

Unterstützung Maßnahmenentwicklung und Maßnahmenbeurteilung ehem. Munitionslager Mitholz

Vorausmaßnahmen, Variantenvergleich und
VBS-Risikoanalyse 2020

Bericht E 41/2020

Berichtersteller:

M. von Ramin

Mit Beiträgen von:

J. Schneider

A. Stolz

Projektleiter:

M. von Ramin

September 2020
Efringen-Kirchen

Unterstützung Maßnahmenentwicklung und Maßnahmenbeurteilung ehem. Munitionslager Mitholz

Vorausmaßnahmen, Variantenvergleich und VBS-Risikoanalyse 2020

Bericht E 41/2020

Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention, Sektion Störfall- und Erdbebenvorsorge
Projekt-Nr. (EMI)	268577
VS-Einstufung	keine

Revision 1 vom 22. März 2021 – Berechnung Abschnitt 5.3, S. 29

Revision 2 vom 23. April 2021 – Redaktionelle Korrekturen

Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Berichtersteller und Projektleiter:

Dr. M. von Ramin
Gruppenleiter – Gefährdungs- und Risikoanalyse

Dr.-Ing. A. Stolz
Abteilungsleiter –
Sicherheitstechnologie und baulicher Schutz

i. V.

Prof. Dr.-Ing. habil. S. Hiermaier
Leiter des Ernst-Mach-Instituts

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Grobbewertung der Maßnahmenvarianten Phase I	7
2.1	Allgemeine Empfehlungen	7
2.2	Allgemein positive Aspekte der Variantenbeschreibungen	8
2.3	Allgemeine zu vermeidende Aspekte aus den Variantenbeschreibungen	10
3	Stellungnahme zu baulichen Sofortmaßnahmen	11
3.1	Empfehlungen zu den baulichen Sofortmaßnahmen	11
3.1.1	Hinweise zur generellen Durchführung und räumlichen Anordnung	11
3.1.2	Hinweise zur Bemessung mit Bezug auf Blastbelastung	12
3.1.3	Hinweise zur Bemessung mit Bezug auf Trümmerwurf	13
3.2	Fazit zur Auslegung baulicher Sofortmaßnahmen	15
4	Variantenevaluation Phase II	16
4.1	Generelle Beurteilung der Planung in <i>Phase II</i>	17
4.2	Vertiefungsbedarf Bausteine	18
4.3	Variante »Sanierung«	20
4.4	Option »Überdeckung«	22
4.5	Fazit Variantenevaluation <i>Phase II</i> und Empfehlungen	23
5	Beurteilung »Vorstudie Schutzbauten als Vorausmaßnahmen«	25
5.1	Allgemeine Beurteilung der Vorstudie	25
5.2	Dämme als Vorausmaßnahmen	26
5.3	Netze als Vorausmaßnahmen	29
5.4	Pfropfen und Hochdrucktor als Vorausmaßnahmen	30
5.5	Fazit Vorausmaßnahmen und Empfehlungen	32

6	Variantenevaluation Phase III und VBS-Risikoanalyse 2020	34
6.1	Allgemeine Einschätzung der VBS RA 2020	34
6.2	Neue Erkenntnisse	35
6.2.1	Bildung von Kupferazid	35
6.2.2	Vermessung	36
6.2.3	Sympathetische Detonationsübertragung	36
6.2.4	Einschätzung der angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten	37
6.2.5	Gefährdungsanalyse (Wirkungs- und Expositionsanalyse)	38
6.3	Aktualisierte Einschätzung des Ist-Zustands	39
6.4	Einschätzung des Risikos des Ist-Zustands auf Grundlage konservativer Eintrittswahrscheinlichkeiten	49
6.5	Entwicklung der Risikosituation	50
6.5.1	Vorausmaßnahmen	51
6.5.2	Hohlraumverfüllung und Abtrag Dreispitz	53
6.5.3	Erstellung von Schutzbauten	56
6.5.4	Beginn der Räumung	56
6.5.5	Option Überdeckung	57
6.6	Evakuations Szenarien	57
6.7	Fazit und Empfehlungen	58
7	Literaturangaben	61
8	Anhang 1: Grobbewertung Maßnahmenvarianten und Sofortmaßnahmen (Präsentation vom 5.6.2019)	63
9	Anhang 2: Abschätzung Energiegehalt Trümmer Mitholz 1947	64
10	Anhang 3: Ermittlung der Risikowerte 2020	65

1 Einleitung

Im 2. Weltkrieg wurde in Mitholz (Gemeinde Kandergrund BE) ein unterirdisches militärisches Munitionslager gebaut. Im Jahr 1947 kam es darin zu Explosionen. Explodiert war ein Teil der eingelagerten rund 7000 Bruttotonnen Munition. Die bei dem Ereignis nicht explodierte Munition konnte anschließend teilweise geräumt werden. Aufgrund einer Schätzung befinden sich in den eingestürzten Anlageteilen und im Schuttkegel davor heute dennoch weiterhin rund 3500 Bruttotonnen Munition mit mehreren hundert Tonnen Sprengstoff.

Der Schlussbericht der Risikoanalyse zum ehemaligen Munitionslager Mitholz des VBS vom 27. September 2018 [1], welcher unter Einbezug einer Expertengruppe erarbeitet wurde, kommt zu dem Schluss, dass im ehemaligen Munitionslager Mitholz ein höheres Risiko für eine weitere Explosion von Munitionsrückständen besteht, als bisher angenommen. Dabei sind für das dort beschriebene 10 t TNT Äquivalenzszenario die Risiken für die Bevölkerung inkl. der Verkehrsteilnehmer auf der Bahn und der Straße nach den Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung (StFV) [2] im nicht akzeptablen Bereich.

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) als Fachstelle für die Störfallvorsorge des Bundes hat dem »Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut (EMI)« ein Mandat zur Beurteilung der VBS-Risikoanalyse und zur Unterstützung des BAFU bei der Maßnahmenevaluation erteilt. Gestützt auf den EMI-Bericht E-21/19, »Risikoanalyse ehemaliges Munitionslager Mitholz – Beurteilung der Risikoanalyse 1051/AA« [3] vom Februar 2019 kommt das BAFU ebenso wie das VBS zum Schluss, dass das Risiko der Anlage im nicht akzeptablen Bereich liegt und somit deutlich größer ist, als in der Vergangenheit angenommen wurde. Das BAFU beantragte bei der Vollzugsbehörde (Generalsekretariat VBS) die Senkung des Risikos mindestens in den akzeptablen Bereich gemäß den Beurteilungskriterien zur StFV.

Um geeignete Maßnahmen zur Risikosenkung zu erarbeiten, plante das VBS eine Bearbeitung in drei Phasen, die seitens BAFU und entsprechend seitens EMI ebenso aufgenommen wurden:

- *Phase I Variantenauslegung und Grobbewertung*
- *Phase II Variantenvertiefung*
- *Phase III Detailbewertung und Variantenvergleich*

Die Ergebnisse des EMI wurden für jede Phase mit einem Berichtsteil dokumentiert und nach Abschluss der Phase III im September 2020 zu einem Abschlussbericht zusammengefasst. Die Berichtsauszüge nach jeder Phase wurden beim BAFU eingereicht. Kapitel 2 und 3 des vorliegenden Berichtes beziehen sich auf die Phase I. Dieser Berichtsteil wurde dem VBS durch das BAFU am 5. Juli 2019 zugestellt. Die Kapitel 4 und 5 des Berichts beziehen sich auf die Phase II, die Variantenvertiefung. Dieser Berichtsteil wurde beim VBS durch das BAFU am 17. April 2020 eingereicht. Das Kapitel 6 adressiert die Phase III der Variantenevaluation [4] als Grundlage der VBS-Risikoanalyse 2020 [5], die in diesem Kapitel beurteilt wird.

Ziel der Gesamtstudie ist es, die vom VBS zur Risikosenkung erarbeiteten Maßnahmvorschläge (Vorausmaßnahmen (vormalig »Sofortmaßnahmen«) und Maßnahmenvarianten mit längerer Umsetzungsdauer) sowie die im Sommer 2020 aktualisierte Risikoanalyse des VBS auf Plausibilität bezüglich Machbarkeit, Dimensionierung und Risikoreduktion zu prüfen. Zudem sollen Ergänzungen zu den Maßnahmenvarianten des VBS und Ideen zur Optimierung / Spezifikation der Vorausmaßnahmen und Maßnahmenvarianten für die vertiefte Ausarbeitung abgegeben werden.

Der vorliegende Bericht adressiert im Kapitel 2 die *Phase I* des Projekts, indem die Grobbewertung der seitens des VBS erarbeiteten Variantengrobbeschriebe [6] zusammengefasst wird. Daraus abgeleitet wurden Empfehlungen für die weitere Vertiefung der Variantenerarbeitung in den *Phasen II* und *III*. Im Kapitel 3 wird auf die in den Varianten grob beschriebenen genannten baulichen Sofortmaßnahmen eingegangen, die als kurzfristig umzusetzende Maßnahmen das bestehende hohe Risiko mindern sollen. Diese »Sofortmaßnahmen« wurden im Verlauf des Projekts durch das VBS in »Vorausmaßnahmen« umbenannt. Kapitel 4 adressiert die Evaluation der vertiefenden Betrachtung möglicher Varianten zur Räumung durch das VBS. Parallel zur Erarbeitung der Variantenvertiefung in *Phase II* wurden durch das VBS die »Vorausmaßnahmen« zur kurzfristigen Senkung des Risikos für die Bevölkerung in Mitholz im Rahmen einer Vorstudie beschrieben. Diese Vorstudie wird im Kapitel 5 dieses Berichts aus Sicht des Fraunhofer EMI beurteilt. Zum Abschluss des VBS-Projekts der Variantenevaluation in *Phase III* wurden die umzusetzenden Maßnahmen vertieft und erarbeitet, welche Aspekte bei der weiteren Planung durch das VBS zu berücksichtigen sind. Diese *Phase III* schließt mit der VBS-Risikoanalyse 2020 [5] ab, in der in Anbetracht gegenüber 2018 neu gewonnener Erkenntnisse die Risiken über den Verlauf der Räummaßnahmen neu betrachtet werden. In Kapitel 6 wird die VBS-Risikoanalyse 2020 seitens Fraunhofer EMI beurteilt. Ferner werden dort Empfehlungen zur Nachverfolgung im weiteren Projektverlauf gegeben.

2 Grobbewertung der Maßnahmenvarianten Phase I

Für die *Phase I* des Projektprozesses sind die in [6] beschriebenen möglichen Varianten auf ihre Wirkung zur langfristigen Senkung des Risikos auf einen im Sinne der Störfallverordnung (StFV) akzeptablen Bereich grob bewertet worden. Die Bewertung der 19 aufgeführten Varianten [6] erfolgte nach einem Verfahren, innerhalb dessen eine qualitative grobe Experteneinschätzung in Bezug auf Bewertungsindikatoren erfolgte [7]. Gemäß der Aufgabenstellung erfolgte diese qualitative Einschätzung für die Indikatoren G11 (Risiko für Unbeteiligte nach der Realisierungsphase) und G12 (Risiko für Unbeteiligte während der Realisierungsphase).

Die Bewertungsergebnisse wurden am 5. Juni 2019 der Expertengruppe des VBS sowie Vertretern des BAFU und der Störfallfachstelle des Kanton Bern präsentiert und anschließend diskutiert. Anhang 1 beinhaltet die Ergebnispräsentation. Zu beachten ist, dass in der Grobbewertung abweichend von den Vorgaben in [7], die Bewertungsskalen feiner abgestuft gewählt wurden, damit ein Vergleich der einzelnen Varianten basierend allein auf den Indikatoren G11 und G12 überhaupt möglich ist. So wurden für beide Indikatoren Wertebereiche von -5 bis +5 in Abständen von 1 gewählt ([7] sieht für G11 Werte von {-5, 0, +5} und für G12 Werte von {-5, -2, 0, +2, +5} vor). Die feinere Abstufung mag eine höhere Genauigkeit in Bezug auf die möglichen Explosionsauswirkungen vortäuschen, die bei einer solchen Grobbewertung nicht erzielt werden kann. Sie ermöglicht jedoch eine feinere Abstufung hinsichtlich von Trends, ob bei einer Variante allgemein das Risiko höher oder geringer ausfällt als bei einer anderen Variante.

Als Fazit der Betrachtung der einzelnen Varianten [6] ergeben sich die in den Folgeabschnitten formulierten Empfehlungen, die während der Fortführung des Projekts aus Sicht des EMI beachtet werden sollten.

2.1 Allgemeine Empfehlungen

- a. Aufgrund der sehr groben Beschreibung der Varianten [6] ergibt sich allein aus dem Vergleich der Indikatoren G11 und G12 gegebenenfalls ein verzerrter Eindruck mit Blick auf die Auswahl der weiterzuverfolgenden Varianten. In diesem Sinn wird empfohlen, die Grobbewertung der *Phase I* als Beginn des Konkretisierungsprozesses und als Startpunkt für Diskussionen zu verwenden, welche Aspekte der einzelnen Varianten

für eine Vertiefung sinnvoll erscheinen. Ein Weiterverfolgen innerhalb *Phase II* von allein den fünf Varianten, welche die Bestbewertung in *Phase I* erzielt haben, birgt die Gefahr, dass positive Aspekte der weniger gut bewerteten Varianten nicht weiter berücksichtigt werden. Weiterhin hängt die risikosenkende Wirkung einzelner genannter Aspekte deutlich von der entsprechenden Umsetzung ab. Daraus ergibt sich, dass die besten Varianten vermutlich aus der Zusammenführung der positiven Aspekte der bisher beschriebenen Varianten folgen. In dem Sinne werden in den folgenden beiden Abschnitten Aspekte benannt, die aus Sicht des EMI allgemein bei der Konkretisierung der fünf Varianten in *Phase II* berücksichtigt werden sollten. Diese sind unterteilt in generell positive, risikosenkende Aspekte (Abschnitt 2.2) und solche, die das Risiko im Vergleich zu den vorhergehenden Varianten höher ausfallen lassen (Abschnitt 2.3).

- b. Die Beschreibungen der Varianten in [6] sind in Umfang und Detaillierungsgrad nicht konsistent. Da ohne Interpretationsspielraum nur bewertet werden kann, was für die jeweilige Variante tatsächlich beschrieben steht, fällt ein Vergleich der Varianten – und damit eine Auswahl der Bestvarianten – schwer. Selbst bei relativ kleinen Veränderungen der Beschreibungen kann sich damit die Grobbewertung signifikant verändern, was den rein quantitativen Variantenvergleich erschwert. Es wird empfohlen, die Variantenbeschreibungen aus [6] qualitativ gleichwertig zu formulieren, so dass die Auswahl der in *Phase II* weiterzuerfolgenden Varianten besser begründet werden kann.

2.2 Allgemein positive Aspekte der Variantenbeschreibungen

Aus der Durchsicht der einzelnen Variantenbeschreibungen in [6] und der Diskussion mit der Expertengruppe des VBS am 5. Juni 2019 stellen sich folgende Aspekte als diejenigen heraus, die aus Sicht des EMI das Risiko für Unbeteiligte während und nach der Umsetzung der Maßnahmen deutlicher senken, als die anderen beschriebenen Umsetzungskomponenten:

1. Nur eine vollständige Räumung des ehemaligen Bahnstollens und des vorgelagerten Verschuttbereichs des Felsens kann das Risiko nachhaltig soweit senken, dass keine größeren »Schäden« im Sinn der StFV zu erwarten sind. Dies ergibt sich bereits allein aus der Tatsache, dass die genaue Menge an Restmunition nicht bekannt ist.
2. Vor den jeweiligen Räumarbeiten sollte eine schichtweise Detektion erfolgen, die so weit reichen muss, dass die Folgen der Arbeiten an dem

jeweiligen Munitionsbereich mit Blick auf sympathetische Detonationsübertragung in benachbarte Bereiche einschätzbar bleiben. Das bedeutet, dass der Detektionsbereich deutlich größer sein muss als der Bereich, in dem konkret geräumt wird.

3. Die Räumarbeiten sollten mindestens bis auf die Sohle des ehemaligen Bahnstollens durchgeführt werden. Dort, wo bei dem Unglück 1947 seitliche Spalten entlang der Gleise im ehemaligen Bahnstollen entstanden sind, gehen die Räumbereiche tiefer.
4. Aus Sicht des EMI ist es sinnvoll, Räumarbeiten, ausgehend von den ehemaligen Stollen, zu beginnen und nicht erst den vorgelagerten Fels abzutragen. Dies kann jedoch bedeuten, dass der ehemalige Stollen tunnelartig gesichert werden muss, was wiederum die Gefahr einer Initiierung der verschütteten Munition birgt. Diese Gefahr ist jedoch auch bei einem Abtragen des Felsens gegeben; auch hier müsste der Innenbereich zusätzlich gesichert werden (s. Abschnitt 2.3).
5. Ein Beginn der Räumarbeiten von Süden her hat das Potential, die größten vermuteten Munitionsmengen rasch zu detektieren und zu räumen, so dass das Risiko früher signifikant gesenkt wird, als dies bei einem Räumbeginn von Norden her der Fall wäre. Die Räumung von Süden hat den Vorteil, dass die Evakuationszeiten und Evakuierungsradien relativ schnell kleiner werden (schnellerer Abbau des Schadensausmaßes).
6. Die Räumarbeiten sollten durch begleitende bauliche Schutzmaßnahmen abgesichert werden. Die Planung dieser Schutzmaßnahmen ist jedoch im Detail auf die möglichen Explosionsszenarien abzustimmen. Dazu gehören mögliche Ladungsmengen, Abstände zu den potentiellen Detonationsorten und die Bemessung auf die jeweils maßgebenden Explosionseffekte hin (Druckstoßwelle, Trümmerimpakt, Erdstoß, ggf. auch Temperaturbeanspruchung). Bei der Belastung durch die Druckstoßwelle ist mit einer Interaktion zwischen eintreffender Belastung und Reaktion des Schutzbauteils zu rechnen.
7. Die Munitionsentsorgung wurde nicht in allen Varianten, beschrieben in [6], adressiert. Anfallende Munition sollte direkt vor Ort entsorgt werden. Ein Sammeln der teilweise zur Selbstzündung neigenden Munition für eine spätere Entschärfung würde das Risiko während der Durchführung der Maßnahmen erhöhen.

2.3 Allgemeine zu vermeidende Aspekte aus den Variantenbeschreibungen

Ähnlich wie im vorangegangenen Abschnitt positive Aspekte aus den Variantenbeschreibungen zusammengestellt wurden, lassen sich aus den Beschreibungen auch Aspekte identifizieren, die im Vergleich zu den in den Varianten enthaltenen Alternativen nicht in der Lage sind, das Risiko deutlich zu senken bzw. unter Umständen sogar erhöhen:

1. Manipulative Arbeiten am und im zerklüfteten Fels können die Wahrscheinlichkeit einer Initiierung von Zündern durch Steinschlag erhöhen. Bei dem bisher bekannten Lockerungsgrad des Gesteins können durch Injektionen und / oder Verpressvorgänge Gesteinsmassen auseinandergedrückt werden, so dass bisher eingeklemmte Felsformationen gelöst werden. Weiterhin ist es möglich, dass bei dem Einbringen von Felsankern der Fels als solches gelöst wird und herabfällt.
Auch das Abtragen von Felsmasse von außen birgt die Gefahr, dass das Felsgefüge gelockert wird und Steinschlag – und darüber eine Explosion – initiiert wird. Das bedeutet, dass wenn am Fels manipuliert wird, der innere Stollenbereich durch Tunnel o.ä. abgesichert werden muss.
2. Ähnlich wie die gezielte Manipulation am Fels ist der Einsatz von schweren Maschinen in der Lage, das Felsgefüge zu verändern und damit Steinschlag zu ermöglichen. Demnach sollte mit schweren Maschinen nur insoweit gearbeitet werden, wie durch Detektion »vorausgeschaut« werden kann.
3. Einige der Variantenbeschreibungen beschreiben einen Räumvorgang, von Norden beginnend. Bei einem solchen Vorgehen entstehen »Ausblasöffnungen«, die im Fall einer Explosion innerhalb der Stollenanlage in Richtung der Ortschaft den Druck entlasten und unter Umständen auch den Trümmerwurf in diese Richtung orientieren. Bei einem solchen Vorgehen ist aus Sicht EMI nicht sichergestellt, dass die Trümmerwurfrichtung eindeutig orientiert ist, vor allem da das vorhandene Felsmaterial sich zu dem Zeitpunkt per Variantendefinition im Abbauprozess befindet. Bei einer sympathischen Initiierung von Munitionsnestern im südlichen Bereich der Anlage kann es entsprechend zu einer vollkommen unvorhersehbaren Trümmerentwicklung kommen, die ausgerechnet Richtung Ortschaft gerichtet ist.
Aus Sicht EMI ist ein Räumen von Süden her zu bevorzugen, da zumindest bei kleineren Explosionen durch das vorhandene Fels- und Verschüttmaterial teilweise ein Schutz gegeben ist.

3 Stellungnahme zu baulichen Sofortmaßnahmen

Der Zwischenbericht [6] geht in den Abschnitten 7.3.2 und 7.3.3 stichpunktartig auf die Planung von Schutzbauten vor Umsetzung einer Maßnahme, resp. auf bauliche Sofortmaßnahmen¹ ein. Aus Sicht des EMI reicht eine solch grobe Skizzierung von kurzfristig umsetzbaren Schutzmaßnahmen für eine genauere Bewertung nicht aus, da die Wirksamkeit der Maßnahmen von der genauen Detaillierung und der Anwendbarkeit auf möglichst viele Explosionsszenarien abhängt. Dementsprechend werden in den Folgeabschnitten Aspekte genannt, die aus Sicht des EMI Ansatzmöglichkeiten bei der Bemessung und Auslegung von baulichen Sofortmaßnahmen im Rahmen der *Planungsphase II* bieten.

3.1 Empfehlungen zu den baulichen Sofortmaßnahmen

3.1.1 Hinweise zur generellen Durchführung und räumlichen Anordnung

Generell lässt sich festhalten, dass Sofortmaßnahmen nur dann gegenüber der derzeitigen Situation risikomindernd wirken, wenn durch ihre Ausführung die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Explosionsereignisses mindestens nicht vergrößert (wie es beispielsweise bei einer Manipulation am Fels oder an der verschütteten Munition der Fall wäre, oder aber auch durch Arbeiten am belasteten Untergrund unter Einsatz schwerer Maschinen), das mögliche Schadensausmaß jedoch deutlich verringert wird. Letzteres kann erreicht werden durch eine Reduktion der als Folge eines Explosionsereignisses erwartbaren Trümmerdichten und Verringerung der Wurfradien und damit durch eine Verringerung der Anzahl möglicher Todesopfer. Das Ziel der bisher mit [6] vorgestellten Sofortmaßnahmen ist der Schutz vor Trümmerwurf aus dem ehemaligen Munitionslager. Die Sofortmaßnahmen werden entsprechend durch den Trümmerimpakt belastet, sie werden jedoch auch anderen Explosionseffekten wie Stoßdruckwelle, Erdstoß und gegebenenfalls Flammeneinwirkung ausgesetzt und sind dahingehend zu bemessen.

Wenn felssichernde Maßnahmen wie Felsanker oder Verpressvorgänge geplant werden, sollte der Fels vertieft geologisch untersucht und beschrieben werden, um die Gesamtstabilität bei der Bemessung der Verankerungen berücksichtigen zu können oder das Verpressmaterial und den Verpressdruck entsprechend

¹ Die baulichen Sofortmaßnahmen wurden vom VBS im Laufe des Projektes in Vorausmaßnahmen umbenannt (siehe Kap. 5).

auslegen zu können, so dass die bestehende Gefährdung nicht erhöht wird. Es sollte auch bedacht werden, dass die Durchführung der geologischen Untersuchungen eine Arbeit am Fels bedeutet und somit das Risiko gegenüber dem derzeitigen Stand erhöhen kann. Entsprechend sollten diese Untersuchungen mit der notwendigen Umsicht durchgeführt werden.

Während der Errichtung baulicher Schutzmaßnahmen steigt die Gefährdung einer Initiierung der verschütteten Munition, es sei denn, die Schutzbauten werden in unbelasteten Bereichen errichtet und auch die Bauausführung tangiert den munitionsbelasteten Bereich nicht. Solche außerhalb der Bereiche verschütteter Munition oder im nachträglich geräumten Bereich errichtete Schutzbauten bieten in Form von Fangwällen, Mauern o.ä. hauptsächlich bei flachem, fokussiert gerichtetem Trümmerwurf Schutz. Die vom VBS angedachten Testfeldräumungen zur Untersuchung des Bauuntergrundes im Anlagenperimeter sind deshalb sehr zu begrüßen. Andere Versagensformen des Felsens bei innerer Detonation, beispielsweise ein nach oben gerichteter Kraterauswurf, werden durch solche wandartigen Strukturen wenig abgedeckt.

3.1.2 Hinweise zur Bemessung mit Bezug auf Blastbelastung

Auch wenn die geplanten Schutzbauten hauptsächlich vor Trümmerwurf schützen sollen, werden sie insbesondere in unmittelbarer Nähe zum Explosionsort auch durch die Blastwelle beansprucht. Abhängig vom Abstand zur Explosionsquelle und der Trümmergeschwindigkeit kann es auch zu einer Vorschädigung durch die Blastwelle und einer anschließenden Beanspruchung des geschwächten Bauteils durch Trümmerimpakt kommen. Der umgekehrte Fall, d.h. zuerst Auftreffen der Trümmer und anschließend Blastbelastung, ist mit Blick auf das primäre Schutzziel – Schutz vor Trümmerwurf im Fernbereich – wenig relevant.

Die Schutzbauten sollten aus Sicht des EMI hinsichtlich der Blastbelastung und der zuvor beschriebenen kombinierten Beanspruchung bemessen werden. Mögliche Ladungsmengen und Detonationsorte sind in den Risikoanalysen [1, 3] beschrieben. Die anzusetzenden Belastungswerte hängen von der jeweils geplanten baulichen Situation ab. Die Belastung wird unter anderem durch die Abstände von Schutzbau zu Explosionsort, Geometrie des Schutzwalls und die Umströmung durch die auftreffende Blastwelle beeinflusst.

Der auftreffende reflektierte Druck und der zugehörige Impuls können beispielsweise vereinfachend analytisch nach [8] oder [9] bestimmt werden. Realistischere Werte zur Druckausbreitung liefern zum Beispiel »Computational-Fluid-Dynamics«-Ansätze (CFD-Ansätze), wie sie auch in [3] verwendet wurden. Mit CFD-Ansätzen können sowohl Reflektionseffekte durch die umgebende Topographie wie auch das (stützende) Umfließen des Schutzwalls durch die Blastwelle abgebildet werden.

3.1.3 Hinweise zur Bemessung mit Bezug auf Trümmerwurf

In den Risikoanalysen [1, 3] sind Ansätze aus der Richtlinie TLM 2010 Teil 2 [10] verwendet worden, um die Trümmerausbreitung und die sich daraus ergebenden möglichen Schädigungswerte zu bestimmen. Wie in den Risikoanalysen erwähnt, sind die Richtlinien TLM 2010 Teil 2 [10] nicht für den Fall eines nach einem Explosionsereignis verschütteten Munitionslagers entwickelt worden, sie stellen jedoch Berechnungsansätze zur Verfügung, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen und die Anforderungen an Munitionslager in der Schweiz definieren. Dementsprechend ist es aus Sicht des EMI möglich, mit Hilfe der TLM 2010/Teil 2 [10] die Wirksamkeit von baulichen Sofortmaßnahmen zu beurteilen und mit den derzeitigen Risikowerten aus [1, 3] konsistent zu vergleichen. Da die TLM 2010/Teil 2 für intakte, nach aktuellen Baunormen erstellte, Munitionslager gelten, sollten die Ergebnisse aus Berechnungsansätzen für verschiedene Lagerformen und mögliche Versagensmodi verglichen und auf das ehemalige Munitionslager Mitholz übertragen werden. So sind grundsätzlich unterschiedlich Versagensformen bei einer möglichen Explosion denkbar. Die Risikoanalyse [3] beschreibt Trümmerwurf aus Kraterbildung sowie den gerichteten Trümmerwurf ausgehend von den ehemaligen Stollenportalen als konservative Szenarien im Sinne des Vorsorgeprinzips als maßgebend für die Risikobetrachtung. Die VBS-Risikoanalyse [1] geht von einem Trümmerwurf aus den (weiterhin bestehenden) Klüften im Bereich des »Dreispietz« aus, der entsprechend dem Modell für »sehr kurze Kammer ohne Vorstollen« in Felsanlagen (Anhang 3, Abschnitt 1.2.13 [10]) berechnet wurde.

Wirkungen aus Zugangsstollen

Verhältnismäßig große Flächen der Gefährdungsbereiche aus [3] ergeben sich aus der Möglichkeit eines gerichteten Trümmerwurfs ausgehend von den ehemaligen und aktuellen Stollenportalen. Entsprechend erscheint aus Sicht des EMI die Anordnung von Schutzdämmen vor allen aktuellen und ehemaligen Zugängen der Anlage als risikomindernde Sofortmaßnahme sinnvoll. Als risikomindernde Maßnahme zum Schutz der Bevölkerung im Ort Mitholz sind insbesondere die nördlichen Portale maßgebend.

Für die Analyse der Wirksamkeit von Schutzdämmen als Maßnahme zur Minderung des möglichen gerichteten Trümmerwurfs aus Zugangsstollen oder Lagerkammern werden in der TLM 2010 Teil 2 (Anhang 3, Abschnitt 1.2.12 [10]) empirische Gleichungen angegeben, mit denen bei vorgegebener Schutzdammgeometrie die Wurfradien für einzelne Trümmerdichten (und damit korreliert Schadensausmaße) berechnet werden können. Voraussetzung zur Beurteilung ihrer Wirksamkeit ist die Festlegung der Dammgeometrien und der jeweiligen Abstände zu den Portalen. Bei entsprechend angeordneten Schutzdämmen können beträchtliche Reduktionen der auf den möglichen Trümmerwurf aus Stollenportalen bezogenen Gefährdungszonen erreicht werden.

Wirkungen aus Kratern

Aufgrund der zu erwartenden vertikalen Abgangswinkel der Felstrümmer bei einer ebenfalls möglichen Kraterbildung sind Schutzwälle in diesem Fall wenig wirksam. Um den Trümmerwurf ausgehend von der Felsumlagerung der gelagerten Munition zu berechnen, stellt [10] in Anhang 3, Abschnitt 2.4 empirische Ansätze zur Verfügung, die auch in [3] verwendet wurden. Zur Wirksamkeitsbeurteilung von Maßnahmen zur Risikominderung sollten aus Sicht des EMI sowohl die Modelle mit als auch ohne Lockergesteinsüberdeckung vergleichend betrachtet werden. Zur besseren Eingrenzung der Ergebnisse wäre eine geologische Einschätzung hinsichtlich des Zutreffens der Modellgrundlagen erforderlich.

Die Gefährdung aus Trümmerwurf, ausgehend von der Felsumlagerung, kann gegebenenfalls durch Netze verringert werden. Vollständig verhindern wird sich der Kraterauswurf durch Netzstrukturen nicht lassen, dafür ist der erwartbare Gehalt an kinetischer Energie der Felstrümmer zu hoch. Auch die Netzstrukturen sind auf die Belastung ausgehend von den unterschiedlichen Trümmerwurfsszenarien hin zu bemessen. Zielführend könnte es sein, die Netze nicht frei zu spannen, sondern um den Fels herumzulegen und zu verankern. Dabei kann auch die Verwendung mehrerer Netze mit unterschiedlichen Maschengrößen sinnvoll sein, um insgesamt das Gewicht der Netze zu reduzieren.

