

BACHELORARBEIT

# **Systematische Identifikation von Einflussfaktoren auf die Effektivität des Dekontaminationsprozesses der Feuerwehr Hamburg**

---

vorgelegt am 11.05.2020 von

Jan Holtmann



Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Thomas Schiemann

Zweitgutachter: Dipl.-Ing. Frederik Kötke

in Zusammenarbeit mit

der Feuerwehr Hamburg

---

HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE  
WISSENSCHAFTEN HAMBURG

Fakultät Life Sciences

Ulmenliet 20

21033 Hamburg

---

## Kurzzusammenfassung

In der vorliegenden Bachelorarbeit wurden Einflussfaktoren auf die effektive Durchführung der Dekontamination von Personen identifiziert. Hierbei wurde der Schwerpunkt der Untersuchung einerseits auf eine große Anzahl von kontaminierten Personen gelegt, andererseits stand die Sofortdekon als Maßnahme für die erste Phase eines Einsatzes im Fokus. Nichtsdestotrotz wurde auch die Feindekon, welche sich an die Sofortdekon anschließt, in die Betrachtungen einbezogen. Als Ziel dieser Arbeit sollte der Dekontaminationsprozess in einzelne Einflussfaktoren zerlegt werden, damit diese zu einem späteren Zeitpunkt separat auf Effizienz untersucht werden können. Dadurch wird der Aufwand der jeweiligen Untersuchung reduziert und die hierbei erhaltenen Ergebnisse können anschließend wieder in das Dekontaminationsverfahren eingearbeitet werden.

Als Ausgangspunkt der Ausführung diente eine Übung mit dem Titel »ChemRad« aus dem Jahr 2017, die von der HAW Hamburg begleitet und evaluiert wurde. Bei der systematischen Auswertung dieser Übung wurden unterschiedliche Fragestellungen zur Wirksamkeit der Dekontamination aufgeworfen, die in der vorliegenden Arbeit aufgegriffen wurden. In diesem Zusammenhang wurden kritische Punkte bezüglich der Einflussfaktoren im Verfahrensablauf herausgearbeitet, die einer näheren Betrachtung bedürfen. Darüber hinaus wurden im Rahmen dieser Arbeit weitere Einflussfaktoren mittels Literaturrecherche ermittelt und diese zunächst in interne und externe Faktoren klassifiziert. Es wurde festgestellt, dass sich einige Einflussfaktoren gegenseitig beeinflussen und folglich nur bedingt einzeln untersuchen lassen. Zudem haben die Faktoren sowohl einen Einfluss auf die Sofort- als auch auf die Feindekon. Während einige Parameter kaum zu beeinflussen sind, können andere Faktoren hingegen durch Experimente und praktische Übungen weiter auf Effizienz untersucht und optimiert werden. Dies betrifft vor allem die Mechanik der Reinigung, die Wasserdurchflussmenge, die Verwendung chemischer Zusätze oder die Waschanleitung. Zusammenfassend konnten insgesamt elf Einflussfaktoren basierend auf der ChemRad-Übung und der Literaturrecherche identifiziert werden. Somit wurde anhand dieser Arbeit eine theoretische Grundlage geschaffen, dessen Ergebnisse als Ausgangspunkt für weitere praktische Untersuchungen des Dekontaminationsprozesses herangezogen werden können.

---

## Abstract

In this bachelor thesis, factors influencing the effective execution of the decontamination of individuals were identified. In this context the study focused on a mass casualty incident, as well as on the interim decontamination representing the initial phase of an incident. Nonetheless, the technical decontamination following the interim decontamination was included in the considerations. The aim of this thesis was to split the decontamination process into individual influencing factors so that they can be examined separately in further studies regarding their efficiency. On the one hand, this reduces the effort of the examination, on the other hand the obtained results can be directly integrated in the decontamination process.

Here, the starting point was an exercise called »ChemRad« in 2017 that was accompanied and evaluated by the HAW Hamburg. The analysis of this exercise raised different questions concerning the effectiveness of the decontamination that are considered in this thesis. In this context, critical issues regarding the influencing factors of the decontamination procedure were determined which need to be studied in more detail. Furthermore, additional factors of influence were identified by a literature research and were then classified into internal and external factors. The results revealed that some factors affect each other and thus can be investigated individually only to a limited extent. Besides, the factors have an impact on both the interim decon and the technical decon. While some parameters are difficult to affect, others by contrast can be examined and optimized by experiments or practical exercises. In this context, the mechanics of the decon, the water volume, the application of chemical additives as well as instructions by members of the fire department should be mentioned.

In summary, eleven factors of influence were identified based on the ChemRad exercise and a literature research. Consequently, a theoretical base was established in this thesis whose results can be used as a starting point for further practical investigations on the decontamination process.

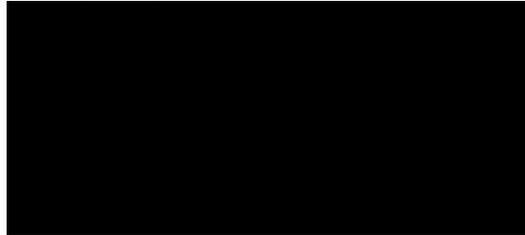
---

## Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Thema »Systematische Identifikation von Einflussfaktoren auf die Effektivität des Dekontaminationsprozesses der Feuerwehr Hamburg« ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, den 11.05.2020



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen und Problemstellung der Dekontamination</b>	<b>4</b>
2.1 Rechtlicher Rahmen der Dekontamination . . . . .	4
2.1.1 Feuerwehr-Dienstvorschrift 500 . . . . .	4
2.1.2 vfdb-Richtlinie 10/04 . . . . .	6
2.2 Die ChemRad-Übung . . . . .	7
2.2.1 Messverfahren . . . . .	8
2.2.2 Dekontaminationsverfahren . . . . .	9
2.3 Ressourcen der Feuerwehr Hamburg . . . . .	10
<b>3 Methode</b>	<b>13</b>
3.1 VDI-Richtlinien . . . . .	13
3.2 Ereignisgesteuerte Prozesskette . . . . .	14
3.3 Systematik der Identifikation . . . . .	15
<b>4 Einflussfaktoren auf den Dekontaminationsprozess</b>	<b>17</b>
4.1 Darstellung des Dekonprozesses . . . . .	17
4.2 Identifikation von Einflussfaktoren . . . . .	18
4.3 Bewertung der Einflussfaktoren . . . . .	23
4.4 Wechselwirkungen zwischen Einflussfaktoren . . . . .	24
<b>5 Diskussion</b>	<b>27</b>
5.1 Diskussion der Methode . . . . .	27
5.2 Diskussion der Einflussfaktoren . . . . .	29

*Inhaltsverzeichnis*

---

5.3 Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse . . . . .	35
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>39</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Danksagung</b>	<b>V</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Schematische Darstellung des Dekontaminationsplatzes nach FwDV 500 . . . . .	5
2.2	Aufbau zur Soforthilfe bei einem Massenanfall von Verletzten unter Verwendung von zwei Löschfahrzeugen . . . . .	7
2.3	Möglichkeit zur Bildung von getrennten Einsatzabschnitten bei der Sofortdekon . . . . .	12
3.1	Graphische Zusammenfassung der verwendeten Elemente. . . . .	15
4.1	Modellhafte Darstellung des Dekontaminationsprozesses als Black Box. . . . .	17
4.2	Darstellung des Ablaufs des Dekontaminationsprozesses. . . . .	18
4.3	Darstellung der internen und externen Einflussfaktoren auf die Dekontamination anhand der Ergebnisse der ChemRad-Übung. . . . .	19
4.4	Übersicht der Einflussfaktoren auf den Dekontaminationsprozess, die basierend auf der ChemRad-Übung und der Literaturrecherche identifiziert wurden. . . . .	21
4.5	Wechselwirkungen zwischen Umgebungstemperatur / Wetter, Wassertemperatur und Zeit. . . . .	24
4.6	Wechselwirkungen zwischen Waschanleitung und Mechanik. . . . .	25
4.7	Wechselwirkungen zwischen Wasserdurchflussmenge, Sprühbild und Druck. . . . .	25
4.8	Wechselwirkungen zwischen Kommunikation / Psyche, Waschanleitung und Zeit. . . . .	26

# Tabellenverzeichnis

4.1	Gegenüberstellung der Arbeitsbereiche von Sofort- und Feindekon. . .	22
4.2	Bewertung des Einflusses auf die Effektivität der Sofortdekontamination und aktuelle Umsetzung bei der Feuerwehr Hamburg. . . . .	23
5.1	Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse bezüglich der bisher untersuchten Einflussfaktoren und der Ableitung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sofortdekontamination. . . . .	37
5.2	Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse bezüglich der bisher untersuchten Einflussfaktoren und der Ableitung von Maßnahmen zur Verbesserung der Feindekontamination. . . . .	38

# Abkürzungsverzeichnis

ABC	=	Atomar, Biologisch, Chemisch
BBK	=	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
CBRN	=	Chemisch, Biologisch, Radiologisch, Nuklear
EPK	=	Ereignisgesteuerte Prozesskette
FwDV	=	Feuerwehr-Dienstvorschrift
HAW	=	Hochschule für Angewandte Wissenschaften
HLF	=	Hamburger Löschfahrzeug
MANV	=	Massenanfall an Verletzten
VDI	=	Verein Deutscher Ingenieure
vfdb	=	Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.

# 1 Einleitung

Der Mensch ist in der heutigen Industriegesellschaft einer Vielzahl von chemischen, biologischen, radiologischen oder nuklearen Gefahren (kurz CBRN-Gefahren) ausgesetzt. Berührungspunkte finden sich beispielsweise in der medizinischen Diagnostik, im Umfeld von chemischen Betrieben und Anlagen oder im Transportwesen auf Straßen oder Schienen. So geht das Statistische Bundesamt davon aus, dass im Jahr 2016 Gefahrgut im Umfang von etwa 146 Millionen Tonnen (von insgesamt knapp 3,5 Milliarden Tonnen) auf deutschen Straßen und etwa 57,5 Millionen Tonnen (von insgesamt 363 Millionen Tonnen) per Eisenbahn transportiert wurden [1, S. 9]. Dies entspricht einem Anteil von 4,17 % im Straßenverkehr und 15,84 % beim Schienenverkehr.

Bei den genannten Berührungspunkten wird in der Regel von einer unabsichtlichen Freisetzung der Stoffe beispielsweise durch Unfallereignisse oder Leckagen in Folge menschlichen oder technischen Versagens ausgegangen. Nichtsdestotrotz ist auch eine absichtliche Freisetzung von Gefahrstoffen denkbar. Hierbei handelt es sich vorrangig um Taten mit kriegerischen oder terroristischen Motiven. Insbesondere durch den letztgenannten Punkt und die Nähe von industriellen Anlagen zu Wohnbebauungen, anderen angrenzenden Gewerbebetrieben oder Bürokomplexen ist es möglich, dass eine Vielzahl von Personen im Falle einer Freisetzung von Gefahrstoffen mit diesen in Berührung kommen und geschädigt werden, sodass entsprechend viele Personen dekontaminiert werden müssen. Aus diesem Grund erfordern Einsätze nach solchen Ereignissen neben einem hohen Materialbedarf einen erhöhten Personaleinsatz, die das vorhandene Equipment aufbauen und bedienen. Darüber hinaus muss mit dem Eintreffen der ersten Einsatzkräfte zunächst festgestellt werden, was für ein Stoff freigesetzt wurde und welche Gefahren von diesem ausgehen. Dies kann bereits eine beträchtliche Zeitspanne in Anspruch nehmen. Um einen reibungslosen Ablauf im Einsatzfall zu gewährleisten, finden häufig großangelegte Übungen statt. So können die Einsatzkräfte die praktische Handhabung mit ihrem Gerät trainieren, um es im Einsatzfall sicher zu beherrschen. Des Weiteren kann ebenfalls die Kommunikation und die Zusammenarbeit der beteiligten Akteure untereinander überprüft und

gegebenenfalls optimiert werden. Eine derartige Übung mit dem Titel »ChemRad« fand 2017 im Rahmen eines EU-Projektes in Hamburg statt und wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit näher betrachtet.

Aufgrund der Vielzahl an möglichen Szenarien unter Beteiligung von CBRN-Gefahren ist es nicht realisierbar, für jeden bekannten Gefahrstoff ein Konzept zu entwickeln. Vielmehr gibt es bundes- und landesweit eingeführte Regelungen, die einen Rahmen für diese Art von Einsätzen abstecken. So existiert vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) ein Rahmenkonzept zur Dekontamination verletzter Personen, eine Feuerwehr-Dienstvorschrift beschäftigt sich mit dem Thema Einheiten im ABC-Einsatz (FwDV 500) und auch von der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdb) wurde eine Richtlinie zum Thema Dekontamination bei Einsätzen mit ABC-Gefahren veröffentlicht [2].

Bei der Dekontamination ist es entscheidend, dass sie schnellstmöglich nach Kontakt durchgeführt wird, da das Ausmaß der schädigenden Wirkung von Gefahrstoffen neben der Art der Resorption (z.B. Hautkontakt oder Einatmen) auch von der aufgenommenen Menge des Stoffes, der Dosis, und von der Einwirkzeit abhängt. Um letztere möglichst kurz zu halten, besteht der erste Schritt der Dekontamination meist aus dem Entfernen der verunreinigten Kleidung. Daran schließt sich zunächst ein Duschvorgang zur Grobreinigung an, auch Notdekon oder Sofortdekon genannt [9, S. 5]. Sollten immer noch Stoffe nachgewiesen werden können, müssen sich die Personen bei einer Feindekon einer weiteren Reinigung unterziehen. Dies kann in mobilen Einheiten für die Personendekontamination oder in ortsfesten Einrichtungen wie Schwimmbädern oder Turnhallen stattfinden [9, S. 14].

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die Effektivität der Dekontamination von Personen untersucht. Effektivität ist in diesem Zusammenhang als die Auswahl der Maßnahmen definiert, die zur Erfüllung eines bestimmten Zieles dienen.

Bedingt durch die Vielfalt an Gefahrstoffen und der damit einhergehenden Kontamination ist der Bereich der Dekontamination oftmals ebenso unübersichtlich. Durch die Feuerwehr Hamburg wurde die Notwendigkeit erkannt, einen Zugewinn an Klarheit und Struktur zu erhalten, um die zeitkritische Dekontamination von einer großen Anzahl an Betroffenen so effektiv wie möglich zu gestalten. Für diesen Zweck sollen die Ergebnisse dieser Arbeit genutzt werden.

