

Störfallvorsorge bei zivilen Betrieben mit Explosivstoffen

Ein Modul des Handbuchs zur Störfallverordnung



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Störfallvorsorge bei zivilen Betrieben mit Explosivstoffen

Ein Modul des Handbuchs zur Störfallverordnung

Impressum

Rechtliche Bedeutung

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert die bundesumweltrechtlichen Vorgaben (bzgl. unbestimmten Rechtsbegriffen und Umfang/Ausübung des Ermessens) 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.

Herausgeber

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

Projektleitung

Michael Hösli (BAFU)

Autoren

Dr. Peter Gerber (Emch+Berger AG), Dr. Renato Spahni (Emch+Berger AG), Dr. Dominique Huber (AWEL ZH), Dr. Philippe Kindler (KL BE), Raphaël Gonzalez (BAFU)

Arbeitsgruppe

Christian Bieri (Fedpol), Patrick Blanc (FOR ZH), Alois Degonda (ANU GR), Daniel Dietrich (Fedpol), Christophe Dirren (SPT VS), Clo Gregori (SSE SA), Werner Good (GVZ), Jean-Pascal Guinand (Sugyp SA), Ergin Hacilar (RUAG AG), Bruno Hertzog (AfU TG), Pascal Imhof (GS-VBS)*, Fabian Venetz (SSE SA), Thomas Willen (Pyrowillen), Tamara Zurfluh (AfU UR)

*Fachliche Unterstützung durch: Bienz, Kummer und Partner AG

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2022: Störfallvorsorge bei Betrieben mit Explosivstoffen. Ein Modul des Handbuchs zur Störfallverordnung. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1807: 50 S.

Gestaltung

Funke Lettershop AG

Titelbild

Lagerung von Explosivstoffen in Kisten.
© J-Hyde, Adobe Stock

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uv-1807-d
Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

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

© BAFU 2022

Inhaltverzeichnis

Abstracts	5
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Geltungsbereich gemäss Störfallverordnung (StFV)	11
1.1 Abklärung des Geltungsbereichs mittels der Nettoexplosivstoffmenge	11
1.2 Vorgehen bei Mehrkomponenten-Sprengstoffen	13
2 Sicherheitsmassnahmen bei zivilen Betrieben mit Explosivstoffen	14
2.1 Anlagetypen	14
2.2 Bauliche Sicherheitsmassnahmen	15
2.3 Technische Sicherheitsmassnahmen	16
2.4 Sicherheitskonzepte – organisatorische Sicherheitsmassnahmen	16
3 Ausmasseinschätzung bezüglich der Bevölkerung für den Kurzbericht	17
3.1 Bestimmung der massgebenden Störfallszenarien	17
3.2 Erläuterungen zu den Parametern der Szenarien-Box	19
3.3 Abschätzung Anzahl Todesopfer	25
4 Ausmasseinschätzung bezüglich der Umwelt für den Kurzbericht	28
4.1 Ausmasseinschätzung für oberirdische Gewässer	28
4.2 Ausmasseinschätzung für unterirdische Gewässer	29
5 Hinweise zur Risikoermittlung	30
Anhang	33
Glossar	47
Literatur	49

Abstracts

This enforcement aid 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 general safety measures are also presented. This enforcement aid provides support for the owners of civil installations that work with explosives 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.

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

La présente aide à l'exécution 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. Cette aide à l'exécution se veut donc un outil à l'intention des détenteurs d'entreprises civiles travaillant avec des substances explosives, 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.

La presente aiuto all'esecuzione 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. In tal modo, il presente aiuto all'esecuzione supporta i detentori delle aziende civile con esplosivi nell'attuazione delle esigenze specifiche dell'OPIR e le autorità esecutive nello svolgimento della procedura di controllo e di valutazione secondo l'OPIR.

Keywords :

Explosives, scope in accordance with the MAO, estimation of extent of possible harm or damage, safety measures

Stichwörter:

Explosivstoffe, Geltungsbereich gemäss StFV, Ausmasseinschätzung, Sicherheitsmassnahmen

Mots-clés :

Explosifs, champ d'application selon l'OPAM, évaluation de l'ampleur des dommages, mesures de sécurité

Parole chiave :

Esplosivi, campo d'applicazione secondo l'OPIR, stima dell'entità dei danni, misure di sicurezza

Vorwort

Die Erfahrung zeigt, dass bei Betrieben, welche mit Explosivstoffen umgehen Störfälle zwar selten sind, aber nicht gänzlich ausgeschlossen werden können. Die Schweiz ist seit mehreren Jahrzehnten von Störfällen mit Explosivstoffen verschont geblieben. Dies soll auch in Zukunft so bleiben. Dazu leistet diese Vollzugshilfe einen Beitrag.

Der Störfallverordnung (StFV) unterstehen seit deren Revision im Jahr 2015 auch Betriebe, in welchen mit Explosivstoffen umgegangen wird. Beispiele solcher Betriebe finden sich im Bereich der Produktion, Lagerung, Entsorgung sowie dem Vertrieb von Explosivstoffen wie Feuerwerkskörpern oder Munition. Ebenso können Grossbaustellen mit Verwendung von Explosivstoffen in den Geltungsbereich der StFV fallen.

Mit dieser in einer Arbeitsgruppe bestehend aus Behörden und Inhabern von zivilen Betrieben erarbeiteten Vollzugshilfe werden Leitlinien zur Harmonisierung des Vollzugs bereitgestellt. Die Vollzugshilfe gibt vor, wie der Geltungsbereich der StFV in diesem spezifischen Bereich zu prüfen ist. Für Betriebe im Geltungsbereich der StFV gibt sie eine Übersicht zu geeigneten baulichen, technischen und organisatorischen Sicherheitsmassnahmen. Für die im Rahmen des Vollzugs der StFV wichtige Einschätzung des Ausmasses der möglichen Schädigungen der Bevölkerung oder der Umwelt infolge von Störfällen, werden die dafür notwendigen methodischen Grundlagen präsentiert.

Die stetige Auseinandersetzung mit dem Thema Störfallvorsorge ist für Betriebe im Geltungsbereich der Verordnung eine Daueraufgabe. Schlussendlich trägt diese Anstrengung zu einem nachhaltigen und fortschrittlichen Umgang mit Explosivstoffen bei. In den Worten des Vaters des Explosivstoffes Dynamit, Alfred Nobel (1833–1896): *«Erfolg ist nicht ein Ziel das man erreicht, sondern vielmehr der Geist, mit dem man die Reise antritt und fortsetzt»*.

Josef Eberli, Abteilung Gefahrenprävention
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Einleitung

Aufbau des Handbuchs zur Störfallverordnung

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 Betriebe verweist der allgemeine Teil auf die Module «Betriebe mit chemischem Gefahrenpotenzial» sowie «Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung». Eine Übersicht über alle vorhandenen Module mit der Möglichkeit zum Download bietet die Webseite des BAFU (Vollzugshilfen¹).

Modul «Störfallvorsorge bei zivilen Betrieben mit Explosivstoffen»

Das anlagenspezifische Modul «Störfallvorsorge bei zivilen Betrieben mit Explosivstoffen» ist eine Konkretisierung der oben genannten Grundlagen und geht spezifisch auf zivile Betriebe mit Explosivstoffen ein². Es basiert u.a. auf den Grundlagen zum Vollzug der Störfallverordnung bei militärischen Betrieben^{[3],[4],[5]} und der Sprengstoffgesetzgebung^{[2],[11]}. Letztere ist bei zivilen Betrieben mit Explosivstoffen eine wichtige Grundlage bezüglich den anerkannten Regeln der Technik im Vollzug der StFV. Die Vorschriften der Sprengstoffgesetzgebung sind bei allen Betrieben – also auch bei Betrieben mit Stoffmengen unterhalb der in der StFV festgelegten Mengenschwellen – einzuhalten. Das vorliegende Modul beinhaltet die notwendigen Angaben, damit die Kriterien zur Bestimmung der Mengenschwellen gemäss Anhang 1.1, Ziffer 4 der StFV korrekt angewendet werden können (Kapitel 1). Im Weiteren präsentiert es Grundsätze und Ideen zur Festlegung und Umsetzung von Sicherheitsmassnahmen (Kapitel 2). Dem Inhaber wird auch aufgezeigt, wie er einen Kurzbericht³ gemäss Art. 5 StFV^[5] verfassen und der Vollzugsbehörde, wie sie die Notwendigkeit einer Risikoermittlung gemäss Art. 7 StFV beurteilen kann. Das Kernstück bildet die «Szenarien-Box», mit der die massgebenden Störfallszenarien zur Erstellung eines Kurzberichts hergeleitet werden (Kapitel 3). Unter massgebenden Störfallszenarien werden diejenigen Szenarien verstanden, aus welchen die schlimmstmöglichen Schädigungen für die Bevölkerung resultieren. Basierend darauf wird das Schadensausmass ausgehend von Trümmerwurf, Druckwelle und Hitzestrahlung ermittelt. Ob eine Ausmasseneinschätzung für die Umwelt notwendig ist, kann anhand von Ausschlusskriterien (Kapitel 4) beurteilt werden. Werden die Ausschlusskriterien nicht erfüllt, sind im Kurzbericht Ausmasseneinschätzungen für oberirdische und/oder für unterirdische Gewässer unter Berücksichtigung von ortsspezifischen Einflussgrössen aufzuzeigen. Schlussendlich gibt das vorliegende Modul Hinweise zur Erstellung von Risikoermittlungen (Kapitel 5). Im nachfolgenden Flussdiagramm (Abbildung 1) ist der Einsatz der oben erwähnten Hilfsmittel im Rahmen des Kontroll- und Beurteilungsverfahrens gemäss StFV zusammenfassend dargestellt.

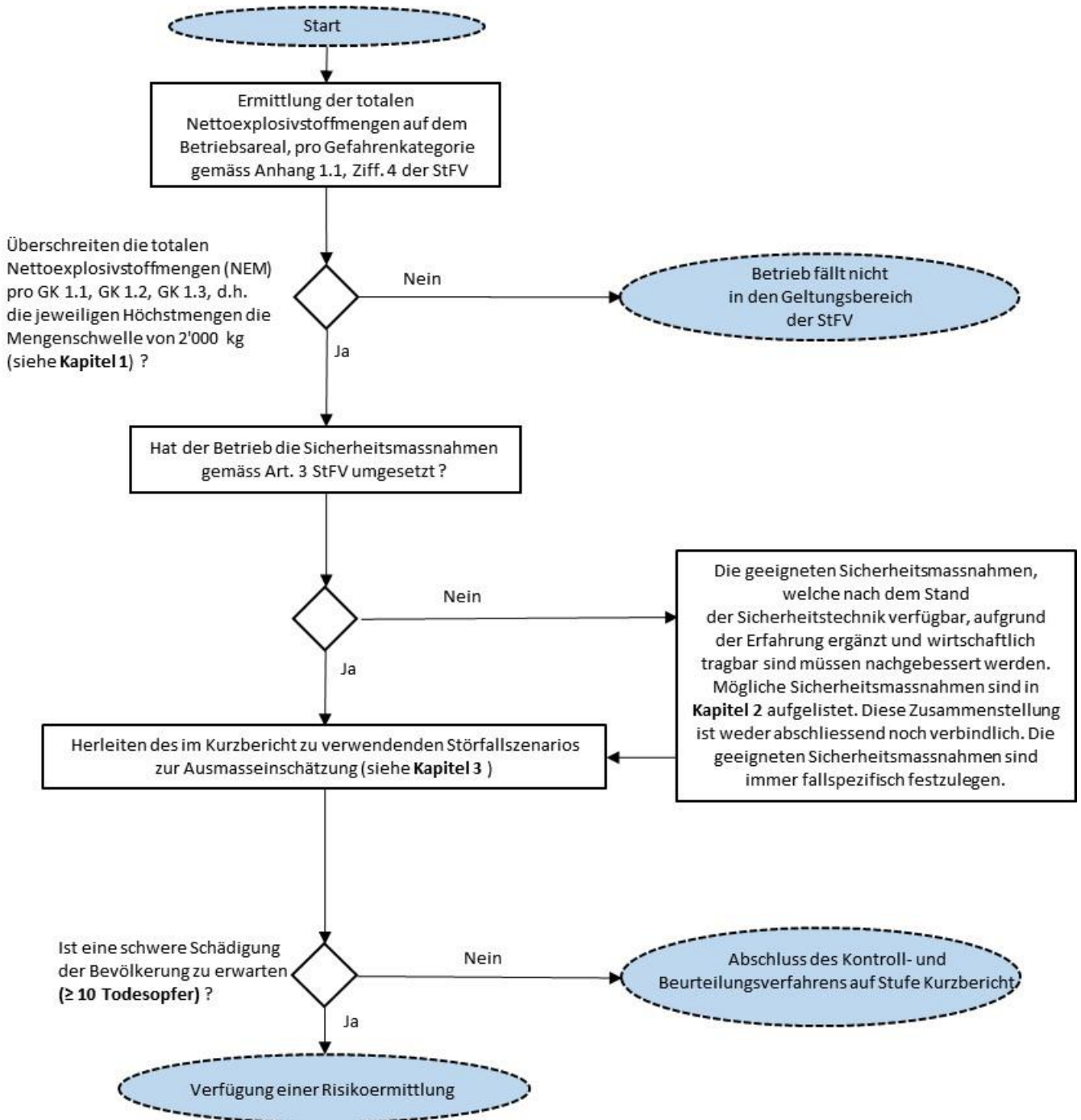
1 www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/stoerfallvorsorge/stoerfaelle-vollzugshilfen.html

2 Für militärische Betriebe mit Explosivstoffen gelten die Vorgaben der Weisungen über das Sicherheitskonzept für den Umgang mit Munition und Explosivstoffen (WSUME,^[3]), die Technischen Richtlinien für die Lagerung von Munition (TLM,^[4]) des VBS sowie diverse weitere vertrauliche militärische Dokumente wie technische Vorgaben (tV) und Richtlinien^[15].

3 Für militärische Betriebe mit Explosivstoffen entspricht ein Sicherheitsbericht einem Kurzbericht nach StFV.

Abbildung 1

Kontroll- und Beurteilungsverfahren auf Stufe Kurzbericht: Prüfung einer möglichen schweren Schädigung der Bevölkerung. Für die Schadenindikatoren verschmutzte oberirdische und unterirdische Gewässer finden sich in Kapitel 4 dieser Vollzugshilfe Ausschlusskriterien.



Verwendete Kategorien für Explosivstoffe

Die in dieser Vollzugshilfe verwendeten Begriffe und Kategorien für Explosivstoffe werden in Tabelle 1 erläutert. Die Definitionen basieren auf der Sprengstoffverordnung (SprstV^[2]) und den gebräuchlichen Bezeichnungen beim kommerziellen, zivilen und militärischen Einsatz von Explosivstoffen. Nicht als Explosivstoffe im Sinne dieser Vollzugshilfe gelten die gemäss Art. 5 des Sprengstoffgesetzes (SprstG^[11]) explizit ausgenommen Stoffe wie instabile Zwischenerzeugnisse oder brennbare Gase.

Explosivstoffe können in fester, pulverförmiger, flüssiger oder gelatinöser Form in unterschiedlichen Umhüllungen und/oder Verpackungen vorliegen. Zu den Explosivstoffen zählen auch die zur Auslösung einer Zündung verantwortlichen Bestandteile. Diesbezüglich wird zwischen Initialsprengstoffen, Zündmitteln und Anzündmitteln unterschieden.

Initialsprengstoffe werden in Zündmitteln der Sprengtechnik (z. B. Sprengkapseln) verbaut und lassen sich bereits durch geringe mechanische oder thermische Einwirkungen zur Explosion bringen. In Zündhütchen von Geschosspatronen finden sich Initialsprengstoffe zum Initiieren der Treibladung.

Zündmittel (Sprengtechnik) und Anzündmittel (Pyrotechnik) sind Hilfsmittel, die zum Auslösen einer Explosion oder eines Abbrandes dienen. Sie stellen die nötige Initialenergie für die chemischen Reaktionen von Explosivstoffen zur Verfügung.

Tabelle 1

Die Kategorien für Explosivstoffe (hier z. B. Pulver) sind bezüglich ihrer Art und Zusammensetzung umschrieben und können einer oder mehreren Gefahrenkategorien⁴ (GK) zugeordnet werden.

Explosivstoffe (fest, pulverförmig, flüssig, gelatinös)			
Kategorie	Beispiele	Gefahrenkategorien (GK)	Vorgaben und Grundlagen
Sprengstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • TNT (Trinitrotoluol) • RDX (Royal Demolition Explosive, Hexogen, Cyclotrimethylen-trinitramin, Cyclonit, T4) • HMX (High-Molecular-weight RDX, Oktogen, Cyclotetramethylen-tetranitramin, Homocyclonite) • Schwarzpulver (verdämmt) • Ammoniumsalpetersprengstoff • Nitroglycerin (NGL) 	GK 1.1	• SprstV ^[2] , Art. 2
Initialsprengstoffe (Bestandteil von Zündmitteln)	<ul style="list-style-type: none"> • Bleiazid • Bleitrizinat • Silberazid 	GK 1.1	• SprstV, Art. 2
Zündmittel / Anzündmittel (Hilfsmittel zum Auslösen einer Explosion oder eines Abbrandes)	<ul style="list-style-type: none"> • Anzündlitzten • Stoppinen • Anzündschnüre für pyrotechnische Zwecke • Sprengkapseln • Sprengzünder 	GK 1.1 GK 1.3	• SprstV, Art. 3
Pulver (Schiesspulver, Treibmittel)	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrozellulose-Pulver • Schwarzpulver 	GK 1.1 GK 1.3	• SprstG, Art. 7a
Pyrotechnischer Satz / Gegenstand (akustische, optische, thermische, mechanische Effekte)	<ul style="list-style-type: none"> • Zu gewerblichen Zwecken (Notsignalraketen, Hagelabwehrraketen, etc.) • Feuerwerkskörper (wie z. B. Raketen, Batterien, Vulkane) 	GK 1.1 GK 1.2 GK 1.3	• SprstV, Art. 5
Munition in zivilen Betrieben	<ul style="list-style-type: none"> • Explosive Gegenstände für militärische, zivile und Behördenanwendungen 	GK 1.1 GK 1.2 GK 1.3	• WSUME ^[3] , VMSV ^[5]

⁴ Die Gefahrenkategorie ist bezüglich des Transportes gemäss den Vorgaben des «Übereinkommens über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse, ADR» sowie der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (EU-CLP-Verordnung) definiert.

