

1051/AA

Risikoanalyse

Schlussbericht

27.09.2018 / VERSION 1.1

Impressum

Auftraggeber armasuisse Immobilien
Markus Jaun
Blumenbergstrasse 39
3003 Bern

Verteiler Expertengruppe Risikoanalyse 1051/AA
Bruno Locher, GS VBS
Weitere Verteilung durch den Auftraggeber

Dokument BE_1051_AA_20180927.docx
27.09.2018 / VERSION 1.1

Verfasser Expertengruppe Risikoanalyse 1051/AA

Redaktion

Bienz, Kummer & Partner AG
Peter Kummer / Peter Nussbaumer
Culmannstrasse 37
CH – 8006 Zürich
Telefon +41 44 391 27 37
bkp@bkpswiss.ch

Peter Kummer



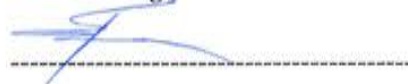
Peter Nussbaumer



Koordination und Verifizierung

Marcel Bürge / Dr. Alex Scheiwiller
Risk&Safety AG
Bahnhofstrasse 92, Postfach 3605
CH – 5001 Aarau
Telefon +41 62 823 78 37
www.risksafety.ch

Marcel Bürge



Dr. Alex Scheiwiller



Korreferenten Mathias Muckel, Dr. Kay Winkelmann

Zusammenfassung

Am 19. Dezember 1947 kam es im unterirdischen Munitionslager der Schweizer Armee in Mitholz zu mehreren grossen Explosionen, welche auch zum Teileinsturz der Felswand (Flue) vor resp. über der Anlage führten. Neun Menschen verloren dabei ihr Leben, es gab auch viele Verletzte und mehrere Dutzend Häuser wurden beschädigt oder zerstört. Beim Unglück explodierte nur ein Teil der eingelagerten Munition in den sechs Kammern. Ein Teil der nicht explodierten Munition konnte nach dem Ereignis aus den Lagerkammern weggeräumt werden. Nach heutigem Kenntnisstand könnten noch bis zu 3'500 Tonnen Munition im ungeräumten Bahnstollen oder sind unter dem Schuttkegel vor der Anlage begraben liegen.

Im Zusammenhang mit der Projektierung eines neuen Rechenzentrums an diesem Standort wurden die Risiken analysiert, die aus den noch vorhandenen Munitionsbeständen resultieren. Dem Auftrag entsprechend wurden zuerst die Risiken für das geplante Rechenzentrum, dann aber auch für die bestehenden Einrichtungen in der Anlage sowie für die Umgebung, namentlich die Eisenbahn, die Strasse und die Einwohner von Mitholz ermittelt und auf ihre Zulässigkeit hin beurteilt.

Die Analyse wurde durch ein Team von Experten im Umgang mit Munition und Explosivstoffen sowie Risikoanalysen erarbeitet. Die Arbeit wurde durch Experten aus dem Bereich Kampfmittelräumung in Deutschland korreferiert.

Die Risikoanalyse weist

- gemessen an den Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung nicht akzeptable Risiken für die Umgebung aus,
- gemessen an den Kriterien der Weisungen über das Sicherheitskonzept für den Umgang mit Munition und Explosivstoffen nicht zulässige Risiken für die Umgebung, die Truppenunterkunft (Trp Ukft), die Armeeapotheke (AApot) und die Bauphase des geplanten Rechenzentrum aus.

Die Expertengruppe hielt daher mit Zwischenbericht vom 27. April 2018 Empfehlungen fest und schlug darauf aufbauend folgende Sofortmassnahmen vor

- Umgehende Schliessung der Trp Ukft
- Baldmöglichste Schliessung der AApot
- Kein Bauvorhaben an diesem Standort
- Initiierung einer Arbeitsgruppe des GS VBS, um die Umgebungsrisiken auf ein akzeptierbares Mass zu reduzieren
- Massnahmen zur Verhinderung von unberechtigtem Zutritt.

Die Sofortmassnahmen sind seither von den verantwortlichen Stellen aufgegriffen worden und sind in Umsetzung begriffen.

Inhalt

1	Ausgangslage	6
2	Aufgabenstellung und Randbedingungen.....	7
2.1	Aufgabenstellung.....	7
2.2	Randbedingungen.....	7
3	Vorgehenskonzept	8
3.1	Bildung einer Expertengruppe.....	8
3.2	Durchführung von Begehungen	8
3.3	Dokumentenbeschaffung.....	9
3.4	Festlegung Ereignisszenarien.....	9
3.5	Beurteilung der Sicherheit	10
3.6	Berichterstattung und Dokumentation	10
3.7	Korreferat	10
4	Ereignisszenarien (Arbeitshypothese)	12
4.1	Einleitung	12
4.2	Beschreibung der Anlage Mitholz	12
4.3	Belegung der Anlage zum Zeitpunkt des Ereignisses vom 19. Dezember 1947	13
4.4	Rekonstruktion des Ereignisses	15
4.5	Verbleibende Munition nach dem Ereignis.....	17
4.6	Mögliche Ereignisgrösse	18
4.7	Eintretenswahrscheinlichkeit der massgebenden Ereignisszenarien.....	23
5	Risikoanalyse und Risikobewertung.....	28
5.1	Generelles Vorgehen.....	28
5.2	Ereignisanalyse.....	29
5.3	Wirkungsanalyse.....	29
5.4	Expositionsanalyse.....	33
5.5	Risikoberechnung	34
5.6	Risikobewertung	35
5.7	Variation der Einflussparameter für die Risiken (Sensitivitätsanalyse)	39
5.8	Weitere Auswirkungen	41
6	Korreferat	42
6.1	Aufgabenstellung der Korreferenten	42
6.2	Erkenntnisse der Korreferenten	42
7	Erkenntnisse und Empfehlungen	43
7.1	Empfehlungen der Expertengruppe	43
7.2	Sofortmassnahmen	43
7.3	Hinweis.....	43

Anhang

A	Vorgehenskonzept der Expertengruppe Risikobeurteilung WE 1051/AA.....	44
B	Zwischenbericht der Expertengruppe Stand 27. April 2018.....	48
C	Bericht Nr. 1 der Korreferenten	105
D	Belegung der Anlage Mitholz am 19.12.1947	116
E	Erste Ergebnisse "Begehung Mitholz"	137
F	Erkundung der Munitionsrückstände	147
G	Mögliche Auslösemechanismen	173
H	Wirkungsanalyse.....	183
I	Expositionsanalyse und Risikoberechnung	195
J	Literaturverzeichnis.....	206
K	Dokumentenverzeichnis	208
L	Abkürzungsverzeichnis	221
M	Bericht Nr. 2 der Korreferenten	222

1 Ausgangslage

Die Munitionsanlage der Schweizer Armee in Mitholz im Kanton Bern wurde während des 2. Weltkrieges erstellt. Sie bestand aus 6 parallel liegenden, unterirdischen Munitionskammern (I – VI) mit einer Länge von je ca. 150 m (Vgl. Abbildung 1). Diese waren am vorderen Kammerende durch einen sogenannten Bahnstollen (auch Verladestollen genannt) miteinander verbunden. Dieser erlaubte es, die Munition über die Verladerampe direkt von den Bahnwagen in die Lagerkammern ein- bzw. auszulagern. Am rückwärtigen Ende waren die Lagerkammern durch einen sog. Verbindungsgang - mit kleinem Querschnitt - ebenfalls miteinander verbunden.

In der Nacht vom 19. auf den 20. Dezember 1947 kam es im Munitionslager in Mitholz zu mehreren grossen Explosionen. Das Explosionsunglück forderte neun Todesopfer in der Umgebung der Anlage sowie viele Verletzte und machte über 200 Personen obdachlos. Die Wucht der Explosionen liess die obliegende Felswand (Flue) teilweise einstürzen und verschüttete einen Teil der Anlage, insbesondere Bereiche des für die Ver- und Entsorgung eingesetzten Bahnstollens.

Die Anlage Mitholz war unmittelbar vor dem Ereignis mit rund 7000 Bruttotonnen Munition belegt. Ein Teil der Munition verbrannte oder explodierte während des Ereignisses. Bei Aufräumarbeiten im Nachgang des Unglücks wurden Munition, Munitionsbestandteile und Trümmer aus den Munitionskammern und aus der Umgebung entsorgt. Einige 1000 Bruttotonnen Munition liegen gemäss den Angaben aus Dokumenten nach der Räumung allerdings noch in und unter den Schuttmassen des Felssturzes. Die Räumung dieser Munition wurde 1948, v.a. infolge der unstabilen geologischen Situation, als zu gefährlich beurteilt.

Trotz der noch vorhandenen Munitionsrückstände wurde die Anlage (heutige Bezeichnung 1051/AA) zwischen 1974 und 1987 für verschiedene Zwecke genutzt und entsprechend ausgebaut. Ab 1987 wurde die Anlage 25 Jahre lang als Pharmaproduktions- und Lagerstandort durch die Armeeapotheke (AApot) genutzt. Die Truppenunterkunft in der Anlage wird seit 1987 genutzt.

In der Anlage 1051/AA sollte ein Rechenzentrum des Bundes (RZ VBS BUND) eingebaut werden. 2010 wurde armasuisse Immobilien ein entsprechendes Bedürfnis gestellt. Im November 2017 kamen Zweifel betreffend des Risikos der noch vorhandenen Munition für das Projekt RZ VBS BUND auf.

Der Projektausschuss RZ VBS Bund erteilte daraufhin am 29. November 2017 der Informations- und Objektsicherheit des VBS. (GS VBS, IOS-OSI) den Auftrag zur Erarbeitung einer Risikoanalyse für das Objekt 1051/AA. Erste Erkenntnisse aus der Risikoanalyse, die zeigen welche Gefahr von den Munitionsrückständen für das Rechenzentrum ausgeht, wurden bereits auf Anfang April 2018 verlangt, damit in der entsprechenden Projektausschusssitzung (PA RZ VBS BUND) entschieden werden konnte, ob das RZ weitergeplant und in die Armeebotschaft 2019 aufgenommen wird.

2 Aufgabenstellung und Randbedingungen

2.1 Aufgabenstellung

Die Gefährdung, die von der noch vorhandenen Munition hervorgerufen wird, betrifft nicht nur das geplante RZ VBS, sondern auch die bestehenden Einrichtungen in der Anlage (Lager der Armeeapotheke und der Truppenunterkunft) sowie die unmittelbare Umgebung der Anlage mit den Einwohnern von Mitholz, einer Bahnlinie der BLS und einer Kantonsstrasse. Der gemäss Auftrag des Projektausschuss RZ VBS Bund definierte Fokus, die Risiken für den geplanten Neubau zu analysieren, wurde aus diesen Gründen auf diese weiteren Schutzgüter erweitert, soweit dies im Rahmen der zeitlichen Randbedingungen und der zur Verfügung stehenden Kapazitäten möglich war.

Die Hauptfragen, die demnach im Rahmen dieser Risikoanalyse 1051/AA zu beantworten waren, sind:

- Mit welchen **Ereignissen**, in Folge der noch vorhandenen Munition, muss in Zukunft allenfalls gerechnet werden (Grösse, Eintretenswahrscheinlichkeit, Unsicherheiten etc.)?
- Welche **Einwirkungen** wären zu erwarten für
 - den geplanten Neubau (Bauphase und Betrieb),
 - die Lager der Armeeapotheke,
 - die in einer Lagerkammer vorhandene Truppenunterkunft, und
 - die Umgebung der Anlage (Bahn, Strasse, zivile Bevölkerung in und ausserhalb von Wohnbauten etc.)?
- Welche **Risiken** würden dadurch für beteiligte und unbeteiligte Personen sowie für die Anlagen erzeugt?
- Wie sind diese Risiken zu bewerten?

2.2 Randbedingungen

Die Beantwortung dieser Fragen erfolgte unter verschiedenen Randbedingungen.

Zeitdruck

Die Ergebnisse mussten bereits Anfang April 2018, d.h. innert etwa 3 Monaten in Form eines Zwischenberichts vorliegen. Der hohe Zeitdruck bewirkte, dass sich die Beantwortung der Fragen weitgehend aus vorhandenen Grundlagen und Abklärungen sowie Augenscheine vor Ort ergeben musste.

Datenmanagement

Die Anlage, alle Informationen dazu und der Austausch der Informationen waren vertraulich (Diese Klassifizierung wurde erst mit dem Entscheid des VBS vom 25. Juni 2018 aufgehoben).

Know How Träger

Das Know How betreffend die verschiedenen Aspekte zur Munition (Typisierung, Alterung, Wirkung etc.) ist in der Schweiz zwar vorhanden, aber nur bei wenigen Spezialisten.

3 Vorgehenskonzept

Im Vorgehenskonzept werden die Hauptfragen beantwortet, d.h. welche Schritte dazu nötig sind, welche Fachleute dazu benötigt werden und welche Organisation dazu gewählt wird.

Das Vorgehenskonzept trägt den zeitlichen wie auch den personellen Ressourcen Rechnung und entspricht einer sogenannten "Historischen Untersuchung". Diese stützt sich im Wesentlichen auf die Begutachtung und Auswertung vorhandener Dokumente sowie Begehungen vor Ort zwecks einer visuellen Beurteilung der Situation. Der vorgegebene Zeitrahmen liess weitergehende, insbesondere vertiefte technische Abklärungen nicht zu.

Das ausgearbeitete Vorgehenskonzept ist im Anhang A dokumentiert. Die wesentlichen 7 Verfahrensschritte sind nachfolgend beschrieben.

3.1 Bildung einer Expertengruppe

In einem ersten Schritt wurde eine Expertengruppe konstituiert und mit der Aufgabe betraut, die Hauptfragen (siehe Kapitel 2.1) zu beantworten. Ziel war die Involvierung aller auf diesem Gebiet fachkompetenten Stellen und Personen in der Schweiz. Die Leitung wurde der am Projekt RZ VBS BUND nicht beteiligten Firma Risk&Safety AG übertragen.

Die Expertengruppe setzte sich aus folgenden Stellen zusammen:

- GS VBS - IOS/OSI - Sicherheit beim Umgang mit Munition und Explosivstoffen (SUME) und Integrale Sicherheitskonzepte (ISK)
- armasuisse Immobilien - UNS, Bau- und Schutzbautechnik
- armasuisse Wissenschaft und Technologie - Fachbereich Explosivstoffe und Munitionsüberwachung (WTE)
- Kommando KAMIR - Kampfmittelbeseitigungsdienst der Armee
- Bienz, Kummer & Partner AG (BK&P) - Experten Sicherheitsbeurteilung beim Umgang mit Munition und Explosivstoffen (SUME)
- Risk&Safety AG (R&S) - Experten Risikobeurteilung Infrastruktur - Leitung, Koordination und Protokoll (unabhängige Stelle)

Die personelle Besetzung der Expertengruppe kann dem Anhang A entnommen werden.

