

Störfallvorsorge bei Betrieben mit hochaktiven Stoffen

Ein Modul des Handbuchs zur Störfallverordnung



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Störfallvorsorge bei Betrieben mit hochaktiven Stoffen

Ein Modul des Handbuchs zur Störfallverordnung

Impressum

Rechtlicher Stellenwert

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BAFU veröffentlicht solche Vollzugshilfen (bisher oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u. ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Umwelt-Vollzug».

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autor

Prof. Dr. Peter Bützer, Meteotest

Begleitung BAFU

Michael Hösli (BAFU, Vorsitz)

Dr. Martin Merkofer (BAFU)

Dr. Hans Bossler (KCB, Basel Stadt)

Christophe Dirren (Service de protection des travailleurs, Wallis)

Dr. Raymond Dumont (AVS, Aargau)

Dr. Felix Hoch (Novartis)

Dr. Markus Hofmann (BAG)

Dr. Marcia Perrin (Novartis)

Gregor Pfister (Sicherheitsinspektorat, Basel Land)

Davide Scerpella (Ufficio della gestione dei rischi ambientali e del suolo, Tessin)

Dr. Claude Schlienger (Roche)

Dr. Theodor Schröder (Lonza)

Dr. Walter Spieler (Roche)

Dr. Sandra Thöni (Bachem)

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2017: Störfallvorsorge bei Betrieben mit hochaktiven Stoffen. Ein Modul des Handbuchs zur Störfallverordnung. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1705: 50 S.

Layout

Cavetti AG, medien. digital und gedruckt, Gossau

Titelbild

fotolia/Kadmy

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uv-1705-d

(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar. Die Originalversion ist Deutsch.

© BAFU 2017

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	7
Vorwort	9
Einleitung	10
1 Geltungsbereich gemäss Störfallverordnung (StFV)	13
2 Sicherheitsmassnahmen beim Umgang mit hochaktiven Stoffen (HAS) gemäss Art. 3 StFV	18
3 Ausmass-Einschätzung für den Kurzbericht	20
3.1 Bestimmung der relevanten Störfallszenarien	22
3.2 Störfall-Beurteilungswert TEEL-2	25
3.3 Bestimmung des Schadensausmasses mittels des Kurzzeit-Modells «Simulation of Effects caused by Incidents with HAS (SEIHAS)»	26
3.3.1 Umrechnung der Kriterien (OEL, ED50, CMR) für HAS	26
3.3.2 Abschätzung der Anzahl verletzter Personen	27
Anhang	35
Verzeichnisse	44
Glossar	44
Literatur	48

Abstracts

This publication explains the procedure for evaluating the scope of application of the Major Accidents Ordinance (MAO) and for estimating the extent of possible harm or damage for the summary report. Basic principles for compliance with the general safety measures specified in Art. 3 MAO are also presented. This implementation guide provides support for the owners of installations that work with highly-active substances in the application of the specific requirements of the MAO and for the enforcement authorities in the implementation of the monitoring and evaluation procedure in accordance with the MAO.

Keywords

highly-active substances, scope in accordance with the MAO, estimation of extent of possible harm or damage, safety measures

Die vorliegende Publikation erläutert das Vorgehen zur Prüfung des Geltungsbereichs gemäss Störfallverordnung (StFV) und zur Ausmasseinschätzung auf Stufe Kurzbericht. Zudem werden Grundsätze zum Treffen von Sicherheitsmassnahmen gemäss Art. 3 StFV aufgezeigt. Diese Vollzugshilfe hilft somit den Inhabern von Betrieben mit hochaktiven Stoffen bei der Umsetzung der spezifischen Anforderungen aus der StFV und den Vollzugsbehörden bei der Durchführung des Kontroll- und Beurteilungsverfahrens gemäss StFV.

Stichwörter

Hochaktive Stoffe, Geltungsbereich gemäss StFV, Ausmasseinschätzung, Sicherheitsmassnahmen

La presente pubblicazione illustra come verificare il campo d'applicazione secondo l'ordinanza sulla protezione contro gli incidenti rilevanti (OPIR) e come effettuare la stima dell'entità dei danni a livello di rapporto breve. Inoltre, indica le misure di sicurezza da adottare secondo l'articolo 3 OPIR. In tal modo, il presente aiuto all'esecuzione supporta i detentori delle aziende con sostanze ad alta attività nell'attuazione delle esigenze specifiche dell'OPIR e le autorità esecutive nello svolgimento della procedura di controllo e di valutazione secondo l'OPIR.

Parole chiave

sostanze ad alta attività, campo d'applicazione secondo l'OPIR, stima dell'entità dei danni, misure di sicurezza

La présente publication explique la démarche à suivre pour vérifier si l'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM) est applicable et pour évaluer l'ampleur des dommages potentiels à l'étape du rapport succinct. Elle fournit également les grands principes pour définir les mesures de sécurité à prendre conformément à l'art. 3 OPAM. Cette aide à l'exécution se veut donc un outil à l'intention des détenteurs d'entreprises travaillant avec des substances de haute activité, qui doivent se conformer aux exigences spécifiques de l'OPAM, et une aide pour les autorités d'exécution afin qu'elles puissent mener à bien la procédure de contrôle et d'évaluation prescrite par cette ordonnance.

Mots-clés

substances de haute activité, champ d'application selon l'OPAM, évaluation de l'ampleur des dommages, mesures de sécurité

Vorwort

Ziel der Störfallverordnung (StFV) ist es, die Bevölkerung und die Umwelt vor schweren Schädigungen infolge von Störfällen zu schützen. Im Geltungsbereich der Störfallverordnung finden sich Betriebe mit ganz unterschiedlichen Gefahrenpotentialen wie z. B. Lager von Ammoniumnitrat-Düngern, Ammoniak-Kälteanlagen und Flüssiggastanks. Seit dem 1. Juni 2015 fallen neu auch Betriebe in den Geltungsbereich der StFV, welche mit hochaktiven Stoffen (HAS) über der Mengenschwelle von 20 kg umgehen. In der Pharma- und Agroindustrie gewinnen biologisch hochaktive Wirkstoffe zunehmend an Bedeutung. Basierend auf einer gemeinsamen Analyse haben Industrie und Behörden festgestellt, dass eine Regelung dieser Stoffe in der Störfallverordnung angebracht ist. Durch den Vollzug der StFV soll ein vergleichbares Sicherheitsniveau auch bei allen in diesem Bereich tätigen Firmen angestrebt werden.

Die Störfallverordnung war bis anhin auf akute Gefährdungen für Mensch und Umwelt durch chemische Stoffe, Zubereitungen oder Sonderabfälle fokussiert. Im Bereich der HAS hat die laufende Entwicklung gezeigt, dass dies eine zu enge Sichtweise ist. Bei HAS stehen oft nicht akute Wirkungen im Vordergrund, sondern solche, welche langfristig gesehen irreversible, schwerwiegende und langanhaltende Schädigungen hervorrufen. Im Fall von kanzerogenen, mutagenen oder reproduktionstoxischen Stoffen treten die Wirkungen erst nach einer gewissen Latenzzeit ein. Mit der Aufnahme der HAS werden nun erstmalig auch solche verzögerten Wirkungen bei der Ausmassabschätzung gemäss StFV betrachtet. Um den Vollzug in diesem neuen Bereich der Störfallvorsorge zu harmonisieren, hat das BAFU auf Wunsch und unter Einbezug der kantonalen Störfallvollzugsfachstellen und der Industrie die vorliegende Vollzugshilfe erarbeitet.

Das Beispiel der HAS zeigt, dass die Störfallvorsorge eine wichtige Daueraufgabe darstellt, welche für unsere hoch industrialisierte Gesellschaft als Grundlage dient, um wichtige technologische Entwicklungen sinnvoll zu nutzen und gleichzeitig ein hohes Sicherheitsniveau für Menschen und Umwelt zu gewährleisten.

Josef Hess, Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Einleitung

Das Handbuch zur Störfallverordnung ist eine vollintegrierte, modular aufgebaute Vollzugshilfe des BAFU. Es unterstützt die Inhaber unterstellter Anlagen sowie die Vollzugsbehörden bei der rechtskonformen Umsetzung der Verordnung. Das Dach aller Module bildet der «Allgemeine Teil», der jene Bestimmungen der Verordnung erläutert, die für alle unterstellten Anlagen gelten. Für anlagenspezifische Aspekte verweist der allgemeine Teil auf die Module für den entsprechenden Anlagentyp.

*Aufbau des
Handbuchs zur
Störfallverordnung*

Das anlagenspezifische Modul «Störfallvorsorge bei Betrieben mit hochaktiven Stoffen» ist eine Konkretisierung des Allgemeinen Teils und geht spezifisch auf Betriebe mit hochaktiven Stoffen ein. Es ist somit auch als Ergänzung zum Modul «Betriebe mit chemischem Gefahrenpotenzial» zu verstehen. Es bildet also keinen eigenständigen Text, sondern ist zusammen mit dem allgemeinen Teil und dem Modul «Betriebe mit chemischem Gefahrenpotenzial» zu konsultieren. Eine Übersicht über die vorhandenen Module mit der Möglichkeit zum Download bietet die Webseite des BAFU (Vollzugshilfen¹).

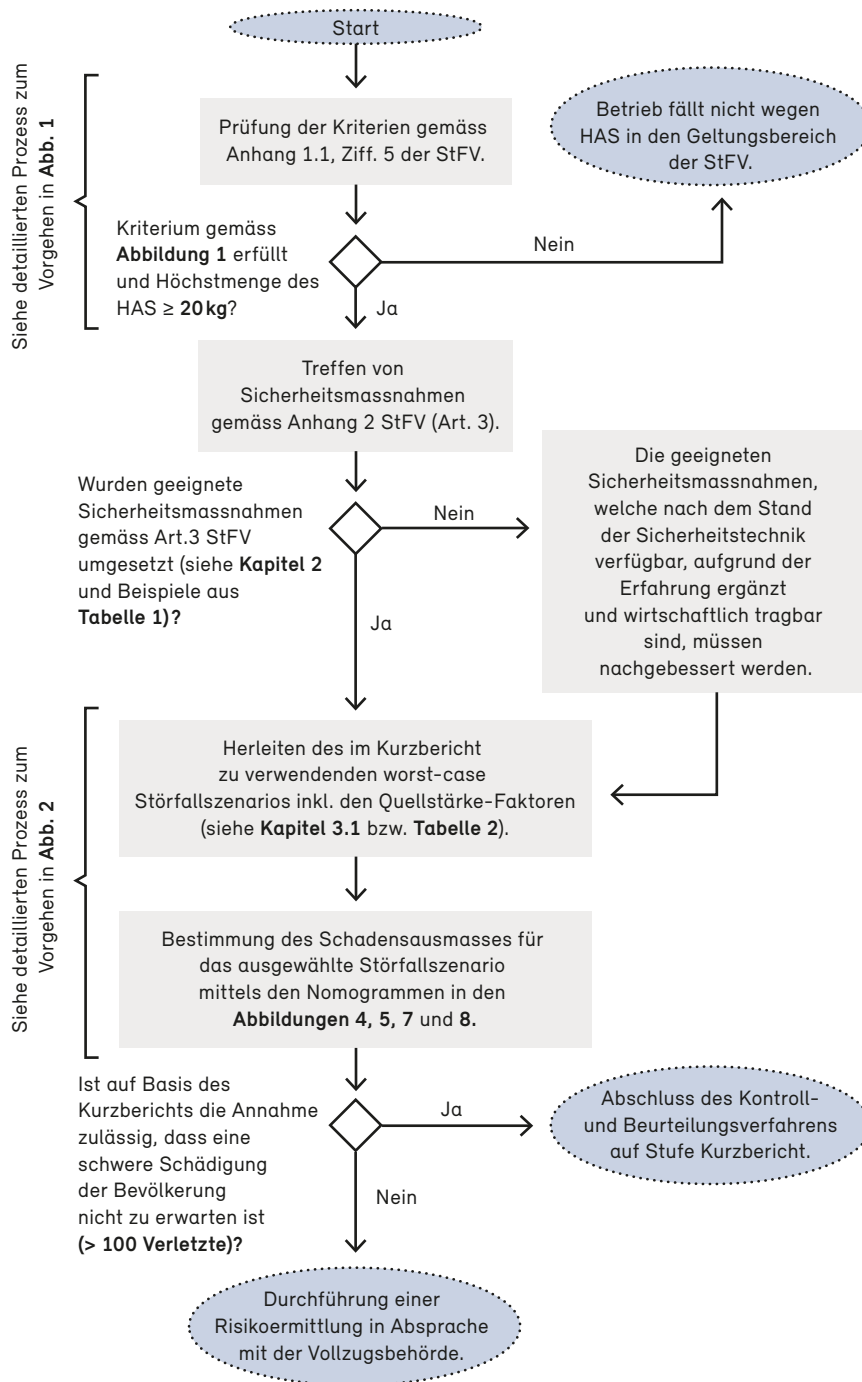
*Modul «Stör-
fallvorsorge bei
Betrieben mit
hochaktiven
Stoffen»*

Das vorliegende Modul zum Handbuch zur Störfallverordnung liefert die notwendigen Instrumente, damit die Inhaber einen Kurzbericht gemäss Art. 5 StFV verfassen und die Vollzugsstellen die Notwendigkeit einer Risikoermittlung gemäss Art. 7 StFV beurteilen können. Es beinhaltet in diesem Sinne die notwendigen Informationen, um die Kriterien zur Bestimmung der Mengenschwellen gemäss Anhang 1.1, Ziffer 5 der StFV korrekt anzuwenden. Im Weiteren werden Grundsätze und Ideen zur Festlegung und Umsetzung von allgemeinen Sicherheitsmassnahmen aufgezeigt. Das Kernstück dieser Vollzugshilfe bildet jedoch eine «Tool-Box», mit deren Hilfe die relevanten, d. h. die realistischerweise zu erwartenden schlimmstmöglichen Störfallszenarien für unterschiedlichste Betriebsbereiche (z. B. Lager oder Produktion) hergeleitet werden können. Die Schadensausmasse dieser Szenarien, für den Indikator verletzte Personen, können auf Basis von Ausbreitungs- und Wirkungsabschätzungen mittels des Modells «Simulation of Effects caused by Incidents with HAS (SEIHAS)» ermittelt werden, welches als Grundlage dieser Vollzugshilfe verwendet wird.

Inhalt

Im Flussdiagramm auf der nächsten Seite wird der Einsatz der oben erwähnten Instrumente im Rahmen des Kontroll- und Beurteilungsverfahrens gemäss StFV dargestellt:

¹ www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/stoerfallvorsorge/stoerfaelle--vollzugshilfen.html
(abgerufen am 30. Juni 2017)



Zur vereinfachten Anwendung der Vollzugshilfe steht auf der Homepage des BAFU eine **Excel-basierte Applikation** zur Verfügung, welche eine automatisierte Ausmassabschätzung ermöglicht (https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/stoerfallvorsorge/uv-umwelt-vollzug/Ausmasseinsch%C3%A4tzung_bei_Betrieben_m_hochaktiven_Stoffen.xlsx.download.xlsx/ausmassabschaetzung-HAS-StfV.xlsx).

Um das Ausmass der möglichen Schädigung der Bevölkerung einzuschätzen, wird der Schadenindikator Verletzte eingesetzt. Mehr als 100 Verletzte entsprechen einer schweren Schädigung im Sinne der StfV.

Schadenindikatoren zur Beurteilung von HAS auf Stufe Kurzbericht

Störfallrelevante Effekte auf die Umwelt (z. B. Schadenindikatoren Boden, Grund- oder Oberflächengewässer), welche zu schweren Schädigungen führen, sind umgebungs- und substanzspezifisch zu berücksichtigen. Zur Einschätzung des Ausmasses wird aber meist der Schadenindikator Verletzte zum Tragen kommen. Deshalb wird in dieser Vollzugshilfe auf die Ausmassabschätzung für die Umweltindikatoren nicht weiter eingegangen.

