



ARBEITSBERICHT NAB 24-32

Einwirkungen auf den Standort der
Oberflächenanlage des geologischen
Tiefenlagers bei Störfällen in der
Nachbarschaft

Juli 2024



ARBEITSBERICHT NAB 24-32

Einwirkungen auf den Standort der
Oberflächenanlage des geologischen
Tiefenlagers bei Störfällen in der
Nachbarschaft

Juli 2024

STICHWÖRTER

Geologisches Tiefenlager, gTL, 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 das geologische Tiefenlager (gTL) am Standort Haberstal (Stadel, Kt. ZH) ist gemäss Kernenergieverordnung (KEV) als Teil der Gesuchsunterlagen ein Sicherheitsbericht einzureichen, in welchem nach Art. 23 KEV Angaben zu den Standorteigenschaften an der Erdoberfläche 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 Oberflächenanlage des gTL 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 des gTL 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 Oberflächenanlage 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 des gTL keinen nachteiligen Einfluss. Begründet ist dies durch den grossen Abstand zu den wenig vorhandenen zivilisatorischen Gefahrenquellen, den topologischen, durch eine Hügelkette geschützten Standort und damit verbundenen in einem Abschirmeffekt resultierenden Verhältnissen. Den wesentlichen Schutz übernehmen in allen Bereichen des gTL jedoch die gegen äussere Einwirkungen robust ausgelegten Endlagerbehälter (z. T. verpackt in Transportbehälter) selbst.

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

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	IV
Figurenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Standort des gTL	3
3 Transportunfälle auf Verkehrswegen	5
3.1 Verkehrswege	5
3.2 Transportunfälle.....	5
3.3 Transportunfälle auf näheren, wenig befahrenen Nebenstrassen	8
3.4 Zusammenfassende Bewertung und Fazit	8
4 Störfälle bei Erdgas-Rohrleitungen	9
4.1 Stoffeigenschaften von Erdgas	10
4.2 Massgebende Störfallszenarien	10
4.3 Bewertung der Auswirkungen	11
4.4 Zusammenfassende Bewertung und Fazit	12
5 Störfälle bei Betrieben.....	13
5.1 Industrie und Gewerbe.....	13
5.2 Militäranlagen.....	15
5.3 Zusammenfassende Bewertung und Fazit	15
6 Waldbrandgefährdung.....	17
6.1 Allgemeine Bewertung	17
6.2 Anlagespezifische Bewertung	18
6.3 Zusammenfassung und Fazit	19
7 Literaturverzeichnis	21
Anhang A Bewertungskriterien für die Auswirkungen von Explosionen.....	A-1
Anhang B Quellstärke und Bewertungskriterien für die Auswirkungen von Bränden	B-1

Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1:	Ergebnisse zu den Unfallauswirkungen als Funktion des Abstandes vom Unfallort im Fall eines idealisierten, ebenen und hindernisfreien Geländes	7
Tab. 4-1:	Leistungskennzahlen der Erdgashochdruckleitung	10
Tab. 5-1:	Auflistung der Betriebe, die der StFV (1991) unterstellt sind, und sich in einem Umkreis von 7.5 km um den Standort des gTL befinden	14
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 in der Umgebung des Projektperimeters	4
Fig. 3-1:	Verkehrs- und Transportwege im Umkreis zum Standort	6
Fig. 4-1:	Verlauf der Erdgashochdruckleitung (70 bar)	9
Fig. 4-2:	Wärmestromdichte und Überdruck in Abhängigkeit des Abstands zum Zentrum des Feuerballs bzw. Fackelbrands.....	12
Fig. 5-1:	In der Umgebung befindliche, der Störfallverordnung unterliegende Betriebe.....	13
Fig. 6-1:	Durch Waldbrand betroffene Flächen in den Zentralalpen, den Voralpen, dem Jura und dem Mittelland (Zeitraum: 1950 bis 2022)	17
Fig. 6-2:	Übersichtskarte des Projektperimeters, inkl. Unterteilung in Anlagenperimeter und Eingliederungssaum.....	19

Abkürzungsverzeichnis

BAFU	Bundesamt für Umwelt
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
gTL	Geologisches Tiefenlager
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
OFA	Oberflächenanlage
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 das geologische Tiefenlager (gTL) am Standort Haberstal (Stadel, Kt. ZH) ist gemäss Kernenergieverordnung (KEV 2004) als Teil der Gesuchsunterlagen ein Sicherheitsbericht (Nagra 2025) einzureichen, in welchem nach Art. 23 KEV Angaben zu den Standorteigenschaften an der Erdoberfläche 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 des gTL. Er hat die Aufgabe, in einer bereits frühen Phase zu bewerten und nachvollziehbar darzulegen, dass die Bauten der Oberflächenanlage (OFA) keinen inakzeptablen Risiken aus der nächsten Nachbarschaft ausgesetzt sind, 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 des gTL übertragbar sind.

2 Standort des gTL

Der Projektperimeter, der mit der Rahmenbewilligung raumplanerisch festgelegt wird und auf dem die OFA realisiert wird, befindet sich am Standort Haberstal (Gemeinde Stadel, Kt. ZH). Eine Übersicht über den Projektperimeter zeigt Fig. 2-1 (vgl. auch Nagra (2025)). Der Projektperimeter liegt in einem leicht nach Osten geneigten Kerbtal in der ost-west ausgerichteten Flur Haberstal und wird im Osten von der Landstrasse begrenzt. Die im Westen mit ausgedehnten Wäldern bestockte Erhebung des Ämpergs (511 m ü. M.) umrahmt die Flur Haberstal von drei Seiten. Die topographische Einbettung des Projektperimeters ist in Fig. 2-2 gezeigt. Weitere Informationen zum Standort und der Anlage bzw. deren Betrieb befinden sich in Nagra (2025).

