



ARBEITSBERICHT NAB 24-37

Einwirkungen auf den Standort der
Brennelementverpackungsanlage bei
Störfällen in der Nachbarschaft

Juli 2024

**Nagra | Nationale Genossenschaft
für die Lagerung radioaktiver Abfälle**
Hardstrasse 73 | 5430 Wettingen | Schweiz
+41 56 437 11 11 | info@nagra.ch | nagra.ch



ARBEITSBERICHT NAB 24-37

Einwirkungen auf den Standort der
Brennelementverpackungsanlage bei
Störfällen in der Nachbarschaft

Juli 2024

STICHWÖRTER

Brennelementverpackungsanlage, BEVA, standortspezifische
Gefährdungsanalyse, Nachbarschaft, Störfälle

**Nagra | Nationale Genossenschaft
für die Lagerung radioaktiver Abfälle**
Hardstrasse 73 | 5430 Wettingen | Schweiz
+41 56 437 11 11 | info@nagra.ch | nagra.ch

Nagra Arbeitsberichte stellen Ergebnisse aus laufenden Aktivitäten dar, welche nicht zwingend einem vollumfänglichen Review unterzogen wurden. Diese Berichtsreihe dient dem Zweck der zügigen Verteilung aktueller Fachinformationen.

Zusammenfassung

Im Zuge des Rahmenbewilligungsgesuchs für die Brennelementverpackungsanlage (BEVA) am Standort Zwiilag (Würenlingen, Kt. AG) ist gemäss Kernenergieverordnung (KEV) als Teil der Gesuchsunterlagen ein Sicherheitsbericht einzureichen, in welchem nach Art. 23 KEV Angaben zu den Standorteigenschaften anzugeben sind. Dies betrifft unter anderem die standortspezifischen externen Gefährdungen, wozu gemäss Richtlinie A05 des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) auch unfallbedingte Einwirkungen aus der Nachbarschaft zählen, die in einer Analyse abzubilden und zu bewerten sind.

Vorliegender Bericht zur Gefährdungsanalyse der Nachbarschaft bewertet und legt nachvollziehbar dar, dass die BEVA keinen inakzeptablen Risiken aus der nächsten Nachbarschaft ausgesetzt ist, und somit die gesetzlich geforderten Sicherheitsanforderungen durch eine geeignete Standortwahl sowie durch eine entsprechende Auslegung erfüllbar sind. Zu den Standorteigenschaften, die im Hinblick auf nahegelegene Gefahren aus der Nachbarschaft in diesem Bericht beschrieben und bewertet werden, zählen:

- Verkehrswege (Eisenbahnanlagen und Durchgangsstrassen)
- Erdgasleitungen
- Betrieb (Industrieanlagen oder militärische Einrichtungen)
- (Wald-)Brand

Dabei wird auf die unfallbedingte Freisetzung grosser Mengen an brennbaren, explosiven, ätzenden, gesundheitsschädlichen und oxidierenden Stoffen eingegangen und die sich daraus ergebenden nachbarschaftsbedingte Gefährdung der BEVA am konservativsten Punkt minimaler Distanz durch Brand, Explosion oder luftgetragene Toxizität bewertet. Die Untersuchungen stützen sich dabei neben eigenen quantitativen standortspezifischen Analysen auch primär auf bestehende quantitative Untersuchungen anderer Kernanlagen ab, die aufgrund ihrer konservativen Annahmen und ihres generischen Charakters (bspw. keine Berücksichtigung der Abschattung infolge standortspezifischer, topographischer Gegebenheiten oder vorgelagerter Bauten) auf den Standort der BEVA übertragbar sind.

Die Bewertung der unfallbedingten Einwirkungen aus der Umgebung bzw. direkten Nachbarschaft ergibt keine Risiken oder Gefährdungen für den Standort. Alle aus den zivilisatorischen Gefahren und Unfallabläufen ermittelten Überdruckspitzen, Wärmestromdichten und Konzentrationen gefährlicher Stoffe liegen am Standort weit unterhalb kritischer Werte und haben somit auf die Baustrukturen, die Betriebsabläufe und die nukleare Sicherheit der BEVA keinen nachteiligen Einfluss. Begründet ist dies durch den grossen Abstand zu den wenig vorhandenen zivilisatorischen Gefahrenquellen, den topologischen, in einem Abschirmeffekt resultierenden Verhältnissen und dem zwischen BEVA und Gefahrenquelle (insb. Gefahrguttransporte) liegenden dichten, verzögernd und hemmend wirkenden Mischwald. Zusätzlich wird die BEVA allgemein gegen Einwirkungen von Aussen bautechnisch so ausgelegt, dass auch andere Gefährdungen nicht zu einer Beeinträchtigung bzw. Verletzung der nuklearen Sicherheit führen.

Auch die Nähe zum Waldrand und der potenziellen Waldbrandgefahr ist keine ungewöhnliche Randbedingung für Kernanlagen und stellt dementsprechend keine Gefährdung für die nukleare Sicherheit der BEVA dar.

Aus der Nachbarschaft ergeben sich für den Bau und Betrieb einer BEVA keine Gefährdungen, der Standort ist geeignet.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Figurenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
2 Standort der BEVA	3
3 Transportunfälle auf Verkehrswegen	5
3.1 Verkehrswege	5
3.2 Transportunfälle.....	5
3.3 Propangasunfall	7
3.3.1 Eigenschaften von Propangas	7
3.3.2 Massgebende Störfallszenarien und Bewertung der Auswirkungen	7
3.4 Benzinunfall.....	11
3.4.1 Eigenschaften von Benzin	11
3.4.2 Massgebende Störfallszenarien und Bewertung der Auswirkungen	11
3.5 Chlorgasunfall	12
3.5.1 Eigenschaften von Chlor.....	12
3.5.2 Massgebende Störfallszenarien und Bewertung der Auswirkungen	13
3.6 Transportunfälle auf näheren, wenig befahrenen Nebenstrassen	14
3.7 Zusammenfassende Bewertung und Fazit	14
4 Störfälle bei Erdgas-Rohrleitungen	15
4.1 Eigenschaften von Erdgas.....	16
4.2 Massgebende Störfallszenarien	16
4.3 Bewertung der Auswirkungen	17
4.3.1 Erdgashochdruckleitung TRAWO.....	17
4.3.2 Erdgasleitung REFUNA	18
4.4 Zusammenfassende Bewertung und Fazit	18
5 Störfälle bei Betrieben.....	19
5.1 Zwischenlager für radioaktive Abfälle (Zwilag)	22
5.2 Paul Scherrer Institut	22
5.3 Kernkraftwerk Beznau.....	23
5.4 Holcim (Schweiz) AG	23
5.5 Weitere Betriebe im Umkreis bis 7.5 km	24
5.6 Militäranlagen.....	24
5.7 Zusammenfassende Bewertung / Fazit	24

6	Waldbrandgefährdung.....	25
6.1	Allgemeine Bewertung	25
6.2	Anlagespezifische Bewertung	26
6.3	Zusammenfassende und Fazit.....	27
7	Literaturverzeichnis	29
Anhang A	Bewertungskriterien für die Auswirkungen von Explosionen.....	A-1
Anhang B	Quellstärke und Bewertungskriterien für die Auswirkungen von Bränden	B-1

Tabellenverzeichnis

Tab. 4-1:	Leistungskennzahlen der in unmittelbarer Umgebung befindlichen Gasleitungen	16
Tab. 5-1:	Auflistung der Betriebe, die der StFV (1991) unterstellt sind, und sich in einem Umkreis von 7.5 km um den Standort der BEVA befinden	20
Tab. A-1:	Richtwerte zur Beurteilung der Einwirkungen von Überdruck auf Bauten und Anlagen.....	A-1
Tab. B-1:	Richtwerte zur Quellstärke von Bränden.....	B-1
Tab. B-2:	Richtwerte zur Beurteilung der Einwirkungen von Wärmestrahlung auf Bauten und Anlagenteile.....	B-1

Figurenverzeichnis

Fig. 2-1:	Übersichtskarte zum Projektperimeter und der umliegenden Region	3
Fig. 2-2:	Topographie des Gebiets Unteres Aaretal	4
Fig. 3-1:	Verkehrs- und Transportwege im Umkreis zum Standort	6
Fig. 3-2:	Zünddistanz der unteren Explosionsgrenze bei 45 t Propan in Abhängigkeit von der gesamthaft freigesetzten Menge	8
Fig. 3-3:	Überdruck in Abhängigkeit des Abstands vom Explosionszentrums für eine Gaswolkendeflagration (45 t Propan)	9
Fig. 3-4:	Wärmestromdichte in Abhängigkeit des Abstands zum Freistrahbrand (45 t Propan)	10
Fig. 3-5:	Wärmestromdichte und Überdruck in Abhängigkeit des Abstands vom Explosionszentrums für einen BLEVE (80 t Propan).....	11
Fig. 3-6:	Wärmestromdichte in Abhängigkeit des Abstands zum Lachenbrand (1'500 t Oktan)	12
Fig. 3-7:	Chlorkonzentration in Abhängigkeit des Abstands vom Freisetzungspunkt (55 t Chlor)	13
Fig. 4-1:	Verlauf der Erdgasleitung TRAWO (70 bar) und der REFUNA (5 bar).....	15
Fig. 4-2:	Wärmestromdichte und Überdruck in Abhängigkeit des Abstands zum Zentrum des Feuerballs bzw. Fackelbrands.....	18
Fig. 5-1:	In der Umgebung befindliche, der Störfallverordnung unterliegende Betriebe.....	19
Fig. 6-1:	Durch Waldbrand betroffene Flächen in den Zentralalpen, den Voralpen, dem Jura und dem Mittelland (Zeitraum: 1950 bis 2022)	25
Fig. 6-2:	Exemplarische Darstellung der Anordnung des Projektperimeters (rot umrandet), Eingliederungssaum und angrenzendem Unterwald	27

Abkürzungsverzeichnis

BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAV	Bundesamt für Verkehr
BEVA	Brennelementverpackungsanlage
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKW	Kernkraftwerk
SBB	Schweizerischen Bundesbahn
StFV	Störfallverordnung
VBS	Eidgenössische Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport
WSL	Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
Zwilag	Zwischenlager Würenlingen AG

1 Einleitung

Im Zuge des Rahmenbewilligungsgesuchs für die Brennelementverpackungsanlage (BEVA) am Standort Zwiilag (Würenlingen, Kt. AG) ist gemäss Kernenergieverordnung (KEV 2004) als Teil der Gesuchsunterlagen ein Sicherheitsbericht (Nagra 2025) einzureichen, in welchem nach Art. 23 KEV Angaben zu den Standorteigenschaften anzugeben sind. Dies betrifft unter anderem die standortspezifischen externen Gefährdungen, wozu gemäss Richtlinie A05 des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI 2018) auch unfallbedingte Einwirkungen aus der Nachbarschaft zählen, die in einer Analyse abzubilden und zu bewerten sind.

Vorliegender Bericht umfasst die erforderliche Gefährdungsanalyse, ausgehend von Störfällen in der Nachbarschaft der BEVA. Er hat die Aufgabe, in einer bereits frühen Phase zu bewerten und nachvollziehbar darzulegen, dass die Anlage keinen inakzeptablen Risiken aus der nächsten Nachbarschaft ausgesetzt ist, und somit die gesetzlich geforderten Sicherheitsanforderungen durch einen geeigneten Standort sowie durch eine entsprechende Anlagenauslegung erfüllbar sind. Entsprechend den Anforderungen aus Art. 8 KEV ist die Anlage gegen Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage auszulegen, was nach Kernenergiegesetz (KEG 2003) im Rahmen des weiteren Bewilligungsverfahrens erfolgt.

Zu den Standorteigenschaften, die im Hinblick auf nahegelegene Gefahren aus der Nachbarschaft in diesem Bericht beschrieben und bewertet werden, zählen:

- Verkehrswege (Eisenbahnanlagen und Durchgangsstrassen, Kap. 3)
- Erdgasleitungen (Kap. 4)
- Betrieb (Industrieanlagen oder militärische Einrichtungen, Kap. 5)
- (Wald-)Brand (Kap. 6)

Da die Störfallverordnung gemäss Art. 9 (StFV 1991) keine aktive, vorsorgliche Information der Öffentlichkeit durch die Vollzugsbehörde vorsieht und Geheimhaltungspflichten in jedem Fall vorbehalten sind (insbesondere Schutz von Produktions- und Geschäftsgeheimnissen), sind nicht-öffentlich zugängliche Beschreibungen der Betriebe und der darin gehandhabten Stoffmengen durch die Gesuchstellerin, soweit sie für diese überhaupt zugänglich sind, nicht ohne weiteres zulässig. Der vorliegende Bericht ist daher mit plausiblen Angaben erstellt worden, um eine abdeckende Betrachtung und Einschätzung der jeweiligen Gefahren aus der Nachbarschaft durchführen zu können, vermeidet dabei aber die Offenlegung geschäftsgeheimnisverletzender Details.

Die Untersuchungen stützen sich dabei neben eigenen quantitativen standortspezifischen Analysen auch auf bestehende quantitative Untersuchungen anderer Kernanlagen ab, die aufgrund ihrer konservativen Annahmen und ihres generischen Charakters (bspw. keine Berücksichtigung der Abschattung infolge standortspezifischer, topographischer Gegebenheiten oder vorgelagerter Bauten) auf den Standort der BEVA übertragbar sind.

2 Standort der BEVA

Der Projektperimeter, der mit der Rahmenbewilligung raumplanerisch festgelegt wird und auf dem die BEVA gebaut und betrieben wird, befindet sich am Standort Zwilag (Gemeinde Würenlingen, Kt. AG). Er liegt südöstlich des Zwilag-Hauptkomplexes und in unmittelbarer Nachbarschaft zum Areal Ost des Paul Scherrer Instituts (PSI). Eine Übersicht über den Projektperimeter zeigt Fig. 2-1 (vgl. auch Nagra 2025). Der Projektperimeter liegt in der Talebene des unteren Aaretals, wobei die Aare nordwestlich angrenzend an die Zwilag und dem Areal Ost des PSI verläuft. Auf der bewaldeten Ostseite steigt die Talflanke steil an (Böschungshöhe von insgesamt knapp 20 m), während sich auf der Westseite eine hügelige Landschaftsstruktur anschliesst. Die topographische Einbettung des Projektperimeters im Gebiet des Unteren Aaretals ist in Fig. 2-2 gezeigt. Weitere Informationen zum Standort und der Anlage bzw. deren Betrieb befinden sich Nagra (2025).