Als Ausgangslage der Betrachtung dient die Annahme einer kontaminierten Person und als Ziel wird die Dekontamination dieser Person definiert. Der Fokus liegt dabei auf der Sofortdekon im Falle einer großen Anzahl an betroffenen Personen, da diese als Erstmaßnahme am Einsatzort entscheidenden Einfluss auf den Erfolg für den wei-

teren Verlauf des Einsatzes hat. Darüber hinaus werden die erhaltenen Ergebnisse auch im Rahmen der Feindekon betrachtet, da beide Teilprozesse einen engen Bezug zueinander aufweisen und aufeinander aufbauen. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Dekontaminationsprozess in einzelne Einflussfaktoren (= Bausteine) zerlegt, die für die Erreichung des Ziels, der Dekontamination, unerlässlich sind. Diese Bausteine können in weitergehenden Arbeiten herausgenommen, auf Effizienz untersucht und nach der Optimierung wieder in den Prozess eingearbeitet werden.

Die Arbeit geht zunächst auf die Problemstellung ein und beschreibt an dieser Stelle den rechtlichen Rahmen, die ChemRad-Übung sowie Ressourcen der Feuerwehr Hamburg. Daran schließt sich die Darstellung des methodischen Vorgehens und des Dekontaminationsprozesses mit seinen verschiedenen Einflussfaktoren an. Schließlich werden diese Faktoren im Hinblick auf Umsetzbarkeiten und Variationsmöglichkeiten diskutiert.

# 2 Theoretische Grundlagen und Problemstellung der Dekontamination

Neben der Abkürzung CBRN ist ebenfalls das Akronym ABC für atomare, biologische und chemische Gefahren in Gebrauch und wird synonym verwendet. Dieses gilt jedoch als veraltet und findet sich häufig im Kontext von Richtlinien oder anderen übergeordneten Dokumenten. Dementsprechend wird im Folgenden wann immer möglich die Abkürzung CBRN verwendet.

## 2.1 Rechtlicher Rahmen der Dekontamination

Als Grundlagen für die Dekontamination dienen als übergreifende, deutschlandweit gültige Regelungen die FwDV 500 »Einheiten im ABC-Einsatz« sowie die vfdB-Richtlinie 10/04 »Dekontamination bei Einsätzen mit ABC-Gefahren« [3, 4]. In ihnen wird die Kontamination definiert als die Verunreinigung der Oberflächen von Lebewesen, des Bodens, von Gewässern und Gegenständen mit ABC-Gefahrstoffen [3, S. 7 und 4, S. 6]. Demgegenüber wird unter einer Dekontamination die Verringerung bzw. die Beseitigung eines Gefahrstoffs von Oberflächen verstanden [3, S. 28 und 4, S. 6].

### 2.1.1 Feuerwehr-Dienstvorschrift 500

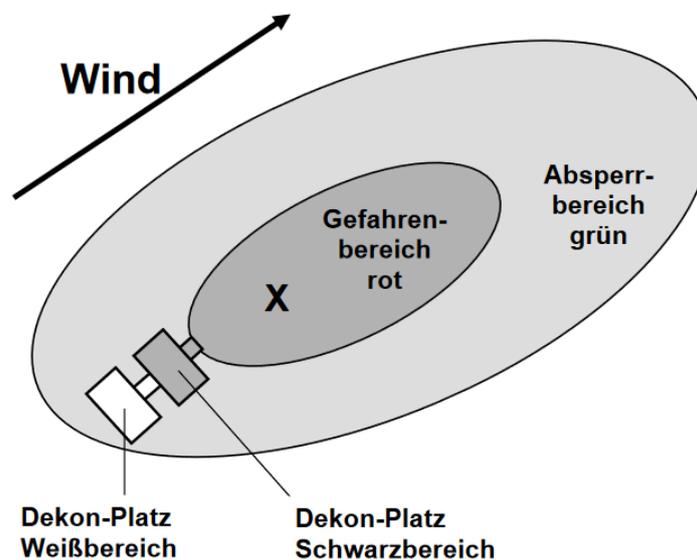
In der FwDV 500 werden taktische Regeln festgelegt, die es zu beachten gilt. Der erste Teil der Vorschrift enthält allgemeine Rahmenvorschriften. Dies beinhaltet zum Beispiel vorbereitende Maßnahmen, die Schutzausrüstung der Einsatzkräfte oder Grundsätze zum Ablauf des Einsatzes bei CBRN-Gefahrenlagen. Der zweite Teil beschäftigt sich mit speziellen Regelungen und den Besonderheiten, die die verschiedenen Arten der Kontamination hervorrufen. Hierbei geht es um spezielle Schutzaus-

rüstung oder die unterschiedlichen Kennzeichnungsmöglichkeiten zum Erkennen der Gefahr. Die Dekontamination wird in Abschnitt 1.5.3.6 der FwDV 500 beschrieben [3, S. 28 ff]. Zunächst wird auf das Stufenkonzept der Dekontamination eingegangen. Dieses gliedert sich mit steigendem Umfang in die Bereiche

- Not-Dekon (Notdekontamination von Personen),
- Dekon-Stufe I (allgemeine Einsatzstellenhygiene),
- Dekon-Stufe II (Standard-Dekontamination) und
- Dekon-Stufe III (erweiterte Dekontamination im ABC-Einsatz, beinhaltet auch die Massendekontamination).

Dabei entspricht die Not-Dekon der Sofortdekon, die anderen Dekon-Stufen beziehen sich auf die Feindekon.

Daran schließt die Beschreibung des Dekon-Platzes an. Dieser soll ab der Dekon-Stufe II eingerichtet werden und »spätestens 15 Minuten nach dem ersten Anlegen einer persönlichen Sonderausrüstung« betriebsbereit sein [3, S. 30]. Der Platz soll sich außerhalb des Gefahrenbereichs befinden und besteht aus einem Schwarzbereich als unreine Seite und einem Weißbereich als reine Seite. Der schematische Aufbau des Dekontaminationsplatzes ist in Abb. 2.1 dargestellt.



**Abb. 2.1:** Schematische Darstellung des Dekontaminationsplatzes nach FwDV 500 [3, S. 30].

Im Folgenden werden Grundsätze zur Dekontamination von Personen behandelt. Als Beispiele seien hier die Dekontamination noch vor Ort, das möglichst schnelle Ablegen von (Schutz-)Kleidung im Schwarzbereich zur Vermeidung einer Kontamination der Haut sowie das Nicht-Erwärmen von Personen, um ein Öffnen der Poren zu verhindern, genannt. Bei der Dekontamination von verletzten Personen gilt der Grundsatz, dass lebensrettende Sofortmaßnahmen unter Beachtung des Eigenschutzes vor der (Not-)Dekontamination durchzuführen sind. Weiterhin ist zu beachten, dass eine Inkorporation von Schadstoffen verhindert wird. Im letzten Abschnitt des Kapitels wird auf die Dekontamination von Geräten eingegangen, die in dieser Arbeit allerdings nicht näher betrachtet wird.

### **2.1.2 vfdb-Richtlinie 10/04**

Die vfdb-Richtlinie 10/04 sieht sich selbst als Rahmenrichtlinie und Ergänzung zur FwDV 500. Der Fokus ist hier ausschließlich auf die Dekontamination gelegt. Die Richtlinie behandelt die Einsatzorganisation, die Dekontamination von Personal, Verletzten und Geräten sowie die Fahrzeug- und Geräteausstattung. Analog zu der FwDV 500 existiert auch hier ein Stufenkonzept [4, S. 20 ff].

Laut vfdb-Richtlinie kann neben der Trennung der Einsatzstelle in Schwarz- und Weißbereich auch eine Einteilung in rote, gelbe und grüne Zone erfolgen. Nach diesem Schema entsprechen rote und gelbe Zone dem Schwarzbereich. Die grüne Zone kennzeichnet den Weißbereich [4, S. 11].

Die vfdb-Richtlinie gibt zudem einen Einblick, wie eine Sofortmaßnahme für die Dekontamination bei einem Massenansturm von Verletzten (MANV) aufgebaut werden kann. Das Vorgehen ist in Abb. 2.2 dargestellt. Dabei wird eine Art Waschstraße aufgebaut, indem zwei Löschfahrzeuge parallel nebeneinander aufgestellt werden. Die Wasserabgabe findet vom Dach aus statt, sodass kontaminierte Personen zwischen den Fahrzeugen hindurchgehen können.

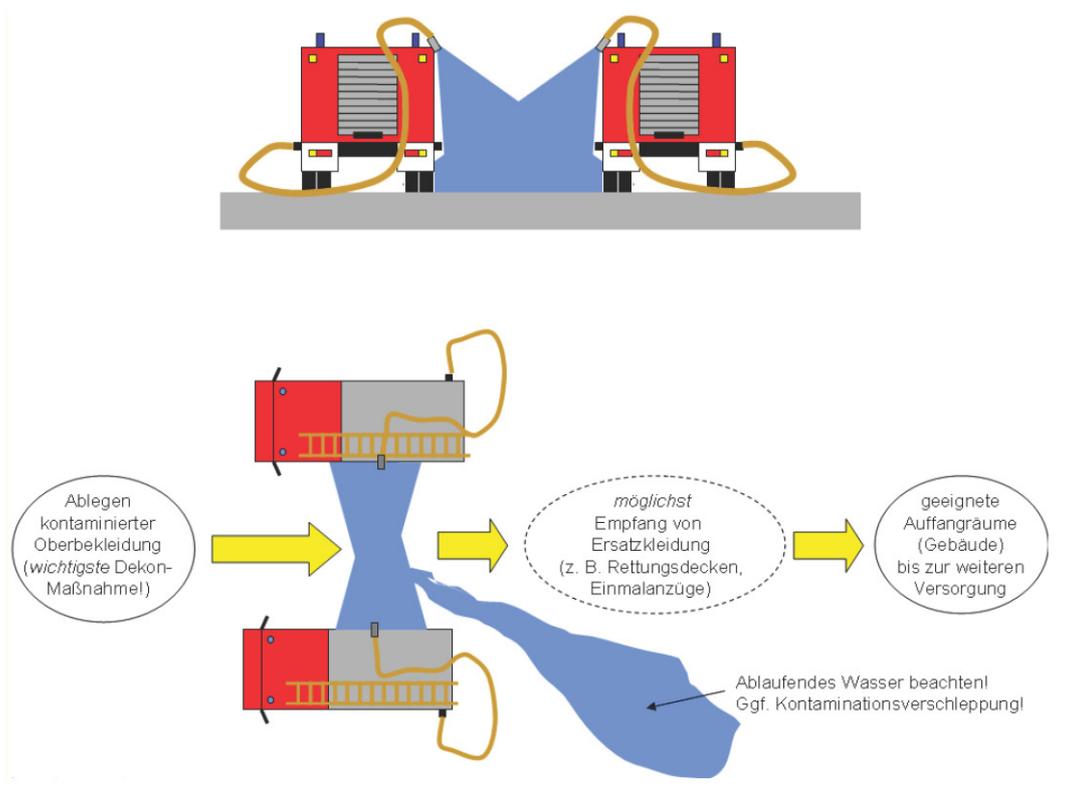


Abb. 2.2: Aufbau zur Soforthilfe bei einem Massenanfall von Verletzten unter Verwendung von zwei Löschfahrzeugen [4, S. 22].

## 2.2 Die ChemRad-Übung

Das Projekt HAZARD der Europäischen Union beschäftigt sich mit Notfällen im Bereich von Hafenanlagen und daran anschließender Terminals und Lagerstätten. Der Fokus liegt dabei auf Anlagen im Raum der Ostsee. Als Ziel des Projekts sollen die Auswirkungen von Ereignissen wie Leckagen, Feuer auf Passagierschiffen oder Explosionen in den genannten Bereichen abgemildert werden. In diesem Zuge wird die Zusammenarbeit und die Kommunikation von beteiligten Akteuren wie Rettungskräften, Behörden und Hafenbetreibern geübt, sodass diese besser auf eintretende Notfälle reagieren können [5].

Im Jahr 2017 fand im Rahmen des HAZARD-Projekts eine groß angelegte Übung am Hamburger Hafen statt. Beteiligte Akteure waren unter anderem die Werkfeuerwehr der Firma Nynas, die Polizei Hamburg, die Behörde für Umwelt und Energie sowie die Asklepios Klinik Hamburg-Harburg. Als Szenario wurde die Kontamination von etwa 75 Personen durch ein Aerosol, welches von einem Binnenschiff freige-

setzt wurde, angenommen. Weiterhin gerieten einige Personen in den Strahlenkegel eines Prüfstrahlers, welcher im Zuge von Revisionsarbeiten zum Einsatz kam. Neben der Chemikalienunfallbekämpfung wurde die Massendekontamination sowie die Dekontamination von verletzten und unverletzten Personen geübt. Dies beinhaltete auch die Dekontamination bewegungseingeschränkter sowie nicht gehfähiger Personen. Die Übung wurde von der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg begleitet, ausgewertet und die Ergebnisse in einem Evaluationsbericht zusammengefasst [6]. Diesem Bericht ist zu entnehmen, dass die Dekontaminationsmaßnahmen insgesamt zu einer Verringerung der kontaminierten Körperareale geführt haben. Allerdings haben sich Hinweise auf einen nur geringen Nutzen der Massendekontamination ergeben. Insbesondere im Bereich der Anleitung zur selbstständigen Reinigung sowie in der Kommunikation mit den Betroffenen wurde Verbesserungspotential erkannt. Zudem wurde eine Untersuchung der Massendekon im Hinblick auf Reinigungsmechanik, Aufenthaltsdauer und Wassermenge in weiterführenden Arbeiten vorgeschlagen [6, S. 28].

Basierend auf den Ergebnissen der ChemRad-Übung konnten somit erste Anhaltspunkte für Einflussfaktoren auf die Dekontamination identifiziert werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Evaluationsberichts dargelegt. Es findet dabei eine Aufteilung in das verwendete Messverfahren und das Dekontaminationsverfahren statt.

