

Version 1.0 / 07.02.2014

Heineken Switzerland AG

Risikoermittlung Brauerei Eichhof 2014

Bebauungsplan Eichhof West

Auftraggeber
Heineken Switzerland AG
Obergrundstrasse 110
CH-6002 Luzern



Version 1.0 / 07.02.2014

Heineken Switzerland AG

Risikoermittlung Brauerei Eichhof 2014

Bebauungsplan Eichhof West

Auftraggeber

Heineken Switzerland AG
Obergrundstrasse 110
CH-6002 Luzern

Verfasser

Roos+Partner AG
CH-6000 Luzern 7

Beat Obrist

Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Kapitel	Änderung	Autor
1.0	07.02.2014	Alle	Erstellung basierend auf Risikoermittlung BO „Überbauung Eichhof West/Süd“ V.16 vom 9.11.2012 ink. Nachreichung vom 28.1.2012	

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Situation	5
3	Anlagenbeschrieb	7
3.1	Einleitung	7
3.2	Beschreibung der Anlage	7
3.3	Anlagespezifische Störfälle	8
3.4	Sicherheitsmassnahmen	8
3.4.1	Technische und bauliche Massnahmen	8
3.4.2	Organisatorische und betriebliche Massnahmen	9
3.4.3	Personelle Massnahmen	9
3.5	Notfallkonzept	10
3.6	Geplante Massnahmen für Bebauungsplan Eichhof West	10
4	Risikoanalyse	11
4.1	Methode	11
4.2	Gefahrenpotentiale	12
4.3	Störfallszenarien und Freisetzungsvorgänge	13
4.4	Varianten	17
5	Wahrscheinlichkeit einer Freisetzung	19
5.1	Häufigkeiten von relevanten Ereignissen	19
5.2	Wahrscheinlichkeiten Ausbreitungsbedingungen	20
6	Ausmasseinschätzung	21
6.1	Personenbelegung und Berechnungsparameter	21
6.2	Ausmasseinschätzung	22
6.2.1	Variante A	22
6.2.2	Variante B	22
6.2.3	Variante B+	23
7	Wahrscheinlichkeit / Ausmass-Diagramm	24
8	Sensitivitätsanalyse	26
8.1	Allgemeine Hinweise	26
8.2	Anteil Personen im Freien Eichhof West	26
8.3	Eichhof Süd	27
8.4	Vergleich mit Methode SlabView 2012	27
8.5	Hinweis auf Störfälle	28
9	Schlussfolgerung	29
10	Unterlagen	30
11	Beilagen	31

1 Einleitung

Die Brauerei Eichhof in Luzern im Besitz der Heineken Switzerland AG betreibt eine Anlage zur Kälteerzeugung, welche zwei Kältekreisläufe auf unterschiedlichen Temperaturniveaus mit -15° und -5° umfasst. Der Gesamtinhalt NH_3 beträgt 8'000 kg. Die verschiedenen Teile der Kälteanlage sind auf dem Gelände der Brauerei so platziert, wie es der Bedarf erfordert. Die Anlage ist immer wieder den Bedürfnissen entsprechend angepasst worden.

Die Kälteanlage wird mit rund 8'000 kg Ammoniak (wasserfrei) betrieben und fällt damit in den Geltungsbereich der Störfallverordnung (StFV). Die Mengenschwelle gemäss StFV beträgt 2'000 kg.

Das von der Brauerei Eichhof ausgehende Risiko auf die Umwelt bzw. die Bevölkerung wurde in der Vergangenheit bereits mehrfach in einer Risikoermittlung beurteilt. Zuletzt im Rahmen des Bebauungsplans „Eichhof Süd/West“ im Jahre 2012 [Lit. 1]. Der damalige Bebauungsplan sah eine gemischte Nutzung des Areals als Hotel, Gewerbe, Wohnen und Schule vor. Die Analysen zeigten, dass aus Sicht der Störfallverordnung ein solches Projekt nur mit technischen Massnahmen bei der Brauerei realisiert werden kann. Der Anlagenbetreiber und die Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) haben sich damals geeinigt, dass u.a. mit einem sekundären Rückkühlkreislauf mit Ethylenglykol (anstelle von Ammoniak) und dem damit verbunden Wegfall der NH_3 -Kondensatoren sowie einer Verlegung der Ausblasöffnung der Lüftung aus dem Maschinenraum 45 m nach Osten das Risiko im sichereren Bereich liegen würde. Das damalige Bebauungsplan Projekt wurde in der Zwischenzeit überarbeitet.

Der neue Bebauungsplan Eichhof West sieht wiederum die Realisierung einer dichten Bebauung mit gemischten Nutzungen (u.a. Wohnen, Büros, Dienstleistungen, Bildungseinrichtungen) und Hochhäuser vor. Im Vergleich zum letzten Bebauungsplan haben sich Nutzung, Personenbelegung und Anordnung der Gebäude verändert, so dass die Störfallsituation neu beurteilt werden muss und geprüft, ob die geplanten Massnahmen immer noch zu sicheren Situation führen.

Der vorliegende Bericht untersucht das Personenrisiko ausgehend von der Brauerei Eichhof und beschreibt die im Rahmen der letzten Risikoermittlung diskutierten Massnahmen-Varianten. Er dient als Grundlage für den behördlichen Entscheid, ob das vom Betrieb ausgehende Risiko für die Bevölkerung aufgrund der zu erwartenden Veränderungen bzw. der angedachten technischen Massnahmen als tragbar zu beurteilen ist bzw. unter welchen Voraussetzungen der Bebauungsplan bewilligt werden kann.

2 Situation

Die Brauerei Eichhof befindet sich auf der Gemeindegrenze Luzern - Kriens nördlich der Obergrundstrasse. Die nächsten Wohngebiete befinden sich heute im Norden entlang des Steinhofweges und der Sonnenbergstrasse. Die Autobahn A2 Basel – Gotthard liegt rund 250 m in westlicher Richtung entfernt. Im Osten befinden sich das Alters- und Pflegeheim und Alterswohnungen Eichhof (vgl. Abbildung 2-1).

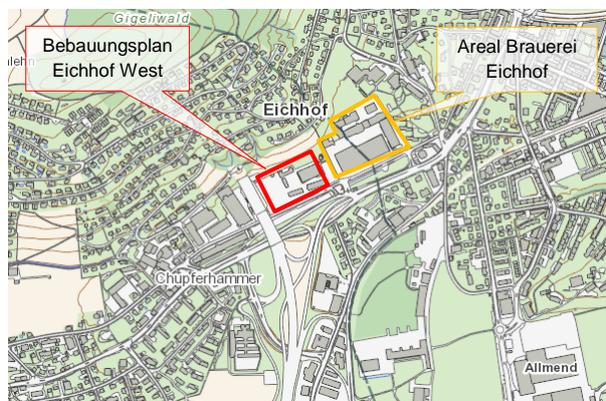


Abbildung 2-1: Situation (Quelle: geo.lu.ch)

Der neue Bebauungsplan Eichhof West¹ sieht eine Überbauung mit vier Gebäudeteilen (A bis D) vor (teilweise Hochhäuser) und ist mit einem „Innenhof“ gestaltet (vgl. Abbildung 2-2). Details zum Bebauungsplan sind dem entsprechenden Bericht und Reglement zu entnehmen.



Abbildung 2-2: Ausschnitt Bebauungsplan Eichhof West

Im Übersichtsplan in Abbildung 2-3 ist die maximale Personenbelegung der einzelnen Gebäude, Quartiere und der Obergrundstrasse ersichtlich. Die Zahlen sind aus den früheren Risikoermittlungen und vorliegenden Bebauungsplanunterlagen übernommen und falls nötig angepasst bzw. ergänzt worden.

Die Anzahl Bewohner entlang der Sonnenbergstrasse basiert auf Schätzungen der Anzahl Bewohner pro Haus. Die Personenbelegung der Gebäude im Norden und Osten der Brauerei ist in früheren Risikostudien bestimmt worden. Für die Obergrundstrasse ist ein 200 m langes doppelspuriges Strassenstück berücksichtigt. Unter der Annahme, dass ein Fahrzeug 5 m beansprucht und mit 2 Personen besetzt ist, so ist bei einem Stau auf der Obergrundstrasse mit 160 Personen zu rechnen.

Die Personenbelegung der einzelnen Gebäudeteile auf dem Areal Eichhof West ist im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens zur Beurteilung der „Risiken Durchgangsstrassen“ bestimmt und dem Verfasser für die vorliegenden Analysen zugestellt worden²:

¹ Planteam S AG, Bebauungsplan Eichhof West – Planungsbericht, Parzellen GB Nr. 3, Nr. 826, Nr. 2993, Nr. 2994 und Nr. 115 vom 31.1.2014

² Ernst Basler und Partner, 2014-01-31_Personendichten_Eichhof_Transfer.xls vom 31.1.2014

Baubereich	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	C1	C2	D1	D2	D3	Total
Wohnen	0	0	41	93	120	0	50	83	18	174	9	25	614
Büro	0	0	6	2	16	21	10	0	0	0	0	0	55
Schule	212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212
Kinderkrippe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	11	26	44
Fitnessstudio	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	16
Retail	0	0	0	0	5	7	0	15	0	0	0	0	27
Restauration	0	79	0	0	46	60	0	0	0	0	0	0	185

Total													
Wohnen	0	0	41	93	167	0	50	83	18	174	9	25	660
Arbeiten	212	79	6	2	21	88	10	31	0	7	11	26	492

Tabelle 2-1: Personenbelegung Eichhof West gemäss Bebauungsplan

Das Restaurant im Turm ist zu „Wohnen“ gezählt, da dies sicher hauptsächlich abends genutzt wird. Das Restaurant auf A1-A3 ist zu „Arbeiten“ gezählt, da es sich um eine Mensa handelt, die hauptsächlich tagsüber belegt ist.