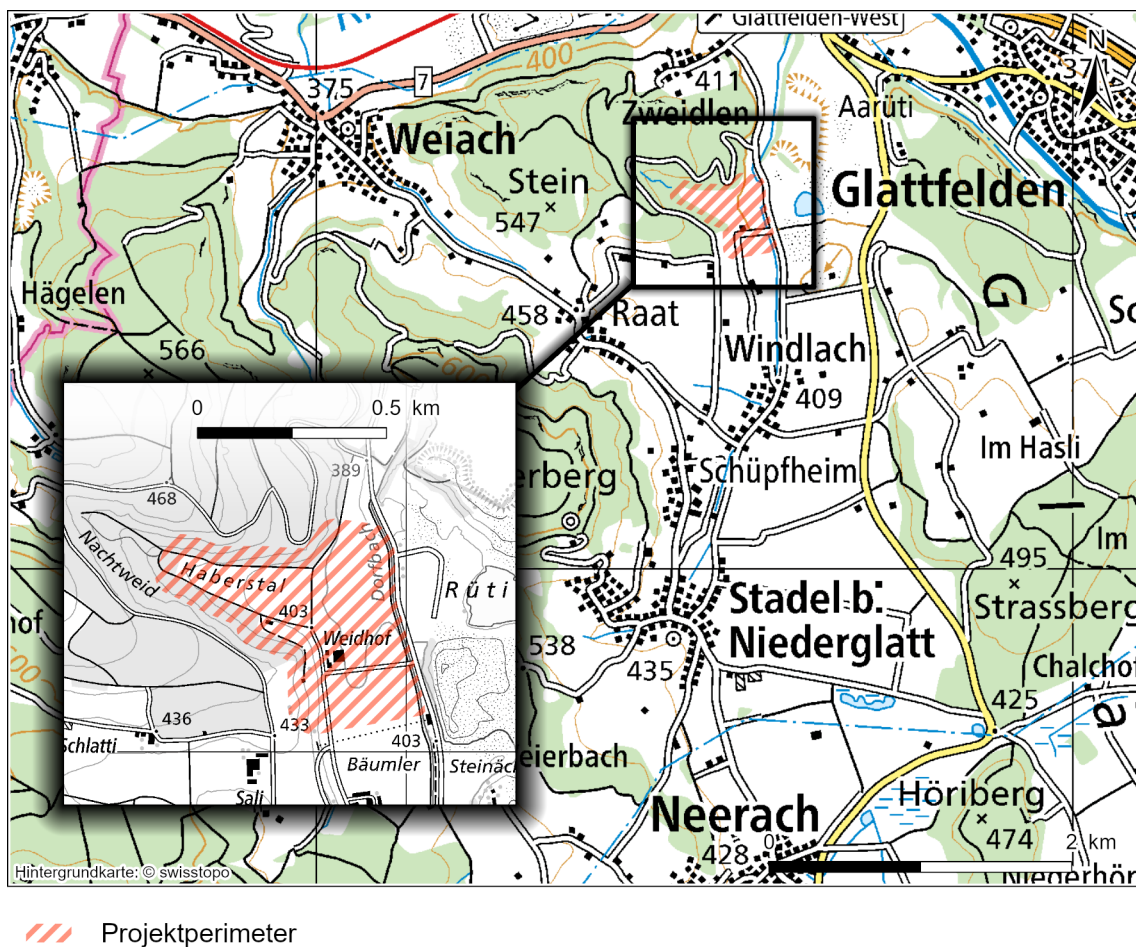


Fig. 2-1: Übersichtskarte zum Projektperimeter und der umliegenden Region

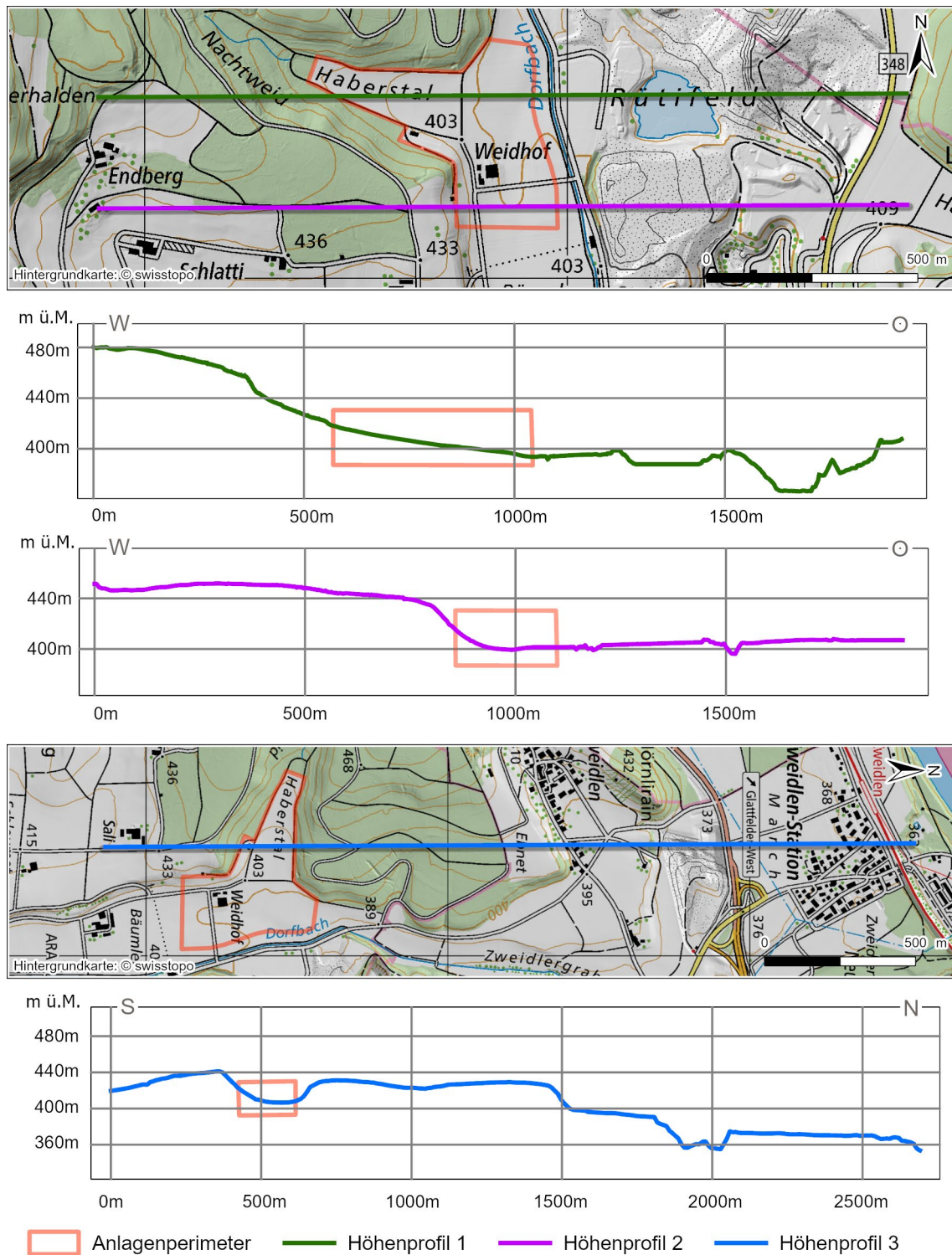


Fig. 2-2: Topographie in der Umgebung des Projektperimeters

Die grüne und violette Linie entspricht der Verlaufsachse des W-O-Höhenprofils (3-fach überhöht) und die blaue Linie entspricht der Verlaufsachse des N-S-Höhenprofils (3-fach überhöht). Die Lage des Anlagenperimeters ist in den Graphen zur Einordnung angedeutet.