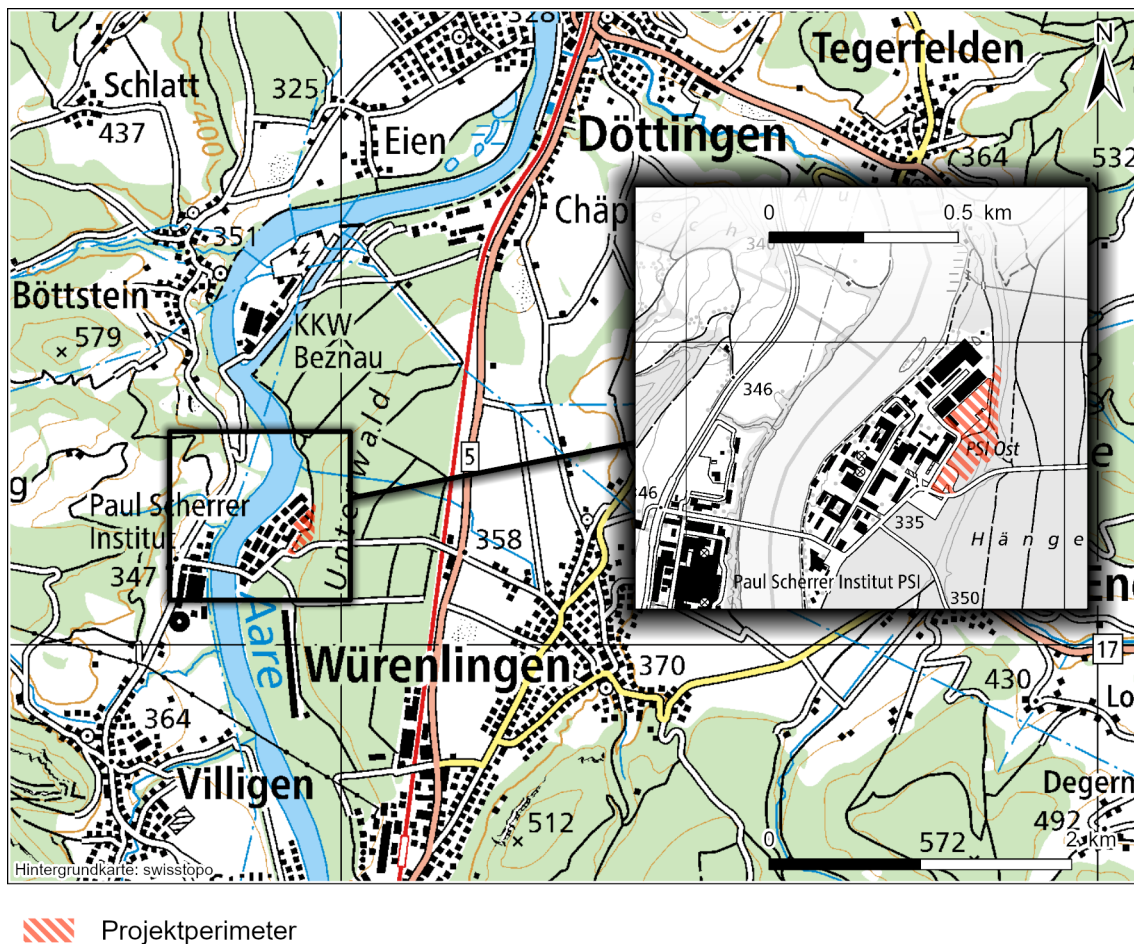


Fig. 2-1: Übersichtskarte zum Projektperimeter und der umliegenden Region

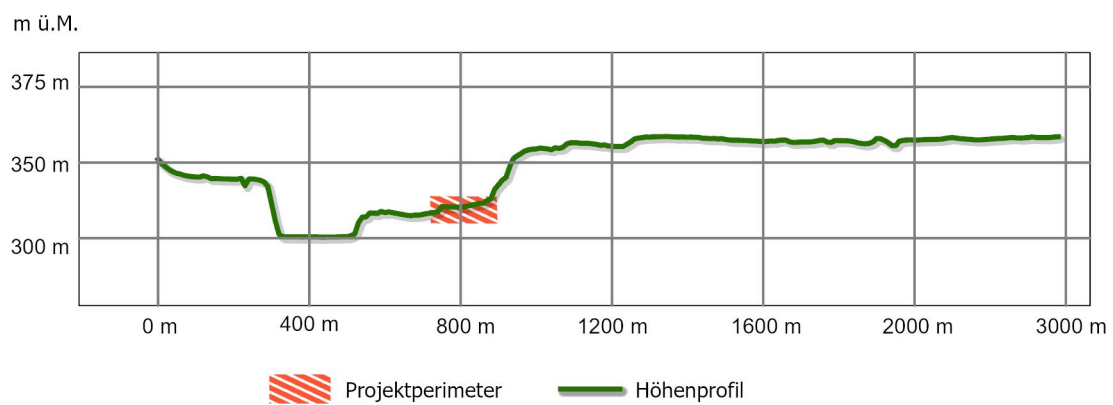
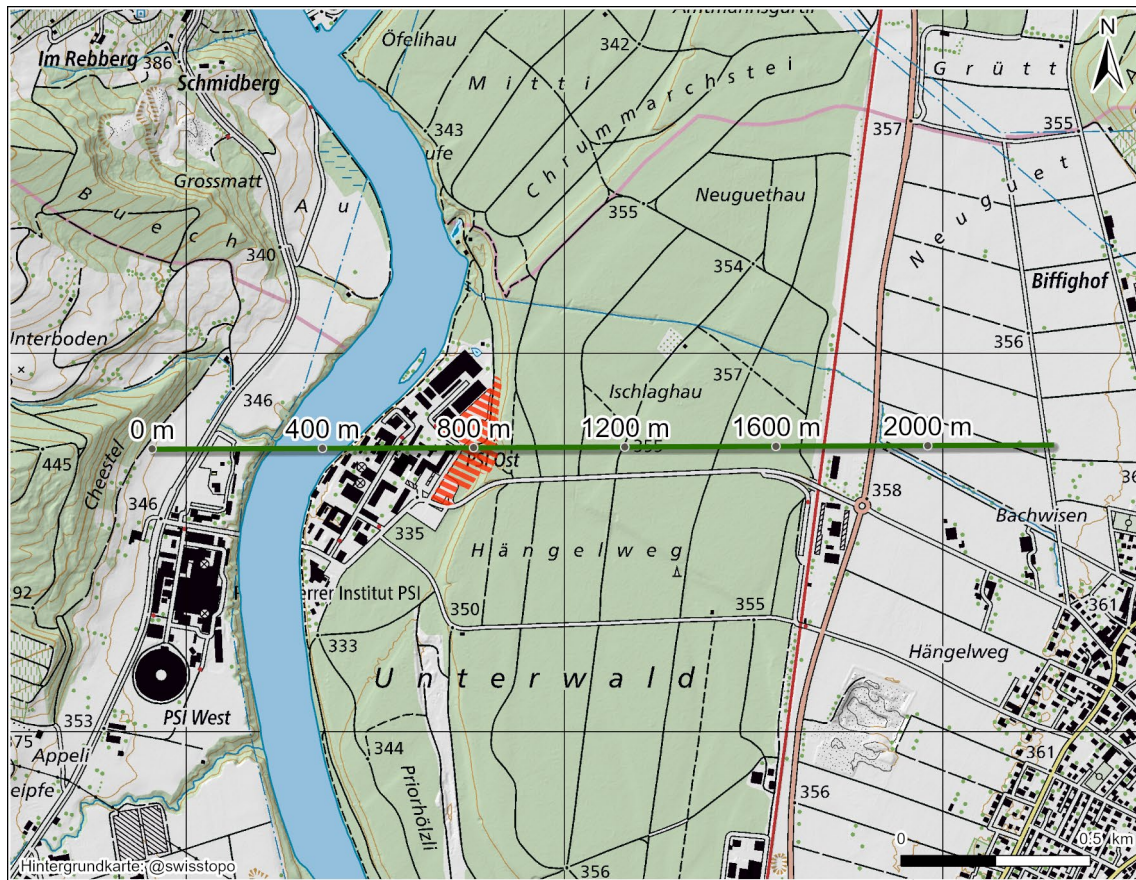


Fig. 2-2: Topographie des Gebiets Unteres Aaretal

Die grüne Linie entspricht der Verlaufsachse des Höhenprofils (ca. 6.5-fach überhöht).

3 Transportunfälle auf Verkehrswegen

3.1 Verkehrswege

Die Hauptstrasse Nr. 5¹ führt von Lausanne aus dem Jurasüdfuss und der Aare entlang nach Koblenz und ist vom Standort in etwa 1 km östlich erreichbar. Etwa 7 km nördlich verläuft die Hauptstrasse Nr. 7, welche von der deutschen Grenze bei Basel bis zu der österreichischen Grenze bei St. Margrethen führt. Die Autobahn Nr. 3 ist über die Hauptstrasse Nr. 5 in ca. 14 km via Brugg erreichbar. Der Standort ist von der Hauptstrasse Nr. 5 über die zweispurige Forschungsstrasse erschlossen. Vom Standort aus ist es auch möglich, über die PSI-Brücke auf die Westseite der Aare zu gelangen. Die Nebenstrasse K442 verbindet hier die beiden Ortschaften Kleindöttingen und Villigen und führt zu der Hauptstrasse Nr. 5 in Südrichtung und zu der Hauptstrasse Nr. 7 in Nordrichtung.

Etwa 900 m östlich des Standorts verläuft die Eisenbahnstrecke Turgi – Koblenz. Die Haltestelle Siggenthal – Würenlingen liegt etwa 3 km vom Standort entfernt. In ca. 900 m Entfernung befindet sich ein Güterumschlagplatz der Zwilag. Alle weiteren Eisenbahnstrecken sind etwa 6 km Luftlinie im Norden (Eglisau – Koblenz – Laufenburg) oder etwa 5 km im Süden (Baden – Turgi – Brugg) vom Standort entfernt.

Eine Übersicht über die Verkehrs- und Transportwege ist in Fig. 3-1 gezeigt.

3.2 Transportunfälle

Sowohl auf der Bahnstrecke Turgi – Koblenz als auch auf der nur ca. 100 m weiter entfernt, parallel dazu verlaufenden Hauptstrasse Nr. 5 (vgl. Fig. 3-1) können Flüssigpropan-, Benzin- und Flüssigchlortransporte als einzige Gefahrguttransporttypen durchgeführt werden (gemäss Kernkraftwerk Beznau). Diese Stoffgruppe stellt für die Gefahrenanalyse die relevanten Leitstoffe dar. Transporte von radioaktiven Abfällen zum Zwilag aus den Kernkraftwerken (KKW) stellen keine Gefahr für die BEVA dar, da diese Transporte sowie die verwendeten Behälter bewilligt bzw. zertifiziert sind und strengen Sicherheitsanforderungen unterliegen.

Bei den Auswirkungen von Unfällen bei Propan-, Benzin- und Flüssigchlor-Gefahrguttransporten auf Schiene und Strasse kann vereinfachend von der Beschädigung oder Zerstörung einer oder mehrerer mobiler, freistehender Tanks ausgegangen werden. Je nach Ursache, Leckgrösse und Leckbeschaffenheit, Stoffmenge, Austrittsrate und -richtung, vorhandenen Zündquellen und meteorologischen Bedingungen ist bei einem Unfall die Entwicklung verschiedener qualitativer und quantitativer Gefährdungsszenarien in der Umgebung aufgrund Brand, Explosion oder aggressiv wirkender Gasausbreitung möglich. Nachfolgend wurde konservativerweise jeweils der abdeckende Unfall untersucht.

Auf der Schiene werden Gefahrguttransporte mit weitaus grösseren Massen und Volumen transportiert als auf der Strasse. Die Unfallauswirkungen werden somit konservativerweise anhand der gewichtsmässig dominierenden Bahnkesselwagen untersucht. Zudem ist der Abstand des Bahngleises zur BEVA um etwa 100 m näher als von der Hauptstrasse Nr. 5. Unfälle, die von der Schiene ausgehen, sind dementsprechend in jedem Fall gravierender als Strassentransportunfälle und somit für die Unfallfolgenbetrachtung als abdeckend zu werten. Die folgenden Beurteilungen erfolgen daher jeweils anhand der Bedingungen und Auswirkungen bei einem Bahnunfall.

¹ Gemäss Durchgangstrassenverordnung, DgStrVO: Kat A mit Nummerntafel

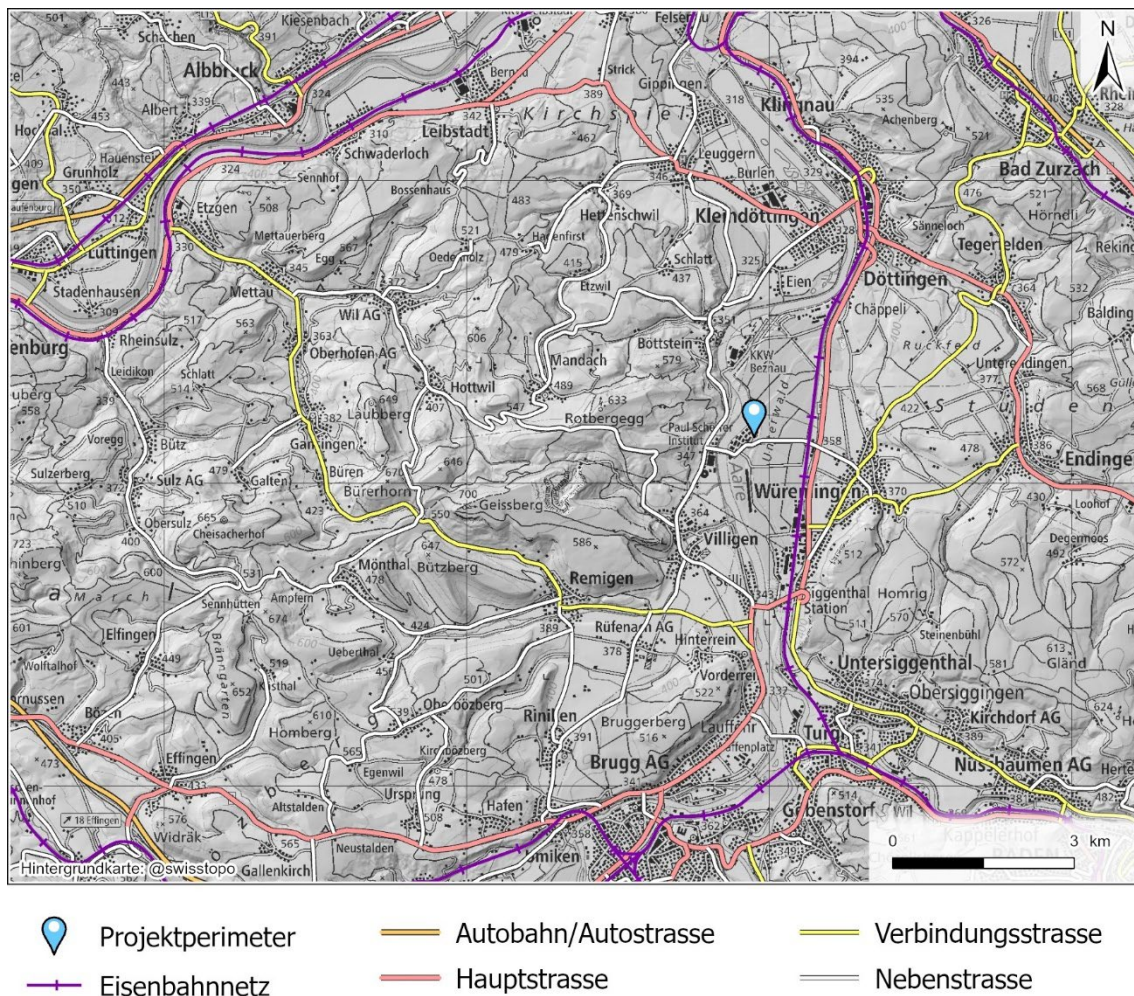


Fig. 3-1: Verkehrs- und Transportwege im Umkreis zum Standort

Vorgehen und Grundlage

Zur Abschätzung der Auswirkungen von Gefahrguttransportunfällen auf Verkehrswegen in der Nähe wurden die bestehenden standortunabhängigen Ausbreitungsrechnungen aus den Rahmenbewilligungsgesuchen der KKW-Neubauprojekte herangezogen (bspw. Resun AG 2008, KKN AG 2009b). Sämtliche physikalischen Ergebnisse aus Unfallabläufen, wie abstandsabhängige Wärmestromdichten, Überdrücke, chemische Schadstoffkonzentrationen etc., wurden dabei mittels des Störfallkonsequenzen- und Ausbreitungs-codes SAFER TRACE (KKN AG 2009b) ermittelt.