Zusätzlich zur oben abgebildeten Personenanzahl werden 100 Personen im Innenhof sowie 20 Personen vor dem Gebäudeteil B3 (evt. Retail) angenommen.

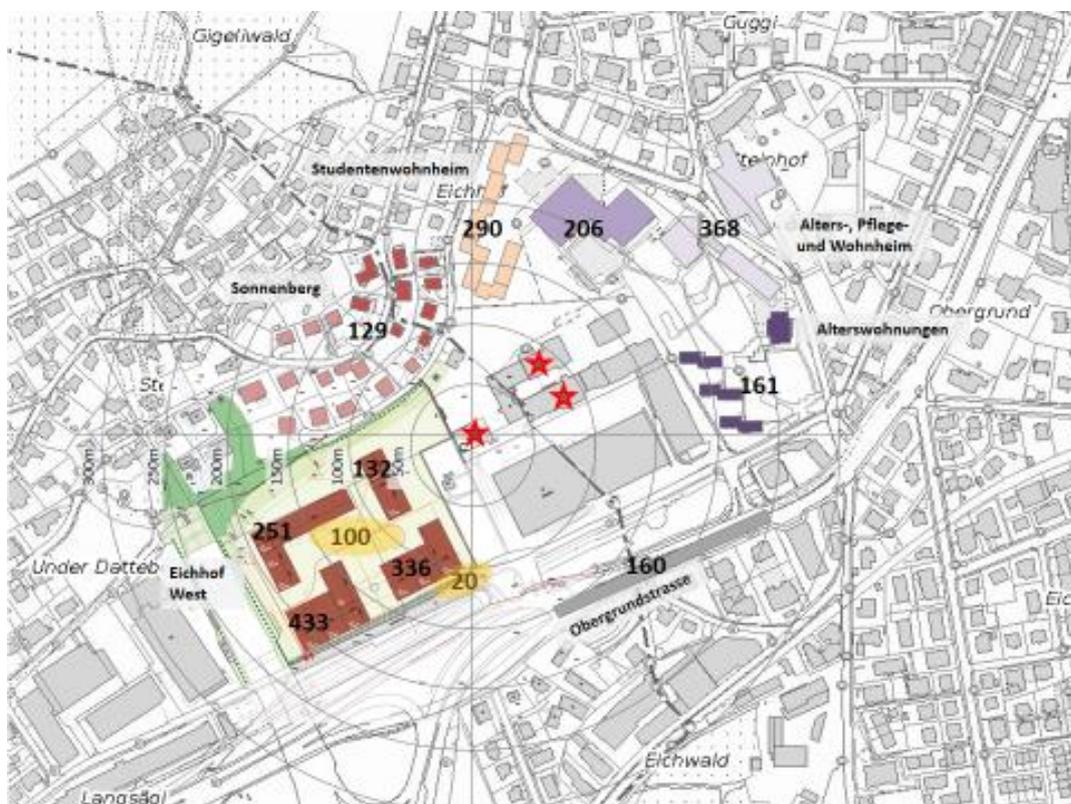


Abbildung 2-3: Situation mit der Anzahl Personen in Gebäuden und der Obergrundstrasse

3 Anlagenbeschrieb

3.1 Einleitung

Zur Deckung des Kältebedarfs in der Brauerei Eichhof sind ca. 8'000 kg Ammoniak flüssig erforderlich. Die Menge Ammoniak damit überschreitet die Mengenschwelle gemäss Störfallverordnung (StfV). Der Austritt von Ammoniak bildet das relevante Risiko und wird in diesem Bericht beschrieben.

Die Eigenschaften von Ammoniak sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Stoffbezeichnung (CAS - Nr.)	Ammoniak flüssig (7664-06-0)	
Höchstmenge	8'000 kg	
Mengenschwelle	2000 kg, Ziff. 41	
MAK - Wert	SUVA	20 ppm
IDLH	EPA, USA	300 ppm
Geruchsschwelle	Hommel	5 - 50 ppm
Brand - und Explosioneigenschaften	Sicherheitsinstitut (ehemals BVD)	F 1 15.5 – 28 % Vol. (Ex-Grenzen)
Oekotoxizität	Sicherheitsinstitut	Wassergefährdung PN2 fischtöxisch
Bemerkung	tiefkaltes Gas	

Tabelle 3-1: Umweltrelevante Eigenschaften von Ammoniak

3.2 Beschreibung der Anlage

Die Anlage zur Kälteerzeugung umfasst zwei Kältekreisläufe auf unterschiedlichen Temperaturniveaus mit -15° und -5°C. Der Gehalt NH₃ beträgt ca. 8'000 kg. Sie ist in der „Ergänzenden Beschreibung der Kälteanlage“ zu den Schemata (siehe Beilage 1) beschrieben. Der Beschrieb basiert auf dem Ist-Zustand mit den Kondensatoren auf dem Dach.

Die verschiedenen Anlagen, die die Kältezentrale umfassen, sind auf dem gesamten Gelände der Brauerei so platziert, wie es jeweils der Bedarf erfordert. Die Anlage ist immer wieder den betrieblichen Bedürfnissen angepasst worden. Eine summarische Planübersicht der Kälteanlage und der Leitungen sowie ein Luftbild befinden sich ebenfalls in der Beilage 1.

Der Abscheiderraum ist mit einer Lüftung versehen. Die Ausblasöffnung befindet sich im Turm auf einer Höhe von ca. 40 m über Boden.

Der Betrieb ist den Vollzugsbehörden gut bekannt. Auf ein detaillierter Beschrieb der Anlage wird daher an dieser Stelle verzichtet. Prinzip- und Anlagenschema sowie weitere Detailunterlagen befinden sich in der Dokumentenablage der Kälteanlage in der Brauerei Eichhof.

3.3 Anlagespezifische Störfälle

Störfälle, das heisst Havarien, bei denen grössere Mengen Ammoniak freigesetzt wurden, haben sich in der Brauerei Eichhof, aber auch generell in der Schweiz und im europäischen Raum, in den letzten 25 Jahren nicht ereignet.

Leckagen, verursacht durch defekte Dichtungsringe und kleinere durch Korrosionen, ereignen sich hin und wieder. Das Ausmass, bezogen auf die Menge, ist gering und die Ausbreitung bleibt jeweils auf das Betriebsgelände beschränkt.

3.4 Sicherheitsmassnahmen

Die Sicherheitsmassnahmen sind in verschiedenen Anweisungen sowie in der „Ergänzenden Beschreibung“ in Beilage 1 aufgeführt. Im Juni 2006 hat die Brauerei Eichhof eine Sicherheitsbeurteilung der Kälteanlage von den Kälteplanern SSP erstellen lassen [Lit. 2]. Die Hauptpunkte sind die folgenden:

3.4.1 Technische und bauliche Massnahmen

Es gibt folgende technische Massnahmen zur Detektion und Verhinderung von Leckagen:

- Ausschliessliche Verwendung von ammoniakbeständigen und geeigneten Werkstoffen.
- Unter den Abscheidern und Zwischenbehälter sind Auffangwannen für evtl. auslaufendes Ammoniak mit genügend Auffangvolumen aufgestellt.
- Verwendung von druck- und temperaturbeständigen Armaturen.
- Überwachung der mit Ammoniakleitungen belegten Räume mit Sensoren die gemäss Tabelle 3-2 verteilt sind
- Automatische Schliessung von Zufuhrleitungen, dadurch Bildung von Abschnitten und verhindern eines Austreten der gesamten Ammoniakmenge im Havariefall.

Ort	Anzahl Sonden	Grenzwert 1. Alarm [ppm]	Grenzwert 2. Alarm [ppm]	Grenzwert 3. Alarm [ppm]
Kompressorenraum	2	600	800	1000
Abscheiderraum	1	600	800	1000
Pumpenraum	1	600	800	1000
Lagerkeller Tankraum	1	600	800	1000
Lagerkeller diverse Tankraum	1	600	800	1000
Oberer Rohrboden Lagerkeller Tankraum	1	600	800	1000
Oberer Rohrboden Diverse Tankraum	1	600	800	1000
Hopfenkeller Lagerkühlung	1	600	800	1000
Jungbierkühler Wasserkühler Produktionskühlung	1	600	800	1000
Hefereinzucht Tankkühlung	1	600	800	1000
Tankfüllerei, Tankvollgutlager	1	600	800	1000
Tankfüllerei, Fasskühler	1	600	800	1000

Tabelle 3-2: Ammoniaksonden und Alarmwerte

Der 1. Alarm bewirkt: „Warnung“ = interne Meldung auf Personensuchanlage (PSA)

Der 2. Alarm bewirkt: „Voralarm“ = interne Meldung auf Personensuchanlage (PSA)

Der 3. Alarm bewirkt: „Alarm“ = interne Meldung auf Personensuchanlage (PSA) und Telealarm an die Einsatzzentrale der Polizei Luzern

3.4.2 Organisatorische und betriebliche Massnahmen

Folgende organisatorische und betriebliche Massnahmen sind realisiert:

- Einbezug des technischen Personals bei der Wartung der Anlage.
- Abgabe einer Bedienungs- und Wartungsanleitung.
- Erstellung eines Anlageschemas, das jederzeit zugänglich sein muss.
- Erstellung eines Schutzkonzeptes.
- Allgemeines Zutrittsverbot für den Kompressoren- und Abscheiderraum.
- Hinweistafeln über die Gefährlichkeit und Giftigkeit von Ammoniak.
- Kennzeichnung von Leitungen; ammoniakführende Rohrleitungen sind speziell markiert
- Fluchtwege sind bezeichnet.

3.4.3 Personelle Massnahmen

Die personellen Massnahmen sind wie folgt angeordnet:

- Intensive Schulung von mindestens zwei qualifizierten Personen zum Betrieb und Wartung der Kälteanlage; dazu geeignet sind vor allem Elektriker und Mechaniker.
- Heute erfolgt die Wartung durch die Firma Terza Kälte AG.
- Sicherstellung der Stellvertretung.
- Schulung des gesamten Personals für das Verhalten bei Störfällen.