Personen am Arbeitsplatz sind zur Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten durch geeignete Massnahmen zu schützen. Ein wichtiges Element ist hierbei das Festlegen von maximal zulässigen Arbeitsplatzkonzentrationen. Die maximal zulässige Arbeitsplatzkonzentration lässt einen direkten Rückschluss auf die dem Stoff innewohnende Gefahr für die Gesundheit des Menschen zu. Da es für HAS meist weder offiziell festgelegte Grenzwerte des Arbeitnehmerschutzes noch der Beurteilung von Störfällen gibt, kommt der Eigenverantwortung des Inhabers beim Festlegen dieser Grenzwerte eine grosse Bedeutung zu. Diese Vollzugshilfe zeigt auf, wie aus den eigenverantwortlich festgelegten Grenzwerten des Arbeitnehmerschutzes die Werte zur Beurteilung von Störfällen abgeschätzt werden können. Diese sind für die Ausmassabschätzung mittels SEIHAS von zentraler Bedeutung. Sie werden mit einer einfachen Umrechnung aus den maximal zulässigen Arbeitsplatzkonzentrationen basierend auf dem Grundsatz abgeschätzt:

Grundlagen zur Ausmassabschätzung

Die Bevölkerung in der Umgebung von Betrieben mit hochaktiven Stoffen wird bezüglich ihres Risikos in angemessener Weise vergleichbar beurteilt wie die Personen am Arbeitsplatz, die mit diesen Stoffen, Zubereitungen oder Sonderabfällen umgehen.

In Risikoermittlungen können die Schadensausmasse für den Indikator «Verletzte» ebenfalls auf Basis der Ausbreitungs- und Wirkungsabschätzungen hergeleitet werden, die in dieser Vollzugshilfe enthalten sind.

Ausbreitungs- und Wirkungsabschätzung in Risikoermittlungen

1 Geltungsbereich gemäss Störfallverordnung (StFV)

Mit den Ausführungen in diesem Kapitel kann der Inhaber von Anlagen, in welchen mit hochaktiven Stoffen umgegangen wird, abklären, ob sein Betrieb in den Geltungsbereich der Störfallverordnung (StFV) fällt. Zentrale Voraussetzung für die Ermittlung der Mengenschwelle ist, dass die Gefahreneigenschaften für die hochaktiven Stoffe (Roh- und Hilfsstoffe, Zwischen-, End-, Nebenprodukte und Sonderabfälle²) mittels geeigneten Mitteln abgeschätzt³ werden. Die Klasse der hochaktiven Stoffe wird ausschliesslich durch deren Wirkung bestimmt.

Kriterien zur Identifikation von HAS nach StFV

Nachfolgend sind die Kriterien zur Identifikation von hochaktiven Stoffen (HAS) gemäss Anhang 1.1, Ziffer 5 der Störfallverordnung [1] aufgeführt.

Tabelle 1

a. Inhalations-Arbeitsplatzgrenzwerte in der Luft ⁵	< 10 µg/m ³
b. Effekt-Dosis (ED50) ⁶	≤ 10 mg
c. CMR-Stoffe mit Störfallpotential ⁷	Kategorie 1A und 1B ⁸

Kriterien zur Ermittlung der Mengenschwelle gemäss Anhang 1, Tabelle 5 StFV

2 Bei Abfällen mit HAS ist seitens des Abgebers sicherzustellen, dass die relevanten Stoffinformationen z. Hd. der Entsorgungsunternehmen bzw. Dritter im Entsorgungsprozess weitergeleitet werden (z. B. Stoffeigenschaften etc.). Bei HAS werden in der Regel Stoffinformationen zusätzlich zur üblichen Deklaration gemäss Abfallrecht notwendig sein. Dies ermöglicht dem Entsorger, seinen Pflichten im Rahmen des Vollzugs der StFV nachzukommen.

3 Zur Bestimmung der Gefahreneigenschaften können z. B. Methoden wie Quantitative Structure Activity Relationship (QSAR) oder Mustervergleiche eingesetzt werden.

4 Für die Bestimmung der Mengenschwellen für die heterogene Gruppe von hochaktiven Stoffen (HAS) können die auf dem GHS basierenden Kriterien des Anhangs 1.1, Ziffer 4 der StFV, nicht angewendet werden, da sie die Gefahreneigenschaften der hochaktiven Stoffe nicht berücksichtigen. Das BAFU hat deshalb mit Vertretern der Kantone und der Industrie Kriterien zur Bestimmung von HAS auf Basis von Industriestandards hergeleitet.

5 OEL, MAK, TLV, IOEL, etc.

6 Entspricht einer Effekt-Dosis ED50 von 0,17 mg/kg bei einem Körpergewicht von 60 kg. Die Effekt-Dosis bezieht sich auf den schlimmsten Effekt des Stoffes/der Zubereitung gemäss Selbstbeurteilung des Inhabers.

7 CMR-Stoffe der Kat. 1A und 1B gemäss GHS, welche bei einer störfallbedingten Einmalexposition einen bleibenden Gesundheitsschaden auslösen können.

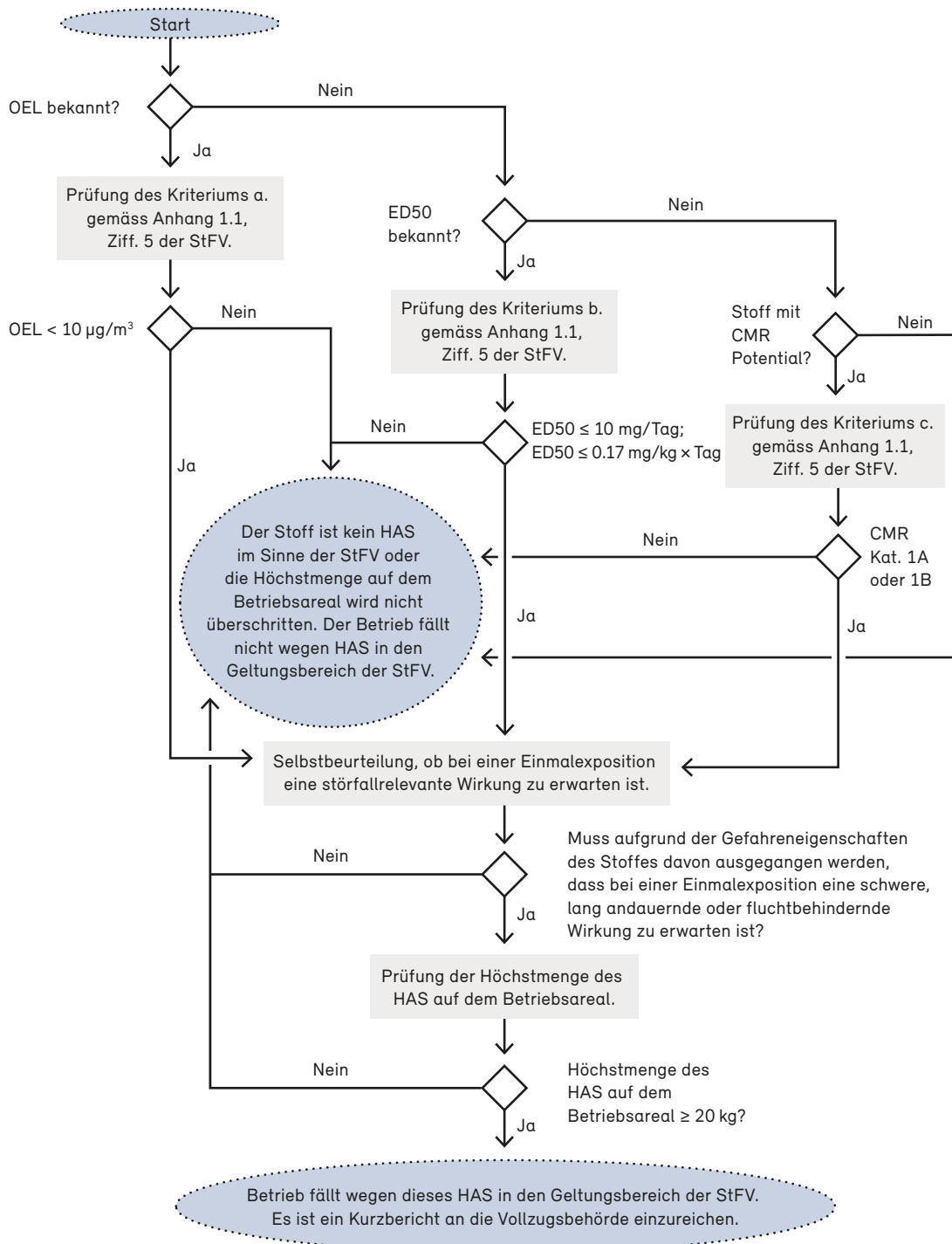
8 Seit 2015 ist die gültige Einstufung gemäss GHS Kategorie 1A und 1B. Dies wird in der nächsten Revision der Störfallverordnung berücksichtigt.

Die Reihenfolge der Kriterien (Buchstaben a–c) drückt eine Priorisierung aus, d. h. falls ein Wert gemäss Kriterium a vorliegt, spielen die Kriterien b und c keine Rolle mehr. Erfüllt ein Stoff, eine Zubereitung oder ein Sonderabfall diese Vorgabe, so gilt für diesen/diese eine Mengenschwelle nach StFV von 20 kg. Die Anwendung der Kriterien gemäss Anhang 1.1, Ziffer 5 StFV, mit dem Schema von Abbildung 1, bildet somit die Grundlage zur Überprüfung, ob ein Betrieb, welcher eine Höchstmenge von 20 kg eines fraglichen Stoffes, einer Zubereitung oder eines Sonderabfalls überschreitet, wegen dieses Stoffes der Störfallverordnung untersteht.

Abbildung 1

Entscheidungsschema für die Unterstellung eines Betriebs unter die StFV.

Die Kriterien gelten für alle Aggregatzustände eines HAS in Form von Roh- und Hilfsstoffen, Zwischen-, End-, Nebenprodukten und Abfällen.



Zur Prüfung einer Überschreitung der Mengenschwelle werden alle auf dem Betriebsareal vorhandenen Teilmengen eines HAS zusammengezählt. Unterschiedliche HAS werden zur Bestimmung der Höchstmenge nicht addiert.

*Bestimmung der
Höchstmenge*

Gemäss Anhang 1.1, Ziffer 5 StFV, hat der Inhaber aufgrund einer Selbstbeurteilung abzuschätzen, ob vom Stoff oder der Zubereitung bei einer Einmalexposition eine störfallrelevante Wirkung ausgeht.

*Störfallrelevante
Wirkung*

Von einer störfallrelevanten Wirkung bei HAS wird gesprochen, wenn bei einer durch einen Störfall verursachten kurzzeitigen Exposition (bis maximal eine Stunde) die Dosis überschritten wird, welche zu einer schweren, lang andauernden oder fluchtbehindernden Wirkung führt. Bei CMR-Stoffen heisst das, dass ein signifikant erhöhtes Krebsrisiko erwartet werden muss (excess cancer risk > 1:10 000)⁹. Falls keine gut begründeten stoffspezifischen Kriterien dagegen sprechen ist davon auszugehen, dass bei einer störfallbedingten Freisetzung von HAS, welche dazu führt, dass die Bevölkerung Dosen in der Grössenordnung des «Temporary Emergency Exposure Limits (TEEL) ab TEEL-2 für eine Stunde» [2] ausgesetzt ist, von einer störfallrelevanten Wirkung gesprochen werden muss (vergl. Kapitel 3.1 und 3.2).

Beispiel für die Anwendung der Vollzugshilfe – Basisannahmen

Ein Betrieb arbeitet mit einem 3000-Liter-Reaktor, der ca. 200 kg in einem Lösungsmittel gelösten Stoff XX mit einem Arbeitsplatz-Konzentrationsgrenzwert bzw. Occupational Exposure Limit (OEL) $\leq 0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ produziert.

⁹ Ein erhöhtes Krebsrisiko von 1:10 000 als Beurteilungsgrösse bei einer störfallbedingten Einmalexposition wird u.a. von folgenden Institutionen verwendet; Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Health and Safety Executive, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, U.S. Army Public Health Command, European Commission «Rapid Exchange of Information System».

Beispiel, Schritt 1:**Untersteht der Betrieb dem Geltungsbereich der StFV?**

1. Der OEL ist bekannt.
Ja, durch den Inhaber wurde ein OEL-Wert bestimmt.
2. Der OEL von XX ist $\leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
Ja, der OEL des Stoffs XX ist $\leq 0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und somit tiefer als die Grenze für die Einstufung als HAS von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
3. Störfallrelevante Wirkungen sind zu erwarten.
Die Wirkungen des Stoffs werden als störfallrelevant beurteilt, da keine gut begründeten Kriterien dagegen sprechen.
4. Die vorhandene Menge von XX ist $> 20 \text{ kg}$.
Ja, die Mengenschwelle von 20 kg ist mit den im Reaktor vorhandenen 200 kg klar überschritten.

Schlussfolgerung:

Der Betrieb untersteht somit der Störfallverordnung, und ein Kurzbericht muss an die Vollzugsbehörde eingereicht werden.

Nicht in den Geltungsbereich der Störfallverordnung fallen Betriebe, die mit HAS nur in Form von gebrauchsfertigen Produkten (Fertigprodukten) umgehen, die für den Eigengebrauch oder für die Abgabe an berufliche oder gewerbliche Verbraucher oder die breite Öffentlichkeit bestimmt sind. Es handelt sich dabei bspw. um Betriebe, welche HAS als gebrauchsfertige Pharmazeutika oder Pflanzenschutzmittel lagern und verkaufen. Der Grund dafür ist, dass ausgehend von HAS in Formulierungen, z. B. Tabletten als Einzeldosen in Blisterpackungen abgepackt oder als Bulk-Ware, in der Regel keine störfallrelevanten Wirkungen zu erwarten sind. Durch die Verpackung und/oder Formulierung werden die Möglichkeiten zur Freisetzung sowie zur Ausbreitung der HAS und somit die Auswirkungen auf Personen in der Umgebung stark verringert.

Fertigprodukte

2 Sicherheitsmassnahmen beim Umgang mit hochaktiven Stoffen (HAS) gemäss Art. 3 StFV

Die Auswirkungen eines Störfalls mit HAS auf Mensch und Umwelt können beachtlich sein. Auf den betroffenen Betrieb können bei einem Störfall erhebliche Kosten z.B. für Evakuations- und Dekontaminationsmassnahmen zukommen, und der Imageschaden wäre kaum bezifferbar. Aus diesen Gründen liegt es nahe, dass beim Umgang mit HAS den Themen Sicherheit, Umwelt- und Gesundheitsschutz ein hoher Stellenwert zukommt. Entsprechende Managementsysteme [3, 4, 5] bilden eine wichtige Basis für den sicheren Umgang mit HAS. Ein solches Managementsystem stellt sicher, dass die gemäss Art. 3 StFV geforderten Sicherheitsmassnahmen, die nach dem Stand der Sicherheitstechnik [6, 7, 8] verfügbar und aufgrund der Erfahrung ergänzt und wirtschaftlich tragbar sind, eigenverantwortlich und gezielt umgesetzt werden. Grundsätzlich sind die notwendigen Sicherheitsmassnahmen anhand eines im Managementsystem verankerten Prozesses, gegebenenfalls auch unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der Ausmasseneinschätzung gemäss Kapitel 3, im Einzelfall festzulegen. Das entsprechende Konzept und die daraus abgeleiteten Sicherheitsmassnahmen sind im Kurzbericht zu beschreiben. In Tabelle 1 werden mögliche Sicherheitsmassnahmen aufgezeigt, welche zur Verhinderung und zum Schutz vor Störfällen eingesetzt werden können.