Aus den vorliegenden Ergebnissen (KKN AG 2009b, KKN AG 2009a) lassen sich – bei geeigneter Abstandsskalierung – die Konsequenzen der relevanten Leitstoffe für den Standort der BEVA mit ausreichender Aussagekraft abschätzen. Das international anerkannte Rechenprogramm SAFER TRACE wurde zwar inzwischen hinsichtlich weiterer Gefahrstoffe im Jahr 2014 aufdatiert, die mit der Version 2006 ermittelten Ergebnisse entsprechen aber bezüglich der relevanten Leitstoffe und seiner zugrundeliegenden Ausbreitungsalgorithmen weiterhin dem Stand der Technik und sind daher weiterhin gültig und anwendbar.

Einordnungshilfe zu den Beurteilungsergebnissen

Sämtliche Ausbreitungssimulationen wurden in SAFER TRACE unter der Prämisse eines ebenen, freien Geländes zwischen Unfallort und BEVA vorgenommen. Da sich zwischen den potenziell in Frage kommenden Unfallorten und der BEVA in der Realität jedoch kein freies Gelände befindet, sondern durchgehend ein dichter und hoher Mischwald erstreckt, der als Barriere und Widerstand fungieren kann, und zusätzlich der Standort infolge der Topographie ca. 20 m tiefer liegt (vgl. Fig. 2-2), sind alle nachfolgend dargelegten Modellierungsergebnisse als ausreichend konservativ zu werten.

Um die Auswirkungen wie Wärmestromdichten, Überdrücke und toxische Konzentrationen in den folgenden Kapiteln einordnen zu können, wird auf Anhang A und B verwiesen, mithilfe derer die jeweiligen Konsequenzen in Abhängigkeit des Belastungsausmasses beispielhaft für diverse Anlagen, Gebäudetypen und Materialien aus der Literatur zusammengetragen sind.

3.3 Propangasunfall

3.3.1 Eigenschaften von Propangas

Propan (C_3H_8) ist bei Atmosphärendruck gasförmig, lässt sich jedoch bei Raumtemperatur unter geringem Überdruck (ca. 6 bar bei Raumtemperatur) verflüssigen, weshalb dies die bevorzugte Transport- und Lageroption darstellt. Der Siedepunkt von Flüssigpropan liegt bei -42 °C . Propan gas verfügt über ein höheres Molekulargewicht als Luft (Propan: 44 g/mol, Luft: 29 g/mol) und zählt somit zu den schweren Gasen. Diese Eigenschaft stellt ein beträchtliches Gefahrenpotential dar: Das schwere Gas-Luft-Gemisch verweilt bei einer grösseren Freisetzung hochkonzentriert oberhalb der Zündgrenze am Boden und breitet sich 2-dimensional als Schwergas schnell aus. Bei grossen Mengenfreisetzungen findet eine Verdünnung mit Luft nur allmählich statt, sodass auch in grösserem Abstand vom Freisetzungsort für eine gewisse Zeit ein unsichtbares, kinetisch gehemmtes aber prinzipiell explosionsfähiges Gemisch vorliegen kann. Die gasförmige Ausbreitung bzw. die Form und Ausrichtung hängen vom Wind und der Topographie ab, es muss – bei besonderen Bedingungen – somit im Ereignisfall mit einer abdriftenden, räumlich verteilten und schliesslich verzögert gezündeten Gaswolke gerechnet werden. Propan ist hochentzündlich und bildet in der Luft rasch explosive Gemische. Seine Zündtemperatur liegt nach DIN (2003) bei 470 °C . Die Zündgrenzen liegen für Propan zwischen 2.1 und 9.5 Vol.-%, d. h. dass Luft-Gasgemische nur innerhalb dieser Grenzen brennbar und explosibel sind (DIN 2017).

3.3.2 Massgebende Störfallszenarien und Bewertung der Auswirkungen

Lachenbrand (Pool Fire)

Die Bildung einer Flüssiggas-Propanlache bei grossen Austrittsgeschwindigkeiten stellt insbesondere bei wannenartig betonierten, vertieften Geometrien (auch Kanalisationen) mit örtlich begrenzter Verdampfbarkeit (in nur eine Richtung) ein hohes brandtechnisches Risiko dar. Die Bildung einer siedenden Flüssiggas-Propanlache kann im Bereich eines nicht eingefassten Bahngleises auf heterogenem, natürlichem und hohlraumfreiem Untergrund kaum auftreten, da die Verdampfungsgeschwindigkeit bei Umgebungstemperatur und -druck aufgrund der sehr niedrigen Siedetemperatur von -42 °C extrem hoch wird. Ein Propan-Lachenbrand muss demnach nicht gesondert betrachtet werden. Beim Austritt flüssigen Propangases aus einem – an der Unterseite – beschädigten Bahnkesselwagen direkt in Richtung des Gleises entsteht unmittelbar eine bodennahe grosse und latent zündfähige Propangaswolke, deren Ausbreitungs- und Gefährdungscharakteristik nachfolgend beim Gaswolkenbrand (Flash Fire) beschrieben wird.

Gaswolkenbrand und Explosion (Flash Fire)

Wird brennbares Flüssiggas in grossen Mengen (Tonnenbereich) in kurzer Zeit gasförmig freigesetzt, so entsteht eine hochkonzentrierte Gaswolke, welche im Wolkeninnern eine Brennstoffkonzentration weit über der oberen Zündgrenze (grösser 9.5 Vol.-%) aufweist. Dies bedeutet ein zunächst stark gehemmtes Gasexplosionspotential, welches jedoch bei weiterer räumlicher Ausdehnung bodennah in ein dekonzentriertes, hochexplosibles Gas-Luft-Gemisch (kleiner 9.5 Vol.-%) übergeht. Bei einer spontanen, vollständigen Freisetzung von 45 t Propan² muss gemäss Fig. 3-2 in ebenem, windstillen Gelände mit einer Distanz der unteren Zündgrenze (kleiner 2.1 Vol.-%) von gut 300 m gerechnet werden, ab der entsprechend kinetischer Gastheorie keine Explosion mehr auftreten kann.

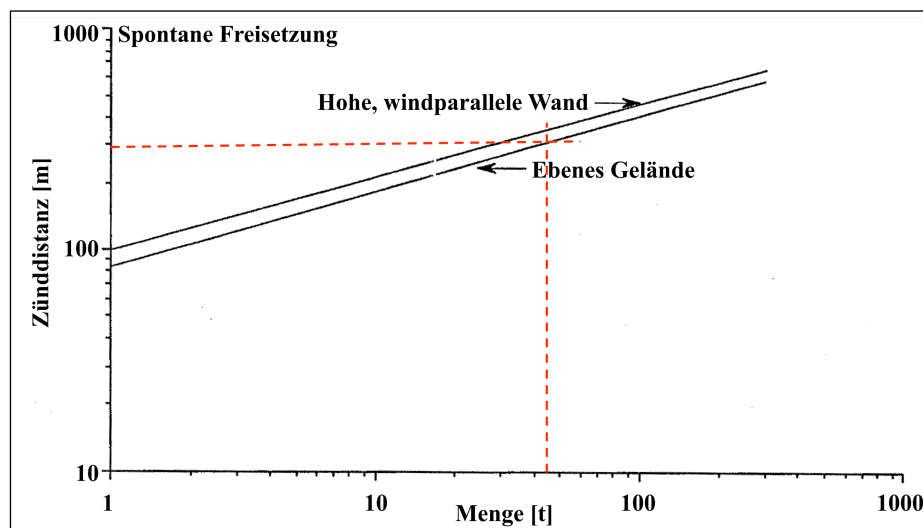


Fig. 3-2: Zünddistanz der unteren Explosionsgrenze bei 45 t Propan in Abhängigkeit von der gesamthaft freigesetzten Menge

Basler & Hofmann AG (1993) und Resun AG (2008)

Bei Zündung und Verbrennung der Propangaswolke entstehen an deren Oberfläche sehr hohe Wärmestromdichten von bis zu 200 kW/m² (KKN AG 2009b, KKN AG 2009a). Da diese jedoch kleiner sind als die Wärmestromdichten einer BLEVE, wird an dieser Stelle nicht weiter auf deren abstandabhängige Auswirkungen eingegangen, sondern auf die abdeckende Betrachtung bei der BLEVE (Seite 9) verwiesen.

Der dabei im ungehinderten Freien, auf ebenem Gelände auftretende distanzabhängige Überdruck ist in Fig. 3-3 dargestellt. Am Standort – d. h. in 600 m Abstand – beträgt der Überdruck ca. 54 mbar, der für massive stahlbewehrte Betongebäude ohne Auswirkung hinsichtlich der nuklearen Sicherheit einzuordnen ist (vgl. Tab. A-1). Allgemein stellt der aufgrund der bodennahen Freisetzung, dem grossen Abstand zur Bahnlinie (vgl. Fig. 3-1), der Topographie (Standort liegt ca. 20 m tiefer, vgl. Fig. 2-2) und dem dazwischen liegenden dichten Wald der Gaswolkenbrand jedoch keine direkte Gefahr für die BEVA dar. Der ca. 30 m hohe und dichte Mischwald sowie die über ca. 600 m verbleibende Distanz zum Standort bilden eine wirksame, natürliche Barriere gegen die dabei entstehende explosionsbedingte Druck- und Hitzewelle.

² Auf der Schiene haben Bahnkesselwagen einen Inhalt von etwa 45 t, Gefahrguttransporte auf der Strasse sind demgegenüber auf 20 t limitiert.

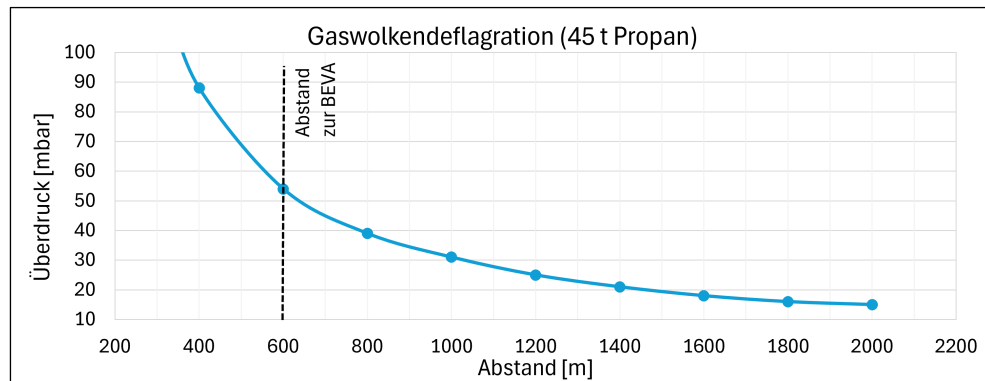


Fig. 3-3: Überdruck in Abhängigkeit des Abstands vom Explosionszentrums für eine Gaswolkendeflagration (45 t Propan)

KKN AG (2009a) und KKN AG (2009b)

Unter konservativen Bedingungen und östlicher Windrichtung muss jedoch aufgrund der spezifischen Zünddistanz des Propan mit einer akuten Entzündungs- resp. Explosionsfähigkeit der Gaswolke beim/im Wald gerechnet werden. Demzufolge ist aufgrund der hohen Wärmestromdichten ein Waldbrand (Baumkronenbrand) als Folgeereignis nicht auszuschliessen, insb. bei sommerlicher Trockenheit. Massgebend für Abschätzungen möglicher Waldbrände ist neben den meteorologischen Bedingungen die Distanz, in der eine spontane Zündung von Holz möglich ist. Die Grenze für eine Spontanzündung von Holz liegt bei rund 36 kW/m^2 (vgl. Tab. B-2). Eine spezifische Diskussion zur Gefährdung durch verschiedene Waldbrandauslöser wird in Kap. 6 geführt.

Freistrahbrand

Kommt es aufgrund der spezifischen Leakagegeometrie jedoch zur Zündung eines Freistrahls (Fackelbrand) aus einem 45-t-Propan-Kesselwagen, so sind Flammenlängen von mehreren 10 m mit einer gerichteten Wärmestromdichte grösser als 100 kW/m^2 realistisch. Diese Stichflammen gefährden primär die direkte Nachbarschaft. Für die thermische Belastung der BEVA in ca. 800 m Entfernung ist konservativerweise mit einer Wärmestromdichte von 24 W/m^2 zu rechnen (vgl. Fig. 3-4). Dieses Ergebnis gilt allerdings nur für die ideale freie Ebene. Der thermische Abschirmeffekt des dichten Mischwaldes wird nur noch einen Bruchteil dieses Wertes zulassen. Auswirkungen auf die entfernte BEVA sind somit nicht zu unterstellen.

Bei ungünstiger Richtung des Flammenstrahls (orthogonal zum Waldrand) und bei sommerlicher Trockenheit ist die Initiierung eines lokalen Brands (Baumkronenbrand) möglich. Eine spezifische Diskussion zur Gefährdung durch verschiedene Waldbrandauslöser wird in Kap. 6 geführt.

BLEVE Unfall mit Feuerball

Propan wird in druckverflüssigtem Zustand in soliden thermoisierten Behältern transportiert und gelagert. Der dabei herrschende Behälterinnendruck der verbleibenden Gasphase beträgt bei 10°C etwa 6 bar und steigt bei erhöhter Temperatur exponentiell an. Bei 30°C herrschen bereits 12 bar. Bei direkter Flammeneinwirkung bzw. starker Behältererhitzung besteht die Gefahr einer BLEVE, *Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion* (deutsch: Gasexplosion durch eine zu Dampf expandierende siedende Flüssigkeit). Bei einer BLEVE erhitzt sich das verdichtete, druckverflüssigte Propan sehr stark, weshalb sich als Konsequenz der Innendruck so stark erhöht, dass es schliesslich zum Behälterbersten kommt. Das Behälterbersten resultiert aus dem Überschreiten des maximal zulässigen Innendrucks aufgrund äusserer Wärmezufuhr über die Versagensgrenze

des Materials hinaus. Der gesamte Inhalt des druckverflüssigten Gases wird schlagartig in einer expandierenden Gaswolke freigesetzt, wobei eine Teilmenge des Luft-Gas-Gemisches sofort zündet und explodiert und dadurch einen thermischen Auftrieb erzeugt, der noch ungezündete Luft-Gas-Gemisch-Anteile rasch in die Höhe reisst und diese unter Bildung eines Feuerballs verbrennen oder verpuffen lässt. Der Feuerball entsteht, sobald das aufsteigende Gas-Luft-Gemisch die jeweilige Zündkonzentrationsgrenze erreicht (Basler & Hofmann AG 1993).

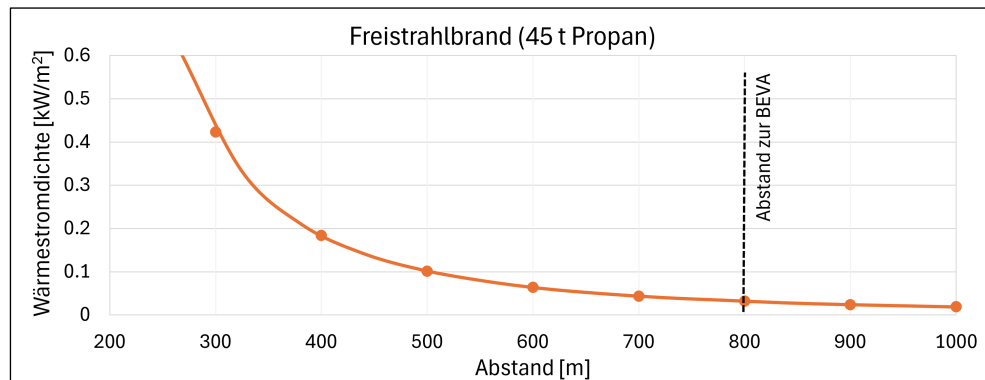


Fig. 3-4: Wärmestromdichte in Abhängigkeit des Abstands zum Freistrahland (45 t Propan)
KKN AG (2009a) und KKN AG (2009b)

Die internationale Erfahrung mit BLEVE Unfällen haben gezeigt, dass oftmals mehrere Kesselwagen involviert sind³. Der Feuerball erreicht infolge einer BLEVE bei Gütertransportunfällen mit zwei Kesselwagen bei einem Gesamtgewicht von 80 t Flüssigpropan Durchmesser von bis zu 250 m mit einer Explosionshöhe von bis zu 125 m. Die Auswertungen zeigten dabei, dass durch eine solche BLEVE ein Gebiet bis zu einer Entfernung von 300 m vom Zentrum des Feuerballen durch (Wald-)Brände und Personenschäden betroffen ist.