3.5 Notfallkonzept

Das Notfallkonzept beinhaltet: Alarmierung und Evakuierung der Nachbarschaft und des eigenen Betriebs und Erstellen eines Einsatzplanes für die Ereignisdienste etc. Sie werden von der Betriebsleitung oder dem Sicherheitsverantwortlichen in Zusammenarbeit mit den öffentlichen Ereignisdiensten erstellt.

3.6 Geplante Massnahmen für Bebauungsplan Eichhof West

Im Rahmen der Risikoermittlungen Eichhof West/Süd 2012 [Lit.1] wurde festgehalten, dass die NH₃-Kondensatoren auf dem Dach durch eine sekundäre Rückkühlung mit Ethylenglykol zu ersetzen sind. Weiter soll das Lüftungsrohr aus dem Kompressorenraum, welches heute bei den Warmwassertanks endet, ca. 45 m Richtung Ost und auf 25 m über Boden verlängert werden. Damit würde das Risiko bei einer allfälligen NH₃-Freisetzung für die Bewohner der geplanten Hochhäuser Eichhof West gesenkt ohne signifikant negative Auswirkung für die anderen Bewohner. Diese damals vorgeschlagenen Massnahmen werden erst dann zur Realisierung freigegeben wenn der Bebauungsplan genehmigt ist und werden dann bis zur Bezugsbereitschaft der Überbauung implementiert sein.

4 Risikoanalyse

4.1 Methode

In der vorliegenden Risikoermittlung ist zu zeigen, ob das von der Brauerei Eichhof ausgehende Risiko für die aufgrund des Bebauungsplans „Eichhof West“ zu erwartende Bevölkerungsdichte als tragbar eingestuft werden kann und ob die im Rahmen der letzten Risikoermittlung definierten Massnahmen immer noch zu einer sicheren Situation führen. Als relevanter Schadensindikator wird die mögliche Anzahl Toter (n_1) gemäss Störfallverordnung bestimmt.

Basis der vorliegenden Risikoermittlung bilden die Methoden der TNO³ zur Einschätzung von Personenschäden bei Störfällen mit gefährlichen Stoffen. Diese sind in den bekannten „Coloured Books“ beschrieben [Lit.5] und im Effects Computerprogramm (Version 9.0.18) für Ausbreitungsrechnungen implementiert.

Das Programm erlaubt es, beim Austritt von (schweren) Gasen bzw. verdampfenden Flüssigkeiten Dosisbetrachtungen u.a. in Abhängigkeit der Distanz zum Austrittsort für Personen im Freien und in Gebäuden anzustellen. Basierend auf der errechneten Dosis



Abbildung 4-1: Beispiel Letalitätskontur in Effects

in einer gewissen Distanz zum Austrittsort (z.B. zur Leckage) lässt sich dann mittels Probitfunktion die entsprechende Letalitätswahrscheinlichkeit bestimmen. Basierend auf der berechneten Letalitätswahrscheinlichkeit und den Annahmen zur Personenbelegung wird für jede Situation (Szenario, Gebäude, Wettersituation etc.) der Schadensindikator n_1 „Anzahl Tote“ bestimmt. Dabei wird im Sinne einer konservativen Betrachtung jeweils die Letalitätswahrscheinlichkeit der zum Austrittsort nächsten Fassade verwendet.

Den Modellrechnungen in Effects sind folgende Parameter zugrunde gelegt:

- Pasquill-Gifford Stabilität: F (stabil) und D (Neutral)
- Luft und Bodentemperatur: 20°C (Sommer)⁴
- Windgeschwindigkeit: 0.5 m/s (quasi Windstille) und 3.3 m/s
- Oberflächenrauigkeit: 1.0 m
- Luftwechselrate: 2/h

Es wurde wiederum die „worst-case“ Methode angewandt, d.h. diejenigen Parameter angenommen, resp. diejenigen Szenarien untersucht, bei denen das grösste Ausmass resp. die grössten Störfallwerte zu erwarten sind.

³ Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung

⁴ Aus den früheren Risikoermittlungen folgt, dass die Umgebungstemperatur das Ausbreitungsverhalten von NH₃ nur unwesentlich beeinflusst. Auf die Darstellung von Temperatur-Varianten wird daher verzichtet.

Die Wahrscheinlichkeit der Freisetzungen lässt sich mittels Fehlerbaumanalyse ermitteln. Die Unterlagen für die Wahrscheinlichkeiten und die Häufigkeiten sind der Literatur [Lit.3] und früheren Risikoermittlungen entnommen (vgl. Beilage 7).

Die Häufigkeitsverteilung der relevanten Windrichtungen ist aus der Statistik von Meteo Schweiz übernommen (vgl. Beilage 4). Die klimatischen Verhältnisse der Station Luzern (Allmend) sind in der gleichen Beilage dargestellt.

Die Ausbreitungsberechnungen im Jahre 2012 basierten auf einem anderen Modell (SLAB View). Damals war für die Berechnung des Ausmasses eine Ammoniakkonzentration grösser 2'500 ppm massgebend, bei deren Aussetzung – unabhängig von der Expositionsdauer – eine Personen als verletzt (Schadensindikator n_2) angenommen wurde (vgl. auch Kapitel 8.4). Die nun verwendeten Dosisbetrachtungen lassen genauere Aussagen zu und die Kriterien für tödliche Folgen sind genauer definiert (Probit-Funktion). Die Verwendung des Schadensindikators n_1 „Anzahl Toter“ entspricht heute der gängigen Praxis auch in anderen Kantonen.

4.2 Gefahrenpotentiale

In verschiedenen Apparaturen der Brauerei ist flüssiges und gasförmiges Ammoniak vorhanden. Die Verteilung des Ammoniaks ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Apparatur	Anzahl	NH ₃ kg	NH ₃ kg/Einheit
Abscheider -15°C	1	1'350	1'350
Abscheider -5°C	1	3'080	3'080
Sammler	1	630	630
Kondensatoren	2	300	150
Gärtanks	14	500	
Hefereinzucht	1	20	20
Brauwasser Vorkühlung	1	40	40
Jungbierkühler	1	700	700
Hopfenkeller	1	30	30
Tankfüllerei, Raumkühlung	2	90	45
Wasserentgasung	1	20	20
Lagerkeller, Tankraum	1	160	160
Lagerkeller, div. Tankraum	1	40	40
Entalkoholisierung	1	20	20
Schalander, Raumkühlung	1	20	20
Flüssigkeitsleitung Sammler-Abscheider		350	
Leitungen, DN 50 bis 150		650	
Reserve, Heissgas, SL			

Tabelle 4-1: Verteilung des Ammoniaks in der Anlage

Die Planunterlagen der Kältezentrale (Prinzipschema, Grundrisspläne etc.) befinden sich in Beilage 1 und Beilage 2 sowie detaillierter in der Dokumentenablage der Brauerei Eichhof.

Gemäss der obigen Tabelle zeigen Abscheider, Sammler, Kondensatoren, Gärtanks und Jungbierkühler aufgrund der NH₃-Mengen das grösste Gefahrenpotential.

Im Jungbierkühler befindet sich eine erhebliche Menge NH₃. Weil sich diese Anlage aber im verschlossenen Gebäude befindet und mit NH₃-Sensoren überwacht wird, wird eine Leckage nicht zu Freisetzungen ins Freie führen. Aus Sicht des Mitarbeiterschutzes müssen diese Gefahrenpotentiale jedoch beurteilt werden.

Im Abscheider -5°C befindet sich die grösste Menge Ammoniak (3'080 kg flüssig), die sich für eine Ausbreitung als relevant erweist.

Eine weitere relevante Menge NH₃ befindet im Sammler (630 kg) im EG unterhalb der Kondensatoren. Bei einem Störfall können aus dem Sammler spontan rund 200 kg gasförmiges Ammoniak austreten.

Auf dem Dach im Freien des Kompressorenraumes sind zwei parallel betriebene NH₃-Kondensatoren installiert, bei denen es zu einer Freisetzung der gesamten Menge (300 kg) kommen kann.

Die Gärtanks und die Flüssigkeitsleitungen und Saugleitungen sind im Freien aufgestellt und Freisetzungen können dementsprechend zu NH₃-Emissionen führen. Insgesamt gibt es 14 Gärtanks: 4 kleine Tanks mit kleinen Kühloberflächen und 10 grosse Tanks. Die 10 grossen Gärtanks stehen im Freien auf der Nordseite des Areals. Die Tanks sind mit Kühlschlangen, welche NH₃ als Kühlmedium verwenden, gekühlt. In der Beilage 1 befindet sich ein Plan eines grossen Gärtanks. Die 10 grossen Gärtanks sind in der Regel nicht alle gleichzeitig befüllt, d.h. werden nicht gleichzeitig gekühlt. Im Schnitt werden 3 Tanks pro Woche befüllt und etwa 12 Tage später entleert, d.h. in der Regel sind 6 Tanks belegt. Die Tankkühlung ist hauptsächlich während den ersten 5-7 der insgesamt 12 Tagen aktiv. Somit werden 3 Tanks gleichzeitig gekühlt.

Die NH₃-führenden Leitungen im ganzen Betrieb lassen sich abschnittsweise abschalten.

4.3 Störfallszenarien und Freisetzungsvorgänge

Die relevanten Störfallszenarien sind in den vergangenen Risikoermittlungen aus einer Vielzahl von möglichen Ereignissen bestimmt und für das vorliegende Projekt übernommen worden. Im Folgenden werden die Freisetzungsvorgänge der betrachteten Szenarien beschrieben⁵.

