerwehren durchgeführt wurden, zeigen, dass Feuerwehrleute ihre körperliche Verfassung und ihren Zustand während des Trainings falsch einschätzen. So hat keiner der Probanden, die im Rahmen der Untersuchung auf ihre Vitalwerte kontrolliert wurden, die Realbrandausbildung abgebrochen, obwohl einige Herzrhythmusstörungen, Kollapsneigung, Koordinationsschwierigkeiten und signifikant erhöhte Körperkerntemperaturen aufwiesen. Es muss also davon ausgegangen werden, dass Feuerwehrleute eindeutige Symptome nicht kennen oder erkennen. [42, 57]

3.2 Gefährdungsbeurteilung

Die aufgeführten Faktoren zeigen die umfangreichen Gefahren, denen Feuerwehrangehörige ausgesetzt sind. In ihrer Ausbildung lernen sie bereits, Gefährdungen zu beurteilen und auf dieser Grundlage Entscheidungen zu treffen (engl. *risk assessment*). Die im vorigen Abschnitt aufgeführten Erläuterungen legen allerdings auch nahe, dass viele Faktoren zunehmen, unbekannt sind oder unterschätzt werden. Feuerwehrleute müssen daher die Grundlage ihrer Risikoabwägung stets hinterfragen und auf Stichhaltigkeit und Veränderungen überprüfen. Nur eine regelmäßige Gefährdungsanalyse auf diversen Ebenen kann diesen Anforderungen gerecht werden. Auch bei neuen Einsatzspektren (bspw. neuen Brandverläufen) und neuer Technik (bspw. Realbrandausbildung) können Gefahren auftreten, die entweder nicht existent oder nicht bekannt waren und daher unterschätzt werden. Andersherum können im Falle neuer Erkenntnisse neue Herangehensweisen nur schwer in vorhandene und etablierte Abläufe integriert werden. Wissenschaftliche Forschung, die praxisnah untersucht, kann dabei für Verständnis und Bewusstsein sorgen und nachhaltig zur Gestaltung beitragen. Gefährdungsbeurteilungen sind somit als Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis zu sehen. Sie analysieren auf Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse die Situation vor Ort und übersetzen sie anschließend in erforderliche Maßnahmen.

Rechtlich sind Arbeitgebende dazu verpflichtet, umfangreiche Gefährdungsanalysen zur systematischen Ermittlung von Gefährdungen durchzuführen, um Unfällen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen entgegen zu wirken. Grundlage hierfür stellt das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) dar. Darin heißt es wörtlich:

„Maßnahmen des Arbeitsschutzes im Sinne dieses Gesetzes sind Maßnahmen zur Verhütung von Unfällen bei der Arbeit und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren [...]. Er [der_ die Arbeitgeber_ in, Anm. des Autors] hat die Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen und erforderlichenfalls sich ändernden Gegebenheiten anzupassen.“ [58]

Weitere Regelwerke sind Gefahrstoffverordnungen, Arbeitsstättenverordnung, Mutterschutzgesetz, Unfallverhütungsvorschriften und Feuerwehrdienstvorschriften, die im Sinne des Arbeitsschutzes Maßnahmen zur Risikominimierung fordern. Außerdem sollen Unfallversicherungen und Krankenkassen nach Sozialgesetzbuch (SGB V und VII, Präventionsgesetz) zur Etablierung von Prävention und gesundheitsfördernden Strukturen beitragen. [34, 54]

Im Hinblick auf die Realbrandausbildung heißt das, aktuelle Ergebnisse und Erkenntnisse aus Untersuchungen in Gefährdungsbeurteilungen zu behandeln, zu bewerten und ggf. die im nachstehenden Kapitel beschriebenen Maßnahmen in die Konzepte zu implementieren.

Folgende weitere Gefahrenquellen - zusätzlich zu den im vorigen Kapitel benannten - tun sich auf, deren Aufzählung nicht vollständig ist und mit neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen und individuellen Faktoren ergänzt werden muss:

- **Unterschätzung:** Gefahren werden oft nicht erkannt oder unterschätzt, was diverse Unfälle in Ausbildungsanlagen zeigen. Die vermeintlich sicheren Bedingungen in der Realbrandausbildung werden beispielsweise genutzt, um mehr Brandlast zu verwenden (vgl. Kapitel 2.4.2).
- **Containerexplosion:** Unfälle, bei denen Wasser oder unverbrannte Brandgase aufgrund von Korrosion und durch Verschraubungslöcher in die Konstruktion der Ausbildungscontainer eindrang, unter den thermischen Bedingungen expandierte und zu einer Explosion führte, zeigen, dass durch die Anlagen selbst neue Gefahren entstehen können, die erfasst und bewertet werden müssen. [59]
- **Umweltschutz:** Neben der Analyse der Gefahren, die auf Menschen wirken, sollten Gefahren auch im Sinne des Umweltschutzes beurteilt werden. So stellt gerade das Verbrennen von Holz eine Emission diverser schädlicher Stoffe dar. Für eine ganzheitliche Beurteilung sollte die Zusammensetzung des Brennstoffs (möglichst rein) und die Art der Verbrennung (möglichst vollständig) beachtet werden. Gerade sogenannte Pressspanplatten enthalten Leime, aber auch Hartfaserplatten können herstellungsbedingt Phenolharze und Paraffin enthalten. Einige Holzfaserdämmstoffe sind nach Herstellerangaben frei von jenen Zusatzstoffen. Je nach Standort (bspw. Wohngebiet) und Brennstoff (enthaltene Kohlenwasserstoffe) ist eine Rauchgasreinigung oder -nachverbrennung nötig. Die Verbrennung von Gas ist in der Regel eine vollständige Verbrennung (bei der CO₂ emittiert wird). Bei einer Verwendung mit sogenanntem *Discone* sollten die Verbrennung und die entstehenden Verbrennungsprodukte in der Beurteilung Beachtung finden. [13, 60]

3.3 Maßnahmen des Gesundheitsschutzes

Um Unfälle und gesundheitliche Folgen zu verhindern, baut die Konzeptionierung einer Realbrandausbildungsanlage auf einer umfangreichen Gefährdungsbeurteilung auf. Bei der Erstellung von Maßnahmen zur Reduktion von Gefahren kann dabei auf das sogenannte Stop-Prinzip zurückgegriffen werden, das durch Substitution, technische, organisatorische, personen- und verhaltensbezogene Maßnahmen Gefährdungen reduzieren soll. Dabei ist neben klaren und genauen Bedienungs- und Handlungsanweisungen auch auf deren Einhaltung zu achten. Regelmäßige Unterweisungen, Fortbildungen und Überarbeitung können zielführend sein. Im Folgenden sollen Teile der bisher aufgeführten Gefahren und Faktoren durch geeignete Maßnahmen minimiert und in einen konzeptionellen Zusammenhang gestellt werden. [48]

Hygiene und Dokumentation

Zur Vermeidung von Kontaminationsverschleppung²⁴ und Exposition ist besondere Hygiene und Reinigung notwendig. Die Exposition während des Einsatzes wird durch Schutzkleidung und Atemschutzgeräte minimiert. Im internationalen Raum wird dabei beispielsweise auf Überdruckmasken gesetzt, die einen Eintritt von Rauchgasen in die Atemluft auch bei Undichtigkeiten verhindern sollen. In Deutschland wird diese Technik stellenweise eingesetzt, ist aber umstritten²⁵. Das Hauptaugenmerk in der Hygiene liegt allerdings auf der Zeit nach dem Einsatz / dem Durchgang in der Realbrandausbildung. Durch unverzügliches Entfernen der Kontamination auf der Haut wird die dermale Aufnahme beendet (Minimierung der Dosis) und Ingestion verhindert. Ein schnellstmögliches Duschen ist daher empfehlenswert. Gängige Praxis (in Deutschland), gerade nach dem Einsatz, ist aber lediglich das Waschen von Gesicht, Armen und Händen vor Ort. Eine quantitative Bewertung, die diese Praxis als ausreichend erklärt, ist nach heutigem Stand der Forschung nicht möglich.

Das Ablegen der Feuerschutzkleidung sollte, falls möglich, noch mit angeschlossenem Atemschutzgerät oder Maske (Filterklasse FFP 3) erfolgen, um das Inhalieren von ausgasenden Stoffen aus der Kleidung zu verhindern. An der Einsatzstelle bedeutet das, um weitere Exposition auch für andere Feuerwehrleute zu verhindern, die Bekleidung luftdicht

²⁴ Kontaminationsverschleppung bezeichnet das unbeabsichtigte Verbreiten von Verbrennungsprodukten, chemischen oder biologischen Stoffen.

²⁵ Einzelne Erfahrungsberichte erläuterten das Problem des unbemerkten Abströmens von Atemluft bei Überdruckmasken [16].

zu verpacken und nicht wie sonst vielerorts üblich im Innenraum der Fahrzeugkabine abzulegen. Auch die Bekleidung unter der Feuerschutzkleidung sollte als kontaminiert angesehen werden²⁶. Sogenannte Hygieneboards, luftdichte Verpackung und die Vorhaltung von Bekleidung (bspw. Trainingsanzügen) am Einsatzort sollten als Mindestmaß angesehen werden. Neuste Studien zeigen, dass die Kontamination der Handflächen einsatzbedingt besonders hoch ist [51]. Die Verwendung eines Hygieneboards kann diese Kontamination (von PAK) allerdings im Median nur um 54 % senken. Das Reinigen der Feuerschutzkleidung nach einer Exposition mit Wasser und Bürste kann eine Kontamination von PAK auf der Kleidung um 85 % senken. Die Kontamination wird mit jedem neuen Einsatz verstärkt [51]. Ein anschließendes Abduschen im Gerätehaus, Reinigung der Kleidung, Gerätschaften und des Fahrzeugs sowie Schwarz-Weiß-Trennung (siehe unten) sind im Sinne der Hygiene zur Minimierung der Exposition und Wiederherstellung der Einsatztauglichkeit somit unabdingbar. Poolkleidung kann dabei die Wiederherstellungsdauer verkürzen und für Akzeptanz unter den Feuerwehrleuten sorgen. Um die Dosis weiter zu minimieren gibt es inzwischen Konzepte, die Duschen und Ersatzkleidung mittels eines Gerätewagen-Logistik zur Einsatzstelle befördern [61]. Zur Hygiene gehört an der Einsatzstelle nach Kontakt mit Patient_innen auch der Infektionsschutz.

Für die Realbrandausbildung heißt Minimierung der Exposition prinzipiell das Gleiche. Mit einer möglichen Abwägung von Gefahren, Prioritäten, Kräften und Mitteln oder gar der geringen Anzahl an Einsätzen, kann in der Ausbildung allerdings nicht argumentiert werden. Gerade hier sind gesundheitsfördernde Strukturen und Minimierung der Exposition umfangreich zu gestalten. Aus- und Fortbildung ist gegenüber dem Einsatz immer besser planbar und Strukturen vor Ort einfacher zu realisieren. Auch wenn die Exposition während eines Durchgangs ggf. geringer ist (verglichen mit einem Wohnungsbrand), so ist die Dauer der Einwirkung im Laufe einer umfangreichen (mehrtägigen bzw. mehrwöchigen) Realbrandausbildung sehr viel länger. Durch den ungeklärten quantitativen Zusammenhang zwischen dermalen Aufnahme und Krebsrisiko ist auch hier eine maximale Reduktion der Exposition anzustreben. Wasch- und Reinigungsmöglichkeiten sowie Poolkleidung sind vorzuhalten. Bei der baulichen Ausgestaltung ist dabei auch auf sogenannte Schwarz-Weiß-Trennung zu achten, bei der kontaminierte Bereiche von sauberen Bereichen getrennt werden. Durch eine Dreiteilung der Bereiche können die Organisation erleichtert und die

²⁶ Auch in der Unterbekleidung wurden PCDD und PCDF nach der Realbrandausbildung nachgewiesen [48]

Hygienestandards maximiert werden. Orientierung bietet hier die Dekontamination von Einsatzkräften nach Gefahrguteinsätzen nach [62]:

- Rot: Im roten Bereich befindet sich die Realbrandausbildungsanlage, in der sich nur mit angeschlossenem Atemschutzgerät aufgehalten werden sollte (vor dem Anzünden ggf. nur mit Filtermaske (Filterklasse: FFP 3, im Folgenden nur mit FFP 3 abgekürzt).
- Gelb: Im gelben Bereich muss die Feuerschutzkleidung (FSK) abgelegt werden. Dabei sollte das Atemschutzgerät so lange wie möglich angeschlossen bleiben und anschließend zur FFP 3 gewechselt werden. Beim Ablegen, Abwerfen oder Eintüten der FSK sollten Einmalhandschuhe getragen werden.
- Grün: Im grünen Bereich befinden sich die persönliche Kleidung sowie Aufenthalts- und Essensräume. Dieser Bereich sollte durch eine Art Schleuse betreten werden, in der sich die Duschen befinden. Ein vorheriges Abwerfen der gesamten Unterbekleidung²⁷ ist im Rahmen der Hygiene empfehlenswert.

Andersherum kann das Betreten der Anlage in umgekehrter Reihenfolge passieren. Im grünen Bereich wird die Kleidung abgelegt und Unterbekleidung für den Durchgang ausgehändigt. Im gelben Bereich wird eine Filtermaske getragen und die FSK angelegt. Im Übergang zum roten Bereich wird das Atemschutzgerät angeschlossen. Abbildung 3.1 zeigt schematisch diese Einteilung.

Zusätzlich können besondere Cover für schwer zu säubernde Ausrüstung hilfreich sein. Beispielsweise kann ein Helm- oder Atemschutzgerät-Cover groben Dreck abhalten. Das Cover als auch das Gerät müssen dennoch gereinigt werden. Auch herstellende Firmen müssen hier angehalten werden, leicht auseinander zu nehmende und leicht zu reinigende Ausrüstung zu produzieren. [6, 48]

Um den Zusammenhang zwischen Exposition und Erkrankung statistisch nachweisen zu können, muss es eine spezielle Dokumentation geben. Neben dem Forschungsinteresse schreibt allerdings auch die Gefahrstoffverordnung eine Dokumentation für den Kontakt mit krebserregenden Stoffen in Form von Dauer und Höhe der Exposition für 40 Jahre

²⁷ Als Unterbekleidung ist alles anzusehen, was unter der FSK getragen wird. Das beinhaltet sowohl die geforderte Kleidung, die unter der FSK getragen wird als auch die Unterwäsche, die darunter getragen wird. Oft wird die Unterwäsche nicht gestellt. Für eine vollständige Hygiene sollte aber auch dies angedacht werden.