### 2.2.1 Messverfahren

Während der Übung waren insgesamt vier Messstellen vorgesehen, die wie folgt verteilt waren [6, S. 12]:

- eine Messstelle am Beginn der Übungsstrecke nach erfolgter Kontamination
- eine Messstelle nach der Massendekon
- eine Messstelle nach der Feindekon von gehfähigen Personen
- eine Messstelle nach der Dekon von verletzten Personen

Jede Messstelle war mit drei Personen besetzt, die das Ausmaß der Kontamination einerseits mittels Fotoaufnahmen unter UV-Licht, andererseits manuell auf einem Bogen erfasst haben. Zudem wurden weitere Parameter, wie z.B. die Körpertemperatur, festgehalten. Nach dem Start der Übung wurde das Personal der Messstelle 1 zur Messstelle 4 verlegt. Als Grund wurde eine Ressourcenoptimierung angegeben.

Dadurch fehlte allerdings die Eingangsmessung und der Grad der Kontamination, mit der die Versuchsteilnehmer die Dekonstrecke betraten, ist nicht mehr ersichtlich. Dies führte dazu, dass nicht nachgewiesen werden konnte, welche Körperareale bereits vor dem Dekonverfahren verschmutzt waren, da die Aufbringung des Kontaminationsnachweismittels zufällig, in unterschiedlicher Intensität auf den Körper der Versuchsteilnehmer erfolgte [6, S. 11]. Es ist jedoch von elementarer Bedeutung diese Eingangswerte zu erfassen, um Effekte und Wirksamkeit des Dekonprozesses nachweisen zu können.

Ein weiterer problematischer Punkt wurde im Hinblick auf die Messstellen selbst aufgeworfen. So konnte die Messstelle nach der Massendekon nicht vollständig abgedunkelt werden. Ein absolut dunkler Raum ist jedoch entscheidend, da der Grad der Kontamination unter UV-Licht festgestellt wurde und einfallendes Licht das Ergebnis verfälschen kann. Bei der Messstelle nach der Feindekon wurde hingegen von besseren Messbedingungen gesprochen [6, S. 16 f.]. Es wurde nicht ersichtlich, warum es zu dieser Verbesserung kam, da beide Messpunkte in Zelten durchgeführt wurden.

### 2.2.2 Dekontaminationsverfahren

Im Folgenden wird sich hauptsächlich auf die Ergebnisse bezüglich der Massendekon konzentriert.

Von den 48 Versuchsteilnehmern, die die Massendekon durchliefen, konnte bei 65 % der Personen eine weiterhin bestehende Kontamination des Torsos nachgewiesen werden. Darüber hinaus stark betroffen waren der rechte Unterarm (48 %) sowie der rechte Oberschenkel (63 %) [6, S. 16]. Seitens der Autoren des Evaluationsberichts wurde vermutet, dass diese Rechtsseitigkeit durch die hohe Anzahl an Rechtshändern begründet sein könnte, die sich selbst hauptsächlich mit der dominanten Hand waschen würden. Des Weiteren könnte das Ergebnis auch auf die unzureichende Anleitung zur Reinigung zurück zu führen sein. Bei der Feindekon blieb die beschriebene Rechtsseitigkeit und die Verunreinigung des Torsos bestehen. Besonders auffällig war, dass nach der Feindekon auch der Kopf mit 51 % stark kontaminiert war [6, S. 17 f].

Ein weiterer zu betrachtender Punkt ergab sich in der Aufenthaltsdauer der Probanden in der Massendekon. So wurde die Strecke trotz einer durchschnittlichen Wassertemperatur von 13,8 °C und einer Umgebungstemperatur von 19,0 °C im Fußgänger-Tempo durchschritten. Diese Empfehlung für die Aufenthaltsdauer wur-

de bereits in der Untersuchung von Boos, Grabowski und Kühn [7] ausgesprochen. Bei der hier betrachteten Übung konnte jedoch kein Zusammenhang zwischen Aufenthaltsdauer und dem Dekontaminationserfolg belegt werden [6, S. 26].

Als kritisch wurde das erhaltene Sprühbild durch die Verwendung der vorinstallierten Düsen an den Hamburger Löschfahrzeugen (HLFs) eingeschätzt. Es war deutlich feiner als in einer Vorübung, die im Frühjahr 2017 durchgeführt wurde und bei der C-Hohlstrahlrohre verwendet wurden [6, S. 21]. Dieses feine Sprühbild bedeutet eine geringere Durchflussmenge an Wasser, was sich wiederum negativ auf die Dekontamination auswirken kann.

Insgesamt wurden durch die ChemRad-Übung folglich einige Fragen zur Wirksamkeit der Dekontamination von Personen aufgeworfen. Zur besseren Einordnung der Ergebnisse aus der Übung und für das Verständnis der vorliegenden Arbeit werden im nächsten Abschnitt grundlegende Vorgehensweisen der Feuerwehr Hamburg betrachtet.

## 2.3 Ressourcen der Feuerwehr Hamburg

Die Feuerwehr Hamburg sorgt mit ihren 21 Feuer- und 34 Rettungswachen der Berufsfeuerwehr, 86 Freiwilligen Feuerwehren sowie einer Technik- und Umweltschutzwache für den Schutz der über 1,8 Millionen Einwohner der Stadt [8, S. 4]. Im Jahr 2018 wurden insgesamt 287.743 Alarmierungen verzeichnet, die sich in die Bereiche Brände (12.257 Alarmierungen), Hilfeleistungen (22.318 Alarmierungen) sowie Rettungsdienst (253.168 Alarmierungen) aufteilen [8, S. 11]. Durch die Stadt verlaufen insgesamt 82 km Bundesautobahnen, 146 km Fernverkehrsschienenwege und 47 km Bundeswasserstraßen. Weiterhin weist Hamburg mit zwei Flughäfen, 30 Häfen sowie 63 Chemieanlagen ein erhebliches Potential für den Kontakt mit CBRN-Gefahrstoffen auf [8, S. 4 f.].

Vom Arbeitskreis Personendekontamination der Feuerwehr Hamburg wurde im Rahmen der Fußball WM 2006 ein Einsatzkonzept entwickelt, welches noch heute Gültigkeit besitzt [9]. In diesem werden grundlegende Anforderungen an Material und Personal für die Sofort- und Feindekon beschrieben. Darüber hinaus wurden Ablaufschemata für den Einsatz entwickelt. Nach diesem Konzept werden verschiedene Schadenarten unterschieden [9, S. 4]. Dies gliedert sich wie folgt in die Bereiche

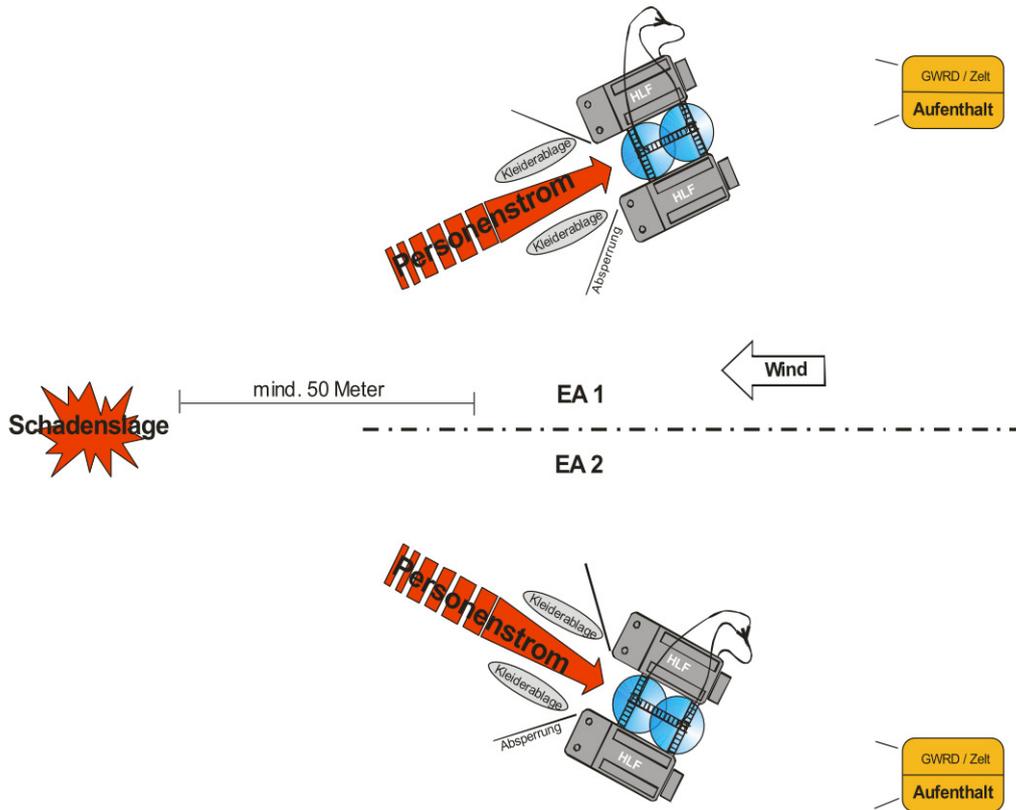
- Dekon: Konzept bis 20 kontaminierte Personen
- Dekon 2: Konzept von 21 bis 500 kontaminierte Personen

- Dekon 3: Konzept für mehr als 500 kontaminierte Personen

Das Konzept sieht vor, dass jedes HLF in der Lage ist, die Sofortdekon mit Hilfe von weiteren HLFs durchzuführen. Für diesen Einsatzzweck verfügen die Fahrzeuge über Sprühdüsen im oberen Bereich des Aufbaus. Sofern keine Sprühdüsen verbaut wurden, werden die auf dem Fahrzeug verlasteten Strahlrohre genutzt. Bezüglich der Feindekon wird davon ausgegangen, dass die Schadenart Dekon mit den Kräften und dem Material der Technik- und Umweltschutzwache abgearbeitet werden kann. Für die Schadenarten Dekon 2 und Dekon 3 werden zusätzlich die Einheiten der Freiwilligen Feuerwehren mit entsprechenden Dekon-Einheiten alarmiert. Laut Konzept sind hierfür drei bzw. sechs Freiwillige Feuerwehren sowie Einheiten zum Aufbau und zur Sicherstellung der Wasserversorgung vorgesehen [9, S. 18]. Bei der Feindekon durchlaufen betroffene Personen einen weiteren Duschprozess, der die verbleibende Kontamination entfernen soll. Dies geschieht nach folgendem Muster: eine Minute duschen, drei Minuten einseifen, zwei Minuten abduschen [2, S. 19]. Zu diesem Zweck sind die Fahrzeuge mit Ausrüstung und Materialien ausgestattet, die es ermöglichen, dass die Personen einzeln duschen können und anschließend in beheizten Zelten weiter betreut werden.

Gemäß Ablaufschema wird zunächst die Entscheidung getroffen, ob eine Sofortdekon erforderlich ist. Sollte dies der Fall sein, wird die Sofortdekon wie bereits beschrieben durchgeführt (siehe Abb. 2.2). Anschließend werden die betroffenen Personen gesichtet und den entsprechenden Sammelplätzen für verletzte respektive unverletzte Personen zugeordnet. Beide Gruppen unterziehen sich anschließend einer Feindekon und werden nach ärztlicher Untersuchung weiterhin betreut oder können nach Hause entlassen werden. Verletzte Personen werden nach Abschluss der Dekontaminationsmaßnahmen in umliegende Krankenhäuser transportiert.

Beim Aufbau einer Dekontamination für eine große Anzahl von Betroffenen orientiert sich die Feuerwehr Hamburg an der Vorgabe der beschriebenen vfdb-Richtlinie (siehe Abb. 2.2). Je nach Größe des Einsatzes und zur Verfügung stehendem Gerät kann die Anordnung um weitere Löschfahrzeuge ergänzt werden, um einen höheren Durchlauf an Personen bei der Sofortdekon zu erzielen. Alternativ können auch mehrere Einsatzabschnitte gebildet werden, an denen eine Sofortdekon stattfindet. Dies ist in Abb. 2.3 dargestellt.



**Abb. 2.3:** Möglichkeit zur Bildung von getrennten Einsatzabschnitten bei der Sofortdekon (EA = Einsatzabschnitt, HLF = Hamburger Löschfahrzeug, GWRD = Gerätewagen Rettungsdienst)[9, S. 13].

# 3 Methode

Für die systematische Identifikation von Einflussfaktoren musste zum einen ein Verfahren gefunden werden, welches es erlaubt, den Dekonprozess schrittweise zu entwickeln und die Einflussfaktoren zu ermitteln. Zum anderen sollte die Prozessdarstellung an einem etablierten System orientiert sein, um sich deren Struktur und Regularien zunutze zu machen. Für beide Probleme wurden mit den VDI-Richtlinien und der Ereignisgesteuerten Prozesskette (EPK) Lösungen gefunden. Weiterhin musste ein Rahmen abgesteckt werden, um ein möglichst umfassendes Bild von Einflussfaktoren zu erhalten und keine zu vergessen. Zu diesem Zweck wurden eine Literaturrecherche mittels Schneeballverfahren sowie eine Schlagwort-Suche durchgeführt. Das methodische Verfahren wird im Folgenden näher erläutert.

## 3.1 VDI-Richtlinien

In den VDI-Richtlinien 2221 bis 2223 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) werden die Gestaltung und die Entwicklung von technischen Systemen und Produkten behandelt [10–14]. Das generelle Vorgehen besteht gemäß VDI-Richtlinie 2221 Blatt 1 aus den Aktivitäten:

1. Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung
2. Ermitteln von Funktion und deren Strukturen
3. Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen
4. Gliedern in realisierbare Module
5. Gestalten der maßgebenden Module
6. Gestalten des gesamten Produkts
7. Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben.

Dabei müssen die einzelnen Schritte nicht starr von oben nach unten durchlaufen werden, sondern es sind Rückschritte, iteratives Vorgehen sowie paralleles Bearbeiten von mehreren Aktivitäten gleichzeitig möglich und zulässig [10, S. 14 und 35]. Die Systemtheorie der VDI-Richtlinien definiert ein System als eine von einer Umgebung durch eine gedachte Systemgrenze abgegrenzte Menge von Elementen, die einen definierten Zweck erfüllen, sowie den zwischen ihnen bestehenden Relationen [10, S. 12]. Das System als Ganzes (Black Box) betrachtet reagiert auf eine Eingabe mit einem bestimmten Ergebnis oder einer Zustandsänderung. Weiterhin enthält das System definierte Elemente (White Boxes), die untereinander Verbindungen aufweisen können und die zum Erreichen eines Ziels notwendig sind. In diesem Kontext wird auch der Begriff des Modells eingeführt. Ein Modell ist immer ein Abbild eines Originals für einen bestimmten Zweck. Das Original wird in diesem Fall jedoch nur in reduzierter oder abstrahierter Form wiedergegeben [10, S. 14].