Szenario 1: Freisetzung von ca. 230 kg NH₃ aus dem Sammler im Kompressorenraum über den Aussenbereich bei den Warmwassertanks auf 15 m Höhe

- Der Sammler im Kompressorenraum ist leck, flüssiges Ammoniak (NH₃) strömt schnell aus.
- Die Temperatur im Kompressorenraum beträgt dabei ca. 35°C
- Die 630 kg Ammoniak fliessen aus und werden in der Auffangwanne zurückgehalten.

⁵ Die Nummerierung der Szenarien gemäss der Risikoermittlung 2012 ist in der Tabelle 4-3 ersichtlich

- Aufgrund der plötzlichen Druckentspannung beginnt das Ammoniak stark zu siedern, dabei entstehen grössere Mengen an Gasen und Aerosolen, diese Vermischen sich schnell mit der Umgebungsluft.
- Gemäss Berechnungen in Effects werden als Flashgas oder Aerosol 126 kg NH₃ freigesetzt. Aus der entstehenden Lache verdampfen über die Zeit weitere rund 433 kg Ammoniak, womit insgesamt ca. 560 kg NH₃ im Raum verteilt sind. Dies entspricht einem Volumen von ca. 650 m³. (Der Flashanteil entspricht dem Anteil des Ammoniaks, der aufgrund der in der Flüssigkeit enthaltenen Wärme direkt in die Gasphase übergeht und wird gemäss Gasgesetz und physikalischen Parametern berechnet)
- Der Kompressorenraum hat ein Volumen von 1'081 m³, damit beträgt der NH₃-Volumenanteil knapp 40% des gesamten NH₃/Luft-Gemisches (=650 m³ + 1'081 m³).
- Im Raum bleiben 1'081 m³ NH₃/Luft-Gemisch, 650 m³ treten über das Lüftungsrohr in den „Innenhof“ bei den Warmwassertanks und gelangen auf 15 m Höhe in die Umwelt.
- Mit den 650 m³ NH₃/Luft-Gemisch werden ca. 230 kg Ammoniak an die Umgebung abgegeben (knapp 40% von 560 kg).

Szenario 2: spontane Freisetzung beim Abscheider (600 kg) Austritt via übers Kamin auf 40 m Höhe

- Flüssiges Ammoniak strömt aus dem Abscheider (-3°C) aus, es kommt zu einer Freisetzung des gesamten Behälterinhaltes (3'080 kg) im Abscheiderraum (Raumvolumen 370 m³)
- Durch die plötzliche Druckentspannung beginnt das Ammoniak stark zu siedern. Es entstehen grössere Mengen an Gasen und Aerosolen. Dabei wird dem verbleibenden flüssigen Ammoniak Wärme entzogen; es kühlt sich auf seinen Siedepunkt von -33°C ab. Insgesamt werden als Flash oder Aerosol 510 kg NH₃ freigesetzt. Aus der Wanne verdampft weiteres NH₃ (rund 80 kg). Dann Boden ist dann so stark abgekühlt, dass die weitere Verdampfungsrate unbedeutend wird.
- Die gesamte Ammoniakmenge in der Luft setzt sich aus dem Flashanteil, den Aerosolen und einer Nachverdampfung aus der Lache während der ersten Minuten nach der Freisetzung zusammen
- Das Gasgemisch (ca. 600 kg) wird bei Bedarf mittels Ventilatoren über das Kamin im Turm auf 40 m Höhe über Boden ins Freie geblasen und in die Umwelt freigesetzt.

Szenario 3: spontane Freisetzung aus den Kondensatoren auf dem Dach

- Freisetzung des gesamten Inhaltes der zwei Kondensatoren von 300 kg. Es handelt sich dabei um ein Flüssig/Gasgemisch von Ammoniak. Das Ammoniak breitet sich auf dem Maschinenhausdach aus und der wesentliche Flüssiganteil verdampft rasch.
- Im Verflüssigungsbetrieb staut sich in den Rohren ungefähr 340 kg (2x170 kg) Ammoniak. In der Syphonleitung sowie dem flüssigkeitsführenden Rohrsystem befinden sich nochmals ca. 200 l Ammoniak, was einer Masse von 120 kg entspricht. Total sind also 460 kg Ammoniak auf dem Dach. Infolge Nachsaugens aus dem Sammler kommen noch rund 140 kg dazu, womit von einer spontanen Freisetzung von 600 kg Ammoniak ausgegangen werden kann.
- 120 kg NH₃ liegen „spontan“ (als Flash- oder Aerosolanteil) vor, die restliche Menge NH₃ verdampft innert kurzer Zeit und breitet sich, abhängig von Thermik und Wind, in der Umgebung aus.

Szenario 4: Flüssigkeitsleitung vom Pumpenraum zu der Gärtank-Anlage ist leck, es treten kontinuierlich 118 kg NH₃ aus.

- NH₃ Freisetzung infolge Leckagen, Korrosionsschäden etc. bei der Flüssigkeitsleitung vom Pumpenraum zu den Gärtanks.
- Die Leitungen sind mit Isolationsmaterial ummantelt.
- Das Risikopotential der kontinuierlichen Freisetzung von 118 kg NH₃ mit 1.7 kg/s ist deutlich grösser als bei einer spontanen Freisetzung der gleichen Menge. Es wird die kontinuierliche Freisetzung im Detail betrachtet.
- Bei einer Leckage erfolgt ein Druckabfall, das Ammoniak beginnt ausserhalb der Leitung zu siedeln.
- Das verdampfte Ammoniak diffundiert durch die Isolation und tritt als Gas aus der Isolation. Die Isolation funktioniert als Barriere.
- Es wird ein „worst-case“ Szenario betrachtet, dabei wird der ganze flüssige Leitungsinhalt von 118 kg NH₃ freigesetzt.
- Die Austrittsrate des Ammoniaks wird gemäss Methodikbeispiel [Lit.12] auf 1.7 kg/s festgelegt, somit sind innerhalb von 69 Sekunden die gesamten 118 kg freigesetzt.

Szenario 5: Eine Kühlschlange an einem der Gärtanks ist leck und es werden 144 kg NH₃ kontinuierlich freigesetzt.

- Ein Korrosionsschaden oder eine Leckage führt zu einem NH₃ Austritt aus einer isolierten Kühlschlange bei den Gärtanks.
- Aufgrund der Leckage gibt es einen Druckabfall, flüssiges und gasförmiges NH₃ strömt aus den Leitungen und verdampft.
- Im Kühlmantel der Gärtanks ist ein Gemisch von Gas und Flüssigkeit vorhanden, dieses wird bei einem grösseren Temperaturunterschied zwischen Kühlmedium und Produkt aus relativ viel Gas und wenig Flüssigkeit bestehen und das Verhältnis wird sich zu Gunsten von Flüssigkeit ändern bei kleineren Temperaturunterschieden.
- Der NH₃-Durchfluss durch den Kühlmantel ist immer relativ hoch. Im besten Fall (viel Gas wenig Flüssigkeit) wird aber immer noch 30% Flüssigkeit im Kühlmantel sein; im schlechtesten Fall (wenig Gas viel Flüssigkeit) beträgt der Flüssigkeitsanteil 90%.
- Als gute Annäherung kann ein "Füllstand" der Kühlschlangen pro Tank von 50% angenommen werden. In den grösseren Gärtanks 4-6 entspricht dies jeweils 144 kg NH₃.

Gärtanks (GT)	Inhalt Kühlschlange [Liter]	Flüssigkeitsanteil und -menge in den Kühlschlangen (kg)		
		30%	50%	90%
1-3 & 7-10	200	39	64	116
4-6	448	87	144	259

Tabelle 4-2: Flüssigkeitsmenge in den Kühlschlangen

- Die Kühlschlangen sind in vier Kühlzonen aufgeteilt welche auf der Flüssigkeitsseite (NH₃-Vorlauf) mit Ventilen getrennt gespiesen werden können.
- Auf der Gasseite / Saugseite des Tanks werden die Leitungen aus den Kühlzonen vor einem Absperrventil zusammengeführt. Damit ist das System zwar eine Einheit, aber eingeteilt in vielen kleineren Sektionen mit Abschottungen und Widerstände (vergl. Tankzeichnung in der Beilage 3.2.-1). Zudem sind die Tanks und die Kühlschlangen isoliert und eingepackt.

- Es kann eine Freisetzungsgeschwindigkeit von 0.6 kg/s angenommen werden.
- Eine spontane Freisetzung aus den Kühlschlangen kann aufgrund der Isolation und „Einpackung“ ausgeschlossen werden.

Szenario 6 – Ist-Situation: kontinuierliche Freisetzung von 460 kg NH₃ aus den Kondensatoren

- Freisetzung von gasförmigem Ammoniak (z.B. infolge Leckagen, Korrosionsschäden, Ventilundichtheiten etc.) aus den Kondensatoren und den Syphonleitung in einer Höhe von 15 m über Boden am westlichen Ende des Areals.
- Freisetzung von 460 kg Ammoniak (vgl. Szenario 3) mit 1.7 kg/s während 270 s (ohne Tiefdruckbehälter). Austrittsrate gemäss Methodikbeispiel [Lit.12]

Szenario 6 – Variante A: kontinuierliche Freisetzung von 102 kg NH₃ aus den Kondensatoren auf dem Dach

- Ein Behälter mit tieferem Druck „saugt“ Ammoniak aktiv aus den Verdunstungsverflüssigern ab. Nach 60 Sekunden wären 90% der 460 kg Ammoniak zurückgesaugt (ohne Berücksichtigung der Leckage) was einer Absaugrate von $(0.9 \times 460 \text{ kg}) / 60\text{s} = 6.9 \text{ kg/s}$ entspricht.
- 460 kg Ammoniak werden also abgesaugt (6.9 kg/s) oder treten durch die Leckage aus (1.7 kg/s). Daraus ergibt sich, dass die Freisetzung nach 53 Sekunden zu Ende ist $(460 \text{ kg} / (6.9 + 1.7 \text{ kg/s})) = 53 \text{ s}$
- Für die Berechnung wird ein Austrittstrom von 1.7 kg/s während 60 Sekunden und somit Total 102 kg gasförmigem Ammoniak angenommen (Variante A)
- Das Szenario 6-Variante A ist in der Abbildung 4-2 schematisch dargestellt (inkl. einer technischen Massnahme zur Reduktion der Ammoniak Freisetzung durch einen Behälter mit tieferem Druck)
- Bei Leckagen wird dieser Absaug-Vorgang über Gassensoren im Freien geschaltet. Damit dies zuverlässig, schnell nach Beginn der Leckage und ohne zu viele Fehlalarme geschehen kann, sind zusätzliche Gassensoren und eine Einhausung der Technik auf dem Maschinenhausdach nötig. Dies sind noch zu realisierende technische Massnahmen.