Möglicher Bemessungsansatz

Sämtliche Schutzmaßnahmen vor Gefährdung durch Trümmerwurf sollten auf den möglichen Trümmerimpakt hin bemessen werden. Aus einem im Explosionsfall weggeschleuderten Netz oder dessen Bruchfragmenten darf sich ebenso keine neue Gefährdung ergeben, wie aus Bruchstücken eines Schutzwalls, der durch Trümmerwurf beaufschlagt wird. Die Schwierigkeit des Gesamtprojektes besteht darin, mögliche Explosionsszenarien sicher vorherzusagen. Dementsprechend ist es schwierig, ausgehend von möglichen Explosionsmengen und -orten sowie der Felsbeschaffenheit, die Trümmercharakteristika in Form von Abgangsgeschwindigkeiten, Abgangswinkeln und Massenverteilungen zu definieren.

Ein möglicher, wenn auch grober, Ansatz könnte aus Sicht des EMI darin bestehen, das Szenario des Unglücks von 1947 als Referenz zu benutzen. Das Dokument Nr. 011 aus [11] stellt einen Plan zur Verfügung, der die Trümmer aus dem Unglücksereignis 1947 kartiert (Abbildung 3-1). Damit sind die finale Lage der einzelnen Trümmer und deren jeweiligen Abmessungen (und damit Massen) bekannt. Mit Abschätzung der vertikalen Abgangswinkel nach den Ansätzen in [10] könnten die Abgangsgeschwindigkeiten, die zu den jeweiligen Wurfweiten führen, zurückgerechnet werden. Ausgehend von den Abgangsbedingungen und den Eigenschaften der Trümmer, können an den geplanten

Orten der Schutzwälle die jeweiligen Impaktgeschwindigkeiten und die kinetische Auftreffenergie zur baulichen Auslegung der Schutzwälle berechnet werden. Es ist anzumerken, dass ein solcher Ansatz, der vom Fundort der Trümmer ausgeht, im Gegensatz zum Einschlagort, nur eine grobe Näherung darstellt, weil Effekte wie ein Aufbrechen der Trümmerstücke bei Aufprall auf dem Boden und das »Weiterrollen« (»bounce and roll«) nicht berücksichtigt werden.

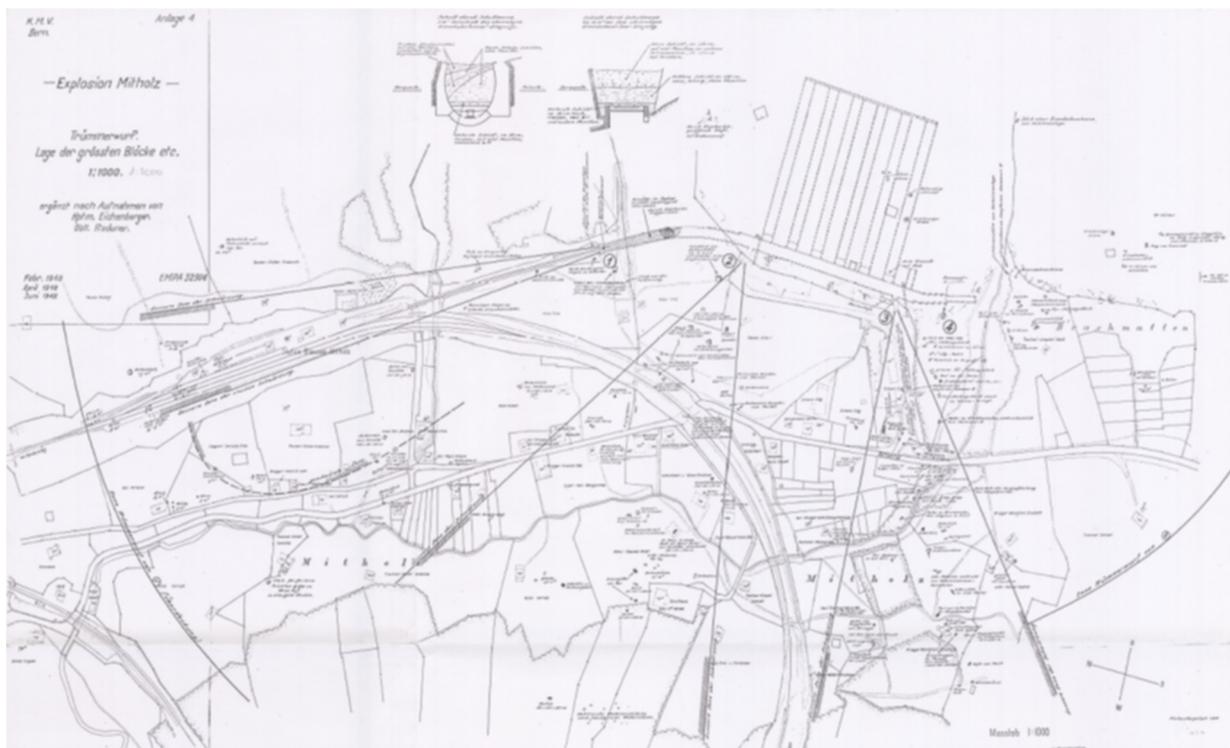


Abbildung 3-1: Kartierung der Trümmer aus Ereignis 1947 in Dokument Nr. 011 [11].

3.2 Fazit zur Auslegung baulicher Sofortmaßnahmen

Die bisher vorliegende Darstellung baulicher Sofortmaßnahmen in [6] reicht in ihrer Detailtiefe nicht aus, um eine Bewertung hinsichtlich ihrer Wirksamkeit vorzunehmen. Ohne einer Planung durch das VBS vorgreifen zu wollen, sind in den vorherigen Abschnitten Aspekte herausgestellt worden, die aus Sicht des EMI bei der Planung baulicher Sofortmaßnahmen mindestens berücksichtigt werden sollten. Diese Zusammenstellung kann nicht abschließend sein, da eine solche Planung immer durch die jeweiligen Detailpunkte definiert wird. Die vorgenannten Ausführungen geben jedoch Hinweise zu Bemessungsansätzen hinsichtlich Blastbelastung und Trümmerbeaufschlagung von Schutzstrukturen (Schutzwälle und Netze) und deren jeweiliger baulicher Ausführung.

4 Variantenevaluation Phase II

Nach Projektplan [6] vertieft die *Phase II* der Variantenevaluation die nach »*Phase I* zur Weiterbearbeitung empfohlenen Varianten« im Umfang detaillierter Nachweise der technischen Machbarkeit, Kosten- und Zeitschätzungen sowie einer »Risikobeurteilung im Rahmen der einzelnen Prozesse« [6]. Zur Beurteilung der in *Phase II* relevanten Unterlagen wurden dem Fraunhofer EMI am 9. Januar 2020 die folgenden maßgeblichen Dokumente vorgelegt:

- Variantenblatt »Sanierung«, Version Vernehmlassung vom 9. Januar 2020, vom 20. Dezember 2019
- Zeitplan Variante »Sanierung« vom 7. Januar 2020
- Option »Überdeckung« vom 8. Januar 2020
- »Entscheidungsbaum Sanierung« vom 20. Dezember 2019
- »Vertiefungsbedarf Bausteine« vom 31. Dezember 2019

Diese Dokumente werden durch einzelne Baustein-Beschreibungen ergänzt, die den Inhalt der Variante »Sanierung« in unterschiedlicher Detailtiefe beschreiben. Die Inhalte der genannten VBS-Dokumente zu *Phase II* werden in diesem Bericht nicht wiederholt, das Verständnis der nachfolgenden Beurteilung der Dokumente setzt die Kenntnis dieser voraus.

Entsprechend der genannten Dokumente und der Präsentation ihrer Inhalte am 24. Januar 2020 durch Projektleitung und Vertreter des GS VBS, werden nun nicht mehr, wie in *Phase I* noch geplant, unterschiedliche spezifizierte Varianten zur Risikosenkung durch Räumung, Teilräumung oder andere Maßnahmen, die eine Räumung ausschließen, geplant. Stattdessen wird eine einzelne Variante »Sanierung durch Räumung« beschrieben, zu der unterschiedliche technische Aspekte hinsichtlich Umsetzbarkeit und Wirksamkeit im weiteren Verlauf des Projekts untersucht werden sollen. Damit werden mehrere der Varianten aus *Phase I* zusammengefasst und der Empfehlung aus Abschnitt 2.1 dieses Berichts folgend, positive Aspekte der vorhergehenden Phase aufgegriffen, ohne sie strikt einzelnen Varianten exklusiv zuzuschreiben. Damit wird vermieden, möglicherweise positive Aspekte aus einzelnen Variantenbeschreibungen bei einem »Aussortieren« dieser Varianten nicht mehr zu beachten. Ergänzend

wird durch das VBS eine Option »Überdeckung« ausgearbeitet, die als mögliche Alternative zu einer Räumung zum Tragen kommt, sollte sich die vollständige Räumung des ehemaligen Munitionslagers als nicht möglich erweisen.

In diesem Kapitel werden die Variante »Sanierung durch Räumung«² und die Option »Überdeckung« aus Sicht des Fraunhofer EMI im Rahmen der *Projektphase II* beurteilt. Bevor auf diese beiden Konzepte im Einzelnen auf Grundlage der o.g. Dokumente in den Abschnitten 4.3 und 4.4 eingegangen wird, folgt zunächst in Abschnitt 4.1 eine generelle Beurteilung der vorgelegten Planung in *Phase II* und in Abschnitt 4.2 des Vertiefungsbedarfs zu den (eigentlich variantenunabhängigen) Bausteinbeschreibungen. Das Kapitel schließt mit einem Fazit und Empfehlungen zur weiteren Arbeit an den Konzepten ab.

Die Beurteilung aus Sicht des EMI beschränkt sich auf die die Variante »Sanierung durch Räumung« und die Option »Überdeckung« hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zur Minderung des Risikos ausgehend von möglichen Explosionsereignissen. Die Beurteilung bezüglich möglicher Umweltschäden und Altlasten durch die Munition und deren Räumung erfolgt durch das BAFU.

4.1 Generelle Beurteilung der Planung in *Phase II*

Grundsätzlich begrüßt das Fraunhofer EMI das Vorgehen, primär die vollständige Räumung der Anlage nachzuverfolgen und sich bei der Wahl von technischen Verfahren und Hilfsmitteln sowie zur Örtlichkeit des Beginns der Räumung möglichst erst nach eingehender Prüfung festzulegen. Dieses Vorgehen entspricht einer Empfehlung aus Abschnitt 2.1 dieses Berichts. Weiterhin unterstützt das Fraunhofer EMI das Konzept, eine Option als Rückfallebene nachzuverfolgen, die unabhängig von der Variante »Sanierung durch Räumung« ist. Das Fraunhofer EMI empfiehlt, diese Option der »Überdeckung« bereits frühzeitig vollständig und eigenständig zu planen, um im Verlauf der Planung der Räumung eine echte Rückfallebene zu haben, sollte sich die favorisierte Lösung der vollständigen Räumung als nicht machbar erweisen. Die Beschreibung der »Bausteine« zur Variantenplanung ist bisher sehr auf die Variante »Sanierung durch Räumung« beschränkt. Entsprechend dem zuvor Festgestellten, sollten die Baustein-Beschreibungen auch auf Aspekte und Vertiefungsbedarf zur Option »Überdeckung« ausgeweitet werden.

² Im Variantenblatt vom 20.12.2019 wurde von »Sanierung« gesprochen. Da der Begriff »Sanierung« im altlastenrechtlichen Sinn anders besetzt ist, heißt die Variante nun »Räumung«. Inhaltlich ändert sich dadurch nichts.

Während die Planung des VBS zum grundsätzlichen Vorgehen ausdrücklich unterstützt wird, kann festgestellt werden, dass die Detailtiefe, die in [6] für die *Projektphase II* gefordert wurde, insbesondere hinsichtlich der Überprüfung der technischen Machbarkeit bislang nicht erreicht ist. Auf Grund des Umfangs und der Komplexität der Planungsaufgabe ist es auch aus Sicht des EMI ein sinnvoller Schritt, von dem Vergleich unterschiedlicher zu verfolgender Räumungsvarianten abzurücken und stattdessen die Bausteine tiefergehend zu untersuchen. Diese tiefergehende Untersuchung ist in den Bausteinbeschreibungen noch nicht vollständig erfasst. Zum einen sind die Beschreibungen der einzelnen Bausteine qualitativ nicht konsistent. Zum anderen ist die Frage der Machbarkeit nicht abschließend geklärt.

Aufgrund der Komplexität der Planung und der unterschiedlichen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Schritten empfiehlt das Fraunhofer EMI, den bisherigen »Entscheidungsbaum Sanierung« vom 20. Dezember 2019 deutlich detaillierter auszubauen: Neben den Abhängigkeiten der Schutzmaßnahmen, ihrer Ausprägung und binären Entscheidung (ja/nein) sollten konkrete Kriterien aufgenommen werden, wann welche Entscheidung getroffen wird. Die Entscheidungen zu den einzelnen Kriterien sollten durch den Nachweis der jeweiligen technischen Machbarkeit getrieben sein. Zu den Kriterien gehören auch mögliche Abbruchkriterien und Exit-Strategien, ab wann beispielsweise ein alternatives Räumkonzept verfolgt wird, oder auch, ab wann auf die Option Überdeckung umgeschwenkt wird. Dies impliziert, dass auch die Option der Überdeckung mit gleicher Detailtiefe in den Entscheidungsbaum aufgenommen wird, mit allen hierfür relevanten Bausteinen und Entscheidungskriterien. Entlang des Entscheidungsbaums könnte auch der Projektzeitplan beschrieben und nachverfolgt werden. Ein solcher Entscheidungsbaum kann sehr komplex werden und hat möglicherweise den Nachteil, dass alle Aspekte von Beginn an mit einfließen müssen. Weitere Methoden werden beispielsweise in IEC/ISO 31010 [12] aufgezeigt: Ergänzend zum Entscheidungsbaum, können z.B. »Cross-Impact« Analysen die einzelnen Abhängigkeiten einschließlich Eintrittswahrscheinlichkeiten erleichtern oder Bayes'sche Netze können als Einflussdiagramme einzelne Abhängigkeiten darstellen.

4.2 Vertiefungsbedarf Bausteine

Das Dokument »Vertiefungsbedarf Bausteine« vom 31.12.2019 stellt, ausgehend von den einzelnen Bausteinbeschreibungen und der Zielsetzung der Sanierung des ehemaligen Munitionslagers, den Bedarf an weitergehenden technischen Untersuchungen fest. Hierbei wird für jeden der Bausteine aufgeführt, welche Fragen zu klären sind, um die Machbarkeit der Variante »Sanierung durch Räumung« nachzuweisen und in der Planung voranzuschreiten. Aus

Sicht des Fraunhofer EMI werden hierbei für alle Bausteine sinnvolle Fragestellungen aufgeworfen. Nachfolgend werden nicht alle Bausteinbeschreibungen aufgegriffen, sondern nur zu den Bausteinen, bei denen aus Sicht EMI weiterer Bedarf besteht, kommentiert:

Der Baustein »Geologie« wirft mit Blick auf die mögliche Umsetzbarkeit der Räumung die kritischsten Fragen auf, so dass von deren Beantwortung die generelle Machbarkeit der Variante »Sanierung durch Räumung« und der Option »Überdeckung« abhängt. Hierzu gehören etwa die Fragen, wie weit der große Felssturzberg, der beim Einsturz der Anlage infolge der Explosion 1947 entstand, den durch natürliche Zerklüftung und als Explosionsfolge geschwächten Fels der »Flue« abstützt, wie verpressfähig das Felsgestein ist oder inwieweit der Berg im Bereich des ehemaligen südlichen Sackbahnhofs abgetragen werden kann.

Für den Baustein »Schutzbauten« sollte über die zeitlich mögliche Umsetzung definiert werden, ob die jeweiligen Schutzbauten zeitnah als Vorausmaßnahme (vgl. Kapitel 5 Beurteilung »Vorstudie Schutzbauten als Vorausmaßnahmen«) in Betracht kommen, oder erst bei Beginn der Räumung realisiert sein müssen. Zu ersteren können Netzsysteme als lokaler Schutz für Gebäude oder Verkehrsinfrastruktur zählen, zu letzteren beispielsweise Galerieüberbauten aus Stahlbeton oder Netzsystemen entlang der Kantonsstraße. Die Fragestellungen, die im Zusammenhang einer konkreten Planung der jeweiligen Ingenieuraufgabe zu klären sein werden, sind in der Bausteinbeschreibung zu den Schutzbauten noch nicht adressiert. Ob und inwieweit entsprechende Maßnahmen zielführend und machbar sind, wird in den vorliegenden Dokumenten bisher nicht beantwortet. Grundsätzlich muss eine Beurteilung der Vorausmaßnahmen zeigen, wo und in welchem Umfang Schutzbauten notwendig erscheinen.

Das Dokument zum Vertiefungsbedarf stellt diesen für zwei Bausteine »zu räumende Bereiche« und »Vorausdetektion / Räumung Munition« aus Sicht des VBS fest. Die Bausteinbeschreibungen fassen die beiden Aspekte in einem Baustein »Räumkonzeption« zusammen. Insbesondere mit Blick auf den weiteren Planungsverlauf der Räumung ist die Beantwortung der im Vertiefungsbedarf formulierten Fragen dringend. Aus Sicht des EMI ist eine systematische Aufstellung von unterschiedlichen Räumenszenarien sinnvoll, für die jeweils zugleich eine Risikobewertung im Sinne der Störfallverordnung durchgeführt werden muss. Auch diese Räumenszenarien sollten Eingang in den zuvor beschriebenen Entscheidungsbaum finden, in dem ebenfalls die Entscheidungskriterien bzgl. der Räumverfahren abgebildet sein müssten. Hinsichtlich der Wahl von Detektionsverfahren wird empfohlen, ebenfalls eine Entscheidungssystematik zu definieren. Hierzu sollte mindestens zusammengestellt werden:

- Welche Detektionsverfahren stehen bereits jetzt zur Verfügung?

- Welche Detektionsverfahren werden ggf. neu entwickelt und evaluiert?
- Was sind die Limitierungen der jeweiligen Verfahren?
- Gibt es Performanzparameter für eine Detektion von Munition im Fels?

Im Vertiefungsbedarf zu dem Baustein »Evakuierung« sollten die dort festgehaltenen Fragestellungen ergänzt werden mit Fragen nach Entscheidungskriterien:

- Ab wann wird die Ortschaft evakuiert?
 - Ab wann werden nur Teile der Ortschaft evakuiert?
 - Liegt der Entscheidung immer eine Risikoberechnung zu Grunde?
 - Wann wird situativ entschieden, dass sofort evakuiert werden muss?
- Wie lange wird evakuiert?

4.3 Variante »Sanierung«

Wie eingangs beschrieben, hält das Fraunhofer EMI die Zusammenlegung von ehemals sechs verschiedenen Varianten, die unterschiedliche Räumkonzepte verfolgten, zu einer einzelnen für sinnvoll, wenn die zuvor den einzelnen Varianten zugeordneten Aspekte nun in die Lösungsfindung des besten Räumkonzepts einfließen. Eine »vertiefende« Betrachtung wie in der Variantenbeschreibung benannt, ist zumindest nach Kenntnis des EMI auf technisch-planerischer Ebene bisher nicht erfolgt. Zunächst wurden nur die offenen Fragestellungen im »Vertiefungsbedarf Bausteine« gesammelt, aber nicht beantwortet.

In den »Realisierungsphasen« zur Räumung wird die Möglichkeit eines schichtweisen Abtrags des Dreispitzes als Vorausmaßnahme genannt. Als manipulativer Eingriff in den durch Steinschlag gefährdeten Bereich, der damit die Initiierungswahrscheinlichkeit einer Explosion erhöht, kann dies aus Sicht des EMI nicht als Vorausmaßnahme durchgeführt werden. Die Vorausmaßnahmen müssen kurzfristig und vor Beginn der Räumarbeiten das Risiko für die Bevölkerung in Mitholz senken – dieses Ziel wird durch einen Abtrag des Felsens nicht erreicht. Damit ist der mögliche Abtrag des Dreispitzes in dem bisher vorliegenden Entscheidungsbaum deutlich zu früh innerhalb des Realisierungsprozesses angeordnet. Auch nach Abschluss der Vorausmaßnahmen sind zum möglichen Abtrag des Dreispitzes einige Aspekte, insbesondere zur Geologie zu klären, die bisher in den vorliegenden Dokumenten nicht adressiert sind:

- Wenn derzeit durch Teile des Dreispitzes eingeklemmte Felsbrocken abgestützt werden, wie erfolgt deren Sicherung und zu welchem Zeitpunkt (d.h. wieviel von der Gewichtskraft darf weggenommen werden, dass lose Brocken weiterhin eingeklemmt bleiben?)?
- Wie erfolgt die Sicherung innerhalb der Anlage?
- Mit welchen Verfahren soll abgetragen werden?

Weiterhin muss der Abbau als Prozess in der Risikoanalyse mit aufgeführt werden. Die Gefährdungsbereiche können sich während des Abtrags dynamisch ändern: Zum einen steigt möglicherweise die Eintrittswahrscheinlichkeit für ein größeres Explosionsereignis, zum anderen verringert sich jedoch auch die potentielle Trümmermasse für die Kraterszenarien am Dreispitz.

In Phase 4 der Realisierungsphasen wird eine Räumung von allen möglichen Angriffspunkten gleichzeitig diskutiert. Aus Sicht des Fraunhofer EMI kann dies nur nach einer entsprechenden Risikobeurteilung nach Störfallverordnung erfolgen. Aus unserer Sicht erscheint derzeit ein Beginn der Räumung von Süden her als sinnvoll, da einerseits relativ früh bereits mit der Räumung der vermutet größten Munitionsnester im südlichen Bereich des Bahnstollens und der ehemaligen Abortanlage begonnen wird, und andererseits auch die Versturzmasse aus dem Explosionsereignis von 1947 zumindest bei kleineren Explosionen als Schutz für das Dorf Mitholz wirken kann. Der Versturzbereich ist in die fortschreitende Räumung selbstverständlich einzubeziehen. Sämtliche Räumarbeiten (einschließlich Proberäumungen im Bereich der ehemaligen Anlage) sollten erst nach Fertigstellung der Vorausmaßnahmen begonnen werden. Hinsichtlich Evakuierungen müssen vorher Kriterien festgelegt werden, wo ab welchem Risikowert evakuiert werden muss. Die in der Variantenbeschreibung genannten Evakuierungsszenarien sind zu pauschal formuliert und bisher nicht quantitativ begründet.

Hinsichtlich der Wirkungsbeschreibung innerhalb des Dokuments zur Variante »Sanierung durch Räumung«, lässt sich aus Sicht des EMI feststellen, dass bislang technisch und quantitativ belegte Betrachtungen fehlen, eine solche Wirkungsbeurteilung durchzuführen. Es wird empfohlen, eine Wirkungsbeurteilung in den Prozess des Entscheidungsbaums einzupflegen, da dadurch auch Entscheidungskriterien gesetzt werden.

4.4 Option »Überdeckung«

Die Option einer Überdeckung des ehemaligen Munitionslagers Mitholz mit Erdreich wird in dem entsprechenden Dokument vom 8. Januar 2020 beschrieben. Diese Option sieht vor, zunächst das Innere des ehemaligen Munitionslagers zu verfüllen und anschließend den gesamten Bereich mit einer Überschüttung aus Lockergestein von bis zu 50 m Dicke zu sichern. Wie zuvor beschrieben, unterstützt das EMI die Idee, eine Alternative zu der Räumung des Lagers zu haben, die vollkommen unabhängig von den Randbedingungen der Räumung geplant wird. In *Projektphase I* wurde eine solche Überdeckung als »Variante C3« aufgeführt und dort jedoch verworfen.

Die Beschreibung der Option »Überdeckung« ist noch unkonkreter als die Beschreibung der Variante »Sanierung durch Räumung«, eine quantitativ begründete Argumentation hinsichtlich Wirksamkeit und Machbarkeit der Rückfalloption gibt es in den bisher vorgelegten Dokumenten nicht. So kann die Beurteilung der Option durch das EMI auch nur allgemein ausfallen und Fragen aufgeworfen werden, die im weiteren Verlauf der Planung aus Sicht des EMI berücksichtigt werden sollten.

Insbesondere die Beschreibung der Realisierungsphasen ist sehr allgemein. Zur Beschreibung der Realisierungsphase 3 (»Baustellenvorbereitung« durch Verfüllung des Innenraums) fehlen Antworten auf zusätzliche Fragen, wie:

- Wie soll der Innenraum verfüllt werden?
- Was ist eine geeignete Füllmasse? Welche Eigenschaften muss sie zu welchem Zweck mitbringen?
- Was passiert bei einer kraftschlüssigen Verbindung und wodurch entsteht der Kraftschluss?
- Wie wird sichergestellt, dass alle Hohlräume verfüllt sind?
- Wie wird sichergestellt, dass bei der Verfüllung nicht offenliegende Munitionszünder aktiviert werden?
- Gibt es Verschiebungen von Felsmasse während des Verfüllvorgangs?

Auch die Beschreibung der Überdeckung selbst, einer Überschüttung mit 50 m Lockergestein, braucht aus Sicht des EMI eine quantifizierte Machbarkeitsstudie, um sie entsprechend bewerten zu können. Jeglicher Nachweis, ob 50 m ausreichend sind, um den Berg im Fall der Explosionsszenarien zu sichern,

fehlt. Ebenso fehlen Angaben dazu, welche Art von Gestein zum Einsatz kommen könnte, ob ein Verbund notwendig ist, wie die Böschungssicherung erfolgt oder wie die Explosionsfolgen abgeschätzt werden. Ebenso wäre zu untersuchen, wie dauerhaft die Lösung ist und wie die Überschüttung aus Lockergestein sich im Erdbebenfall verhält.

Entsprechend der Allgemeinheit der Beschreibung der Option »Überdeckung« hat die in dem Dokument aufgeführte Wirkungsbeurteilung keinerlei Aussagekraft und geht in ihrer Tiefe nicht über die Ergebnisse der *Phase I* der Variantenevaluation hinaus.

4.5 Fazit Variantenevaluation *Phase II* und Empfehlungen

Die im Laufe der *Projektphase II* herausgearbeitete Trennung von Vorausmaßnahmen zur Reduzierung der Gefährdungsbereiche vor Beginn der Räumungsmaßnahmen (vgl. auch nachfolgendes Kapitel 5) und den entsprechenden Schutzmaßnahmen während der Räumung wird ausdrücklich begrüßt. Ebenso hält das Fraunhofer EMI die Festlegung auf eine primär zu verfolgende Variante »Sanierung durch Räumung« und eine optionale Rückfallebene »Überdeckung«, die unabhängig von der primären Lösung ist, für zielführend. Auch die bisher in den entsprechenden Beschreibungen der jeweiligen Varianten beabsichtigten technischen Untersuchungen einschließlich der Proberäumungen erachtet das Fraunhofer EMI als zielführend und notwendig.

Darüber hinaus wird empfohlen:

- Erstellung eines quantitativ bewertbaren Nachweises der Wirksamkeit und Machbarkeit der Option »Überdeckung« vor Beginn der Planung der Variante »Sanierung durch Räumung«, um jederzeit während des Planungsprozesses eine echte Rückfallebene zu haben
- Aufbau eines umfassenden Entscheidungsbaums unter Einbezug
 - beider Varianten
 - aller möglichen Handlungsoptionen und Kriterien zur Treffung von Entscheidungen
 - ggf. von Wahrscheinlichkeitswerten der Kriterienerfüllung
 - Abbruchkriterien zum Wechsel von der prioritären Variante »Sanierung durch Räumung« auf die Option »Überdeckung«

- Angaben, wann im Planungsprozess quantitative Risikoanalysen mit Auswertung nach Störfallverordnung erforderlich sind (Meilensteine) und wie diese in den Entscheidungsbaum einfließen
- Parallel zum Entscheidungsbaum eine Definition des Zeitstrahls für die weitere Planung des Projekts und die Realisierung
- Überführung des »Vertiefungsbedarfs« für die Bausteine in ein konkretes Pflichtenheft mit Darstellung der jeweiligen Abhängigkeiten
- Nachverfolgung der in den Abschnitten 4.2 bis 4.4 festgestellten zusätzlich zu erarbeitenden technischen Fragestellungen
- Erarbeitung von Evakuations Szenarien einschl. Umfang und Dauer der Evakuationsmaßnahme

5 Beurteilung »Vorstudie Schutzbauten als Vorausmaßnahmen«

Mit Datum vom 26. Februar 2020 hat das GS VBS die »Vorstudie Schutzbauten als Vorausmaßnahmen« [13] zur Verfügung gestellt. Dieses Dokument beschreibt im Rahmen einer Machbarkeitsstudie mögliche bauliche Maßnahmen, die gemäß Forderung des BAFU die unzulässig großen Risiken sowie die Gefährdungsbereiche, ausgehend von dem ehemaligen Munitionslager Mitholz [1, 3], rasch reduzieren sollen. Als mögliche Vorausmaßnahmen werden genannt:

- Dämme vor Stollenausgängen (verschütteten wie ausgebauten Stollen)
- Netze zur Begrenzung des Trümmerwurfs ausgehend von Kraterbildung
- Pfropfenverschlüsse und Hochdrucktor im ausgebauten Teil der Anlage

Im Anschluss an eine Beurteilung des allgemeinen Teils der Vorstudie [13] in Abschnitt 5.1 werden nachfolgend die in der Vorstudie beschriebenen konkreten Vorausmaßnahmen bewertet und Empfehlungen zur weiteren Vertiefung gemacht.

5.1 Allgemeine Beurteilung der Vorstudie

Die Vorstudie [13] geht davon aus, dass mit den zu entwickelnden Vorausmaßnahmen die Risiken ausgehend von den drei in den Risikoanalysen [1, 3] beschriebenen Ereignisszenarien zu reduzieren sind. Die maßgebenden Ereignisszenarien beschreiben Explosionen mit äquivalenten Explosivstoffmengen von 1 t, 10 t und 20 t an unterschiedlichen Stellen im inneren der Anlage des ehemaligen Munitionslagers, vornehmlich im Bereich vor den ehemaligen Kammern 4 bis 6 und im Verlauf des verschütteten Bahnstollens, vgl. [1, 3].

Auch wenn die Vorausmaßnahmen das Risiko so rasch wie möglich unabhängig einer Zielvorgabe senken sollen, erscheint es dennoch sinnvoll, Ziele für die Planung der Vorausmaßnahmen zu formulieren. Zu diesen Zielen gehören unter anderem die generelle Machbarkeit, die Umsetzbarkeit innerhalb einer realistischen Zeitspanne, etwa bis Ende 2021, und eine tatsächliche, quantifiziert nachgewiesene Reduktion der Gefährdungsbereiche. Ohne Vorgabe eines konkreten Planungsziels für die Vorausmaßnahmen können diese auch nicht konkret entworfen, geplant, bemessen und baulich ausgeführt werden.

Zur Abschätzung der Wirksamkeit der aufgeführten Vorausmaßnahmen wird teilweise auf Modelle der TLM 2010 Teil 2 [10] zurückgegriffen. Hier werden nach Abschnitt 1.2.7 der TLM »Massenparameter« f_m angesetzt, die bei unterschiedlichen Szenarien den gleichzeitigen Trümmerwurf aus mehreren Stollenportalen berücksichtigen sollen. Die Vorstudie berücksichtigt zwei Öffnungen für das 20 t Ereignisszenario und fünf Öffnungen für die 1 t und 10 t Szenarien. Die Wahl der Anzahl der rechnerisch angesetzten Öffnungen wird in [13] nicht begründet; vermutlich wird seitens VBS davon ausgegangen, dass bei den kleineren Ereignisszenarien die verschütteten Portale sich nicht öffnen. Bei dem 20 t Ereignis konzentriert sich die Betrachtung in [13] auf den Trümmerwurf im Norden der Anlage, d.h. aus dem ehemaligen Bahnstolleneingang und dem heutigen Lastwagen-Stollen. Das EMI stimmt zu, den Trümmerwurf in Richtung Dorf aus den beiden letztgenannten Portalen mit einer geringeren Reduktion der Trümmermassen zu berechnen.