Sicherheitsmassnahmen gemäss Art. 3 StFV

Bei Lagern mit HAS in Form von Feststoffen und ohne offenen Umschlag (z. B. Bemusterung), sind mindestens die Massnahmen 7, 8, 14 und 15 umzusetzen.

Tabelle 2

Mögliche Massnahmen zum sicheren Umgang mit HAS, die im Rahmen der Störfallprävention und -bewältigung zu berücksichtigen sind.

1	Containments («Barrieren-Prinzip»)
2	Druckkaskaden über Schleusen, hohe Raumlufwechselsrate
3	Arbeiten unter Unterdruck mit kontrolliertem Luftdruck, Containment-Tests, Filterüberwachung (z. B. Differenzialdruckmessung)
4	Möglichst geschlossene Systeme (z. B. Isolator, Glove-Box, Endlos-Liner-Systeme), kein offenes manuelles Handling
5	Sicherer Einschluss der Substanzen bei sämtlichen Prozessen (z. B. Reaktion, Transfer, Transport, Probenahme, Lagerung und Entsorgung). So sind z. B. geeignete Geräteübergänge, insbesondere staubarme Andocksysteme für den Transfer beim Ein- und Ausschleusen von Materialien und Stoffen, zu gewährleisten
6	Maschinenräume abgetrennt vom Herstellbereich
7	Brand- und Explosionsschutz (z. B. Brandabschnitte, Ex-sichere Ausführung, Sprinkler, Sprühflutanlagen, Inertisierung)
8	Löschwasserrückhaltung
9	Sicherheitseinrichtungen zum Rückhalt von Flüssigkeiten, Aerosolen und Gasen (z. B. HEPA-Filter/Abscheider/Wäscher/Blow-down-Tank)
10	Partikelfilter geschlossen und kontaminationsarm wechselbar
11	Überwachung kritischer technischer Funktionen und Parameter, inkl. Alarmierung und zeitnahe Auslösung von Massnahmen bei Ausfall und Abweichungen
12	Auf minimalen Reinigungsaufwand konzipierte Systeme, auch automatisierte Reinigungssysteme sowie Möglichkeiten zum chemischen Abbau der Stoffe
Organisatorische Massnahmen	
13	Periodische Überprüfung der Arbeitsabläufe mittels arbeitshygienischer Messungen und Prozessaudits
14	Überwachung, Alarmierung und Analytik bei einer Freisetzung sowie, Absperrungen (Abschätzung der Ausbreitung und Wirkungen von HAS auf die Umgebung) und Dekontaminationsmassnahmen
15	Dokumentation und Notfallpläne für Umgebung, Einsatzkräfte, Ärzte und Spitäler

3 Ausmass-Einschätzung für den Kurzbericht

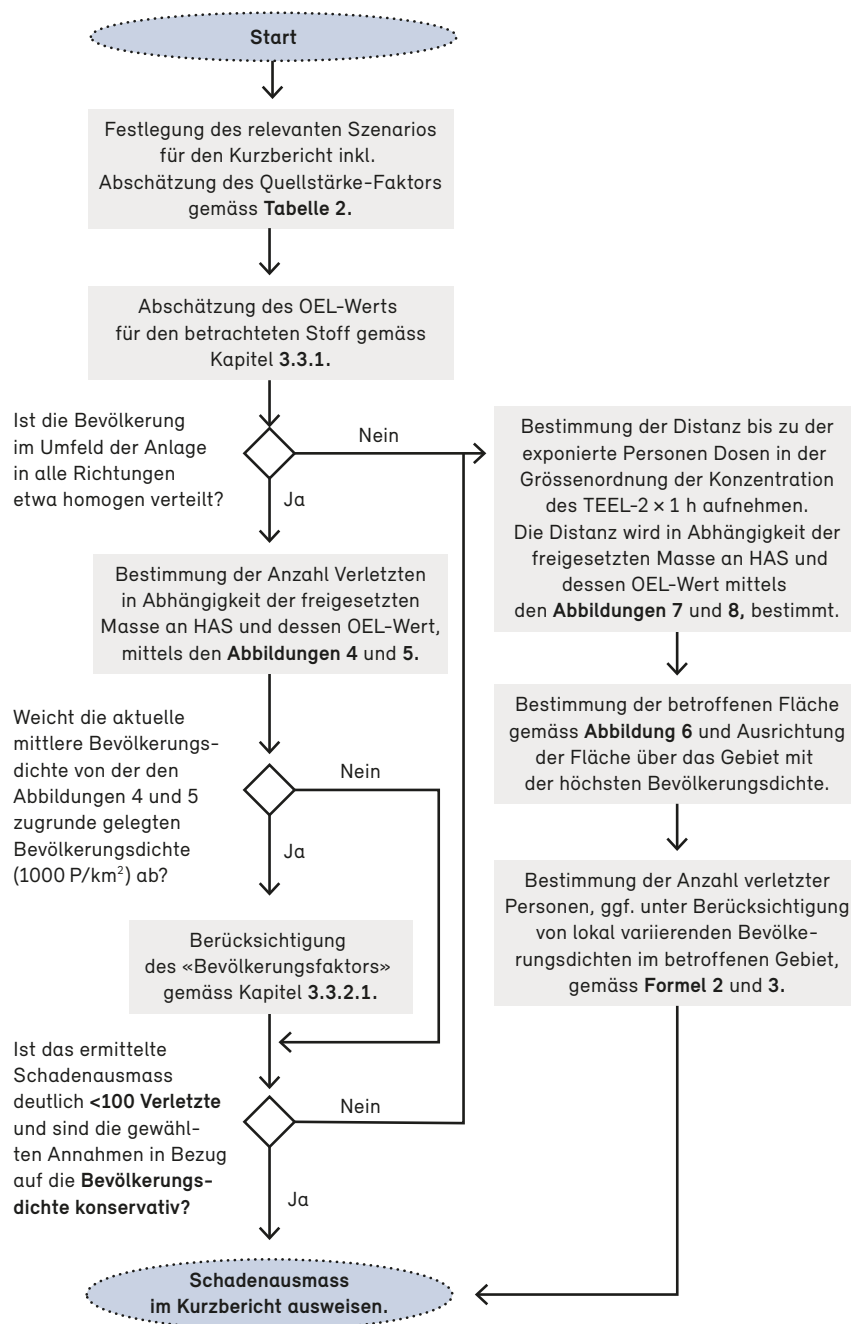
Ziel dieses Kapitels ist es, den Adressaten dieser Vollzugshilfe eine selbständige Einschätzung des Ausmasses einer möglichen Schädigung der Bevölkerung infolge von Störfällen (Art. 5, Absatz 1, Bst. f StFV) mit HAS zu ermöglichen.

Zur Bestimmung der Anzahl verletzter Personen stehen je nach Umgebung der Anlage zwei verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Bei Anlagen, welche in ihrem Umfeld über eine einigermaßen homogene Bevölkerungsdichte verfügen, kann in einem vereinfachten Verfahren, unter Verwendung einer konservativen homogenen Bevölkerungsdichte, das Schadensausmass für ein angenommenes «worst-case»-Szenario über den «linken Weg» in Abbildung 2 abgeschätzt werden. Kommt man aufgrund dieser einfachen Abschätzung zum Schluss, dass ein Schadensausmass in der Grössenordnung von 100 verletzten Personen (Bereich der schweren Schädigung) erwartet werden muss, so ist eine detaillierte Abschätzung des Ausmasses gemäss dem «rechten Weg» in Abbildung 2 vorzunehmen. Dasselbe gilt für den Fall, dass die Bevölkerung im Umfeld der Anlage nicht homogen verteilt ist.

Abbildung 2

Schematische Darstellung zur Anwendung der Hilfsmittel, die in diesem Kapitel enthalten sind.

Das Ziel ist die Herleitung des Szenarios für den Kurzbericht und die Abschätzung der daraus resultierenden Anzahl verletzter Personen.



3.1 Bestimmung der relevanten Störfallszenarien

Um das von einem Betrieb ausgehende Schadensausmass im Falle eines Störfallereignisses zu bestimmen, sind diejenigen Szenarien auszuwählen, die realistischerweise zu Schädigungen der Bevölkerung führen können. Realistischerweise heisst, dass die nach menschlichem Ermessen möglichen Ursachen und Ereignisabfolgen zu berücksichtigen sind. Dabei dürfen nur passive Sicherheitsmassnahmen berücksichtigt werden. Ein Hilfsmittel zur Herleitung solcher Störfallszenarien bietet der unten abgebildete morphologische Kasten (siehe Tabelle 2 und Erläuterungen im Anhang). Die Parameter beschreiben den generischen Ablauf eines Störfalls. Die Komponenten spezifizieren die Art und Weise des Ablaufs. Durch das Zusammenfügen von jeweils einer Komponente zu den Parametern P1 bis P8 kann eine Vielzahl von möglichen Szenarien hergeleitet werden. Der morphologische Kasten dient als Kreativitätstool zur Entwicklung des «worst-case»-Szenario, das im Kurzbericht zu beschreiben ist. Sind Szenarien denkbar, welche zu einer schweren Schädigung führen und nicht mit dem hier abgebildeten morphologischen Kasten hergeleitet werden können, dann sind diese detailliert zu beschreiben und zu begründen.

*Herleitung von
Störfallszenarien*

Im Anhang finden sich die entsprechenden Definitionen zu den einzelnen Komponenten aus dem morphologischen Kasten. Diese sind zum Verständnis der Szenarienbildung zwingend zu konsultieren.

Tabelle 3

Exemplarische Zusammenstellung von Parametern und Komponenten möglicher Störfallszenarien mit hochaktiven Stoffen.

Für die Komponenten der Parameter P2, P3 und P5 finden sich relative Anteile, welche zur Berechnung der Quellstärken benötigt werden (**fett markiert**). Diese Quellstärke-Faktoren weisen grosse Streuungen auf. Sie sind als **Richtwerte zur Festlegung der Quellstärke** für ein bestimmtes Szenario zu verstehen und – auf Basis von Expertenschätzungen festgelegt worden.

Komponenten	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Parameter						
P1: Auslöser Quellstärke-Faktor	Technisch 1	Menschliche Faktoren 1	Umwelteinfluss 1	Domino- Effekte 1		
P2: Systemfehler Quellstärke-Faktor	Runaway 0.5 [12]	Staubexplosion 0.2 [13, 14]	Brand 0.05 [15, 16]	Behälter- versagen 0.25	Versackungs- leck ¹⁰ 0.3	Andere
P3: Betroffene Systembarriere Quellstärke-Faktor	Blow-Down- Tank 0.1 [17]	2nd Containment 0.5	HEPA- Filter-System 0.1	Keine 1	Andere	
P4: Freisetzung	Aerosol mit Flüssigkeit	Pulver $\varnothing \leq 10 \mu\text{m}$	Pulver $\varnothing \approx 50 \mu\text{m}$	Pulver $\varnothing \approx 150 \mu\text{m}$	Pulver $\varnothing \geq 400 \mu\text{m}$	Dampf
P5: Emission Quellstärke-Faktor	Abblasleitung 1	Lüftung 0.2	Gebrochene Fenster/Wand 0.5	Gebäude- öffnung 0.3	Im Freien 1	Andere
P6: Transmission	Luft (Klasse D)	Brandgase [18]	Andere			
P7: Exposition	Inhalation	Aufnahme dermal	Ingestion über Kontamination [19]	Andere		
P8: Effekte	Schwerwiegen- der Effekt	Lebensbedroh- licher Effekt	CMR- Effekt	Andere		

Die bei einer Freisetzung zu berücksichtigende Masse HAS ist die Masse¹¹, welche in der für das Szenario relevanten Systemeinheit (Reaktor, Trockner, Behälter, Raum, Brandabschnitt etc.) enthalten ist. Diese Masse in Kilogramm ist mit dem entsprechenden Wirkungsgrad der Quellstärke gemäss dem relevanten Szenario aus Tabelle 2 zu multiplizieren. Um den Wirkungsgrad der Quellstärke festzulegen, finden sich in Tabelle 2 entsprechende Richtwerte

*Bestimmung der
Quellstärke*

¹⁰ Beschädigung (z.B. mechanische) der Verpackung. Bei diesem Systemfehler wird nur der ausgetretene Anteil des HAS mit dem Korrekturfaktor zur Ermittlung der Quellstärke multipliziert. Bei den anderen Systemfehlern wird die gesamte im System enthaltene Stoffmenge mit dem Korrekturfaktor verrechnet. Siehe Erklärungen zu den Systemfehlern im Anhang II.

¹¹ Falls bei einem zu untersuchenden Szenario verschiedene HAS beteiligt sind, so ist zur Bestimmung der Quellstärke die Summe der Teilmengen der HAS einzusetzen. Verfügen die HAS über unterschiedliche OEL-Werte, so wird empfohlen, den für die Ausmassabschätzung zu verwendenden OEL-Wert gemäss folgender Formel zu bestimmen (Quelle; Swiss occupational exposure limits, Factsheet, suva, January 2013); $100/\text{OEL}_{\text{Mischung}} = \sum_n (\text{Anteil HAS}_x \text{ an Gesamtmenge der HAS in } \%/ \text{OEL}_{\text{HAS}_x})$

(Quellstärke-Faktoren) für die relevanten Komponenten. Abhängig vom Aufbau der Anlage können diese Richtwerte mit entsprechender Begründung angepasst werden. Die gemäss den Quellstärke-Faktoren aus Tabelle 2 korrigierte Quellstärke führt zu einer realistischen Ausmass-Einschätzung, welche über eine angemessene Konservativität verfügt. Als minimale Freisetzungsmenge ist in jedem Fall von 1 kg HAS auszugehen (siehe Kapitel 3.3.2). Die Annahme kleinerer Freisetzungsmengen ist im Rahmen von Störfallbetrachtungen auf Stufe Kurzbericht nicht zulässig.

Beispiel, Schritt 2:**Abschätzung der Quellstärke**

Vorhandene Masse von XX: 200 kg

Technischer Auslöser führt zu Runaway-Reaktion mit Freisetzung über einen Blow-down-Tank und dann über die Abblasteitung.

Störfallszenario:

P1/K1 (Technischer Defekt) → P2/K1 (Runaway) → P3/K1 (Durchschlag des Blow-down-Tanks) → P5/K1 (Freisetzung via Abblasteitung):
 $1 \times 0,5 \times 0,1 \times 1 = 0,05 \rightarrow$ (entspricht 5 %).

Schlussfolgerung:

Die realistischere freigesetzte Masse beträgt 10 kg.

Weitere Beispiele zur Ermittlung der Quellstärke (siehe Tabelle 3):

P1/K1 (Technischer Defekt) → P2/K2 (Staubexplosion) → P3/K3 (Durchbruch HEPA-Filter-System) → P5/K1 (Freisetzung via Abblasteitung):
 $1 \times 0,2 \times 0,1 \times 1 = 0,02$ (entspricht 2 %)

P1/K2 (Fehlmanipulation) → P2/K2 (Staubexplosion) → P3/K3 (Durchbruch HEPA-Filter-System) → P5/K3 (Freisetzung via zerborstenem Fenster): $1 \times 0,2 \times 0,1 \times 0,5 = 0,01$ (entspricht 1 %)

P1/K3 (z. B. Blitzeinschlag) → P2/K3 (Brand) → P3/K5 (Löschwasser läuft nicht in Retentionsbecken, sondern auf Vorplatz) → P5/K6 (Freisetzung aus verdunstetem Löschwasser): $1 \times 0,05 \times 1 \times 1 = 0,05$ (entspricht 5 %)

P1/K1 (technischer Defekt) → P2/K5 (Verpackungsleck) → P3/K3 (Durchbruch HEPA-Filter-System) → P5/K2 (Freisetzung via Lüftungssystem): $1 \times 0,3 \times 0,1 \times 0,2 = 0,006$ (entspricht 0.6 %)

→ Als minimale Freisetzungsmenge muss 1 kg angenommen werden.