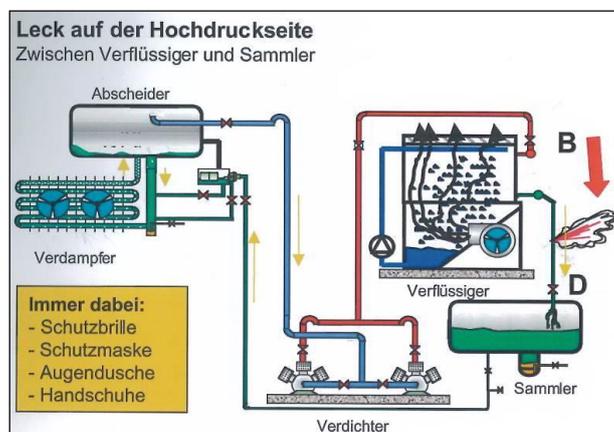


Abbildung 4-2: Schematische Darstellung Freisetzungsszenario 6 Var. A [13]

In der folgenden Tabelle sind die relevanten Freisetzungsszenarien für die Ausbreitungsberechnungen aufgelistet:

Freisetzungsvorgang	Freigesetzte Menge (kg)	Freisetzungsart	Ort
Szenario 1	230	spontan	aus dem Sammler im Kompressorenraum
Szenario 2 (ex. 3)	600	spontan	Aus dem Abscheider im Abscheiderraum (via Kamin)
Szenario 3 (ex. 8)	600	spontan	aus den Kondensatoren auf dem Dach
Szenario 4 (ex. 9)	118	kontinuierlich 1.7 kg/s	aus Flüssigkeitsleitung zu den Gärtanks
Szenario 5 (ex. 10)	144	kontinuierlich 0.6 kg/s	aus Kühlmantel eines Gärtanks
Szenario 6 Ist (ex. 11)	460	kontinuierlich 1.7 kg/s	aus den Kondensatoren auf dem Dach
Szenario 6 Var. A (ex. 11)	102	kontinuierlich 1.7 kg/s	aus den Kondensatoren auf dem Dach

Tabelle 4-3: Relevante Freisetzungsszenarien (die Bezeichnung in Klammern z.B. ex. 8 entspricht der Bezeichnung des Szenarios in der Risikoermittlung „Eichhof Süd/West 2012“).

Die Resultate der Ausbreitungsberechnung befinden sich in Beilage 10.

4.4 Varianten

Aufgrund der Resultate der Risikoanalyse 2005, 2012 und diversen Fachdiskussionen über die geplanten Veränderungen in der Umgebung der Brauerei Eichhof, erscheinen technische Anpassungen auf Seite der Brauerei sinnvoll. Für die vorliegende Risikoanalyse bzw. betrachteten Varianten sind daher bereits technische Massnahmen (z.B. Behälter mit tieferem Druck und zusätzliche Gassensoren) zur Verminderung des Ammoniak Austritts bzw. des Risikos für die Anwohner im Störfall berücksichtigt (Variante A).

Als weitergehende Massnahme wird die zweite Variante „Ammoniak weg vom Maschinenhausdach“ (Variante B) beschrieben. Diese Variante zieht grössere technische Anpassungen auf der Anlagenseite mit sich, reduziert aber das Risiko für die Anwohner deutlich und ist eine zukunftsgerichtete Variante. Der Ammoniak-Rückkühlkreislauf wird bei dieser Variante komplett ins Gebäudeinnere verlegt, eine indirekte Rückkühlung mit Ethylenglykol ersetzt die NH₃-Kondensatoren auf dem Dach. Somit sind bei der Variante „Ammoniak weg vom Maschinenhausdach“ die Szenarien 3 und 6 irrelevant, es bleiben die andern drei Szenarien. In der Variante B+ wird der Ammoniak Austrittsort in Szenario 1 zusätzlich vom Hochhaus weg (Richtung Nord-Osten) verschoben, damit die Anzahl verletzter Personen weiter reduziert werden kann.

Die folgende Tabelle 4-4 zeigt die Varianten im Vergleich:

	Variante A: Zusätzliche Massnahmen auf dem Dach	Variante B / B+: Indirekte Rückkühlung mit Ethylenglykol
Szenario 1	- Relevant	- Relevant - Variante B+ : Austrittsort des Ammoniaks Richtung Nord-Osten verschoben (Verlängerung Lüftungsrohr)
Szenario 2	- Relevant	
Szenario 3	- Relevant	- nicht relevant, da sich keine NH ₃ -Kondensatoren mehr auf dem Maschinenhausdach befinden und alle Ammoniak-führenden Leitungen zur Rückkühlung sind im Kompressorenraum,
Szenario 4	- Relevant	
Szenario 5	- Relevant	
Szenario 6	- Relevant - technischen Massnahme zur Reduktion der Ammoniak Freisetzung durch einen Behälter mit tieferem Druck - zusätzliche Gassensoren und eine Einhausung der Technik auf dem Maschinenhausdach	- nicht relevant, da sich keine NH ₃ -Kondensatoren mehr auf dem Maschinenhausdach befinden und alle Ammoniak-führenden Leitungen zur Rückkühlung sind im Kompressorenraum,
Vorteile	- Verbesserung der Sicherheit im Vergleich zu heute - Wahrnehmung der zukünftigen Bewohner / Nachbarn dürfte relativ neutral bis positiv ausfallen - Günstigere Variante	- Deutliche Verbesserung der Sicherheit im Vergleich zu heute bzw. Variante A - Technisch weniger Komplexe Anlage (bewährter Industriestandard) - Positive Wahrnehmung in der Bevölkerung - Weniger technische Massnahmen an Fassaden der geplanten Überbauung nötig
Nachteile	- Technisch hoch komplexe Anlage - Zukünftige bauliche Veränderungen erfordern ggf. weitere technische Veränderungen - Wohnqualität der zukünftigen Bewohner teilweise eingeschränkt	- Teurere Variante

Tabelle 4-4: Vergleich der Varianten A und B

5 Wahrscheinlichkeit einer Freisetzung

5.1 Häufigkeiten von relevanten Ereignissen

In der Beilage 7 sind die Fehlerbäume dargestellt. Basierend darauf wird die Wahrscheinlichkeit einer der verschiedenen Freisetzungsszenarien abgeschätzt. Wo nicht anders vermerkt, sind die Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten der Ref. [Lit.3] entnommen.

Flugzeugabsturz

Der nächst gelegene Flugplatz ist der Militärflugplatz in Emmen. Er befindet sich rund 10 km nördlich vom Betrieb der Brauerei Eichhof entfernt. Es sind keine Anflugschneisen über die Stadt Luzern vorhanden⁶. Hingegen werden im Raum Luzern zahlreiche Übungen mit Militärflugzeugen durchgeführt und Abstürze im Übungsraum sind ebenso häufig wie im Flugplatzbereich. Die Wahrscheinlichkeit ist in der Umgebung gemäss [Lit.6] 4×10^{-11} pro m² und Jahr. Die Kältezentrale mit den Abscheidern und der Kompressorenraum befinden sich vollständig eingeschlossen in einem massiven Gebäude im EG. Die Wahrscheinlichkeit für eine Beschädigung mit einem Ammoniak-Austritt wird daher auf 10^{-10} festgelegt.

Sabotage

Anschläge und Sabotageakte passen nicht in die Logik der Fehlerbaumanalyse. Eine explizite Quantifizierung wird hier deshalb nicht durchgeführt. Vielmehr wird davon ausgegangen, dass die „anderen Einwirkungen auf Leitungen“ Anschläge und Sabotage miteinschliessen.

Naturgewalten und Erdbeben

Ein Behälterbersten infolge von Naturgewalten wird im vorliegenden Fall aufgrund des Standorts nicht erwartet. Insbesondere können Felssturz und Steinschlag, Hangrutschungen und Überschwemmungen ausgeschlossen werden.

Hingegen ist bei Erdbeben ab einer Intensität IX zu berücksichtigen, dass es zu Rohrbrüchen führen kann. Es ist davon auszugehen, dass bei einem Beben der Intensität IX mit einer Wahrscheinlichkeit von 25% einige Anschlussleitungen horizontaler Lagertanks versagen. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 10% versagen die meisten oder alle Leitungen und der Tankinhalt wird freigesetzt [Lit.7]. Die Häufigkeit von Erdbeben dieser Intensität liegt für weite Teile des Schweizerischen Mittellandes unter 10^{-5} pro Jahr. Für stärker gefährdete Gebiete wie das Wallis, die Region Genf und Basel sowie das Engadin werden jährliche Häufigkeiten von bis zu etwa 5×10^{-4} erwartet.

Für die betrachtete Anlage im Schweizerischen Mittelland wird von einem Wert von 10^{-5} pro Jahr ausgegangen. Für die Berechnung einer spontanen Freisetzung wird dieser Wert mit 0.35 (= 10% + 25%) multipliziert, da mehrere Leitungen vorhanden sind (3.5×10^{-6}).