1 Geltungsbereich gemäss Störfallverordnung (StFV)

Mit den Ausführungen in diesem Kapitel kann der Inhaber eines Betriebs, in welchem mit Explosivstoffen umgegangen wird, abklären, ob der Betrieb in den Geltungsbereich der StFV fällt. Zentrale Voraussetzung für die Ermittlung der Mengenschwelle ist die Zuordnung der Explosivstoffe zu einer Gefahrenkategorie (GK) anhand deren Gefahreigenschaften⁵, resp. die Zuordnung von Sonderabfällen zu einem Abfall-Code der Reihe 16 04 0X (Explosivabfälle).

1.1 Abklärung des Geltungsbereichs mittels der Nettoexplosivstoffmenge

Zur Abklärung des Geltungsbereichs sind die totalen Nettoexplosivstoffmengen (NEM) pro GK 1.1, GK 1.2, GK 1.3, d. h. die jeweiligen Höchstmengen zu ermitteln und mit der Mengenschwelle zur StFV^[6] von 2000 kg zu vergleichen. Hierbei wird auf dem gesamten Betriebsareal die NEM sämtlicher Explosivstoffe mit derselben Gefahrenkategorie, bzw. demselben Gefahrenhinweis⁶ addiert:

- NEM der Gefahrenkategorie 1.1 (Gefahrenhinweis H200 oder H201, Gefahr durch Trümmerwurf und Druckwelle)
- NEM der Gefahrenkategorie 1.2 (Gefahrenhinweis H202, Gefahr durch Trümmerwurf)
- NEM der Gefahrenkategorie 1.3 (Gefahrenhinweis H203, Gefahr durch Hitzestrahlung)

Die NEM pro GK wird über das gesamte Betriebsareal, d. h. alle Betriebseinheiten wie Lager und Produktion aufsummiert (siehe Beispiel in Abbildung 2). Dabei sind die Höchstmengen aller nach den Betriebsabläufen und -kapazitäten⁷ möglichen Teilmengen^[6] zu berücksichtigen.

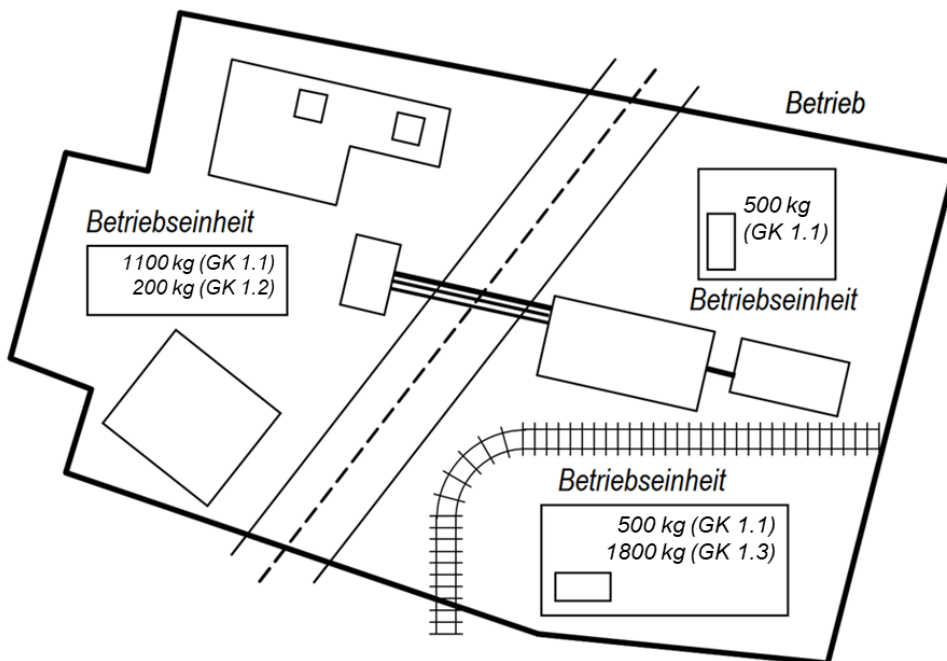
⁵ Gemäss den Vorgaben «Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse, ADR» sowie der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (EU-CLP-Verordnung).

⁶ Die physikalischen Gefahren (Anh. 1.1 Ziff. 42 StFV) bilden nur einen Teil der Gefahreigenschaften, die für die Abklärungen zum Geltungsbereich der StFV bei Explosivstoffen massgebend sind. Für gewisse Explosivstoffe können ggf. auch die Kriterien für Gesundheitsgefahren (Anh. 1.1 Ziff. 41 StFV) sowie andere Gefahren (Anh. 1.1 Ziff. 44 StFV) für die Abklärung des Geltungsbereichs der Störfallverordnung von Relevanz sein, falls diese zu tieferen Mengenschwellen als 2000 kg führen (H330 oder EUH032; MS = 200 kg).

⁷ Festlegung der maximalen Kapazitäten erfolgt z. B. basierend auf Betriebsbewilligungen gemäss kantonalen Vorgaben zum vorbeugenden Brandschutz und/oder gemäss den durch die zuständigen kantonalen Behörden zur Sprengstoffgesetzgebung (42 Abs. 3 SprstG) ausgestellten Lagerbewilligungen. Die Lagerbewilligungen beziehen sich auf die zulässigen Höchstlagermengen für Pyrotechnik und zivile Sprengmittel.

Abbildung 2**Beispiel zur Abklärung des Geltungsbereichs anhand der NEM**

Im Betrieb befinden sich summiert über 3 Betriebseinheiten insgesamt 2100 kg NEM der GK 1.1, 200 kg NEM der GK 1.2 und 1800 kg NEM der GK 1.3. Diese angegebenen Mengen pro GK und Betriebseinheit entsprechen nachweislich den nach den Betriebsabläufen und -kapazitäten⁷ möglichen maximalen Teilmengen auf dem Betriebsareal. Der Betrieb untersteht somit wegen Überschreitung der Mengenschwelle für die GK 1.1 der Störfallverordnung.

**Totale NEM pro Gefahrenkategorie**

Im Gegensatz zum üblichen Vorgehen zur Bestimmung der Höchstmenge^[6], wo das Zusammenzählen verschiedener Stoffe oder Zubereitungen nicht gefordert wird, ist im Fall von Explosivstoffen die totale NEM pro GK zu erheben. Es werden also unterschiedliche Explosivstoffe zusammengezählt. Dies geschieht aus pragmatischen Gründen:

- Weil die Gefahreigenschaften von Explosivstoffen (Tabelle 1) massgeblich durch Faktoren wie deren Umhüllung, Verpackung und Ladungsdichte bestimmt werden. Die Zuordnung eines Explosivstoffs zu einer Gefahrenkategorie erfolgt dabei auf der Grundlage der entsprechenden Vorschriften des ADR^[8] in Abhängigkeit der oben genannten Parameter. Damit sind für identische Explosivstoffe vollständig unterschiedliche Wirkungen möglich. Beispielsweise können pulverförmige Explosivstoffe aufgrund einer Verdämmung durch die Verpackung massenreagierend wirken. Sprengzünder können aufgrund der Verpackung massenreagierend werden oder im Gegenteil keine erhebliche Gefahr mehr darstellen.
- Weil eine Bestimmung der Höchstmenge nach Explosivstoff nicht praxistauglich ist, da insbesondere im Fall von Feuerwerkskörpern die Informationen zur Zusammensetzung oft nicht verfügbar sind.

Die NEM ist basierend auf den Grundlagen des ADR^[8], per CE-Zertifikat der EU Direktive 2013/29/EU^[9] oder der Norm für pyrotechnische Gegenstände SN-EN-15947^[10] grundsätzlich bekannt. Es handelt sich um eine für den Hersteller obligatorische Information, über welche er verfügen muss, um seine Produkte in Verkehr bringen zu können. Liegt trotzdem keine gemäss obigen Grundlagen ausgewiesene NEM vor, ist für die Bestimmung der Mengenschwellenüberschreitung die Bruttomenge der Explosivstoffe, inkl. Hüllenmaterial und Verpackung, anzunehmen.

Totale NEM pro Abfall-Code

Zur Abklärung des Geltungsbereichs sind ebenfalls Explosivabfälle, d. h. Sonderabfälle mit einem Abfall-Code der Reihe 16 04 0X, zu betrachten. Die Höchstmengen der Sonderabfälle mit dem gleichen Code werden über das gesamte Betriebsareal aufsummiert und die Summe mit der Mengenschwelle von 2000 kg verglichen⁸.

Abgrenzung

Instabile Explosivstoffe mit dem Gefahrenhinweis H200 haben ebenfalls eine Mengenschwelle von 2000 kg. Instabile Stoffe in Form von Zwischenerzeugnissen aus der Herstellung von chemischen Produkten, die ihre explosiven Eigenschaften vor Abschluss des Produktionsverfahrens verlieren sowie explosionsfähige Erzeugnisse, die nicht zu Sprengzwecken hergestellt wurden, werden im Rahmen dieser Vollzugshilfe nicht behandelt, bzw. gelten nicht als Explosivstoffe in deren Sinn. Explosivstoffe der GK 1.4, 1.5 und 1.6 verfügen über keine Mengenschwelle gemäss StfV und werden folglich auch nicht weiter erwähnt.

1.2 Vorgehen bei Mehrkomponenten-Sprengstoffen

Bei nicht vermischten oder nicht zusammengesetzten Mehrkomponenten-Sprengstoffen ist die Höchstmenge nicht gemäss Kapitel 1.1. zu bestimmen, sofern folgende Kriterien erfüllt sind:

- Die Komponenten von Mehrkomponenten-Explosivstoffen sind wirksam geschützt (siehe z. B. Art. 78. Abs. 3 SprstV), d. h. getrennt von detonierenden Zündmitteln gelagert (SprstG^[11], Art. 20);
- Die einzelnen Komponenten von Mehrkomponenten-Explosivstoffen⁹ werden getrennt voneinander gelagert, wobei die Vorgaben der Chemikaliengesetzgebung^[12], der VKF-Brandschutzvorschriften resp. der zuständigen Brandschutzbehörden^[13] und im Fall von Ammoniumnitrat ggf. der Vollzugshilfe «Störfallvorsorge bei Lager für ammoniumnitrathaltige Dünger»^[14] einzuhalten sind.

Sind obige Bedingungen erfüllt, werden die Höchstmengen der einzelnen Komponenten bzw. Stoffe und Zubereitungen anhand deren Gefahreneigenschaften einzeln bestimmt^[6].

8 Gemäss Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen (LVA) weisen Sonderabfälle mit einem Abfall-Code der 16 04 0X-Reihe (Explosivabfälle) ebenfalls eine Mengenschwelle von 2000 kg auf. Dabei ist die Höchstmenge pro Abfall-Code durch Addierung aller mit einem entsprechenden Code der 16 04 0X-Reihe bezeichneten Abfälle zu bestimmen. Dieses konservative Vorgehen erfolgt im Lichte des Umstandes, dass es sich bei Abfällen z. B. um «Out of Specifications» und somit um instabileres oder reaktiveres Material handeln kann.

9 Mehrkomponenten-Explosivstoffe bestehen aus mehreren Komponenten (Stoffe, Zubereitungen, Gegenstände), welche physikalisch getrennt werden können. Sie sind nur in vermischem oder zusammengesetztem Zustand explosiv.

2 Sicherheitsmassnahmen bei zivilen Betrieben mit Explosivstoffen

Bauliche, technische und organisatorische Sicherheitsmassnahmen

Der Inhaber eines Betriebs muss die gemäss den Regeln der Technik geforderten Sicherheitsmassnahmen umsetzen. Bei Betrieben, welche der StFV unterstehen, sind in Eigenverantwortung zusätzlich die nach dem Stand der Sicherheitstechnik verfügbaren Sicherheitsmassnahmen gemäss Art. 3 StFV zu realisieren. Es sind dies Sicherheitsmassnahmen, die erfahrungsgemäss ergänzt werden können und wirtschaftlich tragbar sind.

Bei der Lagerung und Produktion von Explosivstoffen wird in dieser Vollzugshilfe zwischen baulichen, technischen und organisatorischen Sicherheitsmassnahmen unterschieden. Eine Vielzahl von Sicherheitsmassnahmen ergeben sich aus Verordnungen und Richtlinien (Regeln der Technik) für zivile^{[2],[11],[13]} und militärische Anlagen^{[3],[4],[15]}. In den Tabellen 2, 3 und 4 sind mögliche Sicherheitsmassnahmen aus diesen Quellen sowie Sicherheitsmassnahmen gemäss dem Stand der Sicherheitstechnik im Sinne einer Übersicht aufgelistet. Diese Zusammenstellung ist weder abschliessend noch verbindlich. In Abhängigkeit des jeweiligen Anlagentyps (siehe Kapitel 2.1) sind die im konkreten Fall geeigneten Sicherheitsmassnahmen fallspezifisch festzulegen.

2.1 Anlagentypen

Um geeignete Sicherheitsmassnahmen zu evaluieren und die Ausmasseneinschätzung für die Bevölkerung durchzuführen (Kapitel 3), werden vier Anlagentypen unterschieden. Als Anlagen werden einzelne Betriebseinheiten auf dem Betriebsareal verstanden. Bei einem Einzelereignis sind sämtliche Explosivstoffe in dieser Anlage gleichzeitig betroffen.

2.1.1 Oberirdische Anlage in Leichtbauweise

Zu den oberirdischen Anlagen in Leichtbauweise (*OALeicht*) zählt die oberirdische Lagerung von Explosivstoffen in bspw. ISO-Container oder z. B. als Stahl¹⁰- oder Holzkonstruktionen ausgeführten Leichtbauten.

2.1.2 Oberirdische Anlagen

Oberirdische Anlagen (OA) umfassen Lager, Magazine und Produktionsräume mit fester Bauweise aus vorfabrizierten Betonelementen oder Stahlbeton, jedoch ohne Erdüberdeckung oder seitlicher Erdanschüttung. Bezüglich den Sicherheitsmassnahmen wird in den Tabellen 2, 3 und 4 zwischen Lagern (OA-L) und Produktion (OA-P) unterschieden.

¹⁰ Gebäudehüllen aus Blech.

2.1.3 Erdüberdeckte Anlagen

Bei erdüberdeckten Anlagen (EA) handelt es sich um oberirdische Anlagen aus Stahlbeton mit Erdüberdeckung und seitlicher Erdanschüttung an drei Seiten, wobei die Seite des Zugangs nicht angeschüttet ist. Eine Untergruppe bilden Unterfluranlagen mit Vergrabungstiefen von mehreren Metern. Diese werden aber für die Ausmasseneinschätzung hier nicht weiter unterschieden.

2.1.4 Felsanlagen

Felsanlagen (FA) bestehen aus einer oder mehreren Kammern, welche direkt im geologisch geeigneten Felsgestein angelegt sind. Felsanlagen können komplexe Strukturen von Kammern und Verbindungsgänge aufweisen, haben aber meist einen Zugangstollen.

2.2 Bauliche Sicherheitsmassnahmen

Für alle Anlagen sind bauliche Sicherheitsmassnahmen (Beispiele in Tabelle 2) zu prüfen und entsprechend des Anlagentyps und -grösse anzupassen und zu dimensionieren. Bemessungsgrundlagen für z. B. Entlastungsöffnungen und Schutzwälle sind zu dokumentieren.

Tabelle 2

Übersicht zu möglichen baulichen Sicherheitsmassnahmen in Abhängigkeit des Anlagentyps.

	Bauliche Sicherheitsmassnahmen	Anlagentypen
1	Entlastungsöffnungen und/oder Sollbruchstellen (Ausblasöffnung) – je nach eingelagerter Gefahrenkategorie ¹¹ – ermöglichen die Druckentlastung und/oder den Trümmerwurf in Bereiche ohne hohe Personendichte zu lenken	OA ^{Leicht} , OA-P, OA-L, EA
2	Leichtbauweise des Gebäudes zur Verminderung vor Trümmerwurf	OA ^{Leicht}
3	Schutzwall	Alle
4	Brandabschnitte sind für einzelne Lagerkammern, insbesondere mit eingebauten Technik- und Klimaräumen, gemäss Brandschutzanforderungen zu gestalten, um eine Ereignisübertragung durch Brand zu verhindern oder zu verzögern.	Alle
5	Schutzdecke zur Verhinderung einer Explosionsübertragung durch Trümmer	OA-L
6	Zum Schutz vor äusseren Einwirkungen müssen die Anlagen z. B. durch Umzäunung und Türen mit Einbruchschutz gegen unbefugtes und unbeabsichtigtes Betreten geschützt sein.	Alle

¹¹ Teile der Gebäudehülle (z. B. Dach oder Seitenwand) können bei einer reinen Einlagerung von Stoffen der GK 1.3 als Entlastungsöffnung ausgestaltet werden. Eine wirksame Druckentlastung ist bei Vorhandensein der GK 1.1 und GK 1.2 – Detonation – schwierig zu dimensionieren.

2.3 Technische Sicherheitsmassnahmen

Für alle Anlagen sind technische Sicherheitsmassnahmen (Bsp. in Tab. 3) zu prüfen und ihre Funktionsweise entsprechend des Anlagentyps und -grösse anzupassen und zu dimensionieren. Bemessungsgrundlagen für z. B. Blitzschutzsysteme, Ex-Schutz, Alarmierungs- und Löschsyste sind zu dokumentieren.

Tabelle 3

Übersicht zu möglichen technischen Sicherheitsmassnahmen in Abhängigkeit des Anlagentyps.

	Technische Sicherheitsmassnahmen	Anlagentypen
1	Äusseres Blitzschutzsystem zur Erdung der Anlage als Schutz vor einer Zündung. Innerer Blitzschutz, Metallteile niederimpedant miteinander und mit dem äusseren Blitzschutz verbunden.	Alle
2	Einrichtungen und Betriebsmittel in Produktionsräumen sind wo notwendig gemäss den ESD-Vorschriften und ATEX-Richtlinien auszuführen und dürfen nicht zu Zündquellen werden ¹² .	OA-P
3	Elektrische Anlagen in Lagern sind zu schützen (elektrische Isolation, Stromlosschaltung bei Nichtgebrauch) und dürfen nicht zu Zündquellen werden	OALeicht, OA-L, EA, FA
4	Alarmierungssysteme (Brandmelder, Gasmeldeanlage, Videoüberwachung) für zeitnahe Intervention oder Evakuierung von Personen	Alle
5	Löschsysteme (wie z. B. Handfeuerlöscher, Sprinkleranlage, HI-FOG-Anlage, CO ₂ -Feuerlöschanlage, etc.) zur Verhinderung oder Verminderung einer Ereignisausbreitung.	Alle
6	Lagerbedingungen wie Temperatur, Feuchtigkeit, Schutz vor Erschütterungen etc. müssen den vorhandenen Stoffen entsprechen. Dies ist bspw. durch geeignete technische Hilfsmittel wie Lüftungsinstallationen, Luftentfeuchter etc. sicherzustellen.	Alle

2.4 Sicherheitskonzepte – organisatorische Sicherheitsmassnahmen

Die Sicherheitskonzepte und die daraus resultierenden organisatorischen Sicherheitsmassnahmen sind schriftlich festzuhalten. Der Umfang der Dokumentation richtet sich nach der Anlagengrösse und den möglichen Risiken.