Zur Ausmasseseinschätzung mittels SEIHAS ist die mit Tabelle 2 ermittelte, realistischerweise freigesetzte Masse im Nomogramm von Abbildung 4 einzusetzen (siehe Kapitel 3.3).

3.2 Störfall-Beurteilungswert TEEL-2

Die «Temporary Emergency Exposure Limits» TEEL-Werte (in mg/m³) sind toxikologisch begründete vorläufige Störfall-Beurteilungswerte eines Stoffes für den Expositionszeitraum von 1 Stunde und dienen als Grundlage zur Beurteilung von Störfallszenarien. Sie können bei der Bevölkerung, einschliesslich der empfindlicheren Personen, zu folgenden Wirkungen führen:

*Verletzte durch
Einmalexposition
eines HAS*

- TEEL-1: Schwelle zu vorübergehenden und reversiblen Wirkungen wie spürbarem Unwohlsein oder Reizungen;
- TEEL-2: Schwelle zu irreversiblen, schwerwiegenden, lang andauernden oder fluchtbehindernden Wirkungen;
- TEEL-3: Schwelle zu lebensbedrohlicher oder tödlicher Wirkung.

Zur Ermittlung des möglichen Schadensausmasses einer Freisetzung von HAS wird im Rahmen dieser Vollzugshilfe der TEEL-2-Wert als Kriterium für die Festlegung der störfallbedingten Wirkung verwendet. Personen, die den TEEL-2-Wert während einer Stunde erreicht oder überschritten, d.h. eine entsprechende Dosis aufgenommen haben, werden als Verletzte bezeichnet. Gemäss den Beurteilungskriterien zur StFV wird bei mehr als 100 Verletzten von einer schweren Schädigung im Sinne der StFV gesprochen.

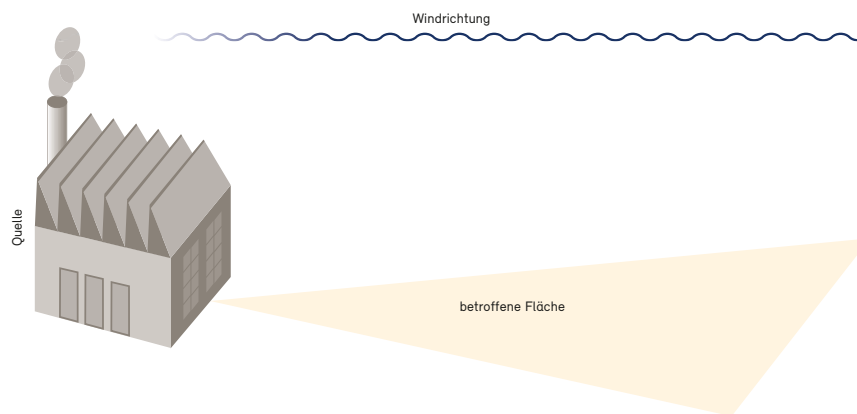
3.3 Bestimmung des Schadensausmasses mittels des Kurzzeit-Modells «Simulation of Effects caused by Incidents with HAS (SEIHAS)»

Für die im Kapitel 3.3.2 aufgezeigten Nomogramme (Abb. 4, 5, 7 und 8) wird eine Ausbreitung der Schadstoffwolke, wie sie schematisch in Abbildung 3 dargestellt ist, als Modell zugrunde gelegt.

Schadstoffwolke

Abbildung 3

Aufsicht auf die schematische Ausbreitungsfläche der Schadstoffwolke, in welcher eine Konzentration von TEEL-2 während einer Stunde erreicht bzw. überschritten wird.



Die in den Nomogrammen ausgewiesenen Kurven basieren auf Berechnungen mittels SEIHAS, welche die Abschätzung der betroffenen Fläche und der Auswirkungen auf die exponierten Personen ermöglichen. Als betroffene Fläche wird das Gebiet bezeichnet, in welchem die exponierten Personen mindestens einer Konzentration entsprechend dem TEEL-2-Wert während einer Stunde ausgesetzt sind. Eine Zusammenstellung aller im SEIHAS verwendeten Standardwerte¹² findet sich im Anhang dieser Vollzugshilfe.

3.3.1 Umrechnung der Kriterien (OEL, ED50, CMR) für HAS

OEL-Werte bzw. maximale Inhalations-Arbeitsplatzgrenzwerte in der Luft (MAK-Werte) sind die höchstzulässige Durchschnittskonzentration eines gas-, dampf- oder staubförmigen Stoffes. Nach derzeitiger Kenntnis gefährden diese Werte bei der ganz stark überwiegenden Zahl der gesunden am Arbeitsplatz Beschäftigten die Gesundheit nicht. Auch nicht bei täglicher Einwirkung während einer definierten Arbeitszeit bis 42 Stunden pro Woche über längere Perioden. Arbeitsplatzkonzentrationswerte stellen somit auf chroni-

*Abschätzung von
TEEL-2 Werten*

¹² Die Ausbreitung wurde als Box-Modell unter Annahme der raschen Freisetzung als Puff mittels SEIHAS simuliert. Anbei sind einige wichtige Simulationsparameter aufgeführt; Ausbreitungsklasse D, überbautes Gebiet, Freisetzung auf Bodenhöhe (worst case nach EPA). Bevölkerungsdichte 1000 Personen/km²; Anteil der Personen im Freien 11 %, Körpergewicht 60 kg, Atemrate 0,00023 m³/s, Bioverfügbarkeit 100 %, OEL 1 µg-/m³; Abbruchkriterium: Dosis der Konzentration von TEEL-2 während 1 Stunde, polydisperse Partikeldurchmesser mit dem Mittel bei 10 µm; Dichte 1,4 g/cm³.

schen Expositionen ab, während den TEEL-Werten als Störfallwerte akute Einmalexpositionen zugrunde liegen. Die Abschätzung der TEEL-2-Werte (Kurzzeitexposition) aus den OEL-Werten, ED50-Werten und CMR-Klassen, wird auf Basis von Methoden des DOE Handbook [10] und dem Verfahren der «Staged TTC-Werte» [9] vorgenommen.

Mit diesen Voraussetzungen ist die Umrechnung der Kriterien zur Ermittlung der Mengenschwellen (OEL, ED50, CMR) für HAS und die daraus folgende Abschätzung¹³ von Störfall-Beurteilungswerten (TEEL-2) wie unten aufgezeigt vorzunehmen:

- $OEL (\mu\text{g}/\text{m}^3) = ED50 (\text{mg}/\text{Tag}) \times 1 (\mu\text{g} \times \text{Tag}/\text{mg} \times \text{m}^3)$
- $OEL (\mu\text{g}/\text{m}^3) = 0,5 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ für CMR-Klasse 1A
- $OEL (\mu\text{g}/\text{m}^3) = 5 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ für CMR-Klasse 1B
- $TEEL-2 (\text{mg}/\text{m}^3) = OEL (\mu\text{g}/\text{m}^3) \times 0,05 (\text{mg}/\mu\text{g})$

TEEL-2 Werte dienen als Abbruchkriterium für die Bestimmung des Schadensausmasses mittels des Modells «Simulation of Effects caused by Incidents with HAS (SEIHAS)» [11]. Die gemäss obigen Umrechnungen bestimmten TEEL-2 Werte waren wichtige Inputparameter zur Herleitung der Nomogramme im nachfolgenden Kapitel 3.3.2. Als Bezugsgrössen werden in den untenstehenden Nomogrammen aus Gründen der Anwenderfreundlichkeit aber die entsprechenden OEL-Wert eingesetzt.

*Abbruchkriterien
im Modell zur
Ausmassabschätzung
(SEIHAS)*

3.3.2 Abschätzung der Anzahl verletzter Personen

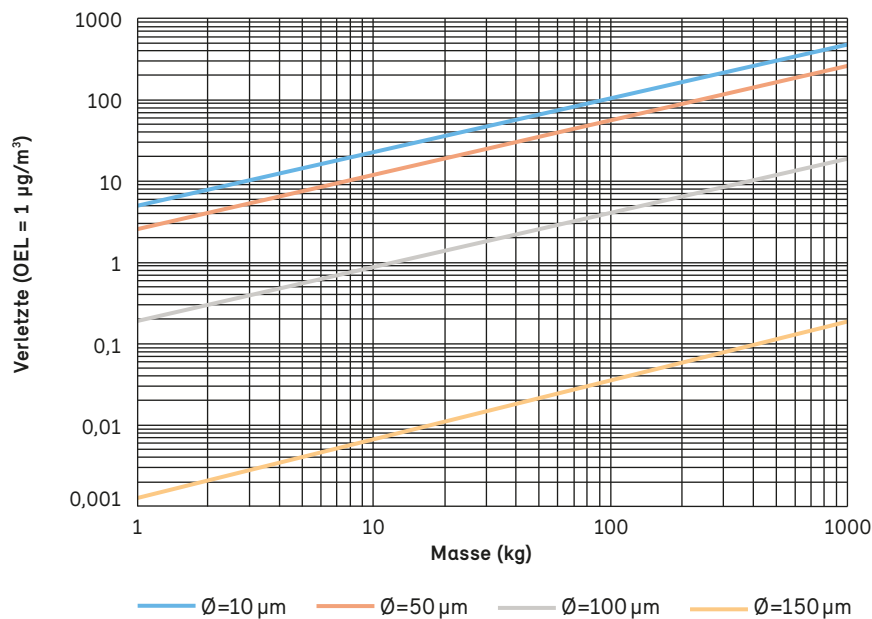
Die Abbildung 4 ermöglicht die Abschätzung der verletzten Personen unter der Schadstoffwolke bei Annahme einer Standardbevölkerungsdichte (1000 Personen/km²) und eines Standard OEL-Werts von 1 µg/m³. Zur besseren Lesbarkeit findet sich dieses Nomogramm im Anhang III im Format A4 (alle folgenden Nomogramme finden sich in den Anhängen IV-VI ebenfalls im Format A4).

*Anzahl Verletzte
bei $OEL = 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$*

¹³ Für TEEL-2-Werte, die aus OEL, ED50-Werten oder der CMR-Klasse abgeleitet werden, können mit hinreichender Begründung (z. B. Potenz bei CMR-Stoffen, Besonderheiten bei der Einmalexposition mit sensibilisierenden oder endokrin aktiven Stoffen etc.) andere als die hier aufgezeigten Umrechnungsfaktoren verwendet werden. Die Herleitung von Umrechnungsfaktoren ist in der Literatur [9, 10] eingehend beschrieben. Von den heute bekannten 3224 Störfallbeurteilungswerten sind nur ca. 10 % gut begründete AEGL- oder ERPG-Werte, der Rest ist aus IDLH-, LD50-, LC50-, TLo-, TDLo-, MAK-, TLV-, PEL-, STEL- und LOC-Werten gemäss den in der genannten Literatur aufgezeigten Prinzipien abgeleitet. Weiterführende Informationen zur Herleitung der Faktoren können beim Bundesamt für Umwelt (BAFU) erfragt werden.

Abbildung 4

Anzahl Verletzte in Funktion der freisetzbaren Masse und des mittleren, nicht monodispersen-Partikeldurchmessers (Annahme Normalverteilung) bei einem Standard OEL-Wert von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und einer Bevölkerungsdichte von 1000 Personen/ km^2 (Standard Bevölkerungsdichte).

**Beispiel, Schritt 3****Ausmass für den Standard OEL und die Standardbevölkerungsdichte**

Die Masse des hochaktiven Stoffes XX von 10 kg (Beispiel, Schritt 2) ergibt bei einem mittleren Partikeldurchmesser¹⁴ von $5 \mu\text{m}$ in Abbildung 4 ein Ausmass von 23 Verletzten beim Standard-OEL von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Standardbevölkerungsdichte von 1000 Personen pro km^2 ($5 \mu\text{m}$ wird beim kleinsten Wert von $10 \mu\text{m}$ abgelesen).

Für die Ausmasseinschätzung sind die OEL-Werte des reinen Wirkstoffs zu verwenden, es sei denn, Lösungsmittel oder Matrix sind in deren Wirkung mit dem Wirkstoff (HAS) vergleichbar. Falls der Betrieb spezifische OEL-Werte für Zubereitungen bestimmt hat, können diese mit ihren entsprechend vorhandenen Massen eingesetzt werden. Das in Abbildung 5 enthaltene Nomogramm ermöglicht die Abschätzung der verletzten Personen bei OEL-Werten, welche vom Standard OEL abweichen.

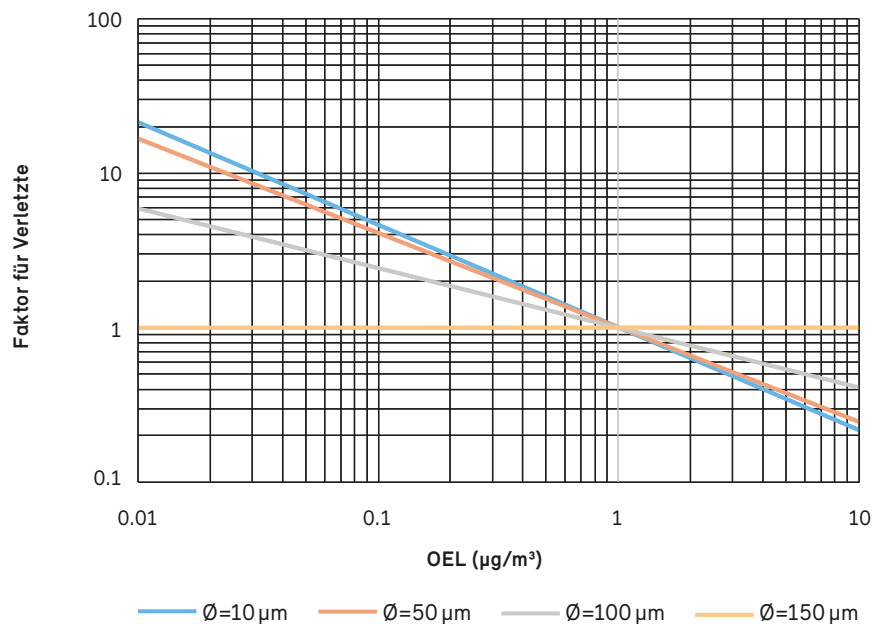
Korrekturfaktor
bei $\text{OEL} \neq 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$

¹⁴ Partikel mit einem Durchmesser $< 2 \mu\text{m}$ verhalten sich wie Gase. Selbst bei Partikeldurchmessern $< 10 \mu\text{m}$ ist die Ausbreitung sehr gasähnlich.

Exkurs; Flächenkontaminationen [19] unter der Wolke sind von ihrem Ausmass her gesehen am stärksten ausgeprägt, wenn die mittlere Partikelgrösse (Annahme eines polydispersen Pulvers) in der Grössenordnung von $100 \mu\text{m}$ liegt (ungünstiges Verhältnis zwischen Sedimentations- und Transmissionsprozessen).

Abbildung 5

Faktor für die Anzahl der Verletzten, wenn der OEL von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ abweicht. Mit diesem Faktor ist die erhaltene Zahl aus Abbildung 4 zu multiplizieren, um den Wert der Anzahl Verletzten entsprechend dem aktuellen OEL zu erhalten.