Bei einer BLEVE mit 80 t Propan ergibt sich eine Wärmestromdichte von etwa 350 kW/m² an der Oberfläche des aufgestiegenen Feuerballs, die in einer (ebenen) Entfernung von 900 m zu Wärmestromdichten von bis zu 3.9 kW/m² führt und bis zu 17 s andauert. Die damit verbundene wirksame thermische Kurzzeitdosis ist weder physiologisch für eine sich im Freien befindliche Betriebsperson noch für die Betonstruktur der BEVA gefährdend (vgl. Tab. B-2). Die ebenfalls während einer BLEVE entstehende Druckwelle sinkt im Abstand von ca. 900 m auf 21 mbar ab. Eine Gefahr für die Baustruktur und die Anlagentechnik der BEVA durch Druckwelle und Wärmestromdichte besteht somit auch bei maximaler Unfallausprägung nicht. Eine Beeinträchtigung der nuklearen Anlagensicherheit der BEVA ist ausgeschlossen. Die Abnahme der Wärmestromdichte sowie des Überdrucks mit dem Abstand vom Zentrum der Explosion ist in Fig. 3-5 verdeutlicht.

Alle angegebenen Werte sind ausgesprochen konservativ, da sie für ebenes, unverstelltes Gelände modelliert sind, und spiegeln nicht die realen Gegebenheiten, wie den ca. 30 m hohen und dichten Mischwald als auch den in unmittelbarer Nähe der BEVA befindlichen Geländesprung wider, wodurch der Standort noch zusätzlich abgeschirmt ist.

Vergleichbar zum Gaswolkenbrand und Fackelstrahlbrands ist insbesondere bei sommerlicher Trockenheit mit einem Folgebrand des bahnnahen Waldabschnittes zu rechnen. Eine spezifische Diskussion zur Gefährdung durch verschiedene Waldbrandauslöser wird in Kap. 6 geführt.

³ Meist waren es zwei betroffene Kesselwagen, wobei der erste Wagen unfallbedingt per Fackelbrand ausbrennt und mit seinem (Fackel-)Strahl den zweiten Wagen aufheizt, der daraufhin explodiert.

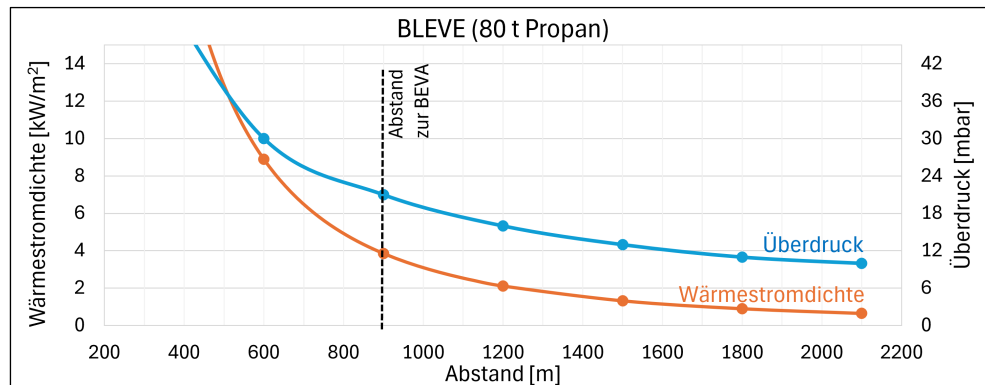


Fig. 3-5: Wärmestromdichte und Überdruck in Abhängigkeit des Abstands vom Explosionszentrums für einen BLEVE (80 t Propan)

KKN AG (2009a) und KKN AG (2009b)

3.4 Benzinunfall

3.4.1 Eigenschaften von Benzin

Benzin ist ein komplexes Gemisch von etwa 150 verschiedenen Kohlenwasserstoffen, deren Siedebereich zwischen denen von Butan und Kerosin/Petroleum (30 – 215 °C) liegt. Die Dichte beträgt 0.720 – 0.775 kg/Liter bei 15 °C, die Zündtemperatur beträgt ca. 220 °C. Die Explosionszündgrenzen liegen im Bereich zwischen 0.6 Vol.-% und 8.0 Vol.-%. Als komplexes Stoffgemisch ist Benzin deshalb in der Stoffdatenbank von SAFER TRACE nicht enthalten. Für die Modellierung wurde das bezüglich der Stoffeigenschaften repräsentative Oktan herangezogen.

3.4.2 Massgebende Störfallszenarien und Bewertung der Auswirkungen

Gemäss quantitativer Risikoanalyse des Bundesamts für Verkehr (BAV 2004) für Gefahrguttransporte auf der Bahn beträgt die Transportmenge Benzin pro Bahnkesselwagen ca. 60 t. Ein Bahnkesselwagen weist ein Volumen von bis zu 82 m³ auf.

Die Leck- und Austrittsstelle wird konservativerweise in Richtung des Standorts zugewandten Seite unterstellt. Das Benzin breitet sich je nach Topographie aus (bzw. sammelt sich in Senken) und wird mit grosser Wahrscheinlichkeit auch den Wald erreichen. Bei einem Transportunfall könnte im Extremfall ein Mehrfaches der Menge eines Bahnkesselwagens freigesetzt werden. Es wird vom Ausbrennen von zwei solcher Kesselwagen (ca. 120 t) ausgegangen. Es wird unterstellt, dass bei Freisetzung sich das ausströmende Benzin entzündet und es zu einem örtlich begrenzten Lachenbrand im Nahbereich der Gleise kommt. Sammelt sich das gesamthaft ausgetretene Benzin von 164 m³ in einer Senke mit einer Fläche von bspw. zwei Kesselwagenlängen (ca. 50 m) und einer Breite von ca. 20 m wäre eine Lachenhöhe von bis zu ca. 15 cm plausibel. Ein Lachenbrand dieser Höhe und Fläche resultiert typischerweise in einer mittleren Abbrandrate von etwa ±5 mm/min und nähme eine Ausbrenndauer von ca. 0.5 Stunden in Anspruch.

Die Wärmestromdichte des primären Lachenbrands mit 164 m³ Benzin zwischen Bahnstecke und Waldrand ist für den ca. 900 m entfernten Standort vernachlässigbar. Modellrechnungen weisen für ebenes, freies Gelände in 900 m Entfernung vom Brandherd Wärmestromdichten im Bereich von wenigen W/m² aus. Auch konservative Betrachtungen, bei der ein Lachenbrand aus 1'500 t Benzin (Zugskomposition von 25 Kesselwagen) als Unfallszenario betrachtet wird, resultiert in

einer Wärmestromdichte am Standort von weniger als 1 kW/m^2 (vgl. Fig. 3-6). Eine Beeinträchtigung der Sicherheit kann damit selbst im konservativsten Fall ausgeschlossen werden.

Ein Lachenbrand auf der waldnahen Seite des Bahngleises kann insbesondere bei Trockenperioden zu einem fortschreitenden Waldbrand ab der Randzone des Unterwaldes führen. Eine spezifische Diskussion zur Gefährdung durch verschiedene Waldbrandauslöser wird in Kap. 6 geführt.

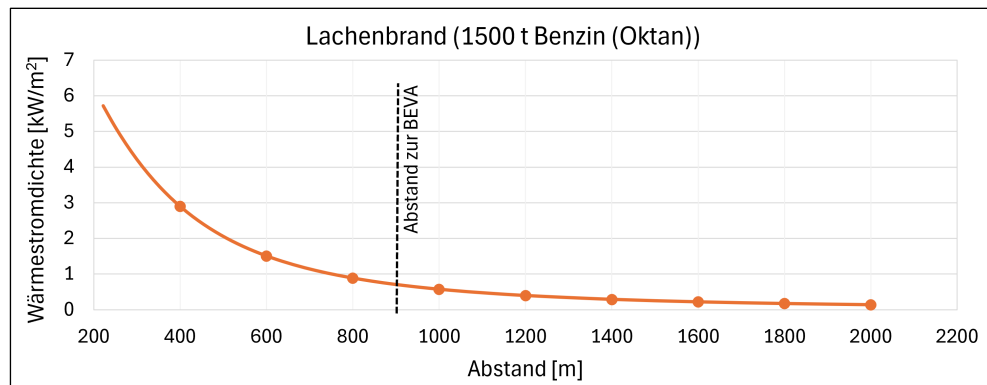


Fig. 3-6: Wärmestromdichte in Abhängigkeit des Abstands zum Lachenbrand (1'500 t Oktan)
KKN AG (2009a) und KKN AG (2009b)

3.5 Chlorgasunfall

3.5.1 Eigenschaften von Chlor

Chlor ist ein gelbgrünes, stechend riechendes giftiges Gas, das mit einer Dichte von 3.214 g/l bei 0°C etwa 2.5-mal so schwer ist wie Luft und sich somit bei Austritt in Bodennähe konzentriert. Es kondensiert bei -34.6°C zu einer gelben Flüssigkeit und erstarrt bei -101°C . Da der kritische Punkt mit 143.9°C , 77.1 bar und 0.67 g/cm^3 relativ hoch ist, lässt sich Chlor leicht unter Druck verflüssigen. So ist es bereits bei einem Druck von 6.7 bar und 20°C flüssig und lässt sich in Stahlflaschen oder in Bahnkesselwagen transportieren. Chlor ist nur begrenzt in Wasser löslich, chemisch sehr reaktiv und wirkt stark oxidierend.

Bereits bei einer Konzentration von 500 mg/m^3 (entspricht 172 ppm) und einer 5-minütigen Expositionszeit kann es zu Todesfällen kommen. Ab Konzentrationen von $5'000 \text{ mg/m}^3$ (entspricht $1'720 \text{ ppm}$) und einer 5-minütigen Exposition verlaufen nahezu 100 % der Fälle tödlich (BAV 2018). Die maximal zulässige Konzentration von Chlor am Arbeitsplatz⁴ ist daher begrenzt auf 0.5 ppm (MAK1-Wert über 1 Arbeitswoche, 42 Stunden) oder 1.5 mg/m^3 (MAK2-Wert über 1 Arbeitstag, 8 Stunden).

⁴ <https://www.suva.ch/de-ch/services/grenzwerte#gnw-location=%2F>

3.5.2 Massgebende Störfallszenarien und Bewertung der Auswirkungen

Auf der Bahnstrecke Turgi – Koblenz können Chlortransporte nicht ausgeschlossen werden, wobei nach der Schliessung der Fa. Solvay in dieser Gegend kein Chlorproduzent mehr vorhanden ist. Laut Bundesamt für Umwelt⁵ gibt es keine verbindlich vorgeschriebenen Routen, auf welchen die Transporte durchgeführt werden müssen.

Die schwerste mechanische Einwirkung auf einen vollen Bahnkesselwagen würde 55 t druckverflüssigtes Chlor freisetzen, was in einer Konzentration im Freien in einer Abwinddistanz von ca. 900 m von etwa 1'000 ppm (3044 mg/m³) resultiert (siehe Fig. 3-7). Unter obigen konservativen Ausbreitungsszenarien besteht daher eine Gefährdung für Menschen im Freien bzw. in von aussen aktiv belüfteten, ungefilterten Räumen. Chlorgas stellt also primär eine Gefährdung für das Betriebspersonal im Freien dar.

Form und Ausrichtung hängen jedoch vom Wind und der Topographie ab. Zu einer grossen Spontanverdampfung braucht es allerdings eine möglichst grosse und (z. B. sommerlich) heisse Ausdampffläche. Ein Versprühen in den Bahnschotter und bewachsene Böschungen reduziert die verdampfbare Menge entsprechend. Zusätzlich kommt dem dichten, hohen Mischwald mit dichtem Unterholz bei ca. 900 m Distanz zum Standort auch eine Verzögerungsfunktion gegen eine schnelle (windgetriebene) Chlorgasausbreitung in Richtung BEVA zu. Dementsprechend ist mit einer moderaten Ausbreitungsgeschwindigkeit und Verdünnung der Gaswolke über diese Distanz zu rechnen, bevor eine Gefährdung am Standort auftritt (inkl. der rechtzeitigen Information über die Gefährdungslage sowie der Schutz von Personen vor Ort).

Im feuchten Zustand ist Chlorgas korrosiv und kann bei hohen luftgetragenen Konzentrationen auch kurz- oder mittelfristig Schäden an im Freien exponierten Oberflächen von Baustrukturen und Anlageteilen verursachen, welche in der Unfallfolge ausserplanmässige Prüf- und Instandsetzungsarbeiten erforderlich machen würden. Allfällige Einwirkungen von Chlor an den äusseren Strukturen der BEVA hätten jedoch keinen Einfluss auf die strukturelle Integrität und Sicherheit des Bauwerks. Aufgrund der Gesamtheit der natürlichen Standortbedingungen sowie der BEVA-Auslegung besteht für die nukleare Sicherheit keine Gefahr durch Chlorgas, auch bei Ausfall bzw. Beeinträchtigung des Personals.

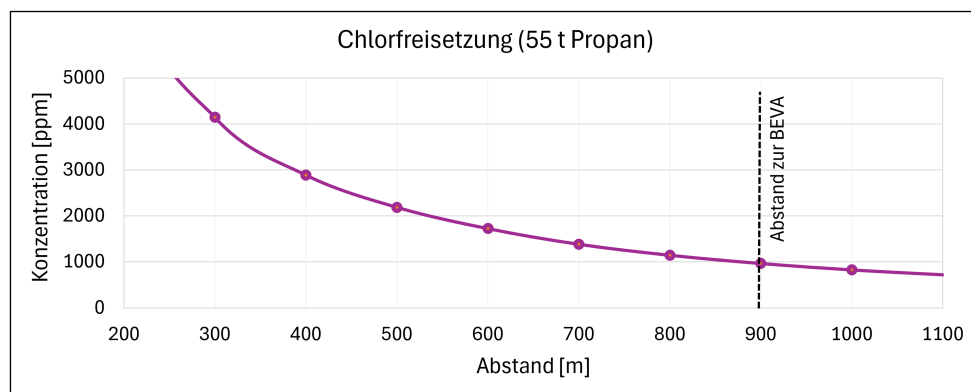


Fig. 3-7: Chlorkonzentration in Abhängigkeit des Abstands vom Freisetzungspunkt (55 t Chlor)

KKN AG (2009a) und KKN AG (2009b)

⁵ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/stoerfallvorsorge/dossiers/sicherheit-bei-chlortransporten.html>

3.6 Transportunfälle auf näheren, wenig befahrenen Nebenstrassen

Wie bereits erläutert, werden die Unfallkonsequenzen bei einem Strassentransport auf der Hauptstrasse Nr. 5, bei der die transportierte Gefahrgutmenge systembedingt deutlich geringer ist (bspw. max. 20 t Propan) durch die Unfallkonsequenzen der Schiene, deren Distanz zum Standort zudem kleiner ist als bei der Strasse, vollständig abgedeckt. Das Potential von Unfällen auf Nebenstrassen (vgl. Fig. 3-1) wird im Folgenden diskutiert.