Tabelle 4

Übersicht zu möglichen Sicherheitskonzepten und organisatorischen Sicherheitsmassnahmen in Abhängigkeit des Anlagentyps.

	Sicherheitskonzepte	Anlagentypen
1	Security-Konzepte: Zutrittsbeschränkungen für unbefugte Personen sind sicherzustellen und Explosivstoffe sind gegen Diebstahl zu sichern.	Alle
2	Lagerungskonzepte: Z. B. bez. getrennt Lagerung von Sprengstoffen und Zündern oder zum Sicherstellen von maximal zulässigen Schütthöhen bei Treibladungspulver ohne Verdämmung (Umhüllung) in Abhängigkeit der Temperatur.	Alle
3	Einsatzplanung für Störfälle bestehend aus Einsatzunterlagen die eine rasche und situationsgerechte Reaktion des Personals unterstützen sowie der Feuerwehr-Einsatzplanung.	Alle
4	Konzept zur Verhinderung der Initiierung von Explosionen oder Explosionsübertragung zwischen Betriebseinheiten (z. B. durch Sicherheitsabstand gemäss Sprengstoffverordnung ¹³).	Alle
5	Konzept zur Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter hinsichtlich der Gefahren im Umgang mit Explosivstoffen (z. B. Sicherheitsschulung im Betrieb).	Alle
6	Instandhaltungs- und Wartungskonzept	Alle

¹² ESD steht für «Electro-Static-Discharge» und bedeutet elektrostatische Entladung; ATEX steht für «atmosphères explosibles» und bedeutet explosionsfähige Atmosphären.

¹³ Bei Betrieben mit einer schweren Schädigung ausgehend von oberirdischen Anlagen (OA) sind als zusätzliche Sicherheitsmassnahmen gemäss Art. 8 StFV basierend auf einer Risikoermittlung ggf. erhöhte Sicherheitsabstände zwischen den Betriebseinheiten in Anlehnung an die Grundlagen aus Kapitel 5 denkbar, um Dominoeffekte zu verhindern. Diese können bei untragbarem Risiko über die Anforderungen aus der Sprengstoffverordnung hinausgehen.

3 Ausmasseinschätzung bezüglich der Bevölkerung für den Kurzbericht

Vorgehen zur Bestimmung des Ausmasses einer Schädigung der Bevölkerung infolge von Störfällen

Ziel dieses Kapitels ist es, den Inhabern von Betrieben eine selbständige Einschätzung des Ausmasses der möglichen Schädigungen der Bevölkerung infolge von Störfällen (Art. 5 Absatz 1 Bst. f StFV) mit Explosivstoffen zu ermöglichen. Zur vereinfachten Anwendung der Vollzugshilfe steht auf der Homepage des BAFU eine Excel-basierte Applikation zur Verfügung, welche eine automatisierte Ausmasseinschätzung ermöglicht¹⁴. Diese Einschätzung ist für alle Betriebseinheiten bzw. Anlagentypen (siehe Kapitel 2.1) durchzuführen, in welchen sich Explosivstoffe der GK 1.1, GK 1.2 und GK 1.3 sowie Explosivabfälle befinden. Die Resultate der Ausmasseinschätzung sind im Kurzbericht zu dokumentieren. Als Betriebseinheit wird ein Gebäude oder ein zusammenhängender, geschlossener Gebäudeteil definiert, in welchem mit Explosivstoffen umgegangen wird. Es kann sich somit beispielsweise um Lager, Zwischenlager, Tageslager, Produktionsräume, Entsorgungsstellen oder Magazine handeln. Unabhängig von ihrer betrieblichen Nutzung wird die Betriebseinheit für die Ausmasseinschätzung einem der Anlagentypen aus Kapitel 2.1 zugeordnet. Für jede Betriebseinheit ist das massgebende Störfallszenario zu bestimmen. Daraus ergeben sich die entsprechenden Letalitätsbereiche. Zusammen mit der lokalen Bevölkerungsdichte, bzw. Anzahl exponierter Personen, lässt sich so das Ausmass der möglichen Schädigungen der Bevölkerung bestimmen.

3.1 Bestimmung der massgebenden Störfallszenarien

Um das Schadensausmass in Folge eines Störfalles einzuschätzen, sind diejenigen Szenarien – Ursachen und Ereignisabfolgen – auszuwählen, die nach menschlichem Ermessen zu den schlimmstmöglichen Schädigungen der Bevölkerung (oder der Umwelt) führen könnten. Dabei dürfen bei der Ausmasseinschätzung nur passive Sicherheitsmassnahmen – hier der Schutzwall – berücksichtigt werden. Zur Herleitung solcher Störfallszenarien dient die Szenarien-Box (Tabelle 5). Die darin enthaltenen Parameter beschreiben die massgebenden Randbedingungen für ein Störfallszenario. Es handelt sich dabei um die lokale Ausgangslage (blau), die Charakteristiken der möglichen Ereignisse (grau) und die zu erwartenden Schadenwirkungen (gelb).

¹⁴ Excel-basierte Applikation unter [www.bafu.admin.ch/uv-1807-d/Modul Störfallvorsorge bei zivilen Betrieben mit Explosivstoffen](http://www.bafu.admin.ch/uv-1807-d/Modul_Stoerfallvorsorge_bei_zivilen_Betrieben_mit_Explosivstoffen) verfügbar.

Tabelle 5

Szenarien-Box zur Herleitung von Störfallszenarien bezüglich der Gefährdung der Bevölkerung

Zusammenstellung der Parameter zur Bestimmung möglicher Störfallszenarien und Ausmasse für alle Anlagentypen und Expositionen von Personen. **GK 1.3^a**: Stoffe oder pyrotechnische Gegenstände der GK 1.3, welche nicht Feuerwerkskörpern der Kategorien F1, F2 oder F3 gemäss Anh. 1 Ziff. 2 SpStV zugeordnet sind; **GK 1.3^b**: pyrotechnische Gegenstände der GK 1.3, welche Feuerwerkskörpern der Kategorien F1, F2 oder F3 gemäss Anh. 1 Ziff. 2 SpStV zugeordnet sind; **fallspezifische Ausmasseinschätzung^c**: Ausmasseinschätzung oder Risikoeermittlung fallspezifisch mittels geeigneten Modellen; die Letalitätsradien in den Abbildungen All.1 – All.12 finden sich in Anhang II.

P1 Betriebseinheit, Anlagentyp	P2 Gefahrenkategorie (GK)	P3 Ereignis und Menge (NEM, QTNT)	P4 Schutz- wall	P5 Physikalische Wirkung	P6 Exposition	P7 Letalitäts- radien (R ₉₀ , R ₅₀ , R ₁₀ , R ₁)	P8 Letalitäts- bereich und Ausrichtung
Oberirdische Anlage in Leichtbauweise (z. B. Container)	GK 1.1 & GK 1.2 & GK 1.3 ^a	Detonation (NEM, QTNT)	–	Kratertrümmerwurf Wandtrümmerwurf Druckwelle	Im Freien / Fahrzeug	Abb. All. 1	Kreisförmig
					Im Gebäude	Abb. All. 2	Kreisförmig
	GK 1.3 ^b	Abbrand (NEM) & Feuerball (NEM)	–	Hitzeabstrahlung	Im Freien / Fahrzeug	Abb. All. 3	Kreisförmig
					Im Gebäude	Abb. All. 4	Kreisförmig
Oberirdische Anlage	GK 1.1 & GK 1.2 & GK 1.3 ^a	Detonation (NEM, QTNT)	Kein Schutz- wall	Kratertrümmerwurf Wandtrümmerwurf Druckwelle	Im Freien / Fahrzeug	Abb. All. 5	Kreisförmig oder Sektor
					Im Gebäude	Abb. All. 6	Kreisförmig oder Sektor
			Schutz- wall	Kratertrümmerwurf Wandtrümmerwurf Druckwelle	Im Freien / Fahrzeug	Abb. All. 7	Kreisförmig oder Sektor
					Im Gebäude	Abb. All. 8	Kreisförmig oder Sektor
	GK 1.3 ^b	Abbrand (NEM) & Feuerball (NEM)	–	Hitzeabstrahlung	Im Freien / Fahrzeug	Abb. All. 3	Kreisförmig
					Im Gebäude	Abb. All. 4	Kreisförmig
Erdüberdeckte Anlage	GK 1.1 & GK 1.2 & GK 1.3 ^a	Detonation (NEM, QTNT)	–	Kratertrümmerwurf Druckwelle	Im Freien / Fahrzeug	Abb. All. 9	Sektor, angeschüttete Seite
					Im Gebäude	Abb. All. 10	Sektor, angeschüttete Seite
						Kein Schutz- wall	Kratertrümmerwurf Wandtrümmerwurf Druckwelle
			Im Gebäude	Abb. All. 12	Sektor, Zugangsseite		
			Schutz- wall	Kratertrümmerwurf Wandtrümmerwurf Druckwelle	Im Freien / Fahrzeug	Abb. All. 9	Sektor, Zugangsseite
					Im Gebäude	Abb. All. 10	Sektor, Zugangsseite
	GK 1.3 ^b	Abbrand (NEM) & Feuerball (NEM)	–	Hitzeabstrahlung	Im Freien / Fahrzeug	Abb. All. 3	Sektor, Zugangsseite
					Im Gebäude	Abb. All. 4	Sektor, Zugangsseite
Felsanlage	GK 1.1 & GK 1.2 & GK 1.3 ^a & GK 1.3 ^b	Detonation (NEM, QTNT)	–	Kratertrümmerwurf Stollenrümmerwurf Luftstoss Zugangsstollen	Im Freien / Fahrzeug & im Gebäude	Fallspezifische Ausmasseinschätzung ^c	–

Durch die Bestimmung des Anlagetyps (**P1**) und der Gefahrenkategorie des gelagerten Explosivstoffes (**P2**) ergeben sich die möglichen Ereignisse (**P3**). Unter Berücksichtigung eines Schutzwalls (**P4**) und der physikalischen Wirkung (**P5**) können für die Exposition der Bevölkerung (**P6**) die Letalitätsradien (**P7**) und Letalitätsbereiche (**P8**) abgelesen werden.

Die Szenarien-Box dient zur Entwicklung des «Worst Case»-Szenarios, das im Kurzbericht für alle zu untersuchenden Betriebseinheiten auf dem Betriebsareal zu beschreiben ist¹⁵. Sind Szenarien denkbar, welche zu schweren Schädigungen führen und die nicht mit der Szenarien-Box hergeleitet werden können, sind diese ebenfalls detailliert zu beschreiben. Im nachfolgenden Kapitel 3.2 finden sich Erläuterungen zu den einzelnen Parametern aus der Szenarien-Box. Diese sind zum Verständnis der Szenarienbildung zwingend zu konsultieren.

3.2 Erläuterungen zu den Parametern der Szenarien-Box

3.2.1 Anlagentyp (P1)

Für die Bestimmung des Störfallszenarios ist der Anlagentyp (**P1**) für die Betriebseinheit festzulegen. Ist die Zuordnung des Anlagentyps (Kapitel 2.1) nicht eindeutig, sind die Szenarien für alle in Frage kommenden Anlagentypen zu bestimmen und konservativ das Szenario mit dem grössten Ausmass als massgebend zu betrachten

3.2.2 Massgebendes Ereignis (P2 und P3)

Parameter **P2** bezeichnet die Gefahrenkategorie der vorhandenen Explosivstoffe und **P3** beschreibt die Art der zu erwartenden Wirkung von Ereignissen, d. h. Detonation, Abbrand oder Feuerball. Eine Detonation ist möglich bei Anwesenheit von Stoffen der GK 1.1 und in geringerer Masse der GK 1.2 sowie auch in gewissen Fällen bei GK 1.3. In Situationen wo Stoffe der GK 1.1 mit 1.2 und/oder 1.3 zusammen vorhanden sein können, ist davon auszugehen, dass die gesamte Menge an Explosivstoffen detonativ umsetzen kann.

Die Einstufung der Gefahrenkategorie ist auf die Belange des Gefahrguttransportes ausgelegt und beschreibt die relevanten Gefahreneigenschaften eines Explosivstoffes beim Umgang mit Lagerung, Entsorgung oder Produktion nicht in jedem Fall abschliessend. Dies gilt insbesondere für Stoffe und pyrotechnische Gegenstände der GK 1.3, welche für die Ausmasseinschätzung differenziert betrachtet werden müssen. Je nach Grad der Verdämmung durch bspw. ein Gebäude und der Ladungsdichte sowie stoffspezifischer Parameter ist es möglich, dass ein der Gefahrenkategorie 1.3 zugeordneter Stoff bei einem Ereignis detonativ umsetzen kann. Pyrotechnische Gegenstände der GK 1.3 werden deshalb hier anhand den Vorgaben aus der Richtlinie zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung pyrotechnischer Gegenstände auf dem Markt^[17] weiter differenziert:

- GK 1.3^a: Explosivstoffe der GK 1.3, welche Feuerwerkskörper der Kategorie F4 zugeordnet sind
- GK 1.3^b: Explosivstoffe der GK 1.3, welche den Feuerwerkskörpern und pyrotechnischen Gegenständen der Kategorien F1, F2, F3, P1, P2, P3, T1 oder T2 zugeordnet sind

¹⁵ Allfällige Übertragungsereignisse auf weitere Betriebseinheiten sind gemäss dem allgemeinen Teil des Handbuchs zur Störfallverordnung, Anhang A.1, S. 46, zu berücksichtigen (Dominoeffekte). Ausmasse für Teilszenarien in Bezug auf den Schadenindikator Todesopfer sind zu addieren.

Bei Feuerwerkskörpern der Kategorien in GK 1.3^b kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der Verpackung und der geringen NEM pro pyrotechnischem Gegenstand auch bei grösseren Bruttomengen und im Fall einer Verdämmung (bspw. ein Lagergebäude) ein Abbrand und keine Detonation zu erwarten ist¹⁶. Basierend auf diesen Definitionen sind die in Tabelle 5 aufgeführten Kombinationen von Explosivstoffen in einer Anlage, je nach vorhandenen Gefahrenkategorien zu unterscheiden:

- Reine NEM der GK 1.1, GK 1.2 oder GK 1.3^a → Detonation
- Gemischte NEM der GK 1.1, GK 1.2, GK 1.3^a und GK 1.3^b → Detonation
- Reine NEM der GK 1.3^b → Abbrand & Feuerball

Im Rahmen der Ausmasseinschätzung wird unabhängig von der Art des Ereignisses (**P3**: Detonation, Abbrand oder Feuerball) die NEM als Eingangsgrösse anstelle der TNT-Ersatzmenge (QTNT¹⁷) für die Berechnung der Letalität verwendet. Die QTNT wird also gleich der NEM angenommen (1 kg QTNT \cong 1 kg NEM). Dieser Ansatz ist in der Regel als konservativ einzustufen. Eine verfeinerte Betrachtung, d. h. die Berücksichtigung der QTNT zur Berechnung der Ereigniswirkungen, ist erst im Rahmen einer Risikoermittlung notwendig (Kapitel 5).

Für die Ausmasseinschätzung ist die maximale Explosivstoffmenge in kg NEM, welche in der betrachteten Betriebseinheit vorliegen kann, zu verwenden. Dabei wird die NEM über die GK 1.1, 1.2 und 1.3^a summiert. Für die Abgrenzung von Betriebseinheiten zur Ausmasseinschätzung sind Sicherheitsabstände für die Verhinderung einer Explosionsübertragung zu berücksichtigen. Die übertragungssicheren Abstände resultieren aus den Vorgaben gemäss Anhang 7 der SprstV sowie den Grundlagen in Kapitel 5. Letztere sind in der Ausmasseinschätzung auf Stufe Kurzbericht für oberirdische Anlagen (OA) gemäss nachfolgenden Gedanken zu berücksichtigen. Ist der übertragungssichere Abstand gemäss Kapitel 5 grösser als der Abstand aus Anhang 7 der SprstV, so ist ein Dominoeffekt nicht auszuschliessen. Umfasst dieser Bereich eine weitere OA, ist zur Ausmasseinschätzung die gesamte NEM über beide Anlagen zu berücksichtigen¹⁸.

3.2.3 Wirkung eines Schutzwalls (P4)

Die Schutzwirkung von Sicherheitsmassnahmen gemäss Kapitel 2.2 kann nicht in jedem Fall abgebildet werden. Die Schutzwirkung hängt in vielen Fällen u.a. von den Eigenheiten der Anlage und der Dimensionierung der Sicherheitsmassnahmen für spezifische Ereignisse ab. Die Wirkung von Entlastungsöffnungen¹⁹ hängt bspw. von Faktoren wie z. B. der Produktspezifikation des Explosivstoffes, dem freien Raumvolumen, den dynamischen Expositionslasten, etc. ab. Diese Faktoren können sich über die Zeit verändern. Deshalb können Entlastungsöffnungen sowie die meisten in Kapitel 2 beschriebenen Massnahmen nicht standardmässig berücksichtigt werden.

Als Sicherheitsmassnahmen können hier nur Schutzwälle bei OA und EA (Zugangsseite) – Parameter **P4** – in der Ausmasseinschätzung berücksichtigt werden. In den anderen Szenarien («→» in Tabelle 5) wird keine verminderte Wirkung berücksichtigt. Die Bemessungsgrundlagen für wirksame Schutzwälle sind im Kurzbericht

¹⁶ Feuerwerkskörper der Kategorie F4, z. B. Grossfeuerwerk in Form von Zylinder- und Kugelbomben, gehören je nach Grösse zur GK 1.1 oder 1.3. Eine Zuordnung von Feuerwerkskörpern der Kategorie F4 zur hier definierten GK 1.3^b ist für pyrotechnischen Gegenstände mit geringem Anteil NEM möglich.

¹⁷ Quantity Trinitrotoluene (QTNT): Menge TNT-Äquivalent für die bei einer Explosion freierwerdende Energie eines Explosivstoffes, wobei 1 kg TNT = 4.184 MJ = 4.184 x 10⁶ J

¹⁸ Bei Betriebsarealen mit mehreren Lagern, bei welchen ein Dominoeffekt nicht ausgeschlossen werden kann, ist eine Einzelfallbetrachtung zur Festlegung der massgebenden Ereignisgrösse für die Ausmasseinschätzung notwendig.