**Beispiel, Schritt 4****Ausmass für den aktuellen OEL und die Standardbevölkerungsdichte**

Die aus Abbildung 4 ermittelten 23 Verletzten (Beispiel, Schritt 3) sind für einen mittleren Partikeldurchmesser von $5 \mu\text{m}$ (wird bei der nächstgrösseren im Nomogramm vorhandenen Partikelgrösse abgelesen; Kurve $10 \mu\text{m}$) bei einem $\text{OEL} = 0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit dem Faktor 5 zu multiplizieren (Abbildung 5); d. h. $23 \times 5 = 115$ Verletzte.

Schlussfolgerung:

Mit der Standardbevölkerungsdichte von $1000 \text{ Personen}/\text{km}^2$ errechnen sich mit dem neuen, tieferen $\text{OEL} = 0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 115 Verletzte. In diesem Fall ist eine Risikoermittlung erforderlich.

Die Berechnungen im Modell SEIHAS sind unter der Annahme ausgeführt worden, dass sich 11 % [20] der Personen im Freien aufhalten und nur bei diesen Personen wesentliche Effekte zu erwarten sind.

Gebäudeschutz-
faktor und
Personen im
Freien

Der Grund dafür ist, dass HAS nur in kleinen Mengen gehandhabt werden. Somit sind die Schadstoffwolken, die sich bei Störfällen ausbreiten, in den Abmessungen entsprechend klein. Auch bei ungünstigen kleinen Windge-

schwindigkeiten von ca. 2 bis 3 m/s ist somit die Austauschzeit der Aussen- mit der Innenluft von Gebäuden kurz. Daher zeigen alle Modelle, speziell für Partikel, sehr kleine Konzentrationen im Innern von Häusern und damit dort in der Regel praktisch vernachlässigbare Wirkungen.

Personen (89 %), die sich im Innern von Wohnbauten mit üblichen Luftaustauschraten aufhalten, werden bei der Ausmasseinschätzung mittels SEIHAS nicht berücksichtigt. Liegen andere, konkret belegbare Verhältnisse beim anzunehmenden Anteil der Personen vor, welche sich im Haus aufhalten, dann sind diese in der Berechnung in erster Annäherung proportional anzupassen.

3.3.2.1 Anpassung der Standardbevölkerungsdichte an die mittlere Bevölkerungsdichte in der Ausbreitungsfläche der Schadstoffwolke

Das Nomogramm von Abbildung 4 basiert auf einer mittleren Standardbevölkerungsdichte von 1000 Personen/km² im ganzen betroffenen Gebiet. Um das Ausmass am aktuellen Standort bestimmen zu können, muss der in den Nomogrammen standardmässig eingesetzte Wert mit der mittleren Bevölkerungsdichte an diesem Standort korrigiert werden.

Hierfür wird aus der in einer konkreten Situation anzutreffenden mittleren Bevölkerungsdichte im Vergleich zur mittleren Standardbevölkerungsdichte ein Faktor «Bevölkerung» in $x \times 1000$ Personen/km² berechnet (z. B. 6000 Personen/km² = 6×1000 Personen/km² → Faktor 6).

Über welche Distanz ausgehend vom Quellterm die mittlere Bevölkerungsdichte erhoben werden soll, kann mittels Nomogramm aus Abbildung 7 bestimmt werden. Als Grundlage für die Festlegung der zu verwendenden mittleren Bevölkerungsdichte dienen z. B. die Daten zur Wohn- und Arbeitsbevölkerung in der Schweiz, welche beim Bundesamt für Statistik bezogen werden können [21].

Anpassung an die tatsächlich vorliegende mittlere Bevölkerungsdichte:

Formel 1

Aktuelle Anzahl Verletzte = Verletzte Personen aus den Abbildung 4 und 5 $\times$ Faktor Bevölkerung

Beispiel, Schritt 5**Ausmass-Einschätzung für den Störfallwert im Kurzbericht**

Am aktuellen Standort liegt die mittlere Bevölkerungsdichte bei 6000 Personen/km². Damit ist der Faktor «Bevölkerung»=6. Die im Beispiel Schritt 4 ermittelte Anzahl Verletzte=115 ist mit dem Faktor «Bevölkerung» zu multiplizieren. Damit ist die aktuell abgeschätzte Anzahl Verletzte $6 \times 115 = 690$.

Interpretation:

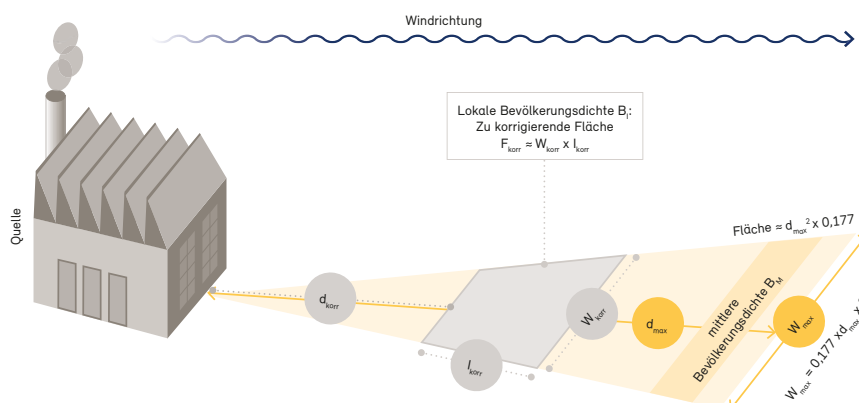
Der Störfallwert einer schweren Schädigung von 0,3 (100 Verletzte) ist mit 690 Verletzten überschritten, und eine Risikoermittlung ist notwendig.

3.3.2.2 Anpassung der mittleren Bevölkerungsdichte an abweichende lokale Bevölkerungsdichten in der Ausbreitungsfläche der Schadstoffwolke

Weichen die Bevölkerungsdichten in einem betroffenen Gebiet lokal stark von der mittleren Bevölkerungsdichte ab (siehe Abb.6), dann lassen sich diese Inhomogenitäten mit dem nachfolgend beschriebenen Vorgehen korrigieren.

Abbildung 6

Einfache schematische Darstellung der von der Schadstoffwolke betroffenen Fläche bei einem Ausbreitungswinkel von 20° (vgl. Fussnote 18, S. 43, Anhang VII), in welcher eine Dosis entsprechend der Konzentration des TEEL-2×1 Stunde überschritten wird. Die graue Fläche stellt ein Gebiet dar, in welchem die lokale Bevölkerungsdichte (BI) stark von der übrigen mittleren Bevölkerungsdichte (BM) abweicht.



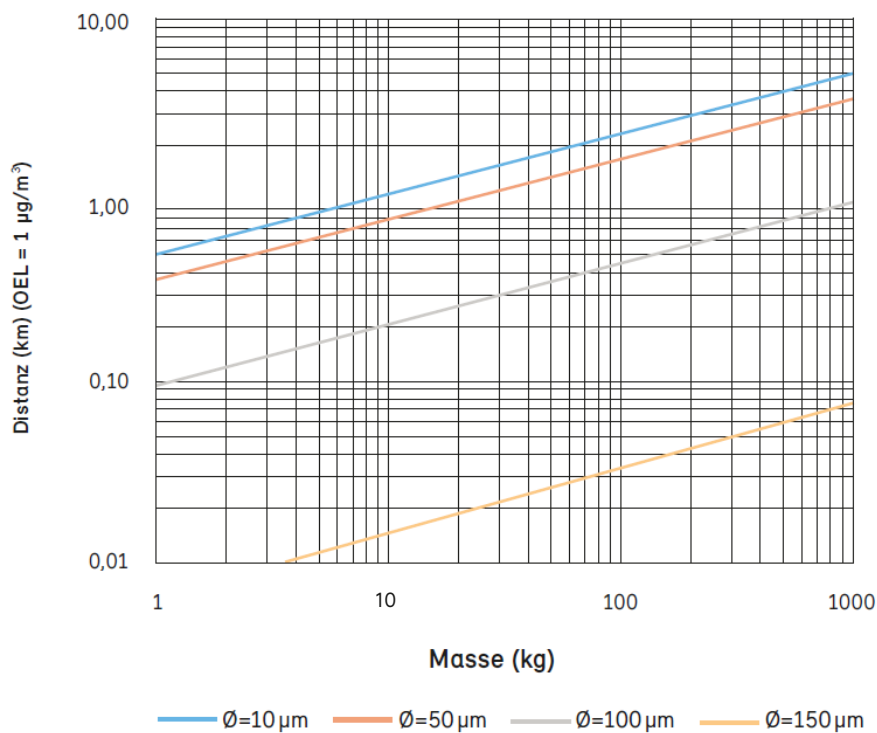
- $d_{\max}$: Distanz von der Quelle bis zum Abbruch durch den TEEL-2-Wert [km],
- d_{korr} : Distanz von der Quelle bis zum vorgegebenen Punkt [km],
- $w_{\max}$: Breite der Wolke bei der Distanz $d_{\max}$ [km],
- w_{korr} : Breite der zu korrigierenden Fläche [km],
- l_{korr} : Länge der zu korrigierenden Zone [km],

- F_{korrr} : Lokal zu korrigierende Fläche [km^2],
- B_M : Mittlere Bevölkerungsdichte im von der Wolke betroffenen Gebiet [P/km^2],
- B_i : Lokale Bevölkerungsdichte in F_{korrr} [P/km^2].

In einem ersten Schritt wird die als Dreieck approximierte Wolke über das betroffene Gebiet gelegt. Mit dem Nomogramm aus Abbildung 7 kann für einen HAS mit einem OEL-Wert von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ die Distanz von der Quelle bis zum Abbruchkriterium ($\text{Dosis} \geq \text{TEEL} \cdot 2 \times 1 \text{ Stunde}$) bestimmt werden. Es handelt sich dabei um die maximale Distanz (d_{max}) in Funktion der Masse und des mittleren, nicht monodispersen Partikeldurchmessers bei einem OEL-Wert $= 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Abbildung 7

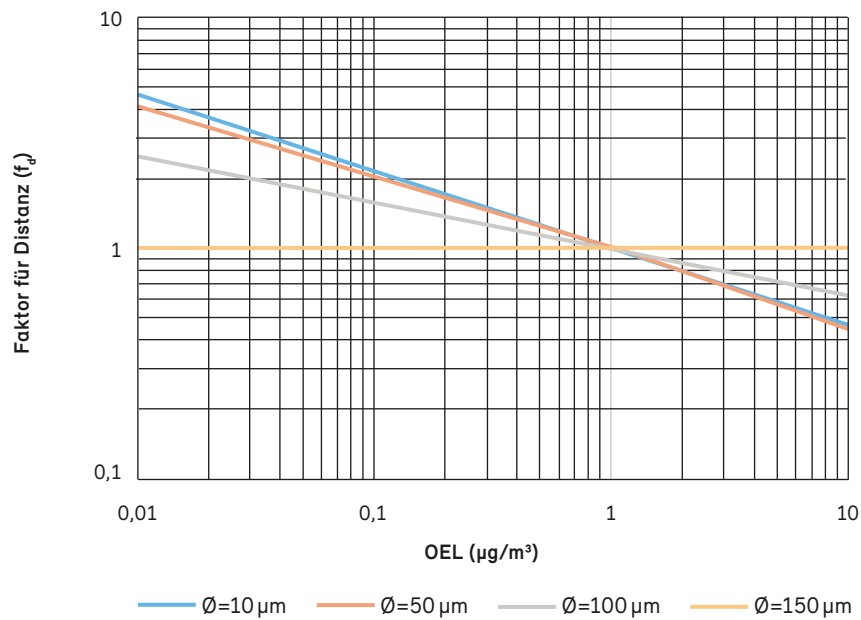
Distanz vom Freisetzungsort, in welcher das Abbruchkriterium ($\text{Dosis} \geq \text{TEEL} \cdot 2 \times 1 \text{ Stunde}$) für einen HAS mit OEL-Wert $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erfüllt ist.



Verfügt die freigesetzte Substanz über einen anderen OEL als $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, so ist in einem zweiten Schritt die zuvor ermittelte Länge des Dreiecks mit dem Faktor für die Distanz (f_d) aus Abbildung 8 zu korrigieren. Auf diese Weise wird die maximale Distanz (d_{max}) für einen HAS bestimmt, dessen OEL-Wert $\neq 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist.

Abbildung 8

Korrekturfaktor (f_d) für die Anpassung der Distanz, wenn $OEL \neq 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Die gesamte Anzahl verletzter Personen in der betroffenen Fläche, unter Berücksichtigung von lokal stark abweichenden Bevölkerungsdichten (B_i), kann wie in Formel 2 aufgezeigt¹⁵ berechnet werden:

Formel 2

$$\text{Anzahl Verletzte} \approx (d_{\text{max für OEL} = 1 \mu\text{g}/\text{m}^3} \times f_d)^2 \times B_M \times 0,02 + \sum_{i=1}^n (w_{\text{korr } i} \times I_{\text{korr } i} \times 0,11) \times (B_{ii} - B_M)$$

Bezüglich w_{korr} aus Formel 2 ist dabei folgende in Formel 3 aufgezeigte Grenzbedingung einzuhalten:

Formel 3

$$w_{\text{korr } i} \leq 0,177 \times d_{\text{korr } i} \times 2$$

¹⁵ Die Herleitung von Formel 2 findet sich in Anhang VII.

Beispiel, Schritt 6**Berücksichtigung einer lokal erhöhten Bevölkerungsdichte B_l .**

Prinzip: Die Korrektur der lokal anderen Bevölkerungsdichte rechnet sich als lokal zu korrigierende Fläche (F_{korrr}), multipliziert mit der Bevölkerungsdichten-Differenz ($B_l - B_M$) zwischen der lokalen Bevölkerungsdichte (B_l) und der mittleren Bevölkerungsdichte (B_M).

Unser Beispiel:

Masse $m = 10 \text{ kg}$, Partikeldurchmesser $P_D = 10 \mu\text{m}$, $\text{OEL} = 0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und einer mittleren Bevölkerungsdichte $B_M = 6000 \text{ P}/\text{km}^2$, 11 % der Personen im Freien (Faktor = 0,11).

Das ergibt eine für den OEL korrigierte maximale Distanz von

$d_{\text{max}} = d_{\text{max OEL} = 1 \mu\text{g}/\text{m}^3} \times f_d$; $d_{\text{max}} = 1,1 \times 2,2 = 2,42 \text{ km}$. (Distanz von 1,1 km aus Abbildung 7 und Faktor für Distanz von 2,2 aus Abbildung 8). Die Anzahl Verletzte in der maximal betroffenen Fläche $= d_{\text{max}}^2 \times B_M \times 0,02 = 702$ Verletzte (1. Teil aus Formel 2).

In der betroffenen Fläche befindet sich eine $l_{\text{korrr } 1} = 0,4 \text{ km}$ tiefe und $0,35 \text{ km}$ breite Zone mit einer lokalen Bevölkerungsdichte von $B_{l1} = 10\,000 \text{ Personen}/\text{km}^2$, statt dem in den bisherigen Abschätzungen verwendeten angenommenen Mittelwert von $B_M = 6000 \text{ Personen}/\text{km}^2$.

Anzahl Verletzte auf dieser Fläche: $K = (0,4 \times 0,35 \times 0,11) \times (10\,000 - 6000) = 62$

«Totale Anzahl Verletzte» = Anzahl Verletzte in der betroffenen Fläche + Anzahl Verletzte im Gebiet mit abweichender Bevölkerungsdichte = $702 + 62 \approx 764$ Personen.

Interpretation:

Bei diesem Beispiel ist mit allen Korrekturen mit 764 Verletzten zu rechnen, was den Störfallwert von 0,3 mit 100 Verletzten überschreitet. Für diesen Betrieb ist somit eine Risikoermittlung notwendig.