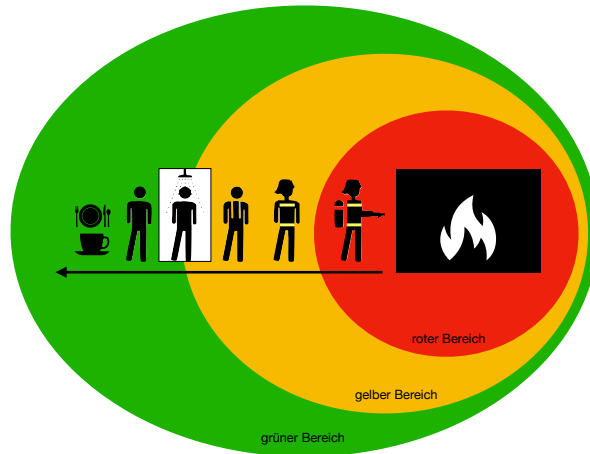


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung der Dekontaminationsbereiche als Hygienekonzept

vor. Dies gilt für freiwillige Feuerwehrangehörige wie für Berufsfeuerwehrleute. Veröffentlichungen raten schon seit langem, diverse Dokumentationen zu kombinieren. So könnte man den in der Feuerwehrdienstvorschrift 7 geforderten Atemschutznachweis mit dieser Dokumentation kombinieren. Auch Erfassungsbögen für Rentenversicherungen, Einsatz- und Personalerfassungsbögen könnten in einer zentralen Software zusammengefasst werden. Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung bietet bereits eine Dokumentation online und kostenfrei an. Gerade Feuerwehrleute, die in mehreren Feuerwehren und Hilfsorganisationen (HiOrg) als Mitglied tätig sind, sollten einen (zusätzlichen) eigenen Atemschutzpass zur zusammenfassenden Dokumentation führen. Auch dieser sollte mit Exposition ergänzt werden. [48, 54]

Medizinische Untersuchung und Gesundheitsmonitoring

Die ausreichende Fitness der AGT wird durch die arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung (G 26.3) festgestellt und belegt die generelle Tauglichkeit für die Arbeit unter Atemschutz aus medizinischer Sicht. Die Erfüllung der Anforderungen der Untersuchung kann allerdings nur als Mindestmaß angesehen werden. Die letzte Erhöhung der geforderten Leistungsfähigkeit von $2,4 \text{ W/kgKörpergewicht}$ auf $3,0 \text{ W/kgKörpergewicht}$ fand im Jahr 1994 statt. Eine Begrenzung des maximalen BMI von 30 wurde in Bayern 2008 eingeführt. Die Belastungen in der Realbrandausbildung bewegen sich wie erwähnt bei untrainierten Feuerwehrangehörigen trotz gültiger G 26 nahe und über der Ausbelastungsgrenze. Eine Förderung und Etablierung von Fitnessprogrammen und gesunder Ernährung ist daher unabdingbar. Ausbilder_innen sind meist höheren thermischen Belastungen ausgesetzt

und müssen daher besonders fit sein. Einige Autor_innen raten zu einer medizinischen Vorsorgeuntersuchung nach dem Standard G 30 (Hitzearbeitsplatz) für Ausbilder_innen.

Die oben genannten gemessenen Belastungen in der Realbrandausbildung zeigen die Notwendigkeit von Monitoring der Vitalparameter der Auszubildenden und Auszubildenden. Die Herzfrequenz spielt dabei eine entscheidende Rolle und sollte als Abbruchkriterium herangezogen werden. Es wird ein Abbruch der Übung nach einer Minute über folgender Herzfrequenz empfohlen:

$$HF = HF_{max} \cdot 0,9 \quad (3)$$

Die Messung von Körpertemperaturen gilt als sinnvoll aber schwer umsetzbar. Abbruchkriterium wären dabei Temperaturen von 38 °C bzw. 39 °C. [63–65]

Notfallkonzept

Neben dem Monitoring müssen für einen Atemschutznotfall Strukturen vorhanden sein. So muss wie in jedem Atemschutzeinsatz eine Atemschutzüberwachung vorhanden sein, die kontinuierlich den Druck (Vorrat an Atemluft), den Aufenthaltsort und die Besetzung des Trupps schriftlich fixiert. Ein Sicherheitstrupp muss zur Verfügung stehen. Dieser muss aus Atemschutzgeräteträger_innen bestehen und darf demnach auch durch andere Auszubildende gestellt werden. Wie am Einsatzort müssen auch hier Rettungsmittel vorgehalten werden. So sollten für die Versorgung eines Notfalls Ausrüstung und Personal vor Ort sein. Das Personal sollte mindestens aus einem_r Rettungssanitäter_in bestehen, welche_r neben Sanitätsmaterial auch einen Automatischen Externen Defibrillator zur Verfügung haben sollte. Sie_Er sollte aus hygienischen, belastungstechnischen und zeitlichen Gründen nicht zeitgleich als Auszubildende_r in der gleichen oder einer anderen Übung tätig sein.

Regeneration und Umfang

Nach einem Durchgang in einer Realbrandausbildungsanlage muss sich der Körper regenerieren. Die Kleidung sollte auch aus Gründen der Hyperthermie schnell ausgezogen, bei langen Strecken bereits früh geöffnet werden. Nach dem Ablegen der Ausrüstung (unter Beachtung des Hygienekonzepts) sollten sich Feuerwehrleute um ihre körperliche Regeneration kümmern. Die Herzfrequenz und die Körperkerntemperatur müssen bei hoher Belastung schnell gesenkt werden. Dafür eignen sich besondere Stühle in denen die Arme in Wasser gekühlt werden. Um der Dehydration entgegenzuwirken sollte zügig Mineralwasser getrunken werden. Insgesamt sollte im Vorhinein und während der Re-

generation mindestens 1,5 Liter Wasser getrunken werden. Falls dies vor dem Duschen geschehen sollte, müssen natürlich Hände und Gesicht gewaschen werden um Ingestion zu verhindern. Auf Rauchen sollte aufgrund der (noch höher) steigenden CO-Konzentration im Blut vorerst verzichtet werden. Eine Dusche und ein Austausch der Kleidung bleibt nötig. Die pädagogisch notwendige Nachbesprechung ist in diese Abläufe sinnvoll einzupfle- gen. Zum einen soll die Zeit bis zum Abduschen möglichst kurz sein, zum anderen soll die Nachbesprechung möglichst unverzüglich im Anschluss an die Ausbildung erfolgen. Beides ist nicht möglich und abzuwägen. Nach 60 Minuten ist der Körper weitestgehend regeneriert, die Vitalparameter wie Herzfrequenz und Körperkerntemperatur sind wieder auf Ausgangsniveau. Eine Stunde sollte somit als Mindestpausenzeit eingehalten werden.

In den Einsatzstrukturen sollten Regenerationsbereiche (auch Beobachtungszonen, engl. *rehab unit* oder *rehab zone*) zur Verfügung stehen. Sie sollten sich außerhalb der Einwirkung von Brandrauch und Rußniederschlagung befinden. Hier sollen sich Feuerwehr- leute abgeschirmt von Einsatzgeschehen und Witterungsverhältnissen regenerieren und um die Hygiene kümmern können. Auch hier sollte die um Absenkung der Temperatur, Eindämmung der Dehydration und Tachykardie, Reinigung der Haut, Gerätschaften und Wechseln bzw. Verpacken der Kleidung erfolgen. Auch wenn es dem Sparen von Material entgegensteht, reduziert das Austauschen und Rotieren von Einsatzkräften Exposition und Belastung.

Auch in der Realbrandausbildung hilft das Rotieren während der Übung, um die Wärmebelastung zu reduzieren. Um auch die längerfristigen Belastungen so gering wie möglich zu halten (vor allem auch für Auszubildende, die noch viel öfter und stärkerer Belastung ausgesetzt sind), empfehlen diverse Autoren die Anzahl der Durchgänge zu reduzieren, wie in Tabelle 3.1 zu sehen ist.

Tabelle 3.1: Empfohlene maximale Anzahl an Durchgängen pro Zeiteinheit

	pro Tag	pro Woche	pro Monat	pro Jahr
AGBF [66]	2	6	–	–
CFOA [67]	2	4	10	–
Dr. Svensson [68]	–	6	25	120
Ridder [13]	2	4-6	–	–

Die Anzahl der Durchgänge pro Tag/Woche/Monat/Jahr sollte also begrenzt werden. Die in der Tabelle zusammengefassten Empfehlungen weisen eine große Varianz auf. Fest steht, dass gerade untrainierte und unerfahrene Feuerwehrleute in der Realbrandausbildung

höheren Belastungen ausgesetzt sind. Auch Ausbilder_innen halten sich weit vorne im Container auf, haben dadurch eine stärkere thermische Belastung und sind womöglich regelmäßig in der Realbrandausbildung tätig. Auch [13] empfiehlt bei Regelmäßigkeit eine Reduzierung auf maximal vier Durchgänge pro Woche (zwei pro Tag). Die Empfehlung bietet eine gute Orientierung.

Die Dauer einer Realbrandausbildung ist sehr unterschiedlich. Während international (z.B. in Schweden oder Australien) die Realbrandausbildung ein fester und mehrwöchiger Bestandteil einer jeden Grundausbildung ist, so besteht die Spanne in Deutschland aus einzelnen Fortbildungstagen, über Wochenendseminaren bis hin zu einer ganzen Einheit in der Ausbildung. Um den in dieser Arbeit formulierten Lernzielen in Gänze gerecht zu werden, müssen die Phasen der Stufenausbildung komplett durchlaufen werden. Ein einzelnes Wochenende oder ein einwöchiges Seminar wird weder dem Umfang der Lernziele gerecht noch den zuvor genannten maximalen Durchgängen pro Zeiteinheit. Ein kontinuierliches Konzept, was nicht nach der Ausbildung endet, sondern Feuerwehrleute immer wieder in den Realbrandausbildungsanlagen trainieren lässt, ist anzustreben (siehe *lebenslanges Lernen* in Kapitel 3.3.1).

Stressmanagement

Eine proaktive Ausbildung bereitet vor und reduziert Stress von Einsatzkräften. Mit einem umfassenden und langfristigen Konzept zur Reduktion von Belastungen sinken Burnout- und PTBS-Raten. Eine zunehmende Kompetenz zur Bewältigung von Stress wird im Sinne der Stressimmunisierung durch Selbstwirksamkeitserfahrungen aufgebaut. Die Stressbelastung bei Übungen müssen daher klein und für die Auszubildenden bewältigbar sein, bevor die Anforderungen erhöht werden. Der Umgang mit Stress und potentiell traumatischen Ereignissen ist eine allumfassende Aufgabe und die_der Einzelne darf damit nicht allein gelassen werden. Haben Stressbewältigung und gesundheitsfördernde Rahmenbedingungen schon in der Ausbildung einen hohen Stellenwert, so werden Bewältigungsressourcen früh gestärkt und die Relevanz des Themas unterstrichen. [34]

Sicherheitsassistent_in

International gibt es diverse Konzepte, die auch im Einsatz eine spezielle Funktion für Sicherheit in der Einsatzleitung besetzen. Der_die Einsatzleiter_in ist im Allgemeinen

auch für die Sicherheit zuständig. Gerade bei unübersichtlichen Lagen kann diese Mehrfachbelastung zu Lasten der Sicherheit ausfallen. Durch die spezielle Funktion des_ der Sicherheitsassistent_in wird auch dann die volle Aufmerksamkeit einer Person für die Sicherheit gewährleistet. Trotz der übersichtlichen Verhältnisse und der geringeren Belastungen in der Ausbildung, haben Ausbilder_innen folgende Zusatzbelastungen: Auszubildende können aufgrund des Erfahrungsmangels ggf. nicht ausreichend für ihre eigene Sicherheit sorgen. Gerade beim Strahlrohrtraining unterrichtet die unterrichtende Personen normalerweise eine einzelne Person - alle im Blick behalten kann sie demnach nicht. Eine zweite Person zur Ausbildung ist auch aus anderen Gründen sehr empfehlenswert. So kann ein_e neue_e Trainer_in angelernt werden und die thermische Belastung für den_die Trainer_innen durch dieses Rotationsprinzip reduziert werden. [13]

Praktische Umsetzungsmöglichkeiten und Sicherheitskonzepte der untersuchten Beispiele werden in Kapitel 4.2 beschrieben.

3.3.1 Pädagogische Gesichtspunkte

Die zuvor beschriebenen Maßnahmen zum Stressmanagement stehen komplementär zum pädagogischen Ansatz der Realbrandausbildung. Die pädagogischen und psychischen Aspekte können so verbunden werden. Im Vordergrund dieser Herangehensweise steht der *Settingansatz*, der für Struktur, Empowerment, Partizipation und Vernetzung steht. Die zugehörige Pädagogik des kooperativen Erziehungsstils beschreibt das proaktive Erlernen von Kompetenzen. Auszubildende sollen Fähigkeiten erlernen, ausprobieren und die eigene Selbstwirksamkeit erfahren. Sie verstehen durch Partizipation und breite Informationsphilosophie die Taktiken und Entscheidungen der Führungspersonen. Dies fördert nicht nur das Verständnis der Sinnhaftigkeit der Entscheidung, sondern gibt den Auszubildenden die Möglichkeit mitzudenken. Eine offene Fehlerkultur führt zu einem ausgeprägten Sicherheitsfokus, der es allen Mitgliedern der Gruppe ermöglicht, Fehler und Gefahren zu erkennen, zu melden, zu beheben und im Anschluss zu evaluieren. Sie lernen dabei ihre eigenen Grenzen kennen und zu akzeptieren. Eine Feedbackkultur verbreitet Erkenntnisse und auch Wertschätzung horizontal und vertikal in der Gruppe und integriert sie in den Lernprozess. Dabei werden Bedürfnisse mitgeteilt und Bedarfe in Gruppenprozessen erörtert. Diese Herangehensweise fördert ein lebenslanges Lernen und Weiterentwickeln der Gruppe und jedes_r Einzelnen. [33, 34]

Im autoritären Stil hingegen findet sich der klare Vorteil der Geschwindigkeit, die im Einsatz oft und dann dringend benötigt wird. Traditionell wurde die Ausbildung von Feuerwehrleuten weltweit auch sehr autoritär betrieben. Dies könnte an der Ähnlichkeit zu militärischen Strukturen liegen. Unter pädagogischen und psychischen Gesichtspunkten sollte dieser Stil nicht in der Ausbildung angewandt werden. Er steht konträr zu den in Kapitel 2.2.1 definierten Lernzielen und den unter Kapitel 3.3 aufgeführten Maßnahmen zum Stressmanagement. In einer autoritären Ausbildung bleiben die Bedürfnisse des_ der Einzelnen weitestgehend unbeachtet. Dies führt zu Stress und Überlastung. Eine offene Fehler- und Feedbackkultur steht dem autoritären Stil entgegen, der im Allgemeinen mit Gehorsamkeit arbeitet. Im Verlauf kann es zu falschen Einschätzungen seitens der auszubildenden Person kommen. Auszubildende werden überschätzt und gesundheitlich gefährdet. [69]

Nach Meinung des Autors sollte dieser Erziehungsstil (und auch Führungsstil im Einsatz) aus genannten Gründen im Allgemeinen nicht angewandt werden. Die Pädagogik bietet zwischen dem autoritären und dem kooperativen Stil²⁸ einen weiteren: den autoritativen Erziehungsstil. Dabei wird nur in akuten (zeitkritischen) Situationen kompromisslos gehandelt und im Nachhinein ein (er-)klärendes Gespräch zur Nachbereitung gesucht [69]. Die Lernziele bleiben den Zielen im Einsatz identisch: Eine Person, die auch widerspricht, Rückfragen stellt, sich Gedanken über Sicherheit, Ethik und Psyche macht, die ihre Grenzen kennt und bei Erreichen dieser abbricht, ist weder ungehorsam, *psychisch labil* noch *zu schwach*, sondern kann mit richtiger Ausbildung taktisch-wertvoller, risikofreier und kompetenter als Einsatzkraft und reicher an Bewältigungskompetenzen sein (vgl. Kapitel 3.1.4).

3.3.2 Ganzheitliche Konzeptionierung

Um die ganzheitliche Betrachtung der Realbrandausbildung zu verstehen, kann man sich am sogenannten Krisenmanagementzyklus (engl. *emergency cycle*) orientieren. Dabei wird die Zeit vor und nach einer Krise, einem Einsatz oder einer Katastrophe (engl. *impact*, wörtl. Einwirkung) unterteilt, wie in Abbildung 3.2 veranschaulicht. In der ersten Phase

²⁸ Der Vollständigkeit halber muss ein weiterer Erziehungsstil erwähnt werden: der Laissez-faire Erziehungsstil. Dieser findet in der Führung von Feuerwehren aus Sicherheitsgründen keine Anwendung.

werden Maßnahmen getroffen, die eine Eintrittswahrscheinlichkeit oder Auswirkungen reduzieren (engl. *prevention/mitigation*). Zusätzlich muss es Vorbereitungen geben für den Fall, dass das Ereignis dennoch eintritt (engl. *preparedness*). Nach dem Eintritt des Ereignisses wird reagiert und die Auswirkungen werden aktiv bekämpft (engl. *response*). Ist die akute Phase vorbei, folgt die Regeneration (engl. *recovery*). Danach muss der Einsatz evaluiert werden, damit Maßnahmen weiterentwickelt werden können (engl. *development*). Diese Ergebnisse dienen als Vorbereitung auf das nächste Ereignis. Damit schließt sich der Kreislauf. Im Feuerwehrjargon gibt es dafür einen allseits bekannten Spruch: *Nach dem Einsatz, ist vor dem Einsatz*. Alle Teilbereiche und Ebenen können nach diesem Kreislauf planen und arbeiten. Während die Vorbereitung auf einen Brand im Rahmen der Ausbildung ganz klar in die Prepare-Phase einzuordnen ist, so erfüllt sie im Sinne des Stressmanagements zum Beispiel auch Präventionsmaßnahmen (Prevent-Mitigate-Phase). Auch innerhalb der Realbrandausbildung kann dieser Zyklus angewandt werden. In der Prevent-Mitigate-Phase ist die Gefährdungsbeurteilung anzusiedeln. Die Ausarbeitung des didaktischen, methodischen und organisatorischen Konzepts, bereits erfolgte Ausbildung und Fitness etc. ist der Prepare-Phase zuzuordnen. Die Durchgänge im Container stellen die Response-Phase dar. Die Regeneration, die Hygiene und Pausenzeiten stellen die Recover-Phase dar. Umfangreiche Nachbesprechungen sorgen für eine Entwicklung und mehr Kompetenzen für die nächsten Übungen (Development-Phase).