Auf die Dekontamination übertragen stellt der gesamte Dekontaminationsprozess die Black Box dar. Als Eingabe fungiert die kontaminierte Person. Sie wird vom System Dekontamination „bearbeitet“ und als Ergebnis ist sie dekontaminiert. Die White Boxes sind verschiedene Faktoren, die allesamt Einfluss auf den Dekontaminationserfolg haben.

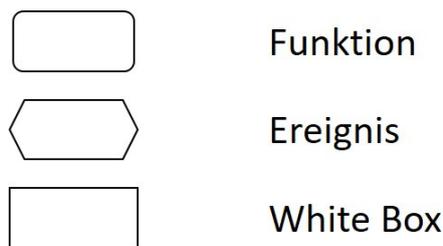
Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Aktivitäten 2–4 (Ermitteln von Funktion und deren Strukturen, Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen, Gliedern in realisierbare Module), indem grundlegende Anforderungen an den Dekontaminationsprozess betrachtet werden. Das Gestalten der maßgebenden Module ist Teil von weiteren Untersuchungen und Übungen, um eine größtmögliche Effizienz der Module zu erreichen.

## 3.2 Ereignisgesteuerte Prozesskette

Da es sich bei der Dekontamination von Personen nicht um ein technisches Produkt handelt, welches gestaltet werden muss, sondern um einen Prozess, der einen zeitlichen Verlauf aufweist, werden auch Elemente des Prozessmanagements verwendet. Als Grundlage hierfür dient die Ereignisgesteuerte Prozesskette. Sie findet häufig Anwendung für die Darstellung von Geschäfts- und Produktionsabläufen oder im Qualitätsmanagement, kann aber auch für die allgemeine Darstellung von Prozessverläufen herangezogen werden. Die EPK besteht aus den folgenden Basiselementen [15, S. 67 ff]:

- Funktionen: repräsentieren Tätigkeiten, die Entscheidungskompetenz für den weiteren Prozessverlauf aufweisen. Sie werden durch abgerundete Rechtecke dargestellt.
- Ereignisse: beschreiben Zustandsausprägungen, die keine Zeit oder Kosten verbrauchen. Als solche besitzen sie keine Entscheidungskompetenz, sondern lösen Funktionen aus oder dokumentieren einen Zustand, der aufgrund der Bearbeitung durch Funktionen erreicht wurde. Ereignisse werden als Sechsecke dargestellt.

Für die weitere Verwendung der EPK werden in dieser Arbeit Hilfsfunktionen verwendet. Diese besitzen im Gegensatz zu normalen Funktionen keine Entscheidungskompetenz, sondern repräsentieren Tätigkeiten, die dem Dekontaminationsprozess vor- oder nachgeschaltet sind. Die Visualisierung der White Boxes und der Hilfsfunktionen erfolgt als reguläres Viereck. Die verwendeten Symbole der in Kap. 4 dargestellten Fließdiagramme sind in Abb. 3.1 zusammenfassend gezeigt.



**Abb. 3.1:** Graphische Zusammenfassung der verwendeten Elemente.

### 3.3 Systematik der Identifikation

Für die systematische Identifikation von Einflussfaktoren erfolgt zunächst die Entwicklung und Darstellung des Dekontaminationsprozesses mit Hilfe der EPK, damit die Einflussfaktoren in dieses Modell eingefügt werden können.

Die ersten Einflussfaktoren werden aufgrund der Analyse der ChemRad-Übung erhalten. Diese werden ergänzt durch eine intensivierete Literaturrecherche. Zu diesem Zweck wird einerseits das Schneeballverfahren angewendet, bei dem das Literaturverzeichnis der vorhandenen Quellen nach neuen Quellen durchsucht wird. Andererseits werden Schlüsselworte wie »(mass / gross / technical) decontamination« bei bekannten Informationsdiensten und Literaturdatenbanken des Springer und Elsevier

Verlages eingegeben, um Literatur zu finden. Dabei werden sowohl die deutsche als auch die englische Schreibweise verwendet, um national wie international durchgeführte Übungen, Berichte und Rahmenrichtlinien zu erfassen. Diese Recherchemethoden sollen gewährleisten, dass Einflussfaktoren umfassend identifiziert werden, um so ein vollständiges Gesamtbild über den Dekonprozess zu erhalten.

# 4 Einflussfaktoren auf den Dekontaminationsprozess

## 4.1 Darstellung des Dekonprozesses

Bei der Betrachtung der Dekontamination als Black Box gemäß VDI-Richtlinie 2221 Blatt 1 ergibt sich folgendes Bild:



**Abb. 4.1:** Modellhafte Darstellung des Dekontaminationsprozesses als Black Box.

Als Eingabe oder Ausgangszustand wird die kontaminierte Person angenommen. Sie wird durch die Funktion der Dekontamination insoweit bearbeitet, dass eine Zustandsänderung erreicht wird und die Person am Ende als dekontaminiert gelten kann.

Die Funktion Dekontamination lässt sich weiterhin aufteilen in die Bereiche Sofortdekon und Feindekon. Zwischen ihnen kann es für betroffene Personen zu einer Wartezeit kommen. Auf die Darstellung der Wartezeit wird hier verzichtet. Sie ist jedoch im Hinterkopf zu behalten, da davon auszugehen ist, dass der Personendurchsatz bei der Sofortdekon höher ist als bei der Feindekon. Zudem wird der Betrieb einer Feindekon von Kräften durchgeführt, die zunächst der Einsatzstelle zugeführt werden müssen, was mit einer längeren Anfahrtszeit verbunden sein kann. Anschließend muss die Feindekon erst von diesen Einsatzkräften aufgebaut werden und steht nicht, wie die Sofortdekon, unmittelbar zur Verfügung. Des Weiteren muss vor Beginn der Dekontaminationsmaßnahmen ein Entkleiden der betroffenen Personen stattfinden, bei dem kontaminierte Kleidung abgelegt wird. Diese Hilfsfunktion wird dem Prozess daher noch voran gestellt. Der Dekontaminationsprozess ist abschließend in Abb. 4.2 dargestellt.

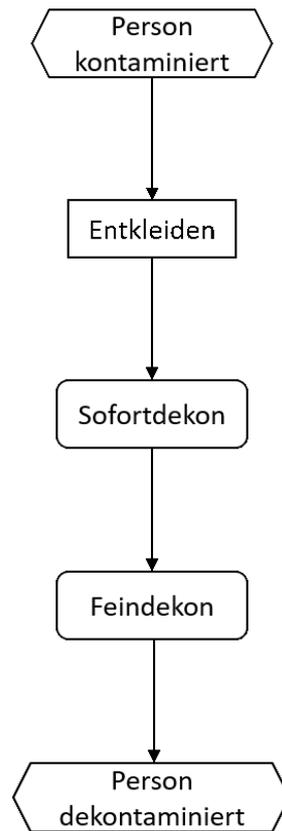


Abb. 4.2: Darstellung des Ablaufs des Dekontaminationsprozesses.

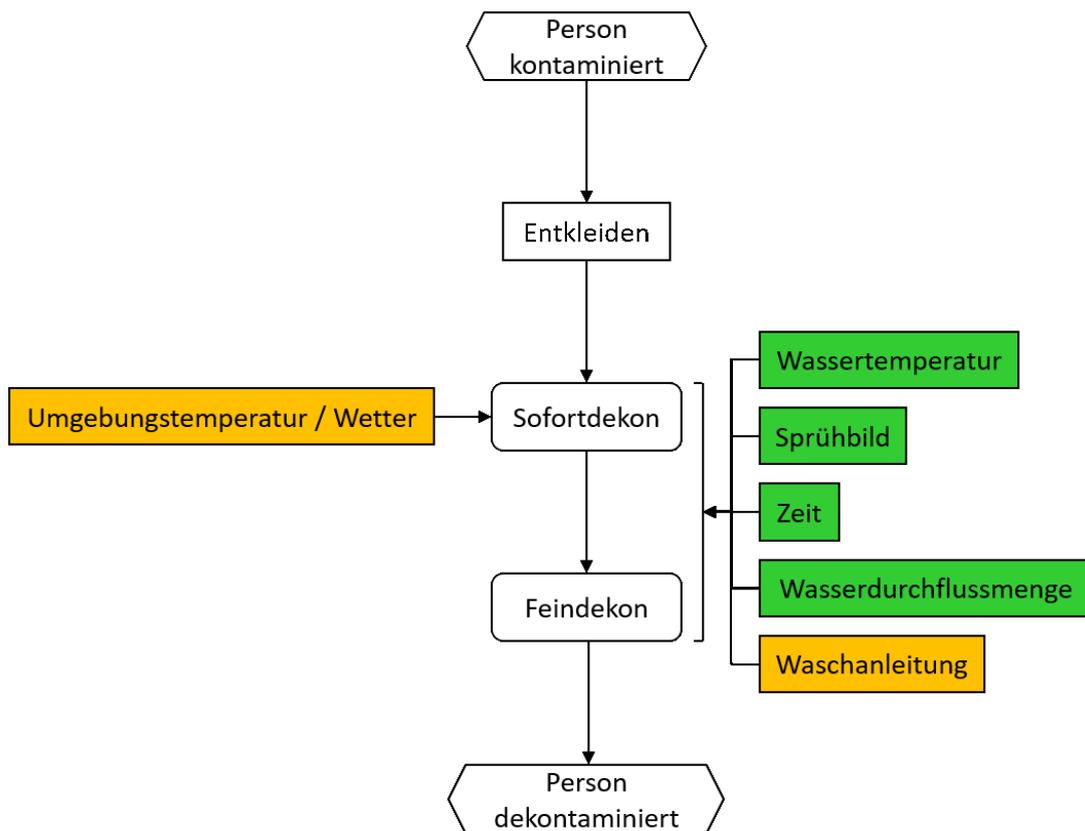
## 4.2 Identifikation von Einflussfaktoren

Anhand der ChemRad-Übung können durch die Darlegung in Kapitel 2.2 erste Einflussfaktoren auf den Dekontaminationserfolg ermittelt werden [6]. Dies sind die Wassertemperatur, das Sprühbild, die verbrachte Zeit in der Sofortdekon, die Wasserdurchflussmenge, die Umgebungstemperatur sowie die Anleitung zur selbstständigen Reinigung.

Die erhaltenen Faktoren werden zunächst in interne und externe Einflussfaktoren eingeteilt und entsprechend farblich gekennzeichnet. Dies ist in Abb. 4.3 veranschaulicht. Zum einen gibt es Einflussfaktoren, die direkten Bezug zum Reinigungsprozess und der Dekontamination haben, da sie unmittelbar am Körper der kontaminierten Personen ansetzen (interne Faktoren). Diese White Boxes sind grün hinterlegt. Zum anderen gibt es Einflussfaktoren, die auf die Umgebung und den Einfluss der Umwelt auf den Reinigungsprozess bezogen sind (externe Faktoren). Solche Faktoren sind mit einem orangenen Hintergrund versehen. Dabei soll die Farbe keine Wertigkeit

ausdrücken, sie dient lediglich der Unterscheidung.

Da in der Literatur insbesondere für einen Massenansturm an Verletzten sowie bei internationaler Literatur kaum zwischen Sofort- und Feindekon unterschieden wird, wird um diese Prozessschritte eine Klammer gesetzt und es werden Einflussfaktoren, die auf beide Teilprozesse einwirken, rechtsseitig dargestellt. Entsprechend sind Einflussfaktoren, die nur bei einem Teilprozess vorhanden sind, linksseitig aufgeführt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Faktoren bei den jeweiligen Prozessschritten einen unterschiedlich starken Einfluss ausüben können. Im Folgenden werden die genannten Einflussfaktoren kurz erläutert.



**Abb. 4.3:** Darstellung der internen (grün) und externen (orange) Einflussfaktoren auf die Dekontamination anhand der Ergebnisse der ChemRad-Übung.

Die Wassertemperatur bei der Sofortdekon entspricht derjenigen, wie sie aus dem städtischen Wasserversorgungsnetz bzw. aus den Tanks der Löschfahrzeuge entnommen wird. Bei der Feindekon wird das Duschwasser vorher erwärmt [2, 4]. Seitens der vdfb-Richtlinie 10/04 wird keine Vorgabe für eine konkrete Temperatur gemacht, sondern nur die Orientierung an der normalen Duschwassertemperatur empfohlen

[4, S. 7]. Jedoch wird im Rahmenkonzept des BBK eine Temperatur für liegende Patienten von 28 °C angegeben [2, S. 20]. Es ist anzunehmen, dass diese Temperatur auch für gehfähige Patienten angestrebt wird.

Das Sprühbild richtet sich hauptsächlich nach den Sprühdüsen bzw. den verwendeten Strahlrohren und deren Einstellung. Durch diese Maßnahme wird eine duschähnliche Umgebung geschaffen, wie sie in Abb. 2.2 dargestellt ist. Eng an diesen Einflussfaktor gekoppelt sind die Faktoren Druck, der später in dieser Arbeit noch einmal aufgegriffen wird, und die Wasserdurchflussmenge. Bei Letzterer wird generell eine hohe Durchflussmenge angestrebt, um die schädigenden Stoffe abzuspülen. Bei Verwendung von C-Strahlrohren wird ein Durchfluss von 100 l/min mit Mundstück und 200 l/min ohne Mundstück erzielt. Hohlstrahlrohre lassen sich variabel auf einen Bereich zwischen 100 und 400 l/min einstellen [16]. Die eingebauten Sprühdüsen weisen hingegen einen fest eingestellten Wasserdurchfluss von bis zu 100 l/min auf, der nicht weiter verändert werden kann. Für die Feindekon wird das Sprühbild durch die verwendeten Duschköpfe vorgegeben kann nicht variiert werden. Die Wasserdurchflussmenge wird so gewählt, dass eine duschähnliche Umgebung geschaffen wird.

