

**Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik e. V.
(UMSICHT)**

o. Prof. Dr.-Ing. P.-M. Weinspach

**Untersuchungen zum erforderlichen
Volumenstrom in Über-Kopf-Notduschen**

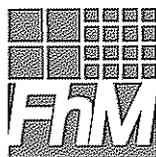
Dipl.-Ing. V. Heil

Dr.-Ing. J. Guderian

Priv.-Doz. Dr.-Ing. A. Steiff

Oberhausen, im September 1995

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen der industriellen Gemeinschaftsforschung aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft, BMWi, gefördert (AiF-Nr.: 10051).



Verwaltungstechnisch unterstützt durch
**Fraunhofer-Management-
Gesellschaft mbH**
der Fraunhofer-Gesellschaft zur
Förderung der angewandten Forschung

Inhaltsverzeichnis

	Kurzzusammenfassung	2
	Abstract	3
1	Problemstellung	4
2	Aufgabenstellung	4
3	Vorgehensweise	5
4	Medizinische Grundlagen	6
5	Duschkopftypen	8
5.1	Kennlinien und Strömungsbilder / Einführung	8
5.2	Charakterisierung der verwendeten Duschköpfe	9
6	Experimenteller Aufbau	10
6.1	Versuchspuppe	11
6.2	Brennbare Flüssigkeiten	12
6.3	Meßwerte und Meßwertaufnahme	13
7	Versuchsdurchführung	13
7.1	Vorversuche	14
7.2	Versuchsbedingungen	14
7.3	Versuchsablauf	15
7.4	Versuchsprogramm	15
8	Versuchsergebnisse	16
8.1	Thermische Belastungsmaße - Definitionen und Ergebnisse	16
8.1.1	Meßdaten und ihre Aufbereitung	17
8.1.2	Temperaturmaxima	17
8.1.2	Temperaturintegrale	18
8.2	Visuelle Belastungsmaße	23
8.2.1	Zur Aussagekraft der Videoaufzeichnungen	23
8.2.2	Löschdauern	24
8.2.3	Flammflächenanteile	26
8.2.4	Flammverhalten im Kopf- und Halsbereich	29
8.3	Mehrfachmessungen und Reproduzierbarkeit	30
9	Gesamtauswertung	31
10	Anforderungen an Notduscheinrichtungen in Laboratorien und Betriebsstätten	31
11	Zusammenfassung	34
12	Auswirkungen auf den wissenschaftlich-technischen Fortschritt und Nutzen für kleine und mittlere Unternehmen	37
	Anhang	39
A1	Literatur- und Quellenverzeichnis	39
A2	DIN 12 899, Teil 1	40
A3	DIN 33 402, Teile 1 und 2	41

Kurzzusammenfassung

Nationale Normungen schreiben für Über-Kopf-Notduschen Mindestvolumenströme zwischen 30 l/min (Bundesrepublik Deutschland) und ca. 110 l/min (Italien, USA) vor. Als Entscheidungsgrundlage für diese Festlegungen stehen bislang nur Erfahrungswerte zur Verfügung. In dieser Studie werden erstmals die Ergebnisse einer wissenschaftlichen Untersuchung zum notwendigen Mindestvolumenstrom in Über-Kopf-Notduschen vorgelegt. Als Anwendungsfall wird dazu die Ablöschung einer im Laborbereich tätigen Person zugrundegelegt, die sich im Brustbereich mit brennbarer Flüssigkeit bespritzt und sich entzündet.

Um dieses Szenarium experimentell darzustellen, wird eine Versuchspuppe mit Baumwollkleidung versehen, mit nicht wasserlöslicher, brennbarer Flüssigkeit getränkt, entzündet und nach einer Vorbrandzeit gelöscht.

Zur Quantifizierung der erzielten Löschwirkung werden Belastungsmaße definiert, deren Ermittlung auf der Auswertung von Temperaturverläufen an der Versuchspuppe und von Videoaufzeichnungen der Brandversuche basiert. Eine besonders hohe Aussagekraft besitzen hierbei solche Maße, die das Löschverhalten im Brust- und Kopfbereich in der Anfangsphase des Löschvorganges beschreiben. Beispiele für solche Maße sind die Dauer des Brandes im Bereich des Oberkörpers oder die thermische Belastung des Kopf- und des Brustbereiches.

Diese Belastungsmaße werden als Funktion des Löschwasservolumenstromes betrachtet. Es zeigen sich jeweils gute Löschergebnisse zwischen 30 und 60 l/min; eine weitere Erhöhung des Wasserdurchsatzes bringt kaum noch meßbare Verbesserungen mit sich.

Abstract

National standards require minimum volume flows between 30 l/min (Federal Republic of Germany) and 110 l/min (Italy, USA) for emergency showers with a single shower head, placed above the victim's head. Until now, these values can only be based upon past experiences. For the first time a scientific investigation of the necessary minimum volume flow for these emergency showers has been carried out. The extinguishing of a laboratory-worker, splashed with flammable fluid at his chest and caught fire, was chosen as an application of the emergency showers

To implement an experimental setup of this scenario, a dummy is dressed in cotton clothes that are sprinkled with a not water-soluble fluid, set on fire and, after a pre-burning time delay, showered.

In order to quantify the achieved extinguishing effect, burning measures are defined. To achieve the values of these burning measures, temperature vs. time on the dummy's surface as well as video recordings of the experiments are analysed. A special account is taken of the extinguishing process in the head-and-chest-area during the first time after turning on the shower, for example the duration of the fire at the upper part of the body as well as the thermal influence of the fire to head and chest of the dummy.

The burning measures are related to the water volume flow. Good extinguishing results can be found between 30 and 60 l/min. A further increase of the volume flow does not give significant improvements.

1 Problemstellung

Über-Kopf-Notduschen sind wichtige Erste-Hilfe-Einrichtungen in Laboratorien und Betriebsstätten. Als Instrument zur Selbstrettung brennender oder kontaminierter Personen können sie helfen, bei Arbeitsunfällen die Schwere von Verletzungen zu begrenzen.

In der Bundesrepublik Deutschland ist die Auslegung von Notduschen in DIN 12 899, Teil 1 (Labor-Körperduschen) und Teil 3 (Körperduschen in Betrieben und Außenanlagen) geregelt. Hierin wird insbesondere ein über Kopf austretender Wasservolumenstrom von mindestens 30 l/min gefordert. Einige inner- und außereuropäische Normen sehen dagegen einen erheblich höheren Mindestvolumenstrom vor, so der „American National Standard for Emergency Eyewash and Shower Equipment“ (ANSI® Z358.1-1881) mit 113,6 l/min (30 gallons per minute) und die italienische „Lavafaccia, lavaocchi e docce di emergenza - Requisiti e installazione“ (UNI 9608) mit 110 l/min. Einer möglicherweise verbesserten Löschwirkung durch einen sehr hohen Wasservolumenstrom stehen dabei jedoch betriebstechnische Probleme beim sicheren Zur-Verfügung-Stellen des benötigten Volumensstromes bei ausreichendem Vordruck und der Handhabung der gegebenenfalls austretenden großen Wassermengen gegenüber.

Für die Hersteller von Notduschensystemen - überwiegend kleine und mittlere Unternehmen - ergibt sich daraus die Anforderung, beim Export die jeweils geltende nationale Normung einhalten zu müssen. Dies erfordert eine aus technischer Sicht gesehen unnötig große Produktpalette, die zum einen hohe Entwicklungskosten und zum anderen relativ kleine Stückzahlen und damit hohe Produktionskosten mit sich bringt. Bei einer Änderung der deutschen Norm im Zuge einer zu erwartenden europäischen Normenvereinheitlichung müßten zudem viele Laborinstallationen angepaßt werden.

Als Entscheidungsgrundlage für Mindestvolumenströme stehen bisher nur einzelne Erfahrungswerte sowie experimentelle Studien zu angrenzenden Fragestellungen, zum Beispiel Eignungsprüfungen für Labor-Arbeitskleidung, zur Verfügung.

2 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Studie soll erstmals eine wissenschaftliche Untersuchung zum notwendigen Mindestvolumenstrom in Über-Kopf-Notduschen für den Laborbereich durchgeführt werden. Als Anwendungsfall ist dabei die Ablöschung einer brennenden Person nach einem typischen Laborunfall zugrunde zu legen. Zur Interpretation der Versuchsergebnisse ist eine geeignete Auswertungsmethodik zu entwickeln. Aus den erhaltenen Daten ist schließlich eine Empfehlung für einen zu fordernden Mindestvolumenstrom für Über-Kopf-Notduschen in Laboratorien abzuleiten.

Anhand statistischen Datenmaterials ist zudem zu prüfen, ob an Über-Kopf-Notduschen in Laboratorien und Betriebsstätten unterschiedliche Anforderungen zu stellen sind.

3 Vorgehensweise

Als typischen Anwendungsfall für Notduschen sollen die *Untersuchungen zum notwendigen Mindestvolumenstrom in Über-Kopf-Notduschen für den Laborbereich* das Ablöschen einer brennenden Person im Laborbereich nachbilden, deren Kleidung mit brennbarer Flüssigkeit bespritzt und in Brand geraten ist. Die Hauptaufgabe einer Notdusche in einem solchen Fall besteht darin, großflächigen Verbrennungen vorzubeugen, die Haut zu kühlen und Verbrennungen hohen Grades zu verhindern. Da bei Unfällen der geschilderten Art als erstes der Brust- und Kopfbereich von Verbrennungsverletzungen betroffen ist, ist als Maß für die Löschwirkung einer Notduschanlage insbesondere das Brand- und Löschverhalten in diesem Körperbereich zugrunde zu legen.

Dieser Anwendungsfall und die besondere Bedeutung des Brust- und Kopfbereiches bilden die Grundlage für die *theoretische Erarbeitung eines Versuchsstandes und eines geeigneten Versuchsablaufs*. Hierbei wird eine Versuchspuppe bekleidet, mit brennbarer Flüssigkeit getränkt, entzündet und gelöscht. Als Meßgrößen werden Temperaturverläufe sowie eine optische Bewertung der Flammenausbreitung bzw. -eindämmung herangezogen.

Das Kernstück der Versuchsstandes stellt eine Versuchspuppe mit Temperaturmeßstellen dar. Sie ist aus unbeschichtetem Edelstahlblech ausgeführt und mit Bohrungen an den Meßstellen versehen, in welchen die Temperaturmeßfühler mit Silikonkautschuk fixiert sind. Gemessen wird jeweils die Temperatur über der Oberfläche. Zur optischen Bewertung des Brand-Lösch-Verlaufes werden die Versuche mit einer Videokamera dokumentiert.

Die äußere Gestaltung der Versuchspuppe bildet die hinsichtlich des Brand-Löschverhaltens wichtigsten menschlichen Formen in vereinfachter Geometrie nach. Ihre Abmessungen entsprechen einer mittleren männlichen Körpergröße. Auf dieser Versuchspuppe sind die Temperaturmeßstellen derart angeordnet, daß sich sowohl im Kopf- als auch im Rumpfbereich vergleichbare horizontale wie auch vertikale Temperaturprofile aufnehmen lassen. Die Bekleidung der Puppe ist praktischen Bedingungen in Laboratorien nachempfunden.

Der Versuchsstand ermöglicht den Einsatz verschiedener in der Bundesrepublik Deutschland handelsüblicher Duschköpfe unter jeweils optimalen Bedingungen bei vollständiger Einhaltung der relevanten bundesdeutschen Normvorgaben. Seine Auslegung basiert auf den technische Daten ausgewählter Referenzduschköpfe, insbesondere auf deren Abstrahlverhalten und Druck-Durchsatz-Kennlinien.

Als brennbare wasserlösliche sowie nicht wasserlösliche Gefahrstoffe werden Ethanol und Heptan eingesetzt.

Der Versuchsablauf ist in hohem Maße standardisiert; als einzige freie Variablen fungieren der verwendete Duschkopf und der Wasservolumenstrom.

Die *experimentelle Konkretisierung des Versuchsablaufs* umfaßt die Einstellung nicht vollständig theoretisch ableitbarer Parameter wie Auswahl, Menge und Aufgabeart der brennbaren Flüssigkeit oder Vorbrandzeit zwischen Zündung und Löschbeginn.

Die *experimentelle Versuchsdurchführung* geschieht unter Einsatz von jeweils 50 ml Heptan als brennbarer Flüssigkeit und umfaßt einen eingestellten Löschwasser-Volumenstrombereich von 20 bis 330 l/min. Mit diesem großen Volumenstrombereich lassen sich die Abhängigkeiten der für die Auswertung wichtigsten Größen vom Wasserdurchsatz aussagekräftig ermitteln. Dabei wird der Schwerpunkt auf denjenigen Meßbereich gelegt, in dem das Löschergebnis besonders stark von einer geringen Volumenstromänderung beeinflusst wird oder in dem gegebenenfalls starke statistische Schwankungen bei gleichem Volumenstrom zu beobachten sind. Zudem werden in jedem Volumenstrombereich soweit möglich Messungen mit unterschiedlichen Duschköpfen durchgeführt, um typenbedingte Schwankungen auszugleichen. Dazu werden die einzelnen Notduschköpfe in ihrem jeweils optimalen Volumenstrombereich eingesetzt. Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit werden Mehrfachmessungen durchgeführt.

Zur *Auswertung der Ergebnisse* der Brand-Lösch-Versuche werden zunächst geeignete Belastungsmaße definiert, mit welchen sich die erzielte Löschwirkung quantifizieren läßt.

Die *visuellen Belastungsmaße*, deren Werte sich aus der Videodokumentation gewinnen lassen, umfassen zunächst die Löschdauer bis zum Verlöschen der Flammen im Bereich des Oberkörpers sowie den Anteil der sichtbaren Flammenfläche an der Gesamtfläche des Oberkörpers zu verschiedenen Zeitpunkten. Diese Ergebnisse lassen sich untereinander mit Hilfe von Konsistenztests absichern. Als rein qualitatives Belastungsmaß läßt sich weiterhin die Flammenausbreitung im Kopf- und Halsbereich nach 5 s Löschzeit hinzuziehen.

Die mit Hilfe einer hochfrequenten Meßwertermittlung gewonnenen Temperaturverläufe müssen zunächst einem speziell entwickelten Glättungsverfahren unterzogen werden, bevor sie zur Ermittlung der Werte der *thermischen Belastungsmaße* herangezogen werden können. Diese Maße umfassen zunächst die jeweiligen Maximaltemperaturen für die Körperbereiche Kopf und Brust sowie Hüfte und Bein. Ein weiteres Maß stellen die Mittelwerte speziell definierter Temperatur-Zeit-Integrale dar, die als Maß für die in das System eingebrachte Wärmemenge Verwendung finden.

In die Auswertung sind die Ergebnisse einer *brandmedizinischen Stellungnahme* eingeflossen.

Die Beantwortung der Frage, ob unterschiedliche Anforderungen an *Über-Kopf-Notduschen in Laboratorien und Betriebsstätten* abgeleitet werden können, bedingt zunächst das Heranziehen aussagekräftigen Datenmaterials. Hierzu steht für die Bundesrepublik Deutschland eine langjährige Aufarbeitung der tödlichen Arbeitsunfälle zur Verfügung. Zur Auswertung wird eine Klassifizierung der relevanten Unfallarten sowie eine zahlenmäßige Gegenüberstellung der betriebsstätten-typischen und unspezifischen Unfälle mit potentieller Notduschenanwendung vorgenommen.

4 Medizinische Grundlagen

Die Schwere einer Verbrennung ist von der Größe der verbrannten Hautfläche und der Verbrennungstiefe („Grad“ der Verbrennung) abhängig. Dem Grad einer Verbrennung lassen sich näherungsweise bestimmte Temperaturen auf der Hautoberfläche zuordnen:

- Verbrennung ersten Grades bei Temperaturen über 45 °C; „epidermale Hautschädigung“: Betroffen ist nur die ca. 0,5 mm dicke Oberhaut (Epidermis); es entsteht eine schmerzhafte Rötung und Schwellung (ähnlich einem Sonnenbrand); Selbstheilung ist innerhalb weniger Tage zu erwarten.
- Verbrennung zweiten Grades bei Temperaturen ab 55 °C; „oberflächlich-dermale Bandverletzung“ (Verbrennungsgrad IIa):
Auf den geschädigten Hautflächen sind Rötung und Blasenbildung zu beobachten; unter entsprechender Therapie ist auch hier mit Selbstheilung zu rechnen, falls keine Infektionen oder sonstige Komplikationen auftreten.
„tief-dermale Hautschädigung“ (Verbrennungsgrad IIb):
Es entsteht eine schwere Hautschädigung, die eine monatelange Wundbehandlung oder chirurgisches Eingreifen notwendig macht.
- Verbrennungen dritten Grades bei Temperaturen oberhalb 60 °C:
Die betroffenen Hautpartien werden vollständig zerstört; es erfolgt die Bildung abgestorbenen (nekrotischen) Gewebes bis hin zur völligen Verkohlung bis in tiefe Hautschichten.