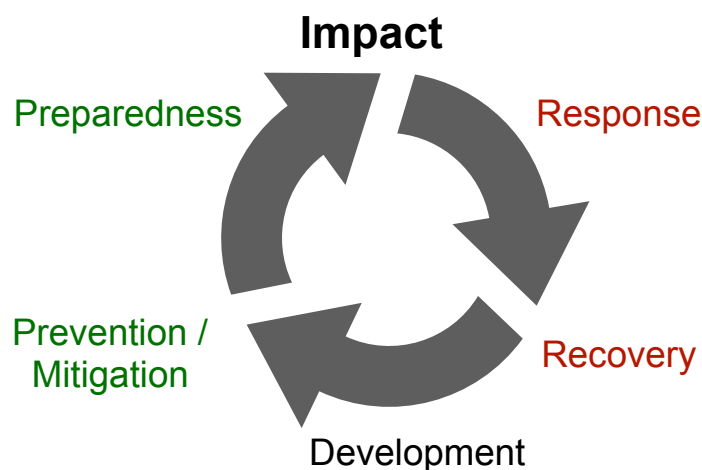


Abbildung 3.2: Krisenmanagement Zyklus

4 Vergleich internationaler Umsetzungskonzepte

Wie eingangs erwähnt, war es dem Autor möglich, unterschiedliche Arten der Realbrandausbildung kennenzulernen. Im Folgenden werden daher die kennengelernten Konzepte vorgestellt, eingeordnet und verglichen. Es ist dabei zu beachten, dass die drei Anlagen unterschiedlicher Größe sind, unterschiedlichen Konzepten und finanziellen Ausgangslagen entspringen. Eine klare Einordnung in eine Rangfolge oder gar Benotung ist daher nicht möglich. Vielmehr kann die Unterschiedlichkeit der Konzepte die Bandbreite an Möglichkeiten aufzeigen und das in Kapitel 2.4.2 erwähnte Spannungsfeld in Erinnerung rufen. Zu den Fragen der Sicherheit und der Möglichkeit einer flächendeckenden Realbrandausbildung kann diese Betrachtung Möglichkeiten und Grenzen aufzeigen. Unterteilt wird die Analyse in zwei Teile: Zunächst wird auf die didaktisch-methodischen Gesichtspunkte eingegangen, während im zweiten Teil die Hygienekonzepte und der Gesundheitsschutz vorgestellt werden. Letztere sind zwar Teil der Lernziele, bekommen in dieser Arbeit aber einen besonderen Fokus und daher auch ein eigenes Unterkapitel. Dieses beinhaltet auch die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Messungen. Eine Erläuterung zur Methodik der Analyse geht den jeweiligen Kapiteln voraus.

4.1 Methodisch-didaktische Gesichtspunkte

In den folgenden Ausführungen sollen die drei Beispiele auf ihre technische, taktische und pädagogische Umsetzung hin untersucht werden. Auf Grundlage der oben definierten Lernziele wurde der in den Anhängen auf Seite i zu findende Bewertungsbogen ausgearbeitet und dient als Grundlage für die Untersuchung. Grundlage für die Einordnung in die einzelnen Kategorien waren sowohl eigene Beobachtungen als auch selbst geführte Interviews und Gespräche. Als besonders erwähnenswert gelten dabei vor allem Abweichungen und signifikante Unterschiede in den Anlagen, die dann näher betrachtet und erläutert werden. Als *vollumfängliche* Abdeckung der Lernziele gilt das Berücksichtigen aller in dieser Kategorie im Bewertungsbogen aufgeführten Stichworte. Die Stichworte der Hygiene und des Gesundheitsschutzes werden im darauffolgenden Kapitel behandelt und bleiben daher vorerst unerwähnt.

4.1.1 QCESA - Live Fire Campus

Der Live Fire Campus (LFC) der Queensland Combined Emergency Services Academy (QCESA) ist die Realbrandausbildungsstätte der Landesfeuerwehr- und Rettungsdienstschule in Queensland, Australien und dient als zentrale Ausbildungseinrichtung der landesweit organisierten, staatlichen Feuerwehr (Queensland Fire and Emergency Services - QFES). Hier werden angehende Berufsfeuerwehrleute ausgebildet und Fortbildungen durchgeführt. Außerdem findet hier Forschung der *Scientific Unit* statt, die als feuerwehreigene Wissenschaftler_innen-Gruppe nicht nur bei Gefahrguteinsätzen hilft, sondern auch forscht. Zudem wird hier Ausbildung der *Fire Investigation Unit* betrieben, die neben der forensischen Brandursachenermittlung der Polizei als feuerwehreigene Abteilung Brandursachenermittlung betreibt, als auch Statistiken über Brandverläufe und Taktiken führt. Des Weiteren finden hier externe Fortbildungen für Sicherheitskräfte und Werkfeuerwehrleute privater Industriefirmen statt. Drei Monate dauert die Grundausbildung eines_r Auzubildenden, von denen er_sie drei Wochen am LFC verbringt. Täglich finden für die Auzubildenden drei bis 4 Durchgänge (insgesamt 40 Durchgänge) statt. Der Campus besteht neben diversen holzbefeuerten auch aus gasbefeuerten Anlagen für das Üben von Industrie- und Kleinflugzeugbränden. Zusätzlich gibt es einen mit Benzin auslaufenden, brennenden Tankwagen. In der folgenden Betrachtung wird es lediglich um die Übungsanlagen für das Training in der Innenbrandbekämpfung gehen.

Die Ausbildung findet entlang eines Stufenkonzepts nach Theorie und praktischer Grundlagenausbildung statt. In den ersten Durchgängen liegt der Fokus auf Brandentwicklung, Thermik, Schwerkraftströmung und dem allgemeinen Ziel der Wärmeerfahrung. Diese Lernziele der Phase I werden in 40-Fuß-Containern ohne abgesetzten oder abgetrennten Brandraum (Phase-II-Containern, vgl. Kapitel 2.3.1) vermittelt. Die Lernziele der Phase II werden vollumfänglich und jene der Phase III (Brandphänomene) teilweise in diesen Phase-II-Containern vermittelt. So wird die Rauchdurchzündung darin simuliert, die Abbildung einer Rauchexplosion findet nicht real statt, sondern lediglich in Form eines Videos. Um die Veränderung der Brandverläufe zu demonstrieren, werden zwei 10-Fuß-Container mit unterschiedlicher Einrichtung (früher: rein Holz, heute: Verwendung von Plastik und Elektronik) entzündet und beobachtet.

Die Lernziele der Phase IV werden in unterschiedlichen Kombinationen und Variationen von Anlagen der Phase IV trainiert. So sollen L- oder T-förmig angeordnete Container

verschiedene Wohnungen simulieren. Diese haben diverse Türen, Tore und Fenster, mit denen Türprozeduren, gewaltsame Tür- und Toröffnung, Ventilation, Suchen und Retten von Personen und Schlauchmanagement geübt werden können. Die Anwendung von Sonderlöschgerät wie Druckluftschaum (DLS - engl. *compressed air foam system - CAFS*) und das *Cold Cut System COBRA* kann hier geübt werden.

Komplexere Geometrien aus zum Teil mehrstöckigen Container-Kombinationen bilden den Übergang zur Phase V. Zunehmend werden nun mehrere Trupps eingesetzt und taktische Maßnahmen wie Ventilation und Antiventilation (allerdings keine Verwendung von Rauchvorhängen) trainiert. Die Anforderungen bezüglich Kommunikation (Funk), Zusammenspiel zwischen den Trupps und Schlauchmanagement werden erhöht und Atemschutzunfälle zunehmend in die Szenarien eingebaut. Abschluss findet das Taktiktraining im Brandhaus, das verrauchert werden kann.

Das Lernziel Stressmanagement beschränkt sich in dieser Trainingsanlage auf den stufenweisen Aufbau der Ausbildung (vgl. Kapitel 2.2.1). Erweiternde Maßnahmen im Sinne der Primärprävention oder Stressimmunisierung werden an dieser Stelle nicht vermittelt. Ein proaktives Lernen, wie in Kapitel 3.3.1 beschrieben, ist nur begrenzt umgesetzt. Die Auszubildenden bekommen nach jedem Durchgang ein Feedback und können ihre eigene Leistung evaluieren. *Human Factors* werden berücksichtigt und in die Sicherheitskonzepte eingebaut. So gibt es zum Beispiel Sicherheitsassistent_innen (engl. *safety officer*), die neben der_in dem Trainer_in für die Sicherheit der Auszubildenden zuständig sind. Eine ausgeprägte Fehlerkultur, wie in den Lernzielen definiert, kann allerdings nicht festgestellt werden. Es herrscht ein autoritärer Stil vor, welcher nicht zuletzt dem engen Zeitplan geschuldet ist. Diverse Prüfungen in der Zeit am LFC setzen die Auszubildenden zusätzlich unter Druck. Ein proaktives Lernen im Sinne von Beteiligung und Ausbildung auf Augenhöhe kann demnach nicht umgesetzt werden. Ein Sicherungstrupp, Atemschutzüberwachung und Erste-Hilfe Material (inkl. AED) als auch Rettungsdienstpersonal am Hauptcampus sind durchgängig erreichbar. Ein spezielles Atemschutznotfalltraining findet am LFC nicht statt. Auf zwei auszubildende Personen (ein_e Sicherheitsassistent_in und ein_e Trainer_in) kommen während der Realbrandausbildung vier Auszubildende - bei Durchgängen zu Demonstrationszwecken können das teilweise auch acht sein.

Die Ausbildung der Trainer_innen gliedert sich in diverse Abschnitte. Voraussetzung ist neben einer umfangreichen Erfahrung und Dienstjahren, das mehrjährige Begleiten der

Ausbildung als *safety officer*. Nach diversen Prüfungen und einem weiteren Kurs können sie dann zum_r Trainer_in (engl. *instructor*) befördert werden und als Realbrandausbilder_in ausbilden.

Die nur bedingte Übertragbarkeit auf reale Einsätze wird fortwährend pädagogisch vermittelt. Die Wärmebildkamera wird sowohl im Training als auch zu Evaluationszwecken gebraucht. Jeder Trupp hat während der Ausbildung ein (digitales) Funkgerät dabei. Die Umweltbelastung dieser Anlage ist als verhältnismäßig hoch einzustufen. Nur einige der Übungen finden in Containern statt, die in einer Halle mit Rauchgasreinigung stehen. Der Großteil der Anlagen befindet sich im Freien und wird dort mit Pressspanplatten befeuert. Eine Verbrennung von Gummi (Autoreifen) oder Flüssigbrennstoff findet hingegen in den Containern nicht statt. Lediglich der auslaufende Tankwagen (Benzin) und die Demonstration von neuen Brandverläufen (Plastik) bilden davon Ausnahmen. Eine Löschwasserrückhaltung findet nicht statt. Gasbefeuerte Anlagen - außer der Industriebandanlagen - gibt es auf dem LFC bislang nicht. Eine mobile gasbefeuerte Anlage für Fortbildungszwecke und ein Modellprojekt zur Ausbildung mittels *virtual reality* ist in Planung. Außerdem plant QFES jährliche Fortbildungen für Berufsfeuerwehrleute. Das ist bisher mit der Auslastung des LFC für die Ausbildung nicht möglich.

4.1.2 FRTC Feuerwehr Frankfurt

Das Feuerwehr- und Rettungstrainingscenter (FRTC) der Feuerwehr in Frankfurt am Main bildet angehende Berufs- und freiwillige Feuerwehrleute aus und hält die jährliche Fortbildung für Berufsfeuerwehrleute ab. Letzteres ist ein zweitägiges Seminar, in dem neben einem Durchgang Realbrandausbildung, Theorie vermittelt, ein Atemschutznotfalltraining durchgeführt und der jährliche Streckendurchgang²⁹ absolviert wird. Neben den Anlagen für die Brandbekämpfung im Innenangriff gibt es u. a. eine Bahnübungsanlage zum Beüben von technischer Hilfeleistung und Brandbekämpfung im U-Bahn-System von Frankfurt. Für die Ausbildung der Berufsfeuerwehrleute stehen 20 Wochen am FRTC zur Verfügung. Insgesamt durchläuft ein_e Auszubildende_r bis zu acht Durchgänge in der Realbrandausbildung, davon vier in einer holzbefeierten und vier in einer gasbefeierten Anlage.

Die Anlagen und Konzepte des FRTC decken sich ebenfalls mit dem aus den Lernzielen

²⁹ *Streckendurchgang* steht hier als Synonym für Belastungsübung nach FwDV 7 [20].

abgeleiteten Stufenkonzept. So werden die Lernziele der Phasen I-III durch die Anlagen in der Realbrandhalle (RH) abgedeckt. In dieser befinden sich am FRTC die komplette Anlage der holzbefeuerten Container. 13 miteinander verbundene, kombinierte Container bilden diese Anlage. Die Lernziele der Wärmeerfahrung und die Rauchdurchzündung werden in einem Container der Phase II (hier auch Demo-Container genannt) dargestellt. Eine Rauchexplosion wird auch in Frankfurt nur in Form von Videos gezeigt. Die Techniken der Raumkühlung, Rauchkühlung und der direkten Brandbekämpfung werden in der RH lediglich in ihrer Anwendung vorgestellt. Komplexe Geometrien mit diversen Containern, unterschiedlichen Räumen, Treppen, Türen und Fenstern sowie eine aus sechs Containern (drei in der Breite, zwei in der Höhe) kombinierter Raum stehen in der RH zur Verfügung. In dieser letzten Geometrie (hier auch *large volume cell* genannt) befindet sich ein Brandraum, diverse Ventilationsmöglichkeiten, eine Tür auf Bodenebene sowie eine Treppe mit Tür nach draußen im Raum. Hier können Brand- und Rauchentwicklungen in einem größeren Raum beobachtet werden sowie Ventilationsbedingungen ausprobiert werden. Gerade die spezielle Situation des Kellerbrandes kann in dieser Anlage beobachtet und geübt werden. Die kompletten Container befindet sich in einer Halle, die über eine industrielle Rauchgasreinigungsanlage verfügt. Die Verbrennungsprodukte der verbrannten Spanplatten sind komplett zu bereinigen, da sich das FRTC in einem Wohngebiet befindet. Es finden vier Durchgänge für Auszubildende in der RH statt.

Neben den holzbefeuerten Anlagen in der RH gibt es im Nebengebäude mehrere gasbefeuerte Anlagen, die in Frankfurt mit Brandsimulationsanlage (BSA) beschrieben werden. Sie dienen zur Abdeckung der Phasen IV und V. Im Keller befindet sich ein Raum, in dem mittels Flüssiggas-Einspritzung eine Rauchdurchzündung simuliert und bekämpft werden kann. Die Einspritzung in der Flüssigphase sorgt hierbei für ein besonders realistisches Flammenbild. Durch den ausbleibenden Rauch kann man zwar von einer gewissen Realitätsferne sprechen, allerdings ist durch die volle Sichtbarkeit der Flammen eine direkte Einsicht über den Löscherfolg der eigenen Maßnahmen gegeben. In dem Gebäudekomplex der BSA befindet sich ein nachgebauter Straßenzug mit diversen Gebäuden, um Einsatzszenarios abzubilden. Teil der Ausstattung sind hier flexible, gasbefeuerte Brandstellen. Hier werden Lernziele wie Schlauchmanagement, Suchen und Retten, Übung in Einsatzstärke und andere Ziele der Phasen IV und V vollumfänglich trainiert. In der BSA finden 4 Durchgänge für die Auszubildenden statt.