Anhang

Anhang I; Eingabe-Parameter in SEIHAS für die Ausmass-Einschätzung der Nomogramme

No	Parameter	Default	Value	Dim	Remarks
1	Substance name				
	InChI-Key od ID.				CAS-Nr.
2	Molecular mass	0,4		kg/mol	Relevant since OEL/ED50/ADE TTC in mg, µg
3	Mass (HAS)	20		kg	Minimum mass StFV: 20 [kg]
4	Source strength	100		%	Percent of initial mass possibly releaseable
5	TEEL-1 or TEEL-2 or TEEL-3	2		Dmnl	TEEL-2: disabling
6	OEL (Occupational Exposure Limit)	1		µg/m³	<10 [µg/m³]
7	ED50 (therapeutic)	0		mg	≤10 [mg/d]
8	CMR (yes/no)	no		Dmnl	For classes 1/2
9	Bioavailability (inhalation: cloud)	1		Dmnl	Only for parameters originally NOT based on inhalation (ED50, LD50, ADE/RfD, IUR, TTC).
10	Bioavailability (oral: contamination)	1		Dmnl	For oral determined toxicities: default = 1
11	Breathing rate	0,00023		m³/s	Default: normal 0,833 [m³/h]
12	Concentration/dose dependent (0/1)	1		Dmnl	Dependence of expected effects
13	Physical state (solid, liquid, gaseous; s,l,g)	s		Dmnl	Physical state of HAS (liquid aerosol if dissolved released)
14	Vapor pressure (25 °C)	30		mbar	Only relevant for liquid HAS (evaporation)
15	Particle density	1,4		g/cm³	1,4 [g/cm³] mean for organic particles
16	Average particle diameter	10		µm	Default: critical value
17	Aerosol no/yes	no		Dmnl	Aerosol: e.g. dissolved substance or drops
18	Particle normal distribution	yes		Dmnl	Particle size distribution of the powder
19	Night/day (0/1)	1		Dmnl	Night: 1 hour before sunset to 1 hour after sunrise
20	Meteo: Stability class A–G	D		Dmnl	Dispersion class D (relevant for worst-case)
21	Roughness of terrain (flat, rural, urban, city)	urban		Dmnl	Buildings, trees ...
22	Release height	0,1		m	Point of release above ground
23	Mean population density	0,001		P/m²	Density for relevant dispersion area (1000 P/km²)
24	Proportion indoor (day)	0,89		Dmnl	Population indoor, also valid for cars
25	Proportion indoor (night)	0,89		Dmnl	Population indoor, also valid for cars
26	2nd Containment (yes/no)	no		Dmnl	Indirect release over containment = yes
27	Room height (2 nd containment)	3		m	Dimensions of 2nd containment
28	Room area (2 nd containment)	30		m²	Dimensions of 2nd containment
29	Ventilation (2 nd containment)	0,0025		1/s	0,0025 [s ⁻¹] = 12,5 [h ⁻¹]
30	Duration of release (2 nd containment)	3600		s	Time of running ventilation after incident without filters
31	Special				
	Results:				
	Number of persons under the cloud			P	Dose according to chosen TEEL (1,2,3)
	Contaminated area			m²	Estimation of uniform contamination

Comments: e.g. contamination, biodegradation, water solubility

Die Grenzen des Modells sind im Wesentlichen gegeben durch die Unsicherheiten bei den Parametern und spezifischen lokalen Verhältnissen bei der Ausbreitung.

Anhang II; Ausführungen zu einzelnen Feldern des morphologischen Kastens in dessen Reihenfolge (siehe Tabelle 2)

Konente	Beschreibung der Komponente
Komponente zum Parameter Auslöser	
Technisch	Auslösen eines Störfalls durch Versagen eines technischen Systems, inkl. Mess-, Steuer-, und Regeltechnikfehler
Menschliche Faktoren	Auslösen eines Störfalls durch Fehlverhalten oder Unvermögen der Mitarbeiter oder organisatorische Mängel
Umwelteinfluss	Auslösen eines Störfalls durch einen Defekt im System, bedingt durch Erdbeben, Blitz, Hochwasser etc.
Domino-Effekte	Störfall, ausgelöst durch einen anderen Störfall bzw. Unfall
Komponente zum Parameter Systemfehler	
Runaway	Systemversagen aufgrund eines Wärme produzierenden Prozesses, der sich selbst verstärkt, (thermischer Exkurs).
Staubexplosion	Systemversagen aufgrund der Zündung eines unverbrannten Staubes bei Vorhandensein von genügend Sauerstoff in einem Reaktionsgefäß oder einem Raum. Sind die Apparaturen druckstossfest ($p > 10$ bar), dann sind Explosions-Folgeschäden auf den umgebenden Raum nicht zu erwarten.
Brand	Systemversagen aufgrund eines Brandes, an welchem die HAS unmittelbar beteiligt sind oder von welchem diese umgeben werden. HAS können schmelzen, verdampfen, sich zersetzen oder verbrennen.
Behälterversagen	Versagen eines Behälters aufgrund eines nicht zulässigen Über- oder Unterdrucks.
Verpackungsleck	Beschädigung (z.B. mechanische) der Verpackung. Bei diesem Systemfehler wird nur der ausgetretene Anteil des HAS mit dem Quellstärke-Faktor multipliziert. Bei den anderen Systemfehlern wird die gesamte im System enthaltene Stoffmenge mit dem Quellstärke-Faktor verrechnet.
Komponente zum Parameter betroffene Systembarriere¹⁶	
Blow-down-Tank	Dem Prozess nachgeschalteter Sicherheitstank, der rasch austretendes Material abfangen soll. Eine nicht optimale Auslegung der Barriere führt dazu, dass nicht die gesamte Menge des HAS zurückgehalten werden kann.
2nd Containment	Weitere Barriere (Haus in Haus) zum 1 st Containment (Behälter, Reaktor, Verpackung). Eine nicht optimale Auslegung der Barriere führt dazu, dass nicht die gesamte Menge des HAS zurückgehalten werden kann.
HEPA-Filter-System	Ein Filter mit sehr kleiner Porengrösse, mit dem der Austritt von Partikeln (Aerosolen) verhindert werden kann. Eine nicht optimale Auslegung oder Überbeanspruchung der Systembarriere führt dazu, dass nicht die gesamte Menge des HAS zurückgehalten werden kann.

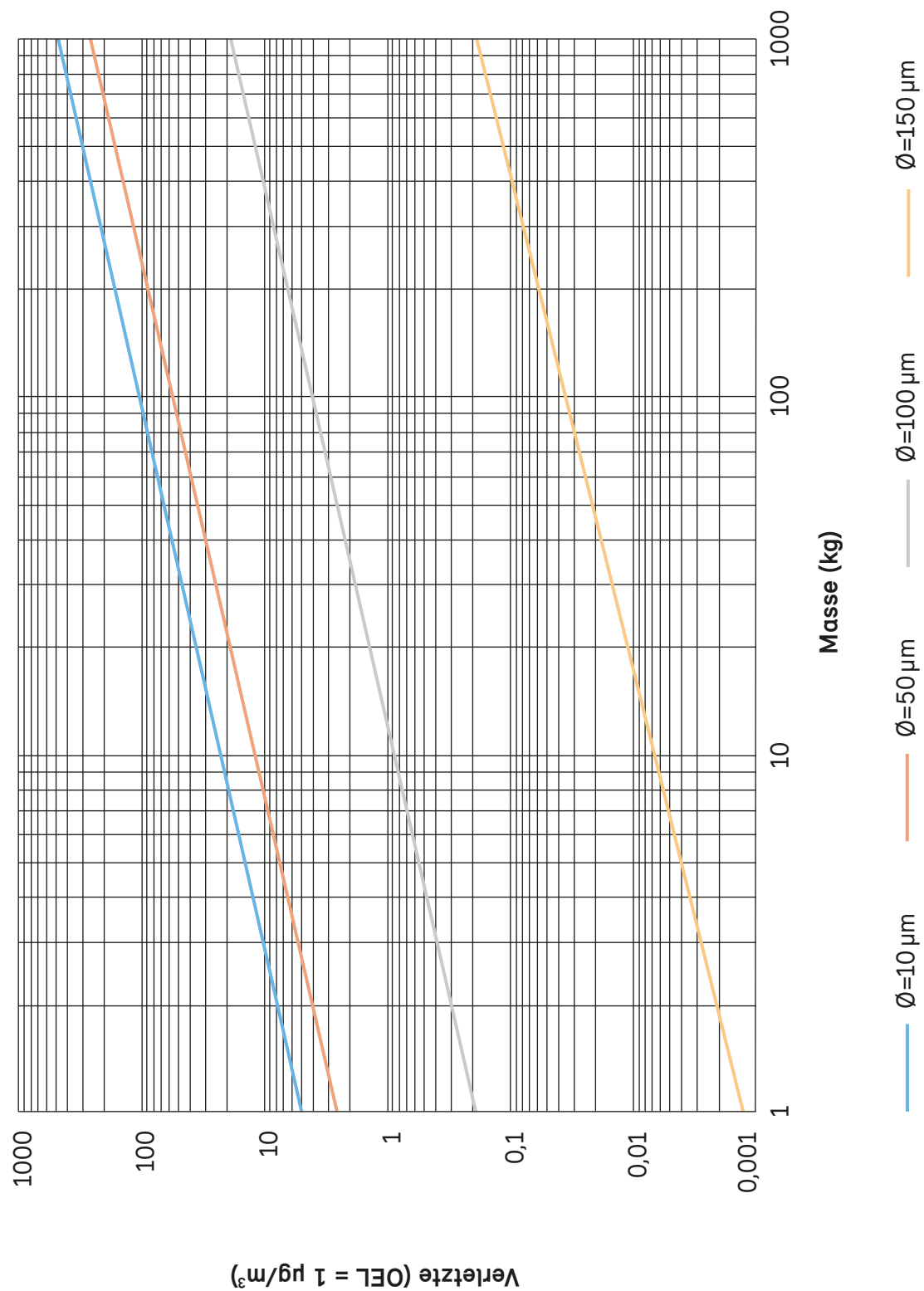
¹⁶ Bei den Quellstärke-Faktoren für die Komponenten zum Parameter «Systembarrieren» handelt es sich nicht um Zuverlässigkeitswerte der aufgeführten Sicherheitsmassnahmen, sondern um den zu erwartenden Anteil, welcher beim Versagen der Massnahme realistischere Weise freigesetzt werden kann. Auch beim kompletten Versagen der Sicherheitsmassnahmen, von welchem auf Stufe Kurzbericht ausgegangen werden muss, kann aufgrund von physikalischen Grenzen (Querschnitte von Öffnungen gegen aussen etc.) davon ausgegangen werden, dass nicht die gesamte am Störfall beteiligte Menge eines HAS in die Umwelt gelangt.

Konente	Beschreibung der Komponente
Keine	Es ist keine Systembarriere vorhanden. Dies ist z. B. bei einem Verpackungsleck im Freien denkbar. Somit wird die Freisetzung durch keine Systembarriere beeinflusst.
Andere	Falls andere Systembarrieren eingesetzt werden, sind hier konkrete Angabe über deren Art und Ausgestaltung zu machen. Als Grundannahme für die Herleitung des «worst-case»-Szenarios ist davon auszugehen, dass durch eine falsche Auslegung bzw. Dimensionierung der Barriere nicht die gesamte Menge des HAS zurückgehalten werden kann. In der Regel ist ein Faktor > 0 einzusetzen.
Komponente zum Parameter Freisetzung	
Aerosol mit Flüssigkeit	Die Freisetzung des HAS in die Umwelt erfolgt als Flüssigkeit oder gelöst, in Form von in der Luft suspendierten Tröpfchen ($\varnothing \leq 10 \mu\text{m}$)
Pulver $\varnothing < 10 \mu\text{m}$ Standard¹⁷	Die Freisetzung des HAS in die Umwelt erfolgt als Pulvergemisch mit mittlerem Partikel-Durchmesser $\leq 10 \mu\text{m}$ ($2 \mu\text{m} < \varnothing \leq 10 \mu\text{m}$). Partikel mit $< 2 \mu\text{m}$ Partikel-Durchmesser verhalten sich wie Gase. Bei der Ausmasseneinschätzung sind in den Nomogrammen der Abbildungen 4, 5, 7 und 8 die Werte auf der Kurve für eine mittlere Partikelgrösse von $10 \mu\text{m}$ abzulesen.
Pulver $\varnothing \approx 50 \mu\text{m}$	Die Freisetzung des HAS in die Umwelt erfolgt als Pulvergemisch mit einem mittleren Partikel-Durchmesser im Bereich von $50 \mu\text{m}$ ($150 \mu\text{m} < \varnothing < 10 \mu\text{m}$). Bei der Ausmasseneinschätzung sind in den Nomogrammen der Abbildungen 4, 5, 7 und 8 die Werte auf der Kurve für eine mittlere Partikelgrösse von $50 \mu\text{m}$ abzulesen.
Pulver $\varnothing \approx 150 \mu\text{m}$	Die Freisetzung des HAS in die Umwelt erfolgt als Pulvergemisch mit mittlerem Partikel-Durchmesser im Bereich von $150 \mu\text{m}$ ($400 \mu\text{m} < \varnothing < 150 \mu\text{m}$). Bei der Ausmasseneinschätzung sind in den Nomogrammen der Abbildungen 4, 5, 7 und 8 die Werte auf der Kurve für eine mittlere Partikelgrösse von $150 \mu\text{m}$ abzulesen.
Pulver $\varnothing \geq 400 \mu\text{m}$	Die Freisetzung des HAS in die Umwelt erfolgt als Pulvergemisch mit mittlerem Partikel-Durchmesser $\varnothing \geq 400 \mu\text{m}$. Ab diesem Partikeldurchmesser sind keine Staubexplosionen mehr möglich [19]. Bei der Ausmasseneinschätzung sind in den Nomogrammen der Abbildungen 1, 4, 7 und 8 die Werte auf der Kurve für eine mittlere Partikelgrösse von $150 \mu\text{m}$ abzulesen (konservative Annahme).
Dampf	Die Freisetzung des HAS in die Umwelt erfolgt durch Verdampfung von Flüssigkeiten aus einer Lache. Bei der Ausmasseneinschätzung sind in den Nomogrammen der Abbildungen 1, 4, 7 und 8 die Werte auf der Kurve für eine mittlere Partikelgrösse von $10 \mu\text{m}$ abzulesen (konservative Annahme).
Komponente zum Parameter Emission	
Abblasleitung	Der HAS wird über die Abblasleitung in die Umwelt freigesetzt. Entweder direkt aus einem System ohne Filter oder über den Blow-down-Tank.
Lüftung	Der HAS wird über die Lüftung, Zu- oder Abluft eines Systems oder eines Raumes in die Umwelt freigesetzt.
Gebrochene Fenster/Wand	Der HAS wird über Risse und Löcher in Fenster und Wand in die Umwelt freigesetzt.
Gebäudeöffnung	Der HAS wird über offene Fenster, Türen oder Tore (z. B. Lager) in die Umwelt freigesetzt.
Im Freien	Die Substanz ist von keinem Raum umschlossen und wird direkt in die Umwelt freigesetzt.