Auf der Forschungsstrasse, die den Standort von der Hauptstrasse Nr. 5 erschliesst, erfolgen laut PSI-Mitteilung für die verschiedenen PSI-Labore und das Zwiilag nur kleine Chemieanlieferungen mit geringem Gefährdungspotential. Das PSI wird ausschliesslich mit geringen Mengen an Gasen und Heizöl/Diesel beliefert, es erfolgen keine Benzinantransporte. Auf der gegenüberliegenden Aareseite verläuft die Nebenstrasse Villigen – Böttstein – Döttingen in ca. 500 m Entfernung zum Standort. Aufgrund ihrer engen kurvigen Dorfdurchfahrten ist sie für Schwerlastverkehr nur schlecht geeignet und wird folglich nicht durch Schwerlastverkehr befahren. Auf dieser Strecke werden somit keine Gefahrguttransporte (von bedeutender Menge) durchgeführt.

3.7 Zusammenfassende Bewertung und Fazit

Die Resultate zeigen, dass eine Gefährdung des Standorts durch Brand, Explosion oder luftgetragene Toxizität eines mit feuergefährlichen oder toxischen Gütern beladenen Lastwagens oder Bahnwaggons ausgeschlossen werden kann. Dies ist in den natürlichen Schutzeigenschaften begründet, charakterisiert durch einen grossen Abstand, den topologischen Verhältnissen und dem dichten Mischwald zwischen den Verkehrswegen und dem Standort. Zusätzlich wird die BEVA allgemein gegen Einwirkungen von Aussen bautechnisch so ausgelegt, dass auch andere Gefährdungen nicht zu einer Beeinträchtigung bzw. Verletzung der nuklearen Sicherheit führen.

Zudem werden lt. Auskunft vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) und den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) in der Zukunft auch die bisher genutzten standardisierten Gewichts- und Volumenklassen für Lastwagen und Eisenbahncontainer zum Transport von Gefahrgut nicht bedeutend erhöht. Aus den verschiedenen Erhebungen, als auch durch die Sicherheitsanalysen der nahegelegenen Kernanlagen, geht die einheitliche Prognose hervor, dass sich zukünftig einerseits die Routenführungen für Gefahrguttransporte in der näheren Umgebung des Standorts nicht ändern werden und andererseits nicht erwartet wird, dass die zahlenmässigen Mengen und die spezifischen Behältergrössen von beförderten Gefahrgütern auf der nahegelegenen Schiene und den Strassen in Zukunft zunehmen. Dies wird insb. für die Gefahrguttransporte mit den Leitstoffen Propan, Benzin und Chlor auf der Bahnlinie von der SBB und den betreffenden Gemeinden auf Anfrage hin bestätigt. Bis auf weiteres sind zudem keine Planungen für einen künftig regional grösseren gefahrgut-konsumierenden Industrieaufbau bekannt.

4 Störfälle bei Erdgas-Rohrleitungen

Nahe dem Standort verlaufen zwei im Boden verlegte Erdgasleitungen. Die Erdgashochdruckleitung TRAWO (Zuzgen – Winterthur/Ohringen), die das Netz der Erdgas Ostschweiz AG in Winterthur mit der Transitgasleitung Niederlande - Italien verbindet, verläuft – gezeigt in Fig. 4-1 – östlich dem geplanten Projektperimeter im Wald. Sie hat einen minimalen Abstand von etwa 350 m von der BEVA, die damit ausserhalb des 300 m betragenden Konsultationsbereichs der Gasleitung liegt. Die Leitung weist einen maximalen Betriebsdruck von bis zu 70 bar auf. In öst- und südlicher Richtung im Waldgebiet in einem geringeren Abstand von ca. 80 m zur BEVA verläuft die ebenfalls in Fig. 4-1 gezeigte REFUNA-Erdgasleitung. Sie wird von der TRAWO gespeist und versorgt das Reserveheizkraftwerk des PSI-Ost. Die Leitung weist einen maximalen Betriebsdruck von bis zu 5 bar auf. Die technischen Angaben bzw. die Leistungskennzahlen zu beiden Gasleitungen sind in Tab. 4-1 zusammengefasst.

Beide Leitungen erfüllen bereits aufgrund ihrer Nähe zu den nuklearen Einrichtungen des PSI und der ZWILAG alle an sie gestellten sicherheitstechnischen Auslegungsanforderungen, wie sie das Rohrleitungsgesetz vorschreibt.

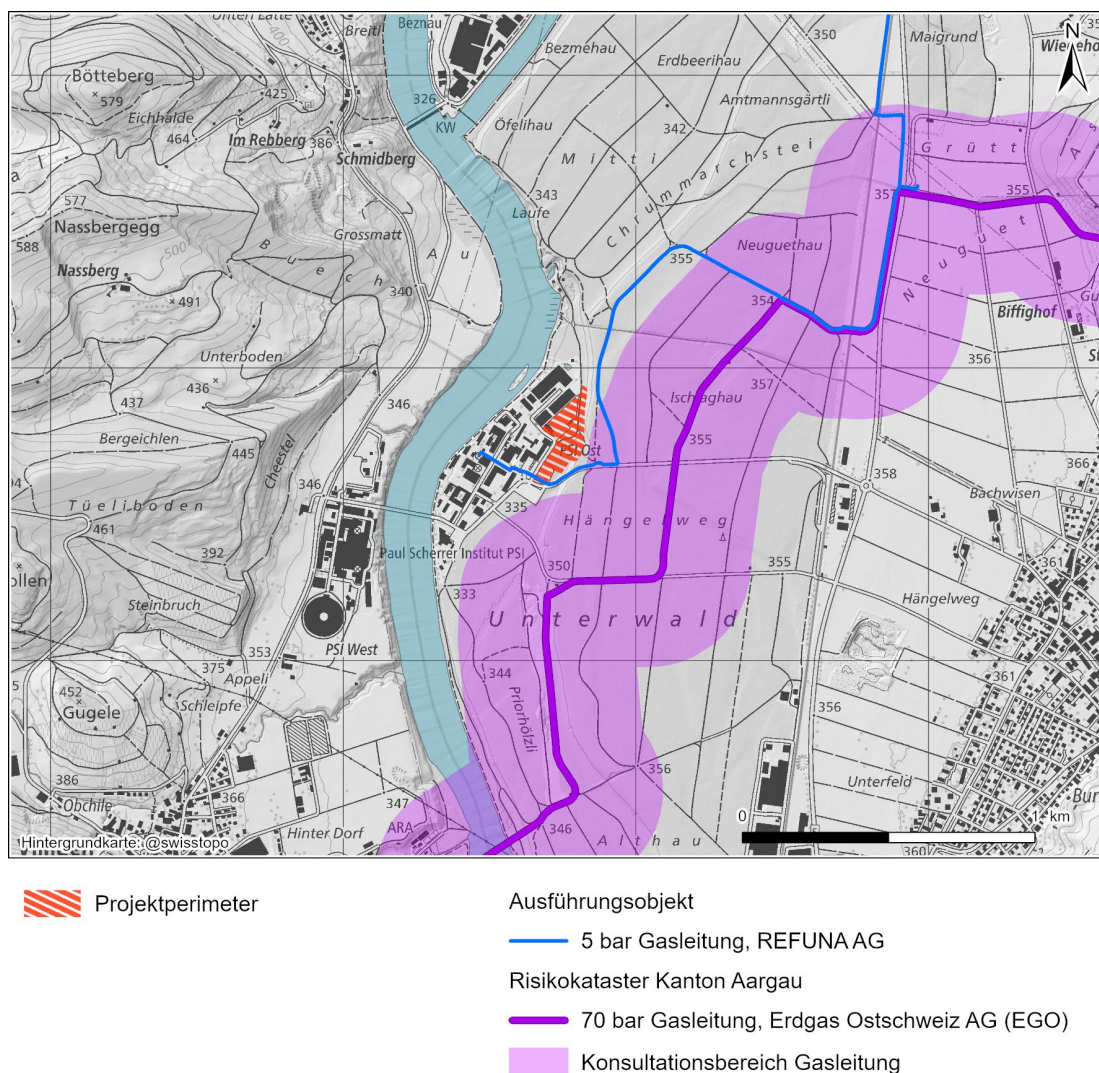


Fig. 4-1: Verlauf der Erdgasleitung TRAWO (70 bar) und der REFUNA (5 bar)

Tab. 4-1: Leistungskennzahlen der in unmittelbarer Umgebung befindlichen Gasleitungen

Angabe	5 bar Gasleitung	70 bar Hochdruckgasleitung
Baujahr	2024	1997
Material / Typ	PE 100 S5, Gerofit	StE 480.7 TM
Nennweite	DN 160	DN 700
Aussendurchmesser	160 mm	711.2 mm
Rohrwandstärke	14.6 mm	10.0 mm
Innendurchmesser	130.8 mm	691.2 mm
Betriebsdruck	Max 5 Bar	Max. 70 bar
Überdeckung	1.4 m	1.5 bis 4.0 m (nach Plan Nr. 92-09)
Minimaler Abstand zur BEVA	ca. 80 m	ca. 350 m

In unmittelbarer Nähe der BEVA verläuft die Leitung der Fernwärmeversorgung REFUNA zum PSI. Der darin beförderte Heissdampf stellt bei einem Platzen der Leitung keine Gefahr für die BEVA dar und wird demnach nicht weiter betrachtet.

4.1 Eigenschaften von Erdgas

Erdgas ist bei 25 °C und 1'013.25 hPa gasförmig. Erdgas gilt als ungiftig und ist ein Gemisch aus Kohlewasserstoffen, das überwiegend aus Methan besteht und geringe Mengen an Ethan, Propan, n-Butan, Stickstoff, Kohlenstoffdioxid oder Wasserstoff enthalten kann. Die Dampfdichte von Erdgas entspricht bei 0 °C und 1'013.25 hPa rund (0.7 – 1) kg/m³ und ist damit leichter als Luft. Der Siedepunkt der kondensierten Kohlenwasserstofffraktion liegt im Allgemeinen etwas höher als der von reinem Methan (-161 °C). In Mischung mit Luft bildet Erdgas im Bereich von 4 Vol.-% bis 17 Vol.-% ein zündfähiges Gemisch. Die Zündtemperatur in Mischung mit Luft befindet sich zwischen 575 °C und 640 °C. Erdgas (mit > 90 % Methan) ist im Freien nicht detonationsfähig. In einer verdämmten Umgebung (Innenräume, Stollen, Tunnel, oder Örtlichkeiten, an welchen die Druckausbreitung behindert werden kann) können sich durch die Zündung des Luft-Gas-Gemisches erhebliche Explosionsdrücke aufbauen.

4.2 Massgebende Störfallszenarien

Die einschlägige Literatur zu (internationalen) Unfällen (Swissgas 2010) bei unterirdisch verlegten Gasleitungen zeigt, dass fast 100% der Unfälle aufgrund Beschädigungen durch Bauarbeiten, z. B. Kräne, Bohrungen etc., zurückzuführen sind. Ein Totalversagen der Erdgasleitung ist definiert durch eine Leckgrösse grösser oder gleich dem Leitungsdurchmesser. Die Folgen – bei grossen Drücken und Rohrdurchmessern – sind aufgrund der Bodenverdämmung der im Erdreich verlegten Rohrleitung meist eine Explosion mit grossflächiger Kraterbildung bei gleichzeitigem grossvolumigen Feuerball. Nach dessen Ausbrennen entsteht mit dem Restdruck und der nachströmenden Gasmenge aus beiden getrennten Leitungsabschnitten ein Fackelbrand, der in der Anfangsphase grosse Höhen erreicht, sowie in verschiedene Raumwinkel gerichtet sein kann und bis zur Absperrung des beschädigten Teilstücks der Gasleitung wirksam bleibt.

Neben den beim Feuerball und Fackelbrand auftretenden thermischen Belastung (Wärmestromdichte und thermische Dosis) sind die Auswirkungen des explosionsbedingten Überdrucks am Standort zu bewerten (Swissgas 2010). Ein Waldbrand als Folge des Gasleitungsunfall wird in Kap. 6, in dem eine spezifische Diskussion zur Gefährdung durch verschiedene Waldbrandauslöser geführt wird, diskutiert.

4.3 Bewertung der Auswirkungen

4.3.1 Erdgashochdruckleitung TRAWO

Ein Totalversagen der TRAWO-Erdgasleitung im Würenlinger Unterwald, die zu den in Kap. 4.2 beschriebenen Störfallszenario führen könnte, ist aufgrund des nicht bebaubaren Waldgebietes nicht zu unterstellen. Typische Forstarbeiten an Waldwegen, Abflussrinnen etc. verlaufen ausschliesslich oberflächennah. Tiefergehende Arbeiten (mit Schädigungspotential der Leitung) im Bereich der markierten Erdgasleitungsschneise sind zudem bewilligungspflichtig. Eine Explosion genau am Ort der kürzesten Distanz zum Standort ist zudem unwahrscheinlich. Im Folgenden wird dennoch konservativerweise der massgebende Störfall mit vollständiger Gasleitungszerstörung unterstellt und dabei die sich daraus ergebenden Gefährdung für die BEVA am konservativsten Punkt minimaler Distanz durch Explosion und Wärmestrahlung bewertet. Die Analysen stützen sich dabei auf die Grundlagen bzw. Rechenvorschriften der schweizerischen Erdgaswirtschaft ab (Swissgas 2010, van den Bosch & Weterings 2005, Koinig 1999). Aufgrund des generischen Charakters der Analysen (keine Berücksichtigung der Abschattung infolge standortspezifischer, topographischer Gegebenheiten oder vorgelagerte Hindernisse) sind die Ergebnisse als konservativ zu bewerten.

Um die Auswirkungen einordnen zu können, wird auf Anhang A und B verwiesen, mithilfe derer die jeweiligen Konsequenzen in Abhängigkeit des Belastungsausmasses beispielhaft für diversen Anlagen, Gebäudetypen und Materialien aus der Literatur zusammengetragen sind.

Primärer Feuerball

Bei Totalversagen der Hochdruckgasleitung treten innerhalb der ersten 20 Sekunden etwa 83 t Erdgas aus. Im freien Feld ohne Gebäude ergibt sich kaum eine Verdämmung, weshalb sich die resultierende Druckwelle beim Standort (in ca. 350 m Distanz) zu etwa 0.1 bar berechnet (vgl. Fig. 4-2). Dieser Überdruck ist für die bauliche Integrität der BEVA jedoch vernachlässigbar (vgl. Tab. A-1). Der Feuerball, der bis zu 150 m aufsteigt, einen Durchmesser von ca. 120 m haben kann und ca. 17 Sekunden anhält, entfaltet am Entstehungsort eine maximale Wärmestromdichte von weit über 100 kW/m². Setzt man konservativerweise die kürzeste mögliche Entfernung von ca. 350 m zum Standort an, so sinkt die Wärmestromdichte beim Standort auf ca. 15 kW/m² (vgl. Fig. 4-2). Diese kurzzeitige thermische Last bedeutet für die bauliche Struktur der BEVA indes keine Gefährdung (vgl. Tab. B-2). Eine Betonwand von 200 mm Stärke erwärmt sich in diesem Zeitraum von 17 s um 0.5 °C.

Sekundärer Fackelbrand

Bei einer Hochdruckgasleitung mit 70 bar und 700 mm Durchmesser kann der Fackelbrand nach einem Feuerball bzw. einer Gaswolkenexplosion einen zylindrischen Durchmesser von ca. 70 m und eine Höhe von ca. 325 m erreichen. Die Wärmestrahlung fällt dabei von 100 kW/m² an der zylindrischen Oberfläche⁶ bei einer Distanz von 350 m bis zum Standort bis auf etwa 6 kW/m² ab (vgl. Fig. 4-2). Dies bedeutet auch hinsichtlich der thermischen Dosis bis zur automatischen

⁶ Annahme eines vertikalen Zylinders mit einer Höhe von ca. 325 m und einem Durchmesser von 70 m.