3 Transportunfälle auf Verkehrswegen

3.1 Verkehrswege

Etwa 1.5 km nördlich des Standorts verläuft die Hauptstrasse Nr. 7¹, welche von der deutschen Grenze bei Basel bis zu der österreichischen Grenze bei St. Margrethen führt. Der Standort ist von der Hauptstrasse Nr. 7 über die zweispurige Schwarzüstrasse (Nebenstrasse) erschlossen. Im Osten, ca. 750 m entfernt, verläuft in Nord-Süd-Richtung die Verbindungsstrasse Nr. 348, die im Norden an die Hauptstrasse Nr. 7 und im Süden an die ost-westausgerichtete Hauptstrasse Nr. 355 anschliesst. Die Kantonalen Autobahnen, Umfahrung Glattfelden (A50) und Bülach – Kloten (A51) befinden sich ebenfalls in der Nähe und liegen etwa 1.5 km bzw. 5 km entfernt.

Entlang der Grenze zwischen der Schweiz und Deutschland, etwa 2 km nördlich des Standorts, verläuft die Eisenbahnstrecke Bülach – Koblenz. Im Osten, in etwa 4 km Entfernung, verläuft die Eisenbahnstrecke Zürich – Schaffhausen, die über Glattfelden und Bülach führt.

Auf deutscher Seite befindet sich die west-ost-orientierte Landstrasse L161 (in etwa den Rhein entlang) bzw. die nordorientierte Landstrasse L161a, die beide durch Hohentengen am Hochrhein führen. Die Bundesstrasse B34, auf die die L161a anschliesst, verläuft etwa 8 km nördlich von Hohentengen am Hochrhein und ist eine regionale Strassenverbindung.

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

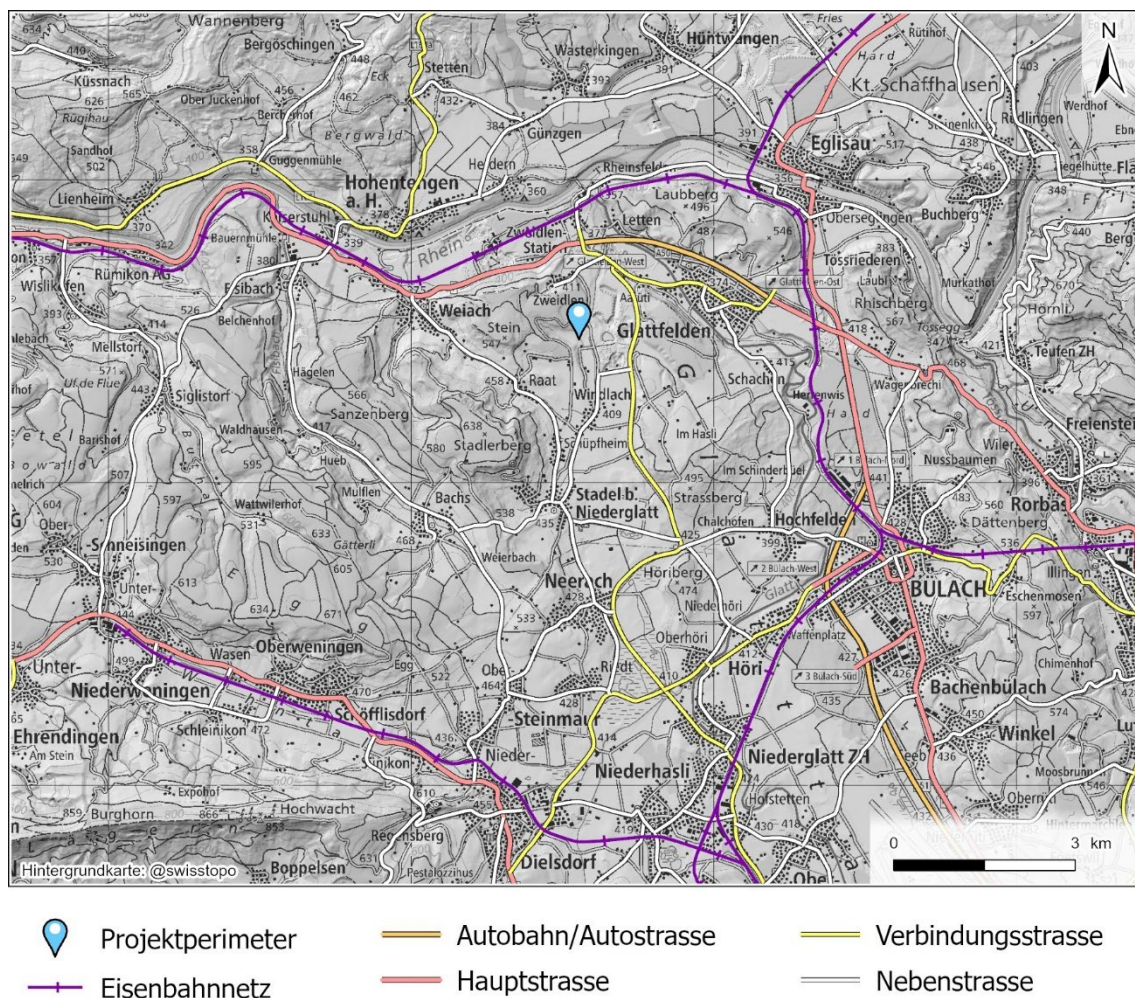
3.2 Transportunfälle

Sowohl auf der Bahnstrecke Koblenz – Eglisau als auch auf der nahezu parallel dazu verlaufenden Hauptstrasse Nr. 7 (vgl. Fig. 3-1) können Flüssigpropan-, Benzin- und Flüssigchlortransporte als einzig in Frage kommende Gefahrguttransporttypen durchgeführt werden. Diese Stoffgruppe stellt für die Gefahrenanalyse die relevanten Leitstoffe dar. Transporte von in Endlagerbehältern verpackten radioaktiven Abfällen aus der Brennelementverpackungsanlage oder dem Zwiag zum gTL stellen keine Gefahr 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 zwar weitaus grösseren Massen und Volumen transportiert als auf der Strasse, jedoch verläuft die Strasse näher am Standort (vgl. Fig. 3-1). Die folgenden Beurteilungen erfolgen daher jeweils anhand der Bedingungen und Auswirkungen für beide Transportarten.