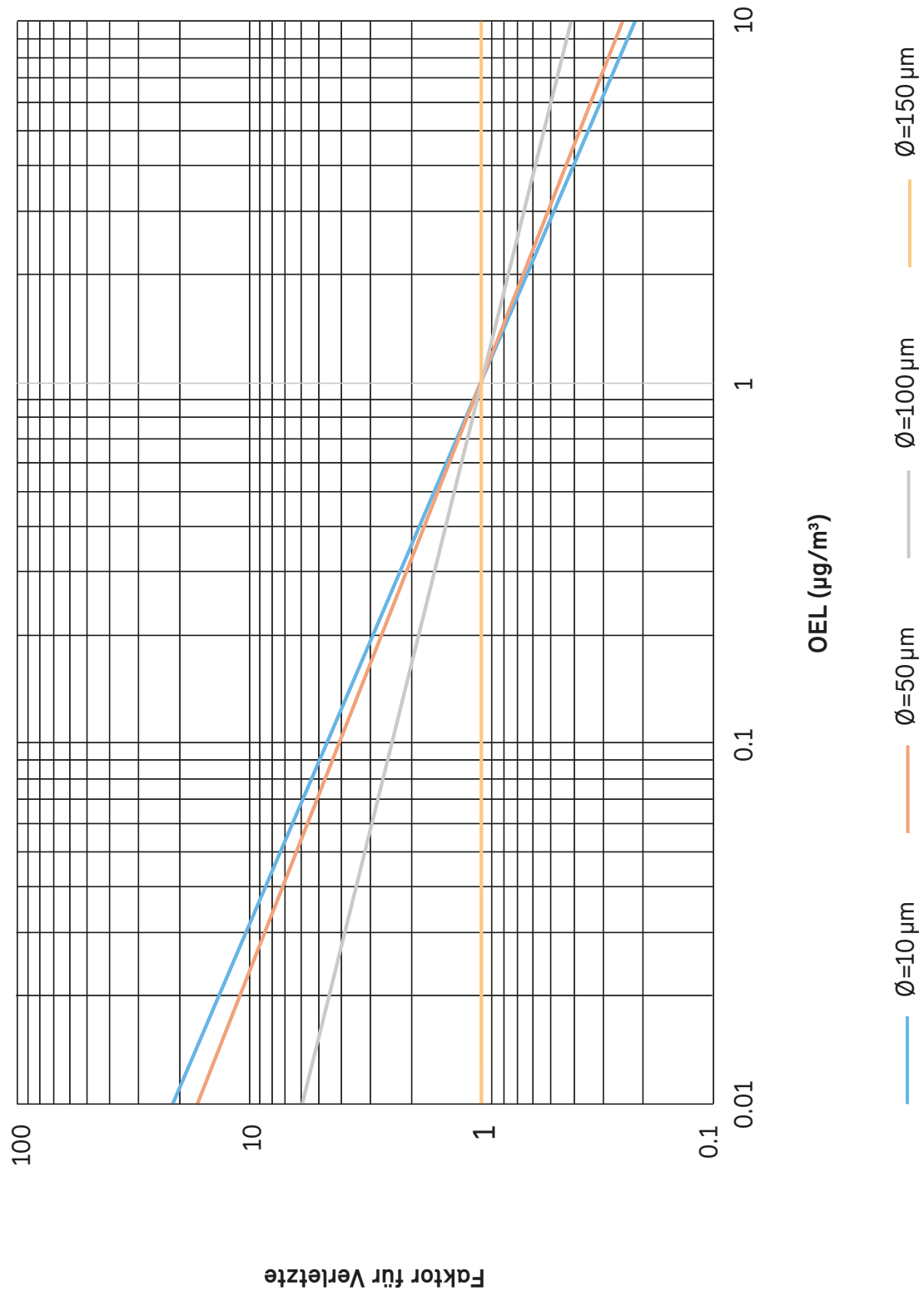
¹⁷ Der Standard ist zu verwenden, falls keine durch Messungen belegten Partikel-Durchmesser vorhanden sind.

Konente	Beschreibung der Komponente
Komponente zum Parameter Transmission	
Luft	Die Ausbreitung des HAS erfolgt in Form einer Schadstoffwolke über die Luft. Dieser Transmissionspfad wurde mittels des Kurzzeit-Modells «Simulation of Effects caused by Incidents with HAS (SEIHAS)» mit den im Anhang aufgezeigten Parametern berechnet.
Brandgase	Der HAS wird mit der Thermik des Brandes in die Höhe gerissen, worauf sich dieser zusammen mit den Brandgasen als Schadstoffwolke in der Umwelt verteilt. Die Ausbreitung dieser Schadstoffwolke kann mittels den Berechnungen für den Transmissionspfad «Luft» abgeschätzt werden.
Komponente zum Parameter Exposition	
Inhalation	Die Aufnahme des HAS durch die exponierten Personen erfolgt über die Lunge aus einer Partikel- bzw. Aerosolwolke.
Aufnahme dermal	Die Aufnahme des HAS durch die exponierten Personen erfolgt über die Haut aus einer Partikel- bzw. Aerosolwolke oder über Kontaminationen.
Komponente zum Parameter Effekte	
Schwerwiegender Effekt	Die exponierten Personen erleiden Verletzungen oder sind in ihrer Flucht behindert, entsprechend der Definition des TEEL-2-Werts.
Lebensbedrohlicher Effekt	Die exponierten Personen erleiden schwere Verletzungen entsprechend der Definition des TEEL-3-Werts
CMR-Effekt	Die gegenüber CMR-Substanzen der Klassen 1 und 2 exponierten Personen weisen ein signifikant erhöhtes Krebsrisiko ($> 1:10000$), oder ein erhöhtes Risiko von Genmutationen oder Beeinträchtigungen der Fortpflanzungsfähigkeit oder von Entwicklungsschäden bei Nachkommen auf. Diese Personen werden als Verletzte betrachtet.

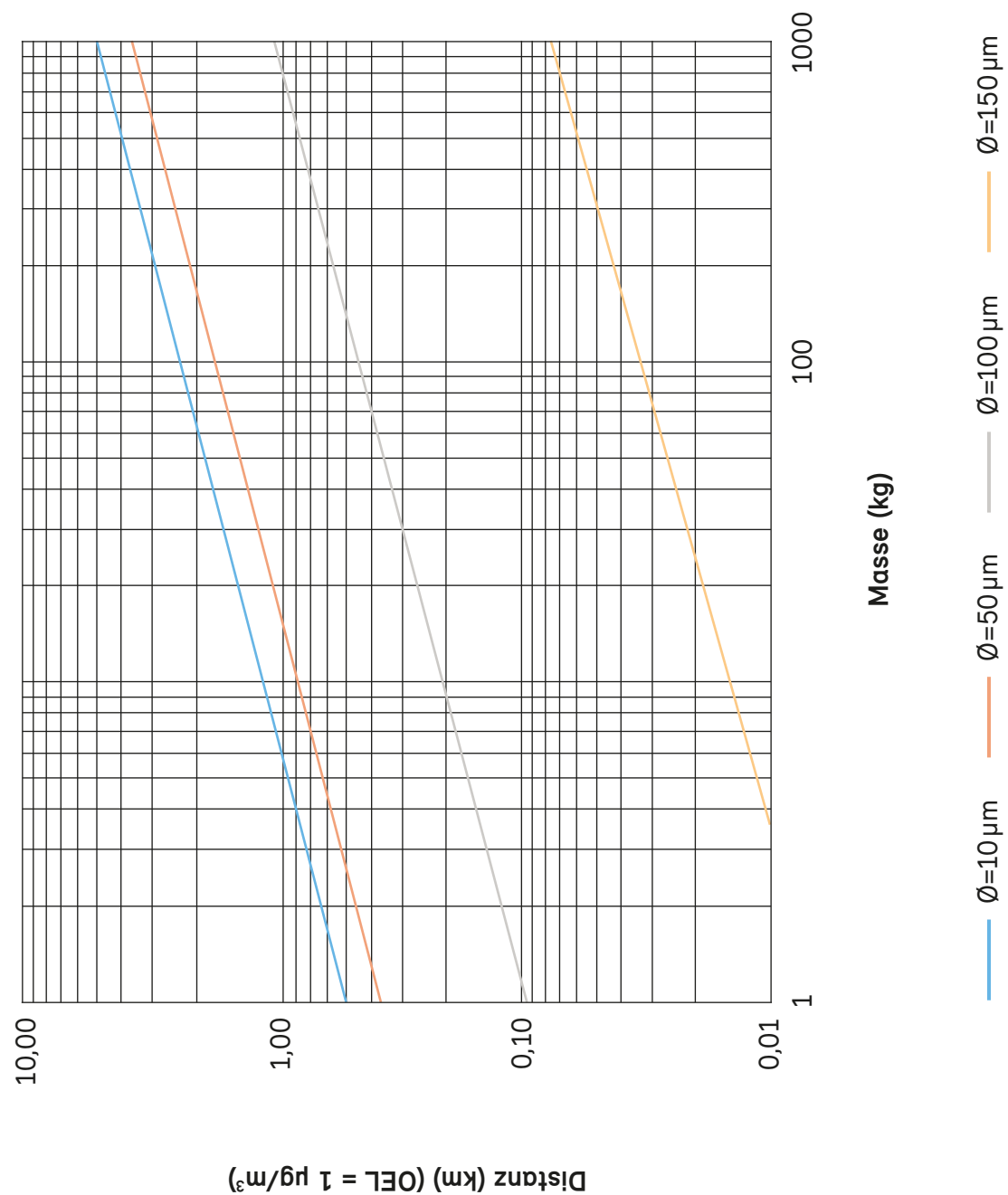
Anhang III; Nomogramm zur Ausmasseinschätzung – Anzahl Verletzte in Funktion der freigesetzten Masse der hochaktiven Stoffe bei einem Standard OEL-Wert von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und einer Bevölkerungsdichte von $1000 \text{ Personen}/\text{km}^2$.



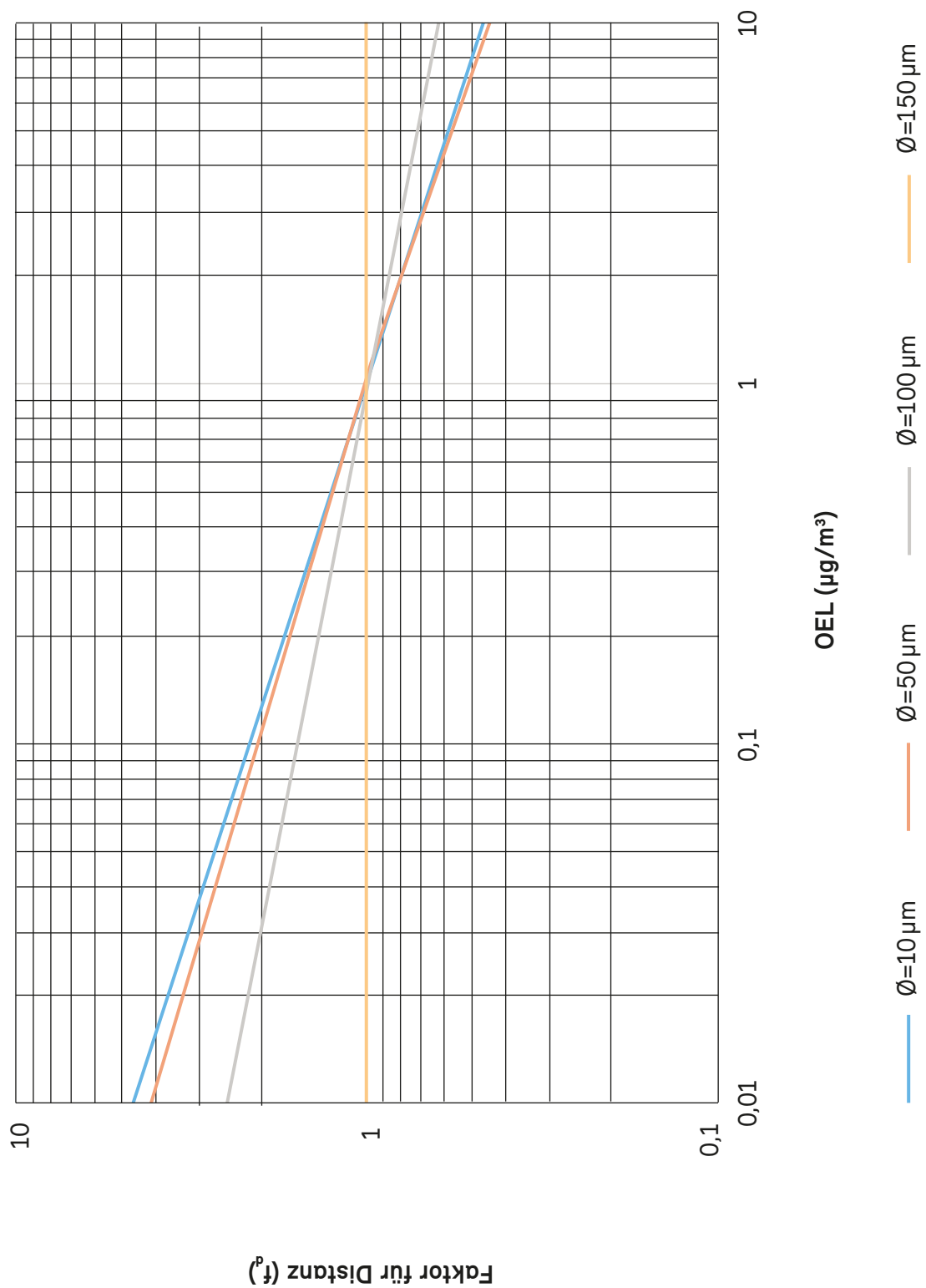
Anhang IV; Nomogramm zur Ausmasseseinschätzung – Faktor für die Anzahl Verletzte, wenn der OEL von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ abweicht.



Anhang V; Nomogramm zur Ausmasseinschätzung – Maximale Distanz (d_{max}) der Ausbreitungswolke in km in Funktion von Masse und Partikelgrösse mit einem OEL-Wert = 1 µg/m³.



Anhang VI; Nomogramm zur Ausmasseneinschätzung – Korrekturfaktor für die maximale Distanz, wenn $OEL \neq 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (somit $d_{\text{max}} = d_{OEL=1 \mu\text{g}/\text{m}^3} \times f_d$).



Anhang VII; Herleitung von Formel 2

Die gesamte von der Schadstoffwolke betroffene Fläche kann grob abgeschätzt werden mit:

Formel VII.1: Maximal betroffene Fläche $\approx (d_{\max} [\text{km}] \times \text{Faktor für Distanz})^2 \times 0,177$ ¹⁸

Die Anzahl der Verletzten in der maximal betroffenen Fläche ohne Korrektur der lokalen Bevölkerungsdichte wird wie folgt ermittelt:

Formel VII.2: Anzahl Verletzte in der maximal betroffenen Fläche $\approx$ Maximal betroffene Fläche $\times$ Mittlere Bevölkerungsdichte im von der Wolke betroffenen Gebiet $\times$ Anteil

Personen im Freien $\approx (d_{\max} [\text{km}] \times \text{Faktor für Distanz})^2 \times 0,177 \times B_M (P/\text{km}^2) \times 0,11$

Bereiche mit stark abweichenden lokalen Bevölkerungsdichten müssen entsprechend ihren Flächenanteilen (siehe Formel 3, 4) und der dort vorhandenen lokalen Bevölkerungsdichten korrigiert werden.