Sämtliche Ergebnisse der Vorstudie des VBS [13] werden dort ohne zugehörige Berechnungen dargestellt. Damit lassen sie sich nicht konkret und quantitativ beurteilen. Es folgt, dass auch im Folgenden nur Aussagen zur Plausibilität der Ergebnisse hinsichtlich der drei besprochenen Vorausmaßnahmen getroffen werden können. Zu einer Beurteilung der geplanten Maßnahmen und deren Wirksamkeit in der weiteren Planung sind aus Sicht des EMI die Grundlagen der getroffenen Aussagen auch quantitativ und vollständig zu dokumentieren.

5.2 Dämme als Vorausmaßnahmen

Die Beurteilung der Wirkung von Dämmen als Vorausmaßnahmen in [13] stützt sich vornehmlich auf Berechnungsmodelle der TLM 2010 Teil 2 [10] für Dämme vor Stollenportalen (Abschnitt 1.2.12 der TLM 2010/2 [10]).

Hierzu lässt sich zunächst feststellen, dass der validierte Gültigkeitsbereich der Modelle der TLM 2010/2 auf intakte und nach Stand der Technik gebaute Anlagen limitiert ist. Andererseits gibt es auch nach Kenntnis der Autoren keine besser geeigneten Berechnungsmodelle, die explizit für verschüttete Felsanlagen entwickelt und validiert worden wären. Somit ist die Wahl der TLM-Modelle auch aus Sicht des Fraunhofer EMI sinnvoll. Gleichzeitig sollten die erzielten Ergebnisse als auch die zu Grunde gelegten physikalischen Zusammenhänge eher als Größenordnungen, statt als exakt berechnete Werte interpretiert werden, die dann zumindest eine Abschätzung der zu erwartenden Phänomene ermöglichen.

Die Modelle der TLM 2010/2 gehen davon aus, dass Dämme direkt vor den Stollenportalen errichtet werden. Darüber werden die Gefährdungsbereiche in

ihrer Länge auf bis zu 40 Prozent begrenzt, indem die flach abgehenden Trümmerstücke durch die Dämme aufgefangen werden und sich der Trümmerwurf auf steilere (nicht durch die Geometrie des Dammes abgedeckte) Flugbahnen beschränkt ([10], Abschnitt 1.2.12.1). Alternativ sind ebenfalls Dämme denkbar, die direkt vor den gefährdeten Objekten platziert werden und diese damit innerhalb des »Schattens« des Dammes schützen. Solche Dämme werden in der TLM 2010/2 nicht behandelt und die Autoren stimmen mit dem VBS darüber ein, dass eine Machbarkeit solcher Dämme auf Grund der beengten Platzverhältnisse in der Ortschaft Mitholz sehr fragwürdig ist.

Ausgehend von den zuvor genannten Explosionsszenarien werden in der Vorstudie [13] Gefährdungsbereiche vor den einzelnen Stollenausgängen der ehemaligen Anlage mit und ohne Ansatz von Dämmen gegenübergestellt. Dazu werden auch einzelne Dämme aufskizziert, die sehr schmal direkt vor dem jeweiligen (ehemaligen) Stollenausgang platziert werden und wegen der steilen Böschung eine Böschungssicherung aus Stahlbeton aufweisen. Diese Böschungssicherung wirkt gleichzeitig als Prallplatte für die ankommenden Trümmer. Die Vorstudie kommt zu dem Schluss, dass das Risiko durch die in der Vorstudie dargestellten Dämme nicht reduziert werde und in Teilen durch ein »Verspritzen« der Trümmer an den harten Prallplatten auf den Dämmen das kollektive Risiko für die Bevölkerung ggf. sogar noch erhöht werde [13].

Dieser Aussage widerspricht das Fraunhofer EMI aus den folgenden Gründen:

1. Die Gegenüberstellung von scharf abgegrenzten zwiebelförmigen Gefährdungsbereichen aus der EMI-Risikoanalyse [3] mit Gefährdungsbereichen, die breitere Radien aufweisen, ist nicht korrekt. Bereits in der Risikoanalyse des EMI wurde erläutert, dass diese dort dargestellten Gefährdungsbereiche eben nicht in ihrer Breite scharf abgegrenzt zu sehen sind, da die Stollenportale durch die Verschüttung und durch den zerklüfteten Fels nicht scharf definiert sind [3]. Die Darstellung der Gefährdungsbereiche in [3] dient der Berechnung des Risikos für die Bevölkerung in Mitholz und ergänzt im Sinne einer Sensitivitätsanalyse die Aussagen der VBS Risikoanalyse [1]. Die in der EMI-Risikoanalyse dargestellten Gefährdungsbereiche decken nicht alle weiteren noch möglichen Bereiche ab, solange der Risikowert dadurch nicht deutlich verändert würde. Die exakte Ausrichtung der Gefährdungsbereiche hat auf die Berechnung des Risikowertes nur marginale Auswirkungen und in [3] wird explizit darauf hingewiesen, dass die Gefährdungsbereiche tatsächlich eher aus einer Umhüllenden der berechneten Szenarien gebildet werden sollten. Der Kanton Bern hat als Reaktion darauf den Gefahrenperimeter um das ehemalige Munitionslager erweitert und veröffentlicht. Die in der Vorstudie [13] nun für die Wirksamkeitsbetrachtung aus der Einschätzung des Risikos ausgeschlossenen Flächen neben den Gefährdungsbereichen aus gerichtetem Trümmerwurf müssen also korrekterweise in die Risikobetrachtung mit einbezogen

werden. Bei einer Gegenüberstellung dieser realistischeren Gefährdungsbereiche mit denen unter Berücksichtigung von Dämmen zeigt sich dann eine deutliche Reduzierung des Risikos für die Bevölkerung bei der Verwendung von Dämmen.

2. Die Form der in der Vorstudie dargestellten Dämme ist aus Sicht des EMI wenig zielführend: Aus den unter 1. genannten Aspekten sollten die Dämme deutlich breiter geplant werden – die ehemaligen Stollenausgänge werden sich wegen der Verschüttung und dem zerklüfteten Fels im Explosionsfall nicht wie die ursprünglich engen Ausgänge verhalten; auch die aktuell ausgebauten Ausgänge werden im Falle einer Explosion wegen der Felszerklüftung möglicherweise deutlich breiter.
3. Die Verwendung von Stahlbeton zur Böschungssicherung schafft gerade eine Oberfläche, an der ankommende Wurfstücke zerbersten und abgelenkt werden müssen. Ein weiches Dammmaterial, beispielsweise Erdreich, ist eher in der Lage, die Energie ankommender Wurfstücke aufzunehmen. Der Damm muss im Falle einer großen Explosion von 10 t oder 20 t TNT-Äquivalent nicht erhalten bleiben. Gleichzeitig darf durch ein Versagen des Dammes natürlich auch keine weitere Gefährdung entstehen, wie es beispielsweise bei der Verwendung von Stein-Schotter der Fall wäre. Eine Sicherung eines steilen Erddammes durch Geotextilien oder »bewehrte Erde« ist sicherlich möglich.

Eine Begründung, warum die angeführte Dispersion von Trümmerstücken an den in der Vorstudie dargestellten harten Dammböschungen als realistisch betrachtet wird, fehlt in der Vorstudie [13]. Damit kann die grundsätzliche Aussage der Gegenüberstellung von Gefährdungsbereichen mit und ohne Dämme in der Vorstudie ebenfalls nicht begründet werden.

Unter Beachtung der zuvor aufgeführten Punkte hat das VBS mit seiner Vorstudie aus Sicht des EMI gezeigt, dass Dämme vor den Stollenausgängen die Gefährdungsbereiche verkürzen können. Daher ist es aus Sicht des EMI sinnvoll, die Planung von Dämmen weiterzuverfolgen und zu konkretisieren. Es wird empfohlen, dafür weiterhin die TLM 2010/2 [10] zu verwenden, unter Beachtung, dass die dort beschriebenen Modelle wegen ihres validierten Gültigkeitsbereichs nur Abschätzungen bieten können. Weiterhin wird empfohlen, weiches Dammmaterial zu verwenden, in dem Trümmerstücke eher aufgefangen oder abgebremst werden, statt an der Oberfläche zu zersplittern und weitergeleitet zu werden. Gegebenenfalls helfen skalierte Experimente bei der Beurteilung der Reaktion solcher weichen Dämme auf ankommende Trümmer.

5.3 Netze als Vorausmaßnahmen

Die Vorstudie beschreibt Netze in zweifacher Form als mögliche Vorausmaßnahmen zur Reduzierung der Gefährdung aus Trümmerwurf: Netze als lokalen Überbau für gefährdete Objekte (d.h. in der Regel Gebäude) und Netze an Klüften und Fels. Beide Netzsystem-Arten adressieren vornehmlich steil fliegende Trümmer und ergänzen damit potentiell die Vorausmaßnahmen gegen flachen Trümmerflug aus den Portalen. Wenn von »Netzen« gesprochen wird, sind damit Netzsysteme gemeint, die aus mehreren Lagen von Netzen bestehen können und zu denen ebenfalls die Verankerungen und Sicherungen der Netze gehören.

Zur Wirksamkeit der Netze gegenüber den maßgebenden Explosionsszenarien macht die Vorstudie keine quantifizierten Aussagen. Eine Darstellung beispielsweise der reduzierten Gefährdungsbereiche fehlt. Die Vorstudie enthält eine Abschätzung der kinetischen Energie, welche die Trümmer bei dem Unfallereignis 1947 gehabt haben mögen, um die entsprechenden Wurfweiten zu erreichen. Eine solche Abschätzung ist auch aus Sicht des EMI sinnvoll und notwendig, um entsprechende Netzsysteme zu dimensionieren. Vergleichende Berechnungen von Flugbahnen haben gezeigt, dass bei Trümmerschnelligkeiten von 50-70 m/s und Trümmermassen von 3000 bis 5000 kg die in der Vorstudie angegebenen Energiegehalte von deutlich mehr als 10000 kJ plausibel sind (Abbildung 2 und Anhang 2: Abschätzung Energiegehalt Trümmer Mitholz 1947).

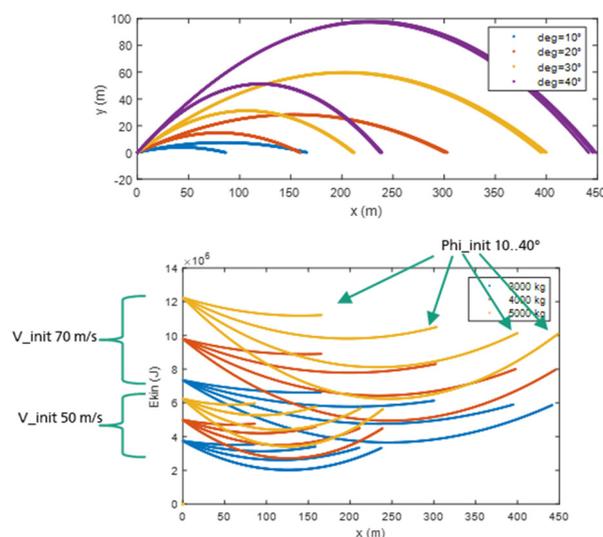


Abbildung 2: Näherungsberechnung der Wurfweiten für einzelne Wurfstücke von 3 t bis 5 t Masse aus dem Unfallereignis 1947 bei Variation des Abgangswinkels und der Abgangsgeschwindigkeit. Wertebereich vgl. Anhang 2: Abschätzung Energiegehalt Trümmer Mitholz 1947.

Die lokalen Netzsysteme an den exponierten Objekten werden grundsätzlich einer geringeren Belastung ausgesetzt, als die Netzsysteme unmittelbar am Fels. An den exponierten Objekten ist die Trümmerdichte deutlich geringer und der Energiegehalt der einzelnen Trümmerstücke hat mit der Entfernung zum Explosionsort abgenommen. Das EMI stimmt mit dem VBS darüber ein, dass die bautechnische Umsetzung der lokalen Netzsysteme an den Gebäuden deutlich schwieriger ist als am Fels.

Während direkt am Fels das großflächige »darüberlegen« eines Netzsystems baulich einfacher erscheint, birgt es nach Aussage des VBS eine mögliche Behinderung der Räumarbeiten und eines in Erwägung gezogenen Abtrags des »Dreispitz« vor der Räumung. Aus Sicht des EMI sollten hier Netzsysteme verwendet werden, die im Fall von lokalen Arbeiten dort lokal geöffnet und anschließend wieder verschlossen werden können.

Eine bremsende Wirkung von Netzen auch bei Versagen dieser wird in der Vorstudie nicht beachtet. Aus Sicht des EMI sollte diese in der weiteren Planung von Netzstrukturen berücksichtigt werden, um eine realistischere Wirkungsbeurteilung von Netzen zu ermöglichen. Auch wenn ein Netzsystem einzelne Trümmer nicht vollständig auffängt, wird weiterhin kinetische Energie dissipiert, um das Netzsystem zu durchstoßen und zu verformen. Je nach Zeitdauer, die verstreicht, bis das Netzsystem vollständig unwirksam, d.h. zerstört, ist, bleibt gegebenenfalls weiterhin die Bremswirkung auf nachfolgende Trümmerstücke im Verlauf des Herausschleuderns erhalten; dies unter der Annahme, dass der Versagensmechanismus des Netzsystems deutlich träger ist als der Trümmerwurfprozess. Die zeitliche Abfolge ist abhängig von der Beschaffenheit des Netzsystems und der Geschwindigkeit der Trümmer (und damit von dem Ereignisszenario). Sie sollte in der weiteren Planung und der Wirkungsbeurteilung der Netzsysteme berücksichtigt werden. Auch hier können experimentelle Untersuchungen und numerische Simulation im Weitergang der Planung helfen, die Wirksamkeit der Netze einzuschätzen.

5.4 Pfröpfen und Hochdrucktor als Vorausmaßnahmen

Pfröpfen und ein Hochdrucktor an den ausgebauten Stollenausgängen werden in der Vorstudie [13] zwar als mögliche Vorausmaßnahme aufgeführt, jedoch nicht näher betrachtet. In [13] wird festgestellt, dass »umfangreiche Bemessungen, Simulationen und Tests durchgeführt werden« müssten. Dies ist auch aus Sicht des Fraunhofer EMI notwendig, um ihre Wirksamkeit beurteilen zu können. Gleichzeitig ist dies notwendig, um die generelle Machbarkeit solcher Verschlussysteme beurteilen zu können, da sie ebenfalls die Gefährdungssituation dadurch in mindestens zweifacher Weise beeinflussen könnten:

1. Durch einen Verschluss einzelner Ausgänge ändert sich möglicherweise die Verteilung des Drucks innerhalb der Anlage im Falle einer Explosion. Im Zuge der Diskussion um die Wirksamkeit von Dämmen hat das EMI jedoch gezeigt, dass verschiedene Öffnungsquerschnitte durch Klüfte und Stollen nur geringfügigen Einfluss auf die Höhe der Belastung innerhalb der Anlage haben (vgl. Protokoll zum »Workshop Schutzbauten« vom 19. November 2019). Dies gilt somit auch umgekehrt, d.h. die Änderung des inneren Volumens der Anlage, die durch einen Verschluss der Stollenportale entsteht, hätte nur geringen Einfluss auf die Belastung aus dem Gasdruckanteil innerhalb der Anlage (der Spitzenüberdruckanteil Fels wird durch das Volumen kaum beeinflusst).
2. Die angesprochenen Verschlussysteme müssen letztlich im Fels verankert werden. Bei einer Druckstoßbelastung geben die Pfropfen und Tore ihre Belastung an die Auflager weiter. Wenn der Fels in diesen Bereichen bereits natürlich stark zerklüftet ist, könnte eine Explosion diese Bereiche weiter lösen. Der Verankerung der Verschlussysteme muss in die notwendige tiefergehende Betrachtung aufgenommen werden.

Pfropfen und ebenso das in Betracht gezogene Hochdrucktor haben auch aus Sicht des EMI das Potential, den Trümmerwurf aus den betroffenen Portalen heraus zu begrenzen. Im Fall einer Explosion bleibt weiterhin eine Kraterbildung und ein Trümmerwurf ausgehend von der Felsumlagerung entsprechend den Abschnitten 2.1.2 und 2.1.3 der TLM 2010/2 [10] möglich. Aus Sicht des EMI ist es sinnvoll, diese Vorausmaßnahmen weiter nachzuverfolgen und sowohl die Wirksamkeit als auch die Machbarkeit in Form von Bemessung und baulicher Realisierbarkeit bis zum Jahresende 2021 nachzuweisen. Dabei sollten die Auswirkungen der Portalabschlüsse auf die in den bisherigen Risikoanalysen [1, 3] dargestellten Gefährdungsbereiche dargestellt werden, oder alternativ in eine aktualisierte Risikoanalyse einfließen. Selbst bei vollständiger Unterbindung eines möglichen Trümmerwurfs aus den Portalen reduzieren die Verschlussysteme das Risiko lediglich bis maximal auf die Werte der vorherigen VBS Risikoanalyse [1], welches als im nicht akzeptablen Bereich nach Störfallverordnung [2] gelegen berechnet wurde.

Als Vorausmaßnahme sind die Verschlussysteme so zu planen, dass sie nur im ausgebauten Bereich der Anlage verbaut werden, so dass weder der anstehende Fels durch die Arbeiten belastet wird, noch Arbeiten in Bereichen stattfinden, die von Munitionsresten belastet sein könnten. Eine Manipulation am Fels muss während der Vorausmaßnahmen ausgeschlossen bleiben, um die Steinschlagwahrscheinlichkeit nicht weiter zu erhöhen.

5.5 Fazit Vorausmaßnahmen und Empfehlungen

Zu den vom VBS in der Vorstudie beschriebenen Vorausmaßnahmen wird seitens EMI empfohlen:

1. Festlegung eines Realisierungszeitraums bis spätestens Ende 2021 als Ziel der Machbarkeitsuntersuchungen. Nur Maßnahmen, die in absehbarer Zeit realisierbar sind und eine nachgewiesene Wirkung haben, erscheinen als Vorausmaßnahmen sinnvoll.
2. Nachverfolgung der seitens VBS vorgeschlagenen Maßnahmen nach Abbildung 3 [13] unter Hinzunahme von Dämmen vor den Portalen an den mit den Punkten 1 bis 3 gekennzeichneten Bereichen in Abbildung 3. Dabei ist zu bedenken, dass durch die natürliche Bergform südlich der Anlage möglicherweise bereits Trümmerwurf begrenzt wird. Im Einzelnen bedeutet dies:
 - a. Nachverfolgung von in der Breite und in ihrem Material angepassten Dämmen vor den Stollenportalen 1 bis 3 nach Abbildung 3 zur Reduzierung der Gefährdungsbereiche aus flachem Trümmerwurf. Dabei sind für die Reduktion des Gefährdungsbereiches insbesondere die Dämme vor den Stollenportalen 1 und 2 relevant.
 - b. Nachverfolgung der Planung und Bemessung von Netzsystemen vor dem Fels an den Orten 5 bis 8 nach Abbildung 3. Die Netzsysteme sollten auftrennbar sein, um allfällige Arbeiten am Fels während der Räumung nicht zu beeinträchtigen.
 - c. Nachverfolgung der Portalverschlüsse aus Pfropfen und Hochdrucktoren mit dem Ziel einer Realisierbarkeit bis Ende 2021 unter Berücksichtigung der unter Abschnitt 5.4 genannten Randbedingungen
3. Quantitativer Nachweis der Risikominderung parallel zur weiteren Konkretisierung während der Planungsphasen, um gegebenenfalls die Planung anpassen zu können, so dass das übergeordnete Ziel der Vorausmaßnahmen – die Verminderung der Gefährdungsbereiche – sichergestellt ist.

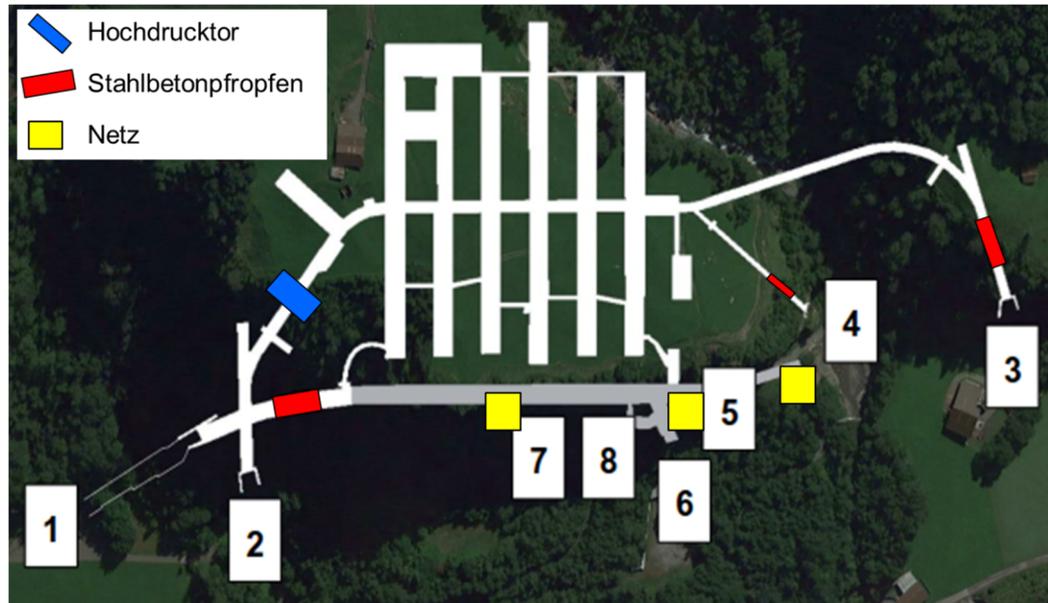


Abbildung 3: Übersicht Maßnahmenplanung des VBS [13].

6 Variantevaluation Phase III und VBS-Risikoanalyse 2020

Die Variantevaluation des VBS zum ehemaligen Munitionslager Mitholz wurde in der dritten Phase des Projekts mit Vorlage des Berichts zur Variantevaluation [4] und insbesondere mit der aktualisierten Risikoanalyse des VBS (VBS RA 2020) [5] abgeschlossen. Die VBS RA 2020 bezieht sich auf die Erkenntnisse aus dem Bericht zur Varianteevaluation Phase III [4] sowie weitere neue Erkenntnisse, die unter anderem in der Dokumentation zu numerischen Simulationen mit Blick auf sympathetische Detonationsübertragung [14] und einer Machbarkeitsstudie zu einer Verfüllung der Hohlräume in dem eingestürzten Bereich des ehemaligen Munitionslagers [15] zusammengefasst wurden.

Mit der Entscheidung des VBS, die Räumung explizit als Ziel der Maßnahmen in Mitholz vorzugeben [16], hat sich der Fokus der Untersuchungen vom Finden einer »Bestvariante« aus unterschiedlichen Ansätzen zur Senkung des Risikos verschoben, hin zur Ausdefinition der konkreten Ausführungsschritte bei der »Variante Räumung«. Eine »Option Überdeckung« wird weiterhin verfolgt, um eine offene Handlungsoption zu haben, sollte aus technischen Gründen die Räumung nicht möglich sein. Entsprechend adressiert die VBS RA 2020 die einzelnen Zeitabschnitte vom derzeitigen Ist-Zustand bis zum Abschluss der Räumung und damit implizit auch die Teilaspekte des Variantenbeschreibs [4] und der zugehörigen Dokumente.

Im nachfolgenden wird das Ergebnis der Prüfung der VBS RA 2020 beschrieben, wobei zuvor genannte Grundlagen- und Hintergrunddokumente ebenfalls in die Prüfung einbezogen wurden. Nach einer allgemeinen Einschätzung folgt die Prüfung der Risikoanalyse. Im Anschluss an die Prüfung folgen im abschließenden Abschnitt 6.7 Empfehlungen zum weiteren Vorgehen.

6.1 Allgemeine Einschätzung der VBS RA 2020

Die VBS RA 2020 [5] ist aus Sicht des Fraunhofer EMI klar strukturiert, folgt prinzipiell dem Verlauf der bis zur Räumung erforderlichen Prozesse, und damit der Risikoentwicklung, und ist damit aus Sicht des EMI nachvollziehbar. Gleichzeitig wird für die Beschreibung der Risikoentwicklung vorausgesetzt, dass die getroffenen Annahmen immer vollständig zutreffen und die technischen Maßnahmen aus den Machbarkeitsstudien umsetzbar und voll wirksam sind. Die Herleitung der Annahmen ist in einigen Fällen jedoch nicht quantitativ reprodu-

zierbar dargestellt. Deshalb lässt sich nur über einen Vergleich mit anderen Annahmen und Gegenrechnung überprüfen, ob die Sensitivität der Ergebnisse bezüglich der getroffenen Annahmen in der VBS RA 2020 von Grundlagen ausgehen, die im Sinne der Störfallverordnung (StFV) [2] auf der konservativen, also sicheren Seite liegen. Damit erfüllt die VBS RA 2020 nicht alle Forderungen nach Nachvollziehbarkeit der Annahmen; wie auch fast alle Empfehlungen aus der Prüfung Variantenevaluation Phase II (Abschnitt 4.5) nicht übernommen wurden. Ausnahmen bilden die Machbarkeitsstudie zur »Option Überdeckung« [4, 5] und die Vertiefung einzelner technischer Fragestellungen aus den vorherigen Abschnitten 4.2 bis 4.4 dieses Berichts.

Die Neubewertung der Risiken in der VBS RA 2020 stützt sich in der Hauptsache auf Einschätzungen im Zuge eines internationalen Expertenworkshops im Februar 2020 [17] sowie neue Erkenntnisse aus Untersuchungen mit Blick auf:

1. Analysen zur Kupferazidbildung
2. Numerische Simulationen und skalierte Versuche zur Detonationsübertragung
3. Vermessungsarbeiten

Die Einschätzungen aus dem Expertenworkshop [17] stellen Expertenmeinungen dar und lassen sich als solche nicht »nachrechnen«, insbesondere jedoch auch nicht im Zuge neuer Erkenntnisse während des weiteren Projektverlaufs begründbar und nachvollziehbar anpassen. Im Folgenden werden diese Meinungen durch quantitative Modellansätze zur Munitionsverteilung verifiziert. Die Einschätzung der zuvor genannten technischen Erkenntnisse durch das EMI erfolgt in den Folgeabschnitten. Beides zusammen stellt die Grundlage der Bewertung der Risikoanalyse durch das EMI dar. Ziel der Überprüfung ist nicht eine eigenständige Darstellung der Risikoentwicklung, sondern die Darstellung, inwieweit die VBS RA 2020 auf realistischen und im Sinne der Störfallvorsorge bei vorherrschenden Unsicherheiten auf konservativen Annahmen beruht, um daraus Eingaben für die weitere Arbeit zur Minimierung des Risikos, das weiterhin von dem ehemaligen Munitionslager Mitholz ausgeht, zu machen.

6.2 Neue Erkenntnisse

6.2.1 Bildung von Kupferazid

Die aktualisierte Einschätzung einer Initialzündung von Munition durch mechanische (Schlag, Reibung), oder elektrostatische Einwirkungen im Zusammenhang mit verwitterungsbedingter Kupferazidbildung in vorhandenen Zündern

und in Abhängigkeit der drei möglichen Zustandsformen (Cuproazid, Cupriazid, niedrigbasisches Cupriazid) entspricht in wesentlichen Teilen der Einschätzung aus der vorangegangenen Risikoanalyse des VBS und dem Beurteilungsbericht des EMI [1, 3].

Die Gefährlichkeit von aufgrund von Witterungsprozessen defekten Zündern und dementsprechend einer »spontan« durch minimale elektrostatische Ladung oder aufgrund von mechanischen Einwirkungen hervorgerufenen Initialzündung ist entsprechend ernst zu nehmen. Dies ist insbesondere relevant während möglicher Räumungsarbeiten und verstärkten/häufigeren mechanischen Belastungen. Hier erscheint die Handhabung und Räumung defekter Zünder und benachbarter Munitionskörper über eine Fernsteuerung sinnvoll, ebenso wie die zeitnahe Analyse dieser in Bezug auf den Zustand des Kupferazids und dementsprechend die Gefährlichkeit, und die generelle Initiierungswahrscheinlichkeit am Räumort.

6.2.2 Vermessung

Die neuen räumlichen Informationen in der ehemaligen Anlage, aufgenommen durch swisstopo und CSD Ingenieure, wie auch neue Erkenntnisse aus laufenden Begehungen des ehemaligen Munitionslagers können im Rahmen der vorliegenden Analyse nicht überprüft werden, decken sich aber mit den Erkenntnissen und Annahmen aus früheren Untersuchungen und sind dementsprechend als plausibel einzuschätzen.

Dem erhöhten Detaillierungsgrad der aktuellen Untersuchungen ist gerade für anstehende Planungs- und Sanierungsarbeiten ein hoher Stellenwert beizumessen.

6.2.3 Sympathetische Detonationsübertragung

Durch skalierte Übertragungsversuche und numerische Simulationen konnte für die VBS RA 2020 aufgezeigt werden, dass ab einer lichten Distanz größer als 34 cm (54 cm Achsabstand) eine sympathetische Detonationsübertragung zwischen zwei 50 kg Fliegerbomben durch die Kompressionswelle im Erdreich nicht mehr möglich ist [14, 18]. Eine kritische Distanz zur Initiierung einer 50 kg Fliegerbombe durch eine Stahlgranate im Erdreich wird mit bis zu 8 cm angegeben. Da die Fliegerbomben nicht bezündert sind, wird davon ausgegangen, dass die Umsetzung einer solchen durch eine naheliegende bezünderte Stahlgranate initiiert wird. Der notwendige Abstand zur Übertragung einer Detonation ist damit im Vergleich zu früheren Annahmen (140 cm, [1]) deutlich reduziert.

Im Gegensatz zu einer Übertragung im Erdreich, ist die Initiierung durch Splitter in der Luft, d.h. offen liegende Munition in den Hohlräumen, auch bei größeren Distanzen möglich («mehrere Meter» – abhängig von Splittergröße und Auftreffwinkel [14]). Dies hat im Fall der vorliegenden Situation im Vergleich zur Übertragung im Erdreich eine begründet nachgeordnete Bedeutung.

Die Begutachtung der experimentellen und simulativen Ergebnisse von Dynamic Phenomena [14] und Gunger Engineering [18], welche die Basis der weiteren Bearbeitung in der VBS RA 2020 bilden, durch das EMI ergab, dass die Betrachtungsweisen stichhaltig und fundiert sind. Die Durchführung der experimentellen Validierungsversuche und die Ergebnisse der daran kalibrierten numerischen Simulation sind nachvollziehbar dargestellt. Folglich kann durch das EMI bestätigt werden, dass in den folgenden weiteren Risikobetrachtungen von einem kritischen lichten Abstand von 34 cm im Erdreich für die Detonationsübertragung zwischen zwei einzelnen 50 kg Fliegerbomben ausgegangen werden kann.

Jedoch sind die Annahmen und die Gültigkeit der Ergebnisse auf die Übertragung zwischen einzelnen Munitionskörpern beschränkt. Mit den durchgeführten Analysen können die Wirkungsweisen und das Verhalten von Munitionsnestern untereinander nicht abgebildet werden. Es ist davon auszugehen, dass insbesondere bei der Umsetzung von größeren Munitionsansammlungen, und der damit verbundenen thermischen und physikalischen Belastung, sowie der Einwirkungen auf das Erdreich und Veränderungen des Gefüges der Munitionskörper in diesem, die genannte kritische lichte Distanz zwischen Munitionskörpern keine Gültigkeit mehr hat und grösser sein kann. Die Detonationsübertragung zwischen Munitionsnestern ist Gegenstand weiterer Untersuchungen, die Ergebnisse liegen bislang nicht vor und sind entsprechend auch in der VBS RA 2020 nicht berücksichtigt worden. Somit kann eine Übertragung bei Vorhandensein von Munitionsansammlungen auch bei lichten Abständen größer als 34 cm nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden.