Das Lernziel des Stressmanagements wird durch den Stufenaufbau der Realbrandausbildung und das proaktive Lernen abgedeckt (Techniken des Stressmanagements bspw. Stressimmunisierung sind nicht in die Realbrandausbildung integriert). Eine umfangreiche Fehler- und Feedbackkultur ist vollumfänglich in die Konzepte integriert und wird von beiden Seiten (Trainer_innen und Auszubildenden) verstanden und angewandt. Dies begünstigt zusätzlich einen reflektierten und selbstkritischen Umgang mit Stress. Die Wärmebildkamera wird verwendet, allerdings nur als taktisches Werkzeug, nicht zur Evaluation der eigenen Wirksamkeit. Allerdings ist die Sichtbarkeit der eigenen Löscheffektivität durch die Rauchdurchzündungssimulation der BSA gegeben. Die Sicherheitsstruktur in Frankfurt ist wie folgt ausgeprägt. Zum einen wird pro Tag nur ein Durchgang in der RH durchgeführt und der darauffolgende Tag zum Abklingen der Anlage und Reinigen der Ausrüstung genutzt. Maximal dreimal pro Woche findet somit ein Durchgang statt. Für jede einzelne Person soll bei fünf Durchgängen in einem Monat das Maximum erreicht sein. Eine Vitalparameterüberwachung findet nicht statt, da die Ausbildungsphilosophie in Frankfurt nicht auf besonders hohe körperliche oder thermische Belastung abzielt. Eine Atemschutzüberwachung und das Vorhalten eines Sicherungstrupps finden nur bei Angriffübungen Anwendung. Konzepte und Equipment (insbesondere AED) zur Erstversorgung sind vorhanden. Der öffentliche Rettungsdienst ist direkt an der auf dem Gelände befindlichen Feuerwache stationiert - Rettungsdienstpersonal wird demnach nicht gesondert vorgehalten. Durch die bereits erwähnte Rauchgasreinigungsanlage ist die Umweltbelastung als gering einzustufen. Außerdem gibt es eine Löschwasserrückhaltung, die das kontaminierte Löschwasser auffängt und bis zum Abtransport (Sondermüll) speichert.

Auf 12 bis 15 Auszubildende kommen in der RH drei bis fünf Trainer_innen. Um Realbrandausbilder_in im FRTC zu werden, muss man Ausbilder_in an der Akademie sein und diverse interne Durchgänge und Weiterbildungen absolviert haben. Die Übertragbarkeit der Ausbildungsrealität auf die Einsatzrealität wird pädagogisch vermittelt. Die geringe Brandlast veranschaulicht das besonders. Die höchste Wärmefreisetzungsrate in den Anlagen des FRTC wird durch die Rauchdurchzündungssimulation der BSA hervorgerufen. Diese 1 MW sind noch immer nur ein Bruchteil der HRR eines durchschnittlichen Zimmerbrandes von 12 MW (siehe oben). Neben der Ausbildung und den genannten jährlichen Fortbildungen können die Freiwilligen Feuerwehren der Stadt Frankfurt am Main die Anlagen des FRTC für Übungszwecke nutzen.

4.1.3 Dräger Realbrandausbildung

Dieses Kapitel ist in dieser Version gesperrt (mehr dazu im Sperrvermerk auf Seite VI.)

4.2 Gesundheitsschutz und Hygienekonzepte

Die zu den Beispielen gehörenden Hygienekonzepte werden im folgenden Kapitel vorgestellt. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Ausbildungskonzepte, Zielsetzungen und Philosophien kann eine Einstufung oder gar Benotung auch hier nicht erfolgen. Vielmehr dient dieser Vergleich, um Konzepte zu überdenken und weiterzuentwickeln. Wie bereits umschrieben, ist es nicht möglich, eine Aussage darüber zu treffen, welche Hygienemaßnahmen ausreichend sind oder einem Mindestmaß entsprechen. Die in dieser Arbeit bereits getroffene Arbeitshypothese ist: Ein Zusammenhang zwischen Exposition krebserregender Stoffe und erhöhtem Krebsrisiko ist naheliegend, daher anzunehmen und Maßnahmen dagegen zu treffen (siehe Kapitel 3.1.1). In Kapitel 3.3 wurde daraufhin ein Konzept vorgestellt, dass die Realbrandausbildungsanlage oder Einsatzstelle in drei geografische Bereiche teilt: den roten, gelben und grünen Bereich. Beim Betreten der Anlage werden die Bereiche grün bis rot durchlaufen, mit denen verschiedene Regeln und Maßnahmen verbunden sind. Beim Verlassen werden die Bereiche in umgekehrter Reihenfolge mit differierenden Maßnahmen und Regeln passiert. Je eindeutiger die Bereiche abgetrennt, die Regeln formuliert und Maßnahmen organisiert sind, desto weniger Kontaminationsverschleppung kann es geben. Je schneller diese Maßnahmen erfolgen, desto kürzer und damit weniger sind Einsatzkräfte der Exposition ausgesetzt. Auf Grundlage diverser Empfehlungen (u.a. der Grün-gelb-rot-Trennung), eigener Beobachtungen und abgeleiteter Maßnahmen wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Hygienekreislauf entwickelt, der die Hygienemaßnahmen einer zeitlichen Abfolge und den Dekontaminationsbereichen zuordnet. Dieser soll für die Analyse der Beispiele als Muster dienen. Schematisch wird dieser Kreislauf in Abbildung 4.1 dargestellt. In dieser Darstellung werden alle Maßnahmen zur Hygiene mit der Methodik der Ausbildung als Ereignisse in einen zeitlichen Ablauf gebracht. Visualisiert ist dabei zusätzlich, in welchen Bereichen die Ereignisse stattfinden (Farbe) und welche Maßnahmen mit der Infrastruktur vor Ort abgedeckt sind (Linie/Pfeil).

Zunächst wird die Anlage demnach betreten und die gesamte Kleidung (ob Dienst- oder Privatkleidung) abgelegt und gegen Unterbekleidung aus einem Pool³⁰ getauscht.

³⁰ Als Poolkleidung wird die in allen Größen und in ausreichender Anzahl vorgehaltene Kleidung mit entsprechender Funktion und Qualität bezeichnet.

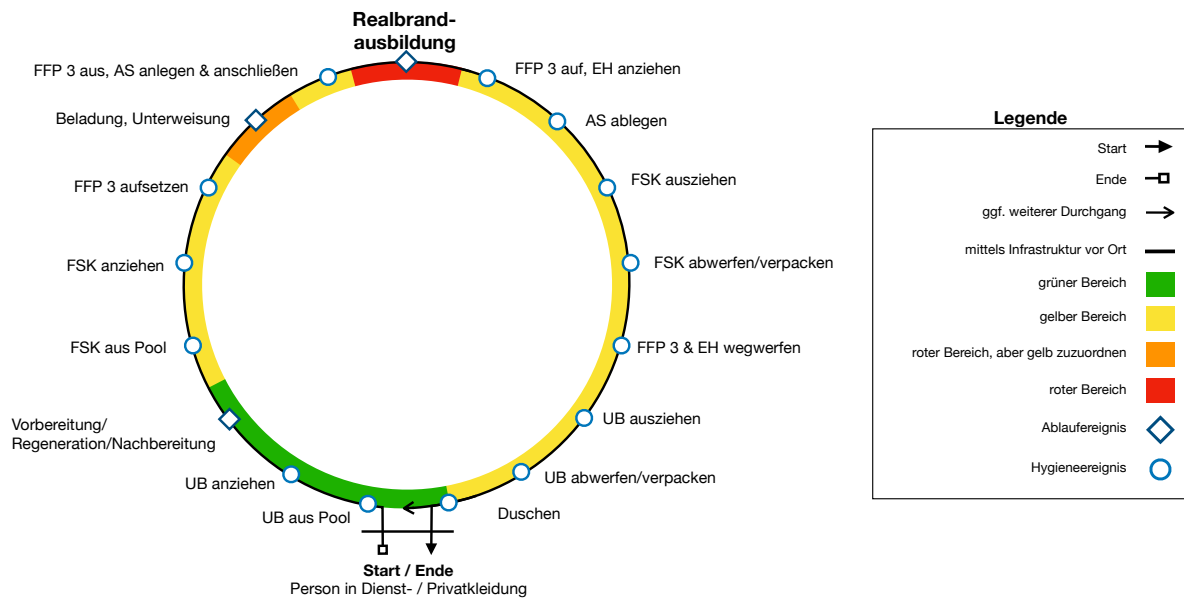


Abbildung 4.1: Schematische Darstellung des Muster-Hygienekreislaufs

Dies geschieht im grünen Bereich. Die Unterbekleidung (UB) besteht aus alldem, was unter der Feuerschutzkleidung (FSK) getragen werden muss. Im Allgemeinen ist das neben der Unterwäsche noch eine weitere Lage und kann zum Beispiel eine einfache Arbeitsbekleidung aus Baumwolle sein. Vorbereitungen, theoretische Einheiten, die Aufnahme von Flüssigkeit und Nahrungsmitteln und sonstiger Aufenthalt auf dem Gelände der Realbrandausbildung gehören in den grünen Bereich. Im gelben Bereich wird die FSK (auch im Poolsystem organisiert) ausgehändigt und angezogen. Bei den meisten Anlagen ist eine Sicherheitsunterweisung und bei holzbefeuerten Anlagen ein voriges Beladen des Containers nötig. Hierfür sollte er seit dem letzten Durchgang ausreichend belüftet worden sein, sodass genug Sauerstoff zur Verfügung steht. Die Anlage selbst bildet den roten Bereich, in dem durchgängig umluftunabhängiger Atemschutz (AS) zu tragen ist. Während der Sicherheitsunterweisung und Beladung brennt die Anlage nicht, weswegen zwar geografisch der rote Bereich betreten wird, aber nicht die Bedingungen des roten Bereichs (u. a. fehlender Sauerstoff, tödliche Atmosphäre) vorherrschen. In der Abbildung wurde daher auf die Farbe Orange zurückgegriffen. Es kann in der Regel hierbei lediglich eine FFP 3 verwendet werden. Ideal wäre schon dabei AS zu tragen. Ab nun gilt die Kleidung als kontaminiert und es sollte daher die FFP 3 durchgehend getragen werden. Zurück im gelben Bereich wird das Atemschutzgerät vorbereitet, angelegt und die FFP 3 erst abgezogen, wenn die Maske des Atemschutzgeräts aufgesetzt und unverzüglich angeschlossen wird. Unter

umluftunabhängigem Atemschutz findet nun die Realbrandausbildung (im roten Bereich) statt.

Nach dem Durchgang werden im gelben Bereich die Handschuhe abgelegt und Einmalhandschuhe (EH) angezogen. Die Zeit zwischen dem Maske-Ablegen und FFP 3-Anziehen gilt es so kurz zu halten, dass die Luft dazwischen angehalten werden kann. Je nach Marke und Bauart des Lungenautomaten, ist es nicht nötig, die Komponenten zu trennen, sondern lediglich das Abströmen bei Überdruckmasken durch Betätigung des Abschaltknopfes zu stoppen. Nun wird die gesamte FSK abgelegt und umgehend abgeworfen³¹. Sobald die gesamte FSK und Ausrüstung abgeworfen und abgegeben worden sind, sollten die FFP 3 und die Einmalhandschuhe entsorgt und der gelbe Bereich verlassen werden. Um wieder in den grünen Bereich zu gelangen, durchläuft man ein Schleusensystem. In einer Umkleide im gelben Bereich wird die UB abgelegt und abgeworfen. Eine Tür führt in eine Dusche, in der Hautkontaminationen abgeduscht werden. Idealerweise sind auch die Handtücher in einem Poolsystem organisiert. Hinter der Dusche befindet sich die Umkleide im grünen Bereich, in der wahlweise die Privat- oder Dienstkleidung (beim Verlassen der Anlage) oder neue UB (bei einem weiteren Durchgang) aus dem Pool genommen und angezogen werden. Erst danach findet eine umfangreiche Nachbereitung und Regenerationsphase im grünen Bereich der Anlage statt.

Die beschriebenen Maßnahmen sollen die Exposition von gesundheitsschädlichen Stoffen wie bspw. PAK minimieren. Geeignet sind dabei alle Maßnahmen, die Expositionshöhe und/oder Expositionsdauer reduzieren. Diese zwei Parameter skizziert die Abbildung 4.2. Ein Verschieben der Nachbesprechung auf die Zeit im grünen Bereich verkürzt nicht nur die Dauer, in der die Teilnehmenden Ausgasungen ausgesetzt sind und senkt die Gefahr der Hand-Mund-Ingestion. Vor allem verkürzt es die verstreichende Zeit zum Abduschen, bis zu dem sich Stoffe auf der Haut ablagern und dermal aufgenommen werden können. Die Aufenthaltsdauer im roten Bereich wird sich weder in Einsätzen noch in der Realbrandausbildung auf absehbare Zeit signifikant ändern. Höhe und Dauer der Exposition lassen sich also nur im gelben Bereich reduzieren. Bauliche Maßnahmen können zur Verkürzung von Wegen beitragen. Dabei ist insbesondere auch auf die Kreisläufe des Equipments und der Kleidung zu achten. Alles Equipment muss gereinigt werden, Atemschutzflaschen

³¹ Der Abwurf bezeichnet die Sammelstelle von Poolkleidung zur Reinigung und Aufbereitung für eine nächste Verwendung.

müssen gefüllt und geprüft und FSK, UB und Handtücher müssen fachgerecht gewaschen werden. Diese Arbeiten sollten auf dem Gelände im Gelbbereich stattfinden, um Kontaminationsverschleppung zu vermeiden. Jedoch sollten diese Arbeiten nicht im direkten Anschluss an die Realbrandausbildung durch die Auszubildenden durchgeführt werden, da auch damit die Zeit bis zum Abduschen und damit die Dauer der Exposition vergrößert wird. Personen, die diese Arbeiten durchführen, haben ebenso auf Hygiene zu achten.

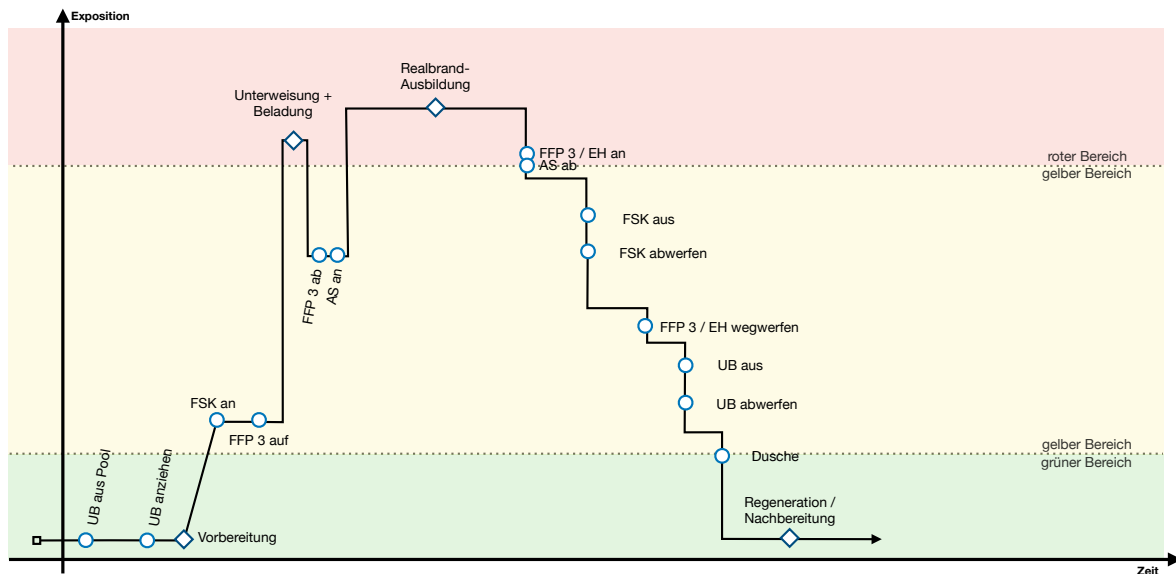


Abbildung 4.2: Skizzierte Exposition über die Zeit

In den folgenden Ausführungen werden die Beispiele mit diesem Muster verglichen und mögliche Verbesserungen aufgezeigt. Gerade bei mobilen Varianten der Realbrandausbildung stellt sich eine ausgeprägte Hygienebetrachtung als schwierig umsetzbar dar. Hierbei werden mögliche Verbesserungen herangezogen, die sich vor allem für Einsatzsituationen eignen. Inwiefern es vertretbar ist, diese Konzepte in der Realbrandausbildung anzuwenden, kann diese Arbeit nicht klären. Zielsetzung kann dabei nur sein, vorhandene Konzepte hinsichtlich ihrer Hygiene zu verbessern. Ein Maximum im Sinne des Muster-Hygienekreislaufs ist anzustreben.