Die lokal zu korrigierende Fläche $F_{\text{kor}}^{\text{kor}}$ ist:

Formel VII.3: $F_{\text{kor}}^{\text{kor}} = w_{\text{kor}} (\text{km}) \times l_{\text{kor}} (\text{km})$

Die Anzahl Verletzte, welche in einem Gebiet ($F_{\text{kor}}^{\text{kor}}$) mit stark abweichender Bevölkerungsdichte zusätzlich berücksichtigt werden muss, kann gemäss untenstehender Formel grob abgeschätzt werden:

Formel VII.4: Anzahl Verletzte in Gebiet mit abweichender Bevölkerungsdichte $\approx$ Fläche $\times$ (lokale Bevölkerungsdichte – mittlere Bevölkerungsdichte) $\times$ Anteil der Personen im Freien $\approx F_{\text{kor}}^{\text{kor}} (\text{km}^2) \times (B_L [P/\text{km}^2] - B_M [P/\text{km}^2]) \times 0,11$

Die für die Beurteilung relevante Anzahl der Verletzten in der maximal betroffenen Fläche errechnet sich nun als Summe aller Verletzten in Gebieten mit abweichender Bevölkerungsdichte mit der Anzahl Verletzten in der maximal betroffenen Fläche.

Formel VII.5: Totale Anzahl Verletzte $\approx \Sigma$ (Anzahl Verletzte in Gebieten mit abweichender Bevölkerungsdichte) + Anzahl Verletzte in der maximal betroffenen Fläche

¹⁸ 0,177 entspricht dem Tangens von 10° für die Fläche und den Ausbreitungswinkel von 20° für die Luftstabilitätsklasse D (siehe Abbildung 6).

Verzeichnisse

Glossar

AEGL: Acute Exposure Guideline Levels sind toxikologisch begründete Spitzenkonzentrationswerte, welche im Rahmen der Störfallvorsorge wie auch in der Ereignisbewältigung eingesetzt werden.

Ausbreitungsklasse: Meteorologische Klassierung des physikalischen Ausbreitungsverhaltens von Substanzen in der Luft. Nach Pasquill sind sie in die Klassen A–G, von sehr labil über stabil bis sehr stabil eingeteilt.

Bemusterung: Prüfung von Stoffen und Zubereitungen auf Erfüllung vorgegebener Eigenschaften im Rahmen der Produktion, Lagerung und bei Ein- und Ausgangskontrollen.

Blisterpackung: Eine Produktverpackung, die es dem Kunden bzw. Käufer erlaubt, den verpackten Gegenstand zu sehen. Das Produkt wird dabei vor einer meist mit Informationen bedruckten Rückwand (z. B. Aluminiumfolie) präsentiert und mit einem Kunststofffolienformteil fixiert. Diese Verpackung wird häufig als Tablettenverpackung genutzt. Dabei steht jedoch nicht die Sichtbarkeit des Inhalts im Vordergrund, sondern die Möglichkeit der Einzelentnahme.

Box-Modell: Die freigesetzten HAS werden in einem Kugelsegment gleichmässig (isotrop) verteilt. Dieses Kugelsegment verschiebt sich in Windrichtung. Dabei nimmt der Radius im Winkel entsprechend der Ausbreitungsklasse zu. In vertikaler Richtung vermindert sich bei Partikeln die Ausbreitung um die Sedimentationsgeschwindigkeit. Das – Volumen, das sich durch den Radiuszuwachs vergrössert, wird durch Lufteinmischung gefüllt, was die HAS-Konzentration entsprechend verringert. Es wird eine schnelle Durchmischung innerhalb der Wolke angenommen, was zu einer konstanten Konzentration innerhalb der Box führt.

Bulk-Ware: Bulkware (Massengut) ist nach Definition der Vereinten Nationen jedes Transportgut, das sich auf Grund seiner gleichmässigen physikalischen Eigenschaften für Massengutumschlag und -transport anbietet. Es handelt sich um Waren in grosser Liefermenge, die meist nicht für den Endverbraucher bestimmt sind, sondern für Händler und weiterverarbeitende Unternehmen, und meist noch in ein Endprodukt einfließen. Bei Bulkware handelt es sich somit in der Regel um Halbfabrikate und Produktionsgut.

CMR: Substanzklasse, die sich durch carcinogene, mutagene oder reproduktionstoxische Wirkungen auszeichnet.

ED50: Effekt-Dosis 50 % ist eine Wirkdosis, bei der 50 % der beobachteten Individuen den erwarteten Effekt zeigen.

ERPG: Emergency Response Planning Guidelines sind wie die AEGL-Werte toxikologisch begründete Spitzenkonzentrationswerte, welche im Rahmen der Störfallvorsorge wie auch der Ereignisbewältigung eingesetzt werden. Im Unterschied zu den AEGL-Werten werden sie jedoch nur für eine Expositionszeit von einer Stunde berechnet. Die ERPG-Werte werden, sobald AEGL-Werte festgelegt sind, durch diese ersetzt.

Excess cancer risk: Durch eine vorgegebene Belastung hervorgerufenen zusätzlichen Krebsrisiko.

HAS: Hochaktive, hochwirksame Substanzen zeichnen sich durch hohe spezifische Wirkungen aus. In der englischsprachigen Literatur werden HAS für pharmazeutische Produkte als High Potency Active Pharmaceutical Ingredients (HPAPI) bezeichnet.

HEPA-Filter: Filter zur Abscheidung von Schwebstoffen aus der Luft. Sie zählen zu den Tiefenfiltern und scheiden Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser ab, der kleiner als 1 µm ist. Nach ihrer Abscheidewirksamkeit werden sie unterteilt in Hochleistungs-Partikelfilter (EPA=Efficient Particulate Air filter), Schwebstofffilter (HEPA=High Efficiency Particulate Air filter) und Hochleistungs-Schwebstofffilter (ULPA=Ultra Low Penetration Air filter). Schwebstofffilter werden zur Ausfilterung von z.B. Bakterien und Viren, Pollen, Milbeneiern und -ausscheidungen, Stäuben, Aerosolen und Rauchpartikeln aus der Luft benutzt. Die Partikelabscheidung erfolgt zum einen durch Siebwirkung (kleine Porengrösse) und zum anderen durch Anhaften an den Filterfasern (Trägheits-, Diffusionseffekte, etc.).

IDLH-Werte: Immediately Dangerous to Life and Health ist ein Referenzwert für die **Maximalkonzentration** eines Stoffes in der Luft, bei der man, wenn man innerhalb von 30 Minuten flüchtet, keine schweren oder bleibenden Schäden davonträgt.

IOEL: Indicative Occupational Exposure Limit. Dabei handelt es sich um Grenzwerte, welche vom Europäischen Rat festgelegt werden. Diese Werte sind für die Mitgliedstaaten nicht bindend, sollen aber bei der Festlegung der OEL-Werte berücksichtigt werden.

LC50: Lethal Concentration 50%- ist die in der Umgebung (Wasser, Erdreich oder Atemluft) befindliche und wirksame Konzentration einer chemischen Substanz, die innerhalb eines definierten Zeitraums für 50 % einer bestimmten Art von Lebewesen tödlich ist.

LD50: Die letale Dosis eines bestimmten Stoffes, welche für ein bestimmtes Lebewesen zu 50 % tödlich (letal) wirkt.

LOC: Level Of Concern («Besorgniswert») ist die Konzentration eines extrem gefährlichen Stoffes in der Luft, oberhalb welcher es bei einer Kurzzeiteexposition zu irreversiblen Gesundheitsschäden oder zum Tode kommen kann.

MAK: Die Maximale Arbeitsplatz-Konzentration gibt die maximal zulässige Konzentration eines Stoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der (Atem-) Luft am Arbeitsplatz an, bei der kein Gesundheitsschaden zu erwarten ist, auch wenn man der Konzentration in der Regel 8 Stunden täglich, maximal 40 (42) Stunden in der Woche, ausgesetzt ist (Schichtbetrieb).

Monodisperse Partikel: Partikel mit einer einheitlichen Partikelgrösse. In der Praxis haben Pulver eine statistische Verteilung der Partikelgrössen um einen Mittelwert.

OEL: Occupational Exposure Limits sind Obergrenzen für zulässige Konzentrationen eines gefährlichen Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz für eine tägliche Exposition während der Arbeitszeit.

PEL: Permissible Exposure Level ist ein in den U.S. eingesetzter Arbeitsplatz-grenzwert.

Primäres Containment: Geschlossenes System, das mit den Substanzen (HAS) direkt in Berührung kommt und diese unmittelbar einschliesst.

Polydisperse Partikel: Partikel mit unterschiedlicher Partikelgrösse. Pulver sind in der Praxis meist polydispers bzw. weisen eine statistische Verteilung der Partikelgrössen um einen Mittelwert auf.

Puff-Modell: Beim Störfall wird die ganze Masse HAS entsprechend der Quellstärke spontan freigesetzt. Damit ist die Quellstärke unabhängig vom Freisetzungsszenario. Dieses Modell ist konservativ.

QSAR: Quantitative Structure-Activity Relationship, Quantitative Struktur-Wirkungs-Beziehung. QSAR-Modelle sind Regressions- und Klassierungs-Modelle, mit welchen für chemische Strukturen durch Vergleiche mit gut bekannten Substanzen abgeschätzte quantitative physikalische, chemische und toxikologische Eigenschaften zugeordnet werden können.

Runaway: Thermischer Exkurs aufgrund eines sich selbst verstärkenden, Wärme produzierenden Prozesses

SEIHAS: Durch Prof. Dr. Peter Bützer entwickeltes Kurzzeit-Modell (Puff und Box-Modell) «Simulation of Effects caused by Incidents with HAS (SEIHAS)» zur Simulation von Ausbreitungen von Partikelwolken.

Sekundäres Containment: Umschliessung des primären Containments durch eine zweite Hülle.

STEL: Short-Term Exposure Limit ist ein Kurzzeitexpositionsgrenzwert

TCLo: Geringste bekannte toxische Konzentration.

TDLo: Geringste bekannte toxische Dosis.

TEEL: Temporary Emergency Exposure Limits sind vorläufige Störfall-Konzentrationsleitwerte, die mit einem nachvollziehbaren Verfahren aus anderen Richt- und Grenzwerten abgeschätzt werden. Sie sind immer dann zu verwenden, wenn keine besseren Werte verfügbar sind.

TEEL-2: Temporary Emergency Exposure Limits Stufe 2 sind vorläufige mit einem ungenauen Verfahren abgeleitete Störfall-Konzentrationsleitwerte mit der Schwelle zu schwerwiegenden, lang andauernden oder fluchtbehindernden Wirkungen.

TLV: Der Threshold Limit Value ist ein Arbeitsplatzgrenzwert, für welchen bei einer lebenslangen Exposition keine negativen Effekte auf die Gesundheit zu erwarten sind.

Verletzte: Hier definiert als Personen, die der Dosis einer Konzentration des TEEL-2-Wertes während 1 Stunde und mehr ausgesetzt gewesen sind.

Literatur

- [1] Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV) vom 27. Februar 1991 (Stand am 1. Juni 2015), 814.012
- [2] U.S. Department of Energy, DOE Handbook, Temporary Emergency Exposure Limits for chemicals: Methods and Practice, DOE-HDBK-1046-2008, August 2008
- [3] Bundesamt für Umwelt, Systematisches Vorgehen, Vollzugshilfe Handbuch zur Störfallverordnung, Bern, 2017
- [4] Expertenkommission für Sicherheit in der chemischen Industrie der Schweiz (ESCIS), GSU-Management in einem Produktionswerk der chemischen Industrie, Heft 16/2013
- [5] Mannan S., Lees' Loss Prevention in the Process Industries: Management and Management Systems, 2012, 4. Ed., Vol. 1, 108 – 130.
- [6] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Arbeitskreis «Pharmazeutische Industrie», Sicheres Arbeiten in der pharmazeutischen Industrie, Jedermann-Verlag GmbH, Heidelberg, 2012, 115
- [7] Health and Safety Executive (HSE), COSHH Essentials, HSG193, Her Majesty's Stationery Office, Colegate, 1999, Health and Safety Executive (HSE), HSG193, Index to the Control Guidance Sheets, May 1999
- [8] Thayer A.M., Contained Chemistry, Chem. & Eng. News, 88(24), 2008 17-27, Farris J.P., Ader A.W., Ku R.H., History, implementation and evolution of the pharmaceutical hazard categorization and control system, Chemistry Today, 24(2), 2006, 5 – 10 [6] Hirst N., Brocklebank M., Ryder M. (eds.), Contained Systems, Institution of Chemical Engineers, Rugby, 2002
- [9] Müller L., Mauthe R.J., Riley C.M., Andino M.M., De Antonis D., Beels C., DeGeorge J., De Knaep A.G.M., Ellison D., Fagerland J.A., Frank R., Fritschel B., Galloway S., Harpur E., Humfrey C.D.N., Jacks A.S., Jagota N., Mackinnon J., Mohan G., Ness D.K., O'Donovan M.R., Smith M.D., Vudathala G., Yotti L., A rationale for determining, testing, and controlling specific impurities in pharmaceuticals that possess potential for genotoxicity, Regulatory Toxicology and Pharmacology, 44, 2006, 198 – 211
- [10] DOE Handbook, Temporary Emergency Exposure Limits for Chemicals: Methods and Practice, DOE-HDBK-1046-2008, August 2008, 10

-
- [11] Bützer P., SEIHAS (Simulation of Effects caused by Incidents with HAS), ein systemdynamisches Modell mit Simulation mit Vensim Pro (Version 6.0.0.1) 2016, Bützer P., Mögliche Folgen von Störfällen mit hochaktiven Stoffen (HAS), CLB, 67(09-10), 2016, 408 – 423
- [12] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Pesticide Chemical Runaway Reaction Pressure Vessel Explosion, Report No. 2008-08-I-WV, January 2011, 8, 88
- [13] Simulation: z. B. Spijker C., Kern H., Raupenstrauch H., Held K., Modeling Dust Explosions, AIChE, 2013 Annual Meeting; TNT-Äquivalente: BAFU, Brand- und Explosionseigenschaften synthetischer Nanomaterialien. Erste Erkenntnisse für die Störfallverordnung, Bern, 2010, 24-26; Formula:(Kaiser W. et al, Ermittlung und Berechnung von Störfallablaufszszenarien nach Massgabe der 3. Störfallverwaltungsvorschrift, Band 1, Forschungsbericht 297 48 428, UBA-FB 000039/1, 42.
- [14] Grossel S.S., Crowl D.A. (eds.), Handbook of Highly Toxic Materials Handling and Management, Marcel Dekker Inc., New York, 1995, 344
- [15] Warnatz J., Maas U., Dibble R.W., Verbrennung, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 3. Auflage, 2001, 296.
- [16] Drysdale D., Fire Dynamics, John Wiley & Sons, Chichester, 2nd ed., 2007, 339; Hauptmanns U., Herttrich M., Werner W., Technische Risiken, Springer Verlag, Berlin, 1987, 129.
- [17] Crowl D.A., Britton L.G., Frank W.L., Grossel S., Hendershot D., High W.G., Johnson R.W., Kletz T.A., Leung J.C., Morre D.A., Ormsby R., Prugh R.W., Owens J.E., Siwek R., Spicer T.O., Summers A., Willey R., Woodward J.L., Perry's Chemical Engineers' Handbook, 8th Edition, Section 23, Process Safety, The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008, 23 – 80 – 23 – 87
- [18] Cormier S.A., Lomnicki S., Backes W., Dellinger B., Origin and Health Impacts of Emissions of Toxic By-Products and Fine Particles from Combustion and Thermal Treatment of Hazardous Wastes and Materials, Environmental Health Perspectives, 114(6), 2006, 810 – 817
- [19] EPA, Soil Screening Guidance: User's Guide, Second Edition, EPA/540/R-96/018, July 1996

-
- [20] Klepeis N.E., Nelson W.C., Ott W.R., Robinson J.P., Tsang A.M., Switzer P., Behar J.V., Hern S.C., Engelmann W. H., The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS), A Resource for Assessing Exposure to Environmental Pollutants, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 11, 2001, 231 – 252.
- [21] Bundesamt für Statistik, 01 Bevölkerung, www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/regionen/thematische_karten/03/14/01/01.html, 11. Juli 2016