¹⁹ Falls Entlastungsöffnungen nachweislich auf den aktuellen wie auch den zukünftigen Zustand der Betriebseinheit abgestimmt sind, kann bei den Störfallszenarien das Ereignis Detonation durch das Ereignis Abbrand/Feuerball ersetzt werden.

zu beschreiben (vgl. beispielsweise Vorgaben in Anhang I). Durch wirksame Schutzwälle wird die Schadenswirkung des Wandtrümmerwurfs oder des Stollentrümmerwurfs reduziert. Die reduzierten Letalitätsradien für die Ausmasseinschätzung gemäss den entsprechenden Szenarien in Tabelle 5 sind in den Abbildungen All.7 bis All.10 im Anhang II ersichtlich.

3.2.4 Physikalische Wirkungen (P5)

Die physikalischen Wirkungen der möglichen Störfallszenarien auf die Bevölkerung umfassen den Trümmerwurf, die Druckwelle (Überdruck) sowie die Hitzestrahlung. Sie sind in Abhängigkeit des Anlagentyps und des Ereignisses als Parameter **P5** in Tabelle 5 dargestellt.

Für den Trümmerwurf kann gemäss den verwendeten Modellen die Wirkung des Kratertrümmerwurfs, des Wandtrümmerwurfs oder des Stollentrümmerwurfs für Explosivstoffmengen bis 15 t bei oberirdischen Anlagen in Leichtbauweise und bis 50 t bei oberirdischen und erdüberdeckten Anlagen berücksichtigt werden. Für grössere Explosivstoffmengen sind fallspezifische Ausmasseinschätzungen durchzuführen. Für die Berechnung des Überdrucks bei einer Detonation wird von einer kreisförmigen Ausbreitung der Druckwelle um die Betriebseinheit oder einem Luftstoss aus dem Zugangsstollen ausgegangen. Die Hitzestrahlung während eines Abbrandes oder eines Feuerballs berechnet sich für beide Fälle identisch anhand der thermischen Energie der Explosivstoffe und breitet sich radial im Raum aus.

3.2.5 Exposition (P6)

Bei der Exposition sind die Fälle der Schadenswirkungen auf Personen im Freien, in Fahrzeugen (Auto, Zug) und Personen in Gebäuden zu unterscheiden (**P6**, Tabelle 5), da diese massgebend für die Art der Schädigung sind. Im Sinne einer konservativen Vereinfachung für den Kurzbericht werden für exponierte Personen in Fahrzeugen dieselben Letalitäten wie für Personen im Freien verwendet.

3.2.6 Letalität (P7, P8)

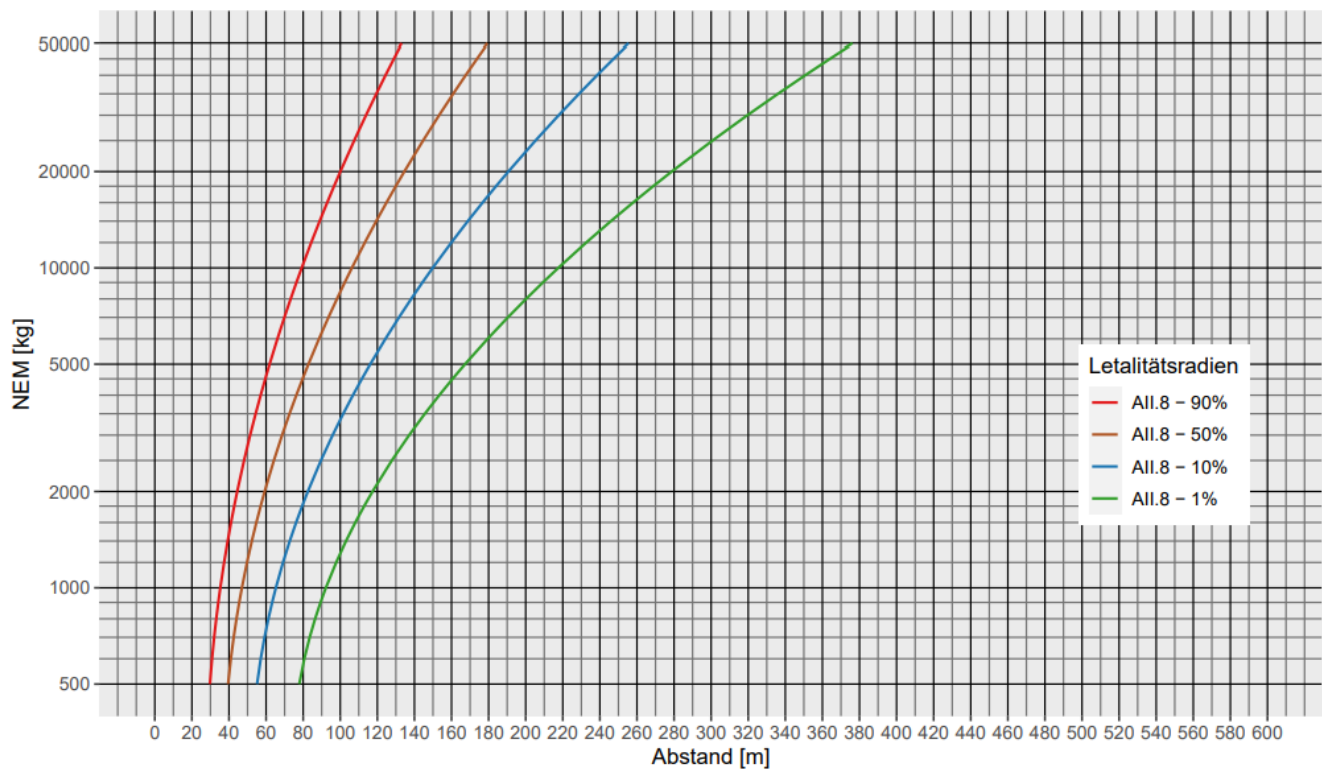
Für jedes Detonations-Szenario in der Szenarien-Box (Tabelle 5) wurden die einzelnen Letalitäten für die Trümmerwürfe, beispielsweise Kratertrümmerwurf (λ_{T1}) und Wandtrümmerwurf (λ_{T2}), und die Druckwelle (λ_D) als Funktion des Abstandes berechnet und zu einer Gesamtlealität (λ) unter Berücksichtigung der Überlebenswahrscheinlichkeit verrechnet:

$$\lambda = 1 - (1 - \lambda_{T1}) \times (1 - \lambda_{T2}) \times (1 - \lambda_D)$$

Für das Hitzestrahlungs-Szenario entspricht die Gesamtlealität alleinig der Letalität durch die Hitzestrahlung.

Aus den Gesamtlealitäten für jedes Szenario werden die Radien zu vorgegebenen Letalitätswerten (Letalitätsradien) von 90%, 50%, 10% und 1% herausgelesen und in Abhängigkeit der NEM dargestellt. Als Beispiel sind die Letalitätsradien für Personen in Gebäuden bei einer Detonation in OA mit Schutzwall in Abbildung 3 dargestellt. Parameter **P7** in Tabelle 5 gibt für jedes Szenario die zu verwendenden Letalitätsradien aus Abbildung All.1 – All.12 in Anhang II an.

Abbildung 3

Letalitätsradien bei Detonation in OA mit Schutzwall für Personen in Gebäuden*Identisch zu Abbildung All.8 in Anhang II.*

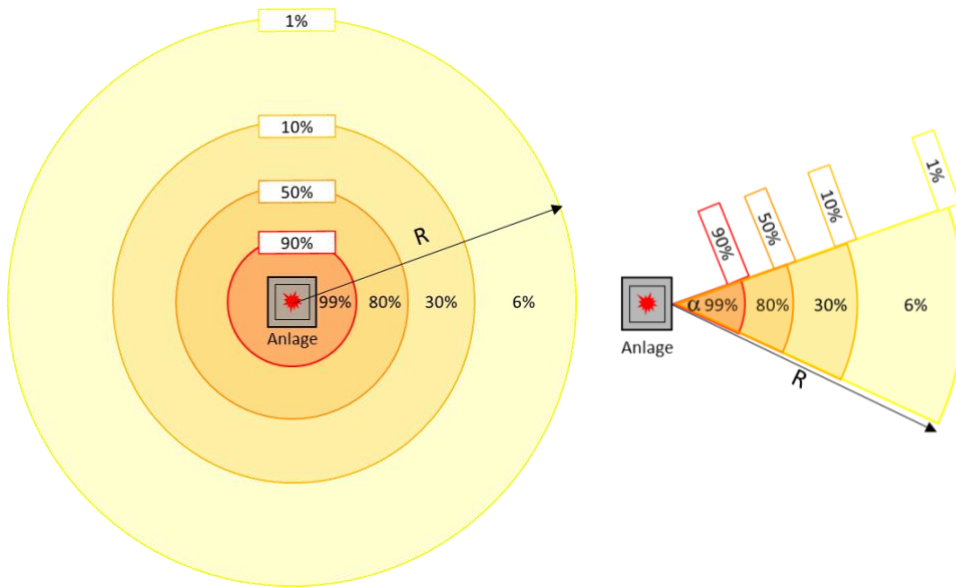
Bei Felsanlagen hängt die physikalische Schadenswirkung und damit die Letalität von sehr vielen anlagenspezifischen Faktoren ab, so dass eine einfache und einheitlich konservative Ausmasseinschätzung nicht möglich ist. Für solche Anlagen ist eine Ausmasseinschätzung oder ggf. eine Risikoermittlung fallspezifisch mittels geeigneten Modellen zu erstellen.

Jedem Szenario ist ein kreisförmiger Letalitätsbereich oder eine Letalität in einem Sektor (Kreissektor) bspw. auf der Zugangsseite oder der durch einen Schutzwall abgeschirmten Seite zugewiesen (**P8**, Tabelle 5). Diese sind in Abbildung 4 illustriert.

Abbildung 4

Letalitätsbereiche

Letalitäten im kreisförmigen Letalitätsbereich (links) und im Sektor bspw. auf der Zugangsseite oder des Schutzwalls (rechts). R bezeichnet den Letalitätsradius für die Letalitätswerte (90%, 50%, 10%, 1%). Die Prozentwerte in den farblich unterschiedenen Flächen (99%, 80%, 30%, 6%) geben die mittlere Letalität auf der jeweiligen Fläche an. Für den Letalitätssektor wird der Öffnungswinkel $\alpha = 45^\circ$ verwendet.



Die Flächen der Letalitätsbereiche können als Funktion der Letalitätsradien und des Öffnungswinkels des Sektors gemäss Tabelle 8 berechnet werden (siehe Berechnungsbeispiel 1). Für Personen, die in diesen Flächen exponiert sind, gelten die mittleren Letalitäten je Letalitätsbereich.

Tabelle 8

Berechnung der Flächen der Letalitätsbereiche

Berechnungsformeln für die einzelnen Letalitätsbereiche für kreisförmige Flächen oder mit Verwendung eines Öffnungswinkels α Kreissectoren (bspw. $\alpha = 45^\circ$).

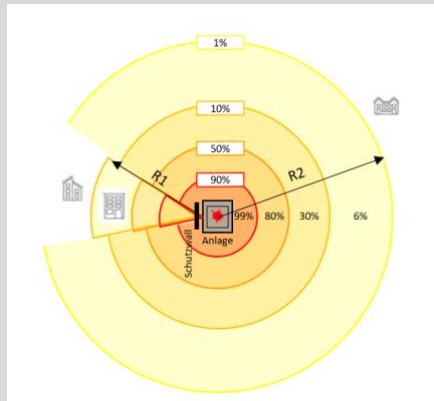
Letalitätsbereiche	Mittlere Letalitäten, λ_x	Fläche kreisförmiger Letalitätsbereich	Fläche Letalitätssektor
0 m – R_{90}	99%	$A_{90} = \pi \times R_{90}^2$	$S_{90} = \frac{\alpha}{360^\circ} \times \pi \times R_{90}^2$
R_{90} – R_{50}	80%	$A_{50} = \pi \times (R_{50}^2 - R_{90}^2)$	$S_{50} = \frac{\alpha}{360^\circ} \times \pi \times (R_{50}^2 - R_{90}^2)$
R_{50} – R_{10}	30%	$A_{10} = \pi \times (R_{10}^2 - R_{50}^2)$	$S_{10} = \frac{\alpha}{360^\circ} \times \pi \times (R_{10}^2 - R_{50}^2)$
R_{10} – R_1	6%	$A_1 = \pi \times (R_1^2 - R_{10}^2)$	$S_1 = \frac{\alpha}{360^\circ} \times \pi \times (R_1^2 - R_{10}^2)$

Berechnungsbeispiel 1: Detonation in OA mit Schutzwall

In einer oberirdischen Anlage befinden sich Explosivstoffe der Gefahrenkategorie 1.1 mit NEM von 5000 kg.

Welche Gefährdung besteht in welchem Abstand für Personen in Gebäuden?

Die Anlage ist einseitig (links), in Richtung eines nahe gelegenen bewohnten Gebiets, von mit einem Schutzwall umgeben.



Für diesen Fall kann man aus der Szenarien-Box in Tabelle 5 rauslesen, dass die Letalitätsradien $R1$ unter Berücksichtigung des Schutzwalls in Abbildung All.8 und diejenigen ohne Schutzwall $R2$ in Abbildung All.6 angegeben sind. Die Radien werden als Kreissegmente mit 45° und 315° um die Anlage gelegt. Die Letalitätswerte aus Abbildung All.8 und All.6 ergeben:

$R1(90\text{-Letalität}) = 62 \text{ m}$	$R2(90\text{-Letalität}) = 160 \text{ m}$
$R1(50\text{-Letalität}) = 83 \text{ m}$	$R2(50\text{-Letalität}) = 250 \text{ m}$
$R1(10\text{-Letalität}) = 116 \text{ m}$	$R2(10\text{-Letalität}) = 410 \text{ m}$
$R1(1\text{-Letalität}) = 167 \text{ m}$	$R2(1\text{-Letalität}) = 590 \text{ m}$

Die Letalitäten (λ_x) für Personen in den Kreissegmenten um die Anlage sind gemäss Tabelle 8 wie folgt zu charakterisieren:

$\lambda_{90}(0 \text{ m} - 62 \text{ m}) = 99\%$	$\lambda_{90}(0 \text{ m} - 160 \text{ m}) = 99\%$
$\lambda_{50}(62 \text{ m} - 83 \text{ m}) = 80\%$	$\lambda_{50}(160 \text{ m} - 250 \text{ m}) = 80\%$
$\lambda_{10}(83 \text{ m} - 116 \text{ m}) = 30\%$	$\lambda_{10}(250 \text{ m} - 410 \text{ m}) = 30\%$
$\lambda_1(116 \text{ m} - 167 \text{ m}) = 6\%$	$\lambda_1(410 \text{ m} - 590 \text{ m}) = 6\%$
$\lambda_0(> 167 \text{ m}) = 0\%$	$\lambda_0(> 590 \text{ m}) = 0\%$

3.3 Abschätzung Anzahl Todesopfer

Die Abschätzung der Personenzahl in den Letalitätsbereichen ist anhand der Berechnungsformeln für jede Exposition in Tabelle 9 vorzunehmen. Dabei wird die Anzahl Personen im Freifeld und in Gebäuden basierend auf den berechneten Flächen (Tabelle 8), den Aufenthaltswahrscheinlichkeiten²⁰ und der Bevölkerungsdichte (siehe exemplarische Beispiele in Tabelle 10) bestimmt.

Die Anzahl exponierter Personen im Strassenverkehr (Auto) ist proportional zur Streckenlänge im jeweiligen Letalitätsbereich (L_x in km) dividiert durch die signalisierte Geschwindigkeit (v in km/h) und zum durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV in Fzg/d) sowie zur durchschnittlichen Anzahl Personen pro Fahrzeug (Tabelle 9).

Tabelle 9

Berechnung der Personenzahl im Letalitätsbereich (Bevölkerungsdichte B_x in Personen/km², Fläche A_x in km²) als Funktion der Streckenlänge im Letalitätsbereich (L_x in km), des durchschnittlichen täglichen Verkehrs (DTV) und der signalisierten Geschwindigkeit (v in km/h).

Exposition	Berechnung der Personenzahl P_x im Letalitätsbereich x
Personen Freifeld	$P_x = A_x \times B_x \times 10\%$
Auto	$P_x = L_x / v \times DTV / 12h/d \times 1,6 P/Fzg$
Personen Gebäude	$P_x = A_x \times B_x \times 90\%$

Tabelle 10

Beispiele von konservativen Werten für Bevölkerungsdichten typischer Gebiete²¹

Beschreibung des Gebiets	Bevölkerungsdichte (Personen/km ²)
Landwirtschaftszone, vereinzelt Häuser	500
Streusiedlungen	1000
Dorf, ruhige Wohnzone	2000
Wohnzone	4000
Geschäfts- und Wohnzone	8000
Städtisches Gebiet, Einkaufszentren, Stadtzentrum	16 000

Mit dieser groben Abschätzung resultiert für die Störfallszenarien ein konservatives Ausmass. Alternativ kann die Personenzahl im Freien oder in Gebäuden in den einzelnen Letalitätsbereichen anhand einer detaillierten Betrachtung durch Verwendung von statistischen Bevölkerungsdaten²² oder durch Abzählen einzelner Gebäude und einer Personenbelegung²³ pro Gebäude bestimmt werden. Für Mehrfamilienhäuser wird i. d. R. pro Wohneinheit eine durchschnittliche Belegung von 2 Personen angenommen, in Einfamilienhäusern wird eine durchschnittliche Belegung von 3 Personen eingesetzt. Die Anzahl exponierter Personen kann ebenfalls aus den Daten der Einwohnerkontrolle der Gemeinden oder aus Volkszählungsdaten ermittelt werden.

²⁰ Worst-case: 100% der Bevölkerung anwesend, davon 10% draussen.

²¹ Applikation zur Ausmassabschätzung für hochaktive Stoffe auf Stufe Kurzbericht nach StFV, 13.06.2017

²² STATPOP/STATENT, Statistik der Bevölkerung und Haushalte/Statistik der Unternehmensstruktur, www.bfs.admin.ch

²³ Schweizerische Erdgaswirtschaft Sicherheit von Erdgashochdruckanlagen, Rahmenbericht zur standardisierten Ausmassschätzung und Risikoermittlung, Seite 28, 2010.