Je nach Schwere und räumlicher Ausbreitung einer Verbrennung können lokale Verbrennungen von sekundären Schädigungen begleitet werden. Weil der menschliche Körper an den zerstörten Hautpartien nicht mehr gegen Umwelteinflüsse geschützt ist, entsteht eine hohe Infektionsgefahr sowie ein starker Flüssigkeitsverlust, da sich eine verbrannte Hautfläche hinsichtlich der Wasserverdunstung wie eine offene Wasserfläche verhält. Der Flüssigkeitsverlust ist mit einem hohen Energiedefizit des Körpers verbunden. Darüber hinaus bilden sich an den verbrannten Stellen in der Haut Verbrennungstoxine, die zu weiteren Schädigungen des Organismus führen können.

Sind 60 bis 70% der Hautfläche verbrannt, so führt diese Verletzung zum sicheren Tod. Aber auch schon kleinerflächige Verbrennungen (10 bis 20% der Hautfläche) verursachen die oben genannten sekundären Schädigungen. Brandverletzungen im Bereich des Gesichts, beider Hände oder beider Füße sowie des Genitalbereichs sind besonders kritisch zu beurteilen.

Ein weiteres besonders zu beachtendes Problem stellen die Flammenentwicklung und die heißen Verbrennungsgase dar, welche gerade bei einem für Laborunfälle typischen Brand im Brustbereich vor allem am Kopf zu finden sind. Eingeatmete heiße Verbrennungsgase verursachen Verletzungen oder Vergiftungen in der Luftröhre und in den Lungen; man spricht von einem „Inhalationstrauma“.

Brandmediziner fordern daher, daß Erste-Hilfe-Maßnahmen darauf abzielen müssen,

- die brennende Person möglichst schnell abzulöschen,
- wenn möglich die verbrannten Hautpartien mit Wasser zu kühlen und
- anschließend die Wunde mit nichtfaserigem und möglichst sterilem Verbandsmaterial abzudecken, um Infektionen zu vermeiden.

Aus medizinischer Sicht ist daher, soweit möglich, für das Ablöschen von brennenden Personen und das Kühlen der Brandwunde Wasser in ausreichender Menge das Mittel der Wahl. Das Kühlen der Wunde durch eine Berieselung mit kaltem Wasser hat zudem die Aufgabe, auf die verletzte Person beruhigend einzuwirken, den Schmerz zu lindern und mittels einer Kaltwassertherapie die temperaturabhängigen biochemischen Vorgänge in der Haut zu verlangsamen, wodurch Hautverlust und Organismusschädigungen reduziert werden können /BUND-83/LOHM-84/SCHU-89/.

Diese bis zu 30 Minuten lang durchzuführende Kaltwasserbehandlung ist jedoch auf die Behandlung einzelner Körperpartien beschränkt. Die Behandlung eines Unfallopfers, welches großflächige Verbrennungen aufweist, mit einer Notdusche über das eigentliche Ablöschen hinaus würde zu lebensbedrohlichen Schockzuständen führen und ist daher zu vermeiden /BRAN-95/.

5 Duschkopftypen

5.1 Kennlinien und Strömungsbilder / Einführung

Die Löschwirkung einer Über-Kopf-Notdusche wird hauptsächlich von der pro Zeiteinheit durchgesetzten Wassermenge sowie dem Strömungsbild des jeweils verwendeten Duschkopfes bestimmt. Unter dem Begriff "Strömungsbild" sei hier die Art und Weise verstanden, in der das Löschwasser vom Duschkopf abstrahlt. Dieser Begriff umfaßt insbesondere die Wasserverteilung, die Tropfengröße und die Austrittsgeschwindigkeit des Löschwassers.

Die Wasserverteilung ist nach DIN 12 899, Teil 1, unter Bezug auf die Ebene 70 cm unterhalb des Duschkopfes genormt (siehe Anhang A2). Es besteht jedoch auch bei Einhaltung dieser Regelung noch ein erheblicher Freiraum in der Ausgestaltung des Strömungsbildes.

Das Strömungsbild hängt bei einem gegebenen Duschkopf stark von dem durchgesetzten Volumenstrom ab. Qualitativ lassen sich im allgemeinen vier Bereiche unterscheiden, die in der Kennlinie (dem für jeden Duschkopf charakteristischen Volumenstrom - Vordruck - Diagramm) wie folgt dargestellt und charakterisiert werden können:

Um auch den Volumenstrom über einen großen Wertebereich variieren zu können, ist der Einsatz verschiedener Duschkopfgrößen unabdingbar. Dieses wird in der vorliegenden Studie durch eine Auswahl sieben normgerechter Notduschköpfe erreicht, die jeweils in ihrem hinsichtlich der Strömungsbildausprägung optimalen Volumenstrombereich eingesetzt werden, ergänzt um den bereits erwähnten Sanitärduschkopf.

Nachfolgend werden die Duschköpfe charakterisiert, wobei sie zu bauartähnlichen Typengruppen zusammengefaßt werden.

Duschköpfe mit Düsenkränzen

Mit Hilfe spezieller Düsensysteme erzeugen zwei der eingesetzten Notduschköpfe sehr feine Wassernebel. Hierzu sind eine Reihe von Düsenaufsätzen angebracht, deren Anzahl sich nach der zu erzielenden Kennlinie richtet. Als Strömungsbild ergeben sich sehr fein verdüστε, sich trichterförmig ausweitende Strahlen aus jeder Einzeldüse, die gemeinsam einen stark aufgeweiteten Wasserkegel bilden.

Duschköpfe mit Lochplatten

Die größte Typenvielfalt besteht bei den Duschköpfen, welche aus einer Lochplatte und einem Oberteil, welches die interne Wasserverteilung einstellt, aufgebaut sind. Das Strömungsbild ist von nahezu senkrecht aus den einzelnen Bohrungen fallenden Strahlen geprägt; die gesamte Wassersäule ist bei kleinen Volumenströmen nahezu zylindrisch, weitet sich aber bei hohen Durchsätzen leicht kegelförmig aus.

Die verwendeten Notduschköpfe besitzen ca. 50 - 110 Bohrungen von 2 - 3 mm Durchmesser bei einem Grundplattendurchmesser von ca. 90 - 150 mm.

Zur Typengruppe der Duschköpfe mit Lochplatten zählt auch der verwendete Sanitärduschkopf mit 48 1-mm-Bohrungen; er entspricht jedoch nicht DIN 12 899.

Duschköpfe für hohe Volumenströme

Zwei weitere eingesetzte Duschköpfe bilden ihr typisches Strömungsbild erst bei relativ hohen Volumenströmen aus.

Der erste dieser Duschköpfe besitzt in der Mitte eine Umlenkeinheit zur Erzeugung schräg seitlich gerichteter Strahlen. Darüber befindet sich ein glockenförmiger Umlenkkörper, der zur exzentrisch-tangentialen Abwärtsführung der feinen Einzelstrahlen führt. Es ergibt sich ein kegelförmig aufweitendes Strömungsbild.

Der zweite in diese Typengruppe einzuordnende Notduschkopf besitzt in der Mitte eine Lochplatte mit zusätzlicher seitlicher Auslaßöffnung. Über die Lochplatte ist ein glockenförmiger Umlenkkörper zur Führung aus der Mitte austretenden Wassers gesetzt. Grobe Einzelstrahlen in der Mitte bilden gemeinsam mit einem seitlichen Wasserfilm das Strömungsbild dieses Duschkopfes.

6 Experimenteller Aufbau

Grundvoraussetzung für die experimentelle Durchführung der Untersuchungen sind Entwicklung und Aufbau eines geeigneten Versuchsstandes. Die geometrischen Anforderungen der DIN 12 899 hinsichtlich Anbringungshöhe der Duschköpfe und freiem Raum unterhalb des Duschkopfes (siehe Anhang A1) sowie die technischen Daten der verwendeten Duschköpfe stecken dabei den Auslegungsrahmen ab. Abb. 6.1 zeigt eine Skizze des mobil ausgeführten Versuchsaufbaus.

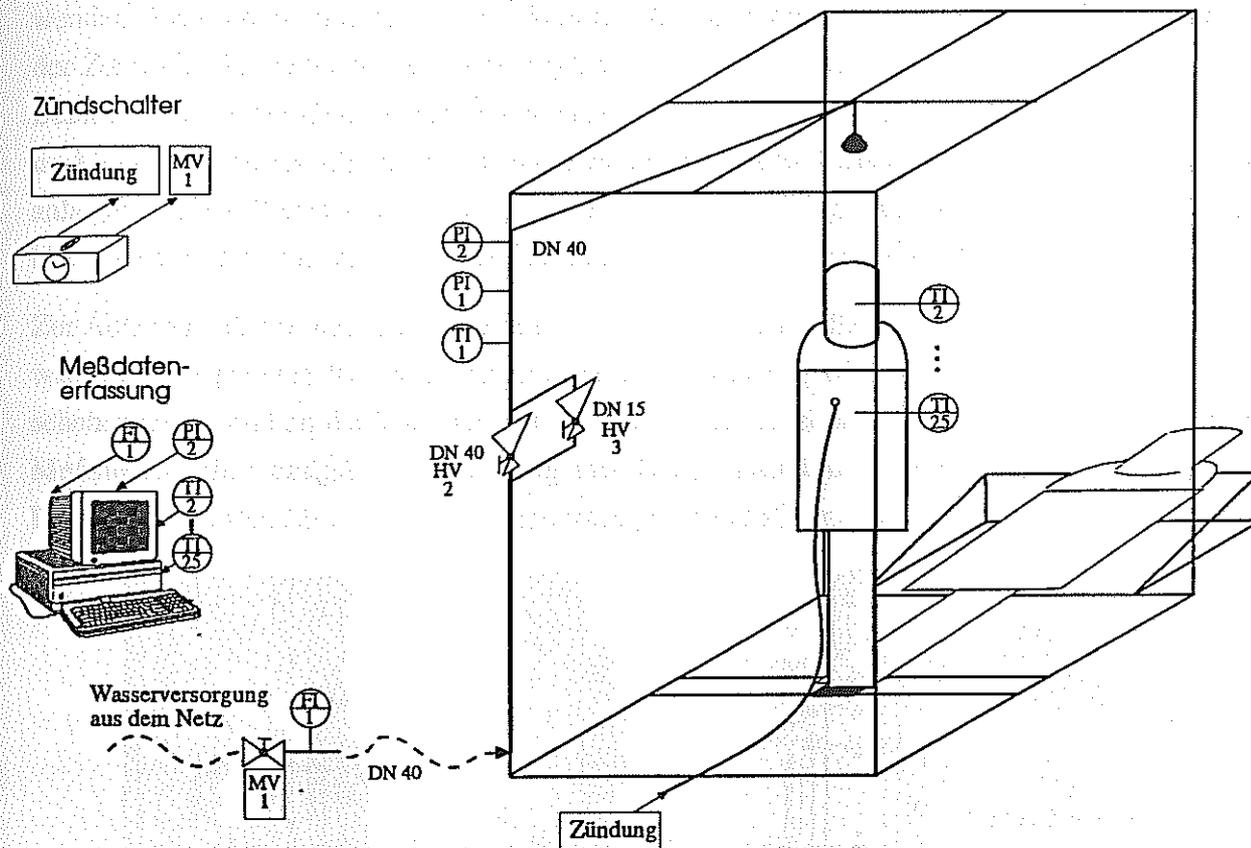


Abb. 6.1: Versuchsaufbau (Skizze)

Die Wasserversorgungsleitung mit Stell- und Magnetventilen sowie Volumenstrom-, Druck- und Temperaturmessung sind in ein Stahlrohrgestell eingebaut. Die Wasserversorgungsleitung endet mittig in einen Anschluß für die verschiedenen Duschköpfe. Darunter ist eine Versuchspuppe mit Temperaturmeßstellen angebracht; diese kann zur Aufgabe der brennbaren Flüssigkeit nach hinten geklappt und auf einem Ausleger abgelegt werden.

Des weiteren gehören zum Versuchsaufbau eine Meßdatenerfassung, eine Zündvorrichtung, eine Zeitschaltung für Zündung und Magnetventil sowie - nicht eingezeichnet - eine abnehmbare Vorrichtung zum direkten Auffangen und Ableiten des Löschwassers aus dem Duschkopf und eine Stoppuhr zur Unterstützung der Video-Versuchsdokumentation.

6.1 Versuchspuppe

Die Versuchspuppe soll reproduzierbare Messungen der Löschwirkung bei gleichzeitiger Simulation der wichtigsten relevanten Faktoren einer zu löschenden Person erlauben.

Sie ist als vereinfachte menschliche Form ausgeführt, deren Abmessungen sich am durchschnittlichen männlichen deutschen Arbeitnehmer orientieren (50. Perzentil nach DIN 33 402; siehe Anhang A3). Als Bekleidung wird - typische Laborbedingungen nachbildend - zunächst im Rumpfbereich zweilagige und im Beinbereich einlagige, speziell zugeschnittene Baumwollkleidung verwendet. Während die innere Lage der Rumpfbekleidung beim Ankleiden wenig Spiel besitzt, ist der Zuschnitt der äußeren Lage weiter gehalten. Die innere Lage wird mit der Bekleidung des Beinbereiches verbunden, um ein Überschlagen der Flamme zu ermöglichen. Über die beschriebene Kleidung wird ein GS-geprüfter, baumwollener Original-Laborkittel gezogen, dessen Ärmel anliegend in den Seitentaschen befestigt werden. Abb. 6.2 zeigt die 1,75 m große, aus VA-Stahlblech hergestellte Versuchspuppe als Skizze sowie in der beschriebenen Kleidung als Foto.

Zur Aufnahme der Temperaturprofile stehen 24 Temperaturmeßfühler zur Verfügung. Da die Auswahl der geeignetsten Beobachtungsorte nur experimentell auf der Basis von Vorversuchen geschehen kann, sind an der Vorderseite der Puppe 30 Meßstellen vorgesehen. Die Anordnung der Meßstellen, ihre endgültige Belegung mit Temperaturfühlern sowie ihre Gruppierung zu Beobachtungsorten für die Versuchsauswertung ist ebenfalls in Abb. 6.2 dargestellt.

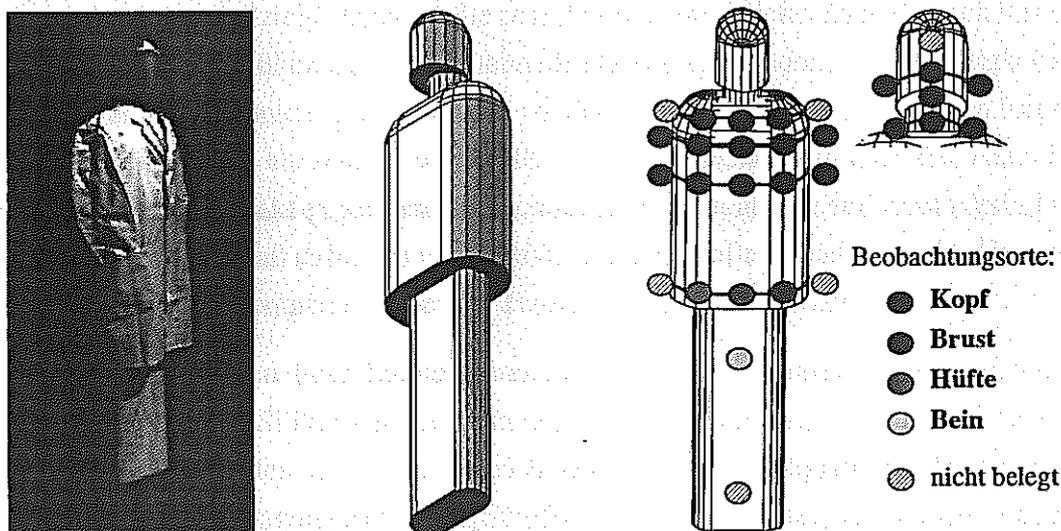


Abb. 6.2: Brandversuchspuppe: Ansicht, Skizze und Anordnung der Temperaturmeßstellen

6.2 Brennbare Flüssigkeiten

Als brennbare Gefahrstoffe sollen sowohl wasserlösliche als auch nicht wasserlösliche brennbare Flüssigkeiten eingesetzt werden. Die Anforderungen, die diese Stoffe erfüllen müssen, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Sie sollen gut brennbar sein und gute Fließ- und Benetzungseigenschaften besitzen.