¹ Gemäss Durchgangstrassenverordnung, DgStrVO: Kat A mit Nummerntafel



Vorgehen und Grundlage

Zur Abschätzung der Auswirkungen von Gefahrguttransportunfällen auf Verkehrswegen in der Nähe wurden die bestehenden standortunabhängigen Ausbreitungsrechnungen aus den Rahmenbewilligungsgesuchen der Kernkraftwerks-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 OFA 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 Standort der OFA vorgenommen. Da sich zwischen den potenziell in Frage kommenden Unfallorten und dem Standort in der Realität jedoch kein freies Gelände befindet, sondern bspw. ein dichter und hoher Mischwald erstreckt, der als Barriere und Widerstand fungieren kann, und zusätzlich der Standort infolge der Topographie deutlich höher liegt (bspw. zur Bahnlinie, 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.

Modellierungsergebnisse

Die massgebenden Störfallszenarien und die Bewertung ihrer Auswirkungen für den idealisierten Fall, d. h. Unfallort und Standort liegen in einer ungestörten, hindernisfreien Ebene, sind in Tab. 3-1 dargestellt. Es wird deutlich, dass selbst bei idealisiert ebenem, freien Gelände aufgrund der grossen Abstände zwischen den möglichen Unfallorten und dem Standort keine Gefährdung für die Gebäude, die Prozesse und die nukleare Sicherheit entsteht.

Tab. 3-1: Ergebnisse zu den Unfallauswirkungen als Funktion des Abstandes vom Unfallort im Fall eines idealisierten, ebenen und hindernisfreien Geländes

KKN AG (2009b)

BLEVE: Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (deutsch: Gasexplosion durch eine zu Dampf expandierende siedende Flüssigkeit)

Leit-Gefahrstoff	Störfallszenarium Wärmestromdichte [kW/m^2], Überdruck [bar], Schadstoff- konzentration [ppm]	Auswirkungen eines Gefahrguttransports am Standort	
		Strasse (Distanz 1.5 km)	Schiene (Distanz 2 km)
Propangas Strasse: 22 t Schiene: 45 t (80 t)	Gaswolkenbrand	$<< 0.02 \text{ bar}$	0.015 bar (0.024 bar)
	Freistrahbrand	$<< 0.01 \text{ kW/m}^2$	$< 0.02 \text{ kW/m}^2$
	BLEVE	$0.5 \text{ kW/m}^2 / 0.01 \text{ bar}$	$0.5 \text{ kW/m}^2 / < 0.01 \text{ bar}$ ($0.75 \text{ kW/m}^2 / 0.01 \text{ bar}$)
Benzin Strasse: 23 t Schiene: 1500 t	Lachenbrand	$< 1 \text{ W/m}^2$	0.15 kW/m^2
Chlorgas Strasse: 2 t Schiene: 55 t	Konzentration	$< 100 \text{ ppm}$	250 ppm

Bewertung der natürlichen topologischen Barrieren

Bei Bewertung der topologischen Gegebenheiten zwischen den potenziellen Unfallorten auf der Strasse / Schiene und dem Standort des gTL zeigt sich zum einen, dass durch das dicht bewaldete Gelände (Hügelzug Ämperg) der Standort sehr gut gegen die Einwirkungen eines Gefahrguttransportunfalls abgeschirmt wird. Das Gelände bzw. der Hügelzug erhebt sich bis zu 80 m über die potenziellen Unfallorte (vgl. Fig. 2-2). So eliminiert diese topologische Barriere jegliche Hitze- oder Druckwellenauswirkung vollständig. Zum anderen liegt der Projektperimeter um ca. 30 m resp. 40 m oberhalb des Hauptstrassen- resp. Bahngleisverlaufs. Eine Ausbreitung von schwerem toxisch wirkendem Chlorgas nach einem Transportunfall bis hin zum erhöhten Standort kann somit ebenfalls ausgeschlossen werden.

Die natürliche topologische Barriere (Hügelzug Ämperg) sowie die Höhendifferenzen verhindern somit eine Gefährdung für Gebäude, Prozesse und die nukleare Sicherheit wirksam.

3.3 Transportunfälle auf näheren, wenig befahrenen Nebenstrassen

Die Nebenstrassen westlich und östlich des Standorts werden aufgrund ihrer Lage und Ausrichtung nicht durch Schwerverkehr oder durch grosse Gefahrguttransporte befahren. Sie stellen keine Haupt- oder Durchgangsverkehrsrouten dar und werden im Wesentlichen zur Verbindung verschiedener Gemeinden genutzt. Die kleinste Distanz der im Osten gelegenen Verbindungsstrasse (Nr. 348) hat eine Entfernung von ca. 750 m. Schwerlast- und Gefahrguttransporte werden vorrangig auf der vom Standort ca. 5 km entfernten Autobahn A51 durchgeführt. Die im Westen gelegene Verbindungsstrasse (Nr. 566) hat als enge Nebenstrasse eine kleinste Luftliniendistanz von 1.1 km und eignet sich mit engen kurvigen Dorfdurchfahrten ebenfalls nicht zum Schwerlast- resp. Gefahrguttransport. Auf diesen Strecken werden somit keine Propan- oder andere explosible oder gefährliche Gütertransporte (von bedeutender Menge) durchgeführt.

3.4 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 einerseits durch einen grossen Abstand sowie andererseits durch die natürlichen topologischen Barrieren zwischen den Gefahrguttransportrouten und dem Standort

Aus den verschiedenen Anfragen bei den umliegenden Gemeinden geht die einheitliche Prognose hervor, dass sich zukünftig einerseits die Routenführungen für Gefahrguttransporte in der näheren Umgebung des Standortes 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 Gefahrguttransporte mit den Leitstoffen Propan, Benzin und Chlor auf der Hauptstrasse Nr. 7 und auf der Bahnlinie von den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) und den betreffenden Gemeinden auf Anfrage hin bestätigt. Bis auf weiteres sind zudem keine Planungen für einen künftig regional grösseren gefahrgut-konsumierenden Industriebau bekannt.

4 Störfälle bei Erdgas-Rohrleitungen

Südlich des Projektperimeters verläuft eine im Boden verlegte Hochdruckgasleitung der Erdgas Ostschweiz AG mit einem maximal zulässigen Betriebsdruck von 70 bar. Der Verlauf der Leitung ist in Fig. 4-1 gezeigt und weist einen minimalen Abstand von etwa 250 m zum Projektperimeter auf. Bzgl. dem Anlagenperimeter, in dem die Bauten der Oberflächenanlage realisiert werden (siehe Fig. 6-2), hat die Gasleitung einen Abstand von etwa 330 m und liegt damit ausserhalb des 300 m betragenden Konsultationsbereichs. Die technischen Angaben bzw. die Leistungskennzahlen sind in Tab. 4-1 zusammengefasst.