3.2 Durchführung von Begehungen

Am 7. Februar 2018 erfolgte eine Begehung vor Ort durch die Expertengruppe. Weitere Begehungen erfolgten durch die armasuisse WTE und das Kdo KAMIR in den folgenden Wochen zwecks weiterer Erkundungen bezüglich der verschütteten Munition.

Genereller Zweck der Begehungen war die:

- Feststellung des heutigen Zustandes der Anlage im Bereich des verschütteten Bahnstollens

- Beurteilung der vorhandenen Munition (Zustand, Lage, Menge (soweit sichtbar resp. erreichbar), etc.)
- Vermessung der Hohlräume im Bereich des Bahnstollens als Grundlage für die Abschätzung der Auswirkungen möglicher Ereignisse
- Aufnahme der Nutzung der Anlageumgebung.

3.3 Dokumentenbeschaffung

Bei einer sogenannten Historischen Untersuchung stellen die vorhandenen Dokumente (Berichte, Pläne, Fotos) die zentrale Informationsquelle dar. Es wurde daher grosser Aufwand betrieben, alle noch verfügbaren Akten zur Anlage Mitholz zusammenzutragen und zu sichten, was beträchtliche Zeit in Anspruch nahm.

Insbesondere folgende Archive und Quellen wurden durchforstet:

- Archive der armasuisse (WTE, Immobilien)
- Archiv IOS
- Archiv von Bienz, Kummer & Partner
- Bundesarchiv
- Akten der Firma Kellerhals+Haefeli AG, Geologen, Bern
- und andere, wie z.B. Medien.

Es ging dabei vor allem darum, Angaben zu den folgenden Aspekten zu erhalten:

- Bauliche Gegebenheiten (vor und nach dem Ereignis),
- Belegung der Anlage vor dem Ereignis,
- geologische Untersuchungen (vor und nach dem Ereignis),
- Beurteilung der Sicherheit (insbesondere für die in den vergangenen Jahrzehnten erstellten Neubauten innerhalb der Anlage, und insbesondere hinsichtlich möglicher Einwirkungen von Ereignissen von Munitionsrückständen im Bahnstollen),
- Räumarbeiten nach dem Ereignis (gefundene und entsorgte Munition, verschüttete Munition),
- Fotodokumentationen,
- etc.

3.4 Festlegung Ereignisszenarien

Basierend auf den Begehungen und dem Studium der Akten wurden durch die Expertengruppe mögliche, plausible Ereignisszenarien (Arbeitshypothese) erarbeitet. Diese definieren:

- die Grösse möglicher Ereignisse,
- den Ort möglicher Ereignisse,
- die Wahrscheinlichkeit möglicher Ereignisse, insbesondere auch basierend auf dem Zustand der angetroffenen Munition während der Erkundungen durch armasuisse und Kdo KAMIR und

- die Unsicherheiten/Unschärfen aufgrund der vorhandenen Datenlage.

Eine detaillierte Diskussion der Ereignisszenarien ist in Kapitel 4 enthalten.

3.5 Beurteilung der Sicherheit

Basierend auf den Ereignisszenarien wurden anschliessend:

- Die Auswirkungen (physikalische Wirkungen) auf den geplanten Neubau 1051/AA, die Truppenunterkunft innerhalb der Anlage Mitholz und die Umgebung - basierend auf den vorliegenden Grundlagen - berechnet,
- sowohl die individuellen wie auch die kollektiven Risiken für Personen in der Truppenunterkunft, das Personal von Firmen während den Bauarbeiten für den Neubau 1051/AA und unbeteiligte Personen in der Anlageumgebung ermittelt, und
- diese Risiken sowohl mit den vorgegebenen Sicherheitskriterien in der Störfallverordnung [1, 13] wie auch den WSUME [2] verglichen und hinsichtlich ihrer Zulässigkeit beurteilt.

Die Beurteilung der physikalischen Wirkungen sowie die Methodik für die Ermittlung der Risiken erfolgten dabei anhand anerkannter, dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden Grundlagen, wie z. B.:

- den TLM 2010, Technische Richtlinien für die Lagerung von Munition, Teil 2: Sicherheitsbeurteilung von Munitionslagern der Schweizer Armee [3],
- den WSUME, Weisungen für die Sicherheit beim Umgang mit Munition und Explosivstoffen im VBS [2],
- der AASTP-4, Allied Ammunition Storage and Transport Publication - Explosives Safety Risk Analysis, der NATO [4],
- sowie weiterer anerkannter Fachliteratur aus diesem Bereich.

Dieser Schritt wird in Kapitel 5 beschrieben.

3.6 Berichterstattung und Dokumentation

Die Resultate und Schlussfolgerungen der im Rahmen der Historischen Untersuchung durchgeführten Risikoanalyse für das Projekt 1051/AA sind im vorliegenden Bericht sowie dessen Anhängen abschliessend dokumentiert.

Resultate und Schlussfolgerungen entsprechen dabei weitgehend den im Zwischenbericht der Expertengruppe, Stand 27. April 2018 (Anhang B) gemachten Aussagen.

3.7 Korreferat

Um eine unabhängige Zweitmeinung, insbesondere bezüglich der erarbeiteten Ereignisszenarien zu erhalten, wurde die Expertengruppe durch Experten aus dem Bereich Kampfmittelräumung in Deutschland begleitet.

Diese wurden anlässlich einer 2-tägigen Besprechung, sowie einer Begehung der Anlage Mitholz, umfassend über die vorliegende Problematik ins Bild gesetzt. Die Aufgabe der Korreferenten war:

- das gewählte Vorgehen beurteilen,
- zu prüfen, ob die verwendeten Grundlagen dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen, sowie
- die Plausibilität der Resultate und deren Darstellung in diesem Expertenbericht zu korreferieren.

Die Stellungnahme der Korreferenten wird im Kapitel 6 diskutiert. Sie erfolgte zum Zwischenbericht in einem Bericht Nr. 1 (siehe Anhang C) und zum Schlussbericht in einem Bericht Nr. 2 (siehe Anhang M).

4 Ereignisszenarien (Arbeitshypothese)

4.1 Einleitung

Ereignisszenarien beschreiben die Art (Brand, Explosion), Grösse (in Tonnen des Sprengstoffes TNT), den Ort sowie die Wahrscheinlichkeit von möglichen Ereignissen. Sie bilden die Grundlage für die Berechnung von Explosionswirkungen sowie der dadurch erzeugten Risiken.

Sie stützen sich im vorliegenden Fall der Historischen Untersuchung auf vorhandene Dokumente (Berichte, Pläne, Fotodokumentationen), v.a. aus den 40er und 50er Jahren des letzten Jahrhunderts, sowie einige Dokumente neueren Datums.

Insgesamt umfasst das vorliegende Datenmaterial (vgl. dazu auch das Dokumentenverzeichnis im Anhang K):

- mehrere Dutzend technische und geologische Berichte resp. Untersuchungsberichte mit einem gesamten Umfang von über 1000 Seiten
- über 100 Pläne, sowie
- Fotodokumentationen mit insgesamt mehreren hundert Einzelfotos.

Für die Erarbeitung der Ereignisszenarien wurde das Datenmaterial durch Begehungen vor Ort (und deren Dokumentation) ergänzt.

4.2 Beschreibung der Anlage Mitholz

Geographisch liegt die Anlage im Kandertal, in der sogenannten Flue, unmittelbar östlich des Weilers Mitholz der Gemeinde Kandergrund (vgl. auch Kapitel 5).

Die Anlage Mitholz wurde während des 2. Weltkrieges erstellt. Sie bestand aus 6 parallel liegenden, unterirdischen Munitionskammern (I – VI) mit einer Länge von je ca. 150 m. Diese waren am vorderen Kammerende durch einen sogenannten Bahnstollen (auch Verladestollen genannt) miteinander verbunden. Dieser erlaubte es, die Munition über die Verladerampe direkt von Bahnwagen (Normalspur) in die Lagerkammern ein- bzw. auszulagern. Am rückwärtigen Ende waren die Lagerkammern durch einen sog. Verbindungsgang - mit kleinem Querschnitt - ebenfalls miteinander verbunden.

Die Anlage verfügte über 3 Zugänge, den Bahnanschluss auf der Tal- resp. Nordseite der Anlage, sowie 2 westwärts gerichtete Lastwagenzufahrten. Die Anlage wurde weiter durch einen Kommandoraum und einen Maschinenraum ergänzt. Abbildung 1 gibt einen schematischen Überblick über die Munitionsanlage zum Zeitpunkt des Explosionsereignisses vom Dezember 1947.

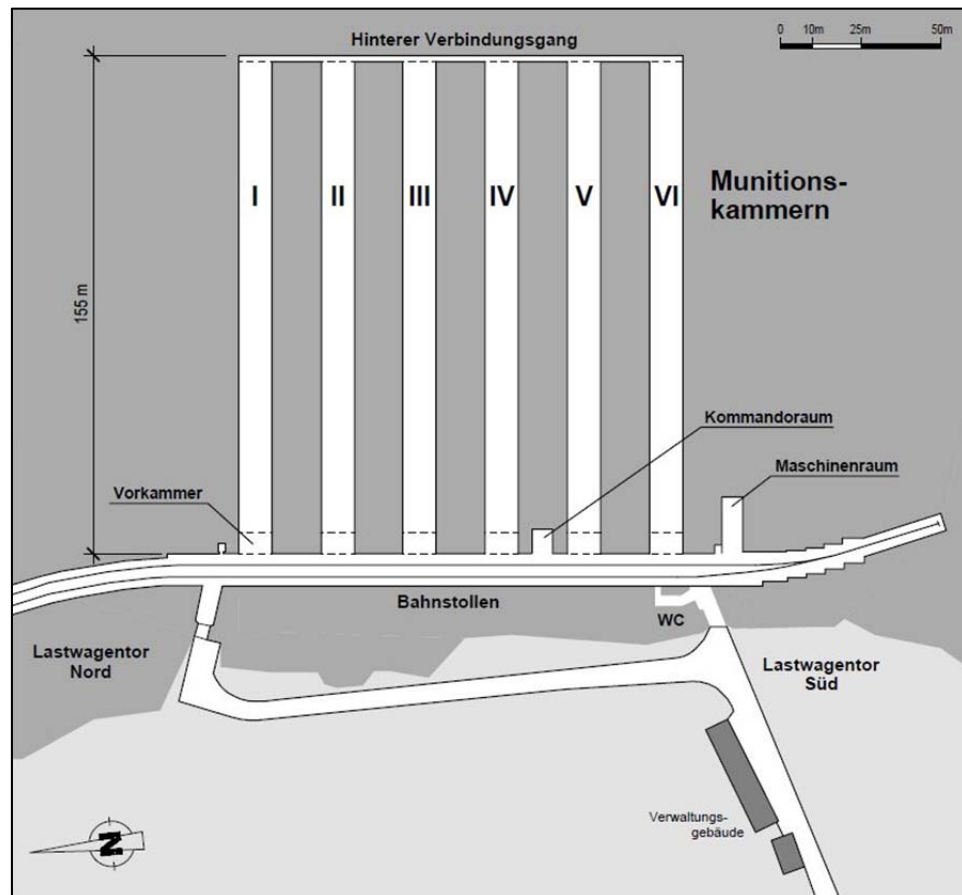


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Anlage Mitholz zum Zeitpunkt des Explosionsereignisses

4.3 Belegung der Anlage zum Zeitpunkt des Ereignisses vom 19. Dezember 1947

Die Anlage Mitholz war grundsätzlich für die Lagerung von mehreren 1000 t Munition (Bruttotonnen) ausgelegt. Zum Zeitpunkt des Ereignisses waren rund 7000 t Munition eingelagert. Der ganz genaue Lagerbestand am 19. Dezember 1947 ist jedoch nicht bekannt, da die Lagerpapiere in der Anlage selbst aufbewahrt und durch das Ereignis vernichtet wurden.

Es gelang jedoch, anhand von Aufzeichnungen der KMV vom Juni 1947 - Munitionslisten und Einlagerungspläne - die Belegung am 19. Dezember 1947 bestmöglich zu rekonstruieren, insbesondere da vom dokumentierten Inventarzeitpunkt bis zum Ereigniszeitpunkt keine grösseren Umlagerungen durchgeführt worden seien [5 - 11].

In der Anlage Mitholz waren demzufolge, neben Gewehr- und Pistolenmunition sowie weiteren klein- und mittelkalibrigen Geschossen resp. Munitionssorten, u.a. grosse Mengen von folgenden grosskalibrigen Munitionssorten, Sprengmitteln und Treibladungspulver eingelagert:

- 3 kg / 12 kg / 50 kg Fliegerbomben
- 7.5 cm / 10.5 cm / 15 cm Artilleriemunition
- Minen, wie Gleitminen, Streuminen, Tretminen

- Sprengmittel und Handgranaten
- Treibladungspulver (TLP), für alle Sorten von Artilleriemunition.

Abbildung 2 gibt einen schematischen Überblick über die Verteilung von einzelnen, relevanten Munitionssorten auf die 6 Lagerkammern.