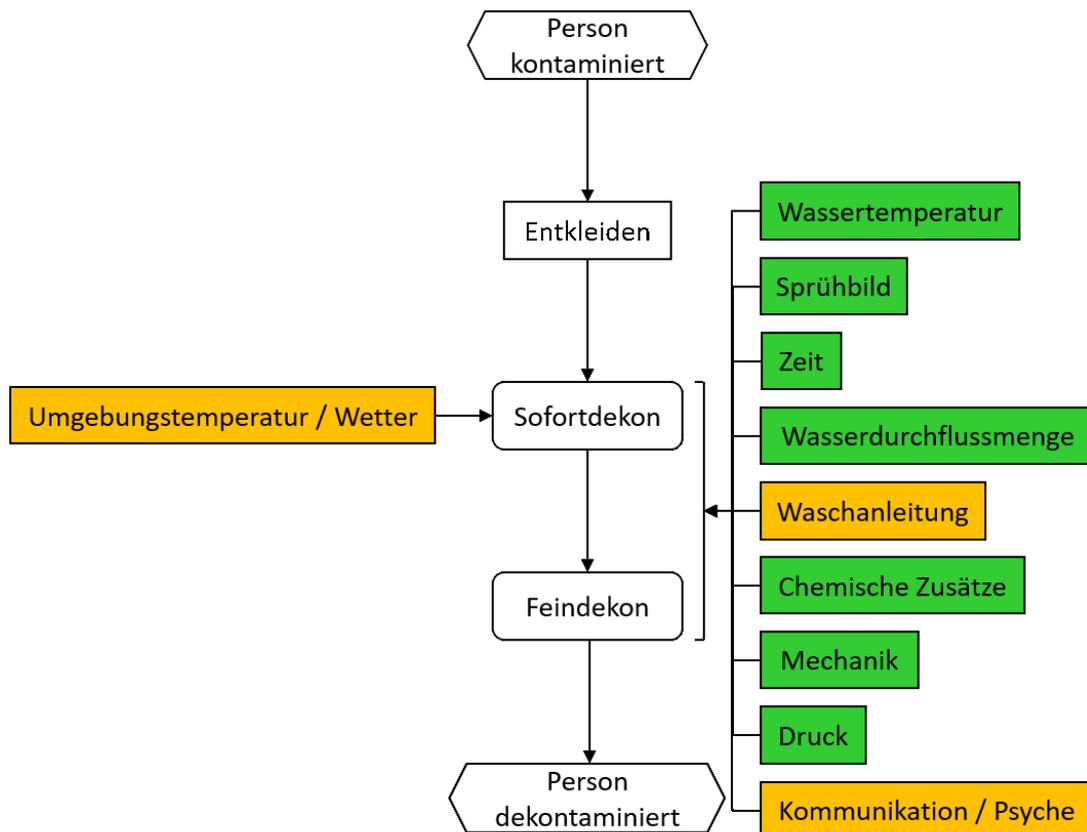
Für die zeitliche Aufenthaltsdauer in der Sofortdekon werden seitens des Konzepts der Feuerwehr Hamburg oder anderer übergeordneter Dokumente keine Vorgaben gemacht. Generell wird von einer geeigneten Mindestaufenthaltsdauer ausgegangen, die im Bereich von 30 Sekunden liegt [17, S. 47]. Als Maximum werden 180 Sekunden veranschlagt [18]. Die Feindekon richtet sich nach dem Rhythmus eine Minute duschen, drei Minuten einseifen, zwei Minuten abduschen, wodurch eine sechsminütige Aufenthaltsdauer erreicht wird [2, S. 19].

Da die Sofortdekon eine Maßnahme ist, die in aller Regel im Freien stattfindet, sind kontaminierte Personen der Umgebungstemperatur sowie dem Wetter während der jeweiligen Einsatzdauer ausgesetzt. Dieser Faktor entfällt entsprechend bei der Feindekon, da sie in beheizten Zelten stattfindet.

Bezüglich der Waschanleitung gibt es seitens der Feuerwehr Hamburg keine vorgefertigten Piktogramme, Texte zum Vorlesen oder anderweitige Hilfestellungen.

Weitere Einflussfaktoren auf die Dekontamination konnten unter anderem aufgrund des Reinigungskreises nach Sinner gewonnen werden [19, S. 351]. Diese sind die Mechanik der Reinigung und die Verwendung chemischer Zusätze. Darüber hinaus wurde durch die Literaturrecherche ersichtlich, dass die externen Faktoren noch um die Kommunikation und psychische Faktoren ergänzt werden müssen [20, S. 207 und 21]. Andere Literaturquellen konnten die bereits ermittelten Einflussfaktoren

bestätigen [18, 22–26]. Eine Gesamtübersicht der identifizierten Einflussfaktoren ist zusammenfassend in Abb. 4.4 dargestellt.



**Abb. 4.4:** Übersicht der Einflussfaktoren auf den Dekontaminationsprozess, die basierend auf der ChemRad-Übung und der Literaturrecherche identifiziert wurden.

Chemische Zusätze werden bei der Sofortdekon kaum oder gar nicht verwendet, da es keine technische Möglichkeit gibt, diese fachgerecht zu dosieren. Als Provisorium wäre eine Verwendung der auf den HLFs vorhandenen Zumischer denkbar [9, S. 7]. In Hamburg werden für die Feindekon unter anderem neutrale Seife und Peressigsäure auf den Fahrzeugen der Freiwilligen Feuerwehren für die Personendekontamination mitgeführt [9, S. 30].

Bezüglich der Mechanik des Dekontaminationsprozesses kommen bei der Feuerwehr Hamburg derzeit keine Waschutensilien wie beispielsweise Bürsten, Waschlappen oder Schwämme zum Einsatz.

Der Einflussfaktor Druck richtet sich nach der Leistung der Pumpe in den HLFs bzw. nach der Einstellung der Pumpe durch den Maschinisten. Bei der Feindekon wird zudem ein Druckminderer für 5 bar verwendet [27, S. 6].

Auch psychische Faktoren können Einfluss auf den Dekontaminationserfolg haben. Betroffene Personen befinden sich nach solchen Ereignissen in einer Extremsituation, da davon auszugehen ist, dass sie gerade ein einschneidendes Ereignis in ihrem Leben durchlaufen haben und keine Erfahrungen mit dem Ablauf der Dekontamination besitzen. Dies kann dazu führen, dass sie unter Schock stehen und sich entsprechend panisch, unkooperativ oder irrational verhalten, wodurch sie eine Gefahr für sich und andere Personen darstellen können. In diesem Zustand können sie zudem eine Kontaminationsverschleppung bewirken, indem sie sich unerlaubt und ohne vorherige Dekontamination vom Einsatzort entfernen. Das Konzept der Feuerwehr Hamburg widmet ein Kapitel des Einsatzkonzeptes zur Personendekontamination dem Umgang mit Panik. In diesem Kapitel werden Grundregeln zur Betreuung von Personen mit Angstreaktionen vermittelt [9, S. 22 f].

Eng verbunden mit der Psyche ist der Einflussfaktor Kommunikation zwischen kontaminierten Personen und den Einsatzkräften. Er dient dazu, betroffenen Personen die ergriffenen Maßnahmen zu erläutern, deren Notwendigkeit zu unterstreichen sowie für deren Durchführung zu sorgen. Hierzu können beispielsweise die in den HLFs verbauten Sprechanlagen verwendet werden.

Durch die Literaturrecherche ist deutlich geworden, dass Sofort- und Feindekon zum Teil andere Voraussetzungen bezüglich der technischen Ausrüstung aufweisen und somit die Operationsbereiche dieser beiden Teilprozesse variieren. Die resultierende Unterschiede sind in Tab. 4.1 zusammengefasst.

**Tab. 4.1:** Gegenüberstellung der Arbeitsbereiche von Sofort- und Feindekon.

<b>Einflussfaktor</b>	<b>Sofortdekon</b>	<b>Feindekon</b>
Entkleiden	alternativlos	alternativlos
Wassertemperatur	kühl, ca. 15 °C	warm, ca. 25–35 °C
Sprühbild	variabel, je nach Strahlrohr	fest, durch Duschkopf
Wasserdurchflussmenge	möglichst hoch	variabel
Zeit	30–90 Sekunden	6 Minuten
Waschanleitung	keine	keine
Umgebungstemperatur / Wetter	Einfluss möglich	Einfluss entfällt
Chemische Zusätze	keine	diverse
Mechanik	keine	keine
Druck	4–5 bar	bis 5 bar
Kommunikation / Psyche	Einfluss möglich	Einfluss möglich

### 4.3 Bewertung der Einflussfaktoren

Nachdem diverse Faktoren auf die Effektivität der Dekontamination ermittelt werden konnten, sollen diese Faktoren bezüglich ihres Einflusses bewertet werden. Im Rahmen der Literaturrecherche fiel auf, dass einige Faktoren besonders häufig Erwähnung fanden. So konnte beispielsweise bei nahezu allen Quellen eine Angabe zum Wasserdurchfluss gefunden werden, die sich oft auch nur auf die Angabe »viel Wasser / high volume« beschränkte [4, 9, 23].

Die in dieser Arbeit durch den Autor vorgenommene Einschätzung der einzelnen Einflussfaktoren basiert auf der häufigen Nennung in diversen Richtlinien, Empfehlungen und Untersuchungen [3, 4, 6, 9, 17–19, 21–23, 28, 29]. Dabei findet eine Unterscheidung in hohen oder niedrigen Einfluss statt. Die Ergebnisse sind in Tab. 4.2 zusammengefasst. Das Entkleiden wird mit in die Tabelle aufgenommen, da es bereits zur Dekontamination der Personen beiträgt und eine wichtige Erstmaßnahme darstellt. Weiterhin wird angegeben, ob der Einflussfaktor durch die Feuerwehr Hamburg bereits umgesetzt wird bzw. ob er gezielt beeinflusst wird. Diese Tabelle wird in der Diskussion (Kap. 5.2) fortgeführt und um weitere Punkte ergänzt. Aufgrund der geringen Datenlage insbesondere im Hinblick auf wissenschaftliche Untersuchungen wird für die Feindekon auf die Bewertung des Einflusses verzichtet.

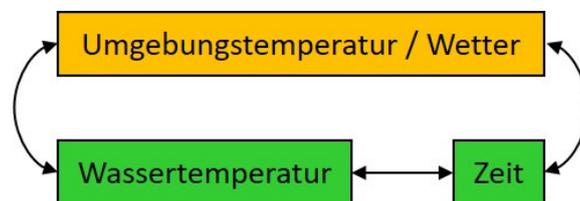
**Tab. 4.2:** Bewertung des Einflusses auf die Effektivität der Sofortdekontamination und aktuelle Umsetzung bei der Feuerwehr Hamburg.

Einflussfaktor	Bewertung Einfluss	Umsetzung bei der Feuerwehr Hamburg
	hoch / niedrig	ja / nein
Entkleiden	hoch	ja
Wassertemperatur	hoch	nein
Sprühbild	niedrig	ja
Wasserdurchflussmenge	hoch	ja
Zeit	hoch	ja
Waschanleitung	niedrig	nein
Umgebungstemperatur / Wetter	niedrig	–
Chemische Zusätze	hoch	nein
Mechanik	hoch	nein
Druck	hoch	ja
Kommunikation / Psyche	hoch	ja

## 4.4 Wechselwirkungen zwischen Einflussfaktoren

Wie überall in der Prozesslandschaft existieren auch im Bereich der Dekontamination Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Einflussfaktoren. Diese werden im folgenden Abschnitt beschrieben und sind in den Abb. 4.5, 4.6, 4.7 und 4.8 dargestellt.

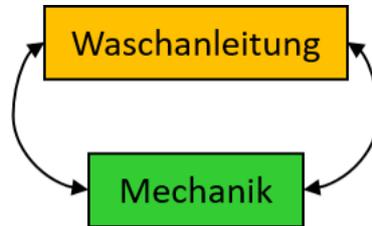
Die Einflussfaktoren Umgebungstemperatur / Wetter, Wassertemperatur und Zeit beeinflussen sich gegenseitig, wobei die Umgebungstemperatur den anderen beiden Faktoren übergeordnet wird (siehe Abb. 4.5). Je kälter die Umgebung ist, desto kühler ist auch das Wasser, welches für die Sofortdekon verwendet wird, weil es nicht vorgeheizt werden kann. Dies impliziert eine kürzere Waschzeit, da die betroffenen Personen diese kalte Dusche als unangenehm empfinden werden und den Prozess somit möglichst schnell beenden möchten. Gleichwohl bedeuten höhere Umgebungstemperaturen nicht automatisch auch eine als angenehm warm empfundene Wassertemperatur. Letztere wird immer verhältnismäßig kühl bleiben, auch wenn sie an besonders heißen Sommertagen von betroffenen Personen als tolerabel angesehen werden kann. Dementsprechend könnten höhere Wassertemperaturen zu einer längeren Duschzeit und somit zu einer potenziell besseren Dekontamination führen. Diese Wechselwirkung entfällt bei der Feindekon, da der Faktor Umgebungstemperatur dort nicht existiert.



**Abb. 4.5:** Wechselwirkungen zwischen Umgebungstemperatur / Wetter, Wassertemperatur und Zeit.

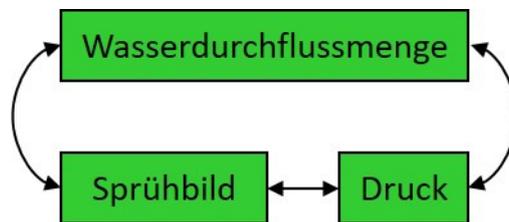
Auch der Faktor Waschanleitung hat Auswirkungen auf die Mechanik (siehe Abb. 4.6). Unabhängig davon, ob Waschutensilien verwendet werden, führt eine fehlende oder mangelhaft durchgeführte Anleitung zu einem geringen Erfolg der Mechanik. Dies drückt sich beispielsweise dadurch aus, dass Körperpartien vergessen oder nur unzureichend gewaschen werden, wie es in der ChemRad-Übung beobachtet wurde [6, S. 15 ff]. Zusätzlich kann durch eine falsche Reihenfolge des Waschvorgangs eine Kontaminationsverschleppung stattfinden, wodurch bisher nicht verunreinigte Körperpartien potenziell kontaminiert werden können. Dieses Wechselspiel betrifft so-

wohl Sofort- als auch Feindekon. Wie aus der ChemRad-Übung erkennbar war, stieg die Kontamination am Kopf der Versuchsteilnehmer von 2 % nach der Sofortdekon auf 52 % nach der Feindekon [6, S. 16 ff].