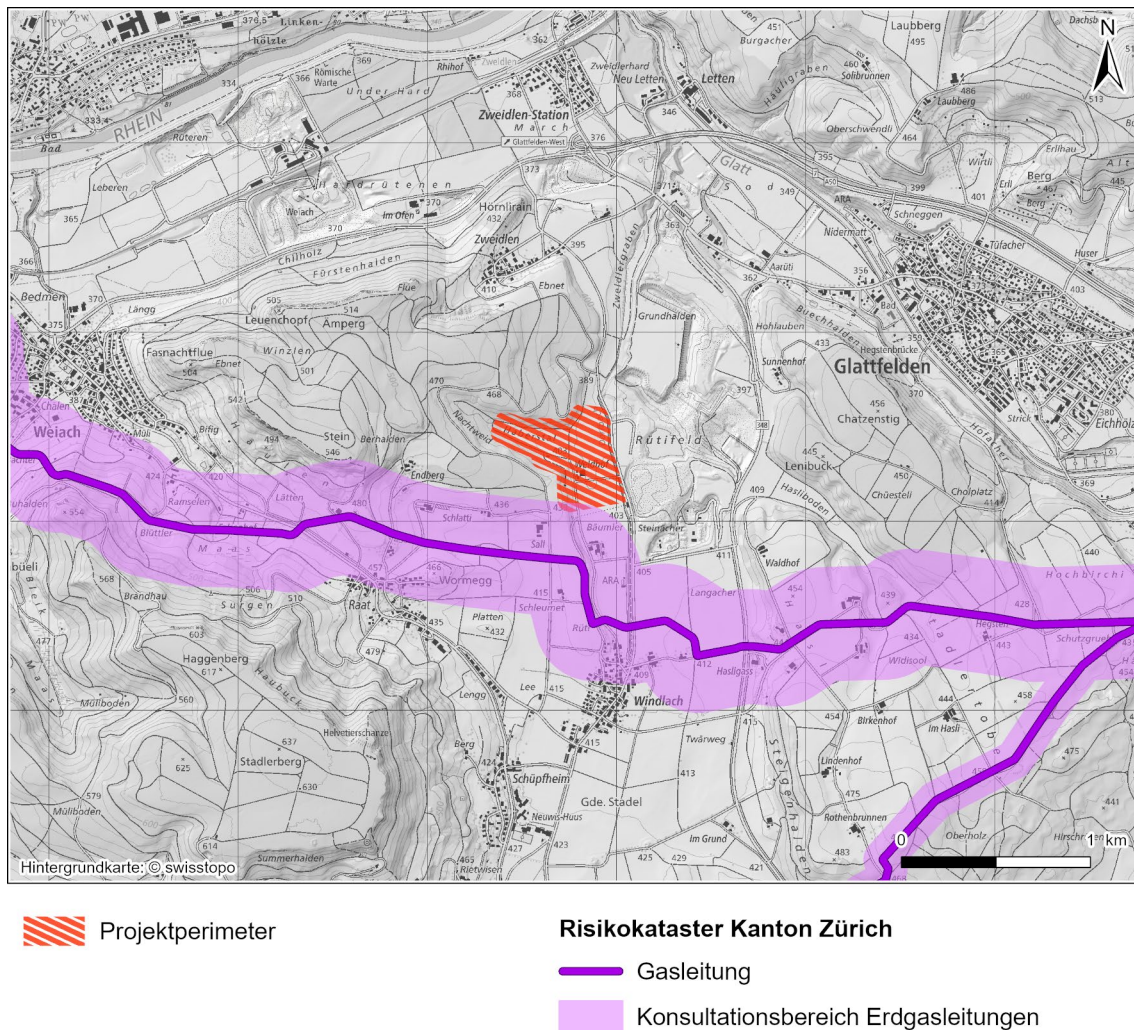


Fig. 4-1: Verlauf der Erdgashochdruckleitung (70 bar)

Tab. 4-1: Leistungskennzahlen der Erdgashochdruckleitung

Angabe	70 bar Hochdruckgasleitung
Baujahr	1997
Material / Typ	StE 480.7 TM
Nennweite	DN 700
Aussendurchmesser	711.2 mm
Rohrwandstärke	10.0 mm
Innendurchmesser	691.2 mm
Betriebsdruck	Max. 70 bar
Überdeckung	1.2 m bis 3.0 m (nach Plan Nr. 95-35)
Minimaler Abstand zum Anlagenperimeter	ca. 330 m

4.1 Stoffeigenschaften 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 $(0.7 - 1) \text{ kg/m}^3$ 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 Abspernung 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 Gasleitungsunfalls wird in Kap. 6, in dem eine spezifische Diskussion zur Gefährdung durch verschiedene Waldbrandauslöser geführt wird, diskutiert.

4.3 Bewertung der Auswirkungen

Ein Totalversagen der Erdgasleitung, das zu dem in Kap. 4.2 beschriebenen Störfallszenario führen könnte, ist aufgrund des nicht bebaubaren Agrarlandes, der z. T. bis zu 3 m unter der Erdoberfläche geführten Leitungsverläufe und durch die an der Oberfläche markierte Erdgasleitungsschneise nicht zu unterstellen. Typische landwirtschaftliche Arbeiten auf den betreffenden Feldern verlaufen ausschliesslich oberflächennah. Tiefergehende Erdumwälzungsarbeiten (mit Schädigungspotential der Leitung) sind zudem bewilligungspflichtig. Eine Explosion genau am geometrischen 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 ergebende Gefährdung für den Standort 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 diverse 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 am Standort (in ca. 330 m Distanz) zu etwa 0.1 bar berechnet (vgl. Fig. 4-2). Dieser Überdruck ist für die bauliche Integrität der Bauten der Oberflächenanlage 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 kürzest mögliche Entfernung von ca. 330 m zum Standort an, so sinkt die Wärmestromdichte beim Standort auf ca. 17 kW/m² (vgl. Fig. 4-2). Diese kurzzeitige thermische Last bedeutet für die bauliche Struktur der OFA indes keine Gefährdung (vgl. Tab. B-2). Eine Betonwand von 200 mm Stärke erwärmt sich in diesem Zeitraum von 17 s um 0.6 °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 Oberfläche² bei einer Distanz von 330 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 Schliessung nach wenigen Minuten und dem Entweichen der Restgasmasse für die baulichen Strukturen der OFA keine Gefährdung (vgl. Tab. B-2). Eine Stahlbetonwand der Stärke 200 mm wird sich dadurch nach 5 Minuten Restbrennzeit um 4.1 °C erwärmen.