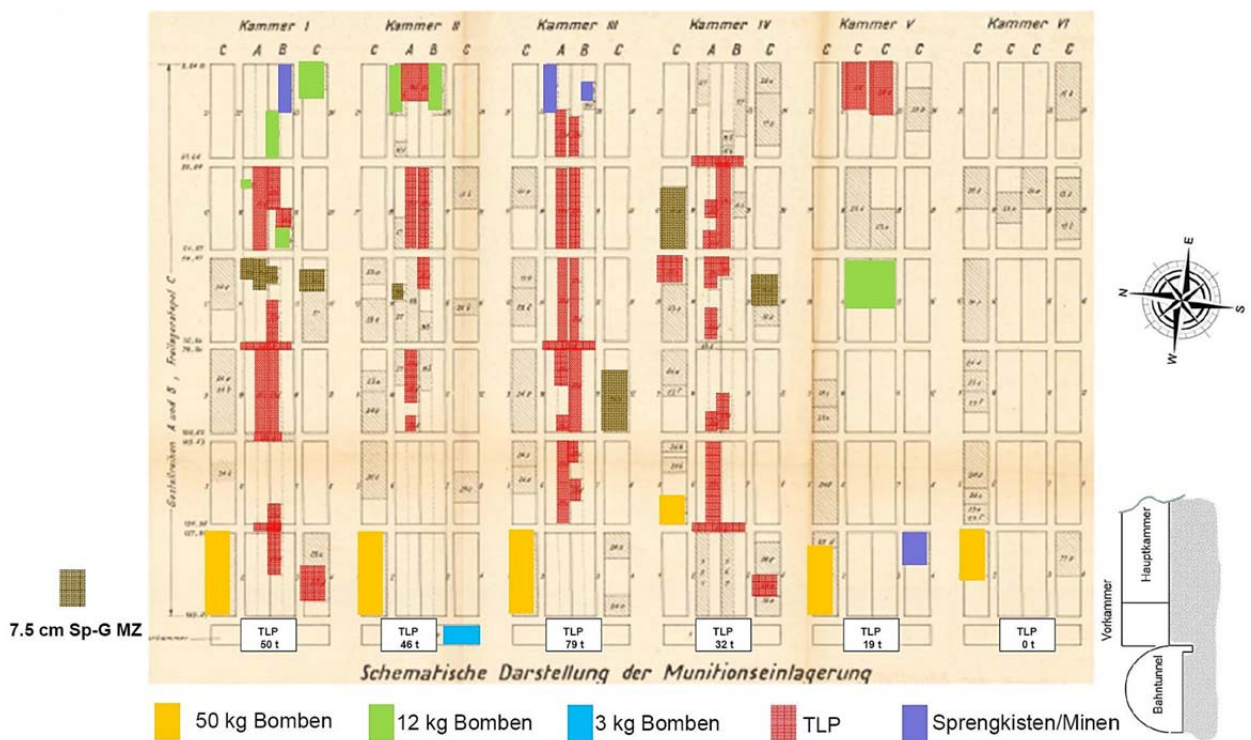


Abbildung 2: Verteilung relevanter Munitionssorten auf die einzelnen Lagerkammern (aus Anhang E)

Detaillierte Angaben zur Belegung sind ferner im Anhang B und C zu finden. Danach waren die einzelnen Munitionsorten relativ gleichmässig auf die 6 Lagerkammern verteilt. Einzig Kammer 6 enthielt geringere Mengen an grosskalibrigen und sprengstoffreichen Munitionssorten sowie keine Treibladungen für Artilleriegranaten. Die rund 7000 t Munition brutto (= Munitionsgewicht, d.h. Geschosse, Geschosshüllen inkl. Sprengstoff, Treibladungspulver, plus Verpackungsmaterial) enthielten insgesamt rund 1'500 t Sprengstoff und Treibladungspulver, davon je rund:

- 900 t Sprengstoff (exkl. Kleinmengen in Munition mit Kaliber ≤ 35 mm)
- 250 t separates Treibladungspulver für grosskalibrige Artilleriemunition (Kaliber ≥ 80 mm)
- 150 t Treibladungspulver zusammen mit resp. in patronierten Geschossen (Kaliber zwischen > 35 mm und < 80 mm)
- 200 t Sprengstoff und Treibladungspulver in Kleinmengen, beides in Munition mit Kaliber ≤ 35 mm

4.4 Rekonstruktion des Ereignisses

4.4.1 Zeitlicher Ablauf des Ereignisses

Der 1969 erstellte Bericht "Zusammenfassende Darstellung der Explosionskatastrophe vom 19. und 20. Dezember 1947 in der unterirdischen Munitionsanlage Mitholz" von M. Cruchaud [9] gibt den zeitlichen Ablauf des Ereignisses zusammengefasst wie folgt wieder:

"Am Freitag, den 19. Dezember 1947 wurden ab etwa 23 h 10 von verschiedenen Einwohnern im Kandertal aussergewöhnliche Lichterscheinungen beobachtet. Ein in der näheren Umgebung der Fluh wohnender Zeuge sah ruhige, dunkle Flammen aus dem Eisenbahntor und kleinere Flammen aus den Ventilationsöffnungen austreten.

Von etwa 23 h 15 an, wurden die Einwohner des Dorfes Mitholz durch Geräusche aus dem Schläfe aufgeweckt. Sie verglichen diese Geräusche mit dem Rollen einer Camionkolonne oder dem Sturz einer Lawine.

Um 23 h 30 fand eine erste grosse Explosion statt. Flammen traten aus allen Toren aus, zeitweilig Stichflammen von mässiger Länge (bis etwa 30 m lang) oder ruhige Flammen, die in die Höhe loderten und über der Wand Tannen entzündeten.

Etwa fünf Minuten später, 23 h 35, erfolgte die zweite grosse Explosion. Diese wurde deutlich in der 115 km entfernten Erdbebenwarte Zürich registriert. Ein Geschoss- und Steinhagel fiel auf Mitholz. Mehrere Häuser wurden zerstört. Nach einer Pause, während der Rauch und ruhige Flammen aus der Anlage austreten, erfolgte um 0 h 10 (20. Dezember) die dritte grosse Explosion, die grösste von allen. Ein ungeheurer Hagel von Geschossen, Steinblöcken und brennenden Gegenständen wurde zu allen Öffnungen herausgeschleudert. Stichflammen erreichten eine Länge von etwa 150 m. Die nördliche Ecke der Fluh stürzte ein. Der Ausschlag des Seismographen in Zürich war dreieinhalbmal grösser als bei der zweiten Explosion. Ein zweiter kleinerer Ausschlag war entweder durch eine unmittelbar folgende Explosion oder durch den Felssturz bedingt.

Um 2 Uhr wurden von Explosionen begleitete Stichflammen im südlichen Teil der Anlage beobachtet. Den ganzen Tag erfolgten ab und zu Explosionen, um 21 h und 23 h 30 stärkere.

In der Nacht des 21. Dezembers entstand ein grosser Brand mit schwarzer Rauchwolke, die erst am Nachmittag abnahm. Bis am 28. Dezember waren noch schwächere und stärkere Explosionen hörbar. Steinschläge auf den Felsschutt fanden noch bis am 30. Dezember statt."

Diese Darstellung des Ereignisses gilt als gesichert und glaubwürdig. Sie lässt Rückschlüsse auf den Ereignisablauf zu.

4.4.2 Ablauf des Ereignisses innerhalb der Anlage

Was sich genau innerhalb der Anlage im Detail abgespielt hat, insbesondere wo der Ereignisursprung lag und wie sich das Ereignis ausbreitete, konnte durch die Expertenkommission 1947 nicht eindeutig rekonstruiert werden. Verschiedene Theorien existieren dazu [8, 9, 11, 12]. Vgl. dazu auch Abbildung 3.

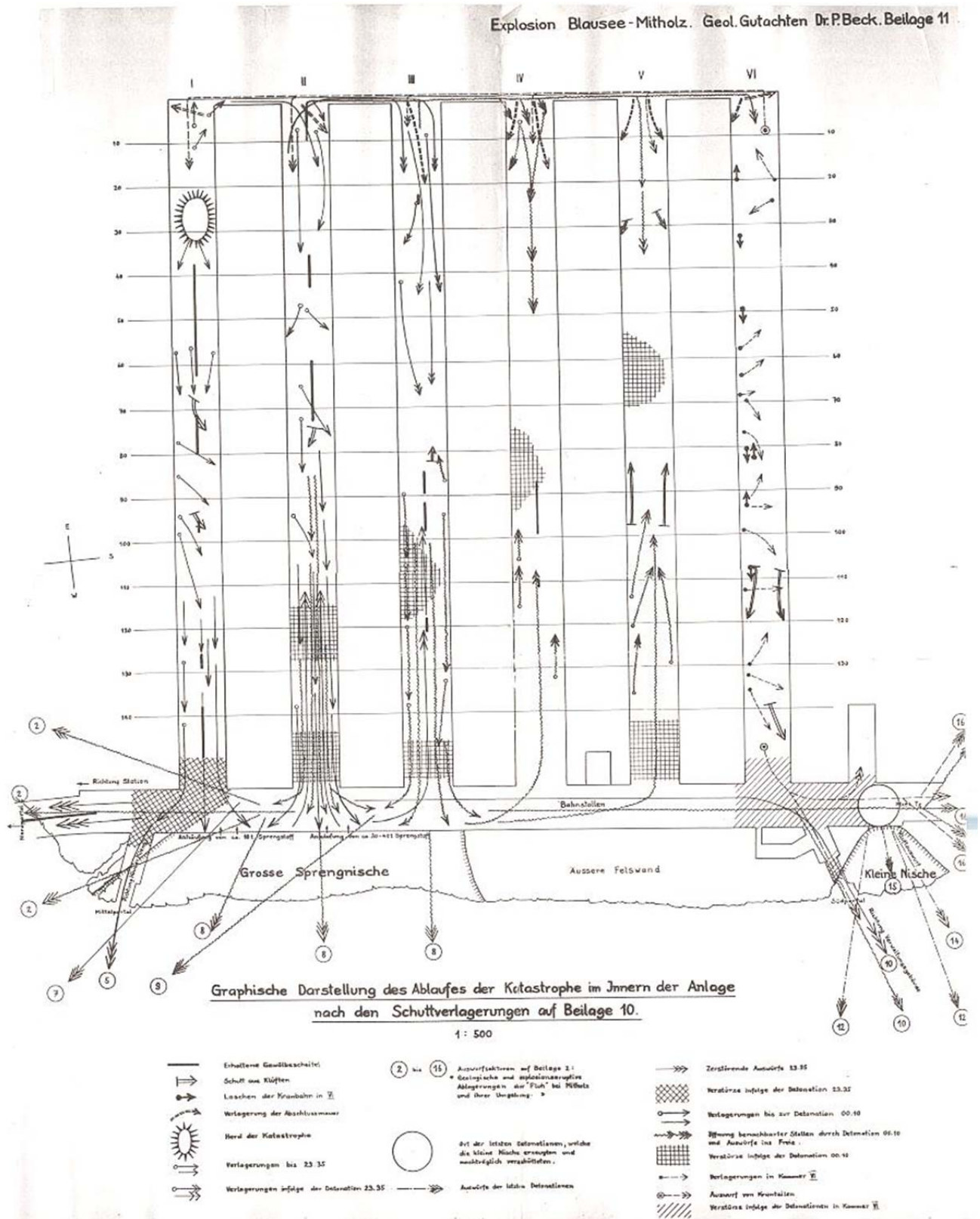


Abbildung 3: Graphische Darstellung eines möglichen Ereignisablaufes innerhalb der Kammern (gemäss Dr. P. Beck)

Als einigermaßen gesichert, und daher für die Arbeit der Expertengruppe relevant, gilt folgendes (vgl. auch Anhang C, sowie [8 - 12]):

- Der Ursprung des Ereignisses lag gemäss den Untersuchungen der Expertenkommission in Kammer 1, 2 oder 3 [9].
- Zwei erste grössere Explosionen erfolgten am 19. Dezember 1947, um 23.30 Uhr resp. 23.35 Uhr, innerhalb der Kammern 2 oder 3, oder unmittelbar davor im Bahnstollen. Die Grösse der heftigeren der beiden entsprach rund 10 t TNT.
- Die Übertragungen, v.a. durch Brand/Brandgase, erfolgten sowohl über den Bahnstollen wie auch durch den hinteren Verbindungsgang.
- Die grossen Mengen rasch abbrennender Treibladungspulver erzeugten immense Schubkräfte. Diese führten dazu, dass im Verlaufe der Ereignisse beträchtliche Munitionsmengen innerhalb der Kammern verlagert und auch grosse Mengen in den 1.4 m tiefer gelegenen Bahnstollen verschoben wurden. Die Munition die im Bahnstollen zu liegen kam, wurde dann durch spätere Explosionen, v.a. durch diejenige am 20. Dezember 1947, um 00.10 Uhr, durch Schutt und Felsmaterial überdeckt. Diese Munitionsverlagerung in den Bahnstollen konnte durch die Begehungen im Februar 2018 mindestens teilweise verifiziert werden.
- Die grösste Explosion hat sich mit einiger Wahrscheinlichkeit am 20. Dezember 1947, um 00.10 Uhr, im Bahnstollen vor den Kammern 2 und 3 ereignet. Deren Stärke wurde auf 30 - 40 t TNT geschätzt [11]. Diese Explosion hat zum Einsturz der "Fluh" sowie zum vollständigen Einsturz des Bahnstollens im Bereich der Kammern 1 - 3 geführt.

4.4.3 Ereignisursache

Wie der Ereignisablauf, so konnte auch die Ereignisursache nicht abschliessend ermittelt werden. Als primäre Ursache wurde die Bildung von Kupferazid in Zündern von 7.5 cm Granaten betrachtet, welches zur Selbstinitiierung von Zündern und damit zur Detonation von Granaten führen kann. In Laborversuchen konnte die Möglichkeit einer solchen Auslösung nachgewiesen werden. Nicht ganz ausgeschlossen wurde jedoch auch die Selbstentzündung von Treibladungspulver infolge chemischer Veränderungen.

4.5 Verbleibende Munition nach dem Ereignis

Nach dem Ereignis, 1948/1949, wurden die 6 Lagerkammern vollständig von den Munitionsüberresten geräumt. Allerdings sollen sich in den ehemaligen Lagerkammern nur vergleichsweise wenige Munitionsüberreste (nur ca. 1/3 der ursprünglich gelagerten Gesamtmenge) befunden haben. Gemäss [9] sahen „die meisten Kammern wie ausgeräumt aus“.

Eine ausführliche Zusammenstellung der Räumarbeiten ist im Bericht Eichenberger vom 24. Februar 1949 zu finden [7]. Ein Teil der geräumten Munition wurde im Thunersee versenkt. Kleinere Anteile wurden als Schrott verwertet, ausserhalb der Anlage vor Ort gesprengt oder sogar an die Munitionsfabriken zur Revision gesendet. Abbildung 4 zeigt die Gesamtbilanz der Räumung gemäss Bericht Eichenberger.

In Zahlen bedeutet dies, gemäss Bericht Eichenberger [7] (Abbildung 4):

–	<i>Belegung vor dem Ereignis</i>	7'000 t
–	<i>Gefundene Munition im Vorgelände</i>	360 t
–	<i>Räummunition aus den Kammern</i>	2'306 t
–	<i>Verbranntes Pulver</i>	480 t
–	<i>Detonierter Sprengstoff</i>	360 t
–	<i>Im weiteren Vorgelände noch nicht gefundene Munition (vermutet)</i>	30 t
–	<i>Im Bahnstollen liegend (vermutet)</i>	1'440 t
–	<i>Unter Felssturz vergrabene Munition (vermutet)</i>	1'200 t
–	<i>"Manko"</i>	824 t

Aufgrund der vorhandenen Quellen kann davon ausgegangen werden, dass schätzungsweise noch bis zu 3'500 t Munition brutto bisher noch nicht geborgen wurden. Dies entspricht bis zu rund 50 % der ursprünglich eingelagerten Munitionsmenge. Diese Munition liegt mutmasslich immer noch im Bahnstollen - im gänzlich verschütteten Bereich vor den Kammern 1-3 und vor allem im Bereich vor den Kammern 4-6 - sowie unter dem Schuttkegel vor den Kammern 1-3. Die im Bericht Eichenberger vorgenommene Aufteilung zwischen Bahnstollen und Felssturzbereich (Schuttkegel) ist jedoch nur eine grobe Schätzung, die nicht überprüft werden konnte.