Schliessung nach wenigen Minuten und dem Entweichen der Restgasmasse für die baulichen Strukturen der BEVA keine Gefährdung (vgl. Tab. B-2). Eine Stahlbetonwand der Stärke 200 mm wird sich dadurch nach 5 Minuten Restbrennzeit um 3.7 °C erwärmen.

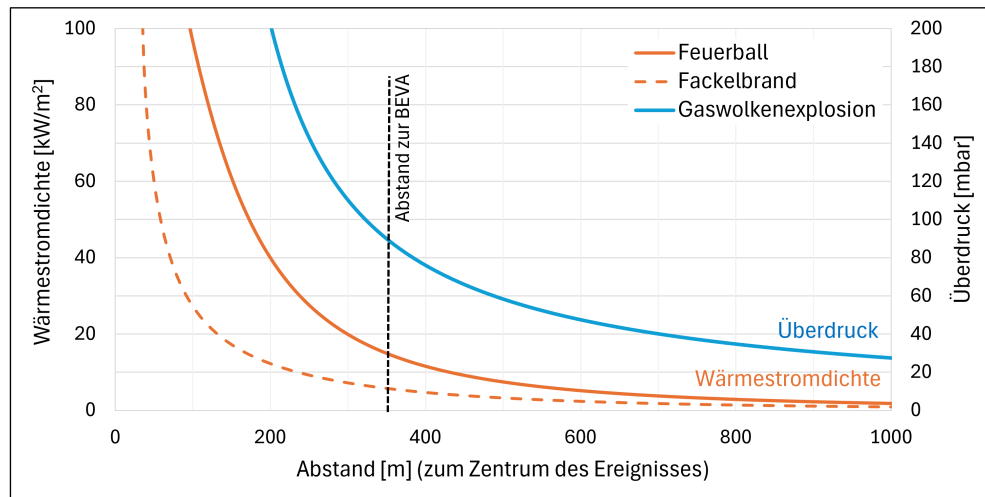


Fig. 4-2: Wärmestromdichte und Überdruck in Abhängigkeit des Abstands zum Zentrum des Feuerballs bzw. Fackelbrands

4.3.2 Erdgasleitung REFUNA

Bei Totalversagen der REFUNA Gasleitung treten innerhalb der ersten 20 Sekunden etwa 70 kg Erdgas aus. Die dabei bei einem Feuerball, einer Gaswolkenexplosion und/oder einem Fackelbrand auftretenden Überdrücke und Wärmestromdichten sind bereits nach weniger als 40 m vom Ereignisort gleich oder kleiner als bei der 70 bar Hochdruckgasleitung in einer Entfernung von 350 m. Am Ort der BEVA, die einen minimalen Abstand von etwa 80 m zur 5 bar Gasleitung aufweist sinken die Einwirkungen weiter ab. Eine in 80 m befindliche Stahlbetonwand der Stärke 200 mm wird sich bei einem Fackelbrand (auf ebenem Gelände) nach 5 Minuten Restbrennzeit weniger als 1 °C erwärmen.

4.4 Zusammenfassende Bewertung und Fazit

Aus dem unterstellten Totalversagen, d.h. einer vollständigen doppelseitigen Trennung der Erdgasleitung (70 bar bzw. 5 bar) am konservativsten Punkt minimaler Distanz zum Standort mit nachfolgend grösstmöglicher Störfallausprägung durch Feuerball, Gaswolkenexplosion und Fackelbrand ergeben sich keine nachteiligen Auswirkungen am Standort in Form unzulässig hoher Wärmestromdichten, Wärmestromdosen oder Überdruckimpulsen.

Alle zu den Unfallabläufen ermittelten Druckspitzen und Wärmestromdichten liegen weit unterhalb kritischer Werte, die auf die Baustrukturen und die Betriebsabläufe der BEVA keinen nachteiligen Einfluss haben. Da der Standort zudem durch eine ca. 20 m tiefe Böschung abgetrennt unterhalb des Waldplateaus liegt (vgl. Fig. 2-2), dürften sowohl bei einem Feuerball als auch beim Fackelbrand zusätzliche Abschirmeffekte bzgl. der 70 bar Hochdruckgasleitung wirksam werden. Somit wäre bei solch einem Ereignis von jeweils noch niedrigeren Wärmestromdichten bzw. Wärmedosen und Überdrücken auszugehen, als es die unter den Bedingungen ebenen und freien Geländes für diese Analyse durchgeführten Modellrechnungen ausweisen.

5 Störfälle bei Betrieben

In der Umgebung um den Standort wurden diejenigen Einrichtungen einer Überprüfung unterzogen, von welchen aufgrund eines Störfalls eine potenzielle Gefahr für die BEVA ausgehen könnte. Die Untersuchung umfasste insbesondere Brand- und Explosionsstörfälle als Quellen für einen weiträumigen Trümmwurf, emittierte Rauch- oder toxische Gase, sowie die dabei auftretende Druck- und Hitzestrahlung. Das Augenmerk richtete sich auf spezifische Industriebetriebe und Gewerbe, welche der Störfallverordnung (StFV 1991) unterliegen, da ihnen ein (akzeptiertes) Risiko für die Umgebung innewohnt.

Fig. 5-1 zeigt die der Störfallverordnung unterliegenden Betriebe um den Anlagenstandort. In Tab. 5-1 werden diese hinsichtlich der bei einem Störfall freigesetzten Gefahren charakterisiert.

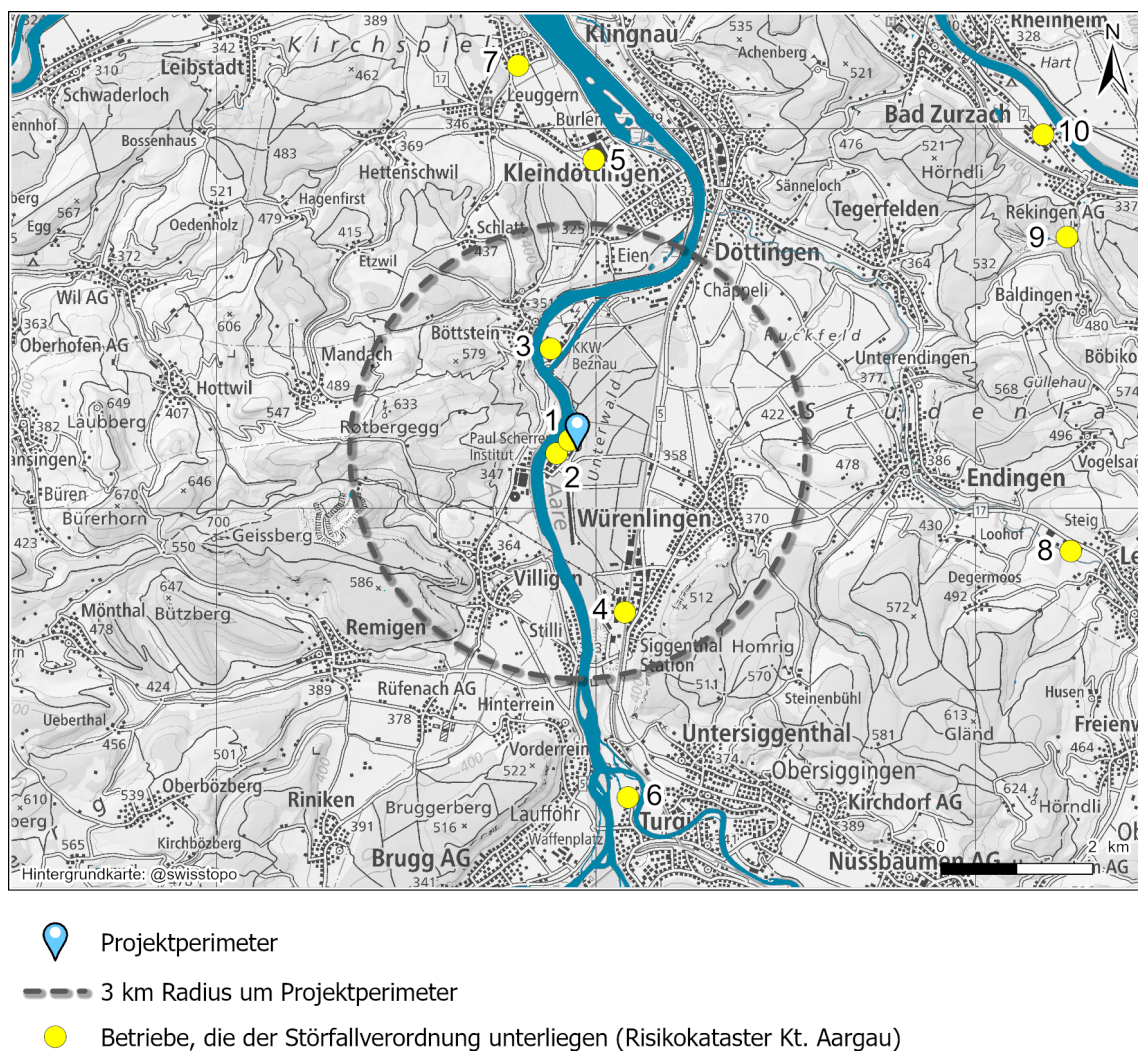


Fig. 5-1: In der Umgebung befindliche, der Störfallverordnung unterliegende Betriebe
Die Nummern kennzeichnen die Betriebe entsprechend Tab. 5-1 mit zunehmendem Abstand.

Tab. 5-1: Auflistung der Betriebe, die der StFV (1991) unterstellt sind, und sich in einem Umkreis von 7.5 km um den Standort der BEVA befinden
Die Nummern in der ersten Spalte kennzeichnen die Betriebe entsprechen Fig. 5-1.

Nr.	Entfernung	Firmenname	Branche	Ort	Kritische Betriebsprozesse mit potenziell gefährdenden Stoffen	Potenzielle Unfallauswirkungen am Betriebsstandort	Unfallauswirkung BEVA-Standort
1	Direkter Nachbar	Zwischenlager Würenlingen AG	Entsorgung / Nuklear	Würenlingen	Radioaktive Stoffe Chemikalien (Plasmaofen & Dekontaktivitäten)	Direktstrahlung und freigesetzte, flüchtige Stoffe (Radionuklide, Chemie) Brand, Explosion	Keine, siehe Kap. 5.1
2	Direkter Nachbar	Paul Scherrer Institut	Lehre / Forschung	Würenlingen, Villigen	Chemikalien, Gase, Diesel radioaktive Stoffe	Direktstrahlung und freigesetzte, flüchtige Stoffe (Radionuklide, Chemie), Brand, Explosion	Keine, siehe Kap. 5.2
3	1.25 km	Axpo Power AG (KKB)	Energieversorgung / Nuklear	Döttingen	Radioaktive Stoffe Chemikalien (Wasserkreislauf, Maschinen & Dekontaktivitäten) Diesel	Direktstrahlung und freigesetzte, flüchtige Stoffe (Radionuklide, Chemie), Brand, Explosion, Grundwasser resp. Abwasser Aare	Keine, siehe Kap. 5.3
4	2.2 km	Holcim (Schweiz) AG	Baustoffe	Würenlingen	Klinkerproduktion in Drehrohröfen mit grosser Leistung	Brand, Rauchgase Explosionen mit Trümmerwurf; Staubemissionen, CO ₂	Keine, siehe Kap. 5.4
5	3.9 km	BRUGG Rohrsystem AG	Kunststoffverarbeitung /-produkte	Kleindöttingen	Chemikalien zur Herstellung v. Rohrleitungen und -isolationen aus Polyethylen, Polyurethan, etc.	Gasen, Dämpfen, Brand, Rauchgase Grundwasserrelevanz,	Keine (ausr. Entfernung)
6	4.6 km	Hasler AG	Galvanotechnik	Vogelsang AG	Chemikalien (Schwefelsäure, Ätzmittel (Flusssäure), Farbstoffe, etc.) zur Aluminiumbearbeitung .	Brand, Rauchgase; Grundwasserrelevanz	Keine (ausr. Entfernung)
7	5.1 km	Iepco AG	Galvanotechnik	Leuggern	Chemikalien (Schwefelsäure, Phosphaten, Chromaten, etc.) zur Metallbearbeitung	Brand, Rauchgase; Grundwasserrelevanz	Keine (ausr. Entfernung)

Tab. 5-1: Cont.

Nr.	Entfernung	Firmenname	Branche	Ort	Kritische Betriebsprozesse mit potenziell gefährdenden Stoffen	Potenzielle Unfallauswirkungen am Betriebsstandort	Unfallauswirkung BEVA-Standort
8	6.6 km	HUBER Silobau & Kunststoffwerk AG	Kunststoffverarbeitung/-produkte	Lengnau AG	Chemikalien (Epoxidharze, Polyester, Vinylester, etc.) zur GFK-Herstellung	Brand, Rauch-/Prozessgase /-dämpfe; Grundwasserrelevanz	Keine (ausr. Entfernung)
9	7.0 km	Société Suisse des Explosifs	Chemie, Pharma, Kosmetik	Rekingen AG	Zivilsprengstoffen für Steinbrüche	Explosion, Trümmerwurf, Brand, Rauchgase	Keine, siehe Kap. 5.5
10	7.3 km	Sodi Industriepark AG	Chemie, Pharma, Kosmetik	Bad Zurzach	Chemikalien (divers)	Brand, Gase/Dämpfe; Grundwasserrelevanz	Keine (ausr. Entfernung)

Die Bewertung potenzieller Störfälle in den Betrieben mit Auswirkungen auf die Beeinträchtigung der Baustruktur und der Anlagensicherheit der BEVA basiert vor allem auf den grossen Entfernungen solcher Betriebe von der BEVA. Hier sind insbesondere die Verdünnung grundwasser- oder luftgetragener Stoffe⁷ während der Transportwege sowie die Reichweite von Trümmerwürfen⁸ entscheidend. Für den zu untersuchenden Umkreis wird ein primärer Radius von 3 km gewählt. Die 3 km basieren neben den oben bereits genannten Argumenten zudem auf Erfahrungswerten der KKW, bei denen in der Regel nur Betriebe in etwa 3 km Umkreis von Bedeutung sind.

Im 3 km Radius befinden sich vier Betriebe, welche über Gefahrstoffe verfügen, die bei einem Störfall freigesetzt werden könnten. Dies sind die Nuklearanlagen Zwilag, PSI (Hotlabor) und KKW Beznau sowie die Holcim (Schweiz) AG (vgl. Fig. 5-1). Im Folgenden werden diese Betriebe nochmals gesondert betrachtet und eingeordnet.

5.1 Zwischenlager für radioaktive Abfälle (Zwilag)

Das Zwilag besitzt eine gültige Rahmen- und Betriebsbewilligung und erfüllt alle Sicherheitskriterien in nuklearer und konventioneller Hinsicht. Die periodische Überprüfung aller im Zwilag möglicher Unfallszenarien zeigt, dass diese äusserst gering sind, da keine bedeutenden Explosionsquellen oder Brandlasten als auch keine toxischen Stoffe in relevantem Umfang vorhanden sind. Die zwischengelagerten radioaktiven Stoffe, sind eingeschlossen, unterkritisch und hätten auch im Fall einer Freisetzung keinen Einfluss auf die Integrität der BEVA. Die Überprüfung ergab, dass die Abstände zu Gebäuden der Zwilag ausreichend dimensioniert werden, sodass bei maximalen Einstürzen (bspw. infolge Erdbeben) keine Auswirkung auf die ohnehin massiv gebaute BEVA und darin gehandhabten Abfällen zu befürchten sind. Die guten Betriebserfahrungen sowie die Risikobewertungen seit nun mehr über 25 Jahren bestätigen diese Bewertung der Sicherheit des Zwilags sowie der Standorteignung weiterhin. Es gibt keine Hinweise auf Gefährdungen, die von den benachbarten Einrichtungen der Zwilag für die BEVA ausgehen könnten.