² Annahme eines vertikalen Zylinders mit einer Höhe von ca. 325 m und einem Durchmesser von 70 m

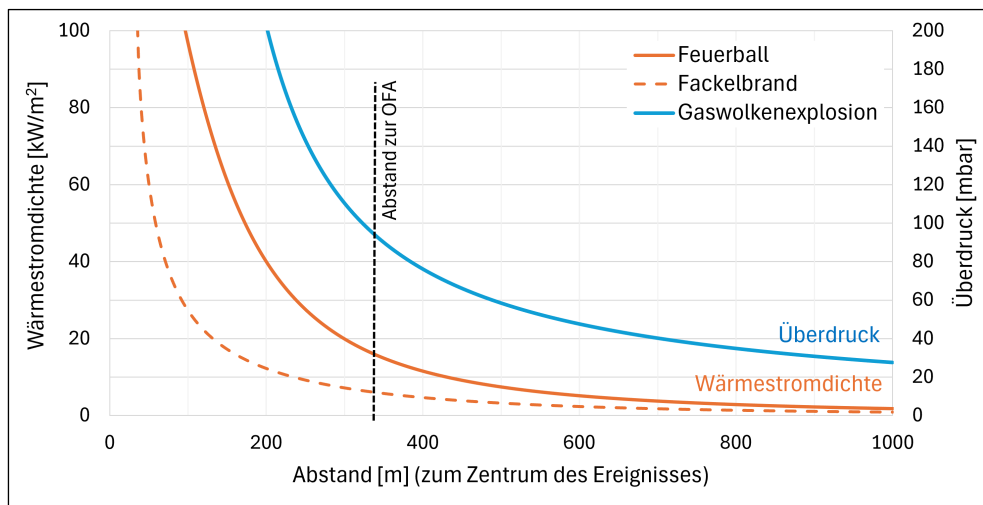


Fig. 4-2: Wärmestromdichte und Überdruck in Abhängigkeit des Abstands zum Zentrum des Feuerballs bzw. Fackelbrands

4.4 Zusammenfassende Bewertung und Fazit

Aus dem unterstellten Totalversagen, d.h. einer vollständigen doppelseitigen Trennung der Erdgasleitung (70 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, die Betriebsabläufe des gTL und insb. die Endlagerbehälter keinen nachteiligen Einfluss haben. Da der Standort zudem topographisch ca. 30 m tiefer liegt (vgl. Fig. 2-2) und zudem zum Teil ein hügeliges Waldgebiet mit bis zu 30 m hohem Mischwald vorgelagert ist, dürften sowohl bei einem Feuerball als auch beim Fackelbrand zusätzliche Abschirmeffekte 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

5.1 Industrie und Gewerbe

In der Umgebung um den Standort werden diejenigen Einrichtungen einer Überprüfung unterzogen, von welchen aufgrund eines Störfalles eine potenzielle Gefahr für die OFA 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 richtet 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.

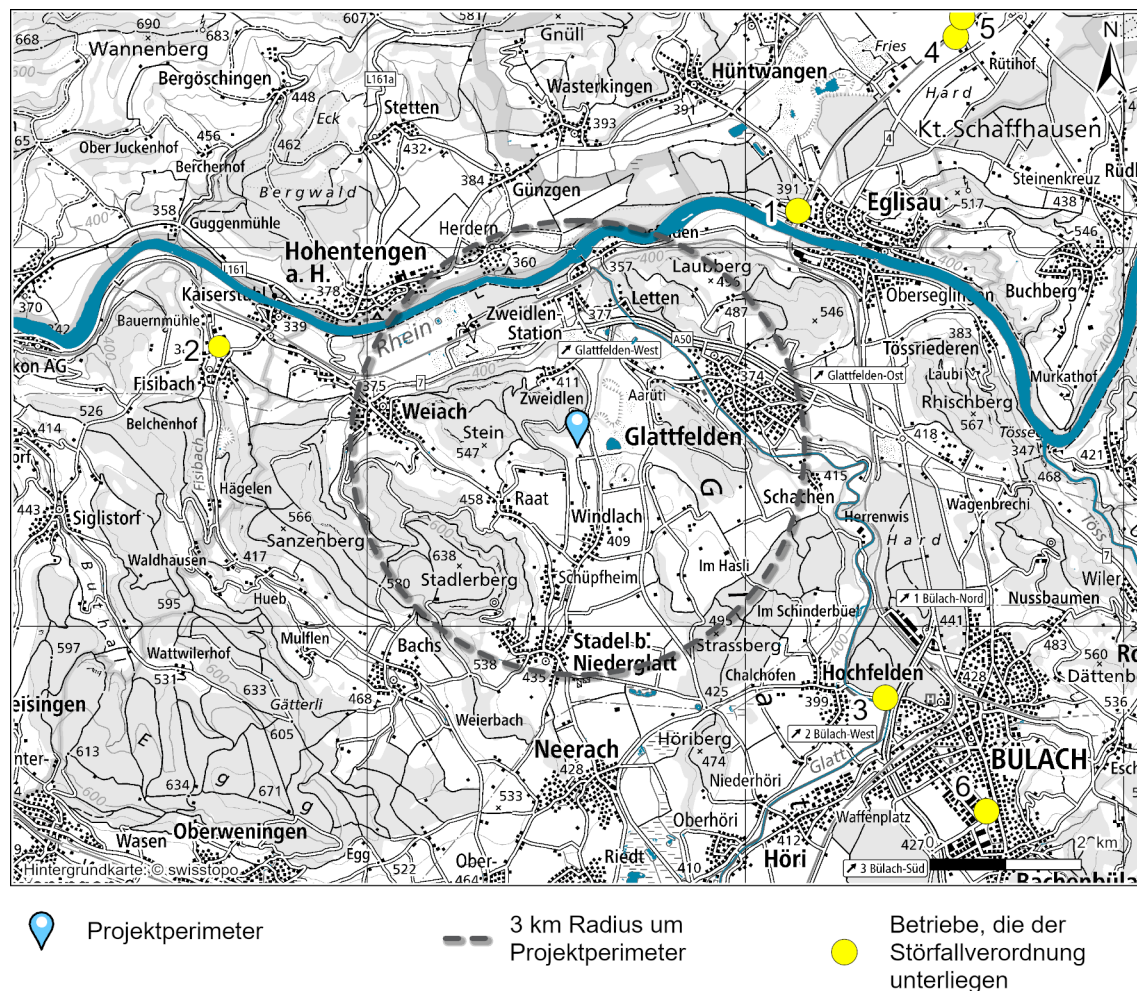


Fig. 5-1: In der Umgebung befindliche, der Störfallverordnung unterliegende Betriebe
Die Nummern kennzeichnen die Betriebe entsprechend Tab. 5-1 mit zunehmendem Abstand.

Tab. 5-1: Auflistung der Betriebe, die der StFV (1991) unterstellt sind, und sich in einem Umkreis von 7.5 km um den Standort des gTL befinden

Die Nummern in der ersten Spalte kennzeichnen die Betriebe entsprechend Fig. 5-1.