Die in dieser Munition noch enthaltene Sprengstoffmenge (TNT) dürfte schätzungsweise noch bis zu 400 t betragen (vgl. auch Kapitel 4.3). Es ist ferner davon auszugehen, dass sich in den Munitionsüberresten keine grösseren resp. relevanten Mengen von separat gelagertem Treibladungspulver für grosskalibrige Artilleriemunition mehr befinden, dieses wurde mehrheitlich beim Ereignis 1947 umgesetzt. Teile von Treibladungspulver in patronierten Geschossen dürften jedoch noch vorhanden sein.

Mittels der durchgeführten Erkundungen in den zugänglichen Bereichen des Bahnstollens (vgl. Anhang E und F), konnten grosse Ansammlungen von Munitionsrückständen im Bahnstollen, vor den Kammern 4 - 6, nachgewiesen werden. Insbesondere wurde auch dicht beieinanderliegende grosskalibrige Munition (50 kg Bomben, 7.5 cm und 10.5 cm Artilleriegranaten) beobachtet. In Anbetracht des Ereignisablaufes, und verifiziert durch die vorgefundene Munition im Bahnstollen anlässlich der Begehungen, ist es durchaus denkbar, dass ein eher grösserer Teil der Munitionsrückstände noch im Bahnstollen lagert, als im Bericht Eichenberger angegeben.

4.6 Mögliche Ereignisgrösse

Es stellte sich damit die Frage, welche Grösse ein Ereignis in der noch vorhandenen Munition im Bahnstollen annehmen könnte. Die Expertengruppe kam aufgrund der vorliegenden Indizien und Fakten zu folgenden Erkenntnissen und Schlussfolgerungen:

- Die unter dem Felssturzmaterial vor den Kammern 1 - 3 verschüttete Munition ausserhalb des Bahnstollens stellt keine relevante Gefährdung dar, da eine Übertragung zwischen vielen Munitionseinzelstücken in diesem Bereich nicht angenommen werden muss.

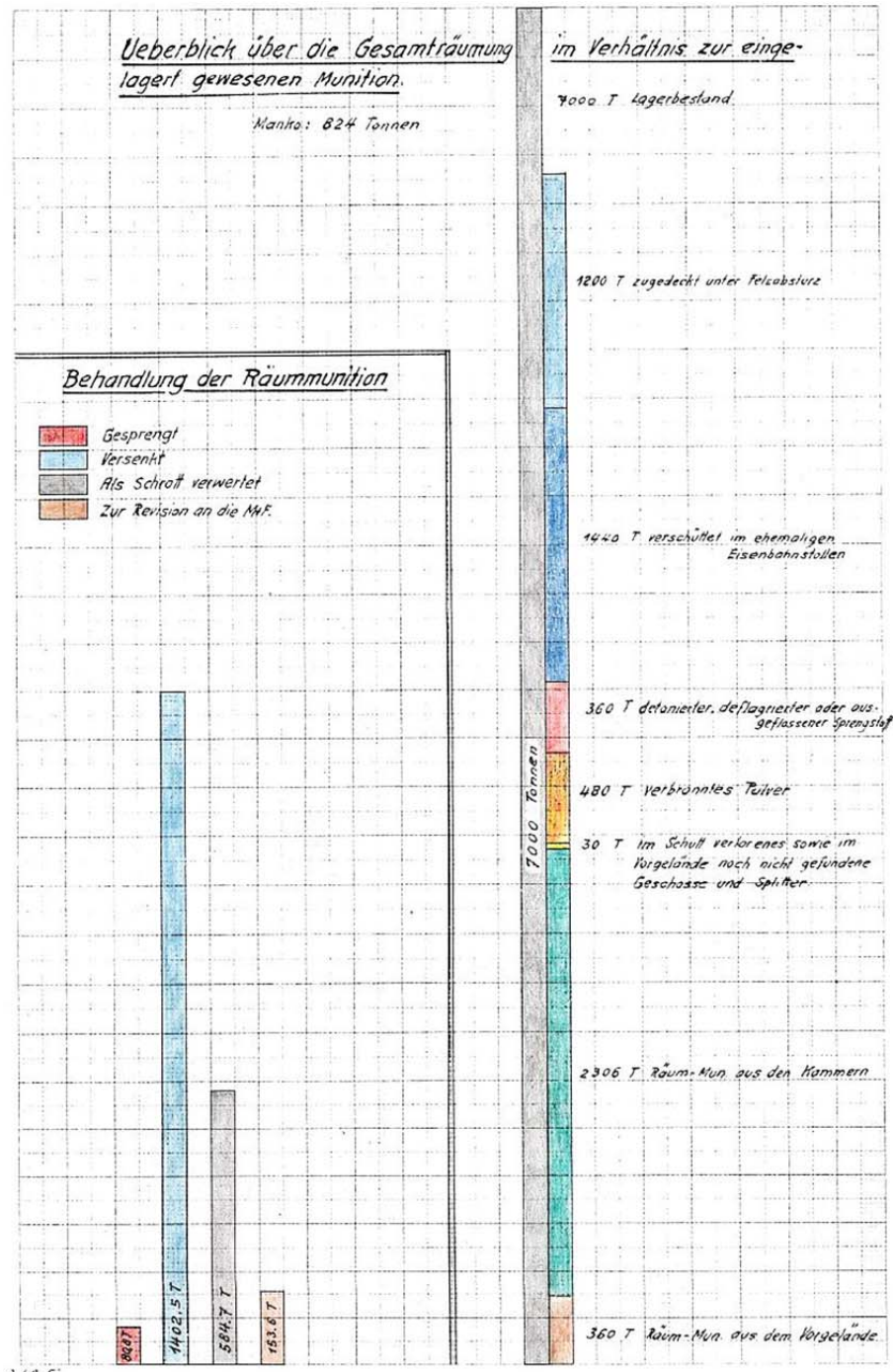


Abbildung 4: Munitionsbilanz gemäss Bericht Eichenberger [7]

- Im Bahnstollen selbst sind jedoch gemäss Kapitel 4.5 nachgewiesenermassen grosse Konzentrationen von grosskalibriger Munition vorhanden. Im Fokus der Betrachtung stehen dabei sogenannte massenreagierende Munitionssorten. Dies sind solche, bei welchen die Detonation eines Munitionseinzelstückes dazu führen kann, dass weitere im unmittelbaren Umfeld liegende Munitionseinzelstücke ebenfalls detonieren.

- Die Analyse der Munitionsbestände (Anhang C) zeigte, dass neben den Minen, Sprengkisten und Handgranaten, - die beim Ereignis 1947 vermutlich zu einem erheblichen Teil umgesetzt haben - vor allem die folgenden Munitionssorten massenreagierend sind:
 - 50 kg Fliegerbomben, ohne Zünder, vor dem Ereignis vorhanden: 6950 Stück
 - 12 kg Fliegerbomben, ohne Zünder, vor dem Ereignis vorhanden: knapp 15'000 Stück
 - 7.5 cm Artillerie Spitzgranaten, mit aufgeschraubten Zündern, vor dem Ereignis vorhanden: 50'000 Stück.
- Die ebenfalls als massenreagierend geltenden Ladungen (TLP) für die grosskalibrige Munition haben mit grösster Wahrscheinlichkeit beim Ereignis von 1947 mehr oder weniger vollständig reagiert. Die dadurch freigesetzten Gase führten zu den in den verschiedenen Berichten und oben erwähnten Munitionsverlagerungen.
- Im Vordergrund der Analyse der Expertengruppe standen insbesondere die massenreagierenden 7'000 Stück 50 kg Fliegerbomben. Sie waren etwa zu gleichen Teilen unmittelbar am vorderen Ende (beim Bahnstollen) jeder Kammer eingelagert. Jede dieser Bomben enthält rund 22 kg Sprengstoff. Diese 7000 Bomben entsprechen damit einer gesamten Sprengstoffmenge von rund 150 t. In den Kammern selbst, sowie im Vorgelände der Anlage, wurden nach dem Ereignis nur eine kleine Anzahl von 50 kg Bomben oder Bruchstücke davon gefunden (vgl. Anhang E).
- Die Expertengruppe geht davon aus, dass die 50 kg Bomben im Verlaufe der Ereignisse - wie bereits im Kapitel 4.4.2 erwähnt -, v.a. durch die Schubkräfte der Treibladungspulvergase, von den Lagerkammern in den Bahnstollen verfrachtet wurden.
- Es wird nun vermutet und aufgrund der beobachteten Schadenwirkungen als plausibel angesehen, dass diejenigen Bomben die im Bahnstollen im Bereich der Kammern 1 - 3 zu liegen kamen, massgeblich zu den grossen Ereignissen in diesem Bereich beigetragen haben und damit mehrheitlich nicht mehr vorhanden sind. Diejenigen Bomben, die in den Bahnstollen in den Bereich vor den Kammern 4 - 6 verschoben wurden (v.a. aus den Kammern 4 - 6, aber auch aus den übrigen Kammern), haben jedoch aufgrund der beobachteten Schadenwirkungen kaum in grösseren Mengen reagiert. Sie liegen mutmasslich immer noch dort, zum Teil nahe beieinander, wie die punktuellen Erkundungen gezeigt haben.

- Aufgrund der verfügbaren Fakten erscheint es nun ebenfalls als plausibel, dass im Bahnstollen im Bereich der Kammern 4 - 6 noch bis zu wenige 1000 Stück 50 kg Bomben liegen, mit einem Sprengstoffanteil von mehreren 10 t. Wie die Erkundungen in den zugänglichen Teilen der Anlage gezeigt haben, lagern sie zum Teil in engem Kontakt mit teilweise massenreagierenden und bezünderten Artilleriegranaten (Abbildung 5 und Anhang F).



Abbildung 5: Beispiele von Munitionsablagerungen im Bahnstollen (50 kg Bomben links unten)

In Abwägung dieser Erkenntnisse und aller weiteren vorliegenden Akten und Fakten, geht die Expertengruppe nun davon aus, dass grössere massenreagierende Ereignisse im Bahnstollen auch heute nicht ausgeschlossen werden können. Um den naturgemäss beträchtlichen Unsicherheiten Rechnung zu tragen, werden die beiden folgenden Ereignisszenarien (Arbeitshypothese) postuliert:

- Ein detonatives *kleineres* Ereignis, entsprechend 1 t Sprengstoff TNT, ist als plausibelste Ereignisgrösse anzunehmen. Dies würde z.B. einer Ansammlung von wenigen 10 Stück 50 kg Bomben, vermischt mit einer Anzahl von Artilleriegranaten, entsprechen.

- Ein detonatives *grösseres* Ereignis, entsprechend 10 t Sprengstoff TNT, kann jedoch aufgrund des begründeten Verdacht einer grossen Anzahl noch vorhandener Bomben nicht ausgeschlossen werden. Allerdings wird die Wahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses rund 10x kleiner eingeschätzt als diejenige eines 1 t Ereignisses. Ein solches Ereignis würde dann wenige 100 Stück 50 kg Bomben, sowie eine grössere Anzahl von Artilleriegranaten und anderer Munition, umfassen.

Grundsätzlich sind auch wesentlich kleinere Ereignisse, die nur ein oder wenige Munitionseinzelstücke umfassen, in allen Bereichen des Bahnstollens möglich (wie auch unter dem Schuttkegel oder in anderen Bereichen im Anlageumfeld). Sie können jedoch kaum beobachtet werden, da die Anlage nur sehr wenig durch Personen begangen wurde/wird. Die Wahrscheinlichkeit solcher Ereignisse wird jedoch als vergleichsweise hoch eingeschätzt. Allerdings sind durch solche Ereignisse kaum risikorelevante Auswirkungen auf die Anlageumgebung zu erwarten. Sie werden darum im Rahmen dieser Analyse nicht weiter untersucht.

Als Ereignisort kommen für das 1 t Ereignis der Bahnstollen im Bereich der Kammern 4 - 6, sowie ein Bereich nördlich der Kammer 1 in Frage. Ein 10 t Ereignis scheint jedoch aufgrund der Fakten und Erkenntnisse lediglich im Bahnstollen im Bereich der Kammern 4 - 6 als möglich (vgl. Abbildung 6)

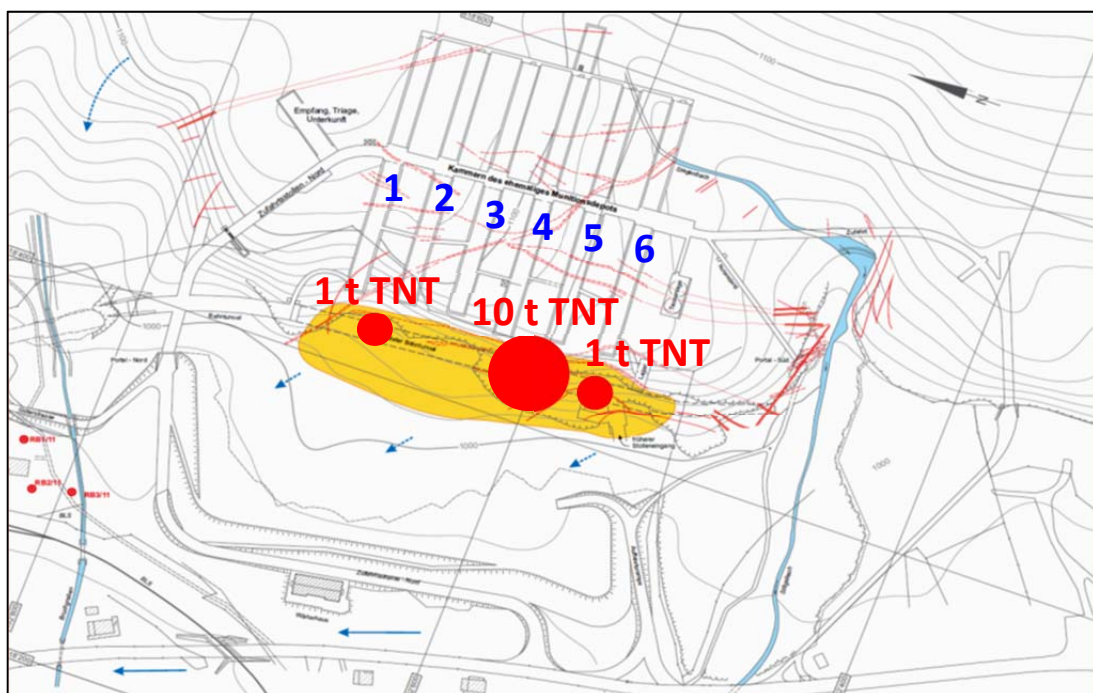


Abbildung 6: Ort möglicher Ereignisse (Anlageschema aus Bericht "Ehemaliges Munitionsdepot Mitholz, Historische Untersuchung und Pflichtenheft für eine Technische Untersuchung", Kellerhals + Haefeli AG, 22. Dezember 2010. Der orange Bereich markiert schematisch den Versturzbereich.)