4.2.1 QCESA - Live Fire Campus

Um das Hygienekonzept am LFC mit dem Muster-Hygienekreislauf vergleichen zu können, wird auf Abbildung 4.3 zurückgegriffen. Auch hier sind die verschiedenen Bereiche farblich markiert. Eine Linie/Pfeil verbindet die Hygiene- und Ablaufereignisse. Alle Punkte, die

sich mit dem Muster-Hygienekreislauf decken, sind mit einem Haken zusätzlich markiert. Hygieneereignisse, die durch das Konzept nicht abgedeckt werden, sind weder durch die Linie verbunden noch abgehakt. Zusätzliche Hygieneereignisse sind farblich abgehoben und räumlich im Kreisinneren platziert.

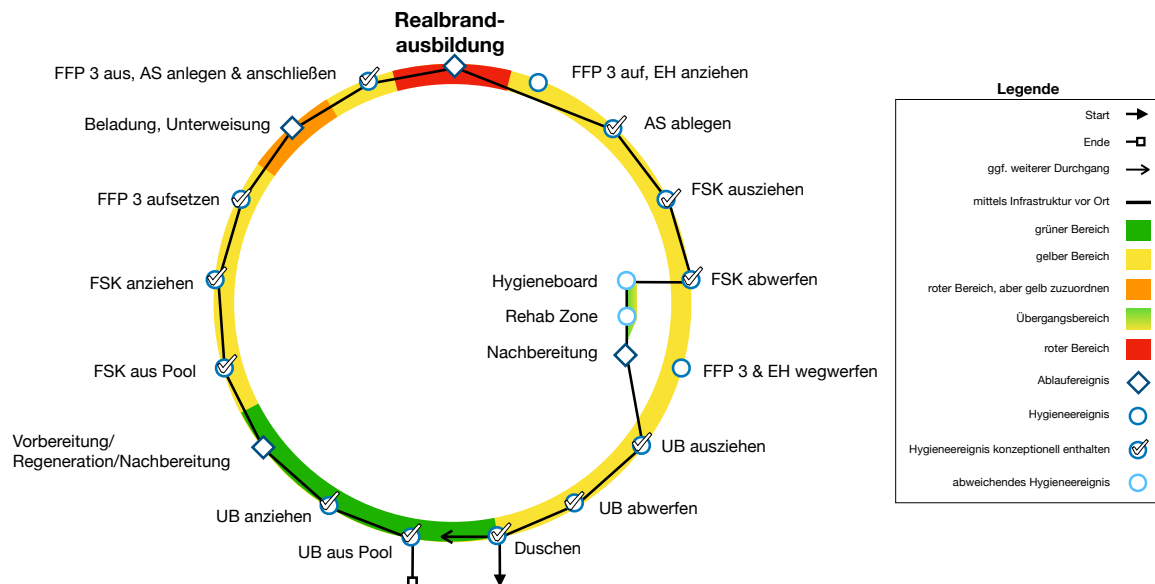


Abbildung 4.3: Hygienekreislauf am LFC der QCESA

Zunächst werden auch im LFC die Privatkleidung abgelegt und UB (bis auf Unterwäsche) aus einem Pool angezogen. Es handelt sich hierbei um eine klassische *Blau-mann*-Arbeitsbekleidung. Vorbereitung, Theorie und Nahrungsaufnahme finden in einem Aufenthaltsraum im grünen Bereich statt. Im Übergang zum gelben Bereich wird FSK aus einem Pool genommen und angelegt. Unter Schutz von FFP 3 wird eine Sicherheitsunterweisung im Container durchgeführt. Danach wird das Atemschutzgerät angelegt und die Realbrandausbildung durchgeführt.

Nach dem Durchgang wird auf die Verwendung von Einmalhandschuhen und FFP 3 verzichtet. Stattdessen wird auf das möglichst schnelle Ablegen des AS und der FSK geachtet. Dies und auch der nächste Schritt hat vor allem klimatische Gründe. Wegen der hohen Temperaturen in Australien ist das Hitzestressrisiko größer. Um dem entgegenzuwirken wird an dieser Stelle eine kurze Pause zur Absenkung der Temperatur eingefügt. Durch Waschen der Hände und des Gesichts soll eine Flüssigkeitsaufnahme ermöglicht werden. Diesen Bereich betitelt der Autor als *Übergangsbereich*, da hier - im Gegensatz zum gelben Bereich - getrunken werden darf. Die kurze Pause und Nachbereitung findet in klimatisierten Räumen statt, die mit speziellen Stühlen zur Unterarmekühlung ausgestattet sind. In

der Abbildung wird dieser Raum mit *rehab zone* beschrieben. Erst im Anschluss daran wird die Unterbekleidung abgelegt, abgeworfen und sich abgeduscht. Wieder im grünen Bereich wird frische UB angelegt, bevor es Zeit ist für die umfangreiche Nachbereitung, Regeneration, Pause, Mahlzeit etc. 12 der 14 Hygieneereignisse des Muster-Hygieneplans werden mit diesem Konzept erfüllt. Klimatisch bedingt musste hier ein Sonderweg gegangen werden.

Reinigungsmöglichkeiten und Atemschutzwerkstätten befinden sich auf dem LFC im gelben Bereich. Techniker_innen arbeiten den Auszubildenden zu, sodass Expositionszeiten reduziert werden. Lediglich Stiefel und Helme (Cover und Nackenschutz abnehmbar) müssen selbständig gesäubert und können nicht abgeworfen werden.

Inwiefern auch das Abduschen zur Vorbeugung von Hitzestress verwendet werden kann, ist dem Autor nicht bekannt. Es wäre im Sinne der Hygiene anzustreben, die Zeit in der *rehab zone* und der Nachbesprechung zu minimieren. Die Verwendung von FFP 3 und Einmalhandschuhen nach dem Durchgang ist zu empfehlen. (Ein schematischer Graph der Exposition über die Zeit im Vergleich zum Muster-Hygienekreislauf befindet sich im Anhang ab Seite vi, Abbildung 1.) Die empfohlene maximale Anzahl von Durchgängen pro Tag, Woche und Monat werden am LFC mit bis zu 4 pro Tag und 40 während der gesamten Realbrandausbildung weit übertroffen. Die Belastungen für Trainer_innen und Auszubildende sind immens und gerade bei den klimatischen Verhältnissen als zu stark anzunehmen. Eine deutliche Reduzierung wäre aus Perspektive des Gesundheitsschutzes empfehlenswert.

4.2.2 FRTC Feuerwehr Frankfurt

Die Hygienekonzepte am FRTC in Frankfurt am Main befolgen einen sehr ähnlichen Kreislauf, der in Abbildung 4.4 dargestellt ist.

Beim FRTC müssen Feuerwehrangehörige ihre Unterbekleidung selbst mitbringen. Die Vorbereitung findet im Vorhinein in den Schulungsräumen des FRTC statt. Nach dem Anziehen der UB geht es in einen Umkleideraum im gelben Bereich der Anlage. Hier wird die FSK angezogen und das AS vorbereitet. Bisher ging es mit FSK und FFP 3 in die Anlage, um Beladung und Sicherheitsunterweisung durchzuführen. Im Anschluss wurde erst das AS angelegt und im roten Bereich die Realbrandausbildung durchgeführt.

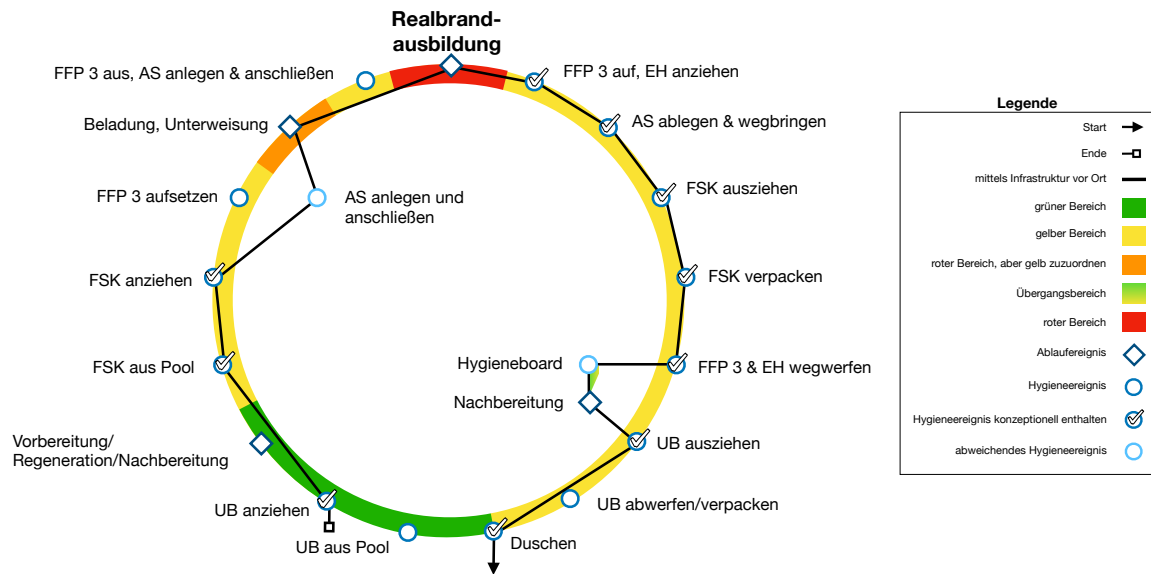


Abbildung 4.4: Hygienekreislauf am FRTC

Inzwischen (Stand: 07.03.2018) werden zum Beladen der Anlage bereits Atemschutzgeräte getragen. Die Abbildung 4.4 wurde diesem neuen Vorgehen entsprechend angepasst.

Nach dem Durchgang wird darauf geachtet, dass FFP 3 und EH unverzüglich angelegt werden. Zunächst muss nun das AS zur Atemschutzwerkstatt gebracht werden. Nach dem Eintüten der FSK und dem Reinigen der Ausrüstung wird in einem Nebenraum die Nachbesprechung durchgeführt. Dabei darf, sofern man sich die Hände gewaschen hat, getrunken werden. Dieser Bereich wird auch hierbei als *Übergangsbereich* betitelt. Die zeitliche Einordnung der Nachbesprechung in den Ablauf hat pädagogische und organisatorische Gründe. Im grünen Bereich fällt das Umziehen und Verpacken der UB in den Verantwortungsbereich jedes_r Einzelnen. Eine klare Abgrenzung zwischen gelben und grünen Bereich ist nicht gegeben (keine Schleuse). Im Anschluss wird noch vor Ort geduscht, bevor die Teilnehmenden in die Pause gehen. Ein zweiter Durchgang findet beim FRTC in der Regel nicht statt. Reinigungsmöglichkeiten für die FSK befinden sich auf dem Gelände des FRTC. In Wäschesäcken werden sie dort hingebacht. Die nächste Atemschutzwerkstatt befindet sich an der Feuerwache, zu der die Auszubildenden ihre Atemschutzgeräte noch vor dem Ablegen der FSK bringen.

Der pädagogische Mehrwert der Nachbesprechung vor dem Duschen kann durch den Autor nicht bewertet werden. Im Sinne der Hygiene sollten die Zeiten vor der Dusche minimiert werden. Im Fall des FRTC sind dabei verhältnismäßig lange Wegstrecken ein

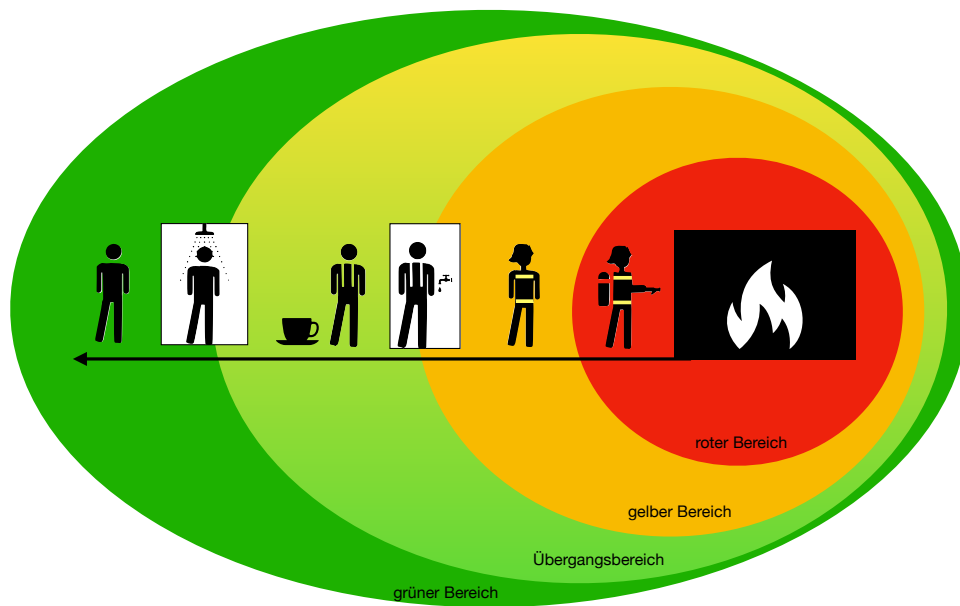


Abbildung 4.5: Hygienebereiche am FRTC

Zeitfaktor. Nach der Realbrandausbildung, dem Abziehen der Maske und dem Aufsetzen der FFP 3 muss zunächst ein Spaziergang zur Atemschutzwerkstatt unternommen werden, um das Atemschutzgerät abzugeben. Die Kontaminationsverschleppung ist an der frischen Luft und daher als marginal anzusehen. Dennoch verlängert dieser (baulich bedingte) große Kreislauf der Atemschutzgeräte die Aufenthaltsdauer im gelben Bereich deutlich. Die Auszubildenden sind in dieser Zeit noch immer den Ablagerungen auf der Haut exponiert. Die Umkleiden und die Dusche sind nicht in der empfohlenen Reihenfolge des Musterbeispiels angeordnet und bilden somit keine Schleuse. Die Abbildung 4.5 zeigt die Hygienebereiche am FRTC, die sich zum Teil überlappen, also nicht klar abgegrenzt sind. Das Nichtvorhandensein von Poolunterbekleidung und -handtüchern wäre ein weiterer Punkt, der als zum Muster-Hygienekreislauf abweichend zu bezeichnen ist. (Ein schematischer Graph der Exposition über die Zeit im Vergleich zum Muster-Hygienekreislauf befindet sich im Anhang ab Seite vi, Abbildung 2.) Insgesamt stimmen 9 von 14 Hygieneereignisse mit dem Muster-Hygienekreislauf überein. Dabei ist zu beachten, dass mindestens zwei weitere Hygieneereignisse, mit dem neuen Konzept des Beladens unter AS, *übererfüllt* werden. In Folge stimmen mindestens 11 von 14 mit dem Muster-Hygienekreislauf überein. Das Konzept ist in ständiger Überarbeitung und die Feuerwehr Frankfurt plant weitere umfangreiche Untersuchungen zum Thema.