Im Weiteren wird angenommen, dass das Beben dem Gebäude und dem Behälter selbst nichts anhaben kann. Das Gebäude wie auch der Turm, in dem sich das Kamin befindet, ist in Massivbauweise

⁶ Der Absturz eines Grossflugzeuges im Zusammenhang mit Ammoniakanlagen deshalb nicht zu untersuchen, da das Ausmass des Absturzes selbst viel grösser wäre als die Sekundärschäden infolge Ammoniakaustritts.

aus Beton gebaut und weist demzufolge eine gute Erbebensicherheit auf. Pläne der Gebäude und des Turms befinden sich in der Beilage 4.1.-2 und eine Einschätzung der Erdbebengefährdung gemäss [Lit.8] in der Beilage 6.

Andere Einwirkungen auf Leitungen

Für 2" - 6"-Leitungen bei einem Druck bis maximal 30 atm wird eine Versagenhäufigkeit (grosses Leck oder Bruch) von $1.3 \times 10^{-10} \times m^{-1} \times h^{-1}$ angegeben. Multipliziert mit 24×365 h und der relevanten Länge von 6 m (für die Flüssigkeitsleitungen Pumpen – Abscheider) wird die Versagenhäufigkeit pro Jahr erhalten (6.83×10^{-6}).

Bersten des Pumpengehäuses

Für den Fall eines Lecks oder Bersten des Gehäuses von Kreiselpumpen wird ein Wert von $3 \times 10^{-8} \times h^{-1}$ angegeben. Dieser Wert, multipliziert mit 8'000 Betriebsstunden und der Anzahl der Pumpen (2 ohne Reservepumpe) ergibt die Versagens-Häufigkeit pro Jahr. (2.40×10^{-4}).

Schnellschlussventil schliesst nicht

Als Hauptursache für das Nicht-Schliessen eines Schnellschlussventils wird das Nicht-Ansprechen des Ammoniaksensors betrachtet. Mangels spezifischer Zuverlässigkeitsdaten für dieses Instrument wird die Versagensrate eines Drucksensors ($0.5 \times 10^{-6} \times h^{-1}$) angenommen. Die Wahrscheinlichkeit der Nichtverfügbarkeit im Anforderungsfall beträgt somit bei jährlicher Kontrolle $0.5 \times 10^{-6} \times 365 \times 24 = 4.38 \times 10^{-3}$.

Mechanische Einwirkung / Korrosion

Für unbekannt mechanische Einwirkungen oder Korrosion auf den Behälter, welche zu einem Versagen führen, wird eine mechanische Einwirkung resp. die Korrosion von Leitungen mit einer Wahrscheinlichkeit von 10^{-6} angenommen.

5.2 Wahrscheinlichkeiten Ausbreitungsbedingungen

Mittels Ereignisbäumen, Beilage 7, werden die Wahrscheinlichkeiten aller Szenarien mit den zugehörigen Situationen (Temperatur, Wind etc.) ermittelt.

6 Ausmasseinschätzung

6.1 Personenbelegung und Berechnungsparameter

Für die Quantifizierung der möglichen Schadensausmasses wird, der Praxis in vielen Kantonen der Schweiz folgend, die Anzahl Toter (Schadenindikator n_1) gemäss den Richtlinien des BUWAL [Lit.9] gewählt. Die Personenschäden werden anhand von Dosis Betrachtungen wie im Kapitel 4.1 beschrieben berechnet.

Die Annahmen zur Bestimmung der Personenbelegung (zeitabhängige Anwesenheit im Freien und im Gebäude) sind gemäss der gängigen Praxis auf Basis des Rahmenberichtes für Erdgas-Hochdruckanlagen [Lit.11] festgelegt.

	Wochentag (7 – 19 Uhr)	Nacht während Woche (19 – 7 Uhr)	Wochenendtag (7 – 19 Uhr)	Nacht am Wochenende (19 – 7 Uhr)
Wohnbevölkerung	30% der Wohnbevölkerung anwesend (davon 10% draussen)	90% der Wohnbevölkerung anwesend (davon 1% draussen)	60% der Wohnbevölkerung anwesend (davon 10% draussen)	100% der Wohnbevölkerung anwesend (davon 1% draussen)
Arbeitsbevölkerung	80% der Arbeitsbevölkerung anwesend (davon 10% draussen)	5% der Arbeitsbevölkerung anwesend (davon 5% draussen)	5% der Arbeitsbevölkerung anwesend (davon 10% draussen)	0% der Arbeitsbevölkerung anwesend

Tabelle 6-1: Zeitabhängige Anwesenheit der Bevölkerung gemäss Rahmenbericht Erdgashochdruckanlagen [Lit.11]

Alle Personen im Alters- und Pflegeheim bzw. den Alterswohnungen werden sind sowohl tags wie auch nachts als 100% anwesend angenommen. Dabei ist das Personal ebenfalls dem „Wohnen“ zugeteilt.

Auf dem Areal Eichhof West sind im Freien insgesamt 120 Personen berücksichtigt. Diese werden am Tag mit 20% und in der Nacht mit 5% Anwesenheit (im Freien) in die Betrachtungen miteingezogen. Dieser Faktor wirkt sich signifikant auf die Ausmasseinschätzung aus, ist jedoch im heutigen Planungsstrand nicht zuverlässig abzuschätzen und wird daher im Kapitel 8 noch diskutiert.

Personen in Motorfahrzeugen auf der Obergrundstrasse werden alle als „im Freien“ betrachtet.

Die Schadensindikatoren sind dahingehend berechnet, dass die Anzahl einem Gebäude zugewiesener Personen (Anzahl Nutzer; Situationsplan und Tabelle oben) mit der Letalitätswahrscheinlichkeit der Ausbreitungsrechnungen sowie den tageszeitabhängigen Anteilen für die Anwesenheit von Personen im Freien sowie im Gebäude multipliziert sind.

6.2 Ausmassschätzung

6.2.1 Variante A

Die Szenarien mit einem grossen Schadensausmass zeichnen sich primär bei Störfällen bei den Kondensatoren auf dem Dach des Maschinenraumes und beim Sammler im Maschinenraum selbst ab. Die Störfälle mit einer kontinuierlichen Freisetzung aus den Gärtanks bzw. den Gärtankleitungen bzw. aus dem Abscheider zeigen sich als deutlich weniger problematisch.

Um die den NH₃-Austritt bei Infolge einer Leckage bei den Kondensatoren zu begrenzen, sind in der Variante A erste Massnahmen bei der Brauerei bereits berücksichtigt:

- Behälter mit tieferem Druck zur Reduktion der Ammoniak Freisetzung bei Leckage
- zusätzliche Gassensoren und eine Einhausung der Technik auf dem Maschinenhausdach

Bei einem Störfall am stärksten betroffen sind die Personen im Freien auf dem Areal Eichhof West und die Gebäudeteile (B und C) der geplanten Überbauung sowie teilweise bei den bestehenden Gebäuden im Osten der Brauerei. Die berechneten Schadensindikatoren der relevanten Szenarien und Gebäude ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Szenario	indoor outdoor	Wind [m/s]	Stabilitäts- klasse [-]	Anzahl getöteter Personen																				
				A1-A4		B1-B3		C1-C2+ D1-D3		outdoor		Stud. Wohnheim		Alters- heim		Alters- wohnheim		Pflege- heim		Sonnen- berg		Obergrund- strasse		
				Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	
1) Spontane Freisetzung aus Sammler, Dach 15m (ca.230 kg)	outdoor	0.5	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
			F	0	0	5	1	6	1	6	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
		3.3	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	indoor	20	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			F	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3) Spontane Freisetzung aus Kondensator, 15m (600 kg)	outdoor	0.5	D	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			F	3	0	9	1	9	2	12	3	3	1	4	0	4	0	7	1	1	0	5	4	
		3.3	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	indoor	20	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabelle 6-2: Schadensausmass (n₁) infolge Ammoniak-Freisetzung bei unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen mit Unterscheidung Tag resp. Nacht/Wochenende Variante A

6.2.2 Variante B

Erfolgt die Rückkühlung des Ammoniaks durch einen sekundären Ethylenglykol Kreislauf, die NH₃-Kondensatoren auf dem Maschinenhausdach sind demnach nicht mehr vorhanden, so reduziert sich das potentielle Schadensausmass deutlich. Da kein NH₃ mehr über das Gebäudedach geführt wird, sind Szenario 3 (und auch 6) irrelevant. Gemäss obiger Tabelle 6-2 sind keine Störfälle mit >10 Toten bzw. einem Schadensindikator > 0.3 mehr zu erwarten. Es bleiben jedoch Situationen, wo bei der geplanten Überbauung Eichhof West mit >5 Toten gerechnet werden muss.

6.2.3 Variante B+

Aus den Störfallszenarien der Variante B „Ammoniak weg vom Maschinenhausdach“ resultiert ein Maximum von 6 Toten bei der geplanten Überbauung Eichhof West. Die Störfallwerte liegen somit im Bereich der „nicht schweren Schädigung“ ($n_1=0.23$). Wird die Distanz von Ammoniak-Austrittsort zu den Gebäuden (speziell B und C) vergrössert, so kann dadurch die Anzahl geschädigter Personen im Sinne der Vorsorge weiter reduziert werden. Dies kann zum Beispiel durch eine Verlängerung bzw. Verlegung des Lüftungsrohres aus Kompressorenraum um 45 m Richtung Nord-Osten und auf eine Austrittshöhe von 25 m erreicht werden (gemäss Besprechungen 2012). Insgesamt ergibt sich dadurch eine weitere Verringerung des Personenrisikos, im Bereich des Alters- und Pflegeheims entsteht jedoch eine leichte Verschlechterung der Situation.

Die aufgrund der Variante B+ in einem Störfall zu erwartende Anzahl verletzter Personen sind der Tabelle 6-3 gezeigt.