4.7 Eintretenswahrscheinlichkeit der massgebenden Ereignisszenarien

4.7.1 Wie kann ein solches Ereignis ausgelöst werden?

Es stellt sich die Frage, wie ein massgebendes Ereignis überhaupt ausgelöst werden könnte. Eine mathematisch-technische Herleitung, z.B. mittels Fehlerbaumanalysen oder anderen Methoden kommt hier aus verschiedenen Gründen nicht in Frage. Die Ereigniswahrscheinlichkeit muss daher anhand der wahrscheinlichsten Auslösemechanismen und weiterer Indizien mittels oberer und unterer Grenzwerte abgeschätzt werden.

Grundsätzlich kommen folgende Auslösemechanismen (auch auslösende Momente genannt) in Frage:

- *Äussere Einwirkungen*
 - Felsstürze aus vorhandenen Klüften infolge Verwitterung
 - Felsstürze aus Klüften infolge Erdbeben / Sprengungen
 - Direkte Erschütterungen der Restmunition generell
 - Blitzschlag
 - Sabotage
 - allenfalls Waffenwirkungen im Verteidigungsfall
- *Munition*
 - Zersetzung Treibladungspulver
 - Kupferazidbildung in Zündern
 - Chemische Veränderungen durch Alterung von Explosivstoffen, insbesondere von TNT → empfindlichere Substanzen
 - Brandgranaten (weisser Phosphor → Selbstentzündung beim Durchrosten des Geschosskörpers)

Dazu ist folgendes anzumerken:

Felsstürze aus vorhandenen Klüften

Das Felsmaterial, insbesondere über dem Bahnstollen, ist stark zerklüftet. In einigen breiten Klüften können grosse Felsbrocken beobachtet werden, die in den Klüften "eingeklemmt" sind (Abbildung 7). Durch zunehmende Verwitterung der Felsmassen könnten sich diese lösen und unter Umständen aus einer Höhe von wenigen Metern bis wenigen 10 m auf die unter einer Schuttschicht im Bahnstollen liegende Munition fallen, und damit durch mechanische Einwirkung (Schlag, Reibung) bei der infolge Alterung empfindlicher gewordenen Munition (siehe unten) ein Ereignis auslösen.

Solche Felsbrocken könnten auch durch Erdbeben bereits geringer Stärke - die Anlage liegt in einem Bereich mit mittlerer Erdbebengefährdung - sowie durch Erschütterungen durch Sprengarbeiten im Anlageumfeld ausgelöst werden.

Die Wahrscheinlichkeit für Felsstürze aus Klüften wird durch die Expertengruppe als relativ hoch mit 3×10^{-2} / Jahr beurteilt.

Direkte Erschütterungen der Restmunition generell

Hier steht eine Auslösung eines Ereignisses v.a. durch grössere Erdbeben im Vordergrund. Erdbeben der Intensität von etwa VI gemäss der Europäischen Makroseismischen Skala (EMS 98) sind gemäss den Angaben des Schweizerischen Erdbebendienstes in Mitholz mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 1×10^{-2} / Jahr, resp. solche mit einer Intensität von VII bis VIII mit einer Wahrscheinlichkeit von 1×10^{-3} / Jahr zu erwarten.

Blitzschlag

Die Anlage liegt in einem Bereich der Schweiz wo mit einer Blitzschlaghäufigkeit von rund 1-2 Einschlägen pro km² und Jahr gerechnet werden muss. Da wie erwähnt das Felsmaterial über der Anlage sehr stark zerklüftet ist - an einzelnen Stellen im Bahnstollen fällt Licht von der Felsoberfläche ein - könnte sich ein Blitzschlag bis zur im Bahnstollen gelagerten Munition ausbreiten und diese unter Umständen initiieren.

Zersetzung Treibladungspulver

Zur chemischen Stabilisierung enthält Treibladungspulver sogenannte Stabilisatoren. Diese werden jedoch aufgrund der Alterungsprozesse "aufgebraucht" und zunehmend unwirksam. Dies ist auch der Grund dafür, dass Treibladungspulver regelmässig überwacht werden müssen. Es ist nun davon auszugehen, dass allenfalls noch vorhandenes Treibladungspulver in der Restmunition nur noch eine beschränkte Menge an Stabilisatoren aufweist, und es könnte daher zu Selbstentzündungen solcher Munition resp. Treibladungen kommen (Anhang G). Ein Brand könnte dann weitere Munition initiieren. Diesem auslösenden Moment wird jedoch aus verschiedenen Gründen (insbesondere auch da ein Grossteil der separat gelagerten Ladungen für die Artilleriemunition beim Ereignis verbrannt sein dürfte) nur ein beschränktes Gewicht beigemessen.

Bildung von Kupferazid in Zündern

Die Bildung von Kupferazid in Zündern von Munition aus dieser Zeitperiode ist ein wohlbekanntes Phänomen. Es wird gemäss der Expertenkommission von 1947 sowohl für die Auslösung des Ereignisses in Mitholz, wie auch für weitere Ereignisse in der Schweiz verantwortlich gemacht. Kupferazid entsteht dabei, wenn sich aus Bleiazid im Zünder flüchtige Stickstoffwasserstoffsäure abspaltet und diese darauf in Kontakt mit Kupferoberflächen kommt. Kupferazid ist ein Initialsprengstoff, welcher auf mechanische Einwirkungen, Hitze sowie elektrische Ströme äusserst empfindlich reagiert. Es kann dabei zu spontanen Initiierungen kommen (vgl. Anhang G).

Dies ist insbesondere bei den vermutlich noch in grossen Mengen vorhandenen und bei den Begehungen auch beobachteten 7.5 cm Spitzgranaten problematisch, da diese mit aufgeschraubten Zündern gelagert wurden. Zünder aus dieser Zeitperiode entsprechen noch nicht den heutigen, hohen Sicherheitsanforderungen. Bei einer spontanen Auslösung der Sprengkapsel im Zünder wird die Granate dabei unmittelbar initiiert. Weitere Sicherungen, wie bei modernen Zündern, sind nicht vorhanden. Eine Auslösung eines Ereignisses durch eine solche Granate - insbesondere, wenn sie in Kontakt mit einer 50 kg Bombe liegt - scheint daher möglich.

Chemische Veränderungen durch Alterung von TNT

Ähnlich verhält es sich mit dem TNT. Dieses liegt zum Teil "offen" auf Schuttflächen herum oder ist den Umweltbedingungen ausgesetzt, da Granaten abgescherte Zünder /Kopfschrauben haben oder aufgeplatzt sind. Auch beim TNT kann der Einfluss von Feuchtigkeit zu Veränderungen und einer

Sensitivitätssteigerung führen. Zudem führt Feuchtigkeit bei Munition zu Rost, welcher im Zusammenhang mit TNT zu einer erhöhten Gefährdung führt (Abbildung 7). Bei zahlreichen Munitionsfunden vor Ort wurde eine auffallend starke Korrosion der Metallhüllen festgestellt. Ursache dafür ist die Feuchtigkeit in Kombination mit den noch latent vorhandenen Russrückständen im ganzen Versturzbereich.

Entzündung von weissem Phosphor

Gemäss der Belegungsliste (Anhang C) waren in der Anlage Mitholz auch Rauch/Brandgranaten eingelagert. Diese enthalten weissen Phosphor welcher sich bei Sauerstoffzutritt selbst entzünden kann. Dabei entstehen Abbrenntemperaturen von ca. 1300 Grad Celsius. Mit zunehmendem Alter und Verwitterung der Munition wird eine Freisetzung dieser Substanz wahrscheinlicher. Ein Brand einer solchen Granate kann als auslösendes Moment ein grösseres Ereignis initiieren.



Abbildung 7: Beispiele von korrodiertem Munition

4.7.2 Statistische Grundlagen

Für "normale" Munitionslager bestehen heute relativ verlässliche statistische Angaben und Modelle für die Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit von Unfallereignissen. Als "normale" Munitionslager gelten dabei insbesondere solche, bei welchen:

- nur "neue", dem Stand der Technik entsprechende Munition eingelagert ist, wobei deren Zünder über mehr als ein Sicherungssystem verfügen,
- die Stabilität der gelagerten Munition kontinuierlich überwacht wird,
- auch die Munitionslagerbauten dem Stand der Technik entsprechen,
- eine Blitzschutzanlage installiert ist,
- kontrollierte Lagerbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit) herrschen,
- Zugangsbeschränkungen und -kontrollen vorhanden sind.

In einem Munitionslager der Schweizer Armee, welches diese Bedingungen erfüllt und in welchem 10 t Sprengstoff TNT, d.h. ca. 100 t Munition (brutto) lagert, muss mit einem Unfallereignis mit einer Wahrscheinlichkeit (W_e) von ca. 1×10^{-5} /Jahr resp. mit einem Ereignis alle 100'000 Jahre gerechnet werden.

Andere westliche Staaten (NATO) rechnen mit vergleichbaren Wahrscheinlichkeiten für Ereignisse in Munitionslagerbauten. Gemäss [4] liegen diese im Bereich von 2.5×10^{-5} bis 3×10^{-6} /J.

Die noch v.a. im Bahnstollen der Anlage Mitholz lagernde Munition kann nun aber kaum mit einer "normalen" Munitionslagerung verglichen werden. Sämtliche Bedingungen die eine "normale" Munitionslagerung auszeichnen sind hier nicht erfüllt. Es muss daher, gemäss informierten Expertenabschätzungen, mit 1 bis 3 Grössenordnungen höheren Eintretenswahrscheinlichkeiten von Ereignissen gerechnet werden. Eigentliche verlässliche Statistiken für vergleichbare Lager mit über 70ig-jähriger Restmunition existieren jedoch nicht. Bekannt ist, dass es:

- gemäss deutschen Kampfmittelräumexperten in Deutschland ca. 1x pro Jahr zu einer beobachteten spontanen Explosion von im Boden liegender Munition aus dem 2. Weltkrieg kommt,
- Ereignisse von im Boden liegender Restmunition / Blindgängern aber auch bei anderen Nationen in Europa gibt, resp. aus der Presse bekannt sind.
- diesbezüglich eine beträchtliche Dunkelziffer gibt, resp. vermutet wird, da solche Explosionen oft in Wäldern und unbewohnten Gebieten vorkommen,

Eine obere Grenze für die Eintretenswahrscheinlichkeit kann jedoch aus der Tatsache abgeleitet werden, dass in der Anlage Mitholz in den letzten 70 Jahren kein grösseres Ereignis beobachtet wurde, was auf eine Eintretenswahrscheinlichkeit von kleiner als 1×10^{-2} / Jahr resp. einem Ereignis alle 100 Jahre schliessen lässt.

4.7.3 Wahrscheinlichkeit der Ereignisszenarien

Basierend auf den in den Kapiteln 4.7.1 und 4.7.2 diskutierten Grundlagen wurde dann durch die Expertengruppe die Spannweite möglicher Eintretenswahrscheinlichkeiten diskutiert, abgeschätzt und festgelegt. Dabei wurde berücksichtigt, dass:

- diese aufgrund der statistischen Grundlagen in einem Bereich zwischen 1×10^{-2} und rund 5×10^{-5} pro Jahr liegen müssen,
- viele auslösende Momente Wahrscheinlichkeiten von 3×10^{-2} bis 1×10^{-3} / Jahr aufweisen,
- beim Eintritt eines auslösenden Momentes nicht in jedem Fall auch ein Initialereignis (Reaktion eines ersten Munitionseinzelstückes) auslöst wird, und
- nur jedes 10te bis 100ste Initialereignis (durch Übertragung) auch zu einem massgebenden Grossereignis gemäss den Ereignisszenarien führt.

Zusammenfassend führte dies zu folgenden Eintretenswahrscheinlichkeiten für die zwei in Kapitel 4.6 definierten möglichen Ereignisszenarien (Arbeitshypothese):

- *kleineres Ereignis*

Grösse	1 t Sprengstoff (TNT)
Wahrscheinlichkeitsbereich	1×10^{-2} bis 1×10^{-3} / Jahr
wahrscheinlichster Wert für W_e	3×10^{-3} / Jahr
dies entspricht statistisch gesehen	einem Ereignis in rund 300 Jahren
- *grosses Ereignis*

Grösse	10 t Sprengstoff (TNT)
Wahrscheinlichkeitsbereich	1×10^{-3} bis 1×10^{-4} / Jahr
wahrscheinlichster Wert für W_e	3×10^{-4} / Jahr
dies entspricht statistisch gesehen	einem Ereignis in rund 3000 Jahren

Der Wahrscheinlichkeitsbereich gibt dabei eine - sowohl auf den statistischen Grundlagen wie auch den Experteneinschätzungen beruhende - obere und untere Grenze für die Eintretenswahrscheinlichkeit an

Anmerkung: Im logarithmischen Massstab beträgt der Mittelwert zwischen zwei Grössenordnungen, wie z.B. zwischen 1×10^{-2} und 1×10^{-3} , 3×10^{-3} und nicht 5×10^{-3} .

5 Risikoanalyse und Risikobewertung

5.1 Generelles Vorgehen

Das Vorgehen für die Risikoanalyse folgte den Vorgaben gemäss WSUME [2] resp. TLM 2010/Teil 2 [3]. Es besteht aus den allgemeingültigen Schritten Ereignisanalyse (Kapitel 4), Wirkungsanalyse (Ermittlung Letalitäten λ), Expositionsanalyse (Ort, Anzahl der Personen und Dauer der Anwesenheit) sowie der Risikoberechnung (Verknüpfung aller Arbeitsschritte).

Dabei wurden neben dem

- geplanten Rechenzentrum auch die
- genutzten Anlagenteile (Truppenunterkunft und Armeeapotheke) sowie die
- Umgebung im Vorgelände einbezogen.

Wichtig war im Hinblick auf das Rechenzentrum, dass auch dessen Bauphase beurteilt wurde.

Im Rahmen der Dokumentenrecherche wurden keine bestehenden Risikoanalysen für die in den vergangenen Jahrzehnten erstellten Neubauten gefunden.