- Ihre Flüchtigkeit soll
 - gering genug sein, damit die Flüssigkeit vom Beginn ihrer Aufgabe bis zur Zündung nicht schon zum größten Teil verdampft ist, aber
 - groß genug sein, um sicher ein zündfähiges Gas-Luft-Gemisch auszubilden;
- Zur Erhöhung der Arbeitssicherheit während der experimentellen Untersuchungen sollen sie nur gering gesundheitsgefährdend sein.

Schließlich sollte es sich um Stoffe handeln, deren Eigenschaften denen üblicherweise in Laboratorien gehandhabter Stoffe entsprechen.

Ethanol und Heptan erfüllen diese Kriterien in guter Weise.

6.3 Meßwerte und Meßwertaufnahme

Bei typischen Labor-Verbrennungsunfällen findet die primäre Wärmeentwicklung in der - teils mit brennbarer Flüssigkeit getränkten - Kleidung statt. Es vollzieht sich ein Wärmeübergang von der Kleidung zur Haut, der Verbrennungsprozesse zunächst auf der Hautoberfläche und schließlich auch in tieferen Hautschichten in Gang setzt.

Bei dem angesprochenen Wärmeübergang ist zwischen der Hauttemperatur und der Temperatur über der Haut zu unterscheiden. Während die Hauttemperatur sich einer genauen Messung im Simulationsexperiment entzieht (dazu müßte sowohl die menschliche Haut als auch das darunterliegende Gewebe einschließlich des für den lebenden Organismus normalen Feuchtigkeitsgehaltes nachgebildet werden) und auch Annäherungen vor dem Hintergrund der geforderten Reproduzierbarkeit unverhältnismäßig aufwendig wären, läßt sich die Temperatur über der Hautoberfläche einfach und hinreichend exakt experimentell nachbilden. Als wichtigste verbrennungsinduzierende Größe ist sie zudem ein Maß dafür, ob im Realfall eine ernsthafte Schädigung der Haut ausgelöst würde. Daher wurde die Temperatur über der Haut als Meßgröße gewählt.

Meßtechnisch erfaßt werden diese Temperaturen durch Ni-Cr/Ni-Mantelthermoelemente (Typ K), welche durch Stopfen aus Silikonkautschuk in den Meßstellenbohrungen fixiert werden. Silikonkautschuk ist im auftretenden Temperaturbereich nicht brennbar; lediglich bei länger anhaltender, direkter Flammenbeaufschlagung tritt an den Stopfenrändern ein leichtes, selbstverlöschendes Glimmen auf. Auch behält das Material unter den auftretenden Bedingungen seine glatte äußere Form.

Der Temperaturmeßwert hängt erheblich davon ab, wie weit die Thermolemente aus den Stopfen herausragen (ca. 10 °C Differenz pro 0,1 mm offene Thermolementlänge). Diese Länge wurde mit 3,3 mm so gewählt, daß sich unter Flammeneinwirkung gleiche Temperaturmeßwerte ergeben wie bei einem flach auf das Stopfenmaterial aufgelegten Thermolement. Bei den verwendeten Mantelthermoelementen ergibt sich ein Wert von . Diese freie Länge wurde bei den mehrtägigen Versuchsreihen für alle Meßstellen mehrfach kontrolliert.

Die verwendete computerbasierte Meßwertaufnahmetechnik ermöglicht für die gemessenen Temperaturen ebenso wie für den induktiv bestimmten Wasservolumenstrom und den Fließdruck eine

Auflösung von 360 Meßpunkten je Signal und Minute. Die Wassertemperatur ist manuell abzulesen.

Der Meßwertaufnehmer für den Fließdruck ist 26 cm unterhalb des Duschkopfes angebracht, wodurch eine hydrostatische Druckdifferenz von 0,026 bar entsteht. Angesichts der wesentlich größeren Schwankungsbreite dieses Meßwertes wurde diese Druckdifferenz vernachlässigt.

7 Versuchsdurchführung

Die Brand-Löschversuche wurden im großen Brandstollen der Versuchsgrube Tremonia der DMT-Gesellschaft für Forschung und Prüfung mbH in Dortmund durchgeführt. Versuchsbedingungen und Versuchsablauf werden nachfolgend beschrieben.

7.1 Vorversuche

Das Ziel der Vorversuche besteht darin, den Versuchsablauf zu optimieren und experimentelle Parameter wie die Auswahl der brennbaren Flüssigkeit, ihre eingesetzte Menge und Aufbringungsart sowie die Vorbrandzeit festzulegen. Bei diesen Vorversuchen kann die bereits beschriebene Bekleidung der Versuchspuppe vereinfacht ausgeführt werden.

Als Ergebnis der Vorversuche zur Auswahl der brennbaren Flüssigkeit kann festgehalten werden, daß Heptan einen für das Unfallopfer deutlich ungünstigeren Brand-Löschverlauf bewirkt als Ethanol. Innerhalb des eigentlichen Versuchsprogramms wird daher Heptan verwendet.

Die Menge und Verteilung des Heptans stellt ein Optimierungsproblem dar. Einerseits soll eine hinreichend hohe Brandintensität und Brandverteilung erzielt werden, um etwaige Unterschiede in der Löschwirkung signifikant in Temperaturkurven und optischer Betrachtung darstellen zu können. Andererseits soll die Simulation einer „menschlichen Fackel“ vermieden werden, da bei einem zu weit fortgeschrittenen Personenbrand das Leben der betreffenden Person auch mit einer noch so guten Löschwirkung nicht mehr zu retten ist und daher solche Versuche außerhalb des interessierenden Betrachtungsraumes liegen.

Die Menge von 50 ml Heptan bei einer Verteilung von 40 ml im Brustbereich und 10 ml in zwei senkrechten Linien im Bauchbereich erweist sich als geeigneter Kompromißwert.

Auf diese Weise gerät auch die - nicht getränkte - Beinbekleidung in Brand. Aufgrund der Geometrie der Versuchspuppe, durch welche der obere Beinbereich unter dem Laborkittel sehr gut von dem Löschwasserstrahl abgeschirmt wird, ergeben sich jedoch in diesem Bereich unrealistische Brandverläufe.

Die Vorbrandzeit unterliegt dem gleichen Optimierungsproblem wie die Art und Menge der brennbaren Flüssigkeit. Ein Zeitraum von 10 s stellt, vom experimentellen Verlauf her gesehen, einen geeigneten Wert dar. Als Simulation der Zeit vom Unfall bis zum Erreichen und Betätigen einer Notdusche erscheint diese Zeitspanne für einen hinreichend mit Notduschen ausgerüsteten Laborbereich und entsprechend sicherheitstechnisch unterwiesenes Personal auch realistisch.

Ebenfalls als Ergebnis der Vorversuche ist die Belegung der Temperaturmeßstellen festzuhalten. Die Verteilung der Temperaturfühler nach Abb. 6.2c stellt das Optimum hinsichtlich der Aussagekraft der zu ermittelnden Meßergebnisse dar.

7.2 Versuchsbedingungen

Das als Duschwasser eingesetzte Grubenwasser besitzt eine mit Trinkwasser vergleichbare Qualität und wies Temperaturen zwischen 12 und 15 °C auf. Die Raumtemperatur lag, mit geringen Abweichungen, bei ca. 14 °C. Zum Absaugen der Verbrennungsabgase, die einer Rauchgasreinigungsanlage zugeführt wurden, ist ein Luftzug von weniger als 0,01 m/s ausreichend.

7.3 Versuchsablauf

Bei der Versuchsdurchführung werden Arbeitsschritte mit besonderer Anfälligkeit für eine Beeinflussung des Versuchsergebnisses, wie beispielsweise die Aufgabe der brennbaren Flüssigkeit, stets von derselben Person vorgenommen.

Die einzelnen Arbeitsschritte sind - sofern jeweils notwendig - in der folgenden Reihenfolge durchzuführen:

- Vorbereitung der Duschvorrichtung:
 - Anbringen des gewünschten Duschkopfes
 - Anbringen der Wasserauffangvorrichtung unter dem Duschkopf
 - Öffnen des Magnetventils MV1
 - Einstellen des gewünschten Volumenstromes mit den Handventilen HV2 und HV3
 - mehrfaches Schließen und Öffnen des Magnetventils und Nachregeln des Volumenstromes zur Reduzierung von Driftfehlern
 - Schließen des Magnetventils, Abbau der Wasserauffangvorrichtung
- nicht zeitkritische Vorbereitung der Versuchspuppe:
 - Abtrocknen der Versuchspuppe, insbesondere der Meßstellen
 - Ankleiden der Versuchspuppe
 - Nach-hinten-Klappen der Versuchspuppe auf das Auflagegestell
 - Abfüllen der brennbaren Flüssigkeit
- zeitkritische Vorbereitungen und eigentlicher Brand-Lösch-Versuch:
 - Start der Stoppuhr bei Beginn der Aufgabe der brennbaren Flüssigkeit ($t=0'00''$)
 - Aufrichten der Versuchspuppe
 - Anbringen des Zünders
 - Start von Meßwertaufnahme und Videodokumentation
 - bei $t=2'45''$ Betätigen der Zündvorrichtung => Zündung
 - 10'' nach Zündung automatische Öffnung des Magnetventils => Beginn des Löschvorgangs
 - Nach Verlöschen der sichtbaren Flammen: Beendigung des Duschvorganges und Ende von Meßwertaufnahme und Videodokumentation

- Versuchsnachbereitung:
 - Videodokumentation der Brandschäden an der Kleidung
 - Entfernen von Zünder und Kleidung

7.4 Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm muß verschiedenen Anforderungen genügen. Einerseits muß es einen großen Volumenstrombereich abdecken, um Abhängigkeiten der ermittelten Größen vom Wasserdurchsatz aussagekräftig wiedergeben zu können (ausgeführt wird ein Volumenstrombereich von 20 - 330 l/min). Andererseits ist es für die Aussagekraft der Meßergebnisse vorteilhaft, wenn insbesondere diejenigen Meßbereiche verstärkt untersucht werden, in denen das Löschergebnis besonders stark von einer geringen Volumenstromänderung beeinflusst wird oder in denen gegebenenfalls auffällige statistische Schwankungen bei gleichem Volumenstrom zu beobachten sind. Zudem ist darauf zu achten, daß in jedem Volumenstrombereich möglichst Messungen mit unterschiedlichen Duschköpfen durchgeführt werden, um typenbedingte Schwankungen auszugleichen. Dabei sollten die einzelnen Notduschköpfe in ihrem herstellerseitig dokumentierten, für sie optimalen Volumenstrombereich eingesetzt werden.

Abb. 7.1 zeigt eine Übersicht der ausgeführten Meßpunkte. Die Zahlen neben einzelnen Meßpunkten wiesen auf exakte Mehrfachmessungen hin; sie geben die Anzahl der jeweils durchgeführten Versuche an.

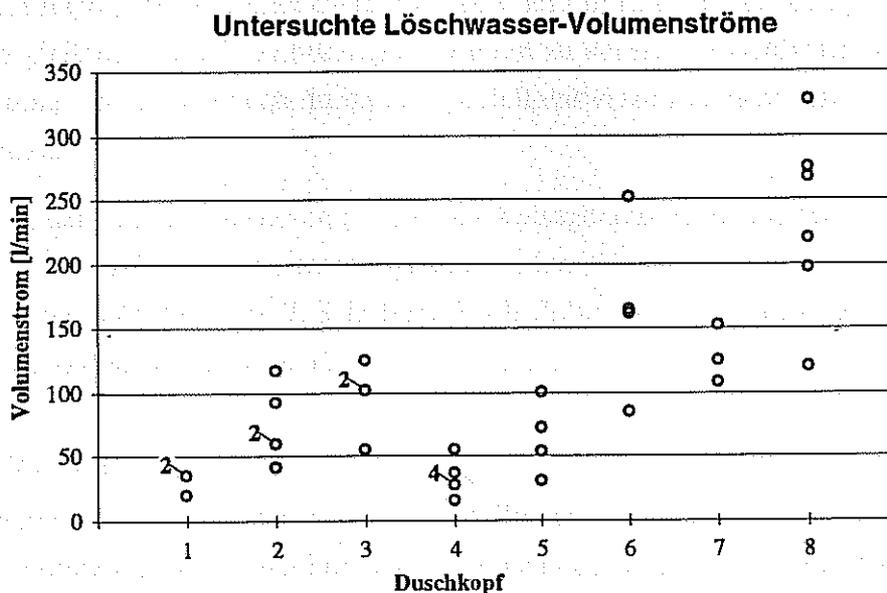


Abb. 7.1: Ausgeführtes Versuchsprogramm.

8 Versuchsergebnisse

Zur Beurteilung der in einem Brand-Lösch-Versuch erzielten Löschwirkung ist es zunächst notwendig, die Schädigungswirkung, welche aus dem Experiment für den Realfall abgeleitet werden

kann, zu quantifizieren. Hierzu werden im folgenden Belastungsmaße eingeführt, welche sich dem Wesen der zugrundeliegenden Daten nach in thermische und visuelle Maße unterteilen lassen.

8.1 Thermische Belastungsmaße - Definitionen und Ergebnisse

Aus den für jeden Versuch aufgenommenen 24 Temperaturkurven, der Löschwassermenge und dem Druckverlauf ergeben sich bei 360 Meßwerten pro Meßstelle und Minute und einer mittleren Versuchsdauer von ca. 2,5 Minuten 26 Kurven mit je durchschnittlich 900 Meßwerten für jeden durchgeführten Versuch. Diese Beobachtungen summieren sich für die 38 standardisiert durchgeführten Versuche zu 988 Kurvenverläufen, die in die Auswertung eingehen.

Bei dieser Datenmenge ist es notwendig, durch geeignete statistische Methoden und Zusammenfassung verschiedener Beobachtungen die vorhandene Informationsmenge zu komprimieren. Hierzu werden thermische Belastungsmaße definiert, mit denen der wesentliche Aussagegehalt der aufgenommenen Temperaturkurven verdeutlicht und ausgewertet werden kann.

8.1.1 Meßdaten und ihre Aufbereitung

Vor der Auswertung ist ein Aufbereiten insbesondere der Temperaturkurven notwendig. Diese weisen, durch Fehler in der Datenübertragung bedingt, häufig lokale Temperaturextrema auf, die sich vom Kurvenverlauf um bis zu 30 °C nach oben oder unten absetzen. Diese in Blindversuchen eindeutig als Fehlinformationen nachgewiesenen Abweichungen müssen durch ein Glätten der Kurvenverläufe eliminiert werden. Dabei ist jedoch zu beachten, daß die in der Realität auftretenden Temperaturmaxima nicht abgeschwächt werden dürfen. Einfache Glättungsfunktionen - wie beispielsweise gleitende Mittelwertbildungen - führen zu keinem befriedigenden Ergebnis. Eine sehr gute Glättung läßt sich jedoch durch ein speziell entwickeltes, zweistufiges lineares Filterverfahren erzielen.

Die Auswertung der Temperaturkurven gewinnt an Aussagekraft, wenn die Meßstellen der einzelnen Körperbereiche zu Gruppen zusammengefaßt werden. Diese hier als „Beobachtungsorte“ bezeichneten Gruppen sind Kopf mit 7, Schulter mit 13, Hüfte mit 5 einzelnen Meßstellen und Bein mit nur einer Meßstelle (vergl. Abb. 6.2).

8.1.2 Temperaturmaxima

In Abb. 8.1 werden die Temperaturmaxima innerhalb der Beobachtungsorte Kopf und Brust als Funktion des Volumenstromes betrachtet. Diese Temperaturmaxima geben die jeweils höchste erreichte Temperatur innerhalb des betreffenden Beobachtungsortes wieder. Die Maximaltemperaturen des Kopfbereiches schwanken zwischen 170 und 350 °C, diejenigen des Brustbereiches zwischen 40 und 80 °C mit einem Ausreißerwert von 140 °C. Sowohl im Kopf- als auch im Brustbereich ist bei Volumenströmen unter ca. 160 l/min eine höhere Schwankungsbreite der Maximaltemperaturen zu beobachten als bei den darüberliegenden Durchsätzen. Ganz allgemein ist die Schwankungs-

breite im Kopfbereich höher als im Brustbereich. Ein signifikanter Einfluß des Volumenstromes auf die jeweilige Maximaltemperatur läßt sich jedoch nicht ableiten.