6.2.4 Einschätzung der angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten

In der VBS RA 2020 [5] werden im Vergleich zur Risikoanalyse 2018 [1] die Eintrittswahrscheinlichkeiten deutlich anders eingeschätzt. Insbesondere die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Explosionsereignisses mit 10 t TNT wird aktuell um einen Faktor 150 kleiner angegeben als 2018. Eine nachvollziehbar belegte Begründung für diese Abschätzung wird nicht gegeben, die Annahme stützt sich auf den Mittelwert von Experteneinschätzungen aus dem nationalen und internationalen Umfeld im Bereich Risikoanalyse im Umgang mit Munition [17].

Die Wahrscheinlichkeit eines (Massen-)Explosionsereignisses kann als Produkt aus der Wahrscheinlichkeit für eine mechanische oder chemische Auslösung

(Erstinitiierung) und der Wahrscheinlichkeit einer anschließenden sympathetische Übertragung im Erdreich / Hohlräumen (Folgeinitiierung) beschrieben werden.

Die Möglichkeit einer Erstinitiierung wurde in Abschnitt 6.2.1 eingeführt. Im Wesentlichen ist die Erstinitiierung von neuen Erkenntnissen zur Kupferazidbildung infolge von Verwitterungsprozessen beeinflusst, und einer damit verbundenen erhöhten Sensitivität gegenüber mechanischen Einwirkungen oder chemischen Prozessen. Eine Initiierung unabhängig von Kupferazidbildung ist damit nicht ausgeschlossen. Die Wahrscheinlichkeit einer Erstinitiierung wurde sowohl in der Risikoanalyse des VBS 2018 [1] als auch in der Beurteilung der Risikoanalyse durch das EMI 2019 [3] über die Erdbebenwahrscheinlichkeit abgeschätzt. Es wurde davon ausgegangen, dass ein Erdbeben die initiale auslösende mechanische Einwirkung auf einen Zünder darstellt, wobei davon ausgegangen wird, dass nur jedes 10. Erdbebenereignis mit Magnitude größer gleich 4 zu einer tatsächlichen Initiierung von Munitionskörpern führt.

Die Möglichkeit einer Folgeinitiierung durch sympathetische Übertragungen im Erdreich / in Hohlräumen ist abhängig von Menge der Munition (Szenariogröße und vorhandene Gesamtmenge), dem Zustand der einzelnen Munitionskörper sowie der Verteilung der Munition in einem möglichen Verteilraum.

Basierend auf der aktuell nachgewiesenen reduzierten kritischen Distanz innerhalb welcher eine sympathetische Detonation möglich ist (neu 34 cm statt bisheriger Annahme 140 cm), wurden die Eintrittswahrscheinlichkeiten in der VBS RA 2020 für ein 1 t Ereignis von $3 \times 10^{-3}/J$ auf $2 \times 10^{-3}/J$ und für ein 10 t Ereignis von $3 \times 10^{-4}/J$ auf $2 \times 10^{-6}/J$ im Vergleich zur VBS RA 2018 reduziert. Ein 20 t Szenario nach [3] wird mit einer nicht mehr risikorelevanten Wahrscheinlichkeit belegt. Qualitativ mag eine Reduktion der Eintrittswahrscheinlichkeiten aufgrund der neuen Ergebnisse begründet sein, ein quantitativer Nachweis – insbesondere für die Reduktion der Wahrscheinlichkeit eines 10 t Szenarios (mit einem Ereignis »alle 500'000 Jahre« statt einem Ereignis »alle 3'000 Jahre« [5]) steht jedoch aus. Aufgrund der momentan unvollständigen Informationen zum Zustand, zur Lage, Menge, Verteilung und dem Übertragungsverhalten von Munitionsansammlungen der verbleibenden Munition können nach Ansicht des EMI auch mit den reduzierten kritischen Abständen einzelner Munitionstypen Munitionsansammlungen in szenariorelevanten Mengen nicht ausgeschlossen werden, was zu einem Modellansatz für die Ermittlung risikorelevanter Eintrittswahrscheinlichkeiten führt, vgl. Abschnitt 6.3.

6.2.5 Gefährdungsanalyse (Wirkungs- und Expositionsanalyse)

Entsprechend der vorangegangenen Analysen zur Gefährdung in Mitholz durch das ehemalige Munitionslager, wird als maßgebende Wirkung der Trümmerverschüttung identifiziert. Mögliche Schäden durch Blast (Druckstoß) in der näheren

Umgebung der Detonationsorte dürfen nach [5] jedoch richtigerweise bei zukünftigen Analysen und Arbeiten nicht vernachlässigt werden. Denkbare Szenarien sind dabei Trümmerwurf infolge Kraterbildung, aus Öffnungen des Dreispitzes und den aktuellen und ehemaligen Portalen der Anlage (Zugangsstollen). In vorangegangenen Risikoanalysen [1, 3] wurden diese möglichen Szenarien für unterschiedliche Ereignisgrößen betrachtet und in der VBS RA 2020 um eine detailliertere Betrachtung der möglichen Trümmerwurfaustrittsöffnungen ergänzt. Die dargestellten Letalitätszonen sind nach wie vor relevant für Mitholz mit grundsätzlichen Schadensausmaßen im Bereich der schweren Schädigung. Die in der VBS RA 2020 [5] aktualisierte Darstellung der Trümmerwirkung für die jeweiligen Szenarien (1 t, 3 t, 10 t) wird seitens des EMI als plausibel und nachvollziehbar hergeleitet bewertet.

Die in der VBS RA 2020 enthaltene Expositionsanalyse nach TLM entspricht aus Sicht EMI den aktuell verfügbaren Belegungsannahmen bzw. Personenkenzzahlen. Es wird darauf hingewiesen, dass die Entwicklung der Personenkenzzahlen vor dem Hintergrund der Entwicklung der aktuellen Situation über die kommenden Jahre bis zur Räumung (Zuzug, Wegzug) und der anstehenden Arbeiten am ehemaligen Munitionslager und im Zusammenhang mit dem Teilausbau des Lötschberg-Basistunnels ab 2022 verfolgt werden muss und dementsprechend ggf. Risiken neu bewertet werden müssen.

6.3 Aktualisierte Einschätzung des Ist-Zustands

Gegenüber den Erkenntnissen, die 2018 zur Einschätzung des Risikos, ausgehend vom Zustand des ehemaligen Munitionslagers, führten [1], ist insbesondere die Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeiten für unterschiedliche Szenariogrößen maßgeblich für die Neubewertung des Risikos in der VBS RA 2020 [5]. Die Neubewertung der Eintrittswahrscheinlichkeiten in [5] – insbesondere die Erhöhung der Wiederkehrperiode eines 10 t-Ereignisses von 3'000 Jahren auf 500'000 Jahre – resultiert in einer gegenüber 2018 deutlichen Senkung des berechneten Risikos vom nach StFV [2] inakzeptablen Bereich in den Übergangsbereich. Diese Neubewertung der Eintrittswahrscheinlichkeiten beruht auf Experten-Einschätzungen. Um diese Experten-Einschätzungen dahingehend bewerten zu können, ob sie nach dem Vorsorgeprinzip von ungünstigen, aber immerhin möglichen, Voraussetzungen ausgehen, werden folgende Überlegungen getroffen, die von der Bilanzierung der Munition vor und nach dem Unfallereignis 1947 ausgehen. Die Überlegungen basieren auf folgenden weitgehend gesicherten Grundannahmen:

1. Besonders relevant für ein Massendetonationereignis mit entsprechend hohem Schädigungsausmaß sind die verschütteten 50 kg Fliegerbomben bzw. die Möglichkeit, dass im Fall einer Detonation einzelner oder weniger

Munitionsartikel durch Splitterimpakt an der »freien« Luft oder durch die Übertragung der Kompressionswelle im Erdreich die Detonation weiterer Fliegerbomben ausgelöst wird. Gemäß allgemeiner Einschätzung und den nun durchgeführten numerischen Simulationen [14] ist die (weiträumige) Verteilung der kleineren Munitionsartikel mit geringeren Explosivstoffmengen unkritisch, bis auf die Tatsache, dass die verschütteten Granaten mit funktionsfähigen und empfindlichen Zündern ausgestattet sind, die letzten Endes zum Initialereignis führen können, wenn davon ausgegangen wird, dass diese bezünderten Munitionskörper unmittelbar (bis 8 cm) neben 50 kg Fliegerbomben liegen. Eine solche Anordnung wurde in der Vergangenheit bei Begehungen festgestellt und in der VBS RA 2018 dokumentiert [1].

2. Von den vor dem Unfall 1947 eingelagerten 50 kg Fliegerbomben sind insbesondere diejenigen aus den Kammern I bis III im Dezember 1947 detoniert oder aber nach dem Unfall geräumt worden. Auf Grund des Schadensbildes wird davon ausgegangen, dass die Munitionskörper, die in den Kammern IV bis VI eingelagert waren, nicht detonativ umgesetzt haben, sondern dass diese im Laufe des Ereignisses aus den Kammern ausgeschleudert wurden und nun in »Munitionsnestern« gesammelt verschüttet sind. Teile der eingelagerten Bomben sind gefunden und geräumt worden [1, 3]. Es ist nicht davon auszugehen, dass die verschütteten Fliegerbomben in ihrer Gesamtheit gleichmäßig über eine große Grundfläche verteilt wurden. Dagegen spricht ebenfalls die ungleichmäßige Ausbildung des verstürzten Felsens und ehemaligen Bahnstollens.

Munitionsmenge vor Kammern IV bis VI:

Nach [1, 11], Dokumente 41-041 und 44-044, lagerten vor dem Ereignis 1947 insgesamt 6950 Stück 50 kg Fliegerbomben in Mitholz, davon rund 3/5 in den Kammern I bis III, die entweder detoniert sind oder geräumt wurden. Für die relevanten Kammern IV bis VI verbleiben 2/5 der 6950 Fliegerbomben, d.h. 2780 Stück mit einer angegebenen NEM von jeweils 22 kg TNT pro Bombe.

In der Darstellung EMPA 35.545 (Dokument 44-044 [11]) gibt es folgende Aufteilung dieser 50 kg Fliegerbomben nach Anteilen der Flächendarstellungen in Regalen:

- Kammer IV: 13.3 %
- Kammer V: 53.3 %
- Kammer VI: 33.3 %

Damit können in der meistbelegten Kammer V $0.53 \times 2780 = 1474$ Stück angenommen werden. Nach Angaben armasuisse W+T [19] sind aus Kammer V 333

Fliegerbomben geräumt worden, damit verbleiben 1141 Stück, deren Zustand unbekannt ist und die vermisst werden. Dies entspricht einer Gesamtexplosivstoffmenge von 25.2 t TNT allein in den vermissten 50 kg Fliegerbomben vor der Kammer V.

Analog können für Kammer IV 7.6 t NEM und für Kammer VI 19.4 t NEM berechnet werden. Wie zuvor erwähnt, erscheint es unrealistisch, dass im gesamten Bereich vor den Kammern IV bis VI über mehr als 80 m Länge die 50 kg Bomben gleichmäßig verteilt wurden, entsprechend werden einzelne Bereiche, d.h. »Hotspots« betrachtet, die den Kammern zugeordnet werden. Dies entspricht der Arbeitshypothese, dass mit Munitionsansammlungen zu rechnen ist.

Laut armasuisse W+T waren bei »den wenigen bisherigen Funden von 50 kg Bomben [...] die Hälfte deflagriert/ausgeschmolzen und aufgrund aller bisher angetroffenen Munition ist davon auszugehen, dass sich ca. 1/3 davon umgesetzt haben (Detonation/Deflagration/Abbrand/ausgeschmolzen)« [19].

Daraus ergibt sich für die anzunehmende Menge aus Kammer V der für die sympathetische Detonationsübertragung relevanten 50 kg Fliegerbomben ein Streubereich von $\frac{2}{3} \times 25.2 \text{ t} \approx 17 \text{ t}$ bis maximal 25.2 t NEM.

Zufällige Verteilung der Munitionskörper

Ausgehend von der Annahme, dass bei den Explosionsereignissen 1947 die Munitionskörper »chaotisch«, d.h. zufällig aus den einzelnen Kammern geschleudert und in »Hotspots« verschüttet wurden, können mit Zufallsbetrachtungen relative Wahrscheinlichkeiten untersucht werden, wie viel seltener eine bestimmte Häufung von Munitionskörpern auftreten kann als eine andere Menge. Entscheidend hierbei ist die Annahme der gesamt zur Verfügung stehenden Menge an Munitionsartikeln, der betrachtete geometrische Verteilungsraum und die zu untersuchenden Szenarien.

Geht man exemplarisch davon aus, dass der Kammer V ein Drittel des ehemaligen Bahnstollens vor den Kammern IV bis VI als möglicher Verteilungsraum (Abbildung 4) zugeordnet werden kann und der verschüttete Bereich im Mittel 10 m breit sowie 2 m tief (entspricht »typischer Mächtigkeit des Explosionsschutts« nach [15] und ungefähr dem Versatz zwischen ehemaliger Kammer-sole und Bahntrasse) ist, ergibt sich ein Raumvolumen von $V = 26 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 520 \text{ m}^3$, in dem 25.2 t NEM in Einzelmengen von 22 kg verteilt sein können.

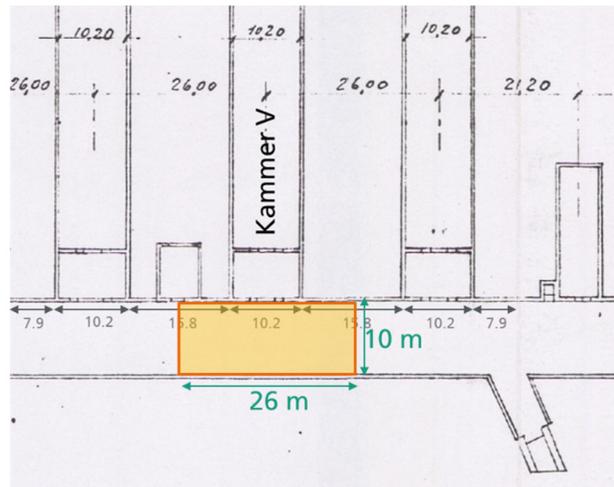


Abbildung 4: Angenommener Verteilraum des Explosionsschutts vor Kammer V, angenähert über eine Fläche von 26 m x 10 m.

Es gibt einen kritischen lichten Abstand von 34 cm, bis zu dem eine Detonationsübertragung im Erdreich möglich ist [14]. Im anzunehmenden ungünstigsten Fall liegen die Munitionsartikel in diesem lichten Abstand oder geringer nebeneinander, das bedeutet, man muss für den ungünstigsten Fall von einem Mittelpunktabstand von 54 cm ausgehen (Durchmesser der Bomben ist 20 cm), bis zu dem eine Detonationsübertragung hin zu einem Massendetonationsereignis möglich ist.

So kann das Raumvolumen von 520 m³ in ein Raster aufgeteilt werden, in dem die Mittelpunkte einen Abstand von 54 cm haben. Innerhalb dieses Rasters werden die 1141 Stück 50 kg Fliegerbomben zufällig verteilt und die Häufungen entsprechend der relevanten Szenariogrößen, d.h. wie häufig die zufällig verteilten Munitionskörper eine NEM von 1 t, 3 t und 10 t innerhalb des kritischen Abstands ergeben, gezählt. So lässt sich abschätzen, wie viel seltener ein zusammenhängendes »Munitionsnest« (innerhalb dessen es zu einer sympathetischen Massendetonation kommen kann) mit einer NEM von 3 t (bzw. 10 t) gegenüber einem 1 t Munitionsnest statistisch möglich ist.

Abbildung 5 zeigt beispielhaft den idealisierten kubischen Raum von 520 m³ mit einem Gitterraster von 54 cm. Darin dargestellt ist die in einem einzelnen Berechnungslauf größte Häufung von benachbarten belegten Raumzellen, die einem zufällig erzeugten Munitionsnest (nachfolgend auch »Cluster« bezeichnet) aus 307 im kritischen Abstand befindlichen Fliegerbomben mit einer NEM von 6'754 kg TNT entspräche.

Abbildung 6 zeigt die Verteilung dieser Cluster in Form eines Balkendiagramms. Hierzu wurden einzelne Munitionsmengen in Klassen unterteilt und die Cluster

innerhalb der Klassen gezählt. Beispielsweise gibt es in dem Ergebnis der Zufallsberechnung aus Abbildung 6 sechs Cluster von »Munitionsnestern«, die zwischen 512 und 1024 kg NEM aufweisen und ein Cluster mit einer NEM zwischen 2048 kg und 4096 kg, in welches das 3 t Ereignis fällt.

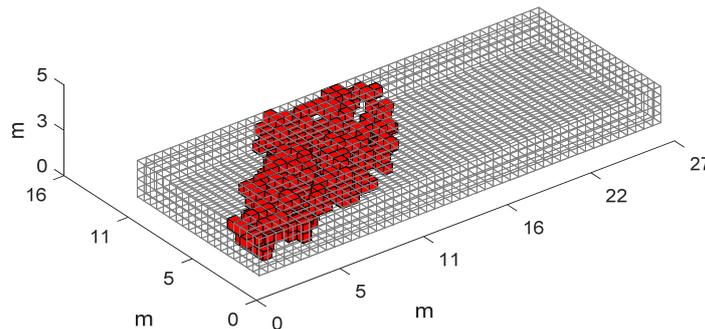


Abbildung 5: Angenommenes Raumvolumen vor Kammer V mit kritischem Raster von 54 cm und einer beispielhaften Darstellung des größten zusammenhängenden Clusters von Fliegerbomben (307 Zellen, entspricht 6'754 kg NEM).

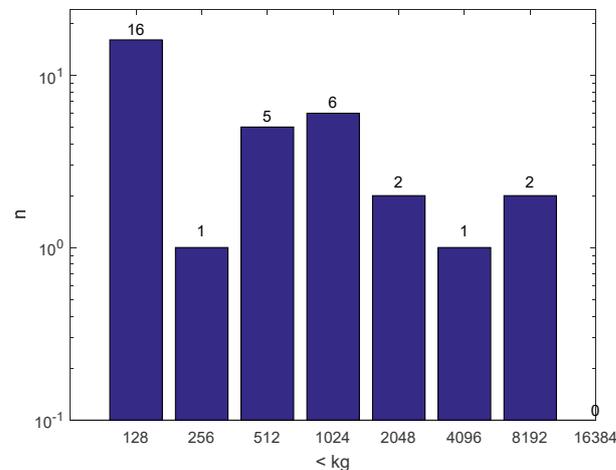


Abbildung 6: Balkendiagramm mit Verteilung der Häufungen von Cluster-Klassen bei einer zufälligen Verteilung von 1141 50 kg Fliegerbomben vor Kammer V.

Wird eine solche Berechnung hinreichend häufig wiederholt, ergibt sich die relative Verteilung der Häufigkeiten zwischen den einzelnen Clustern. Dies ist in Abbildung 7 dargestellt für 1000 Wiederholungen bei der Verteilung von insgesamt 25.2 t TNT aus Kammer V innerhalb des Volumens von 520 m³, welches Kammer V zugeordnet ist. Vergleichsberechnungen mit mehr Wiederholungen zeigen keine signifikante Veränderung des Ergebnisses. Die Häufigkeiten in Abbildung 7 sind normiert dargestellt, d.h. auf eine Verteilung bezogen. Damit

ergeben sich beispielsweise 1.555 Anhäufungen zwischen 2048 kg und 1024 kg NEM oder 0.659 Cluster zwischen 16'384 kg und 8'192 kg NEM, in welches das 10 t Szenario fällt.

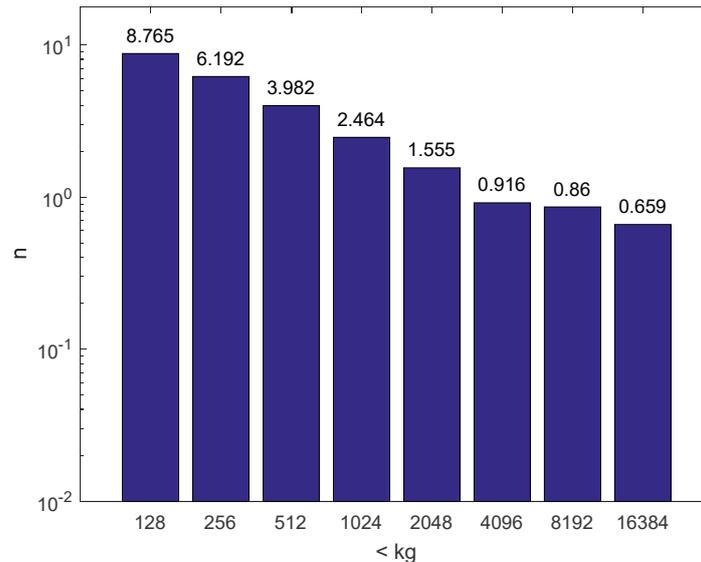


Abbildung 7: Verteilung der Häufigkeiten von Clustern bei 25.2 t NEM innerhalb eines Versturz-Volumens von 520 m³ vor Kammer V (normierte Darstellung).

Wird der Verlauf der Häufungen in Abbildung 7 interpoliert, ergeben sich für ein 3 t Ereignis 1.14 Cluster und 0.83 Cluster mit 10 t NEM. Vergleicht man diese Häufungen mit der Häufigkeit von Clustern mit 1 t NEM, erhält man:

$$\frac{W_{1t}}{W_{3t}} = \frac{2.46}{1.14} \approx 2.2$$

$$\frac{W_{1t}}{W_{10t}} = \frac{2.46}{0.83} \approx 3$$

Das bedeutet, die 1 t Cluster sind circa 2.2-mal häufiger als die 3 t Cluster und circa 3.0-mal häufiger als die 10 t Cluster bei einer insgesamt verteilten Nettoexplosivstoffmenge von 25.2 t TNT. Dies stellt die ungünstigste mögliche Gesamtmenge dar, wovon jedoch nach Einschätzung des EMI solange ausgegangen werden muss, bis genauere Erkenntnisse zum Zustand und zur Verteilung der Munitionskörper vorliegen. Mit den entsprechend aktualisierten Erkenntnissen kann der zuvor beschriebene Berechnungsweg leicht angepasst werden, um so die relative Seltenheit der einzelnen Szenariogrößen untereinander zu bestimmen.

Wird von der seitens armasuisse W+T gemachten Annahme ausgegangen, dass nur noch 2/3 der 50 kg Fliegerbomben aus den Kammern IV bis VI noch detonationsfähig sind, reduziert sich die Gesamtmenge aus Kammer V auf rund 17 t TNT. Damit stehen auch 8.2 t TNT weniger zur Verfügung, die innerhalb des angenommenen Volumens verteilt werden können, was sich drastisch auf die Häufigkeitsverteilung auswirkt.

Bei der Annahme von 17 t zu verteilender Gesamtmenge bleiben bei der zufälligen Verteilung deutlich mehr benachbarte Rasterpunkt frei. Dies spiegelt sich in der Häufigkeitsverteilung wider, vgl. Abbildung 8.

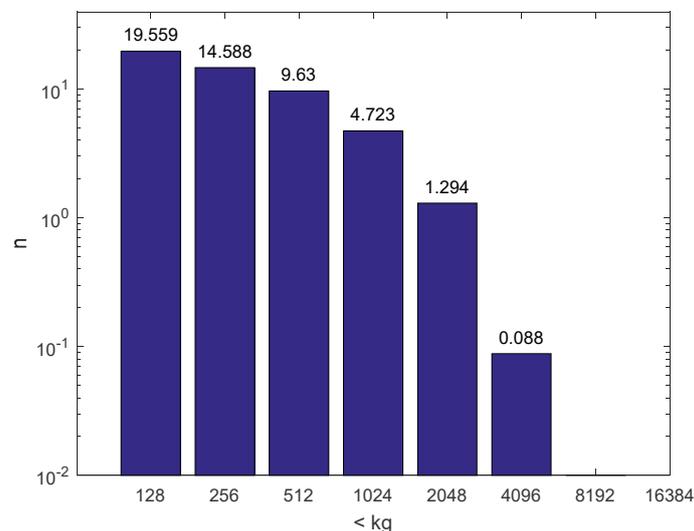


Abbildung 8: Verteilung der Häufigkeiten von Clustern bei 17 t NEM innerhalb eines Versturz-Volumens von 520 m³ vor Kammer V (normierte Darstellung).

Demnach ergibt sich aus Abbildung 8, dass nur noch 0.09 Cluster in einer Größe von 2048 kg bis 4096 kg innerhalb von einem Ereignis (normiert aus 1000 Verteilungen) auftreten, in der Klasse 8192 bis 16384 kg ergibt sich keines. Durch Interpolation der in Abbildung 8 dargestellten Werte ergeben sich für ein 3 t Ereignis 0.47 Cluster und 0.0006 Cluster mit 10 t NEM. Vergleicht man diese Häufungen mit der Häufigkeit von Clustern mit 1 t NEM, erhält man:

$$\frac{W_{1t}}{W_{3t}} = \frac{4.8}{0.47} \approx 10$$

$$\frac{W_{1t}}{W_{10t}} = \frac{4.8}{0.0006} \approx 8000$$

Das bedeutet, die 1 t Cluster sind circa 10-mal häufiger als die 3 t Cluster und circa 8000-mal häufiger als die 10 t Cluster bei einer insgesamt verteilten Nettoexplosivstoffmenge von 17 t TNT.

Dies zeigt den enormen Streubereich an möglichen Ergebnissen auf, der sich aus der großen Unsicherheit bezüglich Menge, Zustand und Verteilung der relevanten Munitionskörper ergibt. Wie zuvor erwähnt, muss in Anbetracht der großen Unsicherheiten im Sinne des Vorsorgeprinzips von den ungünstigsten – aber möglichen – Annahmen ausgegangen werden. Das ist in diesem Fall die Annahme einer Gesamtmenge von 25.2 t TNT aus Fliegerbomben, die dem ehemaligen Bahnstollen vor Kammer V zugeordnet werden.

Vergleich mit Ergebnissen aus anderen Annahmen

Zur weiteren Einschätzung der Sensitivität der Ergebnisse bezüglich möglicher Gesamt-Explosivstoffmenge und Verteilraum-Volumen (Lagerungsdichte) wurden weitere denkbare Szenarien untersucht. Zum einen wurde ein Verteilraum von $V = 78 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 1560 \text{ m}^3$ untersucht (nachfolgend »Sektor C«, Bereich der drei Kammern IV, V und VI) und zum anderen derselbe Sektor, ergänzt um zusätzliche Bereiche der Abortanlage und Teile des Blindstollens (nachfolgend »Sektor C + Abort (100 m)« mit einem Verteilraum von $V = 100 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 2000 \text{ m}^3$. Dabei wurden Nettoexplosivstoffmengen von 50 t (ca. 2400 50 kg Bomben) sowie 34 t (ca. 1600 50 kg Bomben, entspricht 2/3 von 2400 Stück, 1/3 der Gesamtmenge könnten beim Ereignis 1947 umgesetzt haben) angenommen.

Im Zuge einer vereinfachten Darstellung werden an dieser Stelle jedoch nur die beiden Extrembedingungen folgender Annahmen präsentiert: 1) für eine 34 t NEM auf 2000 m³ (Sektor C + Abort, Abbildung 9) und 2) 50 t auf 1560 m³ (Sektor C, Abbildung 10).

Aufgrund des relativ zur NEM vergrößerten Verteilraums sind dabei unter Annahme 1) statistisch gesehen schon Munitionsnester mit 1 t selten (im Schnitt ein 1 t Munitionsnest pro 10 Zufallsverteilungen). Größere Ansammlungen wurden in 1000 Zufallsverteilungen nicht betrachtet. Unter Annahme 2) wäre ein 3 t Cluster um ca. einen Faktor 45 seltener als ein 1 t Cluster.

$$\frac{W_{1t}}{W_{3t}} = \frac{14}{0.31} \approx 45$$

Ein 10 t Cluster kann aufgrund des großen Verteilraums auch unter dieser Annahme bei dem gewählten Modellansatz nahezu ausgeschlossen werden.

Im Hinblick auf den momentanen Kenntnisstand werden die Verteilungen dieser Szenarien in der Risikoabschätzung dieses Berichts nicht weiter berücksichtigt. Dies, da davon ausgegangen werden muss, dass die Munition in Bezug auf einen solch großen möglichen Verteilraum aus mehreren ursprünglich ungleichmäßig gefüllten Kammern mit lichtem Abstand von jeweils 15.8 m eben nicht gleichmäßig verteilt wurde, es ergo Bereiche mit erhöhten Munitionskörperkonzentrationen geben muss. Dies wird des Weiteren dadurch gestützt, dass einzelne Bereiche begehbar und einsehbar sind, wobei keine weiträumig gleichmäßige Munitionsverteilung festgestellt wurde.

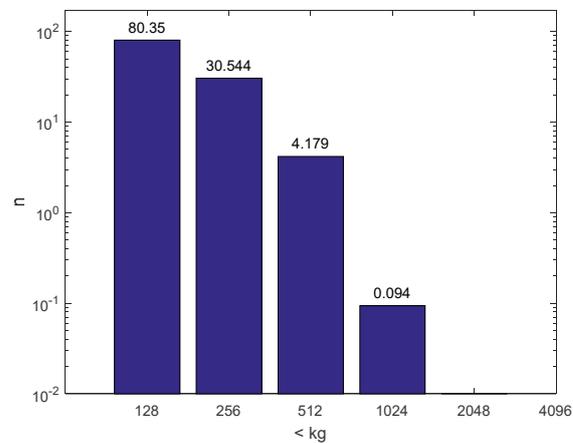


Abbildung 9: Verteilung der Häufigkeiten von Clustern bei 34 t NEM innerhalb eines Verstorz-Volumens von 2000 m³ in Sektor C + Abortanlage (normierte Darstellung).

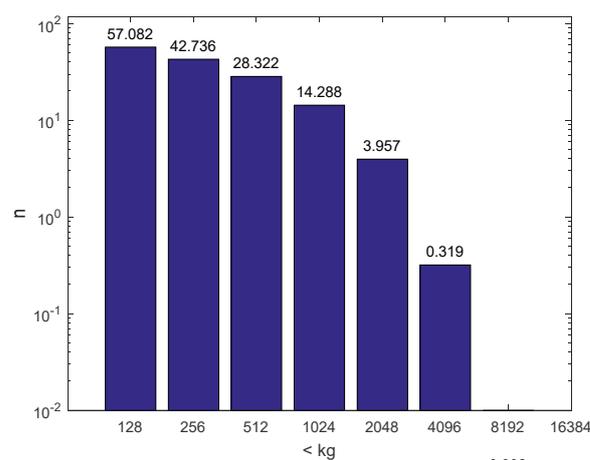


Abbildung 10: Verteilung der Häufigkeiten von Clustern bei 50 t NEM innerhalb eines Verstorz-Volumens von 1560 m³ in Sektor C (normierte Darstellung).

Einfluss auf die Annahmen zu den Eintrittswahrscheinlichkeiten

Zur Beurteilung, ob die Annahmen in der VBS RA 2020 bzw. die Einschätzungen dort konservativ gewählt worden sind und damit das Risiko im Sinn der StfV eingeschätzt wurde, können auf Grundlage des zuvor beschriebenen Ansatzes die Eintrittswahrscheinlichkeiten bewertet werden. Dabei wird als Basisgröße die in der VBS RA 2020 angegebene Eintrittswahrscheinlichkeit

$$W_{1t} = 2 \times 10^{-3}$$

gewählt [5].