Der Eisenbahnverkehr (Zug) stellt einen Sonderfall mit zeitlich sehr variablem Personenaufkommen dar. Für die Ausmasseinschätzung ist vorzusehen, lediglich dasjenige Personenaufkommen aus dem Eisenbahnverkehr zu berücksichtigen, das durchschnittlich mindestens während 1 Stunde pro Woche auftritt. Es kann angenommen werden, dass Expositionsmaxima, die seltener auftreten, im Rahmen einer Risikoermittlung nicht massgeblich zum Gesamtrisiko beitragen, so dass solche Fälle auch auf Stufe Kurzbericht nicht betrachtet werden müssen. Für die Auftretenshäufigkeit (H_{10} in h/Woche) ist die Schienenlänge innerhalb des 10%-Letalitätsradius (L_{10} in km), die Zuggeschwindigkeit (v in km/h) und die Anzahl Züge pro Tag (N_Z/d) wie folgt zu berücksichtigen:

$$H_{10} = L_{10}/v \times N_Z/17 \text{ h/d} \times 168 \text{ h/Woche}$$

Bei einer Auftretenshäufigkeit $H_{10} \geq 1 \text{ h}$ pro Woche sind die exponierten Passagiere der Eisenbahn in Störfallszenarien zu betrachten. Die Zusammenstellung gemäss Tabelle 11 zeigt auf, unter welchen Bedingungen eine relevante Auftretenshäufigkeit vorliegt. So ist bspw. die Auftretenshäufigkeit bei 20 Zügen pro Tag mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h und einer Schienenlänge von 0.4 km innerhalb des 10%-Letalitätsradius grösser als 1 h pro Woche und somit relevant.

Tabelle 11

Relevante Auftretenshäufigkeit ($H_{10} \geq 1 \text{ h/Woche}$)

Zusammenstellung der Anzahl Züge in beider Richtungen pro Tag (N_Z in 1/d), welche in Abhängigkeit der Schienenlänge innerhalb des 10%-Letalitätsradius (L_{10}) zu einer Auftretenshäufigkeit (H_{10}) von grösser einer Stunde pro Woche führt. Dies unter der Annahme einer signalisierten Geschwindigkeit von 80 km/h (v).

N_Z 1/d	min. L_{10} km
5	1.4
10	0.7
20	0.4
80	0.1
160	0.05

Die Ausmasseinschätzung ist jeweils für die Expositionen im Freien/Fahrzeug und im Gebäude vorzunehmen (Kapitel 3.2.5). Für die Exposition im Freien/Fahrzeug sind die Personenzahlen im Freifeld, im Auto und im Zug pro Letalitätsbereich zu addieren. Die Anzahl Todesopfer N_T für ein Szenario ergibt sich dann aus der Summe der Produkte aus mittlerer Letalität λ_x (Tabelle 8) und Personenzahl P_x im Letalitätsbereich x :

$$N_T = \sum_x \lambda_x \times P_x$$

Das Berechnungsbeispiel 2 zeigt das konkrete Vorgehen zur Ausmasseinschätzung anhand von Zahlenwerten auf.

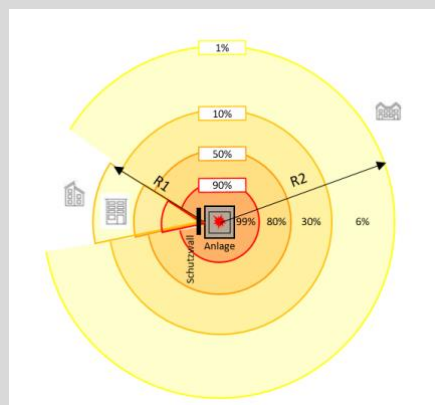
Das Szenario mit der grössten Anzahl Todesopfer, üblicherweise das Detonations-Szenario, ist das «Worst Case»-Szenario bezüglich der Letalität und somit das Störfallszenario mit dem massgebenden Schadensausmass für die Bevölkerung.

Berechnungsbeispiel 2

Anhand der Zahlen aus dem Berechnungsbeispiel 1 soll nun die Anzahl Todesopfer im Gebäude bestimmt werden.

Die Flächen im Letalitätsbereich ergeben gemäss Tabelle 8 für die Sektoren S1 ($\alpha = 45^\circ$) und S2 ($\alpha = 315^\circ$):

$S1_{90}$ mit Schutzwall (90%-Letalität) = $1.51 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2$	$S2_{90}$ ohne Schutzwall (90%-Letalität) = $70.4 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2$
$S1_{50}$ mit Schutzwall (50%-Letalität) = $1.20 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2$	$S2_{50}$ ohne Schutzwall (50%-Letalität) = $101 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2$
$S1_{10}$ mit Schutzwall (10%-Letalität) = $2.58 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2$	$S2_{10}$ ohne Schutzwall (10%-Letalität) = $290 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2$
$S1_1$ mit Schutzwall (1%-Letalität) = $5.67 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2$	$S2_1$ ohne Schutzwall (1%-Letalität) = $495 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2$



Im äusseren Wirkungsbereich der Anlage liegt ein Dorf mit einer Bevölkerungsdichte von $4000 \text{ Personen/km}^2$, der restliche Wirkungsbereich befindet sich in der Landwirtschaftszone ohne Wohnbauten. In den Gebäuden halten sich demnach $4000 \text{ P/km}^2 \times 90\% = 3600 \text{ P/km}^2$ auf (Tabelle 9). In den inneren Letalitätsbereichen bis $R(10\%-L) = 100 \text{ m}$ sind keine Personen vorhanden. Daraus folgt die Anzahl Todesopfer im Ereignisfall:

$$\begin{aligned}
 N_T \text{ mit Schutzwall} &= (0.99 \times 1.51 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2 \times 0 \text{ P/km}^2 \\
 &+ 0.80 \times 1.20 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2 \times 0 \text{ P/km}^2 \\
 &+ 0.30 \times 2.58 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2 \times 0 \text{ P/km}^2 \\
 &+ 0.06 \times 5.67 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2 \times 3600 \text{ P/km}^2) \\
 &= 1.2 \text{ Personen}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_T \text{ ohne Schutzwall} &= (0.99 \times 70.4 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2 \times 0 \text{ P/km}^2 \\
 &+ 0.80 \times 101 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2 \times 0 \text{ P/km}^2 \\
 &+ 0.30 \times 290 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2 \times 0 \text{ P/km}^2 \\
 &+ 0.06 \times 495 \cdot 10^{-3} \text{ km}^2 \times 0 \text{ P/km}^2) \\
 &= 0 \text{ Person}
 \end{aligned}$$

Damit ist keine schwere Schädigung zu erwarten.

4 Ausmasseinschätzung bezüglich der Umwelt für den Kurzbericht

Explosivstoffe umfassen eine breite Stoffgruppe mit unterschiedlichsten Eigenschaften. Gewisse dieser Stoffe sind bspw. gemäss EU-CLP-Verordnung als (sehr) giftig und/oder langfristig schädlich für Wasserorganismen zu bezeichnen. Diese Stoffe werden mit den Gefahrenhinweisen H400 (sehr giftig für Wasserorganismen), H410 (sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung) oder H411 (giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung) eingestuft. Für einige Stoffe sind auch Höchstwerte gemäss der Verordnung über «Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV²⁴)» festgelegt. Solche Stoffe sind für die Ausmasseinschätzung bezüglich der Umwelt im Sinne der Störfallverordnung von Relevanz. In diesem Kapitel wird durch Präsentation von Ausschlusskriterien die Frage beantwortet, wann im Kurzbericht auf eine Ausmasseinschätzung bezüglich der Umwelt verzichtet werden kann. D. h., in welchen Fällen schwere Schädigungen von oberirdischen oder unterirdischen Gewässern auszuschliessen sind.

4.1 Ausmasseinschätzung für oberirdische Gewässer

Durchgeführte Modellrechnungen zur Einschätzung des Schadenausmasses unter Berücksichtigung von konservativen Parametern zeigen für oberirdische Gewässer, dass bei einem Störfall keine schwere Schädigung von Fließgewässern erwartet werden muss.

Ausschlusskriterium «oberirdische Gewässer – Fließgewässer»

Für Fließgewässer sind keine schweren Schädigungen zu erwarten. Eine Ausmasseinschätzung auf Stufe Kurzbericht ist nicht notwendig.

Im Vergleich zu Fließgewässern können für stehende oberirdische Gewässer (> 1 km²) schwere Schädigungen, wegen des in der Regel grösseren Eintrags von unverbrannten Explosivstoffen, nicht a priori ausgeschlossen werden. Dies, da die exponierte Gewässeroberfläche wesentlich grösser ist. Bei einer Explosion können unverbrannte Explosivstoffe ausgeblasen und so z. B. in einen See eingetragen werden. Ausgehend von Stoffen, welche gemäss EU-CLP-Verordnung als (sehr) giftig und/oder langfristig schädlich für Wasserorganismen zu bezeichnen sind und über eine zumindest teilweise Wasserlöslichkeit verfügen, können schwere Schädigungen resultieren. Dies trifft z. B. auf Stoffe wie Trinitrotoluol (Löslichkeit in Wasser ca. 0.13 g/l, LC50 (Fisch) 2.4 mg/l)²⁵, Nitroglycerin (Löslichkeit in Wasser ca. 1.5 g/l, LC50 (Fisch) 2 mg/l) und Cyclonit «RDX» (Löslichkeit in Wasser ca. 0.06 g/l, LC50 (Fisch) 5.9 mg/l) zu.

²⁴ Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20143396/index.html>

²⁵ Die Daten stammen aus den Registrierungsdossiers der ECHA und der Applikation HazmatSuisse.

Ausschlusskriterien «oberirdische Gewässer – stehende Gewässer»

Eine Ausmasseneinschätzung auf Stufe Kurzbericht ist nicht notwendig, wenn mindestens eines der nachfolgenden Kriterien erfüllt ist:

- Es wird für keinen Stoff, bzw. keine Zubereitung auf dem Betriebsareal die Mengenschwelle bezüglich der Kriterien für Umweltgefahren gemäss Anhang 1.1 Ziff. 43 Störfallverordnung überschritten.
- Im Abstand bis zu 100 m um das Betriebsareal befindet sich kein stehendes Gewässer ($> 1 \text{ km}^2$)²⁸.

4.2 Ausmasseneinschätzung für unterirdische Gewässer

Durchgeführte Modellrechnungen zur Einschätzung des Schadenausmasses unter Berücksichtigung von konservativen Parametern zeigen für unterirdische Gewässer, dass schwere Schädigungen möglich sind. Ob bei einem Störfall schwere Schädigungen von unterirdischen Gewässern eintreten, hängt von den stoffspezifischen Höchstwerten für Trinkwasser gemäss der TBDV²⁶, den chemischen Eigenschaften der freigesetzten Stoffe sowie der Distanz zu Fassungen der öffentlichen Trinkwasserversorgung ab. Bei einer Explosion können unverbrannte Explosivstoffe ausgeblasen und über Schutzzonen S verteilt werden. Durch Niederschlagswasser werden die Stoffe in das unterirdische Gewässer eingetragen. Liegt in der Schutzzone S eine öffentliche Trinkwasserfassung mit einer kumulierten Förderleistung $\geq 2500 \text{ l/min}$ und wird ein Höchstwert für die Trinkwasserqualität der TBDV oder gemäss den Guideline Values der WHO²⁷ überschritten, so sind schwere Schädigungen grundsätzlich möglich²⁸. Bei Stoffen wie Trinitrotoluol (Löslichkeit in Wasser ca. 0.13 g/l , LC50 (Fisch) 2.4 mg/l)²⁹ und Nitroglycerin (Löslichkeit in Wasser ca. 1.5 g/l , LC50 (Fisch) 2 mg/l) können schwere Schädigungen von Grundwasser nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden.

Ausschlusskriterien «unterirdische Gewässer»

Eine Ausmasseneinschätzung auf Stufe Kurzbericht ist nicht notwendig, wenn mindestens eines der nachfolgenden Kriterien erfüllt ist:

- Es wird für keinen Stoff, bzw. keine Zubereitung auf dem Betriebsareal die Mengenschwelle bezüglich der Kriterien für Umweltgefahren gemäss Anhang 1.1 Ziff. 43 Störfallverordnung überschritten.
- Im Abstand bis zu 100 m um das Betriebsareal befinden sich keine Schutzzonen mit öffentlichen Trinkwasserfassungen mit kumulierter Förderleistung $\geq 2500 \text{ l/min}$ (dabei werden nur Fassungen mit Fördermengen $\geq 500 \text{ l/min}$ berücksichtigt).

²⁶ Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen
<https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20143396/index.htm>

²⁷ Guidelines for Drinking-water Quality, WHO, 2017 www.who.int/water_sanitation_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/fr/

²⁸ Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung, ein Modul des Handbuchs zur Störfallverordnung (StFV), BAFU, 2018.

²⁹ Die Daten stammen aus den Registrierungsdossiers der ECHA und der Applikation HazmatSuisse.

5 Hinweise zur Risikoermittlung

Notwendigkeit einer Risikoermittlung gem. Art. 6 StFV

Eine Risikoermittlung ist gemäss Art. 6 StFV notwendig, wenn aufgrund des Kurzberichts schwere Schädigungen nicht ausgeschlossen werden können.

Die Vorgaben an die Risikoermittlung gemäss Anhang 4.1 der StFV sehen für die Bestimmung der wesentlichen Störfallszenarien, neben der Ausmassbestimmung für die Bevölkerung und die Umwelt, auch die Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit vor. Dabei sind insbesondere die Vorgaben des Handbuchs zur Störfallverordnung³⁰ zu berücksichtigen. Weitere Hinweise sind nachfolgend in knapper, nicht abschliessender Form aufgelistet.

Bestimmung der TNT-Ersatzmenge

In einer Risikoermittlung ist zur Wirkungsabschätzung die TNT-Ersatzmenge (QTNT) als Eingangsgrösse für die Berechnung der Letalität in Tabelle 5 (Spalte P3) einzusetzen. Die Menge an QTNT ist grundsätzlich über TNT-Äquivalenzwerte und ggf. weiterer Faktoren für die Beteiligung am Ereignis, wie z. B. die Art der Verpackung, zu bestimmen.

Beispiele für TNT-Äquivalenzwerte für Explosivstoffe sind in Tabelle 12 angegeben.

Tabelle 12

TNT-Äquivalenzwerte f_{TNT}^e für Explosivstoffe u.a. gemäss AASTP-4 NATO (2016),
Explosives Safety Risk Analysis Part II: Technical Background, Edition 1, Version 4, September 2016.

Explosivstoff	f_{TNT}^e
alle (sekundären) Sprengstoffe	1.2
ANO, Emulsionssprengstoffe	0.75
alle Initialsprengstoffe	0.5
Anzündschnüre	0.1
pyrotechnische Sprengzünder	0.5
Treibladungspulver der GK 1.1	1.0
Schwarzpulver (je nach Verdämmung)	0.3–0.5
Pulvervorkonzentrat UN 0081 (bis 85% Nitroglycerin)	1.2
Pulverrohmasse UN 0159 (angefeuchtet bis zu 50% Nitroglycerin)	1.2
Nitrocellulose alkoholfleucht	0.5
Knall- und Blitzsätze	1.2
Phosphor, Leuchtsätze, Nebelkörper, Zeitzündschnüre	0.1
Leuchtpurchemikalien	0.0
Militärische Explosivstoffe und Munition gemäss VMSV ^[5]	–

Berücksichtigung von Sicherheitsmassnahmen

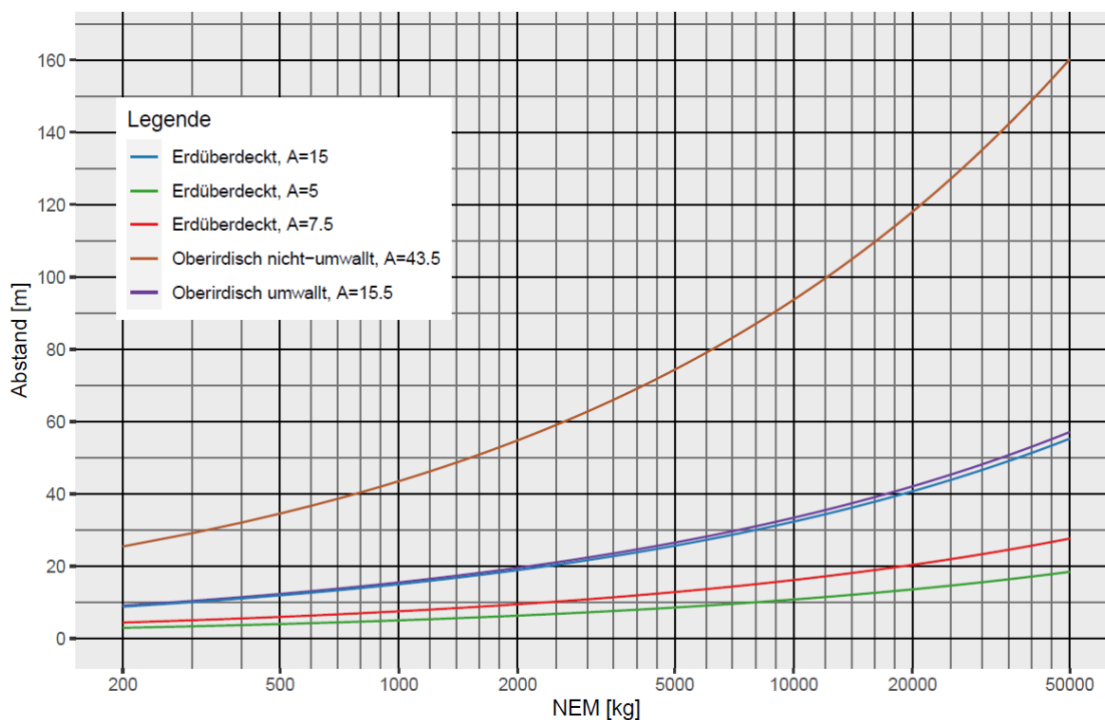
In der Risikoermittlung können z. B. aktive Sicherheitsmassnahmen, welche im Kurzbericht für die Ausmasseneinschätzung nicht berücksichtigt werden, anhand ihrer Wirkung in der Berechnungen der Schadensausmasse pro Szenario berücksichtigt werden.

Übertragungssicherheit (Dominoeffekte)

In Bezug auf mögliche Dominoeffekte – bzw. der Klärung derer Relevanz solcher Szenarien für die Risikoermittlung – sind die übertragungssicheren Abstände gemäss Abbildung 5 in Abhängigkeit der gelagerten NEM resp. Menge an QTNT zu prüfen (Angaben aus TLM^[4]).