Szenario	indoor outdoor	Wind [m/s]	Stabilitäts- klasse [-]	Anzahl getöteter Personen																			
				A1-A4		B1-B3		C1-C2+ D1-D3		outdoor		Stud. Wohnheim		Alters- heim		Alters- wohnheim		Pfle- ge- heim		Sonnen- berg		Obergrund- strasse	
				Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
1) Spontane Freisetzung aus Sammler, Kamin (230 kg) Var. B+	outdoor	0.5	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			F	0	0	2	0	1	0	1	0	2	0	3	0	1	0	2	0	0	0	1	1
	indoor	20	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	indoor	0	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 6-3: Schadensausmass (n_1) infolge Ammoniak-Freisetzung bei unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen mit Unterscheidung Tag resp. Nacht/Wochenende Variante B+

7 Wahrscheinlichkeit / Ausmass-Diagramm

Das Ausmass auf die Bevölkerung in den massgebenden Gebäuden und Anlagen ist im Kapitel 6 aufgeführt. Die dazugehörigen Wahrscheinlichkeiten sind unter Kapitel 5 beschrieben und die dazugehörigen Ereignisbäume sind in der Beilage 7 im Detail ersichtlich.

Mit der geplanten Überbauung Eichhof West und der damit verbundenen Zunahme der Personen im Nahbereich der Brauerei Eichhof wird das Risiko für Personenschäden im Störfall deutlich ansteigen. In der Abbildung 7-1 ist das Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm (W/A-Diagramm) der heutigen Situation auf dem Areal Eichhof West (u.a. Paintball, Gewerbe) und der geplanten Überbauung Eichhof West dargestellt. Dabei sind keine Massnahmen an der Anlage der Brauerei (z.B. Tiefdruckbehälter bei Kondensatoren) berücksichtigt⁷. Mit der Erhöhung der Personenbelegung kommt die Risikosummenkurve in den Übergangsbereich zu liegen.

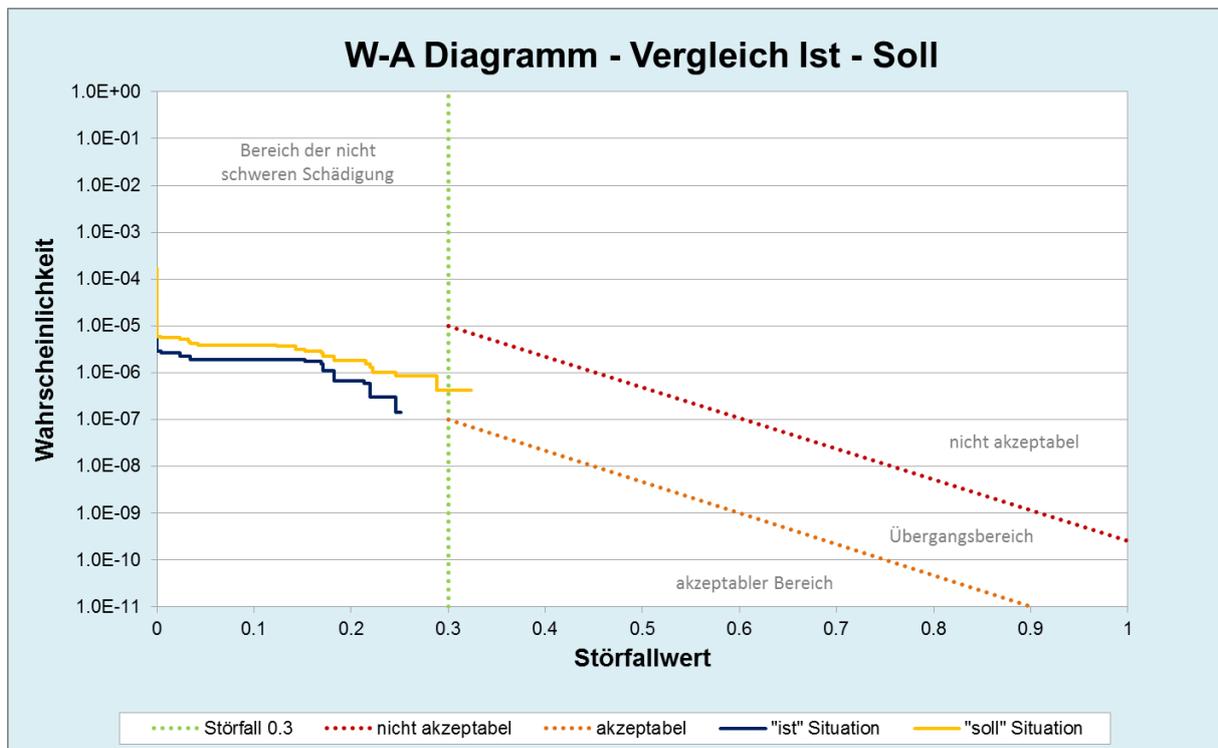


Abbildung 7-1: W/A-Diagramm Ist - vs. Soll-Zustand

Die im letzten Kapitel diskutierten Varianten und den damit verbundenen Massnahmen sind im W/A-Diagramm in der folgenden Abbildung 7-2 dargestellt und verglichen.

⁷ Störfallwerte der Ist-Situation sind in Beilage 9 ersichtlich

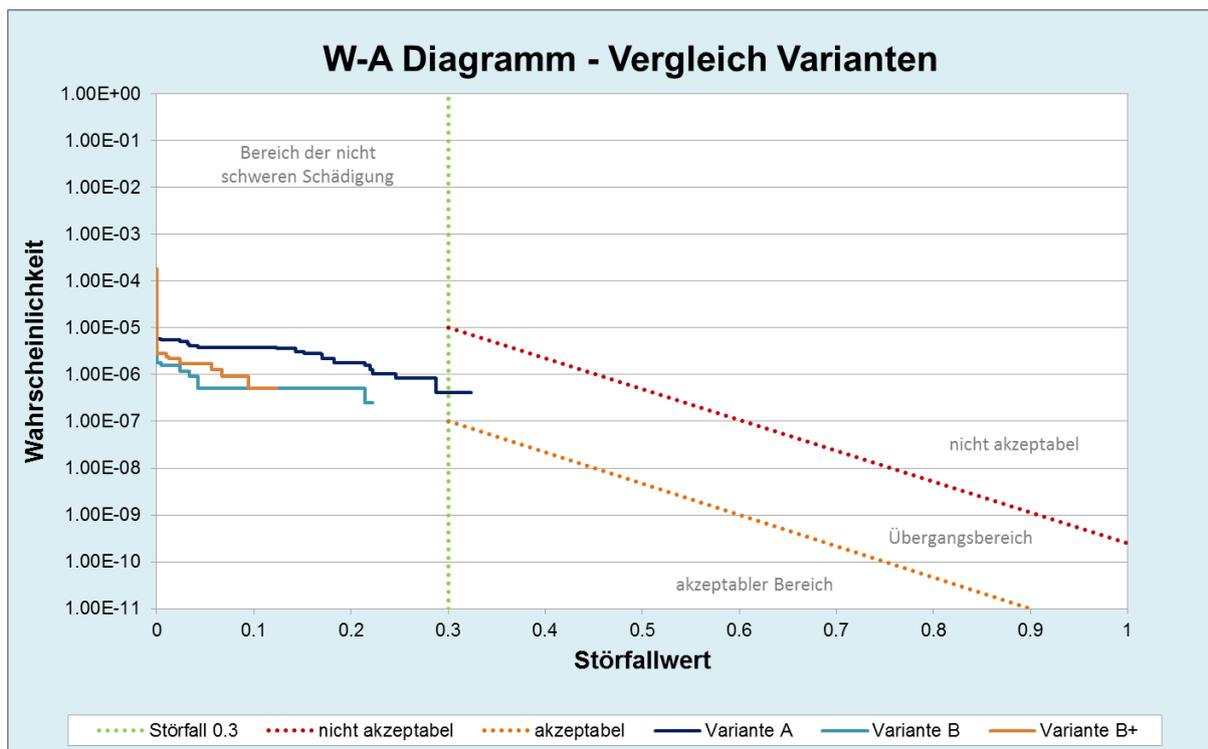


Abbildung 7-2: W/A-Diagramm Vergleich der Varianten A, B und B+

Bleiben die NH₃-Kondensatoren auf dem Maschinenhausdach (Variante A), so liegt die Risiko-Summenkurve (im Diagramm blau dargestellt) an der Grenze bzw. leicht im Übergangsbereich. In der Variante B, in der die gesamte Menge Ammoniak unter Dach geführt wird, reduziert sich das erwartete Schadensausmass im Störfall deutlich und das Risiko liegt damit klar im akzeptablen Bereich. Eine weitere Reduktion des zu erwartenden Schadensausmasses ergibt sich aus der Verschiebung des NH₃-Austritts beim Szenario 1 in der Variante B+.

Die kritischen Szenarien sind deutlich bei einem Störfall bei den NH₃-Kondensatoren zu erwarten. Die Szenarien mit 5 und mehr Toten sind in der Tabelle 7-1 aufgelistet.