Mit den zuvor genannten Faktoren, um die ein 1 t Ereignis häufiger als ein 3 t, bzw. als ein 10 t Ereignis zu erwarten ist, ergibt sich

- bei einer Gesamtmenge von 25.2 t vor Kammer V
 - $W_{3t} = 2 \times 10^{-3} / 2.2 \approx 9 \times 10^{-4}$
 - $W_{10t} = 2 \times 10^{-3} / 3 \approx 7 \times 10^{-4}$

Insbesondere die in der VBS RA 2020 geschätzte Eintrittswahrscheinlichkeit für $Q = 10$ t von 2×10^{-6} [1/a] [5] liegt signifikant darunter, was bedeutet, dass die dieser Einschätzung zu Grunde gelegenen Annahmen nicht konservativ im Sinne der StfV gewählt worden sind – insbesondere im Lichte der noch vorherrschenden großen Unsicherheiten.

Bei einer um ein Drittel reduzierten Gesamtmenge von 17 t vor Kammer V ergeben sich $W_{3t} = 2 \times 10^{-4}$ und $W_{10t} = 3 \times 10^{-7}$. Diese Werte liegen wiederum im Bereich der VBS RA 2020 Einschätzung, die zu Grunde gelegten Annahmen sind jedoch nicht nachvollziehbar konservativ gewählt.

Ohne besseres Wissen muss von den ungünstigen Annahmen und damit höheren Eintrittswahrscheinlichkeiten ausgegangen werden. Die Auswirkungen auf die Berechnung der Risiken und die Darstellung im W/A-Diagramm werden in Abschnitt 6.4 dargestellt.

Es bleibt festzuhalten, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit mangels exakter Informationen zur Lage, Menge und Verteilung der Munition in der vorliegenden Analyse über die statistische Möglichkeit der Munitionsverteilung für verschiedene Ereignisgrößen angenähert wurde. Sobald genauere gesicherte Erkenntnisse vorliegen, sollte diese Analyse und deren Ergebnisse überprüft und ggf. angepasst oder verworfen werden.

Die Analyse beruht auf der Annahme, dass eine 50 kg Bombe eine benachbarte initiiert. Mögliche sympathetische Übertragungen zwischen Munitionsnestern über größere Distanzen werden mit dem vorliegenden Modellansatz nicht abgebildet, d.h. der Ansatz lässt eine Übertragung ausgehend von mehr als einem Munitionsartikel außer Acht (Abstände für jeweilige Übertragung unbekannt). Dies ist somit bis zur Untersuchung dieser Aspekte und dem Vorliegen fundierter Erkenntnisse bezüglich des Verhaltens von und in Munitionsnestern keine konservative Annahme.

6.4 Einschätzung des Risikos des Ist-Zustands auf Grundlage konservativer Eintrittswahrscheinlichkeiten

Ausgehend von den mit dem zuvor beschriebenen Ansatz ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten für ein 1 t, 3 t und 10 t Szenario wurden die Risikosummenkurven bei ansonsten gleichbleibenden Schadensausmaßen wie in der VBS RA 2020 (Wirkung und Exposition der VBS RA 2020 werden als plausibel bewertet, vgl. Abschnitt 6.2.5) berechnet und in Abbildung 11 kumuliert über die Ereignisgrößen dargestellt. Anhang 3: Ermittlung der Risikowerte 2020 enthält die den Summenkurven zu Grunde liegenden Berechnungstabellen. Unter der konservativen Annahme zur Eintrittswahrscheinlichkeit (25 t Verteilmenge) sind die berechneten Risiken deutlich im nicht akzeptablen Bereich nach StFV. Unter der Annahme, dass ein Teil der ursprünglichen Verteilmenge von 25.2 t nicht mehr zur Umsetzung beitragen kann (17 t verbleibende umsetzungsfähige Verteilmenge, entsprechend einem Drittel der 25.2 t [19]) reduzieren sich die Eintrittswahrscheinlichkeiten und somit die berechneten Risiken auf Werte im Bereich der in der VBS RA 2020 dargestellten Risiken. In der vorliegenden Analyse wurde auf eine Darstellung der möglichen Streubereiche in X-Richtung (Faktor 2 des Störfallwerts) verzichtet, da eine Abweichung der angenommenen Munitionsmenge nach oben mit Blick auf die Bilanzierung nicht realistisch erscheint.

Es folgt, dass mit einem konservativen und nachvollziehbaren Modellansatz zur Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeiten ein deutlich ungünstigerer Verlauf der Risikosummenkurve des Ist-Zustands dargestellt werden kann, der bei ungünstigster Annahme noch über den Streubereich der Darstellung aus der VBS RA 2020 hinausgeht. Diese deutlich ungünstigere Einschätzung ist Folge des weiterhin dürftigen Kenntnisstands zur Munitionsverteilung mit entsprechender Kenntnis des Zustands und der Gesamtmenge an verschütteter Munition. Wird im weiteren Projektverlauf der Kenntnisstand verbessert, lässt sich der in Abschnitt 6.3 beschriebene Ansatz anpassen, so dass auch die Darstellung der Risiken aktualisiert werden kann. Solange die Unsicherheiten weiterhin bestehen, muss im Sinne des Vorsorgeprinzips von den ungünstigsten Annahmen ausgegangen werden.

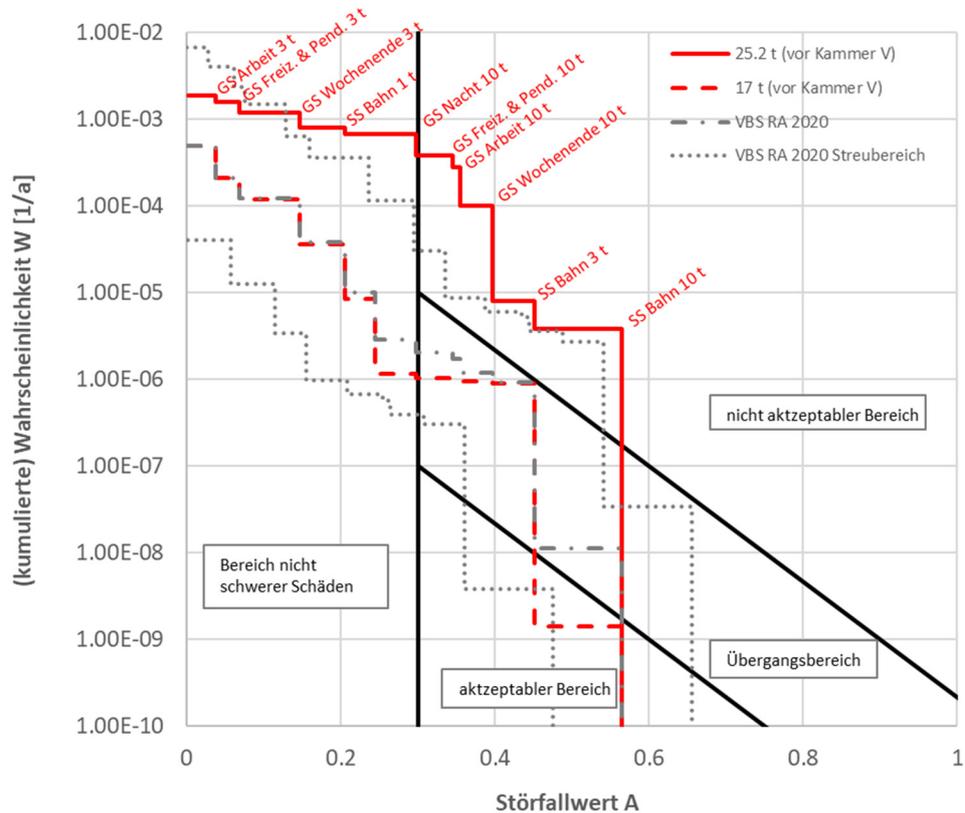


Abbildung 11: WA/Diagramme über die Ereignisgrößen von 1 t, 3 t und 10 t, kumuliert unter Annahme von 25.2 t NEM zur Verfügung stehender Munition, zufällig verteilt vor Kammer V (rote Linie, konservative Annahme) und von 17 t Munition (rote gestrichelte Linie, Annahme von einer 1/3 Umsetzung der möglichen 25.2 t NEM während des Ereignisses von 1947). Im Vergleich dazu ist die Summenkurve der VBS RA 2020 inkl. Streubereiche gezeigt (in Grau). Die VBS RA 2020 Summenkurven wurden mit den Wahrscheinlichkeits- und Expositionswerten aus [5] nachgerechnet und präsentiert. Minimale Abweichungen sind z.B. aufgrund von Rundungsungenauigkeiten möglich.

6.5 Entwicklung der Risikosituation

Ausgehend vom Ist-Zustand, beschreibt die VBS RA 2020 die Veränderung der Risikosituation abhängig von dem Fortschritt der geplanten Arbeiten am ehemaligen Munitionslager Mitholz [5]. Dabei wird zu den nachgenannten Zeitpunkten jeweils die Risikokurve erneut berechnet, wobei die Veränderung vornehmlich in der Anzahl und Aufenthaltsdauer der exponierten Personen begründet liegt sowie auf der Einschätzung der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten eines Explosionsereignisses beruht.

Die wesentlichen Zeitpunkte zur Veränderung der Risikosituation sind:

- Abschluss der Vormaßnahmen (Ende 2021 bzw. Mitte 2022)

- Verfüllung des ehemaligen Bahnstollens und Abtrag Dreispitz (2024)
- Erstellung der Schutzbauten (2025 bis 2030)
- Beginn der Räumung (ab 2031)
- Nachverfolgung der Option Überdeckung

Auf eine vergleichende Berechnung der jeweiligen Risikosituation wird im Rahmen dieser Beurteilung verzichtet. So sind die Veränderungen bezüglich der Exposition insofern fix, als dass die Anzahl der exponierten Personen und ihrer Aufenthaltsdauer für den jeweiligen Arbeitsschritt definiert sind. Mit einer Änderung der beteiligten Arbeiter an den Schutzbauten, beispielsweise, verändern sich die Risikowerte entsprechend, was wiederum bedeutet, dass von den in der VBS RA 2020 angegebenen maximalen Personenzahlen und den angenommenen Expositionszeiten nicht nach oben abgewichen werden darf, ohne das Risiko neu bewerten zu müssen. Gleiches gilt für die Wohnbevölkerung in Mitholz und die maximale Zahl der Verkehrsteilnehmer. Weiterhin liegen den Einschätzungen zur Veränderung der Eintrittswahrscheinlichkeiten über den Arbeitsverlauf keine quantitativ belegbaren Annahmen zu Grunde. Mit der Betrachtung der Konservativität der bisherigen Schätzung der Eintrittswahrscheinlichkeiten in den vorangegangenen Abschnitten 6.2.4 und 6.3 ist bereits gezeigt worden, dass die ursprüngliche Einschätzung nicht konservativ gewählt wurde. Eine Abweichung der Eintrittswahrscheinlichkeit von der Grundannahme, ausgehend vom Ist-Zustand, verändert den entsprechenden Wert nur mit gleichbleibender Qualität, d.h. die durch Variation der geschätzten Eintrittswahrscheinlichkeiten weiter auf Grundlage des Ist-Zustands berechneten Risikosummenkurven können im Beurteilungsergebnis nicht abweichen. Eine weitere Beurteilung der weiteren Zustände erübrigt sich damit.

Nachfolgend wird auf einzelne Aspekte während des Verlaufs der Arbeiten eingegangen, die notwendig für die Beurteilung des weiteren Verlaufs dieser Arbeiten sind, ohne auf die jeweiligen Risikowerte einzugehen.

6.5.1 Vorausmaßnahmen

Als Vorausmaßnahmen werden in der VBS RA 2020 [5] ein Hochdrucktor und »Pfropfen« zum Verschluss bestehender ausgebauter Portalöffnungen diskutiert, um den möglichen Trümmerwurf aus diesen Portalen heraus im Ereignisfall zu unterbinden und so die Wirkungen des entstehenden Trümmerwurfs dahingehend zu verändern, dass langgestreckte Trümmerwurfzonen vermieden werden und der vom Radius her mehr eingegrenzte Anteil an Kraterauswurf in der Gesamtgefährdung überwiegt. Der Detaillierungsgrad zu den genannten Vorausmaßnahmen in [5] entspricht weiterhin demjenigen der Vorstudie Schutzbauten als Vorausmaßnahmen [13] (vgl. Abschnitt 5) mit Ergänzung um

Prinzipdarstellungen. Grundsätzlich erachtet das EMI Pfropfen und Hochdrucktore ebenfalls als machbar und zielführend, um in ihrer Geometrie fest definierte Portalöffnungen wirksam zu verschließen. Voraussetzung dabei ist, dass der jeweilige Verschluss fest im Fels verankert werden kann und die umgebende Felsmasse als Widerlager aktiviert.

Für das Hochdrucktor bedeutet das, dass die Einbindung des Torrahmens so ausgestaltet werden muss, dass im Belastungsfall der umgebende, natürlich zerklüftete, Fels nicht herausgebrochen wird. Hierfür wird es notwendig sein, eine Nische in den Fels zu schneiden, diese mit Stahlbeton auszufüllen und die Verankerung des Rahmens in den Stahlbeton einzubetten. Damit wird die Verankerung des Hochdrucktors nach dem gleichen Wirkprinzip wie die nachfolgend genannten Pfropfen arbeiten (Lastabtrag über Druckgewölbe im umgebenden Fels und Schubfuge). Die genaue Ausbildung der Verankerung ist eine Bemessungsaufgabe, die noch zu lösen ist. Das Tor und seine Verankerung müssen auf den möglichen Innendruck bemessen sein, der sich im Ereignisfall gegen das Tor einstellt. Aus Sicht des EMI ist für die Auslegung eine Ladungsmenge von 20 t TNT anzusetzen. Die Eintrittswahrscheinlichkeit für ein Ereignis mit dieser Ladungsgröße ist zwar geringer als bei einem 10 t Szenario, nach derzeitigem Kenntnisstand ist eine solche Ereignisgröße jedoch weiterhin möglich. Gemäß Angaben des VBS anlässlich der Besprechung am 19. August 2020 [20] befindet sich diese Wahrscheinlichkeit bei etwa $1E-7$ pro Jahr; nach Interpolation der Werte in Abbildung 7 aus diesem Bericht sogar noch deutlich höher. Somit handelt es sich beim 20 t Szenario durchaus um ein störfallrelevantes Szenario.

Für die gleiche Ladungsmenge sind die Pfropfen zu bemessen. Bei beiden Verschlussarten muss beachtet werden, dass der umgebende Fels zerklüftet und ggf. brüchig ist, der Lastabtrag also weiträumig stattfinden sollte.

Entsprechend dem Zweck und der Definition als Vorausmaßnahmen, darf bei den Arbeiten an beiden Maßnahmen das gegenwärtige Risiko durch menschliche Arbeiten an den Munitions-Hot-Spots nicht steigen. Wie vom VBS geplant, sind diese Maßnahmen also nur im bereits ausgebauten Teil der Anlage möglich.

Als weitere Vorausmaßnahme werden in der VBS RA 2020 Dämme vor den Portalöffnungen betrachtet, die ebenfalls vor dem nicht ausgebauten Teil der Anlage (d.h. ehemaliger Bahnstollen und LKW-Zufahrten) realisierbar wären. Die VBS RA 2020 zeigt die Wirksamkeit von Dämmen als Maßnahme zur Risikosenkung gegenüber dem Ist-Zustand auf; die berechneten Schadensausmaße sind für die kleineren Ereignisgrößen (1 t und 3 t TNT) annähernd gleich zu denen bei der Realisierung von Pfropfen und Hochdrucktor (Abbildungen 23, 24 und 34, 35 in [5]). Der Fokus der Betrachtung der Dämme in [5] ist aus Sicht des EMI falsch gewählt, da deren Wirksamkeit nicht mit dem Ist-Zustand ohne

Vorausmaßnahmen bewertet wird, sondern über einen Vergleich mit den vorgenannten Pfropfen und dem Hochdrucktor.

Zum derzeitigen Stand der Planung sollte man aus Sicht des EMI sowohl Dämme als auch die zuvor genannten Verschlussarten weiterverfolgen, bis gesichert ist, wie die detailliert bemessene Ausbildung der Pfropfen und des Hochdrucktors gestaltet wird.

Die noch in der Vorstudie zu den Vorausmaßnahmen genannten Netze (vgl. [13] und Abschnitt 5.3) werden in der VBS RA 2020 nicht mehr als risikosenkende Maßnahmen betrachtet. Auch wenn die Reduktion des Risikos durch Verwendung von Netzsystemen bislang nicht quantifiziert wurde bzw. wenig Einfluss auf den Verlauf der Risikokurven hat, sollten aus Sicht des EMI die Netze ebenfalls mit einer quantitativen Bewertung weiterverfolgt werden, da sie zumindest bei kleinen Ereignisgrößen einen gewissen Schutz bieten, d.h. den Trümmerwurf begrenzen. Auch sollten die in den Abschnitten 5.3 und 5.5 genannten großflächigen, aufteilbaren Netzsysteme weiter geprüft werden und ggf. als Vorausmaßnahme zur Reduktion der Gefährdung realisiert werden.

6.5.2 Hohlraumverfüllung und Abtrag Dreispitz

Das Räumkonzept des VBS sieht bereits ab 2023 eine Verfüllung des ehemaligen Bahnstollens und der verbundenen Hohlräume vor, um die Steinschlaggefahr innerhalb der Anlage zu senken. Weiterhin soll durch die Hohlraumverfüllung ein Übergang vom möglichen Stollentrümmerwurf hin zu einem Kratertrümmerwurf stattfinden, da die noch nicht mit den Pfropfen und dem Hochdrucktor als Vorausmaßnahmen gesicherten Stollenportale damit faktisch nicht mehr existieren. Die Betrachtung der Risikosituation in der VBS RA 2020 stützt sich auf die Machbarkeitsstudie zur Hohlraumverfüllung durch CSD Ingenieure AG [15]. Dort werden zunächst Anforderungen an die Verfüllung beschrieben und Evaluationskriterien für die Auswahl der Materialien festgelegt. Die definierten Anforderungen sind aus Sicht des EMI korrekt, die Evaluationskriterien teils jedoch, da es sich um eine Machbarkeitsstudie handelt, nicht spezifisch genug, um für die Risikoanalyse davon auszugehen, dass die Hohlraumverfüllung tatsächlich so wirksam ist, dass sich ihr Einfluss auf die Risikoentwicklung begründet quantifizieren lässt. Offen in den Evaluationskriterien in [15] bleibt unter anderem, welche verbleibenden Hohlraumgrößen noch tolerabel sind oder was verträgliche dynamische Einwirkungen aus dem Verfüllungsvorgang auf die Munition sind. Ersteres ist im Zusammenhang mit der Detonationsübertragung relevant (vgl. Abschnitt 6.2.3), letzteres steht im Zusammenhang mit dem Zustand der Munition und ihrer Zündfähigkeit, über die bislang, zumindest statistisch abgesichert, zu wenig bekannt ist. Auf eine Empfehlung in [15], aufgehende Klüfte mit einer teilweisen Betonverfüllung zu sichern, wird in der VBS RA 2020 nicht eingegangen.

Der Verfüllungsvorgang ist aus Sicht des EMI bislang zu wenig detailliert, um eine quantifizierte Reduktion der Eintrittswahrscheinlichkeiten vorzunehmen («Halbierung der Wahrscheinlichkeiten während den Jahren 2024 bis 2030« [5]) und damit eine belastbare Risikoeinschätzung abzugeben:

1. Es sind noch nicht alle Hohlräume vermessungstechnisch aufgenommen. Bevor nicht alle Hohlräume bekannt sind, ist eine pauschale Aussage, dass eine Verfüllung machbar ist, verfrüht.
2. Es ist bislang nicht beschrieben, wie sichergestellt wird, dass ein entsprechender Hohlraum auch tatsächlich kraftschlüssig gefüllt wurde.
3. Es ist bislang unklar, wie mit den beschriebenen Schütt- und Einblasverfahren an verborgene Hohlräume gelangt wird, wie sie im Anhang des CSD Berichts dargestellt sind, vgl. Abbildung 12.
4. Die für die Munition verträgliche dynamische Belastung beim Einbringvorgang der Verfüllung muss zuvor definiert sein.
5. Zwischen Explosionsschutt und Hauptverfüllung wird, »wo machbar« [15], eine Abtrennung mittels Geotextilien und Sandlage empfohlen. Es ist unklar, wann eine solche Abtrennung notwendig ist und ebenfalls, wie sie eingebaut wird, wenn die Hohlräume nicht zugänglich sind. Falls die Abtrennung der Reduktion der dynamischen Belastung auf Munitionskörper dienen soll, muss der vorstehende 4. Punkt geklärt sein und sichergestellt werden, dass eine Abtrennung in allen Hohlräumen erfolgt.
6. Der vorausgesetzte Übergang vom Stollentrümmerwurf zum Kratertrümmerwurf kann nur dann erfolgen, wenn das Verfüllmaterial gleichwertig mit dem umgebenden Felsmaterial ist.

Als mögliches Verfüllmaterial nennen [5, 15] Blähton. Wie dort festgehalten, sollte beim möglichen Einbringen darauf geachtet werden, dass Blähton leicht elektrostatisch aufladbar ist, was im Zusammenhang mit der Empfindlichkeit der verschütteten Zünder und dem Kupferazid (vgl. Abschnitt 6.2.1) kritisch ist.

Für eine Entscheidung, ob die Verfüllung ohne Evakuierung unbeteiligter Dritter möglich ist, sind aus Sicht des EMI noch zu viele Fakten unbekannt. Sobald durch menschliche Einwirkung das Risiko bei störfallrelevanten Ereignissen erhöht wird und durch geeignete Schutzmaßnahmen nicht in einen nach StFV akzeptablen Bereich gesenkt werden kann, müssen unbeteiligte Dritte evakuiert und die Verkehrsträger gesperrt werden.

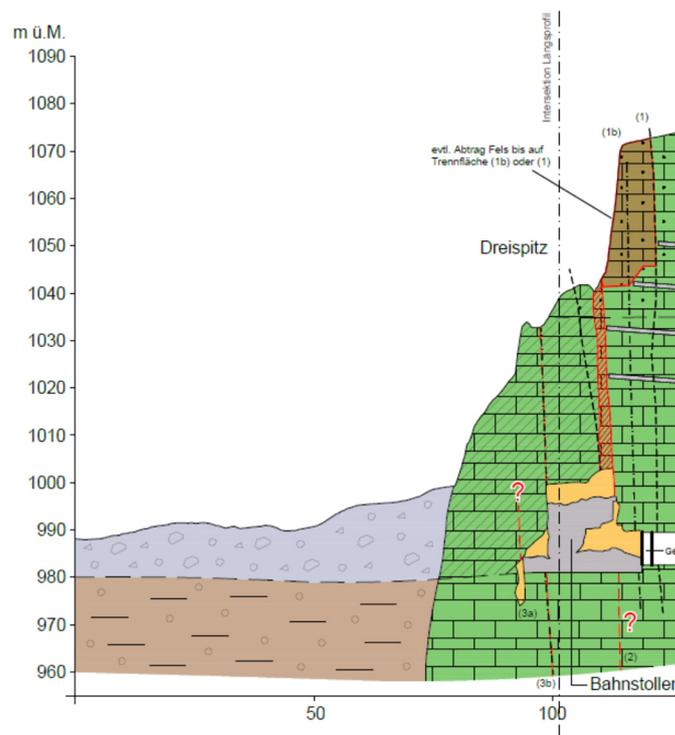


Abbildung 12: Ausschnitt Schnitt 3: Hohlraumverfüllung, Anhang B [15].

Im Anschluss an die Hohlraumverfüllung plant das VBS, den Dreispitz bis zur Sohle des ehemaligen Bahnstollens abzutragen. Damit wird die Felsumlagerung reduziert und die Räumung vereinfacht. Mit der Reduktion der Felsumlagerung geht eine Veränderung des möglichen Trümmerwurfs einher. Zum einen wird der Widerstand aus der Felsumlagerung reduziert, zum anderen jedoch auch die mögliche Trümmermasse. Gleichzeitig verändert sich die Geländeneigung von anfangs sehr steil (bestehende Felskante) zu horizontal am Ende des Abtragvorgangs. Die TLM 2010/2 [10] erlaubt eine Berücksichtigung dieser Zusammenhänge über einen Felsumlagerungsparameter, der in der VBS RA 2020 auch korrekt angegeben wird (Abbildung 51 in [5]). Die TLM-Modelle gehen jedoch von homogenem Material, bzw. einer möglichen Überdeckung mit Lockergestein, aus. Unterschiedliche Materialien, wie mit der Verfüllung vorgesehen, berücksichtigen die Trümmerwurfmodelle in der TLM nicht. Nach Kenntnis des EMI gibt es jedoch auch keine anderen verfügbaren analytischen Modelle zur Betrachtung dieser Situation.

Die Möglichkeit, den Dreispitz abtragen zu können, hängt von der Ausgestaltung der Verfüllung ab. Damit lässt sich aus Sicht des EMI zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht abschließend beurteilen, dass ein Abtrag des Dreispitzes möglich ist. Folglich lässt sich auch die Risikoentwicklung – und damit die Notwendigkeit einer Evakuierung – zu diesem Zeitpunkt aus Sicht des EMI noch nicht

belastbar darstellen. Als aktiver Eingriff in das Felsmaterial und langjähriger Prozess können die Hohlraumverfüllung und der Abtrag des Dreispitzes nicht als Vorausmaßnahmen gelten.

6.5.3 Erstellung von Schutzbauten

Für den Schutz der Nationalstraße durch Mitholz gibt es bislang drei Varianten die weiterverfolgt werden – Galerie über die Nationalstraße, Verlängerung des Lawinenschutz隧nels, oder Verlegung der Straße in einen Tunnel auf der gegenüberliegenden Talseite. Die Bahnlinie soll durch eine Stahlbetongalerie im gefährdeten Bereich geschützt werden [4, 5]. Die Ausgestaltung der Schutzbauten ist eine Ingenieuraufgabe, die nicht in den Umfang der Risikoanalyse fällt.

Die VBS RA 2020 geht davon aus, dass die bislang als machbar festgestellten Schutzbauten vollständig wirksam sind und für eine Bemessungsgröße von 3000 kJ kinetischer Energie ausgelegt werden. Ob die genannte Bemessungsgröße den Anforderungen an die Störfallverordnung genügt, ist durch das VBS im weiteren Verlauf der Arbeiten und der Vertiefung der Planungen noch aufzuzeigen.

6.5.4 Beginn der Räumung

Vor dem Beginn der Räumung ab 2031 plant das VBS eine Proberäumung bereits 2023. Diese soll die Kenntnisse zum Zustand und Verteilung der Munition verbessern und ist damit aus Sicht des EMI sinnvoll. Gleichzeitig fehlt aus Sicht des EMI bislang ein Plan für den Fall, dass bei der Proberäumung größere Mengen an zündfähiger und massendetonationsfähiger Munition entdeckt werden, und damit eine Beantwortung der Fragen:

- Ab welcher Fundsituation (Munitionsmenge, -verteilung und Rückschluss auf weitere Vorkommen) müssen unbeteiligte Dritte evakuiert und die Verkehrsträger gesperrt werden?
- Wohin wird die Munition entsorgt, wenn bislang nur vermutet wird, welche Mengen auftreten?
- Ab welcher Munitionsmenge muss die Risikoanalyse davon ausgehen, dass die bislang vermutete Eintrittswahrscheinlichkeit nicht mehr dem angenommenen Ist-Zustand entspricht?

Ab spätestens 2031 ist geplant, die Bevölkerung aus Mitholz zu evakuieren. Relevant für die Risikobewertung nach StFV [2] sind weiterhin Verkehrsteilnehmer sowie Arbeiter, die nicht unmittelbar mit der Räumung der Munition in Verbindung stehen. Mit einer wirksamen Realisation der Schutzbauten bis 2030 und

der Evakuierung ergeben sich planungsgemäß keine störfallrelevanten Risiken mehr.

6.5.5 Option Überdeckung

Die »Option Überdeckung« wird vom VBS weiterverfolgt, um im Fall, dass die Räumung nicht fortgesetzt werden kann, eine Alternative zur Risikominimierung zu haben. Durch die Überdeckung sollen die Auswirkungen einer möglichen Umsetzung von Munition soweit minimiert werden, dass das Risiko nach StFV akzeptabel ist.

Bei der Berechnung der Risikoentwicklung innerhalb der VBS RA 2020 werden für die Option Überdeckung – wie in der gesamten VBS RA 2020 – die Eintrittswahrscheinlichkeiten zu unterschiedlichen Zeitpunkten (Überdeckungshöhen) ohne Beleg abgeschätzt. Gemäß VBS RA 2020 kommt die Option Überdeckung ohne Schutzmaßnahmen für die Verkehrswege und mit grundsätzlicher Anwesenheit der Bevölkerung aus. Aus Sicht des EMI sind solche Aussagen mit derzeitigem Kenntnisstand zu pauschal und verfrüht. Weiterhin wären die Aussagen mit dem Fortschritt der Räumarbeiten zu koppeln, die ja per Definition beginnen und da nur bei einem Abbruch der Räumarbeiten auf die Option Überdeckung umgeschwenkt wird. Falls mit der Option Überdeckung zu einem Zeitpunkt begonnen wird, an dem das Risiko noch im Übergangsbereich oder im nicht-akzeptablen Bereich nach StFV liegt, bedeutet der Beginn der Überdeckungsarbeiten eine Manipulation am Fels, die nicht zu einer weiteren Erhöhung des Risikos führen darf. Für diesen Fall fehlt bislang ein Evakuierungskonzept.

Auch die Option Überdeckung geht von einer Verfüllung der Hohlräume vor Beginn der Realisierung aus [4]. Hier sind aus Sicht des EMI die bereits in Abschnitt 6.5.2 erwähnten offenen Punkte zu klären, um Konsequenzen für die Risikoentwicklung belegbar aufzeigen zu können.

6.6 Evakuierungsszenarien

Die in Abschnitt 4.5 aus Phase II der Variantenevaluation geforderte Definition von Evakuierungsszenarien ist in der VBS RA 2020 nicht enthalten. Dort wird genannt, dass Evakuierungsszenarien »im Zuge der weiteren Planung- und Projektierungsarbeiten in den folgenden Jahren erarbeitet« würden. »Bis zur Räumung 2030 (auch bei der Option Überdeckung) wird mit kurzfristigen Evakuierungen resp. Sperrungen der Verkehrswege gerechnet« (S. 66, [5]). In Anbetracht der ungeklärten Fragestellungen auch vor Beginn der Räumung hält das EMI solche Aussagen für zu pauschal und verfrüht. Auch eine Aussage, dass beim Fund »größerer Munitionsmengen« die Arbeiten »unterbrochen« werden

müssten und erst dann fortgeführt werden, »wenn die dafür erforderlichen Schutzmaßnahmen umgesetzt sind und die Risikoanalyse eine anderslautende Beurteilung ergibt« [4] erscheint zu unspezifisch, um konkret tätig zu werden.

Insbesondere mit Blick auf die Manipulationen am Fels und die Proberäumung erscheint es sinnvoll, bereits frühzeitig festzulegen, ab welchem Zeitpunkt bzw. welcher Kenntnislage zu Munitionsmengen, Munitionsverteilung und Munitionszustand, das Risiko erneut zu bewerten ist und konsequenterweise ggf. evakuiert werden muss. Hilfreich hierbei kann die Erstellung eines Pflichtheftes, gekoppelt an den in Abschnitt 4.5 genannten Entscheidungsbaum, sein.

6.7 Fazit und Empfehlungen

Die Betrachtung der VBS RA 2020 [5] und des Berichtes zur Phase III der Variantenevaluation [4] hat gezeigt, dass die Risikoanalyse nachvollziehbar und – unter Voraussetzung der Richtigkeit der zu Grunde gelegten Annahmen – korrekt durchgeführt worden ist. Die der VBS RA 2020 zu Grunde liegenden neuen Untersuchungsergebnisse bestätigen weitestgehend den bisherigen Kenntnisstand bezüglich Zustand der Zünder, Zustand der Anlage und Verteilung der Munition (die weiterhin unbekannt ist). Die Initiierungswahrscheinlichkeiten aus sympathetischer Detonationsübertragung müssen im Lichte der Ergebnisse aus den numerischen Simulationen und zugehörigen experimentellen Untersuchungen neu betrachtet werden. Eine in Abschnitt 6.3 dargestellte Betrachtung der Eintrittswahrscheinlichkeit auf Grundlage statistischer Verteilungen zeigt, dass das Risiko des Ist-Zustands im nicht-akzeptablen Bereich liegt (Abschnitt 6.4).