Abbildung 5

Übertragungssichere Abstände für oberirdische und erdüberdeckte Anlagen



Dabei berechnet sich der übertragungssichere Abstand d in Meter (m) zwischen zwei Gebäuden als Produkt der Umwallungs- oder Layoutparameter A und der NEM in kg gemäss folgender Formel:

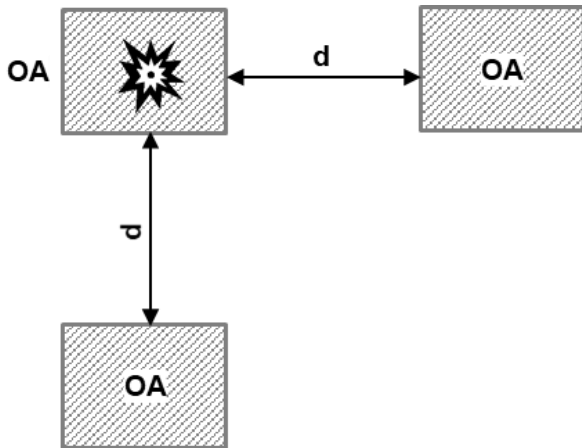
$$d = A \times \left(\frac{NEM}{1000 \text{ kg}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Für OA ist der Parameter A abhängig von der Umwallung und ist wie folgt gegeben:

- $A = 15.5$ bei Anlagen mit wirksamen Schutzwall
- $A = 43.5$ bei Anlagen ohne Schutzwall

Abbildung 6

Grundrissbeispiel zu übertragungssicheren Abständen für oberirdische Anlagen ohne Schutzwall.

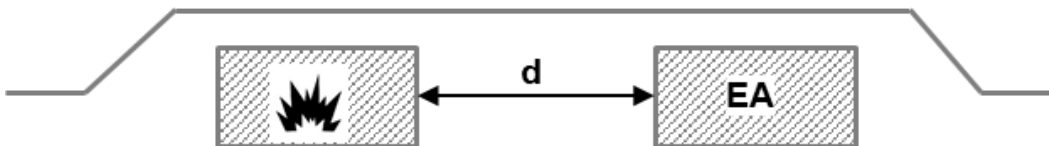


Für EA ist der Parameter A abhängig von der Erdüberdeckung und der gegenseitigen Anordnung der Anlage. Er ist wie folgt definiert:

- $A = 5$ bei EA ohne gemeinsame Überdeckung / seitlich versetzte Zugänge
- $A = 7.5$ bei EA mit gemeinsamer Überdeckung
- $A = 15$ bei EA mit gegenüberliegenden Zugängen

Abbildung 7

Seitenansichtbeispiel zu übertragungssicheren Abständen für erdüberdeckten Anlagen mit gemeinsamer Überdeckung.



Bei Szenarien mit Abbrand und Feuerball (Kategorie 1.3b) ist die Berücksichtigung des Dominoeffekts für die Einschätzung des Schadensausmasses auf Stufe Kurzbericht wie auch Risikoermittlung nicht notwendig.

Physikalische Wirkung

In der Risikoermittlung sind die einzelnen physikalischen Wirkungen zu überprüfen und ihre Letalitätsbereiche der Situation angepasst abzubilden. Beispielsweise sind beim Wandtrümmerwurf das effektive Anlagevolumen, die Hauptausrichtung des Trümmerfeldes oder vorhandene Geländeerhebungen zu berücksichtigen.

Exposition

In der Risikoermittlung ist die Aufenthaltsdauer der möglichen exponierten Personen anhand der Tageszeit (Tag/Nacht) und dem Wochentag detailliert zu berücksichtigen. Zudem sind bei der Berechnung der Anzahl Todesopfer die Schätzungen für die durchschnittliche Bevölkerungsdichte durch gerasterte Bevölkerungsdaten oder die Position von Einzelobjekten zu ersetzen.

Anhang

Anhang 1 – Wirksamer Schutzwall

Beispiel eines wirksamen Schutzwalls

Zur grösstmöglichen Reduktion des Wandtrümmerwurfs bei einer OA ist auf allen vier Seiten die Konstruktion eines Schutzwalls notwendig. Der Schutzwall reduziert ebenfalls das Risiko einer Explosionsübertragung auf andere Anlagen (Abbildung AI.1). In grösserem Abstand hinter dem Schutzwall gibt es im Gegensatz zum Wandtrümmerwurf keine Reduktion bez. Schädigungen durch Überdruck.

Ein Schutzwall mit den Dimensionen und Massen gemäss der Abbildung AI.1 ist ein Beispiel für einen wirksamen Schutzwall (Angaben aus TLM^[4]).

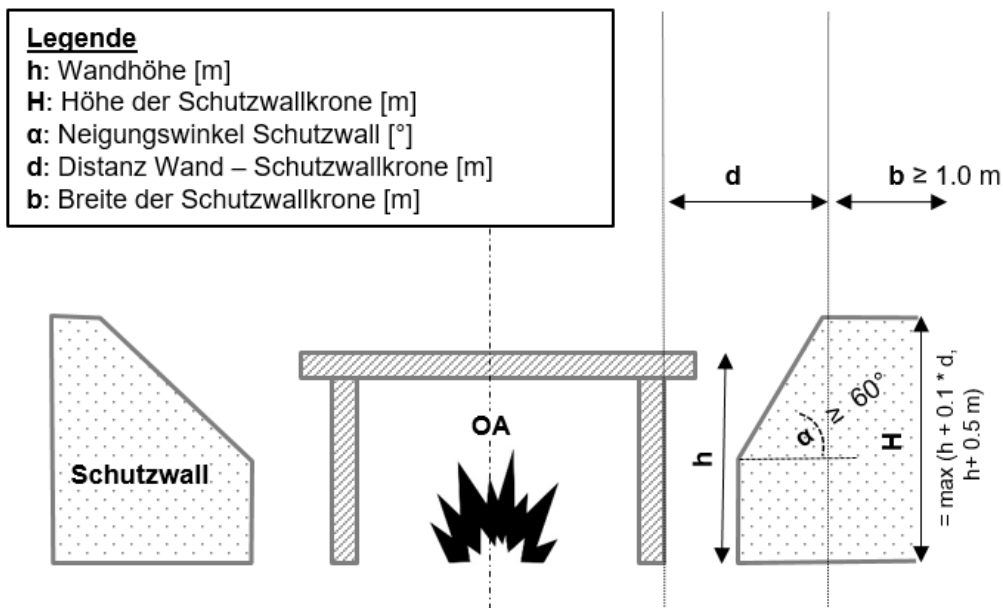
Der Schutzwall muss so konzipiert sein, dass er den Wirkungen einer Explosion in der Anlage widersteht. Hierzu ist der Schutzwall in einer zusammenhängenden, verbundenen und verankerten Bauweise zu gestalten. Umrandungen mit Beton und Oberflächengestaltung wie Bepflanzung sind bei Erdanschüttungen geeignete Mittel zur Stabilitätserhöhung. Es ist zudem sicherzustellen, dass der Schutzwall durch die Kraterbildung (siehe SprstV, Anhang 7^[2]) nicht zerstört wird.

Einem wirksamen Schutzwall sind auch andere Bauten wie Mauern, unbewohnte Gebäude oder natürliche Geländeformen wie z. B. Felswände gleichgestellt, sofern sie über entsprechende Dimensionen und Bauanforderungen verfügen.

Abbildung A1.1

Dimensionierung eines wirksamen Schutzwalls für oberirdische Anlagen mit Angaben für die Höhe und Breite der Schutzwallkrone in Abhängigkeit der Wandhöhe und Distanz zur Schutzwallkrone

Wirksamer Schutzwall



Bemerkungen

Gleichgestellt mit einem wirksamen Schutzwall sind: Mauern / Gebäude / andere Bauten / natürliche Geländeformen, wenn sie über entsprechende Dimensionen verfügen

Durch einen wirksamen Schutzwall können bei OA anstelle der Letalitätsradien aus Abbildungen AII.5 bzw. AII.6 die Letalitätsradien aus Abbildungen AII.7 bzw. AII.8 verwendet werden (Tabelle 5). Bei der Zugangsseite von EA können anstelle der Letalitätsradien aus Abbildungen AII.11 bzw. AII.12 die Letalitätsradien aus Abbildungen AII.9 bzw. AII.10 verwendet werden.

Anhang 2 – Letalitätsradien für einzelne Szenarien

Abbildung AII.1

Letalitätsradien bei Detonation in oberirdischen Anlagen in Leichtbauweise für Personen im Freien oder in Fahrzeugen

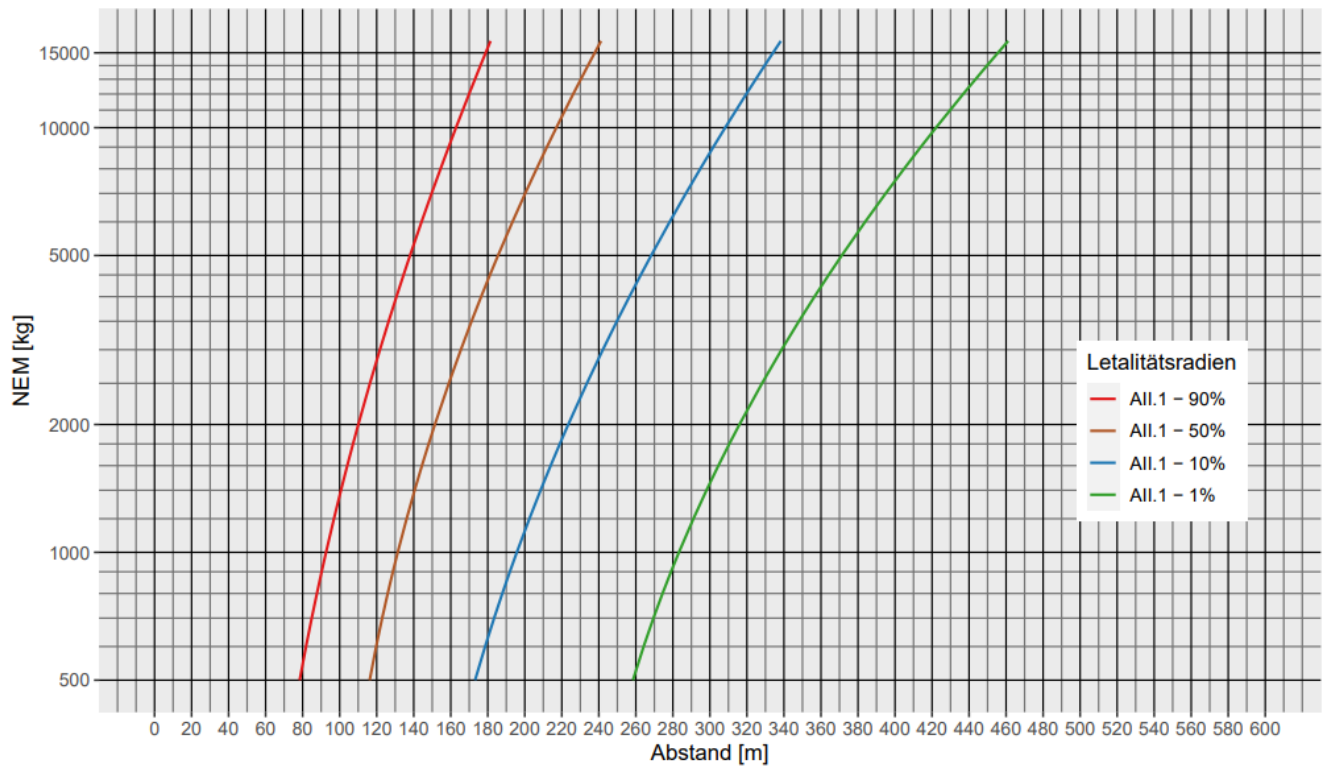


Abbildung AII.2

Letalitätsradien bei Detonation in oberirdische Anlagen in Leichtbauweise für Personen in Gebäuden

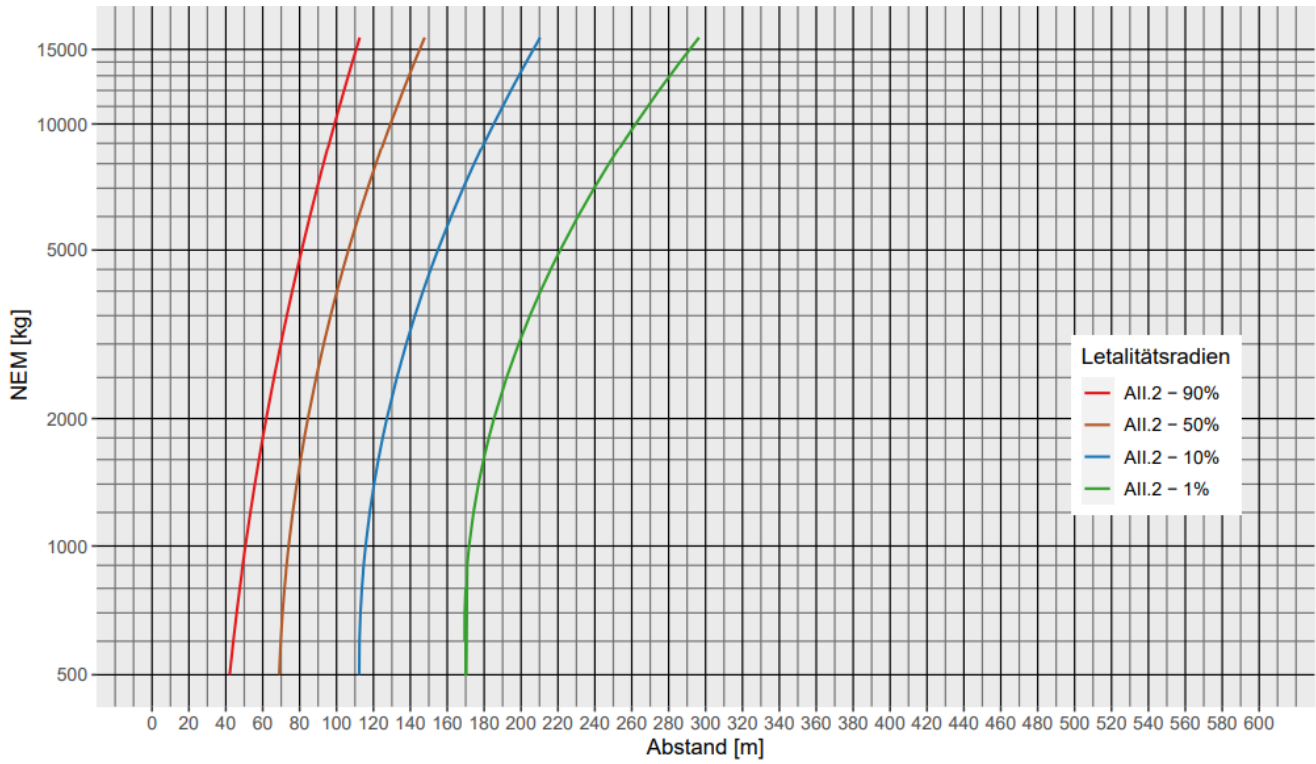


Abbildung All.3

Letalitätsradien bei Abbrand & Feuerball bei allen Anlagen mit Explosivstoffen der GK 1.3^b für Personen im Freien oder in Fahrzeugen

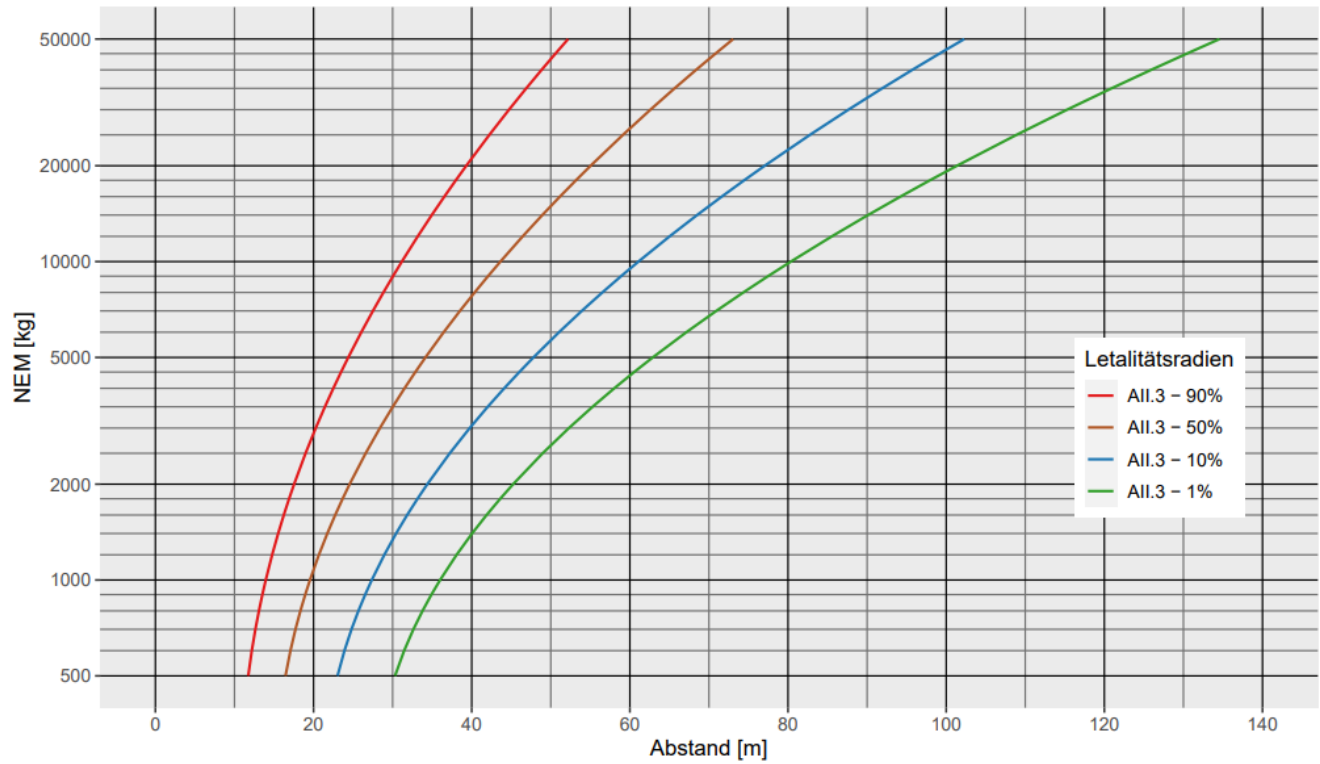


Abbildung All.4

Letalitätsradien bei Abbrand & Feuerball bei allen Anlagen mit Explosivstoffen der GK 1.3^b für Personen in Gebäuden