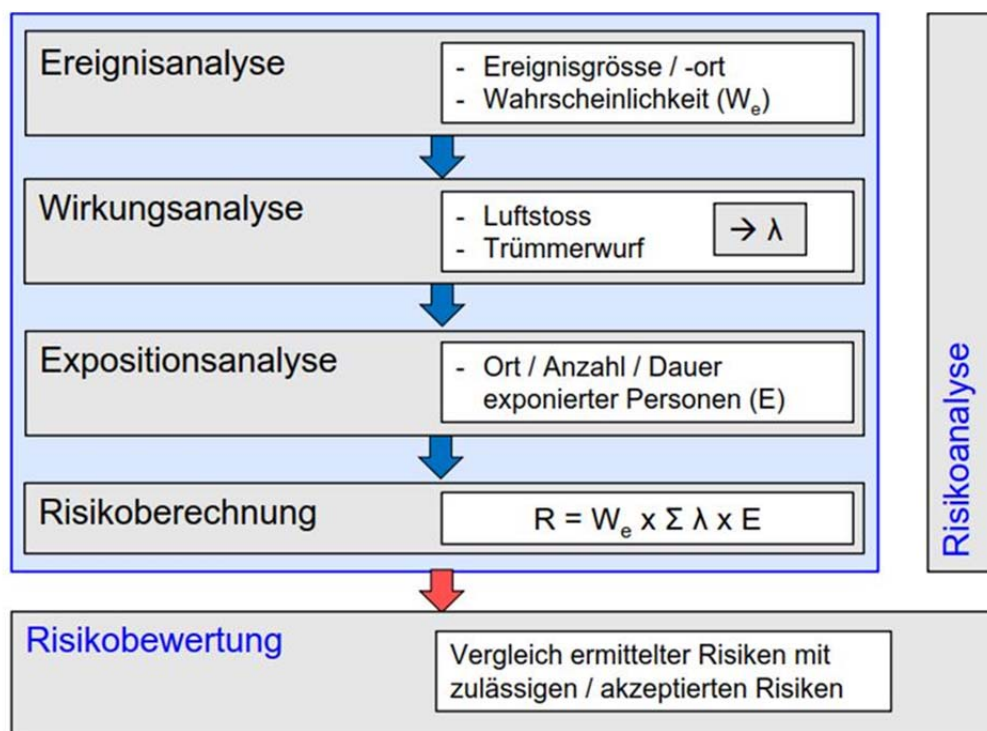


Abbildung 8: Vorgehen bei einer Sicherheitsbeurteilung (Risikoanalyse und -bewertung) gemäss WSUME [2]

Die Risikobewertung wurde gemäss den Vorgaben in den WSUME resp. in den Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung (StFV) [13, 1] durchgeführt. In den WSUME wird das individuelle Risiko der einzelnen Exponierten durch obere Grenzwerte begrenzt. Das kollektive Risiko (Summe aller Exponierten) wird indirekt über die Festlegung der Grenzkosten für Sicherheitsmassnahmen

definiert, welche ein positives Kosten-Risikoreduktions-Verhältnis aufweisen. (vgl. Kapitel 5.6 für weitere Angaben). Dagegen werden im Wahrscheinlichkeits-/Ausmass-Diagramm (W/A) gemäss den Beurteilungskriterien I zur StFV [13] infolge des Fokus auf Grossereignisse die individuellen Risiken nicht erfasst, und nur das kollektive Risiko von unbeteiligten Drittpersonen, d.h. hier Personen in der Umgebung, beurteilt.

5.2 Ereignisanalyse

Die Ereignisanalyse wurde ausführlich in Kapitel 4 abgehandelt. Die Resultate sind in Kapitel 4.7 dargestellt.

5.3 Wirkungsanalyse

5.3.1 Grundlagen

In der Wirkungsanalyse werden die massgebenden Explosionswirkungen, wie z.B. Trümmerwurf, und deren Ausbreitung (z.B. Trümmerdichte) in der Umgebung in Funktion der Ereignisgrösse bestimmt, und daraus die Letalitätszonen (gleiche Todesfallwahrscheinlichkeit) für die Risikorechnung abgeleitet.

Die Situation im Bahnstollen der Anlage 1051/AA entspricht im weitesten Sinn einem unterirdischen Munitionslager mit einem Hohlraum und Zugängen. Darum wurden zur Berechnung der Wirkungs- und Letalitätszonen die in den TLM 2010/Teil 2 [3] und in der AASTP-4, dem NATO Handbuch für "Explosives Safety Risk Analysis" [4], enthaltenen Modelle verwendet (wobei viele der Modelle in der AASTP-4 für die unterirdische Munitionslagerung denjenigen der TLM 2010/Teil 2 entsprechen).

Im vorliegenden Fall mit nicht standardmässigen Anlage-Geometrien schien es zudem sinnvoll, die Wirkungszone, z.B. infolge Trümmerwurf, mit in etwa vergleichbaren Explosionsunfällen und -versuchen zu verifizieren, insbesondere auch mit denjenigen des Ereignisses in Mitholz von 1947.

5.3.2 Massgebende Wirkungen

In der Umgebung der Anlage bestehen die massgebenden Wirkungen aus dem Trümmerwurf (v.a. Felsmaterial) und dem Luftstoss, wobei der Trümmerwurf eher Exponierte im Freien und der Luftstoss eher diejenigen in Gebäuden (Scheibenbruch, Einsturz) gefährdet.

In der Anlage selbst (Truppenunterkunft und Rechenzentrum) hingegen sind der Kammerdruck (im Felshohlraum), der Feuerball und die toxischen Explosionsgase sowie – wenn diese Gefährdungen durch bauliche Massnahmen abgeschottet werden können – auch der Erdstoss von Bedeutung.

Zudem sind auch sekundäre Wirkungen wie Felssturz aus der Flue zu beachten.

5.3.3 Luftstoss

Der Luftstoss ist für die Letalitäten in der Umgebung im vorliegenden Fall nicht von zentraler Bedeutung. Die Ereignisgrössen sind eher klein, weshalb die Zonen mit Letalitäten infolge direktem Luftstoss (Schädigung der Lunge, v.a. Freifeldexposition) auf das unbewohnte Vorgelände (Schuttkegel, kleiner 150 m) begrenzt sind. Die Letalitätszonen durch Einsturz von Gebäuden infolge Luftstosses sind zwar grösser, aber deutlich kleiner als diejenigen infolge Trümmerwurfs (vgl. Kapitel 5.3.4).

Es ist jedoch mit Scheibenbruch – v.a. bei den der Anlage zugewandten Fenstern – in weiten Teilen von Mitholz zu rechnen (vgl. TLM 2010/Teil 2 [3], Anhang 11). Dieser führt i.d.R. zwar nur zu kleinen Letalitäten, aber die Verletzungsgefahr ist hoch.

In der Anlage selbst (Truppenunterkunft und Rechenzentrum) ist der durch die Explosionsgase erzeugte Kammerdruck im Felshohlraum eine der massgebenden Wirkungen. Die Hohlraumvolumina im Bereich des teilweise verschütteten Bahnstollens vor den Kammern 4 – 6 betragen total rund 5000 m³ (aktuelle 3D-Vermessung). Damit ergeben sich für das Ereignis mit Q = 1 t eine Ladedichte von 0.5 kg/m³ und ein resultierender Kammerdruck von 10 – 15 bar. Für Q = 10 t ergibt sich ein Kammerdruck von 50 – 60 bar (vgl. AASTP-4 [4], Confined Explosions).

Solchen Drücken können die bestehenden Abschlusswände der Kammern zum Bahnstollen nicht standhalten. Als Folge würden sich die Trümmer der Wände sowie der Feuerball und die toxischen Brandgase ungehindert praktisch in der ganzen Anlage ausbreiten – mit entsprechend grossen Letalitäten (vgl. 5.3.6).

5.3.4 Trümmerwurf

Der Trümmerwurf aus den Zugängen resp. den durch die Explosion von 1947 entstandenen Öffnungen in der Flue (vgl. Anhang H) ist für die Letalitäten in der Umgebung die massgebende Wirkung. Erkenntnisse aus den untersuchten Explosionsunfällen und –versuchen in unterirdischen Anlagen, u.a. dem Ereignis in Mitholz von 1947, zeigen, dass bereits bei Ereignissen in der Grössenordnung der Ereignisszenarien (Kapitel 4) mit tödlichem Trümmerwurf bis zu mehreren 100 m zu rechnen ist. Das Felsmaterial aus dem Bereich der Zugänge resp. Öffnungen in der Flue trägt dabei in der Regel massgeblich zum Trümmerwurf bei. Die Tabelle 1 fasst die Erkenntnisse zusammen (vgl. Anhang B mit Zwischenbericht für illustratives Bildmaterial):

Tabelle 1: Zusammenfassung der Erkenntnisse aus Explosionsereignissen und –versuchen

Name, Jahr Art, Land	Menge Explosivstoff	Trümmerwurf und andere Wirkungen
Acla, 1948 Versuch, CH	4 t Treibladungspulver (TLP)	Trümmerwurfzonen > 200 m Felsblock 3.5m ³ über Rhein geschleudert
China Lake, 1988 Versuch, US	20 t Sprengstoff	Feuerballdurchmesser ca. 100 m Maximale Trümmerdistanz ca. 2000 m NATO Trümmer-Sicherheitsdistanz IBD ca. 650 m (entspricht einer Letalität von etwa 1%)
Mitholz, 1947 Unfall, CH	30 - 40 t Sprengstoff und TLP	Trümmerwurfzonen > 500 m Viele schwer beschädigte bis zerstörte Häuser



Abbildung 9: Unfall Mitholz, Bild der Dorfmitte (Quelle Bericht Cruchaud [9])

Ein Vergleich der berechneten Trümmerdichten gemäss TLM 2010/Teil 2 [3] (vgl. Anhang B) mit denjenigen der untersuchten Explosionsunfälle, v.a. dem Ereignis in Mitholz von 1947, zeigt eine gute Übereinstimmung.

Die Abbildungen 10 und 11 zeigen die Letalitätszonen infolge Trümmerwurf für Personen in Gebäuden je für $Q = 1$ t und $Q = 10$ t. Die etwas grösseren Letalitätszonen für Personen im Freien sind im Anhang H dokumentiert.

Trümmerwurf könnte auch infolge Kraterbildung in der Überdeckung des Bahnstollens entstehen. Da die Überdeckung (Fels und/oder Lockergestein, je nach Ort) aber auch beim Ereignis mit $Q = 10$ t massiv genug ist, um die Kraterbildung zu verhindern, ist nicht mit relevantem Trümmerwurf infolge Kraterbildung zu rechnen.

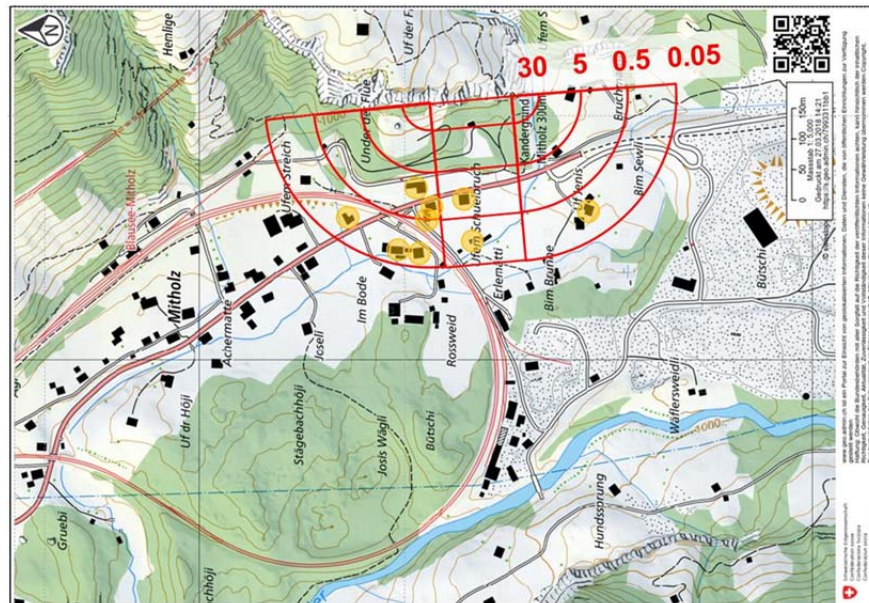


Abbildung 10: Radien für Letalitäten (in %) infolge Trümmerwurf für Personen in Gebäuden bei $Q = 1\text{ t}$ (bewohnte Gebäude in Letalitätszonen orange markiert / Quelle Swisstopo)

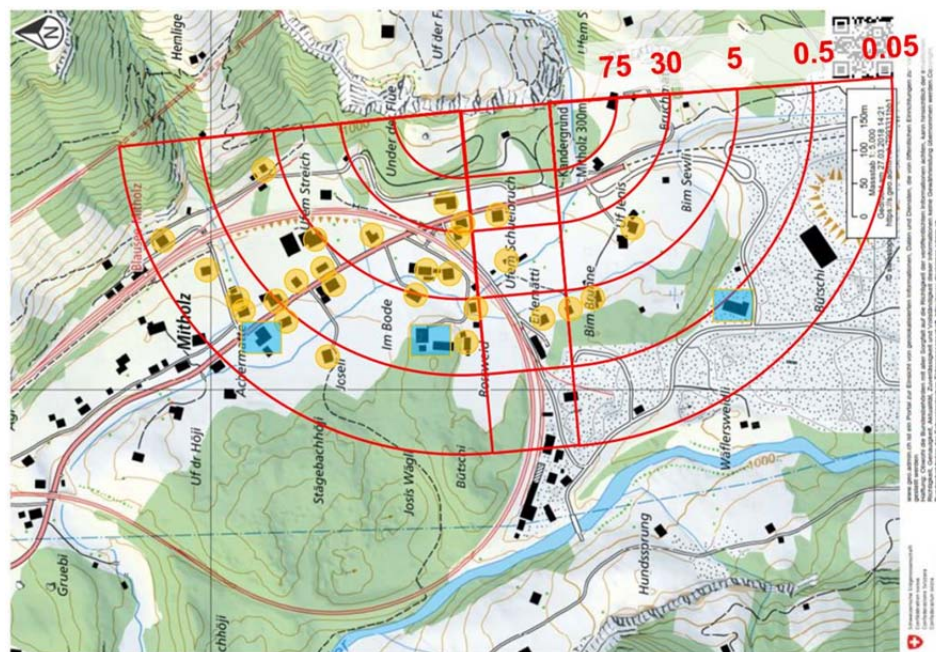


Abbildung 11: Radien für Letalitäten (in %) infolge Trümmerwurf für Personen in Gebäuden bei $Q = 10\text{ t}$ (bewohnte Gebäude in Letalitätszonen orange markiert / Gebäude mit potentiell grosser Anzahl Personen sind blau markiert / Quelle Swisstopo)

5.3.5 Erdstoss

Der Erdstoss wäre v.a. für das Rechenzentrum von Bedeutung, wenn der Kammerdruck (und die Trümmer der bestehenden Kammerabschlüsse) sowie der Feuerball und die toxischen Gase durch neue, massive (stark armierte und gut verankerte) Wände abgeschirmt würde. Die zu erwartenden Erdstosseschwindigkeiten beim Rechenzentrum würden beim Ereignis mit $Q = 1$ t maximal ca. 2 cm/s und für $Q = 10$ t max. ca. 10 cm/s betragen. Diese Erdstosseschwindigkeiten sind infolge der relativ grossen Distanz klein. Sie wären primär für die sensitiveren technischen Einrichtungen zu beachten, wären aber technisch beherrschbar.