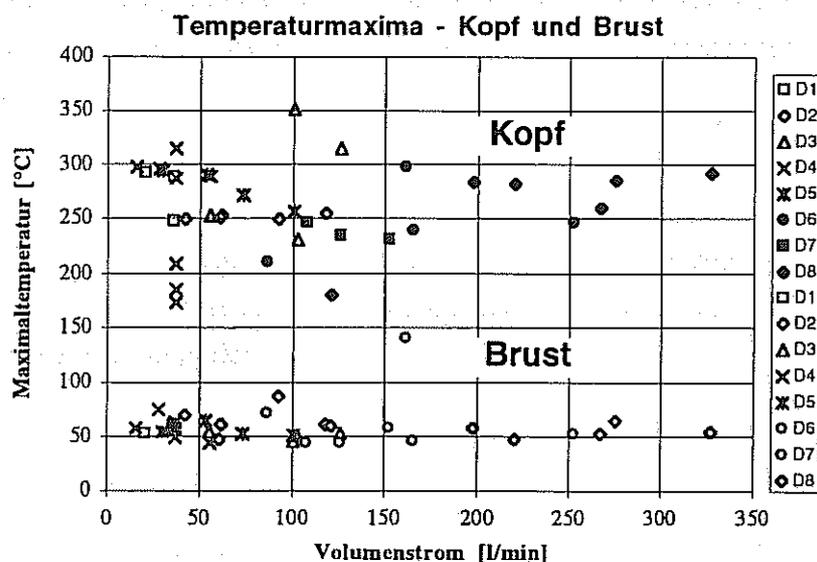


Abb. 8.1: Temperaturmaxima im Kopf- und Brustbereich

8.1.2 Temperaturintegrale

Um den Einfluß des Löschwasservolumenstromes auf die erreichbare Abkühlwirkung zu verdeutlichen, werden Temperatur-Zeit-Integrale (im folgenden als „Temperaturintegrale“ bezeichnet) nach Abb. 8.2 errechnet. Dabei werden vom Löschbeginn an für verschiedene Beobachtungszeiträume Δt_i die Flächen zwischen der Temperaturkurve und einer Vergleichstemperatur bestimmt.

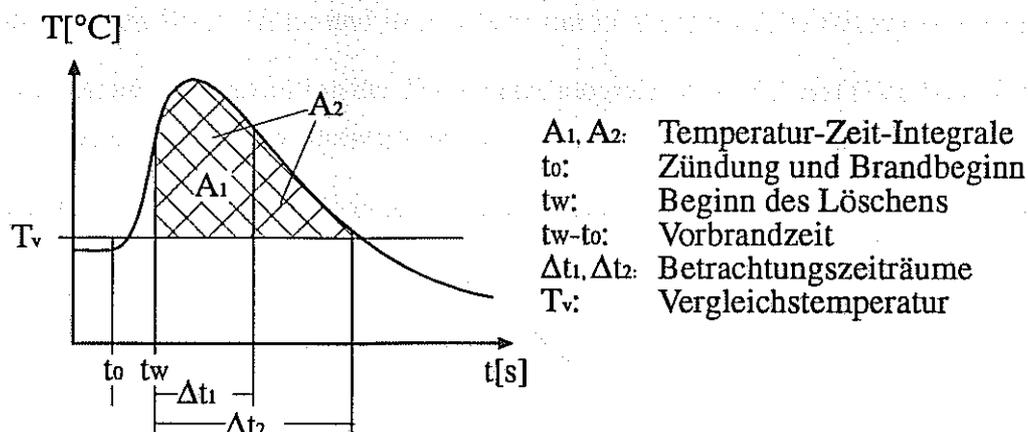


Abb. 8.2: Definition der Temperatur-Zeit-Integrale

Mathematisch lassen sich diese Integrale ausdrücken als

$$A_i = \int_{t_w}^{t_w + \Delta t_i} [T(t) - T_{ref}] dt. \quad (8.1)$$

Physikalisch lassen sie sich in erster Näherung als ein relatives Maß für die flächenspezifische Energiemenge ansehen, welche von der Haut aufgenommen wird. Wie bereits in Kapitel 6.3 beschrieben, gibt die gemessene Temperatur $T(t)$ den Zustand über der Haut wieder. Mit der Annahme einer konstanten Hauttemperatur T_H und einem ebenso konstanten Wärmeübergangskoeffizienten α kann der zu einem Zeitpunkt t pro Flächeneinheit übertragene Wärmestrom q^* näherungsweise bestimmt werden zu

$$q^*(t) = \alpha \cdot [T(t) - T_H]. \quad (8.2)$$

Die Integration über einen Beobachtungszeitraum Δt ergibt die in diesem Zeitraum pro Flächeneinheit übertragene Wärmemenge q . Die sich ergebende Gleichung verdeutlicht die Analogie zur Definition der Temperaturintegrale:

$$q(\Delta t) = \alpha \cdot \int_{t=t_0}^{t_0+\Delta t} [T(t) - T_H] dt. \quad (8.3)$$

Als Vergleichstemperatur dient für das ausgewählte System die Wassertemperatur (hier 12 °C). Hierdurch treten nur Temperaturen oberhalb der Vergleichstemperatur auf; negative (unterhalb der Vergleichstemperatur liegende) Anteile der Temperaturintegrale werden dadurch vermieden.

Einige Diagramme sind nachfolgend abgedruckt. Deutlich erkennbar ist die Tendenz, daß die Integralmittelwerte mit steigendem Volumenstrom einer geringeren Streubreite unterliegen und sich gleichzeitig einem konstanten Verlauf annähern. Zudem treten bei kleineren Volumenströmen wesentlich höhere Integralwerte auf als bei großen Durchsätzen.

Das im letzten Absatz beschriebene Verhalten ist im Kopfbereich sehr stark ausgeprägt, an den Beobachtungsorten Brust, Hüfte und Bein jedoch nur in abgeschwächter Form zu beobachten.

Wie sich bereits aus der Definition der Temperaturintegrale (Abb. 8.2 und Gleichung 8.1) ableiten läßt, steigen die erreichten Absolutwerte mit wachsender Beobachtungszeit an.

Die Diagramme enthalten zusätzlich eine Ausgleichskurve, die nachfolgend erläutert wird.

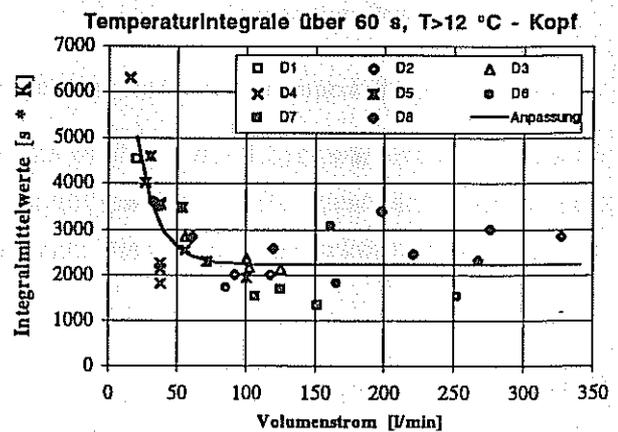
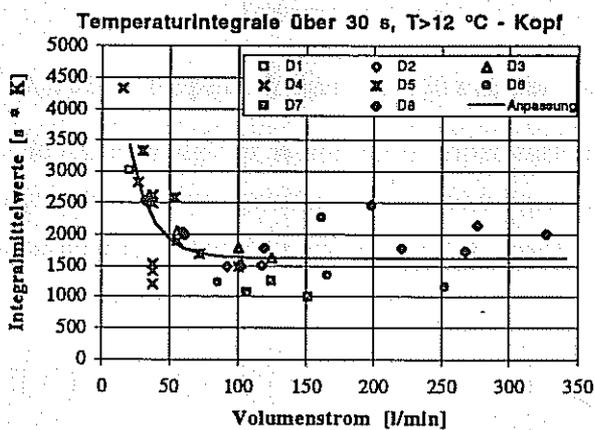
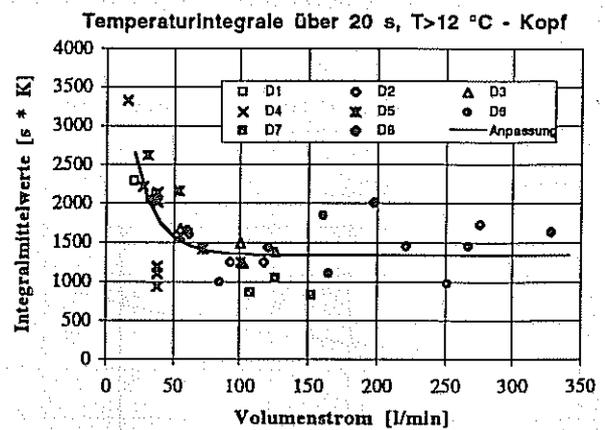
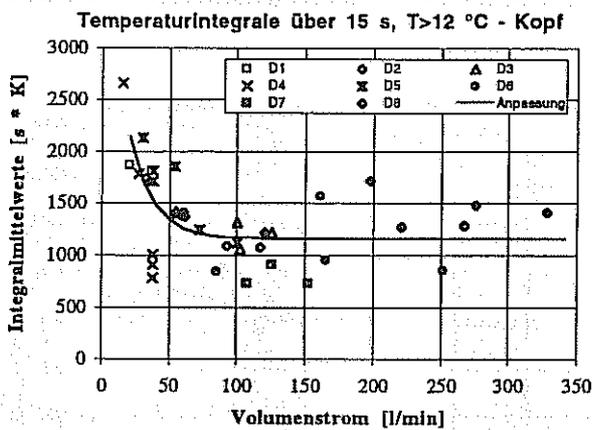
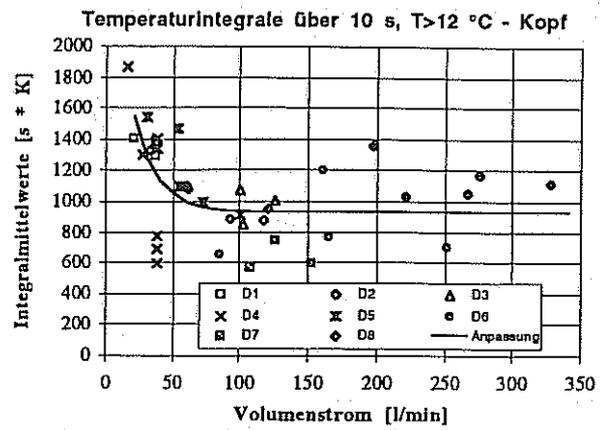
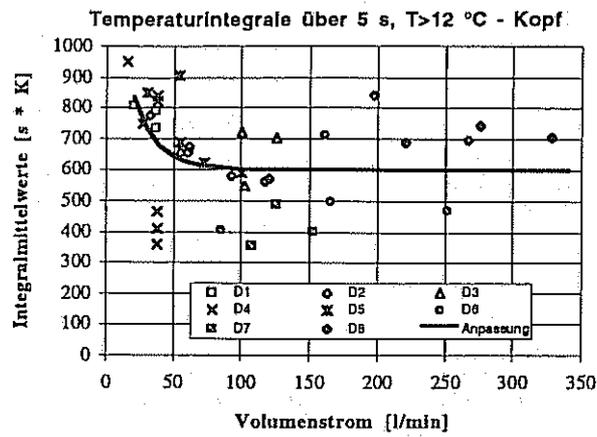


Abb. 8.3: Temperaturintegrale über 5, 10, 15, 20, 30 und 60 s für den Kopfbereich; Vergleichstemperatur $T_v = 12\text{ °C}$

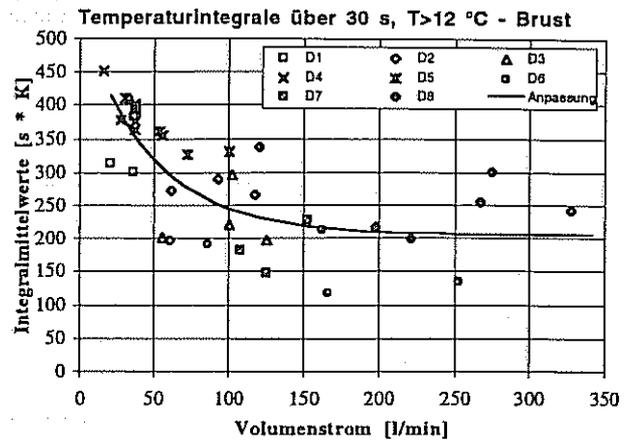
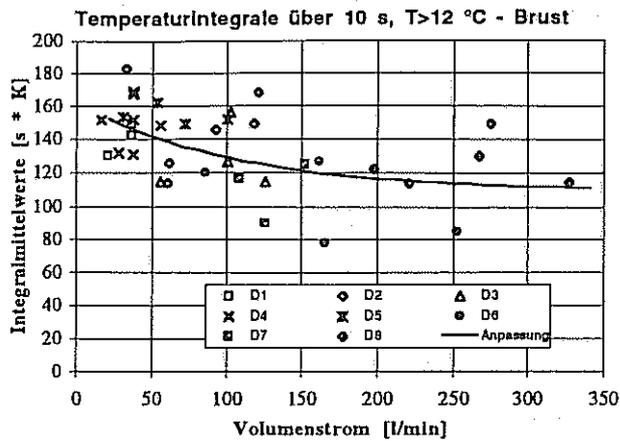


Abb. 8.4: Temperaturintegrale über 10 und 30 s für den Brustbereich; Vergleichstemperatur $T_v=12\text{ °C}$

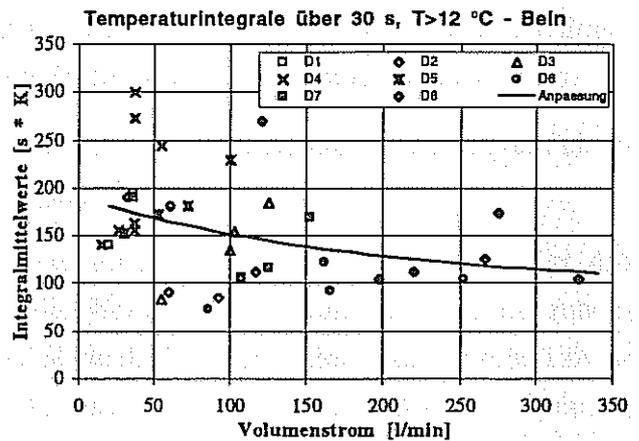
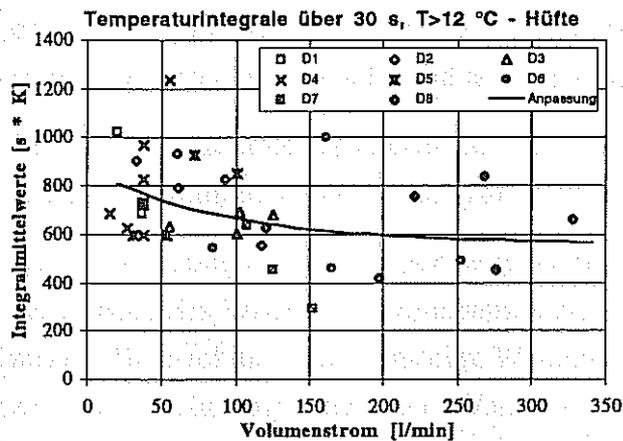


Abb. 8.5: Temperaturintegrale über 30 s für den Hüft- und Beinbereich; Vergleichstemperatur $T_v=12\text{ °C}$

Die Auftragung der Werte der Temperaturintegrale als Funktion des Löschwasserdurchsatzes für einen Beobachtungsort und Beobachtungszeitraum ergibt jeweils eine Punkteschar, die durch eine exponentielle Anpassungskurve beschrieben werden kann. Die allgemeine Funktionsgleichung hierfür lautet:

$$I(V^*) = I_A + I_0 \cdot e^{C \cdot V^*} \quad (8.6)$$

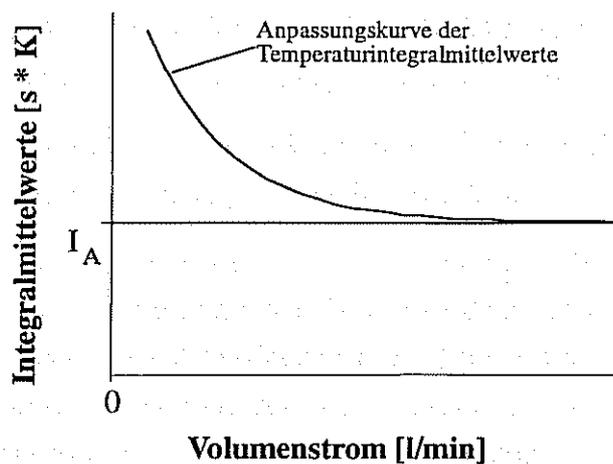


Abb. 8.6: Skizze zur quantitativen Auswertung der Temperaturintegrale

Wie Abb. 8.6 zeigt, gibt der Parameter I_A dabei die Asymptote an, also den Integralwert, der aufgrund der ausgewerteten Meßpunkte für einen unendlich großen Volumenstrom als Mittelwert zu erwarten ist. Physikalisch gesehen ist er näherungsweise als ein relatives Maß für diejenige Wärmemenge zu deuten, welche während der Vorbrandzeit in das Versuchssystem eingebracht wird.