**Abb. 4.6:** Wechselwirkungen zwischen Waschanleitung und Mechanik.

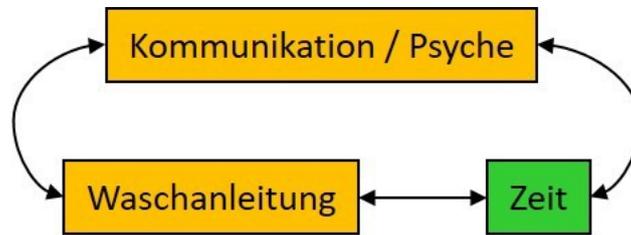
Wie bereits oben im Text genannt, existiert auch ein Zusammenhang zwischen Wasserdurchflussmenge, Sprühbild und Druck (siehe Abb. 4.7). Höhere Drücke gehen mit einer erhöhten Wasserdurchflussmenge einher und auch das Sprühbild, welches insbesondere bei Hohlstrahlrohren sehr flexibel eingestellt werden kann, beeinflusst den Wasserdurchfluss. Diese Wechselwirkung lässt sich nur bedingt auf die Feindekon übertragen, da beispielsweise das Sprühbild durch die eingesetzten Duschköpfe festgelegt ist.



**Abb. 4.7:** Wechselwirkungen zwischen Wasserdurchflussmenge, Sprühbild und Druck.

Des Weiteren beeinflussen sich die Kommunikation / Psyche, die Waschanleitung und die Zeit (siehe Abb. 4.8). Die Ausnahmesituation, in der sich betroffene Personen bei einer Dekontamination befinden, kann Verhalten hervorrufen, welches rational nicht zu erklären ist. Dies kann dazu führen, dass die Person die Dekontamination nicht effektiv durchführt, weil sie aufgrund der psychisch belastenden Situation beispielsweise Körperregionen vergisst oder zeitliche Vorgaben nicht eingehalten werden. Hier kann eine Waschanleitung helfen, um die Personen einerseits zu beruhigen, indem klare Anweisungen gegeben werden, die von der Ausnahmesituation kurzzeitig ablenken. Andererseits kann eine Waschanleitung kontaminierte Personen bei

der fachlich richtigen Durchführung der Dekontamination unterstützen. Dies kann wiederum zu einer kürzeren Aufenthaltsdauer führen.



**Abb. 4.8:** Wechselwirkungen zwischen Kommunikation / Psyche, Waschanleitung und Zeit.

Insgesamt konnte durch das methodische Vorgehen eine Vielzahl an Einflussfaktoren identifiziert werden, die zum Gelingen der Personendekontamination mit den Teilschritten Sofortdekon und Feindekon beitragen. Hierbei hat sich gezeigt, dass das Ausmaß des Einflusses unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Des Weiteren wird aktuell nicht jeder Faktor bei der Feuerwehr Hamburg umgesetzt bzw. gezielt beeinflusst. Inwieweit dies als sinnvoll eingestuft werden kann, wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit diskutiert.

# 5 Diskussion

In diesem Kapitel werden das methodische Vorgehen sowie die erhaltenen Ergebnisse diskutiert. Die ermittelten Einflussfaktoren werden im Hinblick auf Variationsmöglichkeiten und Alternativen beleuchtet sowie Umsetzbarkeiten bei der Feuerwehr Hamburg erörtert. Der leitende Maßstab in diesen Punkten ist die Effektivität der einzelnen Maßnahmen auf die Dekontamination. Sofern bei den Unterpunkten nicht zwischen Sofort- und Feindekon differenziert wird, gelten die Überlegungen für beide Bereiche.

## 5.1 Diskussion der Methode

Durch die Verwendung der VDI-Richtlinien wurde eine Struktur gewählt, die es ermöglichte, den Dekonprozess zu entwickeln und die Einflussfaktoren schrittweise zu ermitteln. Auch wenn die Richtlinien ursprünglich für die Entwicklung von technischen Produkten und Systemen gedacht sind, konnten die verwendeten Teilschritte (2–4) gut für die Identifikation von Einflussfaktoren übernommen werden.

Die Wahl der Ereignisgesteuerten Prozesskette als Darstellungsmethode für den Dekontaminationsprozess erwies sich als sinnvoll, da sie aus wenigen Basiselementen besteht und das Gesamtbild somit übersichtlich gehalten werden konnte. Für die EPK existiert auch eine erweiterte Form mit weiteren Elementen wie beispielsweise der zuständigen Stelle. Die Verwendung dieser zusätzlichen Elemente war jedoch nicht notwendig, da nicht untersucht werden sollte, wer eine Tätigkeit ausführt oder womit dies geschieht. Die Grundregel der EPK, die besagt, dass jede Prozesskette mit einem Ereignis beginnen und enden muss, konnte eingehalten werden, wie aus Abb. 4.4 ersichtlich wird. Demgegenüber wird empfohlen, mehrere Funktionen nicht direkt hintereinander zu schalten, sondern immer Ereignis und Funktion im Wechsel zu verwenden. So hätte beispielsweise hinter der Funktion »Sofortdekon« ein Ereignis mit der Bezeichnung »Person hat Sofortdekon durchlaufen« stehen können. Auf diese Empfehlung wurde zum einen aufgrund der Übersichtlichkeit verzichtet, zum anderen wurde kein informativer Mehrwert für den Prozessablauf gesehen.

Neben der EPK existieren noch weitere Modelle für die Darstellung von Prozessabläufen. An dieser Stelle sei beispielhaft die Business Process Model and Notation (BPMN) genannt. Sie fokussiert sich jedoch auf die Darstellung, welche Person oder Personengruppe eine Aktivität ausführt, und wie diese Personen untereinander kommunizieren, weshalb die BPMN nicht verwendet wurde.

Die Literaturrecherche zur Ermittlung der Einflussfaktoren erwies sich zum Teil als wenig ergiebig. Bei den genannten Datenbanken des Springer und Elsevier Verlages wurden nur wenig Ergebnisse mit Bezug zur Dekontamination von Personen erhalten. Vielfach handelte es sich um industrielle Anwendungsprozesse oder spezielle chemische Stoffe, die untersucht wurden. Auch eine Artikelrecherche im Magazin »Brandschutz - Deutsche Feuerwehr-Zeitung« des Kohlhammer Verlages innerhalb der letzten zehn Jahre mit dem Stichwort »Dekontamination« ergab lediglich sieben Treffer. Dies unterstreicht wiederum die Bewertung, dass die Dekontamination als Spezialdisziplin gelten kann. Des Weiteren wurde aufgrund der geringen Datenlage ersichtlich, dass im Bereich der Personendekontamination weiteres Potenzial für wissenschaftliche Forschung vorhanden ist.

Dem gegenüber wurden durch das Schneeballverfahren treffendere Ergebnisse gefunden, da die vorhandenen Artikel und Richtlinien auf Literatur verwiesen haben, die sich explizit mit der Personendekontamination auseinandersetzt. So stellte die Literaturrecherche insgesamt zunächst eine Hürde dar, nach deren Überwindung jedoch zielführende Ergebnisse erhalten wurden.

Eine weitere Schwierigkeit stellte das Einordnen des Einflusses der einzelnen Faktoren auf die Dekontamination dar. In dieser Arbeit wurde lediglich in hohen und niedrigen Einfluss unterschieden. Es wäre möglich, dies noch differenzierter zu betrachten und beispielsweise eine Rangliste zu erstellen. Zu diesem Zweck könnte ein Experteninterview durchgeführt werden, bei dem Personen von verschiedenen Berufsfeuerwehren in Deutschland und anderen Einrichtungen wie beispielsweise dem BBK befragt werden. Dies würde gewährleisten, dass sowohl die Einschätzung von Einsatzkräften, die direkt am Ereignisort agieren, als auch die Meinung von übergeordneten Entscheidungsstufen berücksichtigt wird. Des Weiteren könnte so auch eine Einstufung des Einflusses bei der Feindekon erfolgen, was in dieser Arbeit nicht erreicht werden konnte.

## 5.2 Diskussion der Einflussfaktoren

Da in dieser Arbeit der Reinigungsprozess der Dekontamination selbst betrachtet wurde, sind Faktoren, die dem Prozess weit vorgelagert sind, nicht erfasst worden. Dies betrifft beispielsweise die Schulung und die Routine von Einsatzkräften. Wie Sudhoff bei Übungen an zwei aufeinanderfolgenden Versuchstagen unter gleichen Bedingungen festgestellt hat, konnte die Kontamination am zweiten Tag um 20 Prozentpunkte reduziert werden [30, S. 56]. Hierbei wurde zwar die Dekontamination von verletzten, nicht gehfähigen Personen durch Einsatzkräfte geübt, was auf einen Lerneffekt für die Einsatzkräfte hindeutet, es ist jedoch davon auszugehen, dass dieses Ergebnis übertragbar ist und Einsatzkräfte, die regelmäßig eine Waschanleitung darstellen, diese auch effektiver vermitteln können, als Einsatzkräfte, die dies zum ersten Mal oder nur sehr selten ausführen. Weiterhin sollte es zu einem schnelleren Aufbau der Dekontaminationsstrecke kommen, wodurch die betroffenen Personen so früh wie möglich von dem beteiligten Stoff gereinigt werden können. Nichtsdestotrotz kann es insbesondere bei einer Vielzahl an betroffenen Personen zu Wartezeiten sowohl vor der Sofortdekon, als auch vor der Feindekon kommen. Diese sind jedoch auf die kürzest mögliche Zeit zu reduzieren.

Darüber hinaus kann auch das Verletzungsmuster Einfluss auf die Dekontamination nehmen. Dies betrifft vor allem gehfähige Patienten, die eine nicht lebensbedrohliche Verletzung aufweisen und sich selbst waschen. Nicht gehfähige Patienten werden ohnehin von Einsatzkräften dekontaminiert. So gilt es zu bedenken, dass verletzte Körperareale die Bewegungsfreiheit der Person einschränken können und sie damit beispielsweise eine Körperseite nicht effektiv waschen kann. Des Weiteren ist zu überlegen, ob Körperareale, die bereits eine Verletzung und somit eine verminderte Schutzbarriere durch die Haut aufweisen, vor der Dekontamination abgedeckt werden, um eine weitere Inkorporation durch verschmutztes Duschwasser zu verhindern. Dies setzt wiederum voraus, dass das medizinische Equipment vor Ort ist und durch die Person selbst oder durch Einsatzkräfte angewendet werden kann.

### Entkleiden

Der vfdb geht davon aus, dass im Sommer bei entsprechend warmen Temperaturen etwa 50 % der Körperoberfläche und im Winter über 90 % durch Kleidungsstücke bedeckt sind [4, S. 18]. Diese Zahlen beruhen allerdings auf Schätzungen und sind nicht auf Untersuchungen zurück zu führen. Im Gegensatz dazu wurde in einer Untersuchung von Chilcott [28] ein Dummy einmal nur von oben und einmal nur

von vorne mit einem Kontaminationsnachweismittel verunreinigt und anschließend entkleidet. Dies ergab eine Reduktion der Kontamination von 50 % in der Variante von oben und eine Reduktion der Kontamination von 70 % in der Variante von vorne [28]. Grundsätzlich lässt sich also allein aufgrund der Maßnahme des Entkleidens der Grad der Kontamination bereits erheblich senken.

### **Wassertemperatur**

Die Wassertemperatur wird bei der Feuerwehr Hamburg derzeit nicht durch Warmwasseraufbereiter oder ähnliches beeinflusst, sondern so verwendet, wie sie aus dem Wassernetz bzw. aus den Tanks der Löschfahrzeuge entnommen wird. Dementsprechend bleibt das aus dem Versorgungsnetz entnommene Wasser jahreszeitenunabhängig stets relativ kühl im Bereich von etwa 15 °C [31]. Allerdings wäre eine von kontaminierten Personen als angenehm empfundene Wassertemperatur von Vorteil, da ohne Frieren und Zittern eine effektivere Reinigung zu erwarten wäre. Sollte das Wasser für die Sofortdekon vorgewärmt werden, müsste entsprechendes Gerät auf den Fahrzeugen stets mitgeführt werden. Dies erscheint aufgrund der gering vorhandenen Reserven bei der Fahrzeugbeladung sowie aufgrund des seltenen Einsatzes dieser Geräte mit einem größeren Aufwand als Nutzen verbunden. Gleichwohl könnte bei der Feindekon gezielt ermittelt werden, welcher Temperaturbereich sich als wirksam erweist, da es hier lediglich eine Empfehlung für die »normale Duschwassertemperatur« gibt [4, S. 7]. Als Anhaltspunkt dient die Verwendung der Wassertemperatur bei der Dekontamination nicht gehfähiger verletzter Personen. Diese soll laut BBK-Rahmenkonzept 28 °C betragen [2, S. 20].

### **Sprühbild**

Durch den Einsatz der in den HLFs verbauten Sprühdüsen, lässt sich das Sprühbild bei der Sofortdekon nicht beeinflussen. Einzig unter Verwendung von Hohl- und Mehrzweckstrahlrohren ist eine Variation realisierbar. Die Einstellung auf Vollstrahl wäre eine mögliche Alternative. Allerdings könnte der Wasserstrahl zum einen von den Personen als schmerzhaft empfunden werden, da er direkt auf ihre Körper zielen würde. Zum anderen wäre der Wasserstrahl im Vergleich zum Sprühstrahl auf einen kleineren Bereich konzentriert, wodurch der Durchsatz an Personen in der Sofortdekon herabgesetzt werden würde. Dies gilt es zu vermeiden, wodurch die Einstellung Sprühstrahl weiterhin Anwendung finden sollte. Für die weitere Verwendung der Sprühdüsen spricht hingegen, dass diese sofort nach Eintreffen einsatzbereit sind

und nicht erst aufgebaut werden müssen, wie es bei den Strahlrohren der Fall ist. Für die Feindekon richtet sich das Sprühbild nach dem verwendeten Duschkopf und kann nicht variiert werden.

### **Wasserdurchflussmenge**

Der Wasserdurchfluss wird generell zunächst möglichst hoch gewählt [4, 9, 23]. Damit wird das Ziel verfolgt, den Gefahrstoff vom Körper abzuspülen. Sollte die Substanz in gefährlicher Weise mit Wasser reagieren, ist hierauf zu verzichten und stattdessen eine Trockendekontamination, beispielsweise durch Abtupfen, durchzuführen. Ob die Durchflussmenge der Sprühdüsen von 100 l/min als ausreichend eingestuft werden kann oder ob Hohl- und Mehrzweckstrahlrohre eine größere Effektivität darstellen, sollte in weiteren Untersuchungen näher betrachtet werden. Bei der Feindekon wird entsprechend dem Rhythmus eine Minute duschen, drei Minuten einseifen, zwei Minuten abduschen der Wasserdurchfluss für die Dauer des Einseifens unterbrochen. Wie hoch die Wassermenge für die Duschzeiträume sein soll, konnte durch die Literaturquellen nicht abgeschätzt werden.