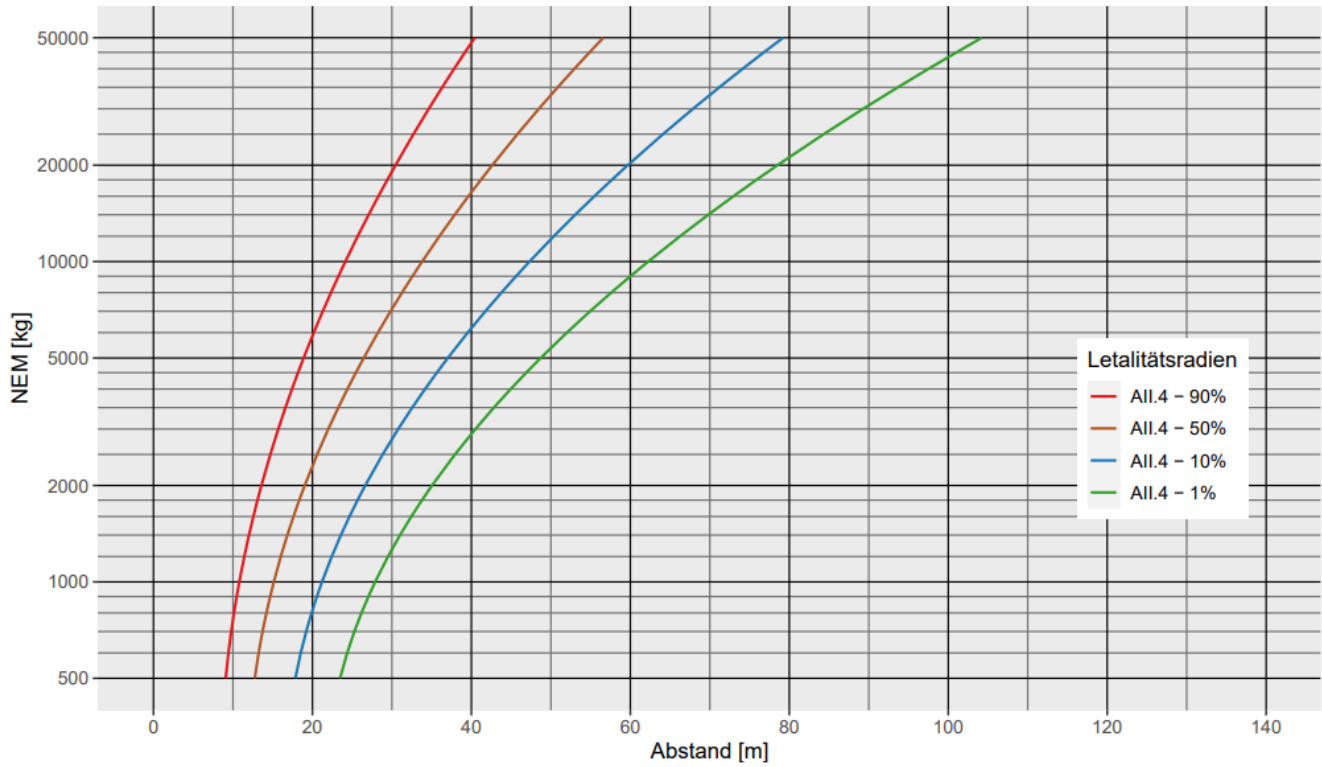


Abbildung AII.5

Letalitätsradien bei Detonation in oberirdischen Anlagen ohne Schutzwall für Personen im Freien oder in Fahrzeugen

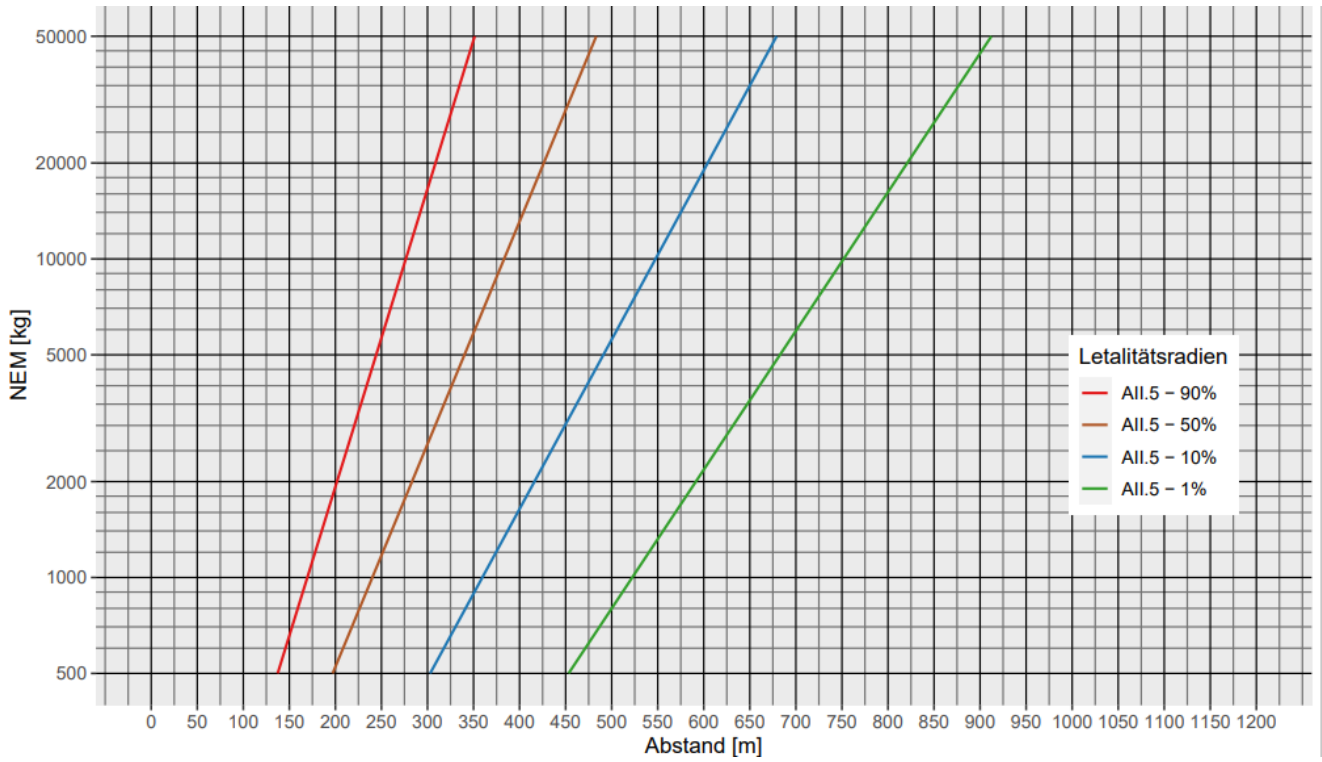


Abbildung AII.6

Letalitätsradien bei Detonation in oberirdischen Anlagen ohne Schutzwall für Personen in Gebäuden

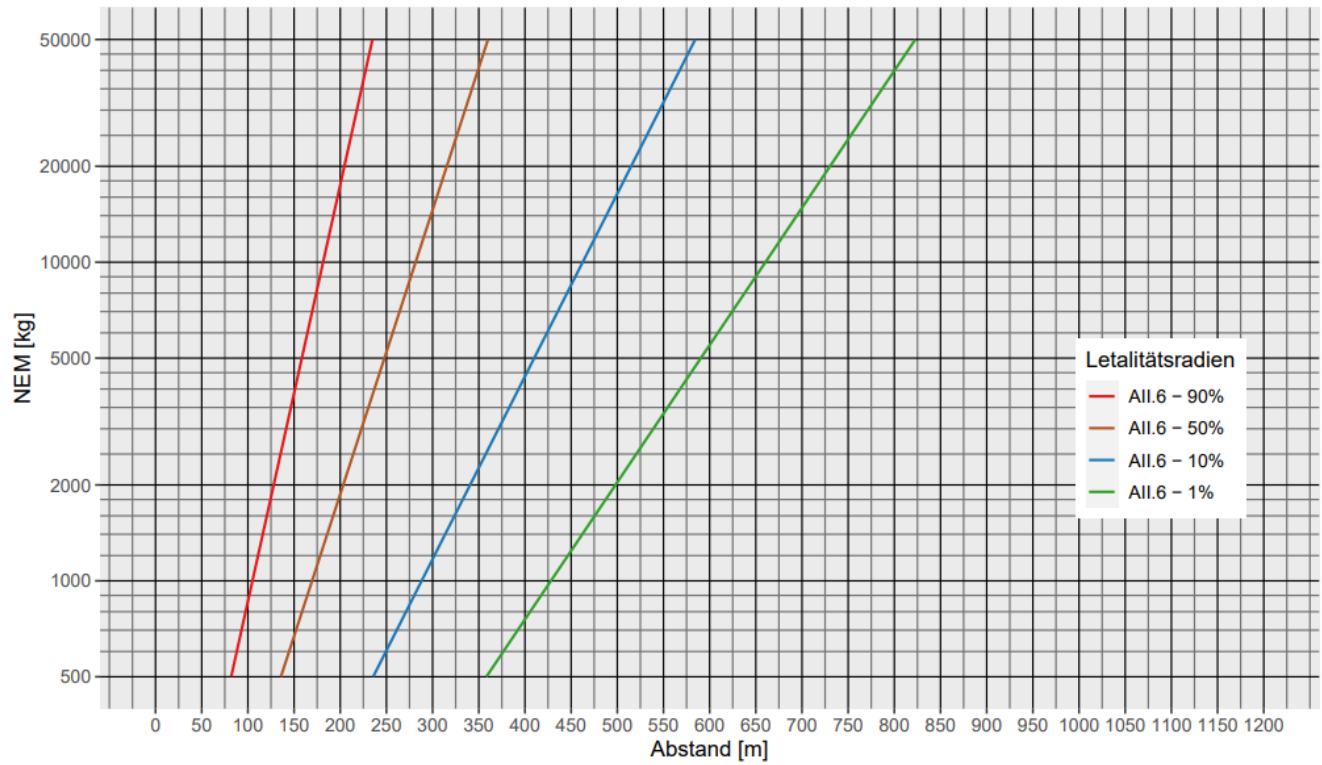


Abbildung AII.7

Letalitätsradien bei Detonation in oberirdischen Anlagen mit Schutzwall für Personen im Freien oder in Fahrzeugen

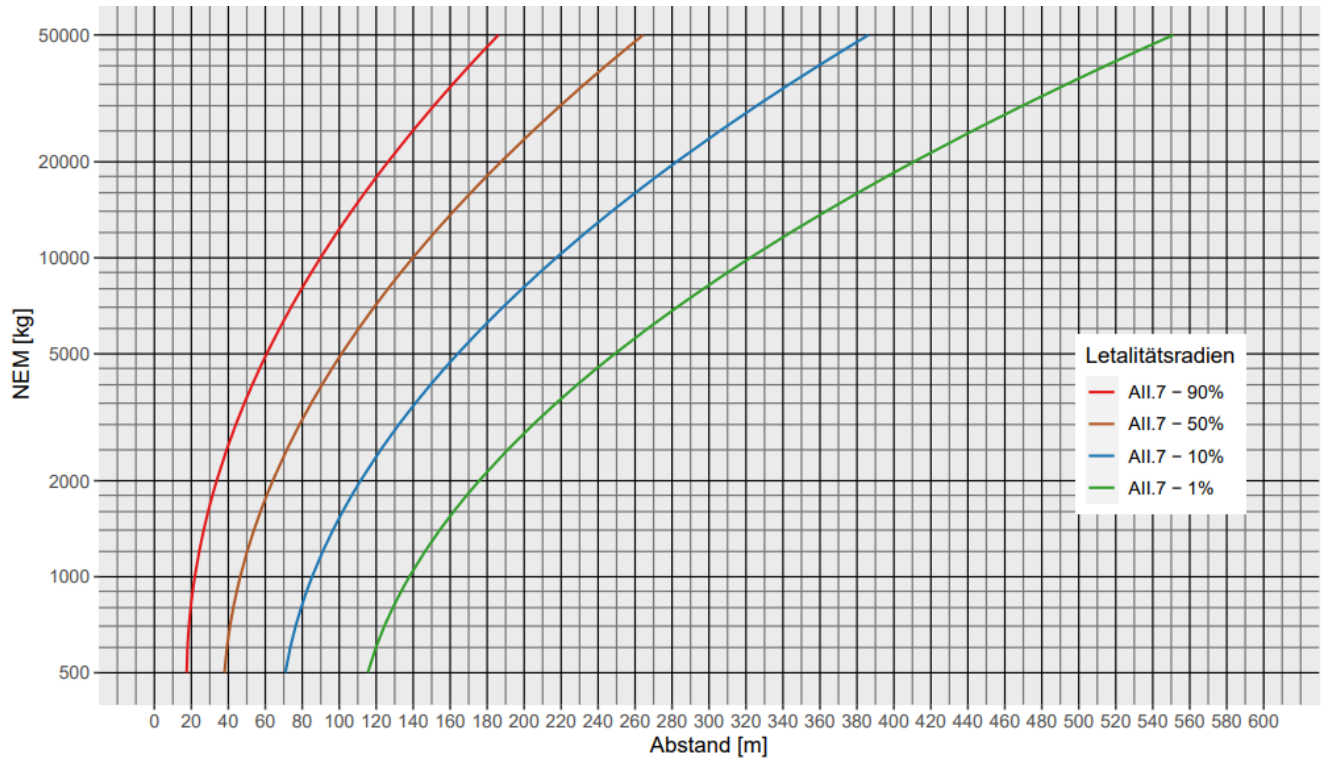


Abbildung AII.8

Letalitätsradien bei Detonation in oberirdischen Anlagen mit Schutzwall für Personen in Gebäuden

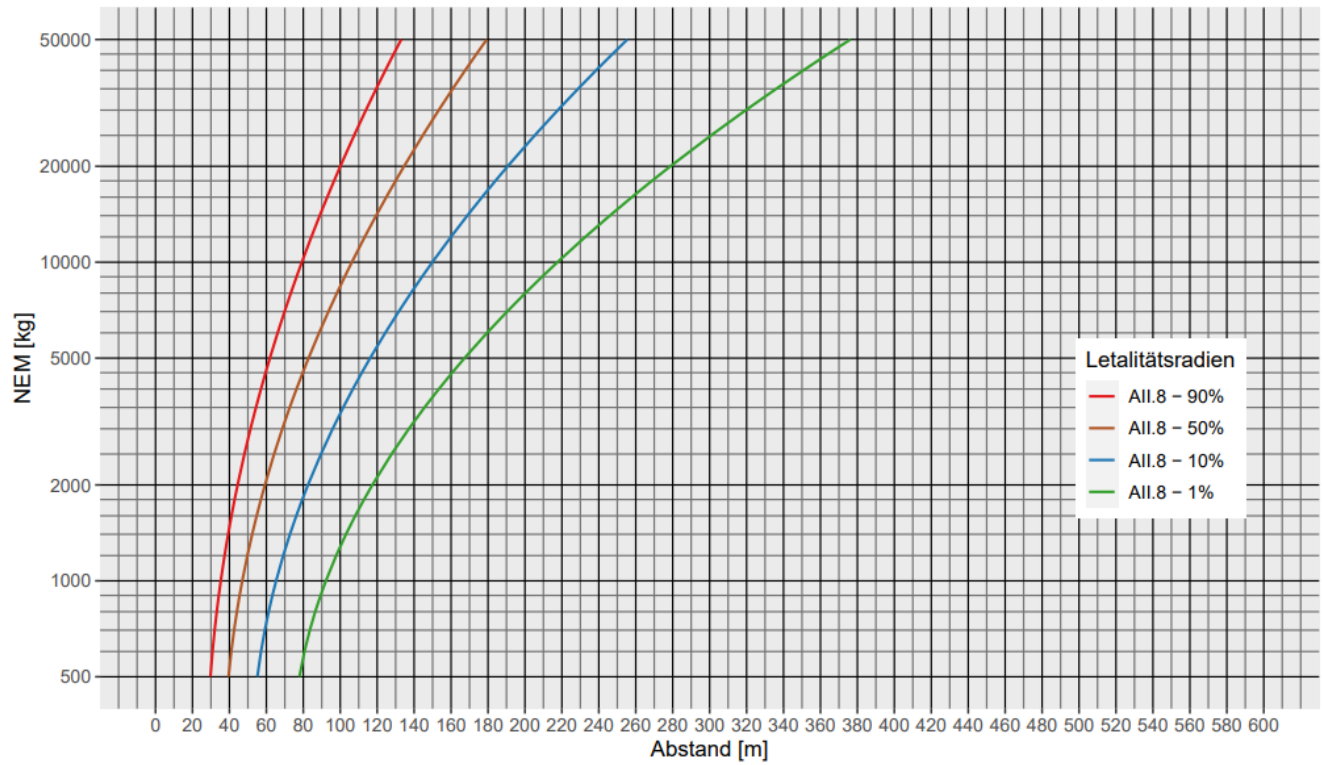


Abbildung AII.9

Letalitätsradien bei Detonation in erdüberdeckten Anlagen, auf einer angeschütteten Seite oder der durch einen Schutzwall gesicherten Zugangsseite für Personen im Freien oder in Fahrzeugen