Die Anpassungskurven werden mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate unter additiver Fehlerannahme bestimmt; sie sind in den Abb. 8.3 - 5 eingezeichnet.

Eine Betrachtung der Temperaturintegralauftragungen für den Kopfbereich (Abb. 8.3) zeigt, daß der Einfluß des Löschwasservolumenstromes auf die Werte der Temperaturintegrale mit zunehmender Beobachtungsdauer ansteigt. Während die Werte der Temperaturintegrale für eine Löschzeit von 5 s kaum signifikant vom Volumenstrom beeinflusst werden, da die statistische Streuung die Auftragung stark prägt, ist bei den Diagrammen für längere Löschzeiten hier eine steigende Signifikanz zu beobachten, während der Einfluß statistischer Schwankungen nachläßt. Die Ursache hierfür ist darin zu suchen, daß der Einfluß der Löschwassermengen auf die Lösch- und Kühlwirkung erst nach einer gewissen Einwirkungszeit groß genug ist, um nicht mehr von den statistischen Schwankungen des Brandverhaltens überlagert zu werden.

Bereits in der Auftragung für eine Löschzeit von 10 s zeigt sich jedoch eine Abnahme der Temperaturintegrale bei ca. 30 - 60 l/min. Dieses Verhalten prägt sich bei den Auftragungen für längere Beobachtungszeiten immer deutlicher aus, bis schließlich nach 60 s Löschzeit das Erreichen eines Plateaus mit Integralwerten zwischen 1500 und 3000 K*s bei einem Löschwasservolumenstrom von ca. 60 l/min beobachtet werden kann. An der Abbildung wird deutlich, daß der beschriebene Plateaubereich die statistische Schwankung der Integralmittelwerte um die Asymptote der Ausgleichskurve darstellt.

Die für den Temperaturverlauf an der Brust der Versuchspuppe ermittelten Temperaturintegralwerte zeigen eine wesentlich schwächer ausgeprägte Abhängigkeit vom Wasserdurchsatz als diejenigen für den Kopfbereich. Abb. 8.4 zeigt zudem, daß dieser Einfluß auch erst nach einem relativ langen Beobachtungszeitraum festzustellen ist. So läßt sich nach 10 s Löschzeit nur eine geringe Tendenz zur Abnahme der thermischen Belastung mit steigendem Volumenstrom erkennen; nach

30 s ist jedoch wieder ein Wasserdurchsatz von 30 - 60 l/min als Grenzbereich auszumachen, oberhalb dessen die thermischen Spitzenbelastungen nicht mehr erreicht werden.

Für den Hüft- und Beinbereich schließlich sind, wie Abb. 8.3 zeigt, auch für einen Beobachtungszeitraum von 30 s nur tendenzielle Abhängigkeiten festzustellen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die Lösch- und Kühlwirkung einer Notdusche, ausgedrückt als Verminderung der thermischen Belastung über die Definition der Temperaturintegrale, unter den gegebenen Versuchsbedingungen im Volumenstrombereich von 50 - 60 l/min deutlich abnimmt. Eine weitere Erhöhung des Wasserdurchsatzes läßt nur eine vergleichsweise geringe zusätzliche Abschwächung der Wärmebelastung erkennen.

8.2 Visuelle Belastungsmaße

Die nachfolgend eingeführten visuellen Belastungsmaße stellen Bewertungsmöglichkeiten der Löschwirkung auf der Grundlage des optisch sichtbaren Brand-Lösch-Verlaufs dar. Aufgrund der hohen Geschwindigkeit des zu untersuchenden Vorganges kann eine hinreichend fehlerfreie Auswertung ausschließlich anhand von Videoaufzeichnungen und durch weitere Bearbeitung des gewonnenen Bildmaterials erfolgen.

Zur sprachlichen Vereinfachung seien hier zunächst einige Definitionen vorangestellt. Unter dem Begriff „Löschzeit“ wird im folgenden die laufende Zeit seit Beginn des Löschvorganges verstanden. Als „Löschdauer“ wird dagegen die Löschzeit bis zum Verlöschen der Flammen im Kopf- und Oberkörperbereich bezeichnet.

8.2.1 Zur Aussagekraft der Videoaufzeichnungen

Die Auswertung des Brandverlaufes auf Basis der erstellten Videoaufzeichnungen beschränkt sich auf die äußere Flammenerscheinung. Hierbei ist jedoch der Einfluß der mehrschichtigen Kleidung zu beachten. In vielen Versuchen sind Brände der beiden Unterbekleidungsschichten des Rumpfbereiches zu beobachten, welche nicht auf den Laborkittel übergreifen. Abb. 8.7 zeigt für einen Versuch die Löschphase sowie die Brandspuren des Kittels und der beiden Unterbekleidungslagen. Deutlich zu sehen sind die Brandspuren in beiden Unterbekleidungsschichten an der Rumpfunterkante; der Kittel dagegen ist hier nur leicht angesengt.

Dieser Effekt tritt auch an anderen Stellen des Oberkörpers auf. In Einzelfällen wird erst nach Öffnen des Kittels oder Ausschalten der Beleuchtung erkennbar, daß nach äußerlich erfolgtem Ablöschen noch ein kleinerer Brand in den unteren Schichten fortbesteht.

Für die Auswertung folgt daraus, daß gerade der Brandverlauf in den der Haut am nächsten stehenden Schichten infolge der Sichtbehinderung durch den Kittel am schlechtesten beobachtet werden kann. Durch die begrenzte Auflösungsfähigkeit des Videosystems wird dieser Effekt noch verstärkt, so daß hierin eine unvermeidbare Fehlerquelle für die optische Auswertung gesehen werden muß.

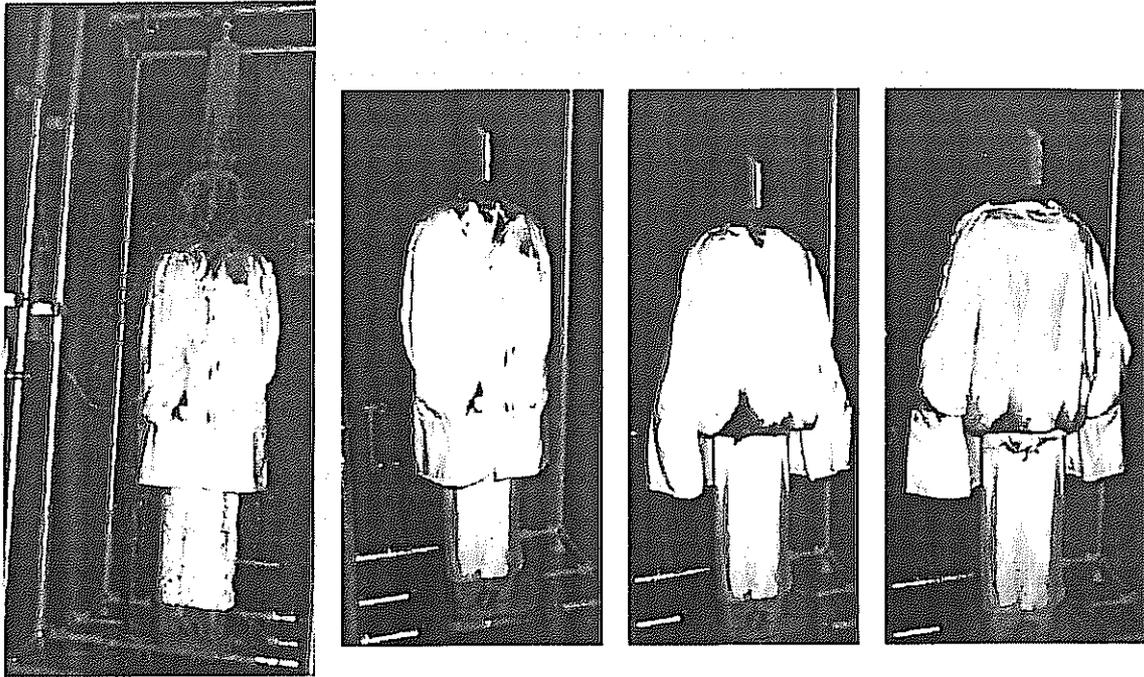


Abb. 8.7: Brandversuch: a) Löschvorgang; b-c) Auswirkung des Brandes auf die verschiedenen Kleidungsschichten: b) Laborkittel, c) obere Unterbekleidung, d) untere Unterbekleidung

8.2.2 Löschdauer

Als erstes visuelles Belastungsmaß wird aus den Videoaufnahmen die Löschdauer vom Beginn des Löschvorganges bis zum erfolgten Ablöschen der Flammen ermittelt. Als abgelöscht ist die Versuchspuppe anzusehen, sobald im Bereich des Oberkörpers nur noch Glimmspuren auftauchen, welche im Realfall durch Ausschlagen, Ausziehen des Kleidungsstückes oder einfach durch Sich-in-den-Wasserstrahl-Drehen sofort zu löschen wären. Ein Andauern des Brandes im oberen Beinbereich wird nicht berücksichtigt, da hierfür in erster Linie die Geometrie der Versuchspuppe ursächlich ist. Ebenso werden lokal eng begrenzte Flammen am Halsausschnitt nicht berücksichtigt, sofern sie eindeutig auf die Abschirmwirkung des starren Kopfes zurückzuführen sind.

Die folgende Grafik zeigt die ermittelte Löschdauer in Abhängigkeit von der eingestellten Durchflußmenge. Deutlich erkennbar ist eine tendenzielle Abnahme der Löschdauer mit steigendem Volumenstrom. Bei Wasserdurchsätzen bis ca. 100 l/min schwankt die Löschdauer sehr stark; die Maximalwerte sinken jedoch mit steigendem Volumenstrom. Bei Durchsätzen von mehr als ca. 50 l/min tritt jedoch fast durchgängig eine Löschdauer zwischen 2 und 10 s auf; ein signifikanter Einfluß des Volumenstromes ist hier nicht mehr festzustellen.

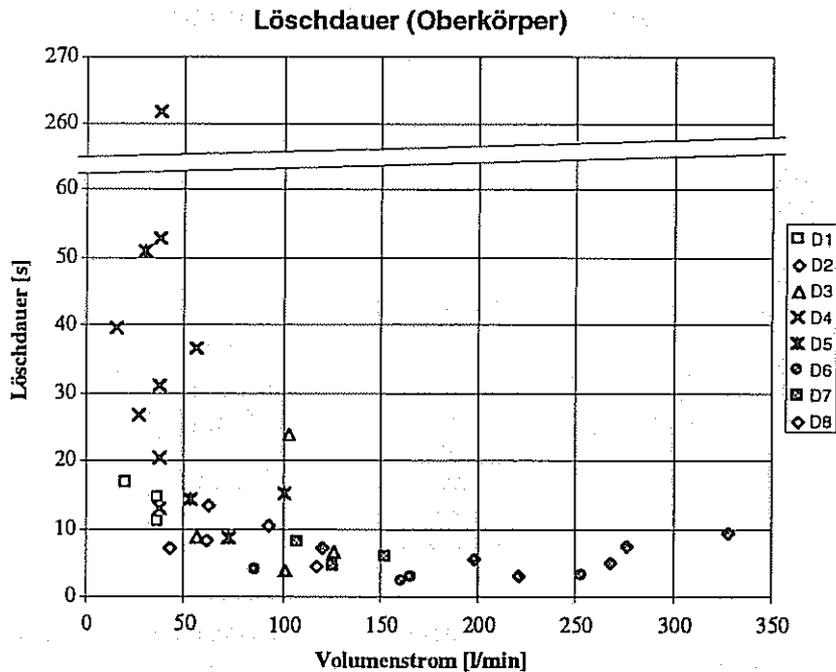


Abb. 8.8: Löschdauer als Zeitbedarf zum vollständigen Ablöschen des Oberkörpers

Der unrealistisch hohe Wert der Löschdauer von 263 s zeigt, daß diese Art der Auftragung nur Tendenzen hinsichtlich der Abhängigkeit der Löschdauer vom Volumenstrom aufzeigen kann. Der Grund liegt in der Komplexität des Gesamtsystems. Ein Vergleich der Löschdauer mit Flammflächenanteilen für die Volumenstromwerte um 100 l/min zeigt beispielsweise, daß eine relativ hohe Löschdauer auf Flammen beruhen kann, welche nur eine sehr geringe Fläche einnehmen.

Die Unterstützung der Auswertung der ermittelten Löschdauer durch Vergleich mit den Flammflächenanteilen stellt sich daher als erforderlich dar. Das folgende Diagramm zeigt eine solche Auswertung, wobei als Löschdauer diejenige Löschzeit angegeben wird, nach der im jeweiligen Versuch das erste mal ein Flammflächenanteil gleich oder sehr nahe Null ermittelt wurde. Es zeigt sich, daß die Werte der Löschdauer sich in diesem Diagramm in realistischeren Größenordnungen bewegen als in der vorangegangenen Auftragung.

Das Diagramm zeigt die Abhängigkeit der Löschdauer vom Volumenstrom für verschiedene Feuerlöschmittel. Die Y-Achse stellt die Löschdauer in Sekunden dar, die X-Achse den Volumenstrom in Liter pro Minute. Die Datenpunkte sind durch Linien verbunden, was die Abnahme der Löschdauer mit zunehmendem Volumenstrom verdeutlicht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Löschdauer für alle untersuchten Feuerlöschmittel mit steigendem Volumenstrom abnimmt. Dies ist ein erwartungsgemäßes Verhalten, da ein höherer Volumenstrom zu einer schnelleren Abkühlung und damit zu einer kürzeren Löschdauer führt.

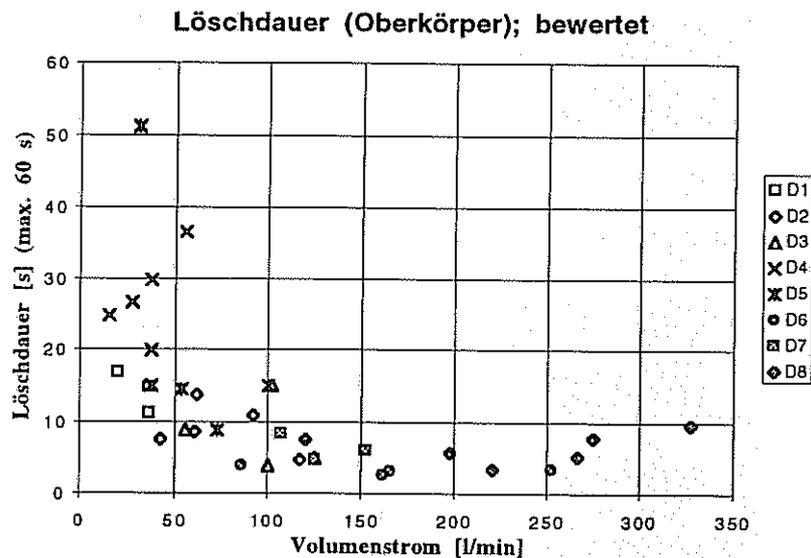


Abb. 8.9: Löschdauer, über die Flammflächenanteile bewertet

Ein auf diese Weise nachbearbeitetes Diagramm zeigt einen deutlichen Abfall der Löschdauer im Volumenstrombereich um 30 - 60 l/min.