### **Zeit**

Die Zeit, die kontaminierte Personen in der Sofortdekon verbringen, sollte einerseits so lange wie nötig, andererseits so kurz wie möglich sein. Nach diesem Grundsatz ist eine grobe Zeitspanne von 30 bis 180 Sekunden als realistisch einzustufen, wie es in diversen Studien ermittelt wurde [32–34]. Längere Zeiträume von 6 Minuten stellten sich als nicht effektiv heraus [18]. Bei kühlen Umgebungs- und Wassertemperaturen sollte ein unterer Wert der angegebenen Zeitspanne angestrebt werden, um eine Hypothermie der betroffenen Personen zu vermeiden. Um diese kurzen Zeiträume zu erreichen, könnte der Faktor Zeit durch geeignete Maßnahmen gezielt beeinflusst werden, beispielsweise in Form von Anweisungen und Anleitung durch Einsatzkräfte oder dem Zufügen von chemischen Zusätzen. Für die Feindekon wird nach dem genannten Muster (eine Minute duschen, drei Minuten einseifen, zwei Minuten abduschen) verfahren. Dies soll eine möglichst gründliche Reinigung gewährleisten, sodass anschließend keine Kontamination mehr nachweisbar ist. Die Ergebnisse der ChemRad-Übung zeigten jedoch eine teils immer noch erhebliche Kontamination insbesondere des Kopfes und des Torsos [6, S. 18]. Ob dies allerdings allein auf die Aufenthaltsdauer zurück zu führen ist, bleibt aufgrund der in Kap. 4.4 dargelegten Wechselwirkungen fraglich.

### **Umgebungstemperatur und Wetter**

Um unabhängig von der Umgebungstemperatur und vom Wetter die Sofortdekontamination durchzuführen, wäre es einzig möglich, die Personen in Sporthallen oder Schwimmbädern zu leiten, wo entsprechend viele Duschkapazitäten vorhanden sind. Dies setzt zwingend voraus, dass solche Einrichtungen in unmittelbarer Umgebung des Ereignisortes vorhanden sind. Hierbei ist darauf zu achten, dass keine Kontaminationsverschleppung eintritt und betroffene Personen auf direktem Weg, der bestenfalls abgesperrt oder anderweitig markiert ist, zu den genannten Orten geführt werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese Einrichtungen wirklich genutzt werden können, wird allerdings als äußerst gering eingeschätzt. Ein Aufbau mit Zelten um die HLFs oder ähnlichem ist bedingt durch die zeitkritische Durchführung der Sofortdekontamination nicht zielführend. Dieser Faktor entfällt entsprechend für die Feindekontamination.

### **Waschanleitung**

Für die Waschanleitung sind verschiedene Möglichkeiten denkbar. Zum einen könnten Piktogramme entworfen und an den HLFs angebracht werden, auf denen ersichtlich wird, wie die Reinigung korrekt durchzuführen ist. Hier könnten die wichtigsten Schritte des Waschvorgangs hervorgehoben werden, wie beispielsweise zuerst die Hände zu waschen und sich daran anschließend vom Kopf zu den Füßen zu reinigen. Wie sich in der ChemRad-Übung gezeigt hat, wurden einige Körperareale unzureichend gewaschen [6, S. 15 ff]. Hier kann die visuelle Anleitung als Erinnerung dienen, auch schwer zugängliche Körperpartien wie Achselhöhlen und Intimbereich zu reinigen. Weiterhin gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Handlungsschritte abzubilden. So könnten Poster oder ein Steckkartensystem entworfen werden, die gegebenenfalls zwischen Sofort- und Feindekontamination differenzieren. Die Entwicklung von Steckkarten bietet den Vorteil, individuell auf die Anforderungen des Reinigungsprozesses durch den betroffenen Stoff zu reagieren. Darüber hinaus wäre zu überlegen, ob und in welchem Umfang gedruckte Sprache verwendet werden soll oder ob ausschließlich Symbolsprache angewendet wird. Dies setzt allerdings voraus, dass sich die kontaminierten Personen die Anleitung ansehen und diese unmittelbar verstanden wird. Ob dies in der Ausnahmesituation, in der sie sich befinden, zu einer effektiven Dekontamination führt, bleibt fraglich. Andererseits ist es möglich, dass die Waschanleitung durch eine Einsatzkraft über die Sprechanlage aus dem Fahrerhaus der HLFs vorgelesen und kontinuierlich wiederholt wird. Dies wird so im Konzept der Feuerwehr Hamburg vorgeschlagen, jedoch inhaltlich nicht weiter

ausgefüllt [9, S. 11]. Hierfür müsste ein entsprechender Text vorbereitet werden und die Einsatzkräfte müssten im Vorwege geschult und mit dem Text vertraut gemacht werden. Des Weiteren könnte eine Einsatzkraft durch Demonstrieren und Anleiten kontaminierte Personen dazu animieren, die Reinigung korrekt durchzuführen. Bei dieser Animation der Waschanleitung ist zudem immer zu bedenken, dass hierfür Einsatzkräfte abgestellt werden müssen, die insbesondere in der Anfangsphase des Einsatzes fehlen können. Weiterhin ist eine Kombination der Maßnahmen denkbar, damit betroffene Personen die Informationen zur korrekten Durchführung der Reinigung über mehrere Kanäle wie beispielsweise Hören und Sehen aufnehmen. Die Effektivität der Animation konnte jedoch in der Studie von Wiedemann [29] nicht hinreichend belegt werden. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Versuchsteilnehmer häufig aus dem Umfeld der Feuerwehr und anderer Hilfsorganisationen stammten und somit weitgehend mit dem Prozedere vertraut waren und sich nicht in einer für sie neuen Situation befanden [29, S. 13]. Auch die Verwendung von Piktogrammen in der Studie von Amlot, Larner, Matar u. a. [18] konnte nicht zur Verbesserung der Dekontamination beitragen. Auch wenn die Quellenlage keinen positiven Effekt von Waschanleitungen belegen kann, erscheint die Entwicklung einer Waschanleitung für Sofort- und Feindekon insbesondere unter dem Aspekt der psychischen Betreuung als sinnvolle Maßnahme.

### **Chemie**

Für den Bereich der Sofortdekon ist Wasser das Mittel der Wahl, um Schadstoffe abzuspülen. Es ist nahezu überall leicht erreichbar, Einsatzkräfte und kontaminierte Personen sind den Umgang gewohnt und es hat keinen schädigenden Effekt auf Mensch und Umwelt. Wiedemann [29] kommt in seiner Untersuchung zu dem Ergebnis, dass die alleinige Verwendung von Wasser für die Sofortdekon ausreichend ist. Darüber hinaus wäre es allerdings möglich, chemische Zusätze wie beispielsweise Seifen, auch Tenside genannt, dem Wasser zur Steigerung der Effizienz und des Durchsatzes von Personen beizumischen. Dies setzt wiederum voraus, dass Seife auf den ersteintreffenden Fahrzeugen mitgeführt wird und die Mischung mit dem verwendeten Gerät hergestellt werden kann. Dabei sollte ein Tensid gewählt werden, welches möglichst keine Wechselwirkungen mit anderen Stoffen aufweist. Die Verwendung von Seife könnte die Effektivität der Dekontamination insbesondere von öligen oder zähflüssigen Stoffen steigern. Anhand der Literatur kann kein Urteil getroffen werden, inwieweit Tenside den Erfolg der Dekontamination beeinflussen,

weil keine Untersuchung gefunden werden konnte, die diesen Faktor wissenschaftlich untersucht. Hier könnten weitere systematische Studien Aufschluss zum einen darüber geben, in welcher Form Tenside mitgeführt werden können, beispielsweise als Flüssigkeit oder als Pulver, und zum anderen, welche Art von Tensiden (kationisch, anionisch o.ä.) geeignet ist. Des Weiteren sollte untersucht werden, welches Mischungsverhältnis von Tensid zu Wasser als effizient eingestuft werden kann. Hierbei wäre es denkbar, verschiedene Lösungen unter Beachtung der technischen Möglichkeiten herzustellen, einen Dummy zu kontaminieren und diesen mit der Mischung abzuspülen, um so ein optimales Mischungsverhältnis und ein geeignetes Tensid zu ermitteln. Auch für die Feindekon konnte kein optimales Mischungsverhältnis durch die Literaturquellen ermittelt werden, obwohl gerade in diesem Bereiche eine vollständige Dekontamination stattfinden sollte. Nichtsdestotrotz werden in Hamburg neutrale Seife und Peressigsäure als Dekontaminationsmittel auf den entsprechenden Spezialfahrzeugen mitgeführt [9, S. 30].

### **Mechanik**

Die mechanische Reinigungsarbeit könnte vom Einsatz von Waschutensilien wie Schwämmen, Bürsten oder Waschlappen profitieren. Dabei ist darauf zu achten, die Haut als natürliche Schutzbarriere nicht zu verletzen, damit die weitere Aufnahme des Stoffes in den Körper nicht begünstigt, sondern dieser nur abgewaschen wird. In der Untersuchungen von Amlot, Larner, Matar u. a. [18] konnte ein positiver Effekt von Waschutensilien auf die Dekontamination festgestellt werden. Es bleibt zu untersuchen, welches Hilfsmittel sich als besonders geeignet erweist. Sollte die Literatur in diesem Bereich neue Erkenntnisse liefern, wären Überlegungen anzustellen, in welchem Umfang die Gegenstände auf den Einsatzfahrzeugen mitzuführen sind und ob die Hilfsmittel bei der Sofort- oder der Feindekon zum Einsatz kommen. Dabei gilt es zu bedenken, dass sie als Einmalartikel zu verwenden sind und unter Umständen in großen Stückzahlen vorgehalten werden müssten.

### **Druck**

Drücke sollten relativ niedrig im Bereich von 4–5 bar gewählt werden [17, S. 48]. Höhere Drücke könnten zu Unbehagen und Schmerzempfindungen seitens der kontaminierten Personen führen, wodurch die Effektivität der Dekontamination herabgesetzt wird. Im Bereich der Feindekon geht aus dem Begleitheft für den GW Dekon P hervor, dass ein Druckminderer 5 bar verwendet wird [27, S. 6]. Es werden folglich

auch hier eher kleine Drücke angestrebt.

### **Kommunikation / Psyche**

Bei kontaminierten Personen ist davon auszugehen, dass sie sich in einer Ausnahme-situation befinden. Dies kann dazu führen, dass ihr Verhalten zwischen den Extremen apathisch und desinteressiert einerseits, und irrational und panisch andererseits schwankt. Beide Formen sind gleichermaßen gefährlich. Die betroffenen Personen müssen verstehen, dass die Maßnahme der Dekontamination sie vor Folgeschäden schützt und im Extremfall ihr Leben retten kann. Demgegenüber gefährdet Panik nicht nur die Person selbst, sondern auch Einsatzkräfte und weitere Personen, die beispielsweise durch eine Kontaminationsverschleppung betroffen sein können. Um diesen Risiken entgegenzuwirken, kann es sinnvoll sein, betroffene Personen zur Dekontamination anzuleiten oder zu beruhigen, damit die Maßnahme effektiv durchgeführt werden kann. Dies kann beispielsweise, wie bereits dargestellt, mit dem Faktor Waschanleitung erreicht werden.

## **5.3 Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse**

Zur besseren Übersicht der diskutierten Punkte wird Tab. 4.2 aus Kapitel 4.3 fortgeführt und um weitere Spalten ergänzt. In Tab. 5.1 wird aufgelistet, ob der Einflussfaktor bereits untersucht wurde, ob Verbesserungspotenzial erkannt wurde, wie groß der Aufwand einer Umsetzung wäre und welche Art von weiterer Untersuchung durchgeführt werden könnte. Bei den vorhandenen Untersuchungen wurden die Literaturquellen angeführt, die den jeweiligen Einflussfaktor wissenschaftlich untersucht haben. Dabei fällt auf, dass einige Quellen zwar durchaus Informationen zu Faktoren liefern, aber die wissenschaftliche Grundlage dafür fehlt. So wird beispielsweise für den Druck eine Empfehlung im Bereich von 60 psi ( $\cong$  ca. 4,14 bar) angegeben [23, 33]. Woher diese Empfehlung stammt, ist allerdings nicht ersichtlich. Das Verbesserungspotenzial richtet sich hauptsächlich nach der vorhandenen Quellenlage. Für die Einschätzung des Aufwands wurde berücksichtigt, ob bereits vorhandenes Material, wie beispielsweise beim Sprühbild, verwendet werden kann oder ob neues Gerät, z.B. für die Wassertemperatur, beschafft und getestet werden muss. Weiterhin wurde erwogen, ob eine größere Personenzahl für die Untersuchung notwendig ist, die sich der Dekontamination unterziehen und der Aufwand dadurch entsprechend hoch ist. Dies betrifft beispielsweise den Faktor Mechanik. Für die weiteren

Untersuchungen wurde unterschieden in Abschlussarbeiten von Studierenden und in interne Untersuchungen durch die Feuerwehr selbst. Dabei wurde sich hauptsächlich am vorher festgelegten Aufwand orientiert.

Wie in Tab. 4.1 gezeigt, unterscheiden sich die Bereiche von Sofort- und Feindekon zum Teil, weshalb die Ausführungen auch auf die Feindekon angewendet werden. Dies ist in Tab. 5.2 zusammengefasst. Da hier die wissenschaftliche Datenlage wenig Untersuchungsergebnisse geliefert hat, wird sich für die vorhandene Literatur an den gefundenen Richtlinien orientiert. Aufgrund der Annahme, dass für die Feindekon ein höherer Material- und Planungsbedarf sowie Personen notwendig sind, die sich waschen und abduschen, wird der Aufwand bei allen Einflussfaktoren mit Verbesserungspotenzial als hoch eingestuft.

**Tab. 5.1:** Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse bezüglich der bisher untersuchten Einflussfaktoren und der Ableitung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sofortdekontamination (BA = Bachelorarbeit, MA = Masterarbeit, IN = interne Untersuchung).