4.2.3 Dräger Realbrandausbildung

Dieses Kapitel ist in dieser Version gesperrt (mehr dazu im Sperrvermerk auf Seite VI).

4.3 Durchgeführte Messungen

Dieses Kapitel ist in dieser Version gesperrt (mehr dazu im Sperrvermerk auf Seite VI).

4.3.1 Fehlerbetrachtung

Dieses Kapitel ist in dieser Version gesperrt (mehr dazu im Sperrvermerk auf Seite VI).

4.3.2 Bewertung

Dieses Kapitel ist in dieser Version gesperrt (mehr dazu im Sperrvermerk auf Seite VI).

5 Handlungsempfehlung

Auf Basis der erarbeiteten Grundlagen, der definierten Lernziele, des entwickelten Muster-Hygienekreislaufs und der Beobachtungen werden im Folgenden Handlungsempfehlungen formuliert. Diese richten sich in erster Linie an Hersteller_innen und Betreiber_innen von Realbrandausbildungsanlagen. Die Verantwortung zur Verbreitung und Ausgestaltung der Realbrandausbildung findet auf diversen Ebenen statt. So sind neben Gremien auf kommunaler und landespolitischer Ebene vor allem Fachausschüsse, Unfallkassen, Normenausschüsse, Arbeitsgruppen und Fachreferate gefragt, die Diskussion voranzubringen und Normen, Richtlinien, Dienstvorschriften und Empfehlungen anzupassen.

Organisatorische, politische und taktische Maßnahmen

1. Flächendeckende und vollumfängliche Realbrandausbildung: Eine Realbrandausbildung, die dem Stufenkonzept folgt, alle fünf Phasen abdeckt und die in der Ausbildung zum_r AGT integriert ist, wird als dringend erstrebenswert angesehen. Die Feuerwehrdienstvorschriften sind dahingehend anzupassen. Die Realbrandausbildung, das Arbeiten mit der Wärmebildkamera und die taktische Ventilation sind darin als festen Bestandteil der Ausbildung festzuschreiben. Für die Abbildung der fünf Phasen ist ggf. eine Zentralisierung der Ausbildung nötig. Vorstellbar sind dabei interkommunale oder regionale, zentrale Ausbildungszentren, die mit hauptamtlichen Trainer_innen diesen Teil der Ausbildung übernehmen. Ein gemeinsames Lernen mit Führungslehrgängen kann Ressourcen bündeln und den Lerneffekt verstärken (siehe unten). Eine neue Konzeptionierung und Gestaltung der Ausbildung zum_r AGT wäre dafür nötig. Neue pädagogische Konzepte wie das E-Learning zur Verlagerung der Theorie in ein flexibles Selbststudium, welches in [21] erläutert wird, sollten dabei angedacht werden.
2. Nachweise und Dokumentationen kombinieren: Atemschutznachweise, Dokumentationspflicht nach Gefahrstoffverordnung, Erfassungsbögen für die Rentenversicherung, Einsatz- und Personalerfassungsbögen sollten kombiniert und vereinheitlicht werden, um eine organisatorische Vereinfachung zu erreichen. Das Führen eines eigenen Atemschutzpasses wird den Einsatzkräften nahegelegt. Nebenbei könnten diese Nachweise zu Dokumentationszwecken der Hygiene und für Forschungsinteressen dienen (siehe unten).

3. Die nur sehr allgemein beschriebenen Brandphänomene sind in den Normen weiter auszudifferenzieren und eindeutiger zu definieren.
4. Die deutschen Normen bezüglich Realbrandausbildung sind zusätzlich zu baulichen und sicherheitsrelevanten Anforderungen mit didaktischen und methodischen Inhalten zu ergänzen.

Pädagogische Maßnahmen

1. Didaktisch-methodische Umsetzung des Stufenkonzepts: Um die definierten Lernziele zu erreichen, ist es notwendig die Phasen I-V in den Anlagen der Realbrandausbildung durchzuführen. Dabei ist auch auf die Reihenfolge zu achten. Eine zu komplexe oder heiße Übung am Anfang bringt Auszubildende an ihre Grenzen und hat nicht den gewünschten Lernerfolg. Außerdem ist es im Sinne der Primärprävention nicht erstrebenswert (siehe unten).
2. Stetiges Weiterbilden: Eine einmalige Realbrandausbildung ist hinsichtlich der Lernziele nicht zielführend. Realbrandausbildung sollte regelmäßig stattfinden. Neue Szenarien sind dabei zu konzipieren und andere Anlagen zu verwenden.
3. Übertragbarkeit: Die fehlende Abbildung eines echten Brandes in einer Realbrandausbildung ist stets zu integrieren und zu vermitteln.
4. Settingansatz: Ein Erlernen bestimmter Schemata oder klarer Algorithmen ist nicht erstrebenswert. Vielmehr sollen verschiedene Techniken erlernt und ihre Grenzen verstanden und damit letztendlich auch das eigene Einschätzungsvermögen gestärkt werden. Das ideale sogenannte *Setting* ist dabei ein proaktives Lernen, Ausprobieren und Erfahren. Testen, Abfragen und autoritärer Stil stehen dem entgegen.
5. Fehler- / Feedbackkultur: Im Zeichen dieses Settingansatzes steht auch eine ausgeprägte Fehler- und Feedbackkultur. Fehler sollten als menschliche Faktoren akzeptiert und der Umgang mit ihnen thematisiert werden. Zu diesem Umgang gehören ein stetiges Feedback, eine daraus resultierende Entwicklung und ein Sicherheitsfokus in der Realbrandausbildung.
6. Stetige Evaluation: Auch die pädagogischen und taktischen Konzepte der Realbrandausbildung sollten stets evaluiert und mit der Realität abgeglichen werden. Dabei ist

zu berücksichtigen, dass die Übungssituation stark von der Realität eines Brandereignisses abweicht. Beispielsweise ist es ungünstig, beim Innenangriff in der Mitte des Raums zu sitzen, in der Realbrandausbildung aber oft gelebte Praxis. Dies sollte überdacht werden. Gefährliche Praktiken, wie das Verwenden von zu viel Brandlast sollten tunlichst unterlassen werden.

7. **Gemeinsames Lernen:** Die Ausbildung zu einer_m selbständigen und handlungssicheren Feuerwehrfrau_mann enthält das Vermitteln eines tiefen Verständnisses der Vorgänge. Um die Akzeptanz von Entscheidungen und Taktiken der Führungspersonen zu stärken, müssen angehende Feuerwehrleute in den Prozess integriert werden. Im Einsatzfall ist dies oft nicht möglich. Durch gemeinsame Übungen mit Führungslehrgängen können Abläufe trainiert und vertikale Kommunikation und Akzeptanz verstärkt werden.
8. **Hygienefokus:** Hygiene in der Realbrandausbildung erfüllt nicht nur den Zweck der Expositionsminimierung, sondern hat auch eine pädagogische Komponente. Wenn in der Ausbildung bereits der Fokus auf dieses Thema gelegt wird, so unterstreicht dieser die Wichtigkeit und hat bessere Chancen im Einsatzalltag Anwendung zu finden. Private Anbieter_innen und mobile Konzepte sollten die Hygieneanforderungen und -voraussetzungen detailliert in ihrem Vertrag regeln.

Hygienemaßnahmen und Sicherheitsfokus

1. Auf Grundlage der wissenschaftlichen Erkenntnisse und des Arbeitsschutzes ist eine ausgeprägte Hygiene im Einsatz und der Realbrandausbildung notwendig. Dabei sind Expositionen über Inhalation, Ingestion und dermale Aufnahme zu minimieren und Kontaminationsverschleppung weitestgehend zu verhindern. Um dies zu erreichen, kann sich am Muster-Hygienekreislauf orientiert werden. Eine Abgrenzung der Hygienebereiche (roter, gelber und grüner Bereich) kann dabei zur Vereinfachung beitragen.
2. Hygienemaßnahmen sollten aufgrund der fehlenden Quantifizierbarkeit stets in sehr umfangreichem Rahmen gestaltet werden. Dabei ist auf eine ganzheitliche Umsetzung, Sensibilisierung, Akzeptanz und Einfachheit der Maßnahmen zu achten.
3. Wo es umsetzbar ist, sollte das Abduschen für Feuerwehrleute umgehend ermöglicht werden. Dafür sollte in der Realbrandausbildung nach jedem Durchgang, aber auch

nach jedem Einsatz unverzüglich geduscht werden. Mobile Duschkonzepte könnten dabei eine Lösung sein. Sollte das Abduschen konzeptionell nicht sofort möglich sein, so ist auf ein Hygieneboard zurückzugreifen, welches das Reinigen der Hände, Arme, des Nackens und Gesichts ermöglicht.

4. Das Trinken und Essen sollte auf die Zeit nach dem Abduschen/Waschen beschränkt werden.
5. Die Feuerschutzkleidung sollte nach einem Durchgang oder Einsatz unverzüglich abgelegt und luftdicht verpackt werden, bevor sie fachgerecht gewaschen wird.
6. Sobald die Atemschutzmaske nach dem Einsatz/Durchgang abgenommen wird, sollten eine FFP 3-Partikelfiltermaske und Einmalhandschuhe verwendet werden.
7. Nach der Realbrandausbildung und nach dem Einsatz sollte zunächst auf das Rauchen verzichtet werden.
8. Gerade bei Anlagen, in denen unerfahrene Feuerwehrleute ausgebildet werden, die Brandlast erhöht ist, besonders hohe Temperaturen vorherrschen oder die Anforderungen schnell erhöht werden, sollte auf eine Überwachung der Vitalparameter zurückgegriffen werden. Auf ein schnelles Erhöhen der Anforderungen, die Verwendung von viel Brandlast und zu hohe Temperaturen sollte verzichtet werden.
9. Vor und nach dem Einsatz/Durchgang ist auf ausreichende Flüssigkeitsaufnahme zu achten und ggf. Möglichkeiten zum Senken der Körperkerntemperatur zu schaffen.
10. Um die Gesundheit der Feuerwehrleute zu unterstützen, sollten Strukturen zur Fitness geschaffen, gefördert und gefordert werden. Fitnessprogramme, Sportmöglichkeiten und Vergünstigungen können dazu beitragen, die Belastbarkeit und Leistungsfähigkeit von Feuerwehrleuten zu erhöhen.
11. Gesundheitsfördernde Maßnahmen im Sinne der Primär- und Sekundärprävention sind in die Konzepte und Strukturen der Realbrandausbildung zu integrieren.
12. Die Dokumentation von Einsätzen/Durchgängen ist zu vereinfachen, zu bündeln und zu kombinieren, um Expositionen langfristig nachweisen zu können.
13. Hersteller_innen von Schutzkleidung und Equipment sind dazu angehalten, die einfache Umsetzbarkeit von Reinigungs- und Hygienemaßnahmen mehr in den Fokus zu

rücken. Eine einfache Demontage oder einfaches Auseinanderbauen von Komponenten kann dabei zielführend sein.

14. Trotz des Spannungsfeldes zwischen Sicherheit, kostengünstiger Umsetzung und Realitätsabbildung ist stets ein besonderer Fokus auf die Sicherheit zu richten. Dafür sollten u. a. mehrere Ausbilder_innen für die Sicherheit der Auszubildenden zur Verfügung stehen; ggf. ist ein System mit Sicherheitsassistent_innen anzuwenden. Ein Notfallkonzept inklusive Rettungsdienstpersonal, Erste-Hilfe-Material, Sicherungstrupp und Atemschutzüberwachung ist auch in der Realbrandausbildung zwingend erforderlich.
15. Zu einer umfangreichen Gefährdungsbeurteilung gehören auch Aspekte des Umweltschutzes. Über Rauchgasreinigung, Rauchgasnachverbrennung, Brennstoffalternativen und Löschwasserrückhaltung sollte stets nachgedacht werden.

Forschung

1. Um Erfolge, Notwendigkeiten und Entwicklungen nachweisen zu können, ist eine umfangreiche, flächendeckende und einheitliche Statistik dringend erforderlich und sollte alsbald eingeführt werden.
2. Die Frage nach dem nötigen Umfang der Hygiene kann nur mit einer umfangreichen wissenschaftlichen Analyse und Quantifizierung der Aufnahme schädlicher Stoffe und deren Wirkung im Körper beantwortet werden. Eine Kausalkette zu den erhöhten Krebsrisiken ist herzustellen und zwischen den Expositionsrouten auszudifferenzieren.
3. Um umfangreiche Tests durchführen zu können und dabei praktische Entwicklungen und etablierte Taktiken zu berücksichtigen, ist eine praxisnahe wissenschaftliche Betrachtung nötig. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Feuerwehrstrukturen und Forschung ist dafür unabdingbar. Dabei sollte auch auf internationale Erkenntnisse, Forschung, Netzwerke und Kooperationen zurückgegriffen werden.
4. Folgende Fragen, die sich aus der Erarbeitung dieser Arbeit ergeben haben oder offen blieben, könnten durch weitere Forschung aufgegriffen und ggf. beantwortet werden:
 - (a) Soll Realbrandausbildung (angehende) Feuerwehrleute im fortgeschrittenen Verlauf des Stufenkonzept an ihre psychischen und physischen Grenzen bringen?

Wäre ein solches Vorgehen aus pädagogischen Gründen notwendig und mit dem Gesundheitsschutz (vor allem bezüglich Stressmanagement und Hyperthermie) und Sicherheit vereinbar?

- (b) Ist eine Vitalparameterüberwachung bei der Realbrandausbildung nach Stufenkonzept, bei der es in der Regel zu keiner psychischen oder physischen Überforderung kommen sollte, überhaupt notwendig?
- (c) Was ist für eine flächendeckende Realbrandausbildung aus wirtschaftlichen, politischen, organisatorischen und risikoanalytischen Gründen nötig?
- (d) Wie können Mindestanforderungen bezüglich Hygienestandards wissenschaftlich definiert und formuliert werden?
- (e) Welche Messmöglichkeiten gibt es, um die Exposition schädlicher Stoffe auf Feuerwehrleute zu erfassen, sie zu dokumentieren und ggf. anschließend statistisch und analytisch auswerten zu können?
- (f) Inwiefern kann der autoritative Erziehungsstil - als Führungsstil umformuliert - den autoritären Führungsstil (im Einsatz) ablösen und so für Bedingungen nach Kapitel 3.3.1, Absatz 1 sorgen? Wie müsste sich die Führungsstruktur innerhalb der Feuerwehr ändern, um diese Faktoren mehr zu berücksichtigen und was kann die (Realbrand-)Ausbildung dazu beitragen?
- (g) Wie zielführend ist eine Ausbildung nur einzelner Phasen hinsichtlich der Lernziele, Pädagogik, Sicherheit und des Gesundheitsschutzes? Führt eine fragmentarische Realbrandausbildung zwangsläufig zu Überschätzung und damit zu weniger Sicherheit, Selbstwirksamkeit und Kompetenz? Oder kann - verkürzt gefragt - wenig Realbrandausbildung besser sein als keine Realbrandausbildung?

6 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit zeigt die Notwendigkeit einer umfangreichen Realbrandausbildung für Feuerwehrleute auf. Mit der Definition von Lernzielen kann ein Fokus auf die zu erlernenden Fähigkeiten gelegt werden. Die Erläuterungen umreißen, mit welchen Anlagen und Varianten die jeweiligen Lernziele erreicht werden können. Es zeigt sich, dass diese Form der Ausbildung nicht nur einen taktischen, sondern auch einen pädagogischen, gesundheitsfördernden und sicherheitsrelevanten Nutzen bietet. Politische, organisatorische, methodische, technische und sicherheitsrelevante Bedenken und Problemstellungen müssen berücksichtigt und gelöst werden.