Aus brandmedizinischer Sicht besitzt die Auswertung der Löschdauer als Funktion des Volumenstromes eine besonders hohe Aussagekraft /BRAN-95/.

8.2.3 Flammflächenanteile

Ein zweites visuelles Belastungsmaß bestimmt den Anteil der brennenden Fläche des Oberkörpers zu verschiedenen Zeitpunkten. Als Basisfläche wird - analog zur Löschdauerbestimmung - die vordere Hälfte des Torsos gewählt; die Auszählung erfolgt im 5-Sekunden-Takt nach Löschbeginn.

Die Anteile werden durch Teilflächenausählung in einem speziellen Raster bestimmt. Hierfür wird die vordere Torsofläche, unter Vernachlässigung des Halsansatzes und der äußersten Schulterrundung, in 33 gleich große, annähernd quadratische Flächensegmente unterteilt und von diesem dreidimensionalen Raster eine Aufsichtsprjektion erzeugt.

Zu den relevanten Zeitpunkten werden aus Video-Standbildern Grafikdateien generiert und diesen das beschriebene zweidimensionale Raster überlagert. An den ausgedruckten Bildern dieser Kombinationsgrafiken kann daraufhin die Zahl der brennenden Segmente ausgezählt und hieraus ein normierter Flammflächenanteil gebildet werden.

Abb. 8.10 zeigt das Raster und ein Beispiel für die beschriebene Überlagerung (Duschkopf 4, 37 l/min, nach 5 s Löszeit; ausgezählt: 10/33 äußerer Flammflächenanteil).

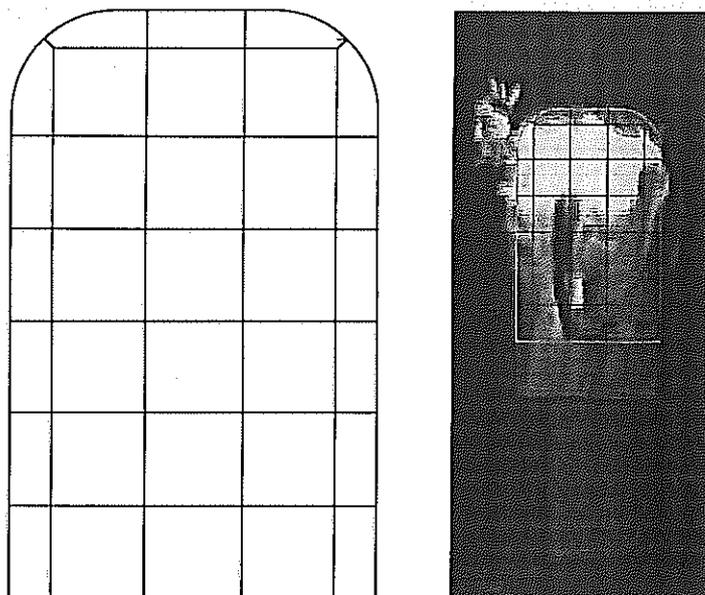


Abb. 8.10: Flammflächenanteile: Raster und Auswertungsbeispiel. Alle 33 Felder des Rasters haben im Dreidimensionalen den gleichen Flächeninhalt

Die ermittelten Flammflächenanteile des Oberkörpers für Löschzeiten von 5 - 30 s sind in den folgenden Diagrammen aufgetragen. Das Diagramm für 5 s Löschzeit ähnelt in seinem Verlauf dem der bewerteten Löschdauer (Abb. 8.9); jedoch ist als Unterschied anzumerken, daß die Flammflächenanteile hier ab ca. 80 l/min auch den Wert 0 erreichen, während die Löschzeiten stets Werte größer 0 aufweisen. Bei den Diagrammen für längere Löschzeiten weisen die Flammflächenanteile durchgängig jeweils kleinere Maximalwerte und bei den höheren Volumenströmen nur Nullwerte auf.

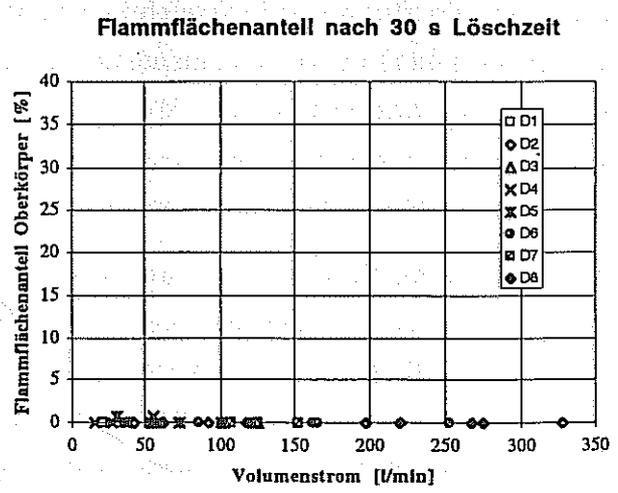
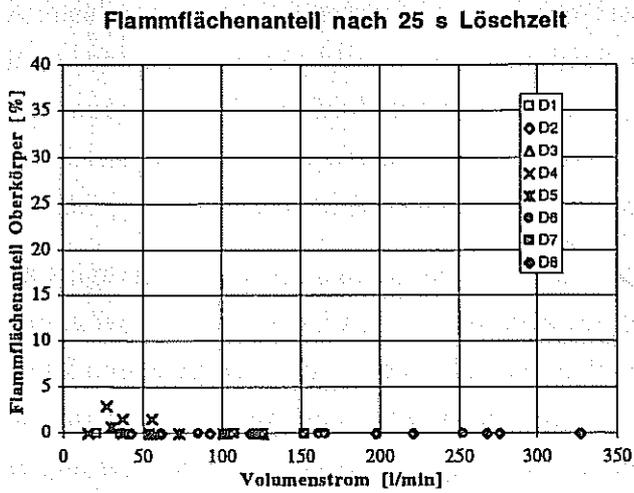
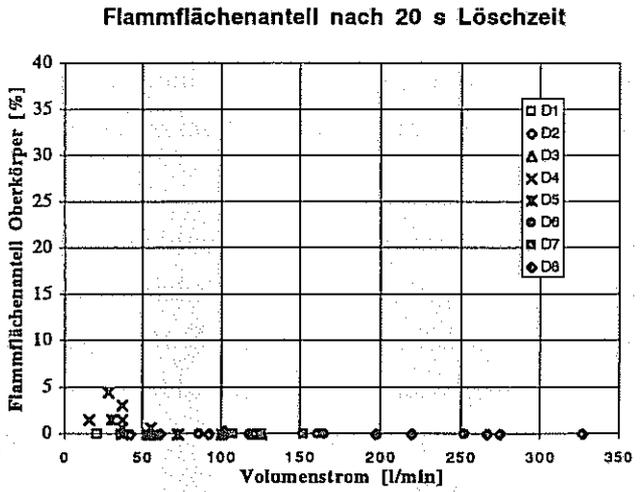
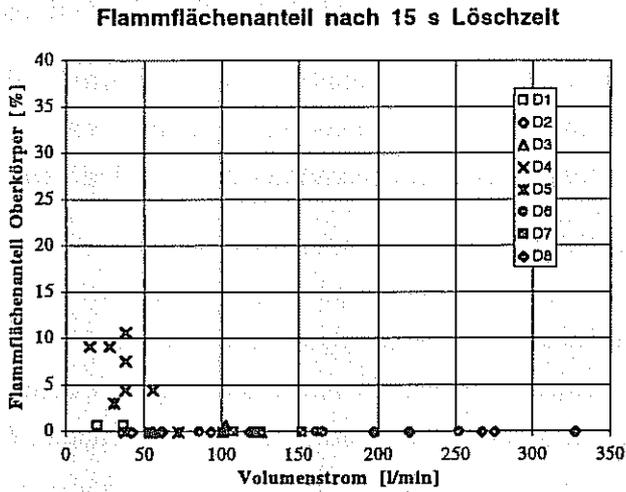
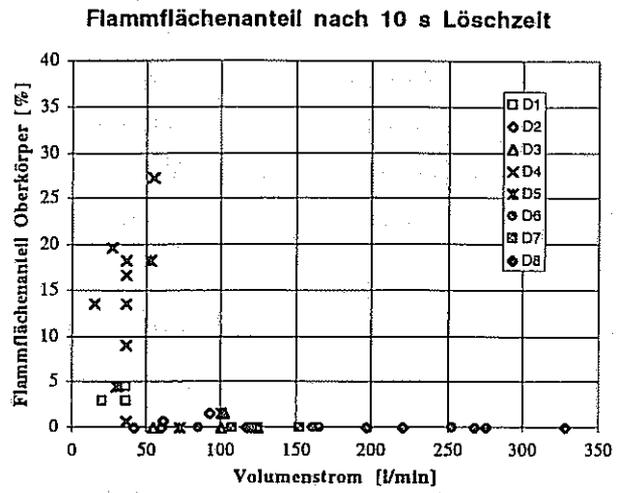
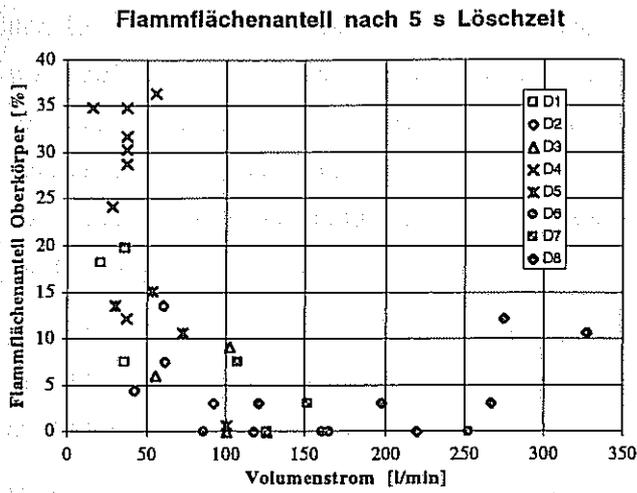


Abb. 8.11: Flammflächenanteile des Oberkörpers zu verschiedenen Löszeiten

Die Auftragung der Flammflächenanteile als Funktion des Wasservolumenstroms zu verschiedenen Löszeitpunkten entzieht sich üblichen Auswertungsmethoden. Es ist jedoch zu allen betrachteten Löszeitpunkten eine deutliche Zweiteilung des jeweiligen Schaubildes zu erkennen. Im Bereich kleiner Volumenströme überstreichen die Flammflächenanteile einen sehr weiten Wertebereich. Relativ scharf davon abgegrenzt ist der Bereich höherer Volumenströme, in dem die Flammflächenanteile deutlich niedrigere Werte erreichen und zu den späteren Löszeiten durchgängig gleich Null werden.

Nach 5 s Löszeit stellt sich der Übergang zwischen beiden Bereichen bei einem Volumenstrom von 30 - 55 l/min ein. Zusätzlich ist hier zu bemerken, daß sich Flammflächenanteile unter 5% erst ab 80 l/min einstellen.

Nach 10 s Löszeit zeigt sich ein ähnliches Bild; der Unterschied zwischen beiden Volumenstrombereichen ist hier sogar noch deutlich stärker ausgeprägt. Der Übergang zwischen ihnen liegt auch hier bei 30 - 55 l/min.

Ein entsprechendes Verhalten zeigt sich auch nach 15, 20 und 25 s Löszeit, wobei der Übergangsbereich hier eher bei einem Wert von 40 l/min zu finden ist. Nach 30 s Löszeit schließlich sind die Flammflächenanteile durchgängig niedrig.

Auf Basis dieser Auswertung kann als Anhaltspunkt für einen minimalen Volumenstrom der Bereich von 30 - 55 l/min abgeleitet werden. Hierbei ist hervorzuheben, daß dieses Ergebnis mit dem Resultat der Beobachtungen nach 5 s Löszeit übereinstimmt. Zu diesem frühen Zeitpunkt verfälschen die systematischen Fehler des Versuchsaufbaus, insbesondere die Unbeweglichkeit der Versuchspuppe, die Ergebnisse noch weitaus weniger als im weiteren Brand-Löschverlauf.

8.2.4 Flammverhalten im Kopf- und Halsbereich

Anhand der unter 8.2.3 beschriebenen Video-Standbilder wird qualitativ überprüft, ob zum ersten Beobachtungszeitpunkt, also nach 5 s Löszeit, noch Flammen im Bereich des Kopfes und Halses bzw. nur des Kopfes zu beobachten sind. Das Ergebnis ist in Abb. 8.12 aufgetragen. Hierbei ist zu erwähnen, daß die beobachteten Flammen sämtlich von der brennenden getränkten Kleidung des Oberkörpers ausgehen, da Kopf und Hals ja komplett aus unverhülltem Stahl bestehen.

Es zeigt sich ein deutliches Sprungverhalten bei einem Volumenstrom von 37 l/min. Unterhalb dieses Wertes sind nach 5 s Löszeit noch durchgängig Flammen im Hals- und teilweise auch im Kopfbereich zu beobachten, oberhalb dieses Wertes sind ebenso durchgängig nach 5 s alle Flammen im genannten Bereich zurückgedrängt. Bei einem Löschwasserstrom von weniger als 30 l/min zeigen sich nach 5 s Löszeit dagegen bei allen Versuchen nicht nur am Hals, sondern auch um den Kopf noch Flammen.

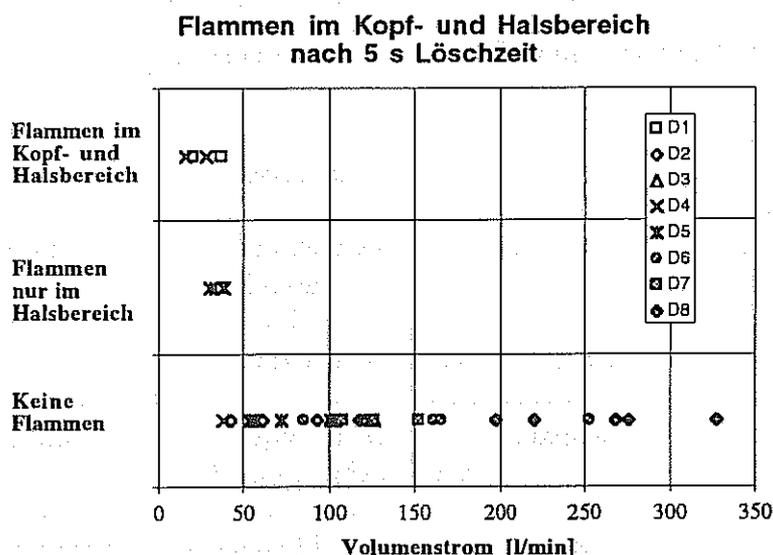


Abb. 8.12: Videoauswertung: Flammverhalten im Kopf- und Halsbereich nach 5 s Löszeit

Zwar darf die Realitätsnähe der Flammenausbreitung insbesondere im Kopfbereich aufgrund dessen Ausführung als unbedeckte Edelstahloberfläche nicht überschätzt werden. Dennoch ist als Ergebnis dieser Teilauswertung festzuhalten: unterhalb eines Löschwasservolumenstromes von 30 l/min zeigt sich ein deutlich schlechteres Löschverhalten als bei einem höheren Wasserdurchsatz. Eine Anhebung auf über 37 l/min bewirkt eine zusätzliche Verbesserung der Löschwirkung. Ein weiteres Anheben des Löschwasserstromes hat keinen beobachtbaren Effekt zur Folge.

Die gewählte Löszeit von 5 s stellt für diese Betrachtungsweise einen geeigneten Wert dar. Bei kleineren Löszeiten besitzen noch Effekte bei der Ausbildung des Strömungsbildes einen erheblichen Einfluß auf die Löschwirkung. Bei größeren Löszeitpunkten dagegen, etwa bei einer Löszeit von 10 s, sind die Flammen im Kopf- und Halsbereich bei allen betrachteten Volumenströmen bereits vollständig zurückgedrängt.

8.3 Mehrfachmessungen und Reproduzierbarkeit

Mehrfachversuche mit jeweils einem Duschkopf bei konstant gehaltenem Volumenstrom ermöglichen es, die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse zu überprüfen. Dabei ist tendenziell im höheren Volumenstrombereich eine bessere Übereinstimmung der Wiederholungsversuche zu erzielen als bei niedrigen Volumenströmen, wie in den zuvor abgebildeten Diagrammen deutlich wird. Insgesamt läßt sich ableiten, daß zwar die Meßwerte in einzelnen Bereichen eine erhebliche Schwankungsbreite aufweisen, daß jedoch aufgrund der relativ großen Gesamtzahl durchgeführter Versuche wichtige Abhängigkeiten aufgezeigt werden können und eine belastbare Auswertung ermöglicht wird.