Allerdings ist bezüglich des Rechenzentrums zu beachten, dass während des Baus dieser massiven Wände die Arbeiter gegen die anderen Explosionswirkungen, welche zu (sehr) hohen Letalitäten führen, nicht geschützt wären.

5.3.6 Feuerball / Brandgase

Bei der Detonation von Sprengstoffen entsteht eine grosse Menge von heissen Gasen, welche einen Feuerball bilden und toxisch sind. Beim Ereignis mit $Q = 1$ t werden zumindest die angrenzenden Kammern 4 - 6 und bei $Q = 10$ t sogar die ganze Anlage mit solchen Explosionsgasen gefüllt, was zu hohen Letalitäten in den betroffenen Bereichen führt.

5.3.7 Sekundäre Wirkungen

Sekundäre Wirkungen bzw. Folgeereignisse wie ein möglicher Felssturz können ohne neue geologische Gutachten kaum beurteilt werden, sind aber mindestens beim Ereignis mit $Q = 10$ t nicht auszuschliessen. Allerdings dürften dadurch kaum grössere Letalitätszonen entstehen als durch die direkten Wirkungen wie z.B. dem Trümmerwurf, weshalb die Risiken nicht massgeblich erhöht würden.

Die Beurteilung allgemeiner Umweltrisiken wie z.B. Gewässerverschmutzung im Ereignisfall war nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Ebenso sekundäre Wirkungen durch Gefahrgut-Transporte, insbesondere auf der BLS-Bergstrecke.

5.4 Expositionsanalyse

5.4.1 Situationen und Beteiligungsgrade

In der Expositionsanalyse werden die Anzahl der Personen in den Letalitätszonen und deren zeitliche Anwesenheit modelliert. Da letzteres oft einem Wochenrhythmus folgt, werden in den TLM 2010/Teil 2 [3] Grundsituationen verwendet, während welchen mit etwa gleichbleibenden Personenverteilungen gerechnet werden kann: Nacht, Arbeit, Freizeit & Pendeln und Wochenendtag.

Zusätzlich müssen bei Objekten, welche potentiell grosse Ausmasse während einer kurzen Zeit aufweisen (z.B. Bahndurchfahrt), Spezialsituationen ausgewiesen werden. Die Dauer dieser Spezialsituationen muss von der entsprechenden Grundsituation abgezogen werden.

Die Grund- und Spezialsituationen werden für die Risikobeurteilung nach StFV [1] als "Szenarien" verwendet (vgl. 5.6.1).

Zudem müssen für die Risikobewertung verschiedene Personengruppen resp. Beteiligungsgrade unterschieden werden: Für die Störfallverordnung sind unbeteiligte Drittpersonen zu berücksichtigen (in der Umgebung und bei der Bauphase des Rechenzentrums), für die WSUME [2] sind alle exponierten Personen zu berücksichtigen (auch diejenigen in der Truppenunterkunft und im Lager der Armeeapotheke).

5.4.2 Exponierte ausserhalb der Anlage

Folgende exponierte Personengruppen wurden in der Umgebung der Anlage berücksichtigt (vgl. Anhang I):

- Anwohner in Mitholz
- Nutzer der Kantonsstrasse Frutigen - Kandersteg
- Nutzer der Bahnlinie Frutigen – Kandersteg (BLS Bergstrecke)
- Personen in der Umgebung generell (Landwirte, Wanderer, etc.).

5.4.3 Exponierte im Bereich der Truppenunterkunft und des Lagers der Armeeapotheke

Die Truppenunterkunft in der Kammer 6 würde Platz bieten für ca. 200 Personen, aber infolge Brandschutzvorschriften darf rund ein Drittel davon nicht benutzt werden. In der Risikoanalyse wurde mit 100 Personen gerechnet, welche während 3 Wochen im Jahr nachts anwesend sind.

Das Lager der Armeeapotheke wird von zwei bis drei Mitarbeitern der Logistik Basis der Armee (LBA) betrieben.

5.4.4 Exponierte im Bereich des geplanten Rechenzentrums

Für eine allfällige Bauphase der massiven Abschlüsse gegen die bestehenden Anlageteile resp. die Munitionsrückstände im Bereich der Schnittpunkte der Kammern mit dem heutigen Zugangstollen wurde mit ca. 10 Personen für ca. 1 Jahr gerechnet.

Wenn diese massiven Abschlüsse dann erstellt wären, könnte das Rechenzentrum gebaut und betrieben werden, ohne dass relevante Letalitäten zu erwarten wären, weshalb der Betrieb in der Risikoanalyse auch nicht ausgewiesen wurde.

5.5 Risikoberechnung

In der Risikoberechnung werden die bisherigen Arbeitsschritte zusammengefasst und das Risiko mittels der Eintretenswahrscheinlichkeiten aus den Ereignisszenarien, der Letalitätszonen der massgebenden Wirkungen aus der Wirkungsanalyse sowie der exponierten Personen und zeitlichen Situationen aus der Expositionsanalyse berechnet.

Dabei müssen diese Daten je nach Vorgaben in den WSUME [2] resp. in der StFV resp. den Beurteilungskriterien [1, 13] anders aufbereitet werden:

- WSUME: Bestimmung des empfundenen, d.h. mit einer Aversionsfunktion gegen grosse Ausmasse (A_t) gewichteten, kollektiven Risikos (R_e). Die Berechnungen finden sich im Anhang I. In Abschnitt 5.6.3 werden die wichtigsten Kennwerte dargestellt.
- WSUME: Bestimmung des individuellen Risikos (r) aus den Parametern Eintretenswahrscheinlichkeit, Letalität und Exposition (vgl. 5.6.2).
- StFV: Bestimmung des kollektiven Risikos und Darstellung als Summenkurve im Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm aus den Berechnungen für das empfundene Risiko gemäss WSUME(vgl. Anhang I).

5.6 Risikobewertung

5.6.1 Kollektives Risiko von Unbeteiligten gemäss den Beurteilungskriterien I der StFV

Die im Störfallbereich üblichen Szenarien entsprechen hier der Spezialsituation Bahn (grösstes A) und den vier Grundsituationen (obere vier rote Punkte in Abbildung 12) gemäss TLM 2010/Teil 2 [3] (vgl. 5.4.1 und Anhang I für die Grunddaten). In der StFV werden nur unbeteiligte Drittpersonen ausserhalb eines Betriebes berücksichtigt, was hier für alle Exponierten in der Umgebung der Anlage zutrifft.

Für das Ereignis mit $Q = 1 \text{ t}$ liegt die Summenkurve (blau) im Bereich der "nicht schweren Schädigung". Dieses Szenario ist aus Sicht der StFV daher nicht relevant. Hingegen liegt die **Summenkurve für das Ereignis mit $Q = 10 \text{ t}$ (rot)** deutlich über dem Störfallwert von $A = 0.3$, was 10 Todesopfern entspricht, und damit **im nicht akzeptablen Bereich** [13]. In diesem Bereich findet keine Interessenabwägung statt. Folglich sind Sicherheitsmassnahmen zum Schutz der Anwohner zwingend, um die Summenkurve zumindest in den "Übergangsbereich" zu bringen.

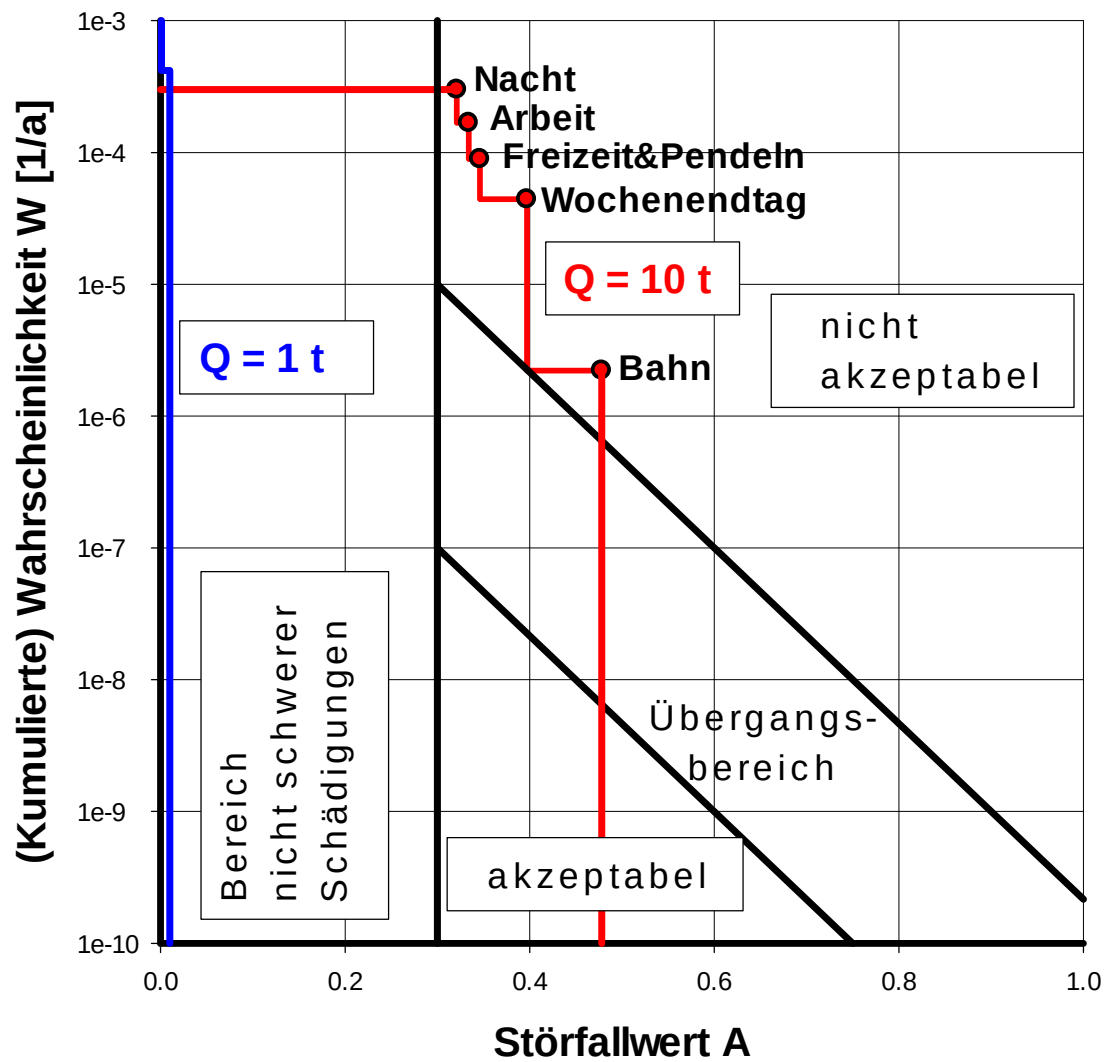


Abbildung 12: W/A-Diagramm gemäss den Beurteilungskriterien der StFV [13] für $Q = 1 \text{ t}$ und $Q = 10 \text{ t}$

5.6.2 Individuelles Risiko gemäss WSUME

Zusammenfassung aus Anhang I und dem Zwischenbericht (Anhang B):

Tabelle 2: Max. individuelle Risiken gemäss WSUME für $Q = 1 \text{ t}$

Exponierter Bereich	Letalität Anwesenheit	Individuelles Risiko
Umgebung	3 %	$3 * 10^{-3}/a * 3\% * 100\% = 1 * 10^{-4}/a$
Wohnhaus nah	100 %	
Truppenunterkunft In der Anlage	50 % 3 Wochen nachts	$3 * 10^{-3}/a * 50\% * 2.5\% = 4 * 10^{-5}/a$
Rechenzentrum Bauphase	30 % Arbeitszeit	$3 * 10^{-3}/a * 30\% * 25\% = 2 * 10^{-4}/a$

Die individuellen Risiken auf Strasse und Bahn sind infolge der Kurzzeitigkeit nicht relevant.

Der Grenzwert für unbeteiligte Zivilpersonen (resp. indirekt beteiligte Armeeangehörige) gemäss WSUME [2] beträgt $3 * 10^{-6}/a$. Die individuellen Risiken für das **Ereignis mit $Q = 1 \text{ t}$** in

- der Umgebung sind **nicht zulässig** (Grenzwert in den nahegelegenen Wohnbauten wird um Faktor 30 überschritten).
- der Truppenunterkunft sind **nicht zulässig** (Grenzwert der Armeeangehörigen wird um Faktor 10 überschritten).
- der Armeeapotheke sind **nicht zulässig** (die individuellen Risiken sind infolge der längeren Expositionsdauer noch grösser als in der Truppenunterkunft)
- dem geplanten Rechenzentrum wären während der Bauphase **nicht zulässig** (Grenzwert während des Baus der massiven Abschlussmauern würde um Faktor 80 überschritten).

Tabelle 3: Max. individuelle Risiken gemäss WSUME für $Q = 10 \text{ t}$

Exponierter Bereich	Letalität Anwesenheit	Individuelles Risiko
Umgebung	50 %	$3 * 10^{-4}/a * 50\% * 100\% = 1.5 * 10^{-4}/a$
Wohnhaus nah	100 %	
Truppenunterkunft In der Anlage	100 % 3 Wochen nachts	$3 * 10^{-4}/a * 100\% * 2.5\% = 7.5 * 10^{-6}/a$
Rechenzentrum Bauphase	100 % Arbeitszeit	$3 * 10^{-4}/a * 100\% * 25\% = 7.5 * 10^{-5}/a$

Der Grenzwert für unbeteiligte Zivilpersonen (resp. indirekt beteiligte Armeeangehörige) gemäss WSUME [2] beträgt $3 * 10^{-6}/a$. Die individuellen Risiken **Ereignis mit $Q = 10 \text{ t}$** in

- der Umgebung sind **nicht zulässig** (Grenzwert in den nahegelegenen Wohnbauten wird um Faktor 25 überschritten).
- der Truppenunterkunft sind **nicht zulässig** (Grenzwert der Armeeangehörigen wird um Faktor 3 überschritten).