<b>Einflussfaktor</b>	<b>vorhandene Untersuchung</b> Literaturquelle(n)	<b>Verbesserungs- potenzial</b> ja / nein	<b>Aufwand der Umsetzung</b> hoch / niedrig	<b>weiteres Vorgehen</b> BA / MA / IN
Entkleiden	28	nein	–	–
Wassertemperatur	–	ja	hoch	BA
Sprühbild	–	ja	niedrig	IN
Wasserdurchflussmenge	–	ja	niedrig	IN
Zeit	6, 18, 32, 33	nein	–	–
Waschanleitung	6, 18, 29	ja	in Kombination mit Psyche, BA, MA	–
Umgebungstemperatur / Wetter	–	–	–	–
Chemische Zusätze	–	ja	hoch	BA, MA
Mechanik	18	ja	hoch	BA
Druck	–	ja	niedrig	IN
Kommunikation / Psyche	6, 21	ja	in Kombination mit Waschanleitung, BA, MA	–

**Tab. 5.2:** Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse bezüglich der bisher untersuchten Einflussfaktoren und der Ableitung von Maßnahmen zur Verbesserung der Feindkontamination (BA = Bachelorarbeit, MA = Masterarbeit, IN = interne Untersuchung).

<b>Einflussfaktor</b>	<b>vorhandene Untersuchung Literaturquelle(n)</b>	<b>Verbesserungs- potenzial ja / nein</b>	<b>Aufwand der Umsetzung hoch / niedrig</b>	<b>weiteres Vorgehen BA / MA / IN</b>
Entkleiden	28	nein	–	–
Wassertemperatur	2, 4	nein	–	–
Sprühbild	–	ja	hoch	BA
Wasserdurchflussmenge	–	ja	hoch	BA
Zeit	2	nein	–	–
Waschanleitung	6	ja	in Kombination mit Psyche, BA, MA	
Chemische Zusätze	4, 19	ja	hoch	BA,MA
Mechanik	–	ja	hoch	BA
Druck	27	nein	–	–
Kommunikation / Psyche	–	ja	in Kombination mit Waschanleitung, BA, MA	

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Bedingt durch die Nähe von industriellen Chemieanlagen zu Wohn- und Bürogebäuden, die hohe Anzahl an Gefahrguttransporten sowie durch Massenergebnisse wie beispielsweise Fußballspiele ist es durchaus möglich, dass eine Vielzahl von Personen bei Unfällen oder absichtlichen Freisetzungen von Gefahrstoffen betroffen sind und dekontaminiert werden müssen.

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel verfolgt, Einflussfaktoren auf die Effektivität des Dekontaminationsprozesses zu ermitteln und näher zu charakterisieren. Dabei lag der Fokus der Betrachtung auf der Sofortdekon und der Dekontamination von einer Vielzahl von Betroffenen. Zudem fand eine Betrachtung der Feindekon statt, wobei Unterschiede zur Sofortdekon herausgearbeitet wurden.

Im ersten Schritt wurden insgesamt elf Einflussfaktoren identifiziert. Dies geschah auf Grundlage einer im Jahr 2017 durchgeführten Übung sowie durch eine weiterführende Literaturrecherche. Die einzelnen Faktoren konnten zunächst in verschiedene Gruppen (intern, extern) eingeteilt werden. Im Zuge der Arbeit wurden Wechselwirkungen der Faktoren untereinander erkannt und anschließend im Hinblick auf Variationsmöglichkeiten diskutiert. Dabei wurde ersichtlich, dass die wissenschaftliche Quellenlage bei der Feindekon sehr dünn ist, wodurch zukünftig Anstrengungen unternommen werden sollten, um die Effektivität dieses Teilprozesses zu steigern.

Bei der Betrachtung der Einflussfaktoren stellte sich heraus, dass einige der identifizierten Faktoren, wie beispielsweise die Wasser- oder Umgebungstemperatur, kaum zu beeinflussen sind. Hingegen lässt sich auf andere Faktoren in unterschiedlichster Weise Einfluss nehmen, um potenziell eine Effektivitätssteigerung sowohl der Sofort- als auch der Feindekon zu erreichen. Besonderes Augenmerk sollte hierbei, wie in der Diskussion dargelegt, für folgende Untersuchungen gelten:

1. Die Mechanik der Reinigung und die Verwendung von Waschutensilien
2. Die Verwendung von chemischen Zusätzen
3. Die Entwicklung einer Waschanleitung

### 4. Untersuchungen der Wasserdurchflussmenge

Insgesamt konnte in dieser Arbeit eine Vielzahl von Einflussfaktoren auf den Dekontaminationsprozess festgestellt werden. Des Weiteren wurde ein Überblick über den aktuellen Forschungsstand dieser Faktoren gegeben. Somit wurde eine theoretische Grundlage für weitergehende Untersuchungen zur Effizienzsteigerung der Dekontamination geschaffen. In diesem Zusammenhang ist allerdings zu berücksichtigen, dass Einflussfaktoren gegenseitige Wechselwirkungen aufweisen können. Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich dadurch, dass ein Experteninterview durchgeführt werden kann, um die Faktoren in eine Rangliste bezüglich des größten Einflusses zu bringen, sodass auch eine Abschätzung für die Feindekon möglich ist. Nachdem weitere Untersuchungen zu den genannten empfehlenswerten Punkten abgeschlossen sind, sollte erneut eine Übung wie im Rahmen von ChemRad erarbeitet und durchgeführt werden, um das Zusammenspiel der neuen Erkenntnisse zu prüfen.

# Literaturverzeichnis

1. Statistisches Bundesamt. Gefahrguttransporte: Ergebnisse der Gefahrgutschätzung: Fachserie 8 Reihe 1.4. Wiesbaden, 2016. URL: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Publikationen/Downloads-Querschnitt/gefahrguttransporte-2080140167004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Publikationen/Downloads-Querschnitt/gefahrguttransporte-2080140167004.pdf?__blob=publicationFile) (besucht am 30.01.2020).
2. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. Rahmenkonzept zur Dekontamination verletzter Personen der Bund-Länder-Arbeitsgruppe. 2006. URL: [http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/GesBevS/Rahmenkonzept\\_DekonV.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/GesBevS/Rahmenkonzept_DekonV.pdf?__blob=publicationFile) (besucht am 31.01.2020).
3. Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung. Feuerwehr-Dienstvorschrift 500. Einheiten im ABC-Einsatz. 2004.
4. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. vfdb-Richtlinie 10/04. Dekontamination bei Einsätzen mit ABC-Gefahren. 2014.
5. HAZARD Project. HAZARD. 2019. URL: <https://blogit.utu.fi/hazard/hazard/> (besucht am 04.02.2020).
6. Hartart F und Schütte M. Evaluationsbericht zur Übung ChemRad 2017 der Feuerwehr Hamburg am 13. Mai 2017. Hamburg, 2017.
7. Boos J, Grabowski A und Kühlar A. Massendekontamination: Wirksam oder nur zur Beruhigung? BRANDSchutz 2008;1:46–8.
8. Feuerwehr Hamburg. Jahresbericht 2018. Hamburg, 2019. URL: <https://www.hamburg.de/contentblob/12674196/9bc8836efeb9830b6ad5e0ea0403a3e6/data/jahresbericht-2018.pdf> (besucht am 24.02.2020).
9. Feuerwehr Hamburg. Einsatzkonzepte zur Dekontamination von Personen bei unterschiedlichen Gefahrenlagen durch atomare, biologische und chemische Stoffe, unter Berücksichtigung unterschiedlicher Szenariogrößen in Abhängigkeit der vorhandenen Ressourcen: Internes Dokument. Hamburg, 2008.

10. Verein Deutscher Ingenieure. Entwicklung technischer Produkte und Systeme: Modell der Produktentwicklung. Berlin, 2019.
11. Verein Deutscher Ingenieure. Entwicklung technischer Produkte und Systeme: Gestaltung individueller Produktentwicklungsprozesse. Berlin, 2019.
12. Verein Deutscher Ingenieure. Konstruktionsmethodik: Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Berlin, 1997.
13. Verein Deutscher Ingenieure. Konstruktionsmethodik: Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen. Berlin, 1982.
14. Verein Deutscher Ingenieure. Methodisches Entwerfen technischer Produkte. Berlin, 2004.
15. Becker J, Kugeler M und Rosemann M, Hrsg. Prozessmanagement: Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. Siebte, korrigierte und erweiterte Auflage. Berlin und Heidelberg: Springer Gabler, 2012.
16. Alpina Technologie GmbH. Hamburg Force C-Storz. 2019. URL: <https://www.alpina-technologie.de/produkte/hamburg-force-c-storz-hohlstrahlrohre/> (besucht am 21.03.2020).
17. Cibulsky SM, Kirk MA, Ignacio JS, Leary AD und Schwartz MD. Patient Decontamination in a Mass Chemical Exposure Incident: National Planning Guidance for Communities. 2014. URL: [https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/Patient%20Decon%20National%20Planning%20Guidance\\_Final\\_December%202014.pdf](https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/Patient%20Decon%20National%20Planning%20Guidance_Final_December%202014.pdf) (besucht am 24.03.2020).
18. Amlot R, Larner J, Matar H, Jones DR, Carter H, Turner EA, Price SC und Chilcott RP. Comparative analysis of showering protocols for mass-casualty decontamination. *Prehospital and disaster medicine* 2010;25:435–9.
19. Wagner W. Bevölkerungsschutz und medizinische Notfallversorgung. 1. Aufl. Bd. / Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe; Deutsche Gesellschaft für KatastrophenMedizin ; Bd. 1. Notfall- und KatastrophenPharmazie. Bonn, 2009.
20. Zhu H und Maibach HI. Skin Decontamination. Cham: Springer International Publishing, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-24009-7.
21. Currie J und Heslop DJ. Operational systems evaluation of a large scale multi-agency decontamination exercise. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 2018;31:1054–61.

22. Chilcott RP, Larner J, Durrant A, Hughes P, Mahalingam D, Rivers S, Thomas E, Amer N, Barrett M, Matar H, Pinhal A, Jackson T, McCarthy-Barnett K und Reppucci J. Evaluation of US Federal Guidelines (Primary Response Incident Scene Management [PRISM]) for Mass Decontamination of Casualties During the Initial Operational Response to a Chemical Incident. *Annals of emergency medicine* 2019;73:671–84.
23. Lake W, Divarco S, Schulze P und Gougelet R. Guidelines for Mass Casualty Decontamination During an HAZMAT/Weapon of Mass Destruction Incident: Volumes I and II. 2013. URL: <https://www.hsdl.org/?view&did=745138> (besucht am 16.04.2020).
24. Department for Communities and Local Government. Fire and Rescue Service operational guidance incidents involving hazardous materials. London: The Stationery Office, 2012. URL: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/15020/GRA\\_Hazmatt\\_Manual\\_COMBINED.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/15020/GRA_Hazmatt_Manual_COMBINED.pdf) (besucht am 28.04.2020).
25. Home Office. Initial operational response to a CBRN incident. 2015. URL: [https://www.jesip.org.uk/uploads/media/pdf/CBRN%20JOPs/IOR\\_Guidance\\_V2\\_July\\_2015.pdf](https://www.jesip.org.uk/uploads/media/pdf/CBRN%20JOPs/IOR_Guidance_V2_July_2015.pdf) (besucht am 28.04.2020).
26. Power S, Symons C, Carter H, Jones E, Amlôt R, Larner J, Matar H und Chilcott RP. Mass Casualty Decontamination in the United States: An Online Survey of Current Practice. *Health security* 2016;14:226–36.
27. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. Gerätewagen Dekontamination Personal (GW Dekon P). Begleitheft. 2017. URL: [https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/III-5\\_Download/III5\\_Fahrzeuge\\_Ausstg/III6\\_Begleitheft/III5\\_Beladeplan\\_GWDekonP\\_7090\\_11.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/III-5_Download/III5_Fahrzeuge_Ausstg/III6_Begleitheft/III5_Beladeplan_GWDekonP_7090_11.pdf?__blob=publicationFile) (besucht am 04.05.2020).
28. Chilcott RP. Managing mass casualties and decontamination. *Environment international* 2014;72:37–45.
29. Wiedemann M. Vergleichsstudie zur Wirksamkeitsuntersuchung der Massendecontamination. Bachelorarbeit. Hamburg: Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 2019.

30. Sudhoff P. Experimentelle Untersuchung und Optimierung der Dekontamination von Verletzten bei einer C(B)RN-Gefahrenlage durch Organisationen der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr. Bachelorarbeit. Magdeburg: Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und Hochschule Magdeburg-Stendal, 2016.
31. Bauer J. Trinkwasser Temperatur - was ist normal? 2020. URL: <https://www.hausjournal.net/trinkwasser-temperatur> (besucht am 25.04.2020).
32. Larner J, Jones DR, Price SC und Chilcott RP. Modified static diffusion cells for decontamination modelling. *Toxicology* 2010;278:351–2.
33. Moffett PM, Baker BL, Kang CS und Johnson MS. Evaluation of time required for water-only decontamination of an oil-based agent. *Military medicine* 2010;175:185–7.
34. Misik J, Pavlik M, Novotny L, Pavlikova R, Chilcott RP, Cabal J und Kuca K. In vivo decontamination of the nerve agent VX using the domestic swine model. *Clinical toxicology* 2012;50:807–11.

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich einigen Personen danken, die maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Zunächst gebührt ein großer Dank meiner Familie und insbesondere meinen Eltern für ihren Rückhalt und die kontinuierliche Unterstützung, wodurch das Studium erst ermöglicht wurde.

Ebenso bedanke ich mich bei meinem Erstgutachter, Herrn Prof. Dr. Thomas Schiemann, für seine hervorragende Lehre und die Begleitung dieser Bachelorarbeit.

Ein besonderer Dank geht an meinen Zweitgutachter, Herrn Frederik Kötke. Durch sein hohes Fachwissen, sein exzellentes Feedback und die ausgezeichnete Zusammenarbeit hatte er entscheidenden Einfluss auf diese Arbeit.

Weiterhin möchte ich mich bei der Abteilung F02 der Feuerwehr Hamburg für das kollegiale Miteinander und die äußerst angenehme Arbeitsatmosphäre bedanken.

Schließlich danke ich ganz besonders meiner Frau Rebecca für die Ermunterung zum Studium und damit zu einem neuen Lebensabschnitt. Auf ihre Unterstützung konnte ich in den vergangenen dreieinhalb Jahren immer zählen. Sie hat mich auch in schweren Zeiten stets aufgefangen und gestärkt, wofür ich ihr unendlich dankbar bin.