9 Gesamtauswertung

Die Ergebnisse der Auswertungen sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt:

Belastungsmaß	Beobachtung	Volumenstrom
Temperatur-Zeit-Integral	Deutlicher Abfall der thermischen Belastung	30 - 60 l/min
Löschdauer	Deutlicher Abfall der Löschdauer	30 - 60 l/min
Flammflächenanteil	Deutlicher Abfall der maximalen Flammflächenanteile	30 - 55 l/min
Flammverhalten nach 5 s Löschzeit im Kopf- und Halsbereich	Keine Flammene Ausbildung im Kopf- und Halsbereich	≥ 37 l/min
	Durchgängig Flammen im Kopfbereich	< 30 l/min

Tab. 9.1: Zusammenstellung der Ergebnisse

Als Gesamtergebnis läßt sich zusammenfassen, daß experimentell eine deutliche Abnahme der Brandbelastung, ausgedrückt durch die beschriebenen Belastungsmaße, bei einem Löschwasservolumenstrom von 30 - 60 l/min zu beobachten ist. Eine weitere Erhöhung der Löschwassermenge über diesen Wert hinaus verbessert das Löschergebnis unter den gegebenen Voraussetzungen nur noch in geringem Maße.

Durch die notwendigen Modellvoraussetzungen, insbesondere durch die Unbeweglichkeit der Versuchspuppe, wird jedoch ein ungünstiges Löschverhalten simuliert. Es ist davon auszugehen, daß die gewünschte Löschwirkung unter realen Bedingungen durch sofortige Löschmaßnahmen Hilfe leistender Personen und Entfernen der brennenden Kleidungsstücke bereits im unteren Bereich des ermittelten Volumenstromintervalles erzielt wird. Dies wird durch die Ergebnisse der Flammenbeobachtung im Kopf- und Halsbereich unterstützt. Dieser Bereich ist am wenigsten von der Hauptvereinfachung der Unbeweglichkeit betroffen ist und kann im Brandfall mit Volumenströmen von 30 - 37 l/min ausreichend schnell gelöscht werden.

10 Anforderungen an Notduscheinrichtungen in Laboratorien und Betriebsstätten

Notduschen in Betrieben und Außenanlagen (im folgenden unter dem Begriff „Betriebsstätten“ zusammengefaßt) müssen äußeren Gegebenheiten Rechnung tragen, welche in Laboratorien nicht vorkommen. So ist beispielsweise durch Frostschutzmaßnahmen die Verfügbarkeit zu gewährleisten. In DIN 12 899, Teil 3, sind daher spezielle Anforderungen für Notduschen in Betriebsstätten festgelegt.

Anhand statistischen Datenmaterials soll geprüft werden, ob zusätzlich zu diesen betriebstechnischen Notwendigkeiten auch hinsichtlich Wasserdurchsatz und -verteilung sowie ggf. zusätzlichen Duschköpfen spezielle Anforderungen an Notduschen in Betriebsstätten zu stellen sind.

In der Bundesrepublik Deutschland werden die tödlich verlaufenden Arbeitsunfälle durch die Gewerbeaufsicht erhoben, wobei seit dem 01.01.1978 im damaligen Bundesgebiet und seit dem 01.01.92 in allen sechzehn Bundesländern ein seitens der Gewerbeaufsicht und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz entwickelter, standardisierter Untersuchungsbogen Verwendung findet. Das Ergebnis dieser Erhebungen wird mit Beginn des Berichtsjahres 1978 von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz veröffentlicht, wobei die einzelnen Unfälle klassifiziert und mit einer Kurzbeschreibung angegeben werden. Unfälle im Bergbau sowie im öffentlichen Straßenverkehr finden dabei keine Berücksichtigung.

Die Veröffentlichungen für den Berichtszeitraum 1978 bis 1992 dienen als Basis für die nachfolgende Auswertung /HENT-80/HENT-82/HENT-85/HENT-87/HENT-89/HENT-93/HENT-94/. Dabei werden diejenigen Unfälle betrachtet, bei denen eine Notdusche einen tödlichen Unfallhergang hätte vermeiden können.

Ein alternativer Ansatz ist die Betrachtung aller, also auch der nicht tödlich verlaufende Unfälle mit tatsächlicher Verwendung einer Notdusche als Erste-Hilfe-Einrichtung. Bei der Datenerhebung hat sich allerdings herausgestellt, daß zu diesem Ansatz nur eine geringe Zahl von Einzelberichten, jedoch kein statistisch verwertbares Datenmaterial zur Verfügung steht. Daher wird dieser Weg nicht weiter verfolgt.

Aus der Gesamtheit der tödlichen Arbeitsunfälle im genannten Berichtszeitraum werden zunächst die Unfälle mit Arbeits- bzw. Gefahrstoffen ausgewählt. Von bereits in der Primärliteratur als eigene Gruppe klassifizierten Gefahrstoffunfällen werden aufgrund der Kurzbeschreibungen nach Art und Einwirkungsweise des Gefahrstoffes diejenigen Unfälle bestimmt, bei denen Verbrennungen, Verbrühungen und Verätzungen als Todesursache auftraten. Sie lassen sich wie folgt weiter klassifizieren:

- in Flammen verbrannt:
 - Kleidung mit einer kleinen Menge brennbarer Flüssigkeit o. ä. entzündet
 - mit einer großen Menge brennbarer Flüssigkeit o. ä. übergossen und entzündet
 - in ein Gemisch aus brennbarem Gas bzw. Dampf und Luft geraten, das sich entzündete
 - Sonstiges (kein Anwendungsfall für Über-Kopf-Notduschen)
- verbrüht, an heißen Stoffen (Wasser, Schmelzen) verbrannt:
 - mit heißen Stoffen angespritzt
 - in heiße Stoffe eingetaucht
 - an heißem Dampf verbrüht
- verätzt:
 - von ätzenden Flüssigkeiten angespritzt

- in ätzende Flüssigkeiten eingetaucht, in ätzenden Gasraum geraten
- ätzende Gase oder Dämpfe eingeatmet

Die Aufteilung der im Berichtszeitraum aufgetretenen 139 tödlichen Gefahrstoffunfälle aufgrund von Verbrennungen, Verbrühungen und Verätzungen im Berichtszeitraum auf diese Klassen zeigt Abb. 10.1. Hierbei sind diejenigen Unfallklassen, bei welchen durch Erste Hilfe mit einer Überkopf-Notdusche ein tödlicher Unfallhergang unter Umständen vermieden werden kann, in Abb. 10.1 kursiv dargestellt. Eine Summation dieser Anteile ergibt, daß für 56 % der tödlichen Gefahrstoffunfälle durch Verbrennungen, Verbrühungen und Verätzungen eine Notdusche als mögliche Erste-Hilfe-Einrichtung anzusehen ist. Als Arbeitshypothese wird im folgenden vor dem Hintergrund der oben dargelegten Ausführungen angenommen, daß diese Verteilung repräsentativ für die Gesamtheit aller Arbeitsunfälle mit möglicher Notduschenanwendung ist.

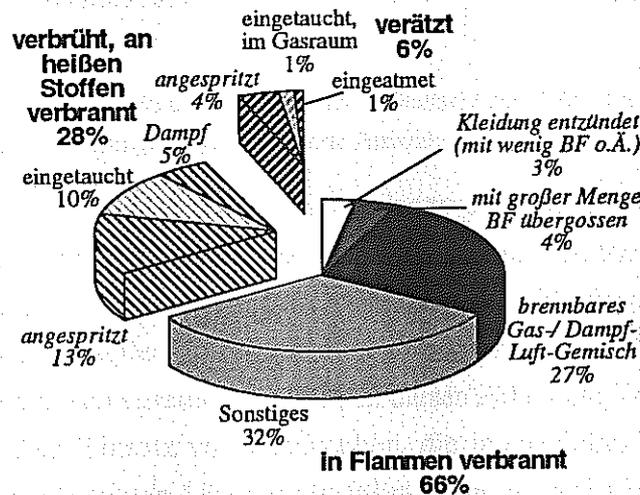


Abb. 10.1: Tödliche Gefahrstoffunfälle in der Bundesrepublik Deutschland 1978 - 1992 durch Verbrennungen, Verbrühungen und Verätzungen

Abb. 10.2 zeigt noch einmal die in Abb. 10.1 kursiv dargestellten Klassen; die prozentualen Angaben wurden dabei neu normiert. Auf der linken Seite sind diejenigen Unfallklassen dargestellt, welche ausschließlich in Betriebsstätten bzw. dort in wesentlich schwerwiegenderer Form als in Laboratorien auftreten können. Diese Klassen vereinen 50% der aufgeführten, mit Notduschen zu bekämpfenden Unfälle auf sich.

Dem gegenüber stehen Unfälle, die in Betriebsstätten und Laboratorien in gleicher Weise auftreten können. Mit ebenfalls 50 % der betrachteten Auswahlmenge stellen sie die Hälfte aller Unglücksfälle dar, welche mit Notduschen bekämpft werden können.

Anwendungsfälle für Notduschen:

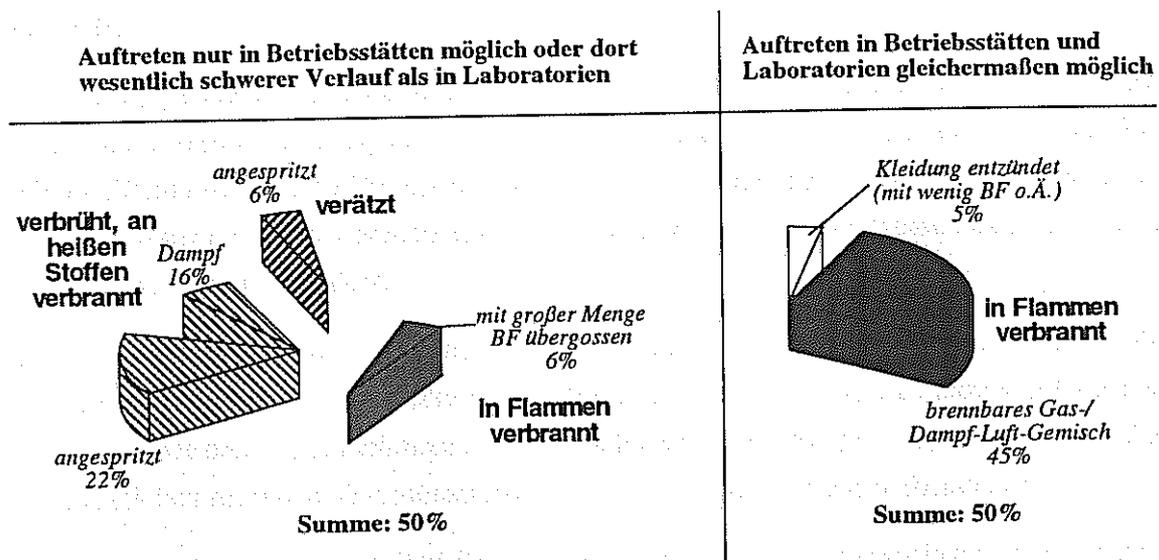


Abb. 10.2: Tödliche Gefahrstoffunfälle in der Bundesrepublik Deutschland 1978 - 1992 durch Verbrennungen, Verbrühungen und Verätzungen: systematisierte Auswahl

Hieraus läßt sich ableiten, daß bei durchschnittlich jeder zweiten Notduschenanwendung nach Art und Höhe der Gefahrstoffeinwirkung zwischen Laboratorien und Betriebsstätten deutlich unterschieden werden muß. Für die eine Hälfte dieser Unfälle ist ein Notduscheneinsatz in der Weise sinnvoll, wie er im experimentellen Teil dieser Studie betrachtet wird. Die andere Hälfte dieser Unfälle verläuft in erheblich schwererer Weise. Ob in diesen Fällen die Kombination von geeigneter Schutzkleidung mit dem Einsatz von Notduschen, die in spezieller Weise für diese Unfälle eingerichtet sind, zum gewünschten Löscherfolg führt, kann nur anhand weitergehender experimenteller Untersuchungen beurteilt werden.

11 Zusammenfassung

Nationale Normungen schreiben für Über-Kopf-Notduschen Mindestvolumenströme zwischen 30 l/min (Bundesrepublik Deutschland) und ca. 110 l/min (Italien, USA) vor. Als Entscheidungsgrundlage für diese Festlegungen stehen bislang nur Erfahrungswerte zur Verfügung. In dieser Studie werden erstmals die Ergebnisse einer wissenschaftlichen Untersuchung zum notwendigen Mindestvolumenstrom in Über-Kopf-Notduschen vorgelegt. Als Anwendungsfall wird dazu die Ablöschung einer im Laborbereich tätigen Person zugrundegelegt, die sich im Brustbereich mit brennbarer Flüssigkeit bespritzt und sich entzündet.

Dieses Szenarium bildet die Grundlage der experimentellen Versuche, bei denen eine Versuchspuppe bekleidet, mit brennbarer Flüssigkeit getränkt, entzündet und gelöscht wird. Diese Versuchspuppe ist als vereinfachte menschliche Form ausgeführt und in den relevanten Körperbereichen mit Temperaturmeßstellen versehen. Meßtechnisch erfaßt wird die Temperatur über der Oberfläche der Versuchspuppe mit einer Frequenz von 6 Messungen pro Sekunde und Meßstelle.

Die Versuchspuppe ist in einen Versuchsstand integriert, welcher einen automatisierten und standardisierten Versuchsablauf sowie Druck-, Durchfluß- und Temperaturmessungen des Löschwassers ermöglicht.

Die durchgängig baumwollene Bekleidung der Versuchspuppe besteht aus zweilagiger Unterkleidung, einlagiger Beinbekleidung und einem Original-Laborkittel. Sie wird im Brust- und Bauchbereich mit 50 ml brennbarer Flüssigkeit getränkt, entzündet und nach einer Vorbrandzeit von 10 s, welche das Aufsuchen der Notdusche nachbilden soll, abgelöscht. Der Versuchshergang wird mit einer Videokamera dokumentiert.

Die Löschwirkung einer Notdusche wird neben der durchgesetzten Wassermenge auch von den Duschkopfeigenschaften, insbesondere vom sich jeweils ausprägenden Strömungsbild, beeinflusst. Daher werden bei den Untersuchungen acht verschiedene Duschköpfe eingesetzt. Diese Duschköpfe ermöglichen es, einen Volumenstrombereich von 20 bis 330 l/min abzudecken.

Zur Auswertung der experimentellen Daten wird auf medizinische Grundlagen zurückgegriffen. Die Schwere einer Verbrennung ist abhängig von der verbrannten Hautfläche sowie der Verbrennungstiefe, die auch als Verbrennungsgrad bezeichnet wird. Eine mit entsprechender Verbrennungstiefe geschädigte Hautfläche von 10 - 20% der Körperoberfläche bedingt bereits ernsthafte sekundäre Folgen für den gesamten Körper. Den verschiedenen Verbrennungsgraden sind dabei näherungsweise bestimmte Hauttemperaturen zuzuordnen. In die Auswertung sind die Ergebnisse einer brandmedizinischen Stellungnahme zu den experimentellen Daten eingeflossen.

Um eine Quantifizierung der erzielten Löschwirkung zu ermöglichen, werden thermische und visuelle Belastungsmaße definiert, welche auf einer Auswertung der gemessenen Temperaturverläufe und der Videoaufzeichnungen basieren.

Thermische Belastungsmaße sind die in einem Versuch ermittelten Maximaltemperaturen in den Körperbereichen Kopf, Brust, Hüfte und Bein sowie geeignet berechnete Temperatur-Zeit-Integrale.

Die Maximaltemperaturen weisen keine signifikante Abhängigkeit vom Löschwasserstrom auf. Die Temperaturintegrale, welche die in den Körper eingebrachte Wärmemenge näherungsweise abbilden und damit ein wichtiges Maß für die Lösch- und Kühlwirkung einer Notdusche darstellen, zeigen hingegen insbesondere im Kopf- und Brustbereich ein deutliches Absinken der thermischen Belastung bei einem Löschwasserdurchsatz von 30 - 60 l/min auf. Eine Erhöhung des Wasservolumenstromes über diesen Wert hinaus bewirkt keine weitere Verringerung der thermischen Belastung.