Für die Zwilag wurde im November 2018 zudem ein Kurzbericht gemäss StFV (1991) erstellt (Zwilag 2018). Dort wird festgehalten, dass innerhalb des Areals hauptsächlich Säuren und Laugen für den Betrieb des Plasmaofens (Ammoniak, Salzsäure, Schwefelsäure, Wasserstoffperoxyd, organische Flockungsmittel) und für die Dekontamination von radioaktiv verschmutzten Oberflächen (Natronlauge, Salpetersäure, Lösemittel, und div. Waschlösungen) eingesetzt werden. Weiterhin werden auch verschiedene Gase und Diesel gelagert. Bei Lagerung und Anwendung dieser Stoffe wurden keine Risiken mit grösserem Ausmass festgestellt. Mit den bereits bestehenden, umfassenden Sicherheitsmassnahmen können Störfälle mit einem schwerwiegenden Ausmass verhindert werden bzw. die Störfallszenarien führen ausserhalb des Betriebsareals zu keinen Personenschäden (Zwilag 2018).

5.2 Paul Scherrer Institut

Es gibt keine Hinweise auf Gefährdungen (Brand, Explosionen, toxischen Stofftransport), die bei einem Unfall innerhalb der (nichtnuklearen) Betriebsteile des PSI auf das Hotlabor des PSI (PSI 2021) oder die Zwilag ausgehen. Diese Aussage trifft demnach auch auf die weiter entfernte, robust ausgelegte BEVA zu.

Das Hotlabor, in dem Untersuchungen unter hohen Alpha-Aktivitäten (Brennstoffversuche) einen wesentlichen Teil der Tätigkeiten darstellen, erfüllt alle Sicherheitskriterien in nuklearer und konventioneller Hinsicht. Es hat beim ENSI im Jahr 2014 als dem KEG-unterstellte Kernanlage

⁷ Für Rauchgase nach einem Grossbrand oder sonstige toxisch-flüchtige Stoffe wird in der Regel bereits nach ca. 1 bis 1.5 km eine ausreichende Verdünnung erreicht.

⁸ Die kritische Distanz für einen Trümmerwurf nach einer Explosion liegt weit unter einem Kilometer.

ein Gesuch auf weitere Bewilligung eingereicht. Auf der Basis dieses Gesuchs wurden seitdem erhebliche materielle und prozessuale Anstrengungen unternommen, um das Forschungslabor auf einen entsprechend der aktuellen Kernenergie- und Strahlenschutzgesetzgebung geforderten Stand zu dokumentieren, nachzurüsten und zu modernisieren. Die für die Sicherheit des Hotlabor relevanten Vorkehrungen gegen Brand, Explosionen, eine mögliche Ausbreitung von chemisch gefährdenden Substanzen sowie eine radioaktive Freisetzung sind auf sehr hohem Niveau⁹.

Mit der durch das ENSI explizit bestätigten aktualisierten Betriebsbewilligung wird die Erreichung des nachgerüsteten hohen Sicherheitsniveaus des Hotlabors bestätigt. Es gibt keine Hinweise auf Gefährdungen mit externer Wirkung auf eine BEVA.

5.3 Kernkraftwerk Beznau

Das Kernkraftwerk Beznau erfüllt alle Sicherheitskriterien in nuklearer und konventioneller Hinsicht. Das alle 10 Jahre mittels periodischer Sicherheitsüberprüfung nachgewiesene und erreichte Sicherheitsniveau der beiden KKB-Blöcke gibt keine Hinweise auf Gefährdungen, die von dieser Anlage für die BEVA ausgehen könnten.

Im KKB werden organische und anorganische Stoffe, Säuren und Laugen innerhalb der Betriebs-, Instandhaltungs- und Reinigungsprozessen genutzt. Für diese Stoffkategorien gibt es jeweils zulässige Maximalmengen, spezifisch sichere Lagerorte und Einsatzbestimmungen, welche auch ausgereiften Brand- und Explosionsschutzkonzepten unterliegen. Die betrieblichen Bedingungen hinsichtlich Zuverlässigkeit und Sicherheit bei Transport, Lagerung, und Umgang der nicht-nuklearen brennbaren, explosiven und sonstigen aggressiven Hilfsstoffe werden zudem periodisch vom ENSI, den kantonalen Brandschutzbehörden und der SUVA inspiziert und kontrolliert. Die internationale Erfahrung oben angesprochener Bereiche innerhalb der Nuklearindustrie zeigt durch ausserordentlich niedrige Ereignishäufigkeiten der letzten Jahrzehnte ein hohes Mass an Zuverlässigkeit, Betriebsrobustheit und Sicherheit.

Das KKB stellt insb. auch durch seine örtliche Distanz für die BEVA keine Gefährdung dar.

5.4 Holcim (Schweiz) AG

Das Zementwerk Holcim in Würenlingen ist der Störfallverordnung unterstellt, da Zementwerke aufgrund der umgesetzten Stoffmengen ein erhöhtes Potential für Luft- und Gewässeremissionen in sich tragen. Dabei spielen bei Zementwerken generell in der Vergangenheit insb. Stickoxid-, Schwefeldioxid-, Staub- sowie Schwermetallabgaben eine Rolle, da sie die Gewässer- und Luftqualität massgeblich beeinträchtigten. Diese Herausforderung wurden in den letzten Jahrzehnten durch eine konsequente Modernisierung der Filtertechnologie sowie durch teilweise Rückführung von Ofenabgasen in den Brenner als auch durch ein verbessertes Brauchwassermanagement (z.B. geschlossene Kreisläufe) im Rahmen der gesetzlich bewilligten Schadstoffgrenzwerte gelöst. Diese Verbesserungsmassnahmen wurden auch für das Werk in Würenlingen konsequent umgesetzt¹⁰. Brände oder Explosionen mit massivem Schadstoffaustrag oder sonstigen schädlichen Auswirkungen auf die Umgebung werden in diesem Industriezweig durch geeignete Massnahmen seit Jahrzehnten erfolgreich vermieden. Das hochmoderne Holcim Werk in Würenlingen stellt für die ca. 2.2 km entfernte BEVA keine Gefahr dar.

⁹ Bspw. erfolgen die Arbeiten unter strikter Einhaltung von Luftdurchsätzen, um das Erreichen von Explosionsgrenzwerten (Gase, Dämpfe und Stäube) sicher zu vermeiden. Zum gleichen Zweck können Zellen auch mittels Argon und Stickstoff inertisiert werden. Die verwendeten Gase bzw. die Druckflaschen werden in einer detonationssicheren Zusatzbaute ausserhalb des Hotlabors gelagert und durch gesicherte Leitungen in nur kontrollierten kleinen Mengen ins Hotlabor eingebracht. Dieseltanks sind in brand- und grundwasserschutzsicheren Betonbehältnissen in sicherem Abstand zum Hotlabor (und damit zur BEVA) untergebracht.

¹⁰ https://www.holcim.ch/sites/switzerland/files/2022-05/umweltdaten_2020_final-2.pdf

5.5 Weitere Betriebe im Umkreis bis 7.5 km

Weitere Betriebe ausserhalb des 3 km Radius sind von ihrer Lokalität in Fig. 5-1 einsehbar und in Tab. 5-1 zusammengefasst. Sie alle stellen aufgrund ihrer grossen Distanz bzw. hoch sicherheitsregulierten Tätigkeiten keine Gefahren für die BEVA dar. Zu nennen wäre die Société Suisse des Explosifs (SW Blasting in Rekingen, Sprengstoffe), die nachfolgend auch wegen dem Transport von Sprengstoffen kurz eingeordnet wird.

Société Suisse des Explosifs, SW Blasting

In einer Entfernung von 7 km befindet sich die Sprengstofffabrik SW Blasting AG, die in Rekingen Slurry-Sprengstoffe (Sprengstoffe ohne Nitroglycerin) produziert. Die in den letzten Jahren stark gesunkene Produktion findet im Werkgebäude am Eingang des stillgelegten Steinbruchs «Musital» statt. In ca. 300 m Entfernung befinden sich drei erdüberdeckte Lagermagazine mit einer Kapazität von je 50 t Slurry-Sprengstoffen. Die Zünder sind in einem separaten Abteil untergebracht. Der Betrieb untersteht der Störfallverordnung, weil die Mengenschwelle bei Slurry-Sprengstoff von Ammonsalpeter, Natrium- und Calciumnitrat überschritten wird. Für die Gefährdung der Bevölkerung ist das massgebende Ereignis die Explosion eines Magazins mit 50 t Sprengstoff. Dadurch wären hauptsächlich Personen in unmittelbarer Umgebung betroffen. Die Einwohner von Rekingen in einem Abstand von mind. 650 m wären vom Ereignis allenfalls durch den Explosionsknall, ein minime Druck-/Erschütterungswelle aber kaum durch Wandtrümmwurf betroffen. Ein Störfall hat keine relevanten Auswirkungen auf die Umwelt ausserhalb des Betriebsareals und damit auf die BEVA. Auch der Transport des zünderlosen Sprengstoffes stellen keine Gefahr für die BEVA dar, da die Routenführung für den Transport nicht auf einer der Strassen in der näheren Umgebung von PSI, Zwilag und BEVA liegt. Die BEVA befindet sich zur Sprengstofffabrik und den genutzten Transportrouten deutlich ausserhalb des Gefahrenbereichs.

5.6 Militäranlagen

Nach Auskunft des Eidgenössischen Departements für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) ist generell festzuhalten, dass von militärischen Anlagen und Objekten sowie allfälligen militärischen Aktivitäten in der Umgebung der Anlage (bspw. Transporte) kein Gefährdungspotenzial ausgeht, dass die Eignung des Standorts in Frage stellen würde.

5.7 Zusammenfassende Bewertung / Fazit

Die Bewertung möglicher sicherheitsrelevanten Betriebe, Industrieanlagen und militärischer Anlagen in der Umgebung bzw. direkten Nachbarschaft ergab keine Risiken oder Gefährdungen für den Standort der BEVA.

6 Waldbrandgefährdung

6.1 Allgemeine Bewertung

Jedes unkontrollierte Feuer im Wald wird als Waldbrand bezeichnet, wobei Brände mit einer Fläche von mehr als vier Hektaren in der Schweiz als Grossbrände bezeichnet werden. Die meisten Brände entstehen ausserhalb des Waldes und breiten sich in den Wald aus. Die häufigste Ursache für das Entfachen von Waldbränden (in der Schweiz) ist der Mensch (BABS 2020). Man kann davon ausgehen, dass Waldbrände zu ca. 90 % durch menschliches Fehlverhalten (bspw. Wegwerfen von glühenden Zigaretten, nicht gänzlich gelöschte Grillfeuer etc.) entstehen und nur 10 % durch die Natur (insb. Blitzschlag) verursacht werden. Natürliche Faktoren wie schneearme Winter, lange Trockenzeiten, andauernde Sommerhitze und starke Winde (z. B. Föhn), die die Bäume, Sträucher und den Waldböden zusätzlich stark austrocknen, können die Waldbrandgefahr lokal erhöhen¹¹. In der Schweiz gibt es vor allem kleinflächige Waldbrände, wobei hauptsächlich die Südkantone Wallis, Graubünden und das Tessin sowie die Föhntäler gefährdet sind. Im Mittelland ist die Waldbrandhäufigkeit sowie die durch Brand versehrte Fläche seit Jahrzehnten äusserst gering, wie die Zusammenstellung in Fig. 6-1 verdeutlicht. Dies lässt sich der zentralen Waldbranddatenbank «Swissfire» entnehmen¹², welche in einer Zusammenarbeit der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und der kantonalen Forstdienste entstanden ist (Pezzatti et al. 2010).

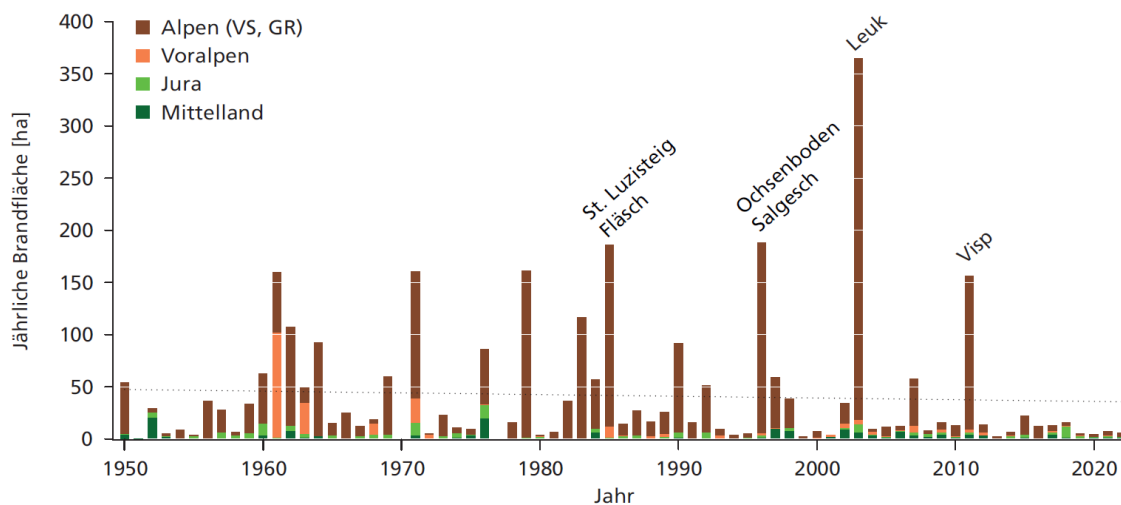


Fig. 6-1: Durch Waldbrand betroffene Flächen in den Zentralalpen, den Voralpen, dem Jura und dem Mittelland (Zeitraum: 1950 bis 2022)

Ein Trend der jährlich versehrten Waldfläche ist nicht erkennbar (Störungen in Schweizer Wäldern von 1900 bis 2022 (waldwissen.net)).

Für den Kanton AG wurden aus historischen Zeitungsquellen, Gemeinde- und Feuerwehrarchiven seit dem 18. Jahrhundert bis zum Jahr 2018 insgesamt 98 kleinere Waldbrände einer Gesamtfläche von ca. 21 ha (entspricht 0.21 km²) bilanziert. Dies bedeutet eine vergleichsweise niedrige Häufigkeit an Waldbränden (Pezzatti et al. 2019). Im Würenlinger Unterwald, der direkt an den Projektperimeter grenzt (vgl. Fig. 2-1), trat seit Mitte der 1950er Jahren, also nach Beginn der

¹¹ <https://www.naturgefahren.ch/home/umgang-mit-naturgefahren/waldbrand/gefahrenstufen.html>

¹² WSL Swissfire database, Switzerland. www.wsl.ch/swissfire

kerntechnischen Aktivitäten kein durch menschliches Fehlverhalten oder natürliche Ereignisse ausgelöster Waldbrand auf. Die Häufigkeit von Extremwetterlagen wie langanhaltende Trockenphasen, die das Waldbrandrisiko erhöhen können, sind in den letzten 30 Jahren jedoch infolge Klimawandel häufiger geworden. Klimabedingte Trends werden in der Zukunft ebenfalls mit der Waldbranddatenbank Swissfire untersucht und bewertet.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass aufgrund der geographischen, topographischen, standörtlichen und waldbaulichen Voraussetzungen die Wahrscheinlichkeit eines Waldbrands in unmittelbarer Nähe zum Projektperimeter als gering einzuschätzen ist. Dies begründet sich darin, dass der Unterwald im Schweizer Mittelland liegt, und in dieser Region Waldbrände nachweisbar selten sind (Geografie), sowie eine relativ hohe Luftfeuchtigkeit und dauerhaft guten Wasserversorgung durch die Nachbarschaft der Aare vorliegt (Standort und Topographie).