Gleichzeitig gibt es offene Punkte, mit denen die zu Grunde liegenden Annahmen belegt werden müssten bzw. die Aussagen der VBS RA 2020 aus Sicht des EMI zu relativieren wären. Dies führt zu folgendem Fazit der Variantenevaluation Phase III und folgenden Empfehlungen:

1. Die gewählten Eintrittswahrscheinlichkeiten beruhen auf Expertenmeinungen und sind nur als solche nachzuvollziehen. Quantifiziert belegbar und zukünftig gesichert nachvollziehbar sind sie nicht und damit auch nicht nachvollziehbar veränderbar, sollten neue Erkenntnisse vorliegen. Ein in Abschnitt 6.3 dargestellter alternativer Modellansatz hat gezeigt, dass bei realistischen Annahmen zur Verteilung der Munition entsprechend dem derzeitigen Kenntnisstand die Eintrittswahrscheinlichkeiten konservativer abgeschätzt werden können und müssen, mit der Folge, dass die Risiken im Ist-Zustand deutlich negativer, d.h. weiterhin als inakzeptabel, bewertet werden müssen, als in der VBS RA 2020 angegeben. Damit entspricht die Bewertung der Risiken, ausgehend vom ehemaligen Munitionslager Mitholz,

weiterhin der Einschätzung aus den vorangegangenen Risikoanalysen [1, 3]: Das Risiko des Ist-Zustands liegt für viele Situationen und Ereignisgrößen deutlich im nicht akzeptablen Bereich.

2. Die dargestellten Vorausmaßnahmen in Form von Pfropfen und dem Hochdrucktor im ausgebauten Teil der Anlage sind sowohl notwendig als auch machbar. Dämme sollten aus Sicht des EMI ebenfalls weiterverfolgt werden, mindestens bis die genaue Ausführungsplanung der vorgenannten Portalverschlüsse bekannt und gesichert ist. Ebenso sollten Netze an den Stellen 5, 7 und der oberen Anlagenebene umgesetzt und an den Stellen 6 und 8 [13] weiter geplant werden, um den Trümmerwurf bei möglichen kleinen Ereignisgrößen zu reduzieren. Unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips der StfV sollten die Vorausmaßnahmen für ein mögliches 20 t Massendetonationsereignis ausgelegt werden.
3. Die Auswirkungen und die Umsetzung der geplanten Hohlraumverfüllung sind bislang unklar. Hiervon abhängig sind jedoch der geplante Abtrag des Dreispitzes und die Einschätzung des Risikos, d.h. der Notwendigkeit einer ggf. notwendigen Evakuierung während der Verfüllung und während des Abtrags. Solange mit diesen Arbeiten am Fels manipuliert wird und damit die Eintrittswahrscheinlichkeit erhöht wird, muss – falls es keine weiteren Schutzmaßnahmen gibt – eine Evakuierung der Bevölkerung und eine Sperrung der Verkehrsträger in Betracht gezogen werden. Die Pfropfen und das Hochdrucktor minimieren nur den Anteil des Stollentrümmerwurfs im Ereignisfall, ein Kratertrümmerwurf ist weiterhin – mit durch den Verfüllvorgang grundsätzlich gesteigerter Eintrittswahrscheinlichkeit – möglich.
4. Die Aussagen zu kurzfristigen Evakuierungen während der Umsetzungsphase 2021 bis 2031 in der VBS RA 2020 erscheinen als zu pauschal und mit Blick auf den aktuellen Kenntnisstand verfrüht. Die Empfehlung aus Abschnitt 4.5 bleibt aktuell, dass vor Beginn der Arbeiten festgelegt werden sollte, in welchen Situationen wo und wie evakuiert wird.
5. In Anbetracht der weiterhin ungeklärten Fragestellungen zur Umsetzung der Räumung mitsamt den für zehn Jahre geplanten Vorarbeiten ist es aus Sicht des EMI sinnvoll, wie bereits in Abschnitt 4.5 genannt, ein Pflichtenheft aufzusetzen, in dem der Vertiefungsbedarf für die nächsten Projektphasen festgehalten wird. An das Pflichtenheft kann ein Entscheidungsbaum gekoppelt werden, der nachvollziehbar aufzeigt, welche neue Erkenntnisse der weitergehenden Untersuchungen zu welcher Konsequenz führt. Damit wären auch Kriterien abgedeckt, die ggf. zu einem Umschwenken von der Räumung auf die Option Überdeckung führen.

6. Mit fortschreitendem Erkenntnisgewinn werden weitere Risikoanalysen notwendig sein, um Entscheidungsgrundlagen für das weitere Handeln zu erhalten. Aus Sicht des EMI ist es sinnvoll, diese Aktualisierungen der Risikobeurteilungen an eben diesen fortschreitenden Erkenntnisgewinn zu koppeln und nicht feste Zeitpunkte unabhängig von neuen Erkenntnissen vorzugeben. Die Kriterien, ab wann eine neue Risikobeurteilung notwendig ist, sollten in dem vorgenannten Pflichtenheft hinterlegt werden.

7 Literaturangaben

- [1] 1051/AA Risikoanalyse. Schlussbericht, VERSION 1.1, Kummer, P. u. Nussbaumer, P., 2018
- [2] Schweizerischer Bundesrat: Verordnung über den Schutz von Störfällen (Störfallverordnung StFV) vom 27. Februar 1991 (Stand 1. Juni 2015). 814.012
- [3] Risikoanalyse ehemaliges Munitionslager Mitholz. Beurteilung der Risikoanalyse 1051/AA, Bericht E 21/19, Schneider, J., Fischer, K., Hess, S., Nau, S., Ramin, M. von u. Stolz, A., Efringen Kirchen 2019
- [4] Ehemaliges Munitionslager Mitholz, Bericht Variantevaluation. Version Vernehmlassung in der Arbeitsgruppe Mitholz vom 19.08.2020, Generalsekretariat VBS, Raum und Umwelt VBS, 2020
- [5] Ehemaliges Munitionslager Mitholz, Risikoanalyse VBS 2020, Generalsekretariat VBS, Raum und Umwelt VBS, Bern 2020
- [6] Zwischenbericht Projekt Variantevaluation Mitholz. Darstellung der Stossrichtungen aus der Variantevaluation Phase I, Entwurfsfassung vom 29.5.2019, Aellig, H., 2019
- [7] Variantevaluation Munitionslager Mitholz: Ziel- und Indikatorensystem und Bewertungsmethodik. Methodische Grundlagen, Ecoplan, Bern 2019
- [8] Air Blast Parameters from TNT Spherical Air Burst and Hemispherical Surface Burst. Technical Report ARBRL-TR-02555, Kingery, C. N. u. Bulmash, G., 1984
- [9] TP16: Methodologies for calculating primary fragment characteristics. incl. Errata Ch 6, Dec. 2017 DDESB Technical Paper 16 Revision 3, Crull M. M., Hamilton, S. D. u. Swisdak, M. M., 2009
- [10] Technische Richtlinien für die Lagerung von Munition (TLM). Teil 2 (Rev 2016) Sicherheitsbeurteilung von Munitionslagern, Generalsekretariat VBS, Informations- und Objektsicherheit IOS, 2017
- [11] Generalsekretariat VBS, Informations- und Objektsicherheit IOS: Dokumentenverzeichnis zur ehemaligen Munitionsanlage Mitholz. Stand 27.6.2018. 2018
- [12] International Standard 31010:2019:2019-06. *Risk management. Risk assessment techniques*, abgerufen am: 20.01.2020
- [13] Vorstudie Schutzbauten als Vorausmassnahmen. Variantevaluation Mitholz 30.01.2020, Generalsekretariat VBS, Raum und Umwelt VBS, Bern 2020
- [14] Initiierung von gepressten TNT Körpern durch Stahlprojekte und Übertragung: Versuch und Simulation, einschl. Vorgängerberichten, Dynamic Phenomena, Cugy 2020
- [15] Armasuisse Mitholz WE 1051. Abbau Dreispitz - Vertiefungsbericht Hohlraumverfüllung, ZS02473.200, CSD Ingenieure AG, Kriens 2020
- [16] Ehemaliges Munitionslager Mitholz, Bericht der Arbeitsgruppe Mitholz. Version Vernehmlassung in der AG Mitholz vom 19.08.2020, Generalsekretariat VBS, Raum und Umwelt VBS, Bern 2020
- [17] Mitholz Expert Workshop (11.-13. February 2020). Minutes, Generalsekretariat VBS, Raum und Umwelt VBS, Bern 2020

- [18] Gunger Engineering, L. L.C.: Evaluation of a 50 kg bomb under sympathetic reaction loading. Report. Niceville, FL 2020
- [19] Mathieu, J.: Ausgangsparameter Zufallsberechnung mögliche Bombencluster. E-Mail. Thun 2020
- [20] Aktennotiz Besprechung Risikoanalyse VBS 2020, 19. August 2020, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Gefahrenprävention, Ittigen 2020

8 Anhang 1: Grobbewertung Maßnahmenvarianten und Sofortmaßnahmen (Präsentation vom 5.6.2019)

Grobbewertung Maßnahmenvarianten und Sofortmaßnahmen Mitholz,
Präsentation Ittigen, 5.6.2019

➔ siehe Anlage Berichtsende ab S. 72

9 Anhang 2: Abschätzung Energiegehalt Trümmer Mitholz 1947

Revidierte Berechnung vom 22.März 2021

```
% Fragment-Flug
% Input
m=[3000 4000 5000]; %Massenklassen kg
v=[50 70]; %Geschwindigkeitsklassen m/s
a=[10:10:40]; % Bereich Abgangswinkel °
lh=0; %launch height
t=0.01;
rho_s=1800; %Fragmentdichte kg/m3 Fels
%rho_s=7903; %Fragmentdichte kg/m3 Steel
rho_air = 1.2253; % Dichte der Luft in kg/m³
% Calculation
```

mass	launch_vel	launch_ang	max_hordist	max_height	impact_vel	impact_energy
3000	50	10	85.978	3.807	48.702	3.5579e+06
3000	50	20	158.48	14.646	47.733	3.4177e+06
3000	50	30	210.75	31.078	47.226	3.3455e+06
3000	50	40	237.42	51.075	47.142	3.3336e+06
3000	70	10	165.09	7.3941	66.443	6.6219e+06
3000	70	20	300.44	28.219	63.963	6.1369e+06
3000	70	30	395.04	59.485	62.742	5.9048e+06
3000	70	40	441.49	97.265	62.576	5.8736e+06
4000	50	10	86.084	3.8102	48.818	4.7664e+06
4000	50	20	158.84	14.669	47.923	4.5932e+06
4000	50	30	211.41	31.146	47.439	4.501e+06
4000	50	40	238.65	51.213	47.393	4.4922e+06
4000	70	10	165.49	7.4063	66.749	8.9109e+06
4000	70	20	302.36	28.306	64.465	8.3115e+06
4000	70	30	397.9	59.738	63.298	8.0133e+06
4000	70	40	445.44	97.767	63.138	7.9728e+06
5000	50	10	86.159	3.8124	48.901	5.9782e+06
5000	50	20	159.55	14.685	48.087	5.781e+06
5000	50	30	212.29	31.196	47.638	5.6733e+06
5000	50	40	239.28	51.312	47.532	5.6482e+06
5000	70	10	165.78	7.4149	66.969	1.1212e+07
5000	70	20	303.31	28.368	64.812	1.0502e+07
5000	70	30	400.11	59.92	63.715	1.0149e+07
5000	70	40	448.58	98.128	63.579	1.0106e+07

10 Anhang 3: Ermittlung der Risikowerte 2020

Berechnung kollektives Risiko				Q _{NRT} [kg] = 1				Σ SD = 1,0000		Situations (AKZ = OKZ * PF)																	
Donor				Betriebsdauer = -				Objektanteile an		1 Arbeit		2 Freiz.&Pend.		3 Nacht		4 Wochenendt.		1a Bahn									
Nr.	Bezeichnung	PKZ []	Risiko Gruppe γ UD	Expo Art	Distanz [m]	Letalität λ	OKZ = PKZ * λ	R _{IE}	R _{SE}	SD = 0,2064		SD = 0,1500		SD = 0,4400		SD = 0,1400		SD = 0,0036									
										PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ								
1	Büro Kieswerk	20	UD	1	Geb./FF	0,1%	0,02	0,0054	0,0060	1,0000	0,020	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000	0,0000	0,000	0,5000	0,010					
2	Schulhaus (Vereine)	25	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0	0,1000	0,000	0,4000	0,000	0,0000	0,000	0,1667	0,000	0,2000	0,000	0,000	0,000	0,000					
2	Schulhaus (Wohnen)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
3	Restaurant (Gäste)	30	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,1111	0,000	0,4000	0,000	0,0000	0,000	0,3333	0,000	0,4000	0,000	0,4000	0,000	0,000					
3	Restaurant (Wohnen+A)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
3	Restaurant (Arbeiten)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,5000	0,000	0,9000	0,000	0,0000	0,000	0,3600	0,000	0,5000	0,000	0,5000	0,000	0,000					
4	Wohnhaus	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
5	3 Wohnhäuser	8	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
6	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	1,0%	0,02	0,0178	0,0200	0,7000	0,014	0,8000	0,016	1,0000	0,020	1,0000	0,020	0,8000	0,016	0,8000	0,016	0,000					
7	Wohnhaus	1	UD	1	Geb.	1,0%	0,01	0,0089	0,0100	0,7000	0,007	0,8000	0,008	1,0000	0,010	1,0000	0,010	0,8000	0,008	0,8000	0,008	0,000					
8	Wohnhaus gross	4	UD	1	Geb.	1,0%	0,04	0,0356	0,0400	0,7000	0,028	0,8000	0,032	1,0000	0,040	1,0000	0,040	0,8000	0,032	0,8000	0,032	0,000					
9	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	1,0%	0,02	0,0178	0,0200	0,7000	0,014	0,8000	0,016	1,0000	0,020	1,0000	0,020	0,8000	0,016	0,8000	0,016	0,000					
10	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	1,0%	0,03	0,0267	0,0300	0,7000	0,021	0,8000	0,024	1,0000	0,030	1,0000	0,030	0,8000	0,024	0,8000	0,024	0,000					
11	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
12	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	1,0%	0,03	0,0267	0,0300	0,7000	0,021	0,8000	0,024	1,0000	0,030	1,0000	0,030	0,8000	0,024	0,8000	0,024	0,000					
13	2 Wohnhäuser (bewohnt)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
13	Ferienhaus	8	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,4000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	0,6000	0,000	0,9450	0,000	0,9450	0,000	0,000					
14	Wohnhaus	4	UD	1	Geb.	10,0%	0,40	0,3557	0,3997	0,7000	0,280	0,8000	0,320	1,0000	0,400	1,0000	0,400	0,8000	0,320	0,8000	0,320	0,000					
15a	4 Wohnhäuser	12	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
16	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
17a	2 Wohnhäuser	7,0	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
18a	3 Wohnhäuser	7,0	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
19	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
23	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
24	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
25	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
26	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
27	Wohnhaus (Neu)	6	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
28	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
29	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
30	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
31	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
32	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
33	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
34	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,8000	0,000	0,000					
20	Bahn	65	UD	1	FF	<50%	5,53	0,0199	0,0495	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	5,530	0,000					
21	Strasse	10000	UD	1	FF	<100%	3,35	0,2646	0,3062	0,1	0,335	0,1	0,335	0,02	0,067	0,2	0,67	0,15	0,5025	0,000	0,5025	0,000	0,000				
22	Freifeld	5	UD	1	FF	<100%	0,06	0,0511	0,0593	1,0000	0,060	2,0000	0,120	0,0000	0,000	2,0000	0,120	1,5000	0,090	1,5000	0,090	0,000					
Tatsächliches kollektives Risiko im Ereignisfall R _{IE}								/ Tatsächliches Situationsausmass A _s		0,8301	= R _{SE}	0,800	0,895	0,617	1,340	6,573											
Empfundenes kollektives Risiko im Ereignisfall R _{SE}								/ Aversionsfaktor a _v		R _{SE} =	0,9706	1,12	1,13	1,09	1,20	2,49											
Wahrscheinlichkeit W _{LKU} [1/a]								/ Wahrscheinlichkeitsfaktor η _{BP}		W _{LKU} =	2,00E-03	1	1	1	1	1											
Tatsächliches kollektives Risiko R _i [1/a]								/ Situationanteil an R _{SE}		1,66E-03	= R _i	0,2131	0,1343	0,2715	0,1876	0,0237											
Empfundenes kollektives Risiko R _e * [1/a]								/ Situationanteil an R _{SE}		R _e * =	1,94E-03	0,2381	0,1520	0,2957	0,2259	0,0588											
Grenzkosten für unbeteiligte Dritte (UD) [CHF]										3,00E+07																	
Max. Kosten für Sicherheitsmassnahmen [CHF/a]										58234																	
* Risikogruppenbereinigt																											
Input zu Donor																											
Input zu exponierten Objekten																											

Abbildung 13: Berechnung kollektives Risiko nach StFV für ein 1 t Szenario bei 25.2 t NEM Verteilmenge vor Kammer V.

Berechnung kollektives Risiko				Q _{NR} [kg] = 3			Σ SD = 1,0000		Situationen (AKZ = OKZ * PF)												
Donor	Objekt	IST 2020	Betriebsdauer =			Objektanteile an		1 Arbeit		2 Freiz.&Pend.		3 Nacht		4 Wochenendt.		1a Bahn					
			Expo Art	Distanz [m]	Letalität λ	OKZ = PKZ * λ	R _E	R _{*E}	SD = 0,2655	AKZ	SD = 0,1500	AKZ	SD = 0,4400	AKZ	SD = 0,1400	AKZ	SD = 0,0045	AKZ			
Nr.	Bezeichnung	PKZ []	Gruppe	γ UD				O ₁	O ₂	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ		
1	Büro Kieswerk	20	UD	1	Geb./FF	2,0%	0,40	0,1071	0,1919	1,0000	0,400	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,200		
2	Schulhaus (Vereine)	25	UD	1	Geb.	1,1%	0,28	0,0305	0,0570379	0,1000	0,028	0,4000	0,110	0,0000	0,000	0,1667	0,046	0,2000	0,055		
2	Schulhaus (Wohnen)	3	UD	1	Geb.	1,1%	0,03	0,0294	0,0467169	0,7000	0,023	0,8000	0,026	1,0000	0,033	1,0000	0,033	0,8000	0,026		
3	Restaurant (Gäste)	30	UD	1	Geb.	0,1%	0,03	0,0041	0,0086	0,1111	0,003	0,4000	0,012	0,0000	0,040	0,3333	0,010	0,4000	0,012		
3	Restaurant (Wohnen+A)	2	UD	1	Geb.	0,1%	0,00	0,0018	0,0028	0,7000	0,001	0,8000	0,002	1,0000	0,002	1,0000	0,002	0,8000	0,002		
3	Restaurant (Arbeiten)	4	UD	1	Geb.	0,2%	0,01	0,0026	0,0047	0,5000	0,004	0,9000	0,007	0,0000	0,000	0,3600	0,003	0,5000	0,004		
4	Wohnhaus	4	UD	1	Geb.	1,1%	0,04	0,0391	0,0623	0,7000	0,031	0,8000	0,035	1,0000	0,044	1,0000	0,044	0,8000	0,035		
5	3 Wohnhäuser	8	UD	1	Geb.	1,1%	0,09	0,0783	0,1246	0,7000	0,062	0,8000	0,070	1,0000	0,088	1,0000	0,088	0,8000	0,070		
6	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	2,0%	0,04	0,0356	0,0566	0,7000	0,028	0,8000	0,032	1,0000	0,040	1,0000	0,040	0,8000	0,032		
7	Wohnhaus	1	UD	1	Geb.	10,1%	0,10	0,0898	0,1430	0,7000	0,071	0,8000	0,081	1,0000	0,101	1,0000	0,101	0,8000	0,081		
8	Wohnhaus gross	4	UD	1	Geb.	1,1%	0,04	0,0391	0,0623	0,7000	0,031	0,8000	0,035	1,0000	0,044	1,0000	0,044	0,8000	0,035		
9	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	10,0%	0,20	0,1779	0,2831	0,7000	0,140	0,8000	0,160	1,0000	0,200	1,0000	0,200	0,8000	0,160		
10	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	1,1%	0,03	0,0294	0,0467	0,7000	0,023	0,8000	0,026	1,0000	0,033	1,0000	0,033	0,8000	0,026		
11	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	2,0%	0,04	0,0356	0,0566	0,7000	0,028	0,8000	0,032	1,0000	0,040	1,0000	0,040	0,8000	0,032		
12	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	2,1%	0,06	0,0560	0,0892	0,7000	0,044	0,8000	0,050	1,0000	0,063	1,0000	0,063	0,8000	0,050		
13	2 Wohnhäuser (bewohnt)	2	UD	1	Geb.	1,1%	0,02	0,0196	0,0311	0,7000	0,015	0,8000	0,018	1,0000	0,022	1,0000	0,022	0,8000	0,018		
13	Ferienhaus	8	UD	1	Geb.	1,1%	0,09	0,0660	0,0946	0,4000	0,035	0,8000	0,070	1,0000	0,088	0,6000	0,053	0,0450	0,004		
14	Wohnhaus	4	UD	1	Geb.	10,9%	0,44	0,3878	0,6172	0,7000	0,305	0,8000	0,349	1,0000	0,436	1,0000	0,436	0,8000	0,349		
15a	4 Wohnhäuser	12	UD	1	Geb.	1,1%	0,13	0,1174	0,1869	0,7000	0,092	0,8000	0,106	1,0000	0,132	1,0000	0,132	0,8000	0,106		
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000		
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000		
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000		
16	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	0,1%	0,00	0,0018	0,0028	0,7000	0,001	0,8000	0,002	1,0000	0,002	1,0000	0,002	0,8000	0,002		
17a	2 Wohnhäuser	7,0	UD	1	Geb.	0,2%	0,01	0,0125	0,0198	0,7000	0,010	0,8000	0,011	1,0000	0,014	1,0000	0,014	0,8000	0,011		
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000		
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000		
18a	3 Wohnhäuser	7,0	UD	1	Geb.	0,1%	0,01	0,0062	0,0099	0,7000	0,005	0,8000	0,006	1,0000	0,007	1,0000	0,007	0,8000	0,006		
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000		
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000		
19	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000		
23	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000		
24	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000		
25	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000		
26	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000		
27	Wohnhaus (Neu)	6	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000		
28	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000		
29	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000		
30	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000		
31	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000		
32	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000		
33	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000		
34	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000		
20	Bahn	65	UD	1	FF	<50%	28,17	0,1268	4,0629	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	1,0000	28,170		
21	Strasse	10000	UD	1	FF	<100%	15,60	1,2328	2,3602	0,1	1,56	0,1	1,56	0,02	0,312	0,2	3,12	0,15	2,34		
22	Freifeld	5	UD	1	FF	<100%	0,15	0,1278	0,2448	1,0000	0,150	2,0000	0,300	0,0000	0,000	2,0000	0,300	1,5000	0,225		
Tatsächliches kollektives Risiko im Ereignisfall R _E								/ Tatsächliches Situationsausmass A _s		= R _E		= 3,091		= 1,701		= 4,833		= 32,051			
Empfundenes kollektives Risiko im Ereignisfall R _{*E}								/ Aversionsfaktor φ		= R _{*E}		= 8,8665		= 1,53		= 1,54		= 1,27		= 1,95	
Wahrscheinlichkeit W _{LKU} [1/a]								/ Wahrscheinlichkeitsfaktor η _{BP}		= W _{LKU}		= 9E-04		= 1		= 1		= 1		= 1	
Tatsächliches kollektives Risiko R _i [1/a]								/ Situationanteil an R _E		= R _i		= 2,60E-03		= 0,8206		= 0,4651		= 0,7484		= 0,6766	
Empfundenes kollektives Risiko R _{*i} [1/a]								/ Situationanteil an R _{*E}		= R _{*i}		= 8E-03		= 1,2595		= 0,7140		= 0,9497		= 1,3224	
Grenzkosten für unbeteiligte Dritte (UD) [CHF]										= 3,00E+07										Check: Summe Situationsanteile R _E = Summe O _i = R _E = 2,8549	
Max. Kosten für Sicherheitsmassnahmen [CHF/a]										= 241812										Check: Summe Situationsanteile R _{*E} = Summe O _{*i} = R _{*E} = 8,8683	

* Risikogruppenbereinigt
Input zu Donor
Input zu exponierten Objekten

Abbildung 14: Berechnung kollektives Risiko nach StFV für ein 3 t Szenario bei 25.2 t NEM Verteilmenge vor Kammer V.

Berechnung kollektives Risiko				Q _{nr} [kg] = 10		Σ SD = 1,0000		Situationen (AKZ = OKZ * PF)															
Donor	Objekt	PKZ	IST 2020	Betriebsdauer =		Objektanteile an		1 Arbeit		2 Freiz.&Pend.		3 Nacht		4 Wochenendt.		1a Bahn							
				Expo Art	Distanz [m]	Letalität λ	OKZ = PKZ * λ	R _{IE}	R _{*IE}	SD = 0,2643	AKZ	SD = 0,1500	AKZ	SD = 0,4400	AKZ	SD = 0,1400	AKZ	SD = 0,0057	AKZ				
Nr.	Bezeichnung	[]	Gruppe	γ UD				O ₁	O ₂	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ				
1	Büro Kieswerk	20	UD	1	Geb./FF	15,0%	3,00	0,8015	7,2633	1,0000	3,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000	0,5000	1,500			
2	Schulhaus (Vereine)	25	UD	1	Geb.	2,0%	0,50	0,0555	0,5897826	0,1000	0,050	0,4000	0,200	0,0000	0,000	0,1667	0,083	0,2000	0,100				
2	Schulhaus (Wohnen)	3	UD	1	Geb.	11,0%	0,33	0,2936	2,3557657	0,7000	0,231	0,8000	0,264	1,0000	0,330	1,0000	0,330	0,8000	0,264				
3	Restaurant (Gäste)	30	UD	1	Geb.	1,0%	0,30	0,0415	0,5206	0,1111	0,033	0,4000	0,120	0,0000	0,000	0,3333	0,100	0,4000	0,120				
3	Restaurant (Wohnen+A)	2	UD	1	Geb.	1,0%	0,02	0,0178	0,1428	0,7000	0,014	0,8000	0,016	1,0000	0,020	1,0000	0,020	0,8000	0,016				
3	Restaurant (Arbeiten)	4	UD	1	Geb.	2,0%	0,08	0,0256	0,2593	0,5000	0,040	0,9000	0,072	0,0000	0,000	0,3600	0,029	0,5000	0,040				
4	Wohnhaus	4	UD	1	Geb.	11,0%	0,44	0,3914	3,1410	0,7000	0,308	0,8000	0,352	1,0000	0,440	1,0000	0,440	0,8000	0,352				
5	3 Wohnhäuser	8	UD	1	Geb.	11,0%	0,88	0,7828	6,2820	0,7000	0,616	0,8000	0,704	1,0000	0,880	1,0000	0,880	0,8000	0,704				
6	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	11,0%	0,22	0,1957	1,5705	0,7000	0,154	0,8000	0,176	1,0000	0,220	1,0000	0,220	0,8000	0,176				
7	Wohnhaus	1	UD	1	Geb.	51,0%	0,51	0,4537	3,6407	0,7000	0,357	0,8000	0,408	1,0000	0,510	1,0000	0,510	0,8000	0,408				
8	Wohnhaus gross	4	UD	1	Geb.	11,0%	0,44	0,3914	3,1410	0,7000	0,308	0,8000	0,352	1,0000	0,440	1,0000	0,440	0,8000	0,352				
9	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	10,0%	0,20	0,1779	1,4277	0,7000	0,140	0,8000	0,160	1,0000	0,200	1,0000	0,200	0,8000	0,160				
10	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	10,0%	0,30	0,2669	2,1416	0,7000	0,210	0,8000	0,240	1,0000	0,300	1,0000	0,300	0,8000	0,240				
11	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	11,0%	0,22	0,1957	1,5705	0,7000	0,154	0,8000	0,176	1,0000	0,220	1,0000	0,220	0,8000	0,176				
12	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	12,0%	0,36	0,3202	2,5699	0,7000	0,252	0,8000	0,288	1,0000	0,360	1,0000	0,360	0,8000	0,288				
13	2 Wohnhäuser (bewohnt)	2	UD	1	Geb.	11,0%	0,22	0,1957	1,5705	0,7000	0,154	0,8000	0,176	1,0000	0,220	1,0000	0,220	0,8000	0,176				
13	Ferienhaus	8	UD	1	Geb.	11,0%	0,88	0,6600	4,4721	0,4000	0,352	0,8000	0,704	1,0000	0,880	0,6000	0,528	0,0450	0,040				
14	Wohnhaus	4	UD	1	Geb.	55,0%	2,20	1,9571	5,7051	0,7000	1,540	0,8000	1,760	1,0000	2,200	1,0000	2,200	0,8000	1,760				
15a	4 Wohnhäuser	12	UD	1	Geb.	11,0%	1,32	1,1742	9,4231	0,8000	0,924	0,8000	1,056	1,0000	1,320	1,0000	1,320	0,8000	1,056				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
16	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	1,0%	0,02	0,0178	0,1428	0,7000	0,014	0,8000	0,016	1,0000	0,020	1,0000	0,020	0,8000	0,016				
17a	2 Wohnhäuser	7,0	UD	1	Geb.	1,0%	0,07	0,0623	0,4997	0,7000	0,049	0,8000	0,056	1,0000	0,070	1,0000	0,070	0,8000	0,056				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
18a	3 Wohnhäuser	7,0	UD	1	Geb.	1,0%	0,07	0,0623	0,4997	0,7000	0,049	0,8000	0,056	1,0000	0,070	1,0000	0,070	0,8000	0,056				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
19	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
23	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
24	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
25	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
26	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
27	Wohnhaus (Neu)	6	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
28	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
29	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
30	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
31	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
32	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
33	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
34	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
20	Bahn	65	UD	1	FF	<50%	59,58	0,3396	26,1996	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	1,0000	59,580				
21	Strasse	10000	UD	1	FF	<100%	58,61	4,6352	56,2569	0,1	5,861	0,1	5,861	0,02	1,1722	0,2	11,722	0,15	8,7915				
22	Freifeld	5	UD	1	FF	<100%	0,48	0,4094	4,9549	1,0000	0,480	2,0000	0,960	0,0000	0,000	2,0000	0,960	1,5000	0,720				
Tatsächliches kollektives Risiko im Ereignisfall R _{IE} / Tatsächliches Situationsausmass A _s								13,9246	= R _{IE}			15,290		14,173		9,872		21,242		77,147			
Empfundenes kollektives Risiko im Ereignisfall R _{*IE} / Aversionsfaktor φ								R _{*IE} =	156,3411			8,33		7,13		3,93		19,01		77,15			
Wahrscheinlichkeit W _{LKU} [1/a]								W _{LKU} =	7E-04			1		1		1		1		1			
Tatsächliches kollektives Risiko R _s [1/a]								9,28E-03	= R _s			4,0412		2,1260		4,3438		2,9739		0,4397			
Empfundenes kollektives Risiko R _{*s} [1/a]								R _{*s} =	1E-01			33,6576		15,1311		17,1391		56,5534		33,9245			
Grenzkosten für unbeteiligte Dritte (UD) [CHF]								3,00E+07														13,9246	
Max. Kosten für Sicherheitsmassnahmen [CHF/a]									3126822														156,4058

* Risikogruppenbereinigt
 Input zu Donor
 Input zu exponierten Objekten

Abbildung 15: Berechnung kollektives Risiko nach StFV für ein 10 t Szenario bei 25.2 t NEM Verteilmenge vor Kammer V.