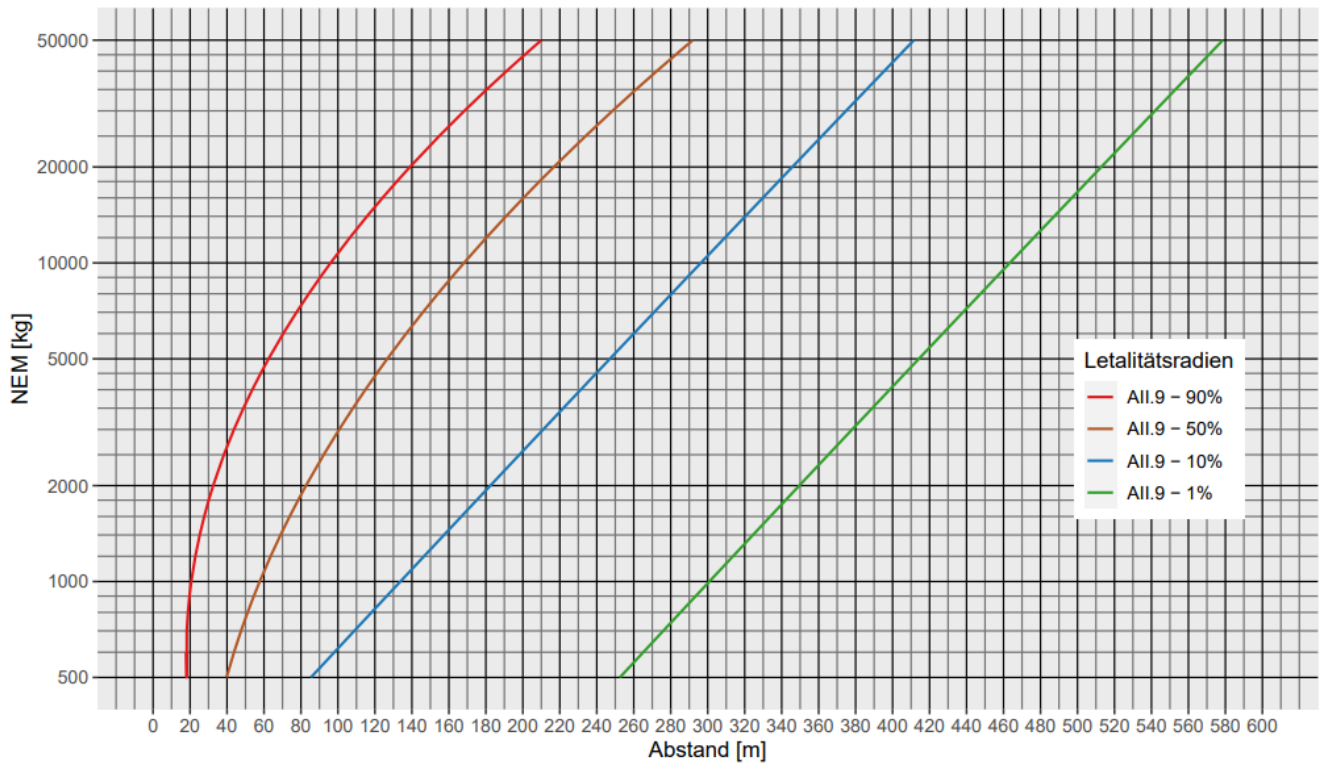


Abbildung All.10

Letalitätsradien bei Detonation in erdüberdeckten Anlagen, auf einer angeschütteten Seite oder der durch einen Schutzwall gesicherten Zugangsseite für Personen in Gebäuden

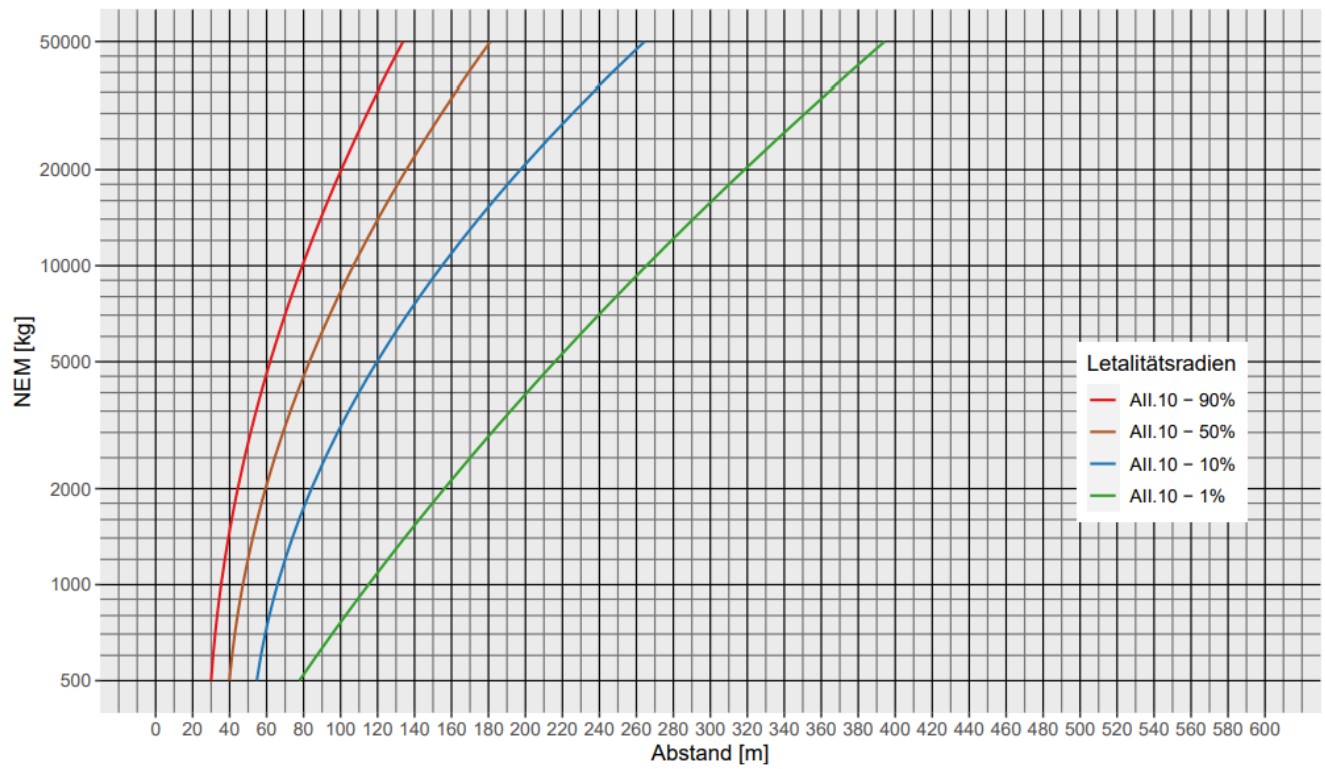


Abbildung All.11

Letalitätsradien bei Detonation in erdüberdeckten Anlagen ohne Schutzwall auf Zugangsseite für Personen im Freien oder in Fahrzeugen

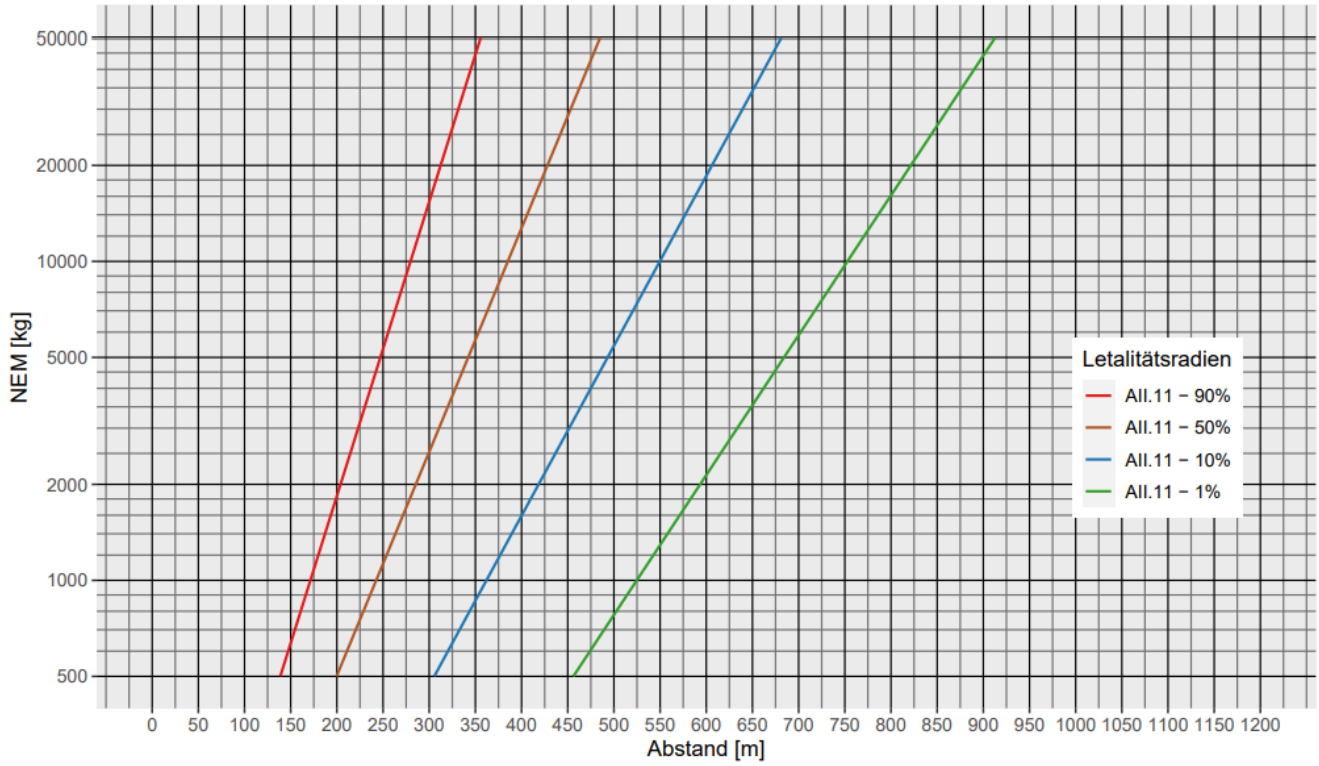
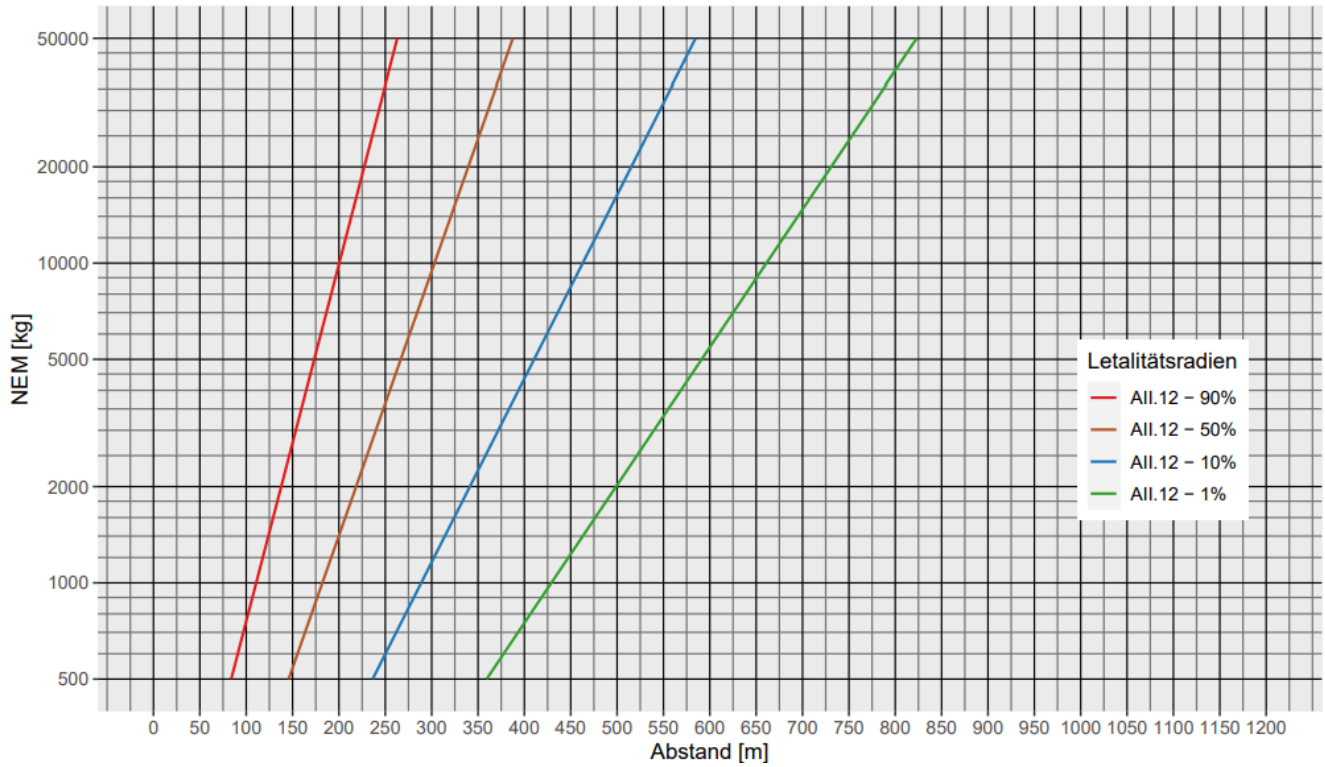


Abbildung All.12

Letalitätsradien bei Detonation in erdüberdeckten Anlagen ohne Schutzwall auf Zugangsseite für Personen in Gebäuden



Glossar

Abbrand

Der Abbrand eines Explosivstoffes ist eine exotherme Reaktion, welche sich u. a. durch deren Geschwindigkeit von einer Detonation unterscheidet. Der Abbrand erfolgt mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Die Geschwindigkeit hängt mit der Art und Zusammensetzung des Explosivstoffes zusammen. Die Abbrandgeschwindigkeit kann von wenigen mm/s bis tausend m/s reichen.

BEC-O

Blast Effects Computer – Open (BEC-O) Version 1 als Spread Sheet (www.denix.osd.mil/ddes/ddes-technical-papers) der US Behörde «Department of Defense»

Detonation

Umsetzung eines Explosivstoffes mit einer Geschwindigkeit zwischen einigen km/s bis Überschallgeschwindigkeit. Dabei treten bei Sprengstoffdetonationen oft Drücke um ca. 20 bar auf.

Erdüberdeckte Anlagen

Erdüberdeckte Anlage (EA) für die Lagerung von Explosivstoffen, die aus Gründen des Sichtschutzes und/oder zum Schutz gegen äussere Einwirkungen mit einer Erdanschüttung überdeckt ist.

Felsanlagen

Felsanlage (FA) für die Lagerung von Explosivstoffen, die aus Gründen des Sichtschutzes und zum Schutz gegen äussere Einwirkungen in Form von Stollen in den gewachsenen Felsen vorgetrieben ist.

Feuerball

Bei einem raschen Abbrand wird die freigesetzte Energie in Form eines aufsteigenden Feuerballs in die Umgebung abgegeben.

Krater-Trümmerwurf

Bei Explosionen in Anlagen wird durch Druckwirkung Erdreich zu den Seiten und nach oben vom Zentrum der Explosion hergesehen verdrängt. Es entsteht eine meist kreisförmiger Krater, aus welchem Erdreich, Steine und Trümmer ausgeworfen werden.

Nettoexplosivstoffmenge

Die Nettoexplosivstoffmenge (NEM) ist die Masse der Explosivstoffe einschliesslich der Phlegmatisierungsmittel ohne deren Umhüllung und Verpackung.

OA

Oberirdische Anlage (OA) für die Lagerung und Bearbeitung von Explosivstoffen in Massivbauweise.

Oberirdische Anlagen in Leichtbauweise

Oberirdische Anlagen (OA*Leicht*) für die Lagerung von Explosivstoffen in Leichtbauweise.

TNT-Äquivalent

Das TNT-Äquivalent (Q_{TNT}) ist eine Masseinheit für die bei einer Explosion freiwerdende Energie, bzw. die Sprengkraft eines Explosivstoffes. Dabei wird die gesamte freiwerdende Energie einer Explosion mit der dafür äquivalenten Menge des Sprengstoffs TNT verglichen.

Stollentrümmerwurf

Durch Druckwirkung werden bei FA Trümmer gerichtet in der Verlängerung der Achse des Zugangsstollens horizontal ausgestossen.

Verdämmung

Ganz oder teilweiser Einschluss eines Explosivstoffes, wodurch bei einer Explosion die resultierende Temperatur und der Druck ansteigen.

Wandrümmwurf

Durch Druckwirkung werden bei OA oder EA
Wandrümm horizontal ausgestossen.

Literatur

- [1] Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV) vom 27. Februar 1991
- [2] Verordnung über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffverordnung, SprstV) vom 27. November 2000 (Stand am 1. April 2021)
- [3] Weisungen über das Sicherheitskonzept für den Umgang mit Munition und Explosivstoffen (WSUME), 2020
- [4] Technische Richtlinien für die Lagerung von Munition (TLM) 2010, Revision 2016
- [5] Verordnung über den militärischen Strassenverkehr (VMSV) vom 11. Februar 2004 (Stand am 1. Januar 2021), Liste der zugelassenen Güter und Mengen
- [6] Mengenschwellen gemäss Störfallverordnung (StFV), 3. aktualisierte Ausgabe, März 2017; Erstausgabe 2006
- [7] UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods – Model Regulations Twentyfirst revised edition, UN 2019
- [8] Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, ADR applicable as from 1. January 2021
- [9] Richtlinie 2013/29/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung pyrotechnischer Gegenstände auf dem Markt, 12. Juni 2013
- [10] Pyrotechnische Gegenstände – Feuerwerkskörper, Kategorien F1, F2 und F3, SN EN 15947, 2016
- [11] Bundesgesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz, SprstG) vom 25. März 1977 (Stand am 1. Januar 2013)
- [12] Bundesgesetz über den Schutz vor gefährlichen Stoffen und Zubereitungen (Chemikaliengesetz, ChemG) vom 15. Dezember 2000 (Stand am 1. Januar 2017)
- [13] VKF-Brandschutzvorschriften, 2015
www.bsvonline.ch
- [14] Störfallvorsorge bei Lager für ammonium-nitrathaltige Dünger, Vollzugshilfe für Inhaber und zuständige Behörden, BAFU 2011
- [15] Klassifizierte militärische Dokumente wie technische Vorgaben (tV) und Richtlinien
- [16] Betriebe mit chemischem Gefahrenpotenzial, Ein Modul des Handbuchs zur Störfallverordnung (StFV), BAFU 2018
- [17] Richtlinie 2013/29/EU (Neufassung der Richtlinie 2007/23/EG) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Juni 2013 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung pyrotechnischer Gegenstände auf dem Markt, EN 15947-3:2015 (D)
- [18] Brown, M.E. and Rugunanan, R. A. 1989), A temperature-profile Study of the Combustion of Black Powder and its constituent binary mixtures. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 14: 69–75, doi.org/10.1002/prep.19890140205

-
- [19] van der Voort, M. M. & Weerheijm, J., 2013: A statistical description of explosion produced debris dispersion, *International Journal of Impact Engineering*, 59, S. 29–37
- [20] DDESB BEC-O, Blast Effects Computer – Open (BEC-O), Version 1, User’s Manual and Documentation, Technical Paper 20, US Department of Defense Explosives Safety Board, 11 June 2018
- [21] Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (1999), Referenzszenarien zur Richtlinie 96/82/EG, Dr. Heinz Koinig, Wien, 1999
- [22] Umweltforschungsplan des Bundesamtes für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 297 48 428 UBA-FB 000039/2, Ermittlung und Berechnung von Störfallablaufszszenarien nach Massgabe der 3. Störfallverwaltungsvorschrift, Band 2, TU Berlin, 2001
- [23] AASTP-1 NATO (2010), Manual of NATO safety principles for the storage of military ammunition and explosives, Edition 1, S. 313, May 2010