- der Armeeapotheke sind **nicht zulässig** (die individuellen Risiken sind infolge der längeren Expositionsdauer noch grösser als in der Truppenunterkunft)
- dem geplanten Rechenzentrum wären während der Bauphase **nicht zulässig** (Grenzwert während des Baus der massiven Abschlussmauern würde um Faktor 25 überschritten).

5.6.3 Empfundenes kollektives Risiko gemäss WSUME

Das empfundene kollektive Risiko (Re) gemäss WSUME wird aus Gründen der Kosteneffizienz nicht mit oberen Grenzwerten eingeschränkt. Vielmehr werden die Kosten für Sicherheitsmassnahmen mit deren Reduktion des Risikos verglichen, und mittels Grenzkosten (Kosten pro gerettetes Menschenleben) die optimale(n) Sicherheitsmassnahme(n) bestimmt. Nachfolgend die Zusammenfassung aus Anhang I und dem Zwischenbericht (Anhang B):

Tabelle 4: Empfundenes kollektives Risiko (Re) gemäss WSUME für $Q = 1 \text{ t}$

Exponierter Bereich	Ausmass mittel / max.	Re pro Jahr Max. Kosten für Sicherheitsmassnahmen pro Jahr
Umgebung vor der Anlage	Ca. 1 / 1+	$2 \cdot 10^{-3}$ 60'000 CHF
Truppenunterkunft in der Anlage	Ca. 1 / 50	$2 \cdot 10^{-1}$ 6 Mio CHF
Rechenzentrum Bauphase	Ca. 1 / 5	$6 \cdot 10^{-3}$ 180'000 CHF

Knapp die Hälfte des Re in der Umgebung stammt von der Strasse. Für das Ereignis $Q = 1 \text{ t}$ wurde die Bahn nicht als Spezialsituation modelliert, da die Ausmasse resp. die Risiken klein sind.

Kosten für Sicherheitsmassnahmen welchen die Beträge gemäss Tabelle 4 und Tabelle 5 übersteigen, weisen somit ein ungünstiges Kosten-/Nutzen-Verhältnis aus und sollten aus Effizienzgründen nicht umgesetzt werden.

Tabelle 5: Empfundenes kollektives Risiko (Re) gemäss WSUME für $Q = 10 \text{ t}$

Exponierter Bereich	Ausmass mittel / max.	Re pro Jahr Max. Kosten für Sicherheitsmassnahmen pro Jahr
Umgebung vor der Anlage	Ca. 10-15 / 20+	$4 \cdot 10^{-2}$ 1.2 Mio CHF
Truppenunterkunft in der Anlage	Ca. 10-15 / 100+	$2 \cdot 10^{-1}$ 6 Mio CHF
Rechenzentrum Bauphase	Ca. 10-20 / 30+	$8 \cdot 10^{-2}$ 2.4 Mio CHF

Für $Q = 10 \text{ t}$ werden je ein Drittel des Re in der Umgebung von der Strasse und vom nächstgelegenen, grossen Wohnhaus im Vorfeld der Anlage generiert (vgl. Anhang I).

5.7 Variation der Einflussparameter für die Risiken (Sensitivitätsanalyse)

Für die Sicherheitsbeurteilung werden Einflussparameter wie Ereignisgrösse, Eintretenswahrscheinlichkeit und Letalitätszonen verwendet. Diese sind generell mit Unsicherheiten behaftet. Üblicherweise werden darum diese Einflussparameter in einer sogenannten Sensitivitätsanalyse in einem plausiblen Bereich variiert. Damit kann gezeigt werden, was je nach Variation die Auswirkungen auf die Risiken wären.

- Ereignisgrösse (vgl. Kapitel 4.6): Die Variation wurde durch die beiden Ereignisszenarien $Q = 1 \text{ t}$ und $Q = 10 \text{ t}$ abgedeckt.
- Wahrscheinlichkeiten (vgl. Kapitel 4.7): Für die beiden Ereignisszenarien wurde je ein Mittelwert W mit Variation plus/minus Streubereich ($W \times 3$ resp. $W/3$) angenommen.
- Letalitätszonen resp. Ausmasse (vgl. Kapitel 5.3.4): Die Variation der erwarteten Ausmasse A_t für die beiden Ereignisszenarien wurde auf $A_t \times 2$ resp. $A_t/2$ abgeschätzt (der Störfallwert A wird direkt aus A_t abgeleitet). Die dem Ausmass zu Grunde liegenden Letalitätszonen werden durch die Erkenntnisse aus den Explosionsversuchen und -unfällen gestützt.

Die Sensitivitätsüberlegungen zeigen, dass die Erkenntnisse robust sind. Selbst die Kombination von kleineren Eintretenswahrscheinlichkeiten und kleineren Ausmassen würden keine zulässigen Risiken ergeben.

- Beurteilungskriterien zur StFV [13]: Die Risiken in der Umgebung für das Ereignis mit $Q = 10 \text{ t}$ liegen auch bei kleineren Einflussparametern ($W/3$ und $A_t/2$) noch im "nicht akzeptablen" Bereich (vgl. Abbildung 13 und Tabelle 7).
- Individuelle Risiken gemäss WSUME [2]: Auch bei kleineren Einflussparametern ($W/3$ und $A_t/2$) würden diese Risiken noch klar über den Grenzwerten liegen.

Natürlich ergäben sich bei grösseren Eintretenswahrscheinlichkeiten und Ausmassen noch grössere Risiken.

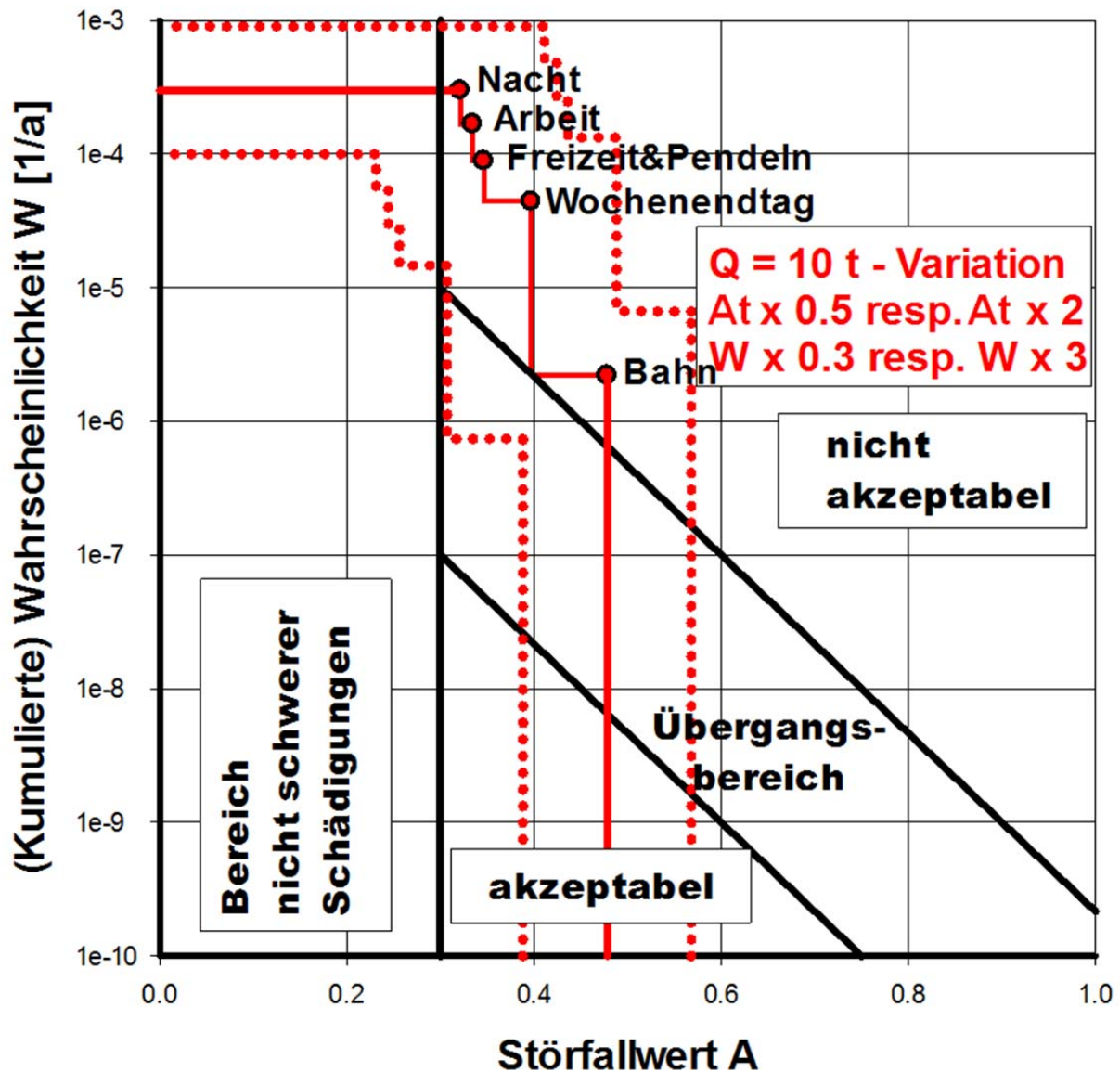


Abbildung 13: W/A-Diagramm für $Q = 10 \text{ t}$ mit Streubereich (Sensitivitätsanalyse; At: Erwartetes Ausmass)

Tabelle 6: W/A-Kriterien für $Q = 10 \text{ t}$ (Sensitivitätsanalyse; At: Erwartetes Ausmass, W: Wahrscheinlichkeit)

Einfluss- parameter	At x 0.5	At	At x 2
W x 0.3	ganz leicht "nicht akzeptabel" (untere rot-punktierte Linie)	"Nicht akzeptabler" Bereich	"Nicht akzeptabler" Bereich
W	leicht "nicht akzeptabel"	"Nicht akzeptabler" Bereich (ausgezogene rote Linie)	"Nicht akzeptabler" Bereich
W x 3	"Nicht akzeptabler" Bereich	"Nicht akzeptabler" Bereich	"Nicht akzeptabler" Bereich (obere rot-punktierte Linie)

5.8 Weitere Auswirkungen

Die Beurteilung der Sicherheit gemäss WSUME basiert primär auf Schäden an Leib und Leben. Materielle bzw. finanzielle Schäden, Reputationsverluste etc. wären je nach Bedarf zu ebenfalls sinnvoll zu betrachten.

6 Korreferat

6.1 Aufgabenstellung der Korreferenten

Die Risikoanalyse 1051/AA ist kein Standardfall. Aussergewöhnlich sind insbesondere die räumlichen und zeitlichen Dimensionen, die Unschärfen in der Ausgangslage oder die Vielzahl der Betroffenen. Es fehlen weitgehend vergleichbare Anwendungen. Ein unabhängiges Korreferat soll einen Beitrag an die Qualitätssicherung der Arbeit leisten.

Die beiden Korreferenten sind Experten aus dem Bereich Kampfmittelräumung in Deutschland. Sie haben die Aufgabe bekommen insbesondere

- das gewählte Vorgehenskonzept zu beurteilen,
- zu prüfen ob die verwendeten Grundlagen und Methoden dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen, sowie
- die Plausibilität der Resultate und deren Darstellung in diesem Schlussbericht zu korreferieren.

Die Experten aus Deutschland haben bereits den Zwischenbericht vom 27. April 2018 im Bericht Nr. 1 korreferiert (siehe Anhang C).

Der vollständige Bericht (Nr. 2) der Korreferenten zum Schlussbericht ist in Anhang M dokumentiert. Er zeigt neben den Feststellungen auch die Vorgehensweise der Korreferenten und enthält Handlungsempfehlungen

6.2 Erkenntnisse der Korreferenten

Die Korreferenten stellen fest, dass, in Anbetracht des begrenzten Bearbeitungszeitraum für die Erstellung der Risikoanalyse 1051/AA, die vorgelegten Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Bewertungen der Expertengruppe äußerst umfangreich, detailliert und sachorientiert sind. Sie stellen zudem fest, dass

- das Vorgehenskonzept zielorientiert ist und dem Stand der Technik entspricht,
- die Arbeitshypothese (Ereignisszenarien) begründet
- die bisherigen Schlussfolgerungen nachvollziehbar sowie
- die Sofortmaßnahmen angemessen und verhältnismäßig sind.

Die Korreferenten weisen aber zudem darauf hin, dass die Grundannahmen noch als vorläufig zu betrachten sind und noch nicht als hinlänglich gesichert angesehen werden können.

7 Erkenntnisse und Empfehlungen

7.1 Empfehlungen der Expertengruppe

Die Expertengruppe empfiehlt auf der Basis dieser Risikoanalyse und im Rahmen des ihr übertragenen Auftrags folgende Massnahmen:

Trp Ukft

Die Risiken lassen sich durch bauliche Massnahmen kaum auf ein akzeptierbares Niveau reduzieren. Wir empfehlen die umgehende Schliessung.

AApot

Die Risiken lassen sich durch bauliche Massnahmen kaum auf ein akzeptierbares Niveau reduzieren. Wir empfehlen die baldmöglichste Schliessung.

RZ VBS

Die Risiken für den Betrieb lassen sich mit sehr aufwändigen baulichen Massnahmen auf ein akzeptierbares Niveau reduzieren.

- Für die Bauphase des RZ lassen sich die Risiken nicht ausreichend reduzieren.
- Wir empfehlen kein Bauvorhaben an diesem Standort.

Umwelt

Die Risiken sind aktuell zu hoch für die Umgebung (v.a. Strasse, Häuser, Bahn). Wir empfehlen dem GS VBS mit geeigneten Fachleuten umgehend die Frage zu beantworten, wie die unzulässigen Risiken für die Umgebung auf ein zulässiges Mass reduziert werden können.

7.2 Sofortmassnahmen

Die Expertengruppe leitet daraus folgende Sofortmassnahmen ab

- Umgehende Schliessung der Trp Ukft
- Baldmöglichste Schliessung der AAPot
- Kein Bauvorhaben an diesem Standort
- Initiierung einer Arbeitsgruppe des GS VBS, um die Umgebungsrisiken auf ein akzeptierbares Mass zu reduzieren
- Massnahmen zur Verhinderung von unberechtigttem Zutritt.

7.3 Hinweis

Die obenstehenden Empfehlungen, Massnahmen und Sofortmassnahmen wurden mit Zwischenbericht vom 27. April 2018 einerseits dem PA RZ VBS BUND zur Kenntnis gegeben. Andererseits nahm das VBS und weitere Departemente Kenntnis vom Zwischenbericht. Seither wurden insbesondere die Sofortmassnahmen eingeleitet.