Nr.	Entfernung	Firmenname	Branche	Ort	Kritische Betriebsprozesse mit potenziell gefährdenden Stoffen	Potenzielle Unfallauswirkungen am Betriebsstandort	Unfallauswirkung gTL-Standort
1	4.5	Serge Ferrari AG	Polyester-garne	Eglisau	Polyesterherstellung aus Diol und Dimethylterephthalat	Brand-/ Rauchgase, Grundwasserverunreinigung	Keine (ausr. Entfernung)
2	4.9	Kubrix AG	Baustoffe, Ziegelei	Fisibach	Ziegelbrennerei	Grössere Mengen an fossilem Brennstoff mit Potential zur Grundwasserverunreinigung oder Brand-/Rauchgase	Keine (ausr. Entfernung)
3	4.9	Stadt Bülach, Sportanlage	Hirslen, Kunsteisbahn	Bülach	Grosse Mengen Frostschutzmittel (Monoäthylenglykol oder Polypropylenglykol)	Grundwasserverunreinigung (Toxizität)	Keine (ausr. Entfernung)
4	7.2	Alfa Klebstoffe AG	Klebstoffe auf Wasserbasis	Rafz	Verschiedene chemische organische Grundstoffe	Grundwasserverunreinigung, Brand-/ Rauchgase	Keine (ausr. Entfernung)
5	7.4	Meier Oberflächen AG	Metallveredelung	Rafz	Säuren, Laugen, Lösungsmittel	Grundwasserverunreinigung (Toxizität)	Keine (ausr. Entfernung)
6	7.4	Biotronik AG	Cardio-medizinische Geräte	Bülach	Ätzmittel für Elektronik-Bauteilherstellung	Grundwasserverunreinigung	Keine (ausr. Entfernung)

Die Bewertung potenzieller Störfälle in den Betrieben mit Auswirkungen auf die Beeinträchtigung der Baustruktur, der Endlagerbehälter und der Anlagensicherheit des gTL basiert vor allem auf der Entfernung solcher Betriebe vom Standort. Hier sind insbesondere die Verdünnung grundwasser- oder luftgetragener Stoffe³ während der Transportwege sowie die Reichweite von Trümmerwürfen⁴ 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 Kernkraftwerke, bei denen in der Regel nur Betriebe in etwa 3 km Umkreis von Bedeutung sind. Im Fall des gTL jedoch liegen alle untersuchten regionalen Betriebe, die der StfV unterliegen, im Minimum 4.5 km entfernt. Im 3-km-Radius befinden sich demnach keine Betriebe, bei welchen eine Gefahrstofffreisetzung oder Trümmerwurf zu erwarten sind, die bei einem Störfall relevant werden und eine Einwirkung auf das gTL bedeuten könnten (vgl. Fig. 5-1). Ausserhalb der 3 km handelt es sich allesamt nicht um grössere Industrieanlagen, sondern um Gewerbebetriebe mit limitierten Mengen an potenziell schädlichen Ausgangsstoffen für ihre spezifische Produktherstellung.

5.2 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.

5.3 Zusammenfassende Bewertung und Fazit

Die Bewertung möglicher sicherheitsrelevanter Betriebe, Industrieanlagen und militärischer Anlagen in der Umgebung bzw. direkten Nachbarschaft ergab keine Risiken oder Gefährdungen für den Standort des gTL bzw. dessen Oberflächenanlage.

³ 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.

⁴ Die kritische Distanz für einen Trümmerwurf nach einer Explosion liegt weit unter einem Kilometer.

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 erhöhen⁵. 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» entnehmen⁶, 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).

Im Waldstück, das nördlich, westlich und südlich an den Projektperimeter grenzt (vgl. Fig. 2-1), trat laut Gemeindeauskunft bislang noch 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 des Klimawandels häufiger geworden. Klimabedingte Trends werden in der Zukunft ebenfalls mit der Waldbranddatenbank Swissfire untersucht und bewertet.

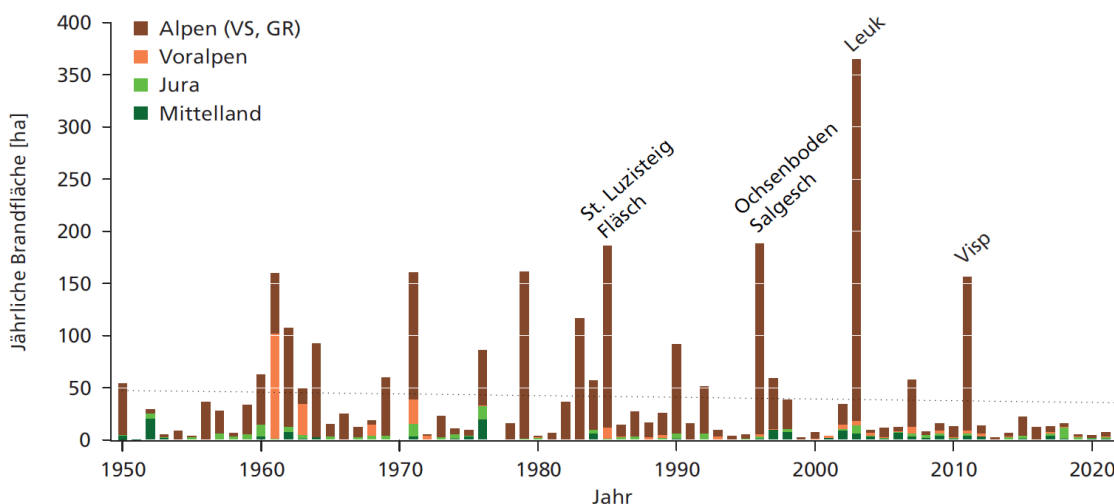


Fig. 6-1: Durch Waldbrand betroffene Flächen in den Zentralalpen, den Voralpen, dem Jura und dem Mittelland (Zeitraum: 1950 bis 2022)

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

⁵ <https://www.naturgefahren.ch/home/umgang-mit-naturgefahren/waldbrand/gefahrenstufen.html>

⁶ WSL Swissfire database, Switzerland. www.wsl.ch/swissfire

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 das angrenzende Waldstück im Schweizer Mittelland liegt, und in dieser Region Waldbrände nachweislich sehr selten sind (Geografie, Standort und Topographie).