Berechnung kollektives Risiko				Q _{nr} [kg] = 1		Σ SD = 1,0000		Situationen (AKZ = OKZ * PF)															
Donor	Objekt	PKZ	IST 2020	Betriebsdauer =			Objektanteile an		1 Arbeit		2 Freiz.&Pend.		3 Nacht		4 Wochenendt.		1a Bahn						
				Expo Art	Distanz [m]	Letalität λ	OKZ = PKZ * λ	R _{IE}	R _{*IE}	SD =	AKZ	SD =	AKZ	SD =	AKZ	SD =	AKZ	SD =	AKZ				
Nr.	Bezeichnung	[]	Gruppe	γ UD				O ₁	O ₂	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ				
1	Büro Kieswerk	20	UD	1	Geb./FF	0,1%	0,02	0,0054	0,0060	1,0000	0,020	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000			
2	Schulhaus (Vereine)	25	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0	0,1000	0,000	0,4000	0,000	0,0000	0,000	0,1667	0,000	0,2000	0,000	0,000			
2	Schulhaus (Wohnen)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,000			
3	Restaurant (Gäste)	30	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,1111	0,000	0,4000	0,000	0,0000	0,000	0,3333	0,000	0,4000	0,000	0,000			
3	Restaurant (Wohnen+A)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,000			
3	Restaurant (Arbeiten)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,5000	0,000	0,9000	0,000	0,0000	0,000	0,3600	0,000	0,5000	0,000	0,000			
4	Wohnhaus	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,000			
5	3 Wohnhäuser	8	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,000			
6	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	1,0%	0,02	0,0178	0,0200	0,7000	0,014	0,8000	0,016	1,0000	0,020	1,0000	0,020	0,8000	0,016	0,016			
7	Wohnhaus	1	UD	1	Geb.	1,0%	0,01	0,0089	0,0100	0,7000	0,007	0,8000	0,008	1,0000	0,010	1,0000	0,010	0,8000	0,008	0,008			
8	Wohnhaus gross	4	UD	1	Geb.	1,0%	0,04	0,0356	0,0400	0,7000	0,028	0,8000	0,032	1,0000	0,040	1,0000	0,040	0,8000	0,032	0,032			
9	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	1,0%	0,02	0,0178	0,0200	0,7000	0,014	0,8000	0,016	1,0000	0,020	1,0000	0,020	0,8000	0,016	0,016			
10	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	1,0%	0,03	0,0267	0,0300	0,7000	0,021	0,8000	0,024	1,0000	0,030	1,0000	0,030	0,8000	0,024	0,024			
11	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,000			
12	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	1,0%	0,03	0,0267	0,0300	0,7000	0,021	0,8000	0,024	1,0000	0,030	1,0000	0,030	0,8000	0,024	0,024			
13	2 Wohnhäuser (bewohnt)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,000			
13	Ferienhaus	8	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,4000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	0,6000	0,000	0,0450	0,000	0,000			
14	Wohnhaus	4	UD	1	Geb.	10,0%	0,40	0,3557	0,3997	0,7000	0,280	0,8000	0,320	1,0000	0,400	1,0000	0,400	0,8000	0,320	0,320			
15a	4 Wohnhäuser	12	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,000			
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000			
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000			
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000			
16	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,000			
17a	2 Wohnhäuser	7,0	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,000			
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000			
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000			
18a	3 Wohnhäuser	7,0	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,000			
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000			
			UD	1	Geb.			0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000			
19	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000	0,000			
23	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000			
24	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000			
25	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000			
26	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000			
27	Wohnhaus (Neu)	6	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000			
28	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000			
29	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000			
30	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000			
31	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000			
32	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000			
33	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000			
34	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000			
20	Bahn	65	UD	1	FF	<50%	5,53	0,0199	0,0495	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	1,0000	5,530	5,530			
21	Strasse	10000	UD	1	FF	<100%	3,35	0,2646	0,3062	0,1	0,335	0,1	0,335	0,02	0,067	0,2	0,67	0,15	0,5025	0,5025			
22	Freifeld	5	UD	1	FF	<100%	0,06	0,0511	0,0593	1,0000	0,060	2,0000	0,120	0,0000	0,000	2,0000	0,120	1,5000	0,090	0,090			
Tatsächliches kollektives Risiko im Ereignisfall R _{IE}								/ Tatsächliches Situationsausmass A _s		0,8301 = R _{IE}		0,800		0,895		0,617		1,340		6,573			
Empfundenes kollektives Risiko im Ereignisfall R* _{IE}								/ Aversionsfaktor φ		R* _{IE} = 0,9706		1,12		1,13		1,09		1,20		2,49			
Wahrscheinlichkeit W _{LUU} [1/a]								/ Wahrscheinlichkeitsfaktor η _{BP}		W _{LUU} = 2,00E-03		1		1		1		1		1			
Tatsächliches kollektives Risiko R _s [1/a]								/ Situationanteil an R _{IE}		1,66E-03 = R _s		0,2131		0,1343		0,2715		0,1876		0,0237			
Empfundenes kollektives Risiko R* _s [1/a]								/ Situationanteil an R* _{IE}		R* _s = 2E-03		0,2381		0,1520		0,2957		0,2259		0,0588			
Grenzkosten für unbeteiligte Dritte (UD) [CHF]										3,00E+07												Check: Summe Situationsanteile R _{IE} = Summe O ₁ = R _{IE} = 0,8301	
Max. Kosten für Sicherheitsmassnahmen [CHF/a]										58234												Check: Summe Situationsanteile R* _{IE} = Summe O ₂ = R* _{IE} = 0,9706	

* Risikogruppenbereinigt
Input zu Donor
Input zu exportierten Objekten

Abbildung 16: Berechnung kollektives Risiko nach StFV für ein 1 t Szenario bei 17 t NEM Verteilmenge vor Kammer V.

Berechnung kollektives Risiko				Q _{nr} [kg] = 3		Σ SD = 1,0000		Situationen (AKZ = OKZ * PF)															
Donor	Objekt	PKZ	IST 2020	Betriebsdauer =		Objektanteile an		1 Arbeit		2 Freiz.&Pend.		3 Nacht		4 Wochenendt.		1a Bahn							
				Expo Art	Distanz [m]	Letalität λ	OKZ = PKZ * λ	R _{IE}	R _{IE}	SD = 0,2655	AKZ	SD = 0,1500	AKZ	SD = 0,4400	AKZ	SD = 0,1400	AKZ	SD = 0,0045	AKZ				
Nr.	Bezeichnung	[]	Gruppe	γ UD				O ₁	O ₂	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ				
1	Büro Kieswerk	20	UD	1	Geb./FF	2,0%	0,40	0,1071	0,1919	1,0000	0,400	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,200				
2	Schulhaus (Vereine)	25	UD	1	Geb.	1,1%	0,28	0,0305	0,0570379	0,1000	0,028	0,4000	0,110	0,0000	0,000	0,1667	0,046	0,2000	0,055				
2	Schulhaus (Wohnen)	3	UD	1	Geb.	1,1%	0,03	0,0294	0,0467169	0,7000	0,023	0,8000	0,026	1,0000	0,033	1,0000	0,033	0,8000	0,026				
3	Restaurant (Gäste)	30	UD	1	Geb.	0,1%	0,03	0,0041	0,0086	0,1111	0,003	0,4000	0,012	0,0000	0,040	0,3333	0,010	0,4000	0,012				
3	Restaurant (Wohnen+A)	2	UD	1	Geb.	0,1%	0,00	0,0018	0,0028	0,7000	0,001	0,8000	0,002	1,0000	0,002	1,0000	0,002	0,8000	0,002				
3	Restaurant (Arbeiten)	4	UD	1	Geb.	0,2%	0,01	0,0026	0,0047	0,5000	0,004	0,9000	0,007	0,0000	0,000	0,3600	0,003	0,5000	0,004				
4	Wohnhaus	4	UD	1	Geb.	1,1%	0,04	0,0391	0,0623	0,7000	0,031	0,8000	0,035	1,0000	0,044	1,0000	0,044	0,8000	0,035				
5	3 Wohnhäuser	8	UD	1	Geb.	1,1%	0,09	0,0783	0,1246	0,7000	0,062	0,8000	0,070	1,0000	0,088	1,0000	0,088	0,8000	0,070				
6	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	2,0%	0,04	0,0356	0,0566	0,7000	0,028	0,8000	0,032	1,0000	0,040	1,0000	0,040	0,8000	0,032				
7	Wohnhaus	1	UD	1	Geb.	10,1%	0,10	0,0898	0,1430	0,7000	0,071	0,8000	0,081	1,0000	0,101	1,0000	0,101	0,8000	0,081				
8	Wohnhaus gross	4	UD	1	Geb.	1,1%	0,04	0,0391	0,0623	0,7000	0,031	0,8000	0,035	1,0000	0,044	1,0000	0,044	0,8000	0,035				
9	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	10,0%	0,20	0,1779	0,2831	0,7000	0,140	0,8000	0,160	1,0000	0,200	1,0000	0,200	0,8000	0,160				
10	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	1,1%	0,03	0,0294	0,0467	0,7000	0,023	0,8000	0,026	1,0000	0,033	1,0000	0,033	0,8000	0,026				
11	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	2,0%	0,04	0,0356	0,0566	0,7000	0,028	0,8000	0,032	1,0000	0,040	1,0000	0,040	0,8000	0,032				
12	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	2,1%	0,06	0,0560	0,0892	0,7000	0,044	0,8000	0,050	1,0000	0,063	1,0000	0,063	0,8000	0,050				
13	2 Wohnhäuser (bewohnt)	2	UD	1	Geb.	1,1%	0,02	0,0196	0,0311	0,7000	0,015	0,8000	0,018	1,0000	0,022	1,0000	0,022	0,8000	0,018				
13	Ferienhaus	8	UD	1	Geb.	1,1%	0,09	0,0660	0,0946	0,4000	0,035	0,8000	0,070	1,0000	0,088	0,6000	0,053	0,0450	0,004				
14	Wohnhaus	4	UD	1	Geb.	10,9%	0,44	0,3878	0,6172	0,7000	0,305	0,8000	0,349	1,0000	0,436	1,0000	0,436	0,8000	0,349				
15a	4 Wohnhäuser	12	UD	1	Geb.	1,1%	0,13	0,1174	0,1869	0,7000	0,092	0,8000	0,106	1,0000	0,132	1,0000	0,132	0,8000	0,106				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
16	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	0,1%	0,00	0,0018	0,0028	0,7000	0,001	0,8000	0,002	1,0000	0,002	1,0000	0,002	0,8000	0,002				
17a	2 Wohnhäuser	7,0	UD	1	Geb.	0,2%	0,01	0,0125	0,0198	0,7000	0,010	0,8000	0,011	1,0000	0,014	1,0000	0,014	0,8000	0,011				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
18a	3 Wohnhäuser	7,0	UD	1	Geb.	0,1%	0,01	0,0062	0,0099	0,7000	0,005	0,8000	0,006	1,0000	0,007	1,0000	0,007	0,8000	0,006				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
19	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
23	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000				
24	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000				
25	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000				
26	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000				
27	Wohnhaus (Neu)	6	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000				
28	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000				
29	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000				
30	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000				
31	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000				
32	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000				
33	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000				
34	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,0000	0,000				
20	Bahn	65	UD	1	FF	<50%	28,17	0,1268	4,0629	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	1,0000	28,170				
21	Strasse	10000	UD	1	FF	<100%	15,60	1,2328	2,3602	0,1	1,56	0,1	1,56	0,02	0,312	0,2	3,12	0,15	2,34				
22	Freifeld	5	UD	1	FF	<100%	0,15	0,1278	0,2448	1,0000	0,150	2,0000	0,300	0,0000	0,000	2,0000	0,300	1,5000	0,225				
Tatsächliches kollektives Risiko im Ereignisfall R _{IE}								/ Tatsächliches Situationsausmass A _s		= R _{IE}		= 3,091		= 1,701		= 4,833		= 32,051					
Empfundenes kollektives Risiko im Ereignisfall R* _{IE}								/ Aversionsfaktor φ		= R* _{IE}		= 8,8665		= 1,53		= 1,54		= 1,27		= 1,95		= 32,05	
Wahrscheinlichkeit W _{LKU} [1/a]								/ Wahrscheinlichkeitsfaktor η _{BP}		= W _{LKU}		= 2,00E-04		= 1		= 1		= 1		= 1		= 1	
Tatsächliches kollektives Risiko R _s [1/a]								/ Situationanteil an R _{IE}		= R _s		= 5,71E-04		= 0,8206		= 0,4651		= 0,7484		= 0,6766		= 0,1442	
Empfundenes kollektives Risiko R* _s [1/a]								/ Situationanteil an R* _{IE}		= R* _s		= 2E-03		= 1,2595		= 0,7140		= 0,9497		= 1,3224		= 4,6226	
Grenzkosten für unbeteiligte Dritte (UD) [CHF]										= 3,00E+07		Check: Summe Situationsanteile R _{IE} = Summe O _i = R _{IE} = 2,8549											
Max. Kosten für Sicherheitsmassnahmen [CHF/a]										= 53199		Check: Summe Situationsanteile R* _{IE} = Summe O _i = R* _{IE} = 8,8683											

* Risikogruppenbereinigt
 Input zu Donor
 Input zu exportierten Objekten

Abbildung 17: Berechnung kollektives Risiko nach StFV für ein 3 t Szenario bei 17 t NEM Verteilmenge vor Kammer V.

Berechnung kollektives Risiko				Q _{nr} [kg] = 10		Σ SD = 1,0000		Situationen (AKZ = OKZ * PF)															
Donor	Objekt	PKZ	IST 2020	Betriebsdauer =			Objektanteile an		1 Arbeit		2 Freiz.&Pend.		3 Nacht		4 Wochenendt.		1a Bahn						
				Expo Art	Distanz [m]	Letalität λ	OKZ = PKZ * λ	R _{ie}	R _{*ie}	SD = 0,2643	AKZ	SD = 0,1500	AKZ	SD = 0,4400	AKZ	SD = 0,1400	AKZ	SD = 0,0057	AKZ				
Nr.	Bezeichnung	[]	Gruppe	γ UD				O ₁	O ₂	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ	PF	AKZ				
1	Büro Kieswerk	20	UD	1	Geb./FF	15,0%	3,00	0,8015	7,2633	1,0000	3,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,5000	1,500			
2	Schulhaus (Vereine)	25	UD	1	Geb.	2,0%	0,50	0,0555	0,5897826	0,1000	0,050	0,4000	0,200	0,0000	0,000	0,1667	0,083	0,2000	0,100				
2	Schulhaus (Wohnen)	3	UD	1	Geb.	11,0%	0,33	0,2936	2,3557657	0,7000	0,231	0,8000	0,264	1,0000	0,330	1,0000	0,330	0,8000	0,264				
3	Restaurant (Gäste)	30	UD	1	Geb.	1,0%	0,30	0,0415	0,5206	0,1111	0,033	0,4000	0,120	0,0000	0,000	0,3333	0,100	0,4000	0,120				
3	Restaurant (Wohnen+A)	2	UD	1	Geb.	1,0%	0,02	0,0178	0,1428	0,7000	0,014	0,8000	0,016	1,0000	0,020	1,0000	0,020	0,8000	0,016				
3	Restaurant (Arbeiten)	4	UD	1	Geb.	2,0%	0,08	0,0256	0,2593	0,5000	0,040	0,9000	0,072	0,0000	0,000	0,3600	0,029	0,5000	0,040				
4	Wohnhaus	4	UD	1	Geb.	11,0%	0,44	0,3914	3,1410	0,7000	0,308	0,8000	0,352	1,0000	0,440	1,0000	0,440	0,8000	0,352				
5	3 Wohnhäuser	8	UD	1	Geb.	11,0%	0,88	0,7828	6,2820	0,7000	0,616	0,8000	0,704	1,0000	0,880	1,0000	0,880	0,8000	0,704				
6	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	11,0%	0,22	0,1957	1,5705	0,7000	0,154	0,8000	0,176	1,0000	0,220	1,0000	0,220	0,8000	0,176				
7	Wohnhaus	1	UD	1	Geb.	51,0%	0,51	0,4537	3,6407	0,7000	0,357	0,8000	0,408	1,0000	0,510	1,0000	0,510	0,8000	0,408				
8	Wohnhaus gross	4	UD	1	Geb.	11,0%	0,44	0,3914	3,1410	0,7000	0,308	0,8000	0,352	1,0000	0,440	1,0000	0,440	0,8000	0,352				
9	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	10,0%	0,20	0,1779	1,4277	0,7000	0,140	0,8000	0,160	1,0000	0,200	1,0000	0,200	0,8000	0,160				
10	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	10,0%	0,30	0,2669	2,1416	0,7000	0,210	0,8000	0,240	1,0000	0,300	1,0000	0,300	0,8000	0,240				
11	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	11,0%	0,22	0,1957	1,5705	0,7000	0,154	0,8000	0,176	1,0000	0,220	1,0000	0,220	0,8000	0,176				
12	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	12,0%	0,36	0,3202	2,5699	0,7000	0,252	0,8000	0,288	1,0000	0,360	1,0000	0,360	0,8000	0,288				
13	2 Wohnhäuser (bewohnt)	2	UD	1	Geb.	11,0%	0,22	0,1957	1,5705	0,7000	0,154	0,8000	0,176	1,0000	0,220	1,0000	0,220	0,8000	0,176				
13	Ferienhaus	8	UD	1	Geb.	11,0%	0,88	0,6600	4,4721	0,4000	0,352	0,8000	0,704	1,0000	0,880	0,6000	0,528	0,0450	0,040				
14	Wohnhaus	4	UD	1	Geb.	55,0%	2,20	1,9571	5,7051	0,7000	1,540	0,8000	1,760	1,0000	2,200	1,0000	2,200	0,8000	1,760				
15a	4 Wohnhäuser	12	UD	1	Geb.	11,0%	1,32	1,1742	9,4231	0,8000	0,924	0,8000	1,056	1,0000	1,320	1,0000	1,320	0,8000	1,056				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
16	Wohnhaus	2	UD	1	Geb.	1,0%	0,02	0,0178	0,1428	0,7000	0,014	0,8000	0,016	1,0000	0,020	1,0000	0,020	0,8000	0,016				
17a	2 Wohnhäuser	7,0	UD	1	Geb.	1,0%	0,07	0,0623	0,4997	0,7000	0,049	0,8000	0,056	1,0000	0,070	1,0000	0,070	0,8000	0,056				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
18a	3 Wohnhäuser	7,0	UD	1	Geb.	1,0%	0,07	0,0623	0,4997	0,7000	0,049	0,8000	0,056	1,0000	0,070	1,0000	0,070	0,8000	0,056				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
			UD	1	Geb.		0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
19	Wohnhaus	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
23	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
24	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
25	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
26	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
27	Wohnhaus (Neu)	6	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
28	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
29	Wohnhaus (Neu)	3	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
30	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
31	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
32	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
33	Wohnhaus (Neu)	2	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
34	Wohnhaus (Neu)	4	UD	1	Geb.	0,0%	0,00	0,0000	0,0000	0,7000	0,000	0,8000	0,000	1,0000	0,000	1,0000	0,000	0,8000	0,000				
20	Bahn	65	UD	1	FF	<50%	59,58	0,3396	26,1996	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	1,0000	59,580				
21	Strasse	10000	UD	1	FF	<100%	58,61	4,6352	56,2569	0,1	5,861	0,1	5,861	0,02	1,1722	0,2	11,722	0,15	8,7915				
22	Freifeld	5	UD	1	FF	<100%	0,48	0,4094	4,9549	1,0000	0,480	2,0000	0,960	0,0000	0,000	2,0000	0,960	1,5000	0,720				
Tatsächliches kollektives Risiko im Ereignisfall R _{ie} / Tatsächliches Situationsausmass A _i								13,9246	= R _{ie}			15,290		14,173		9,872		21,242		77,147			
Empfundenes kollektives Risiko im Ereignisfall R _{*ie} / Aversionsfaktor φ								R _{*ie} =	156,3411			8,33		7,13		3,93		19,01		77,15			
Wahrscheinlichkeit W _{LUU} [1/a]								W _{LUU} =	3E-07			1		1		1		1		1			
Tatsächliches kollektives Risiko R _i [1/a]								3,48E-06	= R _i			4,0412		2,1260		4,3438		2,9739		0,4397			
Empfundenes kollektives Risiko R _{*i} [1/a]								R _{*i} =	3,91E-05			33,6576		15,1311		17,1391		56,5534		33,9245			
Grenzkosten für unbeteiligte Dritte (UD) [CHF]								3,00E+07														13,9246	
Max. Kosten für Sicherheitsmassnahmen [CHF/a]									1173														156,4058

* Risikogruppenbereinigt
 Input zu Donor
 Input zu exportierten Objekten

Abbildung 18: Berechnung kollektives Risiko nach StFV für ein 10 t Szenario bei 17 t NEM Verteilmenge vor Kammer V.

GROBBEWERTUNG MASSNAHMENVARIANTEN UND SOFORTMASSNAHMEN MITHOLZ



Fraunhofer
EMI

Stand: 05.06.2019

Dr. Malte von Ramin

Dr. Johannes Schneider

Dr.-Ing. Alexander Stolz

Mit Ergänzungen im Anschluss an die
Diskussion am 05.06.2019

Bewertungsgrundlage der Variantenbeschriebe

- Jede Variante wurde so bewertet, wie sie beschrieben ist
 - Technische Realisierbarkeit wird wie postuliert vorausgesetzt
 - Was beschrieben ist, wird bewertet, was nicht erwähnt ist, wird als nicht geplant vorausgesetzt
 - Z.B.: Wenn eine Evakuierung während der Maßnahmen nicht erwähnt wird, wird in der Bewertung davon ausgegangen, dass keine geplant ist
 - Wenn »Restmengen« zugelassen werden, diese aber nicht konkretisiert sind, ergibt sich auch ein nicht konkretes Restrisiko
- Die Veränderung des Risikos vor und vor allem während der Ausführung hängen erheblich von der tatsächlichen Umsetzung ab!
- Relativ kleine Veränderungen, wie die Aufnahme von Evakuationsmaßnahmen haben in Bezug auf das Risiko signifikante Wirkung
 - → Damit kann sich eine Bewertung grundlegend verändern

Vorweg: Fazit Varianten-Grobbewertung

- Variantenbeschriebe sind teilweise sehr grob beschrieben, Bewertung könnte sich grundlegend ändern, wenn mehr Details benannt würden
- Varianten nicht allein aus der Grobbewertung heraus auswählen, diese definiert den Beginn
- Zielführende Maßnahmen ergeben sich eher aus der Zusammenführung mehrerer Variantenbeschriebe, als dass die tatsächlich nachzuverfolgenden Maßnahmen bereits beschrieben wurden
- Zusammenstellung von »Dos« und »Don'ts«

Vorweg: Fazit Varianten-Grobbewertung

- Aus Sicht Fraunhofer EMI **sinnvolle** Komponenten
 - Vorgehen innerhalb von ehemaligem Zugang Bahnstollen, nicht erst den Fels abtragen
 - Schichtweise Detektion vor dem jeweiligen Räumen um »Vorausschauen« zu können
 - Nur so tiefgehend arbeiten, wie die möglichen Auswirkungen vorhersehbar sind
 - Abtrag mindestens bis auf die Sohle des ehemaligen Bahnstollens und innerhalb der entstandenen Spalte neben der ehemaligen Ebene
- ...

Vorweg: Fazit Varianten-Grobbewertung

- Aus Sicht Fraunhofer EMI **sinnvolle** Komponenten
 - ...
 - Beginn im Süden
 - Nutzung vorhandenes Felsmaterial als Schutzmasse
 -  Zügige Beseitigung maximaler Mengen
 - Evakuationszeiten bleiben überschaubar, weil Risiko sich verringert
- Evakuation während Arbeiten an und in der Anlage unumgänglich, um Risiko minimal zu halten
- Sofortige Munitionsentsorgung, um bei Zwischenlagerung keine Gefährdungen zu schaffen
- Arbeiten durch bauliche Schutzmaßnahmen absichern
 - Bauliche Schutzmaßnahmen können Auswirkungen verringern, aber nicht verhindern

Vorweg: Fazit Varianten-Grobbewertung

- Aus Sicht Fraunhofer EMI **nicht sinnvolle** Komponenten:
 - Arbeiten am zerklüfteten Fels (Injektionen, Verpressen,...)
 - Einsatz schwerer Maschinen ohne Sondierung des Untergrundes
 - Ausblasöffnungen in Richtung Dorf
 - Wirksamkeit bei Festigkeit der Verschüttmasse ohnehin fraglich
 - Situative Evakuierung – es ist nicht sicher abzuschätzen, ob und wann es zu einer »großen« Detonation kommt, daher Evakuierung bei »größeren Maßnahmen« nicht erreichbar
- Nicht detailliert geplante bauliche Sicherungsmaßnahmen
 - Abstände, Wurfrichtungen, mögliche Versagensformen etc. beachten!

Zusammenfassung der Bewertungen

Indikator G11

Indikator	G11	Risiko für Unbeteiligte (Bevölkerung/Schiene/Strasse) nach Realisierung
Masseinheit:	Qualitativ, kollektive und individuelle Risiken	

Für die Zeit nach der Realisierung werden die Risiken für Bevölkerung (Einwohner, Arbeitsplätze), Strasse und Schiene sowohl nach StfV wie auch nach WSUME berücksichtigt und qualitativ abgeschätzt.

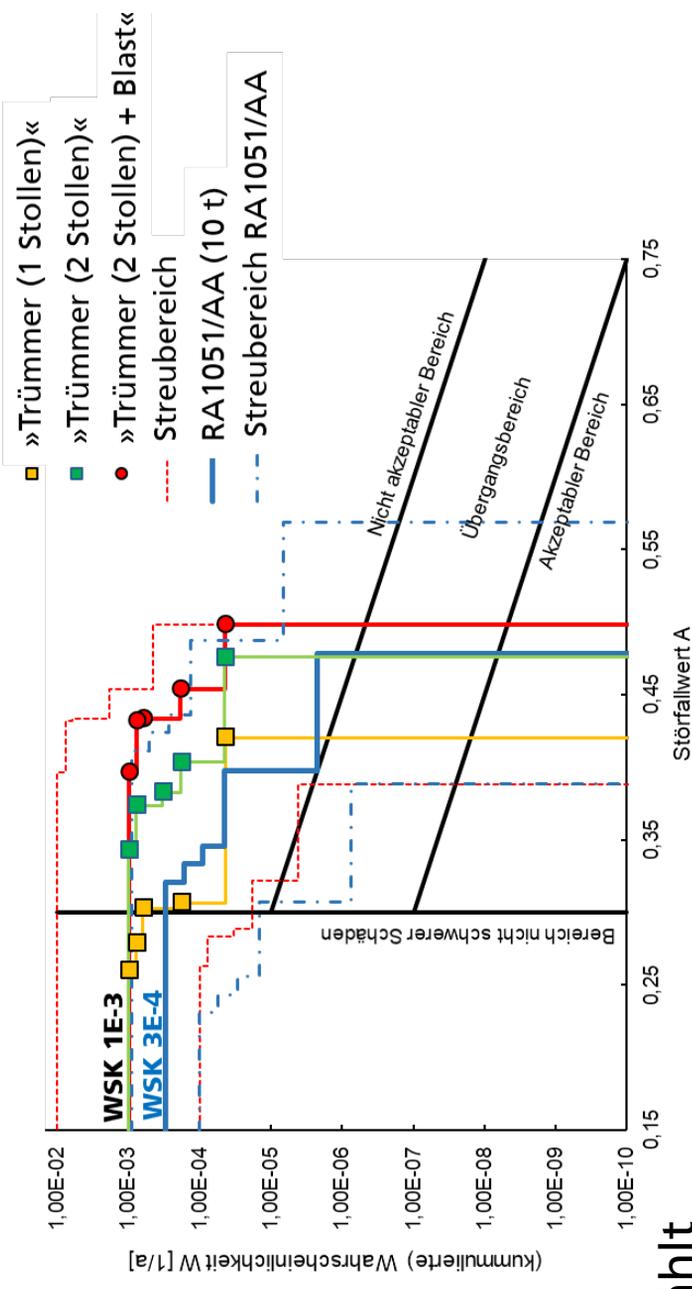
Die Bewertung nach StfV berücksichtigt dabei die kollektiven Risiken, diejenige nach WSUME die individuellen Risiken.

Definition / Erhebungsverfahren:

Varianten, die ein Todesfallrisiko oberhalb der zulässigen Grenzwerte nach StfV / WSUME erwarten lassen, scheiden schon im Rahmen der No Go-Kriterien aus.

Grundlagen	Variantenbeschreibung
Bewertung: -5	Schwere Schädigungen möglich, Risiko akzeptabel; lokales Todesfallrisiko Unbeteiligte gemäss Experteneinschätzung unterhalb Grenzwerten WSUME und StfV
0	Keine schweren Schädigungen möglich, lokales Todesfallrisiko Unbeteiligte gemäss Experteneinschätzung unterhalb der Grenzwerte WSUME und StfV
+5	Gefahrenpotenzial und Todesfallrisiko vollständig eliminiert

- Risiko ist immer »akzeptabel«
- (Kollektives) Risiko »akzeptabel« bedeutet weiterhin Möglichkeit von Todesopfern
- Feinere Abstufung zum besseren Vergleich gewählt



Zusammenfassung der Bewertungen

Indikator G12

Indikator	G12	Risiko für Unbeteiligte (Bevölkerung/Schiene/Strasse) während Realisierung
Masseinheit:	Qualitativ, kollektive und individuelle Risiken	

Für die Zeit während der Realisierung werden sowohl kollektive als auch individuelle Risiken nach StfV resp. WSUME für Bevölkerung (Einwohner, Arbeitsplätze), Strasse und Schiene bewertet.

Die Risikobewertung erfolgt qualitativ. Auf eine quantitative Bewertung der Risiken wird verzichtet, da die Varianten in Phase I nicht so weit ausgearbeitet werden, dass für jede Variante eine quantitative Bewertung durchgeführt werden kann.