Gefahren im Atemschutzeinsatz gehen über die üblich genannten *Gefahren an der Einsatzstelle* hinaus. Feuerwehrleute sind auch in der Realbrandausbildung diverser Risiken ausgesetzt. Untersuchungen zufolge sollte gerade die Exposition krebserregender Stoffe in die Betrachtungen einfließen. Diese Arbeit benennt Pflichten, Möglichkeiten und Beispiele zur Umsetzung eines Hygienekonzepts, um ebendiese Expositionen zu minimieren. Der entwickelte Muster-Hygienekreislauf dient hierzu als Orientierung um Hygiene sowohl in der Ausbildung als auch im Einsatzfall zu maximieren.

Bereits bestehende Realbrandausbildungskonzepte werden hinsichtlich ihrer didaktisch-methodischen Umsetzung, aber auch hinsichtlich ihrer Hygienemaßnahmen vorgestellt. Dabei ist festzustellen, dass sich Ausbildungsphilosophie, Methodik, Technik und die Herangehensweise an das Thema Hygiene sehr unterscheiden. Letzteres wird kontrovers diskutiert und aktuelle Entwicklungen finden auch bei den untersuchten Ausbildungsstätten statt. Noch während der Bearbeitung dieser Theses haben sich Umsetzungen der Hygiene geändert bzw. wurden überarbeitet. Neben der Begleitung der Ausbildung und der persönlichen Gespräche haben sich vor allem die definierten Lernziele im Stufenkonzept und die Erarbeitung des Muster-Hygienekreislaufs als nützlich für den Vergleich erwiesen.

Die im Rahmen der Bachelorarbeit durchgeführten Messungen konnten bestehende Ergebnisse stützen und die Wichtigkeit des Themas Hygiene zusätzlich unterstreichen. Die Konzepte sollten nicht nur hinsichtlich des Arbeitsschutzes Hygienemaßnahmen berücksichtigen, sondern auch die Sensibilisierung für das Thema als Lehrinhalt ansehen. Kein anderer Ausbildungsabschnitt ist dafür so prädestiniert wie die Realbrandausbildung.

Die aus dieser Arbeit hervorgehende Handlungsempfehlung beschreibt detaillierte Maßnahmen, die als Konsequenzen in die Realbrandausbildung und deren Umsetzung, aber auch in den Einsatz einfließen sollten. Die Forderung nach einer flächendeckenden Verwirklichung sollte dabei als wichtigste Erkenntnis angesehen werden. Für die Erstellung neuer und die Weiterentwicklung bestehender Konzepte können die definierten Lernziele und der Muster-Hygienekreislauf als Orientierung dienen. Fragen, die während der Bearbeitung dieser Bachelorarbeit aufkamen und nicht beantwortet werden konnten, sind im letzten Teil der Handlungsempfehlung aufgeführt. Sie können als Grundlage für eine weitere wissenschaftliche Behandlung herangezogen werden und anschließend die Schlussfolgerungen dieser Thesis weiter konkretisieren. Die Bearbeitung dieser Arbeit zeigt, dass Interdisziplinarität und internationale Vernetzung für weitere Forschung zum Thema der Aus- und Fortbildung von Feuerwehrleuten von besonderer Bedeutung sein kann. So hält der Autor das Heranziehen von Pädagog_innen für die Konzeptionierung von Ausbildung für ebenso wichtig wie das Evaluieren internationaler Konzepte.

Umfangreiche Realbrandausbildung sollte zukünftig einen zentralen Bestandteil in der Ausbildung von Feuerwehrleuten einnehmen. Die zu erlernenden Fähigkeiten befähigen Feuerwehrleute, sich selbst besser einzuschätzen und zu schützen. Außerdem erlernen sie eine effektive (Innen-)Brandbekämpfung durchzuführen und werden dabei mit dem Umgang diverser Gefahren proaktiv sensibilisiert.

Literatur

- [1] N.A.: *Handreichung zum Gebrauch gendersensibler Sprache, Version 2015*. Büro für Gleichstellungsfragen: www.bfg.ovgu.de, abgerufen am 02.02.2018, 17.00 Uhr.
- [2] PROF. DR.-ING. ULRICH KRAUSE: *Ermittlung kritischer Brandszenarien im Hinblick auf die Personengefährdung*. Schlussbericht zum Teilvorhaben - TIBRO Technisch – strategisch Innovativer Brandschutz auf Grundlage Risikobasierter Optimierungen, 2015.
- [3] GREG HENRY PHD: *The influence of modern fire behaviour research on high-rise and structure fire fighting tactics and procedures*. The Winston Churchill Memorial Trust of Australia, 2015.
- [4] JENNIFER L. A. KEIR ET AL. (UNIVERSITY OF OTTAWA, CANADA): *Elevated Exposures to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Other Organic Mutagens in Ottawa Firefighters Participating in Emergency, On-Shift Fire Suppression*. Environ. Sci. Technol., 2017.
- [5] N.A.: *DIN 14097 - Feuerwehrrübungsanlagen*. Deutsches Institut für Normung e.V., DIN-Normausschuss Feuerwehrwesen (FNFW), 2005.
- [6] GRIMWOOD, HARTIN, MCDONOUGH, RAFFEL: *3D Firefighting – Training, Techniques, and Tactics*. Fire Protection Publications Oklahoma State University, 2005.
- [7] N.A.: *DIN 14011 - Begriffe aus dem Feuerwehrwesen*. Deutsches Institut für Normung e.V., DIN-Normausschuss Feuerwehrwesen (FNFW), 2010.
- [8] N.A.: *Musterbauordnung*. Bauministerkonferenz, Arbeitsgemeinschaft für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen, 2002.
- [9] DIPL.-ING. JÜRGEN KUNKELMANN, DIPL.-ING. DIETER BREIN: *Feuerwehreinsatztaktische Problemstellungen bei der Brandbekämpfung in Gebäuden moderner Bauweise*. Karlsruher Institut für Technologie, Forschungsstelle für Brandschutztechnik, BrandschutzForschung 154, 2010.
- [10] FREDERIKE MAASS: *Pyrolyse - Aktuelle Entwicklungen*. Bachelorarbeit an der Hochschule Neubrandenburg, 2015.
- [11] DR. SABINE BUSSE: *Chemie der Brände und Löschmittel*. Vorlesungsskript im Fach Chemie der Brände und Löschmittel an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, 2015.
- [12] CHRISTOPH MENZEL: *Experimentelle Untersuchung des zeitlichen Temperaturverlaufes und Wärmedurchgangs von Türen bei einseitiger Temperaturbeaufschlagung, konkret bei Bränden in geschlossenen Räumen*. Bachelorarbeit an der Otto-von-Guericke Universität, i.K.m. Karlsruher Institut für Technologie, Forschungsstelle für Brandschutztechnik, 2016.
- [13] ADRIAN RIDDER: *Brandbekämpfung im Innenangriff*. ecomed Sicherheitstechnik, ISBN: 978-3-609-77499-2, 2013.
- [14] N.A.: *Phänomene der extremen Brandausbreitung*. Arbeitskreis Ausbildung und Einsatz der AGBF Nordrhein-Westfalen, Arbeitsgruppe Realbrandausbildung, 2010.

- [15] DR.-ING. SARAH-K. HAHN: *Entwicklung einer Methodik zur Bestimmung des Verbrennungseffizienzfaktors von Feststoffen*. Dissertation an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2016.
- [16] N.A.: *Unfälle in Europa*. [atemschutzunfaelle.eu: http://atemschutzunfaelle.de/unfaelle/eu/](http://atemschutzunfaelle.de/unfaelle/eu/), abgerufen am 16.01.2018, 18.12 Uhr.
- [17] P.J. NORWOOD, F. RICCI: *Ventilation Limited Fire: Keeping It Rich And Other Tactics Bades Off Science*. Fire Engineering, 2014.
- [18] LARS-GÖRAN BENGTTSSON: *Enclosure fires*. Swedish Rescue Services Agency, 2001.
- [19] N.A.: *Feuerwehr-Dienstvorschrift 2 - FwDV 2*. Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, 2012.
- [20] N.A.: *Feuerwehr-Dienstvorschrift 7 - FwDV 7*. Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, 2012.
- [21] ADRIAN RIDDER: *Eine Notwendigkeit: AGT-Lehrgang Teil II*. 112 Magazin, Heft 5/6, ISSN 1861-7506, 2011.
- [22] N.A.: *Firefighter Fatalities in the United States in 2011*. Homeland Security FEMA, U.S. Fire Administration, 2012.
- [23] N.A.: *Innovating Fire Attack Tactics*. New Science Fire Safety Article by ul.com/newscience, 2013.
- [24] V. BOSENBECKER: *Flächendeckende Realbrandausbildung in Deutschland*. BrandSchutz - Deutsche Feuerwehr Zeitung 1/11, 2011.
- [25] DIPL.-ING. BARBARA SCHROBSDORFF: *Schutzkleidung für die Brandbekämpfung EN 469: 2005 und HuPF:2006*. Hohenstein Institute, 74357 Bönnigheim, 2011.
- [26] N.A.: *Feuerwehr-Dienstvorschrift 3 - FwDV 3*. Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, 2012.
- [27] STEPHEN KERBER, ROBIN ZEVOTEK: *Study of the Effectiveness of Fire Service Positive Pressure Ventilation During Fire Attacks in Single Family Homes Incorporating Modern Construction Practices*. UL Firefighter Safety Research Institute, 2016.
- [28] STEPHAN KERBER: *Study of the Effectiveness of Fire Service Vertical Ventilation and Suppression Tactics in Single Family Homes*. UL Firefighter Safety Research Institute, 2013.
- [29] N.A.: *Interrupting The Flow Path*. New Science Fire Safety Article by ul.com/newscience, 2014.
- [30] M. FUCHS, A. RIDDER, M. TORESSON: *Realbrandausbildung und Innenangriff im Brandeinsatz*. BrandSchutz - Deutsche Feuerwehr Zeitung 3/12, 2012.
- [31] CHRISTIAN EMRICH: *Effektive und leicht handhabbare Einsatzstellenbelüftung*. BrandSchutz - Deutsche Feuerwehr Zeitung 6/08, 2008.

- [32] CARSTEN HAHN, DIRK ARPING, VOLKER SCHAUENBURG, MICHAEL SCHWARZ, : *Kooperation der feuerwehrtechnischen Ausbildung zwischen Kommunen und Land.* Feuerwehreinsatz:nrw 5/2013, 2013.
- [33] PROF. DR. I. BEERLAGE: *Psychosoziale Gesundheitsförderung und Prävention bei Einsatzkräften.* Skript zur Vorlesung an der Hochschule Magdeburg-Stendal, 2016.
- [34] HARALD KARUTZ, WOLFRAM GEIER, THOMAS MITSCHKE: *Bevölkerungsschutz - Notfallvorsorge und Krisenmanagement in Theorie und Praxis.* Springer, 2017.
- [35] *Mit freundlicher Genehmigung des ecomed Verlages aus dem Buch Brandbekämpfung im Innenangriff von Adrian Ridder (Foto: Martin Fuchs).*
- [36] *Mit freundlicher Genehmigung des ecomed Verlages aus dem Buch Brandbekämpfung im Innenangriff von Adrian Ridder.*
- [37] *Mit freundlicher Genehmigung der Staatlichen Feuerweherschule Würzburg durch Sachgebietsleiter Christian Eichel.*
- [38] *Mit freundlicher Genehmigung durch global trainer der Dräger Academy Kevin Sündermann.*
- [39] TOBIAS E. HÖFS: *Konzeptionierung einer einsatzorientierten Atemschutzausbildung für freiwillige Feuerwehren.* Diplomarbeit an der Bergische Universität Wuppertal, 2006.
- [40] DIPL.-ING. JENS MÜLLER: *Zukunft der Feuerwehr – Feuerwehr der Zukunft im ländlichen Raum.* Dissertation an der Bergische Universität Wuppertal, 2009.
- [41] DANIEL MADRZYKOWSKI: *Fatal Training Fires: Fire Analysis For The Fire Service.* National Institute of Standards and Technology - Building and Fire Research Laboratory, 2007.
- [42] J. SÜDMERSEN, H. ENGELS, DR. MED KURNOETH ET AL.: *Untersuchung zu Rauchdurchzündungsanlagen.* Facharbeit BF Osnabrück und Düsseldorf, 2005.
- [43] N.A.: *Verbundprojekt Technisch-Strategisch Innovativer Brandschutz auf Grundlage Riskobasierter Optimierung.* Branddirektion Feuerwehr Frankfurt am Main, Schlussbericht TiBRO, 2015.
- [44] N.A.: *Empfehlung für Qualitätskriterien und Bedarfsplanung von Feuerwehren in Städten.* Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren im Deutschen Städtetag, 2015.
- [45] N.A.: *Richtlinie Schadstoffe bei Bränden.* Referat 10 - Umweltschutz - des Technisch Wissenschaftlichen Beirats der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., vfdb-Richtlinie 10 / 03, 2003.
- [46] EBERHARD BREITMAIER, GÜNTHER JUNG: *Organische Chemie: Grundlagen, Stoffklassen, Reaktionen, Konzepte.* Georg Thieme Verlag, 2005.
- [47] N.A.: *Cardiac Health and Occupational Cancer.* Health and Safety Report, 2017.
- [48] JANA REUTER, THOMAS TREMMEL: *Einsatzstellenhygiene.* BrandSchutz - Deutsche Feuerwehr Zeitung 12/17, 2017.

- [49] ADRIAN RIDDER: *Gesundheitsaspekte im Brandeinsatz und bei Realbrandausbildung*. atenschutzunfaelle.eu, 2007.
- [50] K. FENT, G. HORN, K. KIRK, M. LOGAN: *Off-Gassing Contaminants from Firefighters' Personal Protective Equipment*. Fire Engineering, 2015.
- [51] KENNETH W. FENT ET AL.: *Contamination of firefighter personal protective equipment and skin and the effectiveness of decontamination procedures*. Journal Of Occupational And Environmental Hygiene 2017, vol. 14, no. 10, 2017.
- [52] F. FEUNECKES, F. JONGENEELLEN, H. LAAN, F. SCHOONHOF: *Uptake of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Among Trainers in a Fire-Fighting Training Facility*. American Industrial Hygiene Association Journal, 1997.
- [53] NATHAN AUST, DR. BRADLEY FORSSMAN, NATHAN REDFERN: *Compartmental Fire Behaviour Training Exposure Study*. Heggies Report for New South Wales Fire Brigades, 2007.
- [54] PROF. DR. T. BRÜNING, DR. U. KÄFFERLEIN, DR. D. RALLAPIES, DR. D. TAEGER: *Krebsrisiko bei Feuerwehreinsatzkräften*. IPA-Journal 03/2015, 2015.
- [55] N.A.: *Stellungnahme Nr. 032/2010*. Bundesinstitut für Risikobewertung, 2010.
- [56] J.M. WILLI ET AL.: *Charaterizing a Firefighter's Immediate Thermal Environment in Live-Fire Training Scenarios*. Fire Technology, NIST, 2016.
- [57] T. FINTEIS ET AL.: *Stressbelastung von Atemschutzgeräteträgern bei der Einsatzsimulation im Feuerwehr-Übungshaus Bruchsal Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg (STATT-Studie)*. Klinikum Mannheim gGmbH - Universitätsklinikum, 2002.
- [58] N.A.: *Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG), Version 31.08.2015*. Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz: <https://www.gesetze-im-internet.de/arbschg/ArbSchG.pdf>, abgerufen am 07.02.2018, 15.00 Uhr.
- [59] N.A.: *Explosionsgefahren bei holzbefeuerten Brandübungsanlagen*. Infoblatt Nr. 06 des Sachgebietes Feuerwehren und Hilfeleistungsorganisationen, 2014.
- [60] N.A.: *Holzfaser Dämmstoffplatten*. Fa. Steico SE: <http://www.steico.com/produkte/holzfaser-daemmstoffe/steicotherm/ueberblick/>, abgerufen am 20.02.2018, 10.23 Uhr.
- [61] CHRISTIAN PATZELT: *Grobe Dekontamination und Einsatzstellenhygiene*. Feuerwehrmanazin.de: <https://www.feuerwehrmagazin.de/wissen/grob-dekontamination-und-einsatzstellenhygiene-53647>, abgerufen am 16.02.2018 um 17.21 Uhr.
- [62] N.A.: *Feuerwehr-Dienstvorschrift 500 - FwDV 500*. Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, 2012.
- [63] DR. MED. ANETTE ARGO: *Die Untersuchung nach G 26.3 aus arbeitsmedizinischer Sicht*. www.ias-stiftung.de, abgerufen am 06.02.2018, 19.03 Uhr.
- [64] N.A.: *Überarbeitung des Grundsatzes G26*. bayrischer Gemeindeunfallversicherungsverband, 2008.