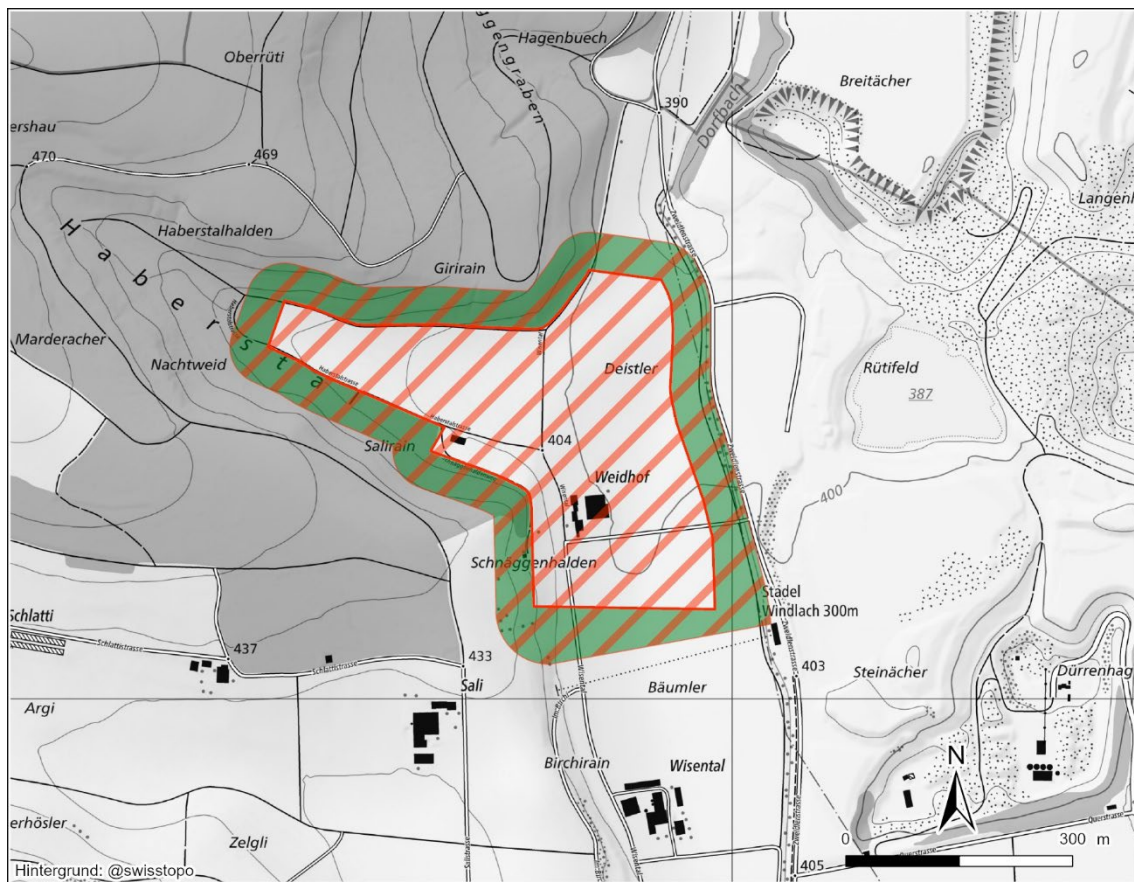
6.2 Anlagespezifische Bewertung

Die Entstehung eines Brands im betreffenden Waldstück 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. 4 aufgezeigte Waldbrandrisiko aufgrund einer Beschädigung der bodenverlegten, waldnahen Erdgasleitung mit nachfolgender Explosion und Brand. 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, innerhalb dessen die Bauten realisiert werden, und dem benachbarten Waldgebiet einen ca. 50 m breiten Eingliederungssaum (vgl. Fig. 6-2) vor. In dem Eingliederungssaum verläuft ein ca. 3 m breiter Waldweg und eine 30 m breite Niederhaltungszone, die gekennzeichnet sein wird durch aktive Vereinzelung von Büschen, Sträuchern und niedrig gehaltenen Bäumen. Diese 30 m breite Zone ist somit durch eine deutlich niedrigere Brandlast charakterisiert als der natürliche Wald. Infolge baulicher Massnahmen sowohl für die Sicherung als auch für die Bereitstellung von Verkehrs- und Logistikflächen grenzen die Bauten zudem nicht direkt an den Eingliederungssaum an, sondern weisen einen zusätzlichen Abstand auf (gemäss heutiger Planung von mehr als 10 m). Durch diesen gesamthaft bis zu 40 m betragenden Abstand zum natürlichen Wald werden die potenziellen Auswirkungen eines perimeternahen Waldbrands auf relevante Bauten der Oberflächenanlage des gTL, insbesondere die thermische Strahlung und die thermische Dosis, reduziert. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass eine solche Zone mit einer Breite von ca. 40 m mehr als 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 nahegelegenen Feuerwehren, wie z.B. Bülach, die Feuerwehr Glattfelden-Stadel-Weiach, Feuerwehr Zweckverband Banesto (Bachs-Neerach-Steinmaur) sowie die Betriebsfeuerwehr des Flughafens Zürich-Kloten, haben für die Bekämpfung eines solchen Waldbrands z. T. sehr kurze Anfahrtszeiten und verfügen über grosse Löschkapazitäten. Im Anforderungsfall kann die Feuerwehr zwischen Waldrand und Anlagenperimeter zudem als zeitnahe Massnahme eine brandfreie Schutzzone reduzierter thermischer Strahlung realisieren, um so erhöhte Oberflächentemperaturen an Strukturen wirksam zu begrenzen. Die redundante Erschliessung der OFA und die allgemeinen Platzverhältnisse auf dem Areal und im Bereich des äusseren Eingliederungssaumes erlauben dabei jederzeit die Zugänglichkeit für externe Einsatzkräfte der Feuerwehr. Der Betrieb des gTL 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.

Unter diesen Bedingungen (insb. der Abstand zum natürlichen Wald) stellt ein Waldbrand weder eine Gefahr für die Betonstruktur am Standort dar noch für die strukturelle Integrität und Dichtheit der auf hohe thermische Belastungen ausgelegten Endlagerbehälter. Grundsätzlich bietet Beton einen guten Schutz gegen Brand. Insgesamt wird eine Degradation der Strukturintegrität durch einen Waldbrand ausgeschlossen.



Perimeter

- Projektperimeter
- Anlagenperimeter
- Eingliederungssaum

Fig. 6-2: Übersichtskarte des Projektperimeters, inkl. Unterteilung in Anlagenperimeter und Eingliederungssaum

6.3 Zusammenfassung und Fazit

Die Waldbrandgefährdung im angrenzenden Wald ist historisch gesehen äusserst 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 (Niederhaltungszone) zwischen den Bauten der OFA und dem angrenzenden Wald 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 nukleare Sicherheit wird durch die grosse thermische Robustheit der Endlagerbehälter garantiert. Die zahlreichen Feuerwehren der Umgebungsgemeinden sind ausserdem für die rasche Bekämpfung solcher anlagen nahen Waldbrände entsprechend ausgebildet und ausgerüstet.

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

7 Literaturverzeichnis

- BABS (2020): Katastrophen und Notlagen Schweiz 2020 / Gefährdungsdossier Waldbrand. Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, Bern.
- 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 das geologische Tiefenlager – Sicherheitsbericht. Nagra Technischer Bericht NTB 24-01.
- 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.
- 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 Ausmasseneinschätzung 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.

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