Visuelle Belastungsmaße sind die Dauer des Löschvorganges bis zum Verlöschen der Flammen im Brustbereich, die beobachtete Flammenentwicklung im Bereich des Oberkörpers zu verschiedenen Zeitpunkten sowie das Flammverhalten im Kopf- und Halsbereich.

Die Definition der Löschdauer muß, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, den ausgeprägten Einfluß sehr kleiner Brandherde ausschließen. Die als Funktion des Löschwasserstromes aufgetra-

gene Löschdauer zeigt eine starke Abnahme bei 30 - 60 l/min. Eine weitere Erhöhung des Wasserdurchsatzes bewirkt nur noch eine geringe Abnahme der Löschdauer. Aus brandmedizinischer Sicht stellt die Löschdauer die für die Auswertung wichtigste Größe dar.

Die Beobachtung der von Flammen bedeckten Fläche des Oberkörpers führt zu ähnlichen Aussagen. Für den Anteil des Oberkörpers, der zu einem bestimmten Zeitpunkt nach Löschbeginn von Flammen bedeckt ist, ergeben sich hohe Werte bei kleinen Volumenströmen und ein scharfer Übergang zu weit niedrigeren Werten bei höheren Wasserdurchsätzen. Der Übergangsbereich liegt bei 30 - 55 l/min.

Sichtbare Flammen im Kopf- und Halsbereich, die nach 5 s Löschzeit festgestellt werden, stellen ein weiteres Belastungsmaß dar. Bei kleinen Volumenströmen sind in allen Fällen Flammen zu beobachten; bei größeren Wasserdurchsätzen können diese jedoch sicher vermieden werden. Den Übergang bildet der Volumenstrombereich von 30 - 37 l/min.

Zusammenfassend läßt sich eine deutliche Abnahme der mit Hilfe der Belastungsmaße ausgedrückten Brandbelastung bei einem Löschwasservolumenstrom von 30 - 60 l/min festhalten. Eine weitere Erhöhung der Löschwassermenge über den Wert von 60 l/min hinaus verbessert das Löschergebnis nur noch in geringem Maße. Da ein positiver Einfluß der Bewegung des Unfallopfers sowie eines frühzeitigen Entfernens brennender Kleidungsstücke auf die erzielte Löschzeit und -wirkung erwartet werden darf, lassen sich die in der deutschen DIN 12 899 vorgeschriebenen 30 l/min mit den dargestellten Ergebnissen in Einklang bringen. Das Ziel dieser Studie, eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die normierende Festlegung von Mindestvolumenströmen in Über-Kopf-Notduschen zur Verfügung zu stellen, wurde damit erreicht.

Ergänzend zu den experimentellen Untersuchungen wird anhand statistischen Datenmaterials überprüft, ob an Über-Kopf-Notduschen in Laboratorien und Betriebsstätten unterschiedliche Anforderungen zu stellen sind. Als Basis dient eine langjährige Aufarbeitung der tödlichen Arbeitsunfälle in der Bundesrepublik Deutschland. Durch eine Klassifizierung der relevanten Unfallarten mit potentieller Notduschenanwendung und anschließende zahlenmäßige Gegenüberstellung der betriebsstättentypischen und unspezifischen Unfälle kann gezeigt werden, daß bei jeder zweiten Notduschenanwendung nach Art und Höhe der Gefahrstoffeinwirkung zwischen Laboratorien und Betriebsstätten deutlich unterschieden werden muß. Für die eine Hälfte dieser Unfälle ist ein Notduscheneinsatz in der Weise sinnvoll, wie er im experimentellen Teil dieser Studie betrachtet wird. Die andere Hälfte dieser Unfälle verläuft in erheblich schwererer Weise. Ob in diesen Fällen die Kombination von geeigneter Schutzkleidung mit dem Einsatz von Notduschen, die in spezieller Weise für diese Unfälle eingerichtet sind, zum gewünschten Löscherfolg führt, kann nur anhand weitergehender experimenteller Untersuchungen beurteilt werden.

12 Auswirkungen auf den wissenschaftlich-technischen Fortschritt und Nutzen für kleine und mittlere Unternehmen

Die Ergebnisse der hier vorgestellte Arbeit stellen einen erheblichen *wissenschaftlich-technischen Fortschritt* dar, da erstmals experimentelle Untersuchungsergebnisse zum Einfluß des Löschwasservolumenstromes auf die Löschwirkung von Über-Kopf-Notduschen in Laboratorien vorgelegt werden können. Die im Rahmen der Projektbearbeitung entwickelten visuellen und thermischen Belastungsmaße zur vergleichenden Bewertung der Löschwirkung sind zudem eine neue wissenschaftliche Auswertungsmethodik zu diesem speziellen Themenkreis.

Die erarbeiteten Ergebnisse zeigen deutlich den Einfluß des Volumenstromes auf die Löschwirkung einer Über-Kopf-Notdusche im Laborbereich auf. Insbesondere ist zu beobachten, daß die Löschwirkung mit ansteigendem Volumenstrom zunächst zunimmt, nach Durchlaufen eines Übergangsbereiches bei weiterer Erhöhung der Wassermenge jedoch nahezu konstant bleibt. Dieser Übergangsbereich liegt innerhalb des Spektrums der von den verschiedenen nationalen Normungen als Mindestvolumenstrom festgelegten Wasserdurchsätze. Das Aufzeigen dieses Übergangsbereiches stellt das bedeutendste technisch relevante Ergebnis dieser Studie dar und gibt einen wichtigen Anhaltspunkt für künftige internationale Normierungsvorhaben, wie sie im Rahmen der europäischen Normenvereinheitlichung auch für den Bereich der Über-Kopf-Notduschen in Laboratorien zu erwarten sind.

Als weiterer Fortschritt ist die Erkenntnis zu werten, daß Über-Kopf-Notduschen in Betriebsstätten und Außenanlagen in etwa jedem zweiten Anwendungsfall völlig anderen Anforderungen zu genügen haben als solche in Laboratorien. Technisch gesehen folgt hieraus die Notwendigkeit, diesen unterschiedlichen Anforderungen konstruktiv gerecht zu werden; unter Umständen ist auch eine stärkere Differenzierung in der Normengebung zwischen Notduschen für diese beiden Verwendungen vorzunehmen.

Hinsichtlich des *Nutzens für kleine und mittlere Unternehmen* ist zu unterscheiden zwischen *Anbietern* und *Nutzern von Notduschsystemen*.

Als *Anbieter von Notduschsystemen* treten in der Bundesrepublik Deutschland fast ausschließlich kleine und mittlere Unternehmen auf. Diese Unternehmen werden durch die derzeit geltenden, stark unterschiedlichen nationalen Normungen zum Anbieten einer aus technischer Sicht gesehen unnötig großer Produktpalette gezwungen, was zum einen hohe Entwicklungskosten und zum anderen relativ kleine Stückzahlen und damit hohe Produktionskosten mit sich bringt.

Durch ihren Beitrag als Entscheidungsgrundlage für die zu erwartende europäische Normenvereinheitlichung trägt die vorliegende Studie dazu bei, diesen Anbietern eine wirtschaftlichere Entwicklungs- und Produktionsweise zu ermöglichen und so ihre Wettbewerbschancen im internationalen europäischen Markt entscheidend zu verbessern.

Neben der Einhaltung der jeweils geltenden Normen und der Wirtschaftlichkeit treten bei der Einrichtung eines Laboratoriums noch weitere Kriterien zur Auftragsvergabe auf, beispielsweise die

Einhaltung firmeninterner Sicherheitsstandards. Bisher konnte hierbei für den vorzusehenden Mindestvolumenstrom aus sicherheitstechnischen Gesichtspunkten häufig nur der Grundsatz „viel hilft viel“ herangezogen werden. Diese Studie gibt bundesdeutschen Notduschenanbietern eine fundierte Argumentationsgrundlage an die Hand, mit der das Leistungsvermögen ihrer Notduschsysteme im Vergleich zu ausländischen, auf wesentlich höhere Volumenströme zugeschnittenen Konkurrenzprodukten verdeutlicht werden kann.

Schließlich steht durch die Entwicklung des experimentellen Verfahrens sowie der dargestellten Auswertungsmethodik ein Prüfverfahren zur Verfügung, welches auch kleine und mittlere Unternehmen in die Lage versetzt, ihrerseits Untersuchungen unter Einsatz ihrer Produktpalette durchführen zu lassen. Anwendungen hierfür können zum einen Entwicklungsarbeiten für neue Duschköpfe, zum anderen die experimentelle Demonstration der Leistungsfähigkeit bereits im Vertrieb befindlicher Duschsysteme sein.

Nutzer von Notduschsystemen sind in diesem Zusammenhang Unternehmen, die selbst Laboratorien betreiben. Gerade für *keine und mittelständische Unternehmen* ist die Installation von Notduschensystemen mit einem erheblichen Kostenaufwand verbunden, wenn diese für sehr große Wasservolumenströme ausgelegt sind. Sowohl die Bereitstellung einer entsprechend leistungsfähigen Wasserversorgung als auch die Einrichtung des Labors im Hinblick auf gegebenenfalls gefahrlos aufzufangende große Wassermengen können hohe Investitionskosten bedingen.

Für diese Unternehmen ergeben sich aus dieser Studie, wie auch schon für die Notduschenanbieter, sowohl lang- als auch kurzfristig Wettbewerbsvorteile. Langfristig stützen die dargestellten Ergebnisse die bundesdeutsche Norm mit ihren relativ geringen geforderten Volumenströmen ab; eine vereinheitlichte europäische Normenfindung wird, falls diese Arbeit Berücksichtigung findet, wahrscheinlich höchstens eine geringe Anhebung des Mindestwertes für bundesdeutsche Unternehmen mit sich bringen. Einer solche moderate Anhebung kann jedoch in den allermeisten Fällen auch in bestehenden Laboratorien ohne oder nur mit geringem Nachrüstungsaufwand entsprochen werden.

Kurzfristig bieten die vorgestellten Ergebnisse den Unternehmen eine fundierte Entscheidungsgrundlage bei der Auslegung ihrer Notduschsysteme; überhöhte Ausgaben zur Bereitstellung sehr hoher Volumenströme, wie sie aus internen sicherheitstechnischen Erwägungen getätigt werden könnten, lassen sich damit einsparen bzw. an anderer Stelle zur Erhöhung des sicherheitstechnischen Standards verwenden.

Anhang

A1 Literatur- und Quellenverzeichnis

- BRAN-95 Chefarzt Dr. med. K.-A.Brandt, Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Duisburg-Buchholz, Abteilung für Handchirurgie, Plastische Chirurgie und Brandverletzte: persönliche Mitteilung.
- HENT-80 Henter, A. et al.: *Tödliche Arbeitsunfälle 1978 - Statistische Analyse nach einer Erhebung der Gewerbeaufsicht*. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, FB 235. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, 1980.
- HENT-82 Henter, A. und Herrmanns, D.: *Tödliche Arbeitsunfälle 1979 - Statistische Analyse nach einer Erhebung der Gewerbeaufsicht*. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, FB 300. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, 1982.
- HENT-85 Henter, A. und Herrmanns, D.: *Tödliche Arbeitsunfälle 1980 - Statistische Analyse nach einer Erhebung der Gewerbeaufsicht*. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, FB 403. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, 1985.
- HENT-87 Henter, A. und Herrmanns, D.: *Tödliche Arbeitsunfälle 1981 und 1982 - Statistische Analyse nach einer Erhebung der Gewerbeaufsicht*. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, FB 492. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, 1987.
- HENT-89 Henter, A. und Herrmanns, D.: *Tödliche Arbeitsunfälle 1983 bis 1986 - Statistische Analyse nach einer Erhebung der Gewerbeaufsicht*. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, FB 600. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, 1989.
- HENT-93 Henter, A. et al.: *Tödliche Arbeitsunfälle 1987 - 1991 - Statistische Analyse nach einer Erhebung der Gewerbeaufsicht*. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, FB 666. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, 1993.
- HENT-94 Henter, A. et al.: *Tödliche Arbeitsunfälle 1992 - Statistische Analyse nach einer Erhebung der Gewerbeaufsicht*. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, FB 707. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, 1994.

- LOHM-84 Lohmann, H.: *Die Akutbehandlung schwerer Brandverletzungen*. Schriftenreihe: Unfallmedizinische Tagungen der Landesverbände der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Heft 54, S. 219 - 224.
- BUND-83 Bundesamt für Zivilschutz (Hrsg.): *Zivilschutzforschung - Ulmer Vorträge, Bd. 15*. Osang Verlag GmbH, Bonn, 1983.
- SCHU-89 Schuster, H.-P.: *Notfallmedizin: Symptomatologie und erste Versorgung der akut lebensbedrohenden Zustände*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 4. Aufl. 1989.
- DIN 12 899, Teil 1 Beuth Verlag, Berlin, 1990.
- DIN 33 402, Teile 1 und 2 Beuth Verlag, Berlin, 1984.

A2 DIN 12 899, Teil 1

Unter dem Titel „Laboreinrichtungen: Notduschen-Einrichtungen - Körperduschen; Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfungen“ gilt die aktuelle Fassung von DIN 12 899, Teil 1, seit dem 1. Juli 1990.

Für Körperduschen, die in Laboratorien zum Abduschen brennender oder äußerlich kontaminierter Personen bestimmt sind, wird darin eine Wassermenge von mindestens 30 l/min festgelegt. Der als „Fließdruck“ bezeichnete Wasserdruck zwischen Absperrarmatur und Duschkopf muß dauerhaft mindestens 1 bar betragen.

Für die Wasserverteilung wird die Prüfung mit einem speziellen Prüfgerät vorgeschrieben, welches in Abb. A2.1 dargestellt ist. Dabei wird in einer Höhe von 70 cm unterhalb der Duschkopfunterkante die Verteilung des Wassers auf 10 x 10 cm große, quadratische Felder ermittelt. Innerhalb eines Kreises von 40 cm Durchmesser müssen dabei 50 % der ausgetretenen Wassermenge derart auftreten, daß Abweichung der Wassermenge in den einzelnen Segmenten maximal 30 % des Mittelwertes betragen darf. Gleichzeitig muß die gesamte Wassermenge innerhalb eines Kreises von 80 cm Durchmesser auftreten.

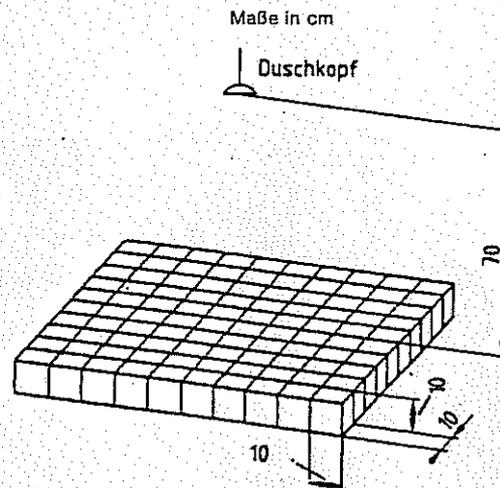


Abb. A2.1: Prüfgerät für die Wasserverteilung, bestehend aus aneinandergereihten Einzelgefäßen von 10 x 10 x 10 cm. Abdruck mit freundlicher Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Für die Wasserqualität wird „Trinkwasser oder Wasser vergleichbarer Qualität“ vorgeschrieben.

In der gesamten auf (220 ± 10) cm festgelegten Höhe unterhalb der Duschkopfunterkante muß ein freier Raum von 80 cm Durchmesser vorgehalten werden, in den nur das Stellteil der Absperrarmatur hineinragen darf.

A3 DIN 33 402, Teile 1 und 2

DIN 33 402 von Oktober 1984 mit dem Titel „Körpermaße des Menschen“ gibt die technisch wichtigsten menschlichen Körpermaße als Perzentilwerte an. Grundlage ist eine Stichprobe von Personen aus der Bundesrepublik Deutschland zwischen 16 und 60 Jahren. Die Perzentilwerte geben den Anteil aller weiblichen bzw. männlichen untersuchten Personen an, bei denen das entsprechende Körpermaß maximal den angegebenen Wert erreicht. Die in dieser Studie für die Bemessung der Versuchspuppe verwendeten 50.-Perzentil-Werte bedeuten also, daß je die Hälfte der bundesdeutschen Bevölkerung zum Erfassungszeitraum über und unter diesen Abmessungen lag.