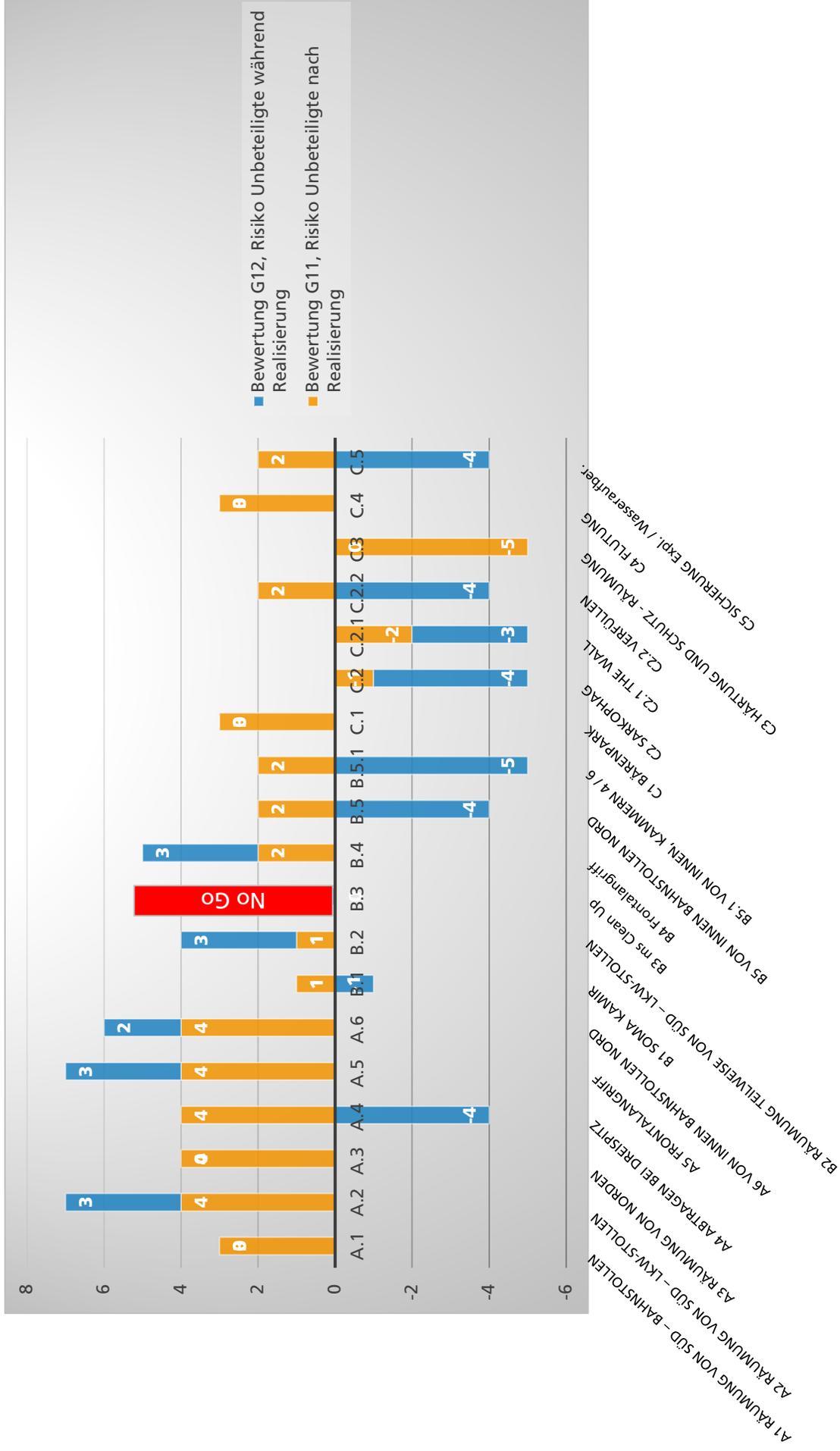
Definition / Erhebungsverfahren:

Varianten, die ein Todesfallrisiko oberhalb der zulässigen Grenzwerte nach StfV / WSUME erwarten lassen, scheiden schon im Rahmen der No Go-Kriterien aus

Grundlagen	Variantenbeschreibung	
Bewertung:	-5	Risiko nimmt im Vergleich zum Referenzfall stark zu
	-2	Risiko nimmt im Vergleich zum Referenzfall zu
	0	Risiko bleibt im Vergleich zum Referenzfall unverändert
	+2	Risiko nimmt im Vergleich zum Referenzfall ab
	+5	Risiko nimmt im Vergleich zum Referenzfall stark ab
Verlauf	Bewertungsskala: -5 / -2 / 0 / +2 / +5	

- Zu- oder Abnahme des Risikos im Vergleich zu heute
- Feinere Abstufung zum besseren Vergleich gewählt

Zusammenfassung der Grob-Bewertungen EMI



Variante A.1 Räumung von Süd – Bahnstollen, schienengeführt

- Das beschriebene »Netz« wird kaum ausreichen. Auch die Dichte des Netzes ist fraglich, ggf. mehrlagige Netze planen. Ein Netz für nach oben gerichtete Trümmer kann die Geschwindigkeiten der Trümmer jedoch wenigstens reduzieren. Der von Trümmern erreichbare Teil des bewohnten Dorfes müsste von massiven Baumaßnahmen gesichert werden.
- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +3
 - Eine Restmenge von 10-25% der Munition ist als »tolerierbar« genannt. Das hängt von der Munitionsdichte ab! 10-25% von 400 t Gesamtmenge sind 40 bis 100 t TNT.
 - »Hauptmenge Munitionsrückstände« soll nur geräumt werden. Es ist unklar, wann und in welcher Räumtiefe ein Zustand erreicht wird, dass »genügend« Munition geräumt ist, so dass das langfristige Risiko akzeptabel wird.
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: 0
 - Durch Abbau des Bodens werden die Munitionsrückstände im Abbaubereich und unterhalb der Maschinen belastet. Allein zum Einbringen und Betrieb der Maschinen. Durch Erschütterungen können Zünder aktiviert werden.
 - Andererseits: - eine Wirksamkeit und Machbarkeit der äußeren Schutzmaßnahmen vorausgesetzt - werden die Explosionseffekte reduziert.
 - Während der Maßnahme und bereits bei den vorbereitenden Maßnahmen wird empfohlen, das Dorf größtenteils zu evakuieren. Wenn das Dorf evakuiert ist, besteht kein Risiko während der Realisierung.

BACK

Variante A.2 Räumung vollständig von Süden - Lastwagenstollen

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +4
 - Bewertung geht davon aus, dass »mehr oder weniger« die bisher vermutete Menge geräumt wird, bis »keine Gefährdung mehr besteht«. Das setzt eine definierte Zielmenge voraus. Eine Unbekannte bzgl. der erwarteten Menge bleibt jedoch, und damit auch ein Restrisiko. Munitionsreste müssten analog zu A.1 geräumt werden, nicht nur auf eine Zielmenge hin.
 - **Ergänzung Diskussion am 5.6.2019: Der Variantenbeschrieb geht von einer vollständigen Räumung der ehemaligen Anlage und des Verschuttbereichs aus**
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: +3
 - Widerspruch im Variantenbeschrieb zu Evakuierungsmaßnahmen (genaue Evakuierungsdauer und –anlass unklar).
 - Bewertung geht von der Evakuierung des Dorfes während der Maßnahmen aus, so wie im Beschrieb genannt. »Munitionsbergung« bezieht sich auf die Gesamtmaßnahme.

BACK

Variante A.3 Räumung von Norden – W+T

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +4
 - »Hauptmenge Munitionsrückstände« soll geräumt werden, es verbleibt ein undefinierter Rest. Es ist unklar, wann genügend Munition geräumt wurde. Woran wird festgestellt, dass die Munitionsnester geräumt sind? Was, wenn keine gefunden werden?
 - Vorschlag: Schrittweise Detektion und Räumung bis mindestens auf die Sohle des ehem. Bahnstollens.
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: 0
 - Die »Entlastungsöffnung« im Norden ist auf das Dorf gerichtet. Während der Räumung müsste das Dorf evakuiert werden, dies wird aber nicht genannt.
 - Durch das maschinelle Arbeiten steigt das Risiko einer Initiierung durch Erschütterungen im Erdreich.
 - Trümmer, die steil nach oben aufsteigen, werden durch die Schutzwände nicht gefangen. Risiko während der Maßnahme hängt deutlich von Wirksamkeit der Schutzdämme ab.
 - Wie sieht der »massive Verschluss Kluft bei Dreispitz« aus, wenn der Dreispitz an sich nicht stabil ist?

BACK

Variante A.4 Abtragen bei Dreispitz

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +4
 - Munitionentsorgung soll »später« geregelt werden → ggf. höhere Munitionsdichten als vorher?
 - **Ergänzung Diskussion am 5.6.2019: Die Munitionentsorgung findet direkt vor Ort im Rahmen der Räummaßnahmen statt**
 - Was ist mit den anderen verschütteten Bereichen? Wie groß sind die »geringen Restmengen« an Munition nach der Realisierung?
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: -4
 - Die benannten Trümmermauern an den horizontalen Austrittsöffnungen sind unwirksam, wenn der Fels bei unterschiedlichen Szenarien außerhalb der Öffnungen weggesprengt wird
 - Eine Evakuation müsste über den Gesamtzeitraum der Maßnahme durchgeführt werden, wenn das Risiko minimiert werden soll.

BACK

Variante A.5 Frontalangriff

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +4
 - Restrisiko bleibt immer wegen der unbekanntem Munitionsmenge. Dies lässt sich nur über das »Delta« zu der Munitionsbilanzierung quantifizieren.
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: +3
 - Bewertung geht von gesamtzeitlicher Evakuierung des Ortes aus.

BACK

Variante A.6 Von innen Bahnstollen Nord BKP

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +4
 - Restrisiko immer durch unbekannte Munitionsmengen gegeben.
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: +2
 - Bei Beginn im Norden steigt das Risiko, ein größeres Ereignis auszulösen, im Vergleich zum Süden. Bestehender Schutz durch vorhandenes Material wird zurückgebaut. Von Süden her werden die kritischen Bereiche direkt angegangen.
 - Umsiedlungen sollten nur bei »Arbeiten an kritischen Anhäufungen« durchgeführt werden. Die sind aber erst bekannt, wenn sie angetroffen werden. Auch ein kleineres Ereignis kann ein größeres auslösen!
 - **Ergänzung Diskussion am 5.6.2019: Der Variantenbeschrieb geht von einer schichtweisen Detektion aus, die geplanten Bagger arbeiten nur in dem Bereich, der durch Vorfelderkundung einschätzbar ist.**

BACK

Variante B.1 SOMA KAMIR

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +1
 - Vollräumung ist bei der Bewertung noch nicht mit berücksichtigt. Teilräumung heißt Räumung ohne eindeutige Zielmenge.
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: -1
 - Durch Arbeiten am Felsmaterial steigt das Initiierungsrisiko. Das Risiko ergibt sich ja gerade durch die Übertragung aus (bekannten) Orten in unbekannte »Munitionsnester«.
 - Ausbildung des Schutzwalls ist entscheidend für den Erfolg der Maßnahme.
 - Bei einer Umsetzung großer Munitionsmengen wird nicht nur durch die geplante Ausblasöffnung die »Entladung« stattfinden, sondern auch durch das restliche Felsmaterial.
- Weitere Hinweise / Kommentare s. später

BACK

Variante B.2 Räumung teilweise von Süden - Lastwagenstollen

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +1
 - »Nach Abschluss Räumung Bahnstollen: Bilanzierung der gefundenen Munitionsmengen und Räumung Versturzbereich nur soweit, bis minimale Sicherheitsziele eingehalten werden können« - Wann ist das erreicht, wenn die Gesamtmenge unbekannt ist?
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: +3
 - »Risiko klein. Bei Arbeiten mit erhöhtem Risiko werden Exponierte Personen evakuiert und Strasse/Bahn gesperrt« - Das Risiko ist bei allen Manipulationen am Erdreich erhöht. Die Bewertung geht davon aus, dass während der Gesamtmaßnahme evakuiert wird.

BACK

Variante B.3 ms Clean Up

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: No Go, Risiko steigt oder bleibt gleich
 - Machbarkeit sehr fraglich. Durch weggeschleuderte Munition steigt ggf. das Risiko nach Rückkehr der Bevölkerung (ggf. Schaffung neuer Probleme)
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: +5
 - -

BACK

Variante B.4 Frontalangriff (Teilräumung)

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +2
 - Restmenge bleibt unbekannt. Damit auch, wann eine Teilräumung erreicht wurde.
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: +3
 - Bewertung geht von vollständiger Evakuierung aus.

BACK

Variante B.5 Von innen Bahnstollen Nord, BKP

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +2
 - »In der Umgebung risikorelevante Ereignisse sind praktisch ausgeschlossen« - Bei einer Teilräumung? Wenn sie bei der »Vollräumung« schon nicht ausgeschlossen werden können, sicherlich nicht bei einer Teilräumung.

- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: -4
 - Bei Beginn im Norden steigt das Risiko, ein größeres Ereignis auszulösen, im Vergleich zum Süden. Von Süden her werden die kritischen Bereiche direkt angegangen.

BACK

Variante B.5.1 Von innen Bahnstollen Nord, BKP (Kammern 4 / 6)

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +2
 - Bewertung geht von vollständiger Räumung vor den Kammern 4 bis 6 aus, nicht nur vom Zugang durch Kammern 4 und/oder 6
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: -5
 - Evakuierung wird nicht explizit benannt. Impuls und Trümmermasse ggf. gegenüber B.5 erhöht, weil die Ladungsdichte hoch bleibt.

Variante C.1 Bärenpark

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +3
 - Unbeteiligte sind auch die Nicht-Anwohner. Das Risiko für diese bleibt, bzw. nimmt mit der Zeit wegen Alterungseffekten zu.
 - Das kollektive Risiko nimmt jedoch wegen der Umsiedlung ein wenig ab.
 - Risiko für Groundshock (Entgleisung Bahn, Gefährdung Straße) bleibt bestehen.
 - **Ergänzung Diskussion am 5.6.2019: Die Verkehrswege sollen gegen alle relevanten Explosionseffekte (Blast, Trümmerwurf, Groundshock) gesichert werden, Straße und Schiene werden auch für Groundshock entkoppelt**
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: 0
 - Wegen Umsiedlung ändert sich das Risiko der Bevölkerung während der Maßnahmen nur dann, wenn die Umsiedlung vor der Maßnahme stattfindet. Das Risiko weiterer Unbeteiligter bleibt gleich wie derzeit.

BACK

Variante C.2 Sarkophag

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: -1
 - Falls mit der ersten Druckspitze der Fels hinter der Betonhülle gelöst wird, stürzt weiterhin die Hülle mit ein. Der Fels müsste durchgehend durch die Verklüftung gesichert werden.
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: -4
 - Ohne Evakuierung steigt das Risiko für die Bevölkerung durch die umfangreichen Bauarbeiten während der Maßnahme erheblich.

BACK

Variante C.2.1 The Wall

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: -2
 - Die notwendige Höhe des Dammes wird baupraktisch vermutlich nicht realisierbar sein. Trümmer werden je nach Schadensbild auch sehr steil nach oben geschleudert (fliegen dann allerdings auch nicht allzu weit). Der Damm müsste ein vollständiges Versagen der Fluh abdecken können.
 - Bewertung geht von der postulierten Machbarkeit aus.
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: -3
 - Solange die Arbeiten sich auf den Bereich vor der Anlage beschränken sollten, bliebe das Risiko für Unbeteiligte im Vergleich zu heute bestehen.

BACK

Variante C.2.2 Verfüllen

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +2
 - Machbarkeit / Wirksamkeit wird vorausgesetzt.
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: -4
 - Durch die Baumaßnahmen werden die Munitionsrückstände auf jeden Fall belastet. Sonst wäre die Verfüllung ja nicht formschlüssig. Ebenso kann es während der Maßnahmen im Außenbereich zu Erschütterungen kommen, die im Inneren das Gestein lockern (Steinschlag als Initiierung)
 - Wenn die äußeren Arbeiten vor dem Verfüllen erfolgen, kann es zu Steinschlag und mechanischer Beanspruchung der Zünder kommen.
 - Wenn zuerst innen verpresst wird, kann dadurch Munition initiiert werden, dann ist der Fels allerdings nicht gesichert. Wie wird sichergestellt, dass alle Hohlräume verpresst sind?

BACK

Variante C.3 Härtung und Schutz - Räumung

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: -5
 - Laut Maßnahmen-Titel gehört die anschließende Räumung mit zum Variantenbeschrieb?
 - Eine vollständige Räumung und die technische Machbarkeit werden bei der Bewertung vorausgesetzt. Ebenso ein Schutz von Bahn und Straße.
 - **Ergänzung Diskussion am 5.6.2019: Eine vollständige Räumung ist entgegen des Variantentitels nicht vorgesehen.**
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: 0
 - Bei der Verfüllung ist ein Initiierungsrisiko gegeben.
 - Bei der Realisierung der Schutzmaßnahmen außerhalb der Anlage steigt das Risiko im Vergleich zu heute nicht.

BACK

Variante C.4 Flutung

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +3
 - Um eine Selbstzündung zu verhindern, ist das Wasser so gut wie nutzlos. Die Explosionseffekte (vor allem Trümmerwurf) zu mindern, hingegen natürlich hilfreich.
 - Die postulierte technische Machbarkeit wird vorausgesetzt.
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: 0
 - Die postulierte technische Machbarkeit – auch der Erkundung der Klüfte unterhalb der Munition - wird vorausgesetzt. Das bedeutet auch, dass bekannt ist, wo Munition liegt (oberhalb Sohle Bahnstollen?)

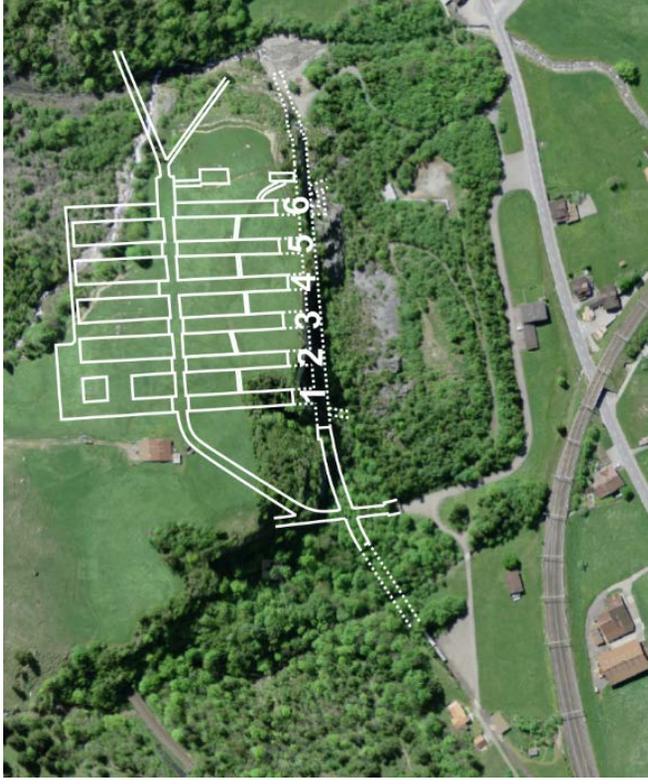
BACK

Variante C.5 Sicherung gegen Explosion und Aufbereitung Trinkwasser W+T

- G11 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte nach Realisierung: +2
 - Beschriebene Sicherungsmaßnahmen zum Schutz vor Explosionseffekten werden als wirksam und machbar vorausgesetzt. Dies wäre noch zu zeigen.
- G12 Einschätzung Veränderung Risiko für Unbeteiligte während Realisierung: -4
 - Durch Baumaßnahmen werden die Munitionsrückstände auf jeden Fall belastet. Sonst wäre die Verfüllung ja nicht formschlüssig. Ebenso kann es während der Maßnahmen im Außenbereich zu Erschütterungen kommen, die im Inneren das Gestein lockern (Steinschlag als Initiierung)

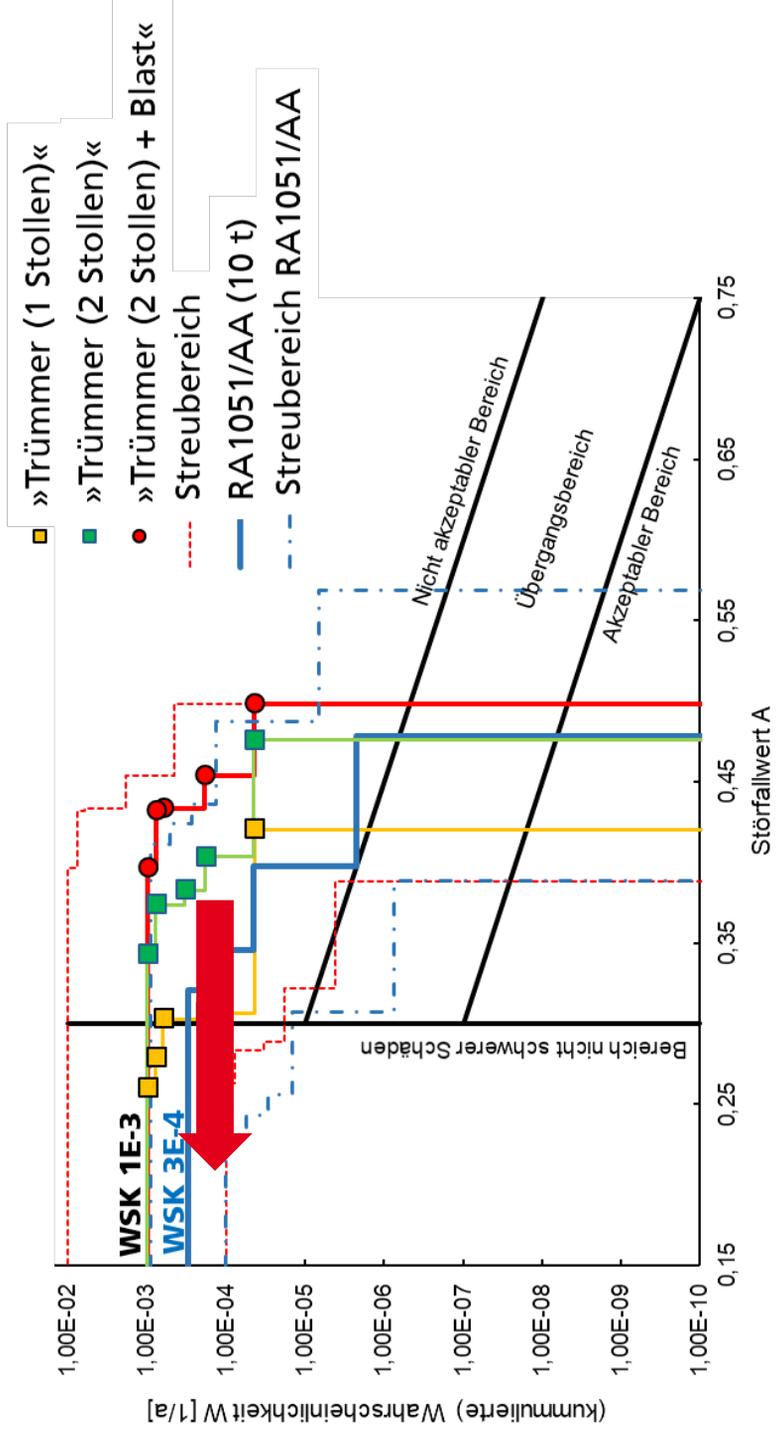
BACK

BAULICHE SOFORTMASSNAHMEN



Bauliche Sofortmaßnahmen

- Sofortmaßnahmen nur dann risikomindernd, wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit mindestens nicht größer wird (z.B. durch Manipulation am Fels oder der Munition), dass Ausmaß sich jedoch deutlich verringert
- Eintrittswahrscheinlichkeit wenig beeinflussbar ohne Änderung an der Grundsituation
- Risiko durch Verkleinerung der Gefährdungszonen minimierbar
→ Verringerung der Trümmerdichten
→ Verringerung der Letalitätsszahlen



Allgemeine Einschätzungen zu baulichen Sofortmaßnahmen (Foliensatz VBS)

- Zu berücksichtigende Aspekte:
 - Arbeiten am Untergrund erhöhen das Risiko, durch Erschütterungen Explosionen zu initiieren
 - Fangwälle, Mauern, etc. bieten nur bei flachem, gerichtetem Trümmerwurf Schutz und müssen dafür bemessen sein
 - Überspannende Netze müssen tatsächlich frei spannen können (vgl. Variantenbeschriebe)
 - Verankerungen im Fels sichern nur die durchdrungenen Felsklüfte
 - Geologische Untersuchung der Stabilität des gesamten Felsens sinnvoll
 - Entlastungsöffnungen reduzieren nur den Gasdruck und den Impuls, nicht die erste Druckspitze
 - Prüfen, ob ggf. »Öffnen« des ehemaligen Bahnstollens sinnvoller?

Massnahme	Umsetzungsstand
Planung von Schutzbauten (vor Umsetzung einer Massnahme / Variante) <ul style="list-style-type: none"> • Standort • Technische Bedingungen (Wirkung) • Risikoeinschätzung 	In Planung Basis ist Testfeldräumung
Bauliche Sofortmassnahme (SOMA KAMIR) <ul style="list-style-type: none"> • "Öffnen" des ehemaligen Lw Stollens Süd • Erste Bergung von Munition • Entlastungsöffnung "Süd" mit Schutzbauten 	In Planung Basis ist Testfeldräumung
Bedingt →:	
Eval Munitionsvernichtungsanlage <ul style="list-style-type: none"> • Art (Zünder, Rest Munition transportsicher) • Standort • Teilkonzepte wie Abgaswäsche, Wasserreinigung... 	In Planung Basis ist Testfeldräumung Auftrag an ar/RC

Bauliche Sofortmaßnahmen

- Auslegung Schutzwälle
 - Für Dämme vor Portalen stellt TLM 2010/Teil 2 empirische Gleichungen zur Verfügung
 - Reduktion der Trümmerwurfweiten für gewählte Trümmerdichte auf ca. 40 % **im Auswurfbereich vor den Portalen** möglich
 - Wall-Geometrie ergibt sich aus Abgangswinkeln der Portal-Trümmer gem. TLM 2010/2
 - Blastbelastung aus max. TNT-Menge gem. Risikoanalysen
 - Tatsächliche Belastungswerte hängen von der jeweiligen Situation ab (Abstände, Geometrie, Umströmung...)
- Schutzwälle schützen nicht vor Trümmerwurf aus Kraterbildung
 - Alle Versagensformen des Felsens berücksichtigen!

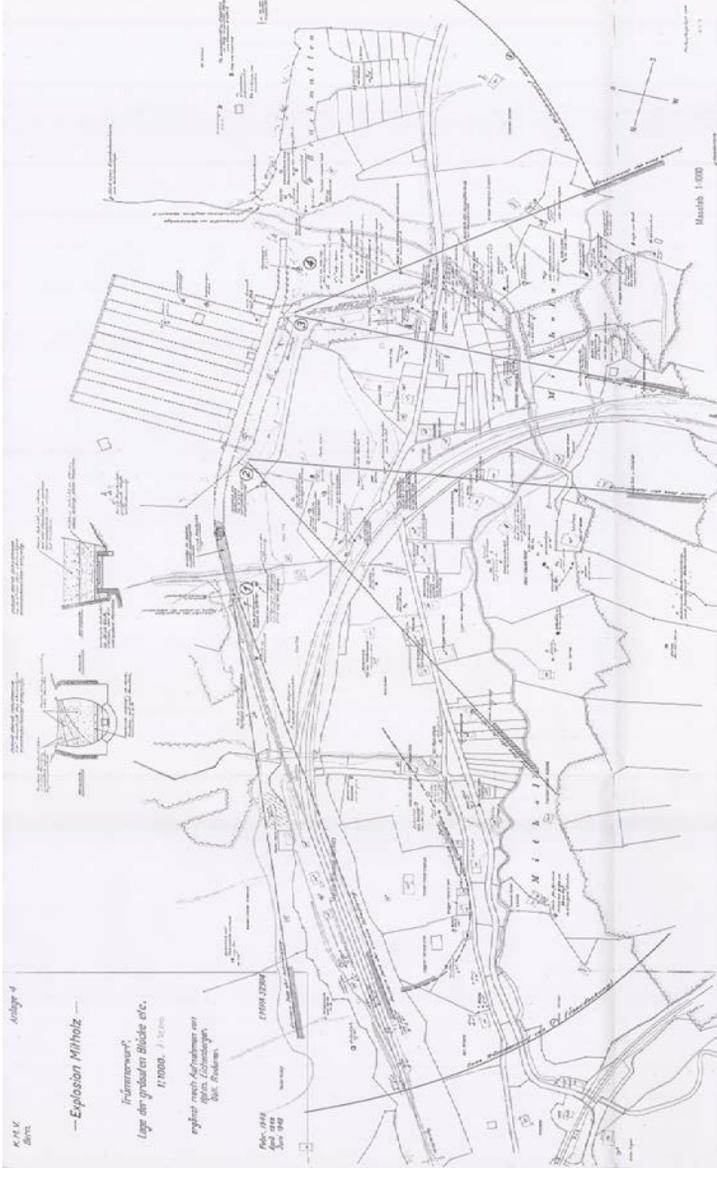
Bauliche Sofortmaßnahmen

- Überspannungen / Netze
 - Überspannende Netze können grundsätzlich auch über Trümmerdichten und Energiegehalt (Grundlage der Letalitätsbereiche) bemessen werden
 - Größen- (Massen-)verteilung ist herausfordernd → notwendige Maschenweite
 - Netz muss nicht alle Trümmer aufhalten, sondern bremsen
 - Grenzwert ist aber immer die Gewichtskraft, d.h. der nicht-beschleunigte Felstrümmer

Bauliche Sofortmaßnahmen

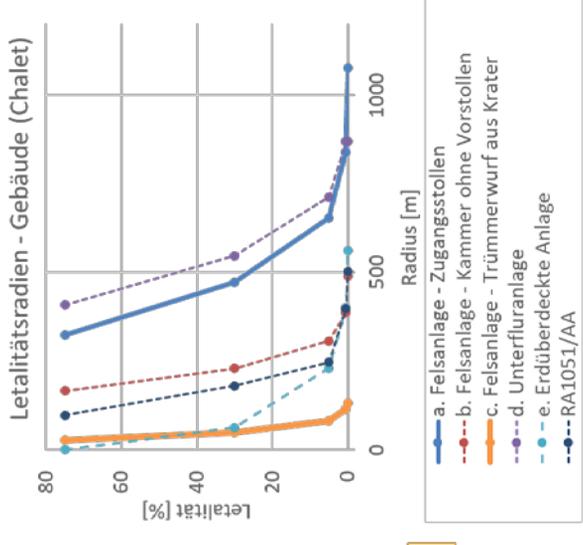
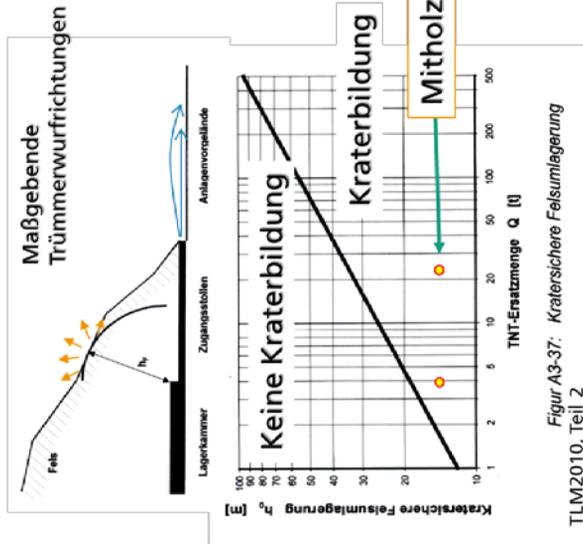
- Möglicher Ansatz:
- Ursprüngliches Szenario (30 t TNT) als Referenz benutzen und den Energiegehalt der gefundenen Trümmer »zurückrechnen«
- Trümmereigenschaften (und damit –masse) sowie Wurfweiten sind bekannt
- Vertikaler Winkelbereich aus Stollen abschätzbar (TLM 2010/2)

→ Geschwindigkeit und Energiegehalt



Bauliche Sofortmaßnahmen

- Wirkungsanalyse Trümmer
- TLM 2010/2 bietet Modelle auch für Trümmerwurf bei »lockerer« Überschüttung eines gewachsenen Fels
- → geologische Einschätzung mit Blick auf Anwendbarkeit der Modelle notwendig
- Unterschiedliche Szenarien berücksichtigen
- Aus allen die maßgebenden Belastungen / Wirksamkeiten der Maßnahmen betrachten



Verteiler

Bericht Nr. E 41/20 Auflage: 3 + 1

Autor: von Ramin, M.
Beiträge: Schneider, J.; Stolz, A.
Titel: Unterstützung Maßnahmenerarbeitung und Maßnahmenbeurteilung
ehem. Munitionslager Mitholz: Vorausmaßnahmen, Variantenvergleich
und VBS-Risikoanalyse 2020

Interne Verteilung:

Autor: von Ramin, M.
Schneider, J.; Stolz, A.

Bundesamt für Umwelt BAFU

Abteilung Gefahrenprävention
Sektion Störfall- und Erdbebenvorsorge
z. Hdn. von Herrn Dr. Martin Merkofer
3003 Bern
Schweiz

3 Ex. + PDF