- [65] DIPL.-ING. JÜRGEN KALWEIT: *Fitnessprogramm für Atemschutzgeräteträger*. Feuerwehr-Unfallkasse Nord, 2002.
- [66] DIPL.-ING. S. BURKHART ET AL.: *Anforderungen an Ausbilder in Brandübungsanlagen*. Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren im Deutschen Städtetag - AK Ausbildung NRW, 2002.
- [67] N.A.: *Health Management of Compartment Fire Behaviour Instructors*, UK. CFOA Chief Fire Office Association, 2016.
- [68] DR. STEFAN SVENSSON: *Live-Burn Training: How Much Is Too Much?* Interview by FireRescue magazine, published in FirefighterNation, 2013.
- [69] W. STANGL, H. DOMKE: *Lexikon für Psychologie und Pädagogik*. <http://lexikon.stangl.eu/1078/autoritar-erziehungsstil/>, abgerufen am 07.02.2018, 12.48 Uhr.

Anhang A.1 Bewertungskriterien der Lernziele

Bewertung der Lernzielerreichung

Die Abfrage der Lernzielerreichung erfolgt analog zu der Stufeneinteilung der Realbrandausbildungskonzepte (Phasen I - V), die in der Arbeit verwendet wird. Einige Lernziele können auch durch Varianten anderer Phasen oder durch Kombinationen abgedeckt werden. Die Phasen-Einteilung dient zur Orientierung.

Phase	Lernziel	Inhalt
I	Wärmeerfahrung	
	Brandentwicklung / Brandphasen	<i>Pyrolyse, Thermik</i>
	Schwerkraftströmung	<i>Neutrale Zone, heben, senken</i>
	Wirkung PSA erfahren	<i>Wasserdampf, Wärmestrahlung</i>
	Bewegung / Vorgehen & Rückzug	<i>Deckung, Haltung, Veränderung, Kriechgang, Rückzugssicherung</i>
II	Strahlrohrtraining	
	Raumkühlung	<i>Applikation und Grenzen, shark method, T, Z, O, up-down...</i>
	Rauchkühlung	<i>Applikation und Grenzen, up-down-Verfahren, Impulskühlverf</i>
	Direkte Brandbekämpfung	<i>Applikation und Grenzen</i>
III	Brandphänomene	
	Rauchexplosion	<i>Warnzeichen, Unterdruck, Druck, Dimension</i>
	Rauchdurchzündung	<i>Warnzeichen, Pulsierender Rauch, Turbulenzen</i>
IV	Erweitertes Strahlrohrtraining	
	Türprozedur	<i>Durchführung, Temperaturcheck</i>
	Grundlagen Schlauchmanagement	<i>Schlauchbedarf, - reserve, Nachziehen</i>
	Grundlagen Ventilation	<i>Bedienung und Aufstellung Lüfter, Vorgehen mit Ventilation / Antiventilation</i>
	Suchen und Retten	<i>Techniken Suchen und Retten, Prioritätensetzung</i>
	Sonderlöschgerät	<i>COBRA, Fognail, CAFS</i>
V	Taktik	
	Erweitertes Schlauchmanagement	<i>Verlegen über Treppen, Schlauchtragekörbe, Schlauchpakete</i>
	Zusammenspiel (innen/außen)	<i>bei taktischer Vent, Angriff, Aufgaben, Ablauf, VEIS</i>
	Übung in Einsatzstärke	<i>Führungsstruktur, Abläufe, taktisches Verständnis</i>
	Erweiterte Ventilation	
	Antiventilation	<i>Rauchvorhang, Tür- / Fenstermanagement</i>
	Offensive taktische Ventilation	<i>Vorgehen und Grenzen</i>
	Natürliche Ventilation	<i>Nutzung und Grenzen</i>

weitere begleitende Lernziele:

	Stressmanagement	<i>Stufenaufbau, Primärprävention, Techniken zur Stressimmunisierung, proaktives Lernen</i>
--	-------------------------	---

Feedback- und Fehlerkultur	<i>Nachbesprechungen auf Augenhöhe, Fehler nutzen, Evaluation, pädagogisches Konzept (Erziehungs- / Führungsstil)</i>
Verwendung Wärmebildkamera	<i>Als taktisches Instrument, zur Evaluation eigener Lernerfolge und Effektivität (Aufzeichnung)</i>
Sicherheits-, Gesundheits- und Hygienefokus	<i>Fehlerkultur, SiAss, gesundheitsfördernde Strukturen, Vital-Psycho-Überwachung, Durchgänge pro Tag/Woche, Personen pro Ausbilder_in, Hygienekonzepte, Notfallkonzept (SiTrupp, AED, RD-Pers)</i>
Übertragung	<i>1,5 - 3 MW ungleich 12 MW, pädagogische Integration</i>
Notfalltraining	<i>Equipment, spezielles Training, konzeptionelle Einpassung</i>
Atemluftmanagement / Atemschutzüberwachung	<i>Konsequente Atemschutzüberwachung</i>
Kommunikation	<i>Funk, Lagemeldung, Erkennen und Melden von Gefahren/ Ereignissen</i>
Umwelt	<i>Rauchgasreinigung, Rauchgasnachverbrennung, Brennstoffbetrachtung</i>

Erklärung:

“vollumfänglich” ≙ die Umsetzung der Realbrandausbildung beinhaltet die lernzielorientierten, beschriebenen Inhalte

“teilweise” ≙ die Umsetzung beinhaltet die beschriebenen Inhalte nur zu Teilen bzw. verfolgt in bestimmten Punkten eine andere Zielsetzung/Philosophie

“-“ ≙ dieses Lernziel wird nicht abgedeckt

“a.W.” ≙ auf Wunsch: auf Wunsch des_der Kunden_in werden diese Umsetzungen erstellt, gebaut und konzeptionell eingearbeitet. In den Konzepten der Academy finden sie bislang keine Anwendung

Phase	Lernziel / Inhalt	QCESA
I	Wärmeerfahrung	
	Brandentwicklung / Brandphasen	vollumfänglich
	Schwerkraftströmung	vollumfänglich
	Wirkung PSA erfahren	vollumfänglich
	Bewegung / Vorgehen & Rückzug	vollumfänglich
II	Strahlrohrtraining	
	Raumkühlung	vollumfänglich
	Rauchkühlung	vollumfänglich
	Direkte Brandbekämpfung	vollumfänglich
III	Brandphänomene	
	Rauchexplosion	—
	Rauchdurchzündung	vollumfänglich
IV	Erweitertes Strahlrohrtraining	
	Türprozedur	vollumfänglich
	Grundlagen Schlauchmanagement	vollumfänglich
	Grundlagen Ventilation	vollumfänglich
	Suchen und Retten	vollumfänglich
	Sonderlöschgerät	CAFS, COBRA
V	Taktik	
	Erweitertes Schlauchmanagement	vollumfänglich
	Zusammenspiel (innen/außen)	teilweise
	Übung in Einsatzstärke	max. 2 trucks (mit 2 Staffeln vergleichbar)
	Erweiterte Ventilation	
	Antiventilation	beschränkt auf Türmanagement
	Offensive taktische Ventilation	—
	Natürliche Ventilation	nur Brandhaus Thermik
	Stressmanagement	stufenweise Anforderungen erhöhen
	Feedback- und Fehlerkultur	beschränkt auf Evaluation
	Verwendung Wärmebildkamera	vollumfänglich
	Sicherheits-, Gesundheits- und Hygienefokus	Nur Hygienekonzept, AED, Pers. pro Ausbilder
	Übertragung	vollumfänglich
	Notfalltraining	—
	Atemluftmanagement / Atemschutzüberwachung	vollumfänglich
	Kommunikation	vollumfänglich
	Umwelt	teilweise

Phase	Lernziel	FRTC
I	Wärmeerfahrung	
	Brandentwicklung / Brandphasen	vollumfänglich
	Schwerkraftströmung	vollumfänglich
	Wirkung PSA erfahren	vollumfänglich
	Bewegung / Vorgehen & Rückzug	vollumfänglich
II	Strahlrohrtraining	
	Raumkühlung	vollumfänglich
	Rauchkühlung / Impulskühlverfahren	vollumfänglich
	Direkte Brandbekämpfung	vollumfänglich
III	Brandphänomene	
	Rauchexplosion	— (Video wird als ausreichend erachtet)
	Rauchdurchzündung	vollumfänglich
IV	Erweitertes Strahlrohrtraining	
	Türprozedur	vollumfänglich
	Grundlagen Schlauchmanagement	vollumfänglich
	Grundlagen Ventilation	vollumfänglich
	Suchen und Retten	vollumfänglich
	Sonderlöschgerät	—
V	Taktik	
	Erweitertes Schlauchmanagement	vollumfänglich
	Zusammenspiel (innen/außen)	teilweise (bis auf VEIS)
	Übung in Einsatzstärke	vollumfänglich
	Erweiterte Ventilation	
	Antiventilation	vollumfänglich
	Offensive taktische Ventilation	teilweise (kein VEIS)
	Natürliche Ventilation	vollumfänglich
	Stressmanagement	teilweise
	Feedback- und Fehlerkultur	vollumfänglich
	Verwendung Wärmebildkamera	teilweise
	Sicherheits-, Gesundheits- und Hygienefokus	vollumfänglich
	Übertragung	vollumfänglich
	Notfalltraining	vollumfänglich
	Atemluftmanagement / Atemschutzüberwachung	teilweise
	Kommunikation	vollumfänglich
	Umwelt	vollumfänglich

Phase	Lernziel	Dräger Realbrandausbildung
I	Wärmeerfahrung	
	Brandentwicklung / Brandphasen	vollumfänglich
	Schwerkraftströmung	vollumfänglich
	Wirkung PSA erfahren	vollumfänglich
	Bewegung / Vorgehen & Rückzug	vollumfänglich
II	Strahlrohrtraining	
	Raumkühlung	vollumfänglich (v.a. up-down)
	Rauchkühlung	vollumfänglich (v.a. up-down)
	Direkte Brandbekämpfung	vollumfänglich
III	Brandphänomene	
	Rauchexplosion	a.W.
	Rauchdurchzündung	vollumfänglich
IV	Erweitertes Strahlrohrtraining	
	Türprozedur	vollumfänglich
	Grundlagen Schlauchmanagement	vollumfänglich
	Grundlagen Ventilation	vollumfänglich
	Suchen und Retten	vollumfänglich
	Sonderlöschgerät	a.W.
V	Taktik	
	Erweitertes Schlauchmanagement	a.W.
	Zusammenspiel (innen/außen)	a.W.
	Übung in Einsatzstärke	a.W.
	Erweiterte Ventilation	
	Antiventilation	a.W.
	Offensive taktische Ventilation	a.W.
	Natürliche Ventilation	a.W.
	Stressmanagement	teilweise
	Feedback- und Fehlerkultur	vollumfänglich
	Verwendung Wärmebildkamera	teilweise
	Sicherheits-, Gesundheits- und Hygienefokus	Beschränkt auf AED, SiAss, max. 4 Durchg. pro Woche
	Übertragung	päd. integriert
	Notfalltraining	a.W.
	Atemluftmanagement / Atemschutzüberwachung	teilweise
	Kommunikation	nein, da örtlich sehr spezifisch
	Umwelt	beschränkt auf Brennstoffbetrachtung

Anhang A.2 schematische Expositiosgraphen

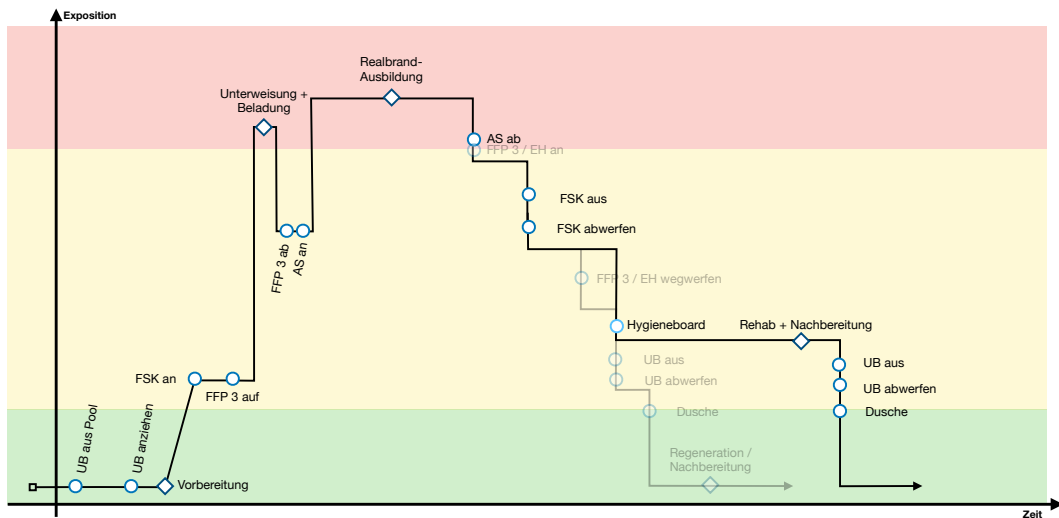


Abbildung 1: skizzierte Exposition auf LFC über die Zeit im Vergleich zum Muster-Hygienekreislauf (transparent)

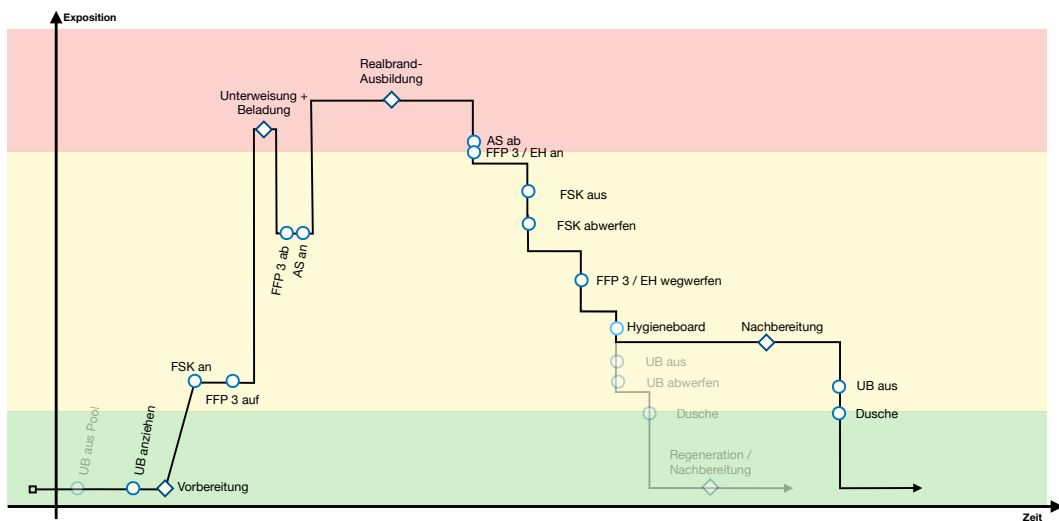


Abbildung 2: skizzierte Exposition bei FRTC über die Zeit im Vergleich zum Muster-Hygienekreislauf (transparent)

Teile dieses Anhangs sind in der vorliegenden Version gesperrt (mehr dazu im Sperrvermerk auf Seite VI).

Anhang A.3 Hygienekreisläufe mobiler Anlagen

Dieser Anhang ist in dieser Version gesperrt (mehr dazu im Sperrvermerk auf Seite VI).

Anhang A.4 Analysebericht

Dieser Anhang ist in dieser Version gesperrt (mehr dazu im Sperrvermerk auf Seite VI).