6.2 Anlagespezifische Bewertung

Die Entstehung eines Brands im Unterwald ist bei entsprechenden Bedingungen (Trockenheit) und Voraussetzungen (Zündquelle) jedoch möglich. Entlang von Verkehrs- oder Waldwegen, an Grillplätzen oder vergleichbaren Aufenthaltsorten ist die Entstehung eines Brands infolge menschlichen Fehlverhaltens jedoch unweit höher. Allerdings beginnen derartige Brände im Bodenbereich und breiten sich dort aus, bevor sie sich im späteren Verlauf zu Baumkronenbränden ausweiten. Grössere Konsequenz hat das in Kap. 3 aufgezeigte Waldbrandrisiko aufgrund walddnaher Unfälle grosser Gefahrguttransporte auf der nahegelegenen Strasse oder Schiene, wie bspw. Benzin- oder Propantransporte. Hierbei kommt es zu einer sofortigen Entzündung des Boden- und Baumkronenbereichs bei wesentlich höheren Temperaturen, was eine schnellere Brandausbreitung nach sich zieht.

Aus Anforderungen der Sicherheit, Sicherung und der Raumwirksamkeit sieht die Planung zwischen dem Anlagenperimeter, in dem die Bauten, insb. die BEVA realisiert werden, und dem Unterwald einen 20 m breiten sogenannten Eingliederungssaum vor (siehe Fig. 6-2). In dem Eingliederungssaum verläuft ein Waldweg (Nietenbuckweg) und eine Niederhaltungszone, die gekennzeichnet sein wird durch aktive Vereinzelung von Büschen, Sträuchern und niedrig gehaltenen Bäumen. Dieser 20 m breite Streifen ist somit durch eine deutlich niedrigere und begrenztere Brandlast charakterisiert als der natürliche Wald. Infolge baulicher Massnahmen sowohl für die Sicherung als auch für die Bereitstellung von Verkehrs- und Logistikflächen grenzt die BEVA zudem nicht direkt an den Eingliederungssaum an, sondern weist einen zusätzlichen Abstand auf (gemäss heutiger Planung von mehr als 10 m, vgl. Fig. 6-2). Durch diesen, gesamthaft etwa 30 m betragenden Abstand zum topographisch bedingt erhöht liegenden (vgl. Fig. 2-2) natürlichen Wald werden die potenziellen Auswirkungen eines perimeternahen Waldbrands auf die BEVA, insb. die thermische Strahlung und die thermische Dosis, reduziert. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass ein solcher Streifen mit einer Breite von ca. 30 m in etwa einer Baumlänge entspricht, sodass in diesem Fall eine Brandausbreitung nur noch über Funkenflug erfolgen kann. Auf dem Anlagenperimeter befinden sich zudem keine bedeutenden natürlichen Brandlasten, auf die ein Brand übergreifen kann.

Die Betriebsfeuerwehr des PSI ist zudem für die Bekämpfung von Waldbränden entsprechend ausgebildet und ausgerüstet. Bei solch einem Anforderungsfall kann die Feuerwehr des PSI zwischen Waldrand und BEVA als zeitnahe Massnahme – sollte dies erforderlich sein – eine brandfreie Schutzzone reduzierter thermischer Strahlung realisieren, um so erhöhte Oberflächentemperaturen an Strukturen der BEVA wirksam zu begrenzen. Durch die unmittelbare Nähe der Aare stehen – auch in Trockenperioden – zudem praktisch unbegrenzte Löschwasserreserven zur Verfügung. Der Betrieb der BEVA kann – falls erforderlich – im Fall eines Waldbrands (vorbeugend oder im Ereignisfall) jederzeit kontrolliert unterbrochen werden, um eine Beeinträchtigung oder eine Gefährdung des Personals bzw. von Systemen auszuschliessen. Bzgl. Rauch und Wärme kann zudem die Lüftung reduziert oder ganz unterbrochen werden.

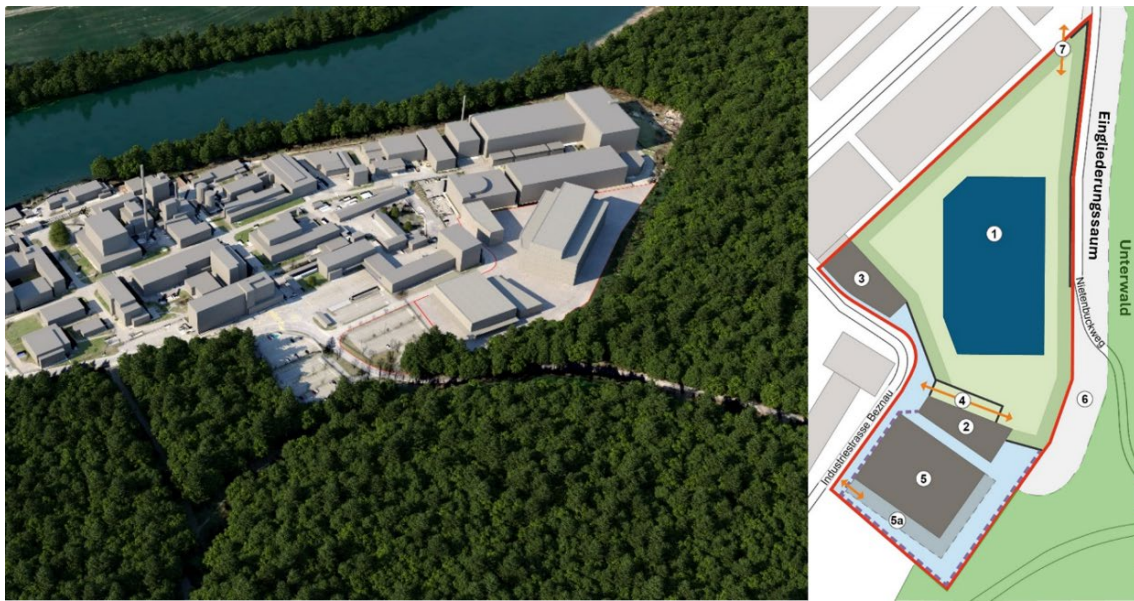


Fig. 6-2: Exemplarische Darstellung der Anordnung des Projektperimeters (rot umrandet), Eingliederungssaum und angrenzendem Unterwald

Das blaue, mit der Nummer 1 bezeichnete Bauwerk ist die BEVA, alle weiteren Bauten (Nr. 2, 3, 5 und 5a) sind konventionelle Bauten. Für weiter Informationen siehe Nagra (2025).

Unabhängig der bereits erwähnten Massnahmen, wird bei der Entstehung eines Brands (irgendwo) im Unterwald oder infolge eines Unfalls auf den Verkehrswegen dieser zeitnah bekämpft. Zieht man die geringe Distanz der direkt benachbarten Betriebsfeuerwehr des PSI und der örtlichen Feuerwehren (Würenlingen, Döttingen) in Betracht und berücksichtigt die sehr gute Zugänglichkeit für Löscheinsätze im Unterwald, so kann eine unkontrollierte und weitläufige Ausbreitung eines lokalen Waldbrands im Unterwald bis hin zum Projektperimeter praktisch ausgeschlossen werden (insb. für die in Kap. 3 diskutierten Transportunfälle auf den ca. 900 m weit entfernten Verkehrswegen).

Unter diesen Bedingungen (insb. der Abstand zum natürlichen Wald) stellt ein Waldbrand keine Gefahr für die strukturelle Integrität der BEVA dar. Grundsätzlich bietet Beton einen guten Schutz gegen Brand. Insgesamt wird eine Degradation der ohnehin in Massivbauweise erstellten BEVA-Strukturintegrität durch einen Waldbrand ausgeschlossen.

6.3 Zusammenfassende und Fazit

Die Waldbrandgefährdung im Unterwald ist historisch gesehen gering; seit mindestens den 1950er Jahren ist kein Brand aufgetreten. Zudem werden durch die Einhaltung eines ausreichend breiten brandlastfreien (auf dem Anlagenperimeter) und brandlastbegrenzten Streifens (Eingliederungssaum) zwischen BEVA und Unterwald die potenziellen Auswirkungen der Hitzestrahlung eines Waldbrands auf die Betonteile und andere wichtige Anlagenteile reduziert und auch ein Übergreifen des Brands auf den Anlagenperimeter wird verhindert. Die Betriebsfeuerwehr des PSI, sowie die Feuerwehren von Würenlingen und Döttingen sind ausserdem für die Bekämpfung solcher anlagen nahen Waldbrände entsprechend ausgebildet und ausgerüstet.

Die Nähe zum Waldrand ist keine ungewöhnliche Randbedingung für Kernanlagen. Ein Waldbrand im Würenlinger Unterwald stellt keine Gefährdung für die nukleare Sicherheit dar.

7 Literaturverzeichnis

- BABS (2020): Katastrophen und Notlagen Schweiz 2020 / Gefährdungsdossier Waldbrand. Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, Bern.
- Basler & Hofmann AG (1993): Rahmenbericht Flüssiggas-Tankanlagen, zum Kurzbericht und zur Risikoermittlung im Hinblick auf die Störfallvorsorge, 1992 und Korrigendum vom April 1993.
- BAV (2004): Quantitative Risikoanalyse für Gefahrguttransporte auf der Bahn Methodik und Bewertung in der Schweiz. Bundesamt für Verkehr BAV, Bern.
- BAV (2018): Freisetzung, Ausbreitung und Wirkung von toxischen schweren Gasen. Bundesamt für Verkehr BAV, Bern.
- DIN (2003): Prüfung von Mineralölkohlenwasserstoffen - Bestimmung der Zündtemperatur. DIN 51794:2003-05. Beuth, Berlin.
- DIN (2017): Bestimmung der Explosionsgrenzen von Gasen und Dämpfen und Bestimmung der Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK) für brennbare Gase und Dämpfe; Deutsche Fassung DIN EN 1839:2017-04. Beuth, Berlin.
- ENSI (2018): Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-A05/d. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- KEG (2003): Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003, Stand am 1. Januar 2021. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.1, Schweiz.
- KEV (2004): Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004, Stand am 1. Februar 2019. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.11, Schweiz.
- KKN AG (2009a): Kernkraftwerk Niederram (KKN), Einwirkungen auf KKN bei Störfällen in der Nachbarschaft. Fachbericht Nr. 1700.0508.10.011. AF-Colenco AG, Baden.
- KKN AG (2009b): Rahmenbewilligungsgesuch für ein neues Kernkraftwerk im Niederram Sicherheitsbericht, KKN AG, Bericht: Ber-08-002, Version V002. Kernkraftwerk Niederram AG.
- Koinig, H. (1999): Referenzszenarien zur Richtlinie 96/82/EG. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien.
- Nagra (2025): Rahmenbewilligungsgesuch für eine Brennelementverpackungsanlage - Sicherheitsbericht. Nagra Technischer Bericht NTB 24-02.
- Pezzatti, G.B., Bertogliati, M., Gache, S., Reinhard, M. & Conedera, M. (2019): Swissfire: technisch modernisiert und dank Archivrecherchen inhaltlich erweitert. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 170/5, 234-241. DOI: 10.3188/szf.2019.0234.
- Pezzatti, G.B., Reinhard, M. & Conedera, M. (2010): Swissfire: die neue schweizerische Waldbranddatenbank. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 161/12, 465-469. DOI: 10.3188/szf.2010.0465.

- PSI (2021): Sicherheitsbericht des PSI Hotlabors. TM-43-04-15 Rev. 4. Paul Scherrer Institut, Villigen.
- Resun AG (2008): Sicherheitsbericht, Ersatz Kernkraftwerk Beznau. TB-042-RS080021, Version 2, Beilage zum Rahmenbewilligungsgesuch vom Dezember 2008. Ersatz Kernkraftwerk Beznau EKKB AG.
- StFV (1991): Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV), vom 27. Februar 1991, Stand am 08. März 2024. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.012, Schweiz.
- Swissgas (2010): Sicherheit von Erdgashochdruckanlagen. Rahmenbericht zur standardisierten Ausmasseinschätzung und Risikoermittlung, Revision 2010. Swissgas, Zürich.
- van den Bosch, C. & Weterings, R. (Hrsg.) (2005): Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases). "Yellow Book", CPR 14E. Third Edition. Committee for the Prevention of Disasters, The Hague.
- Zwilag (2018): Kurzbericht nach Störfallverordnung, Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG, 2018.

Anhang A **Bewertungskriterien für die Auswirkungen von Explosionen**

Tab. A-1: Richtwerte zur Beurteilung der Einwirkungen von Überdruck auf Bauten und Anlagen

(KKN AG 2009b)

Überdruck [bar]	Schadensart und Ausmass
0.034 – 0.069	Grosse und kleine Fensterscheiben in der Regel zersplittert; gelegentliche Schäden an Fensterrahmen
0.069 – 0.138	Zersplitterung von Wellen eternit, Versagen von Befestigungen für Wellenblech mit anschliessendem Verbeulen; Versagen von Holzpaneelen mit anschliessendem Bruch
0.138 – 0.207	Nicht armierte Mauer aus Beton oder Schlackenbeton zerbrechen
0.207 – 0.276	Rahmenloser, selbsttragender und aus Stahlblechpaneele gefertigter Bau zerstört, Bruch von grossen Lagertanks für Öl (kein Druckbehälter)
0.345 – 0.482	Fast vollständige Zerstörung von Häusern
0.482 – 0.55	Abscheren oder Biegen von Mauern, 20 - 30 cm stark (nicht armiert)
0.689	Zerstörung industrieller Bauten, Schwere Schäden an Maschinen (3.5 t) innerhalb von Bauten durch Verschiebung

Anhang B Quellstärke und Bewertungskriterien für die Auswirkungen von Bränden

Tab. B-1: Richtwerte zur Quellstärke von Bränden
(KKN AG 2009b)

Wert [kW/m ²]	Schadensart und Ausmass
20 – 60	Lachenbrand Kohlenwasserstoffe mit grösserem Anteil von Russ
110 – 170	Lachenbrand Kohlenwasserstoffe mit geringerem Anteil von Russ
200	Oberfläche Gaswolkenbrand (Flashfire)
250	Lachebrand Flüssiggas / Flüssigerdgas
350	BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)

Tab. B-2: Richtwerte zur Beurteilung der Einwirkungen von Wärmestrahlung auf Bauten und Anlagenteile
(KKN AG 2009b)

Wärmestrom- dichte [kW/m ²]	Schadensart und Ausmass
2	Zerstörung von Lackschichten auf Holz nach ca. 30 Minuten
3	Zerstörung der Oberfläche von Kunststoffen nach ca. 30 Minuten
4.5	Zündung von bitumengetränkter Dachpappe bei Flammenkontakt
10	Keine Zündung von Holz, Wellpappe, Papier bei unendlich langer Einwirkung (ohne Flammenkontakt)
12.5	Bersten von Fensterscheiben nach 10 Minuten
30	Verformung von Stahlprofilen nach ca. 30 Minuten
36	Selbstzündung von Holz
37.5	Schäden an Anlagenteilen aus Stahl
100	Versagen von tragenden (ungeschützten) Stahlprofilen nach 20 Minuten, Zündung von mit Aluminiumplatten abgedeckten Dachisolationen