Szenarium Freisetzung	Gebäude	Wind-geschwindigkeit	Stabilitäts-klasse	indoor/ outdoor	Tages-situation	Wahrschein-lichkeit	Anz. Tote	Störfallwert
1 - Sammler (spont)	2 B	v 0.5 m/s	D	in	Tag	2.06015E-07	5	0.2148
1 - Sammler (spont)	3 C und D	v 0.5 m/s	D	in	Tag	5.9904E-08	6	0.2274
1 - Sammler (spont)	4 outdoor	v 0.5 m/s	D	in	Tag	2.54516E-07	6	0.2226
3 - Kondensator (spont)	2 B	v 0.5 m/s	F	out	Tag	3.40762E-07	9	0.288
3 - Kondensator (spont)	3 C und D	v 0.5 m/s	F	out	Tag	9.9085E-08	9	0.2831
3 - Kondensator (spont)	4 outdoor	v 0.5 m/s	F	out	Tag	4.20985E-07	12	0.3238
3 - Kondensator (spont)	8 Pflegeheim	v 0.5 m/s	F	out	Tag	1.60447E-07	7	0.2459
3 - Kondensator (spont)	10 Obergrundstrasse	v 0.5 m/s	F	out	Tag	2.78645E-07	5	0.2197

Tabelle 7-1: Variante A - Szenarien mit Störfallwerten grösser als 5Toten

8 Sensitivitätsanalyse

8.1 Allgemeine Hinweise

Eine Sensitivitätsanalyse ergibt, dass das Risiko effektiv noch geringer ausfällt, da viele der beeinflussenden Parameter auf der konservativen Seite (im Sinne einer „worst-case“ Betrachtung) angenommen wurden. Dies gilt für folgende Annahmen:

- Letalität gemäss „schlechtester“ Fassadenseite berücksichtigt
- vertikale Ausdehnung der Ammoniakwolke vernachlässigt.
- Bei einem Flugzeugabsturz würde das Ammoniak sofort Feuer fangen und verbrennen oder als Salmiakgeist weit verteilt den Boden erreichen

Insgesamt ein gewichtiger Unsicherheitsfaktor ist die Personenbelegung der Überbauung Eichhof West auf dieser Projektstufe des Bbauungsplanes. Abweichungen von der angenommenen Personenbelegung können die Resultate signifikant beeinflussen.

8.2 Anteil Personen im Freien Eichhof West

Wie in den Ausführungen zu den Ausmassberechnungen bereits vermerkt, ist die Ausmassschätzung relativ sensitiv auf den Anteil Personen im Freien auf dem Areal Eichhof West. Insgesamt werden rund 120 angenommen. Aufgrund des jetzigen Planungsstandes kann jedoch keine zuverlässige Aussage gemacht werden, in welcher Form das „Innenhofgelände“ genutzt wird. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der Freiraum rege genutzt wird (gemäss Bbauungsplan).

In den beschriebenen Szenarien wird von 20% ausgegangen, dass sich im Jahresdurchschnitt tagsüber 24 Personen im Freien aufhalten. In der folgenden Abbildung 8-1 wird dieser Anteil um 10% verringert bzw. vergrössert.

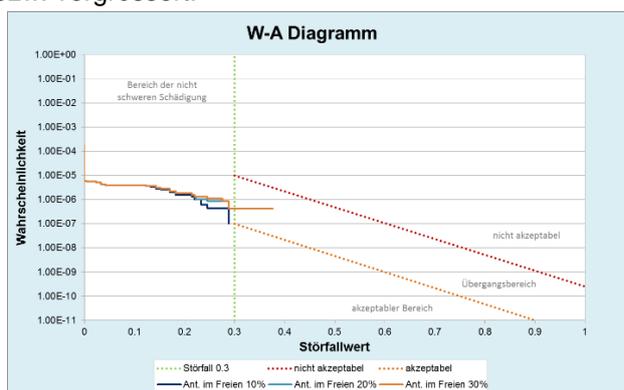


Abbildung 8-1: W/A-Diagramm unterschiedlicher Anteil Personen im Freien

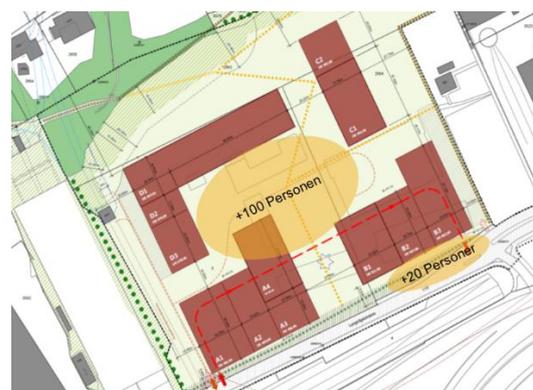


Abbildung 8-2: Grafik Bbauungsplan

Die Darstellung oben macht deutlich, dass dieser Parameter, welcher momentan mit einer grösseren Unsicherheit behaftet ist, die Ausmassschätzung wesentlich beeinflusst. Es ist anzunehmen, dass das Öffnen eine grössere Anzahl Personen auf dem Areal anwesend sein werden und damit einem Risiko ausgesetzt sind.

8.3 Eichhof Süd

Für eine Überbauung Eichhof Süd gibt es heute keine konkreten (Bebauungs-) Pläne. Es ist jedoch anzunehmen, dass in diesem Bereich in den nächsten Jahren ein Projekt analog den Analysen im Jahre 2012 entstehen wird. Bei den letzten Untersuchungen sind 120 Personen im Sektor „Gewerbe“ und 170 Personen im „Hotel“ berücksichtigt worden. Bei der Berücksichtigung eines analogen Projektes bzw. dieser Personenbelegung im Bereich Süd, sind bei einem Szenario ausgehend von den Kondensatoren 4 Tote zu erwarten (Szenario 3, anwesend: 80 % tag, 5 % Gewerbe, 10% bzw. 90% Hotel, Anteil im Freien gemäss Tabelle 6-1). Mit der Variante B, wodurch das Risikopotential Kondensator eliminiert wird, ist das erwartete Schadensausmass auf 1 Toter reduziert.

Die Berücksichtigung einer möglichen Überbauung „Eichhof Süd“ verändert das Gesamtergebnis der Risikoermittlung (W/A-Diagramm) nur unwesentlich. Jedoch reduziert die Umsetzung der diskutierten Varianten (B/B+) das Risiko am Standort „Süd“ selbst deutlich.

8.4 Vergleich mit Methode SlabView 2012

Der Vergleich der vorliegenden Resultate mit jenen der Risikoermittlung 2012 zeigt einige Unterschiede bei den einzelnen Situationen, das Gesamtbild bleibt jedoch grundsätzlich unverändert.

Insgesamt ist erkennbar, dass in der Vergangenheit mit dem „2'500 ppm Kriterium“ bei Szenarien mit einem kontinuierlichem Austritt und bei Situationen mit den höheren Windgeschwindigkeiten im Vergleich zur nun angewandten Methode mehr Personen als geschädigt eingestuft wurden. Dies weil kurzzeitig eine Konzentration von 2'500 ppm in einer relativ grossen Distanz erreicht werden kann, die Dosis in dieser Distanz aber insgesamt sehr klein bleibt.

Vergleich am Beispiel Szenario 5, 3.3 m/s Wind, Stabilitätsklasse F: Die grüne Kurve in der Abbildung links zeigt die maximale Konzentration berechnet in Effects. In einer Distanz von rund 137 m werden 2'500 ppm erreicht, die Letalität ist jedoch sehr klein (orange Kurve). Die Ausbreitungsrechnung zeigt die maximale Ausdehnung der 2'500 ppm Konzentration in Slabview. 2'500 ppm werden bis in eine Distanz von 140 m erreicht. Die Resultate sind damit identisch bzw. deutlich im Bereich der Genauigkeit solcher Ausbreitungsrechnungen.

In früheren Risikoermittlungen sind jeweils Gebäudeschutzfaktoren und Fluchraten diskutiert und entsprechend berücksichtigt worden. Der Gebäudeschutzfaktor in dem Sinne ist nicht mehr relevant, da die Konzentration bzw. die Dosis in Gebäuden explizit berechnet wird. Da in der Vergangenheit die Beurteilung des Risikos schlussendlich immer ohne Berücksichtigung der Fluchrate erfolgte, wurde diese nicht mehr berücksichtigt bzw. ausgewiesen.

Insgesamt kann die Einschätzung der Personengefährdung mit Effects als realistischer eingestuft werden. Gemäss Fachgesprächen sind relevante Störfälle mit grösseren Personenschäden eher bei grossen spontanen Freisetzungen als bei kontinuierlichen Freisetzungen zu erwarten.

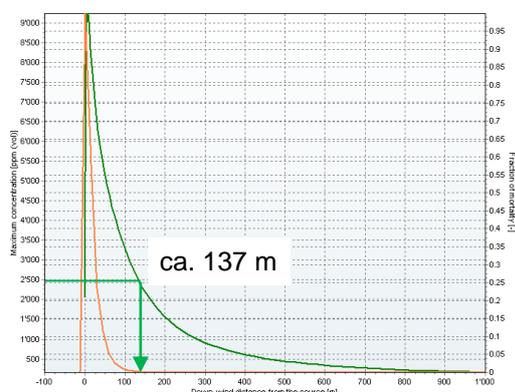


Abbildung 8-3: Resultate Effects (Austritt Gärtank)

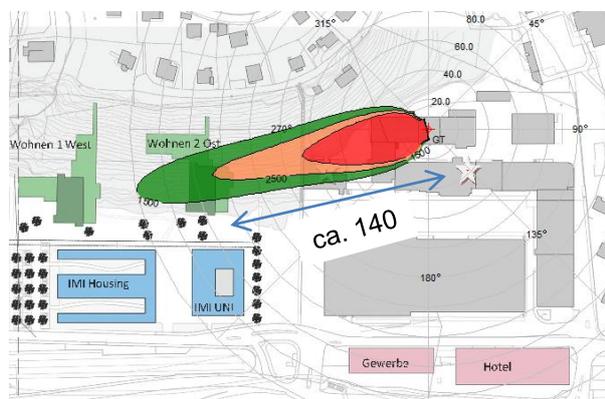


Abbildung 8-4: Resultate Slabview (oranger Bereich >2500 ppm) Risikoermittlung 2012 [Lit1]

8.5 Hinweis auf Störfälle

Wie bereits erwähnt sei darauf hingewiesen, dass Störfälle, resp. Havarien, bei denen grössere Mengen Ammoniak freigesetzt wurden, sich in der Brauerei Eichhof, aber auch generell in der Schweiz und im europäischen Raum, in den letzten 25 Jahren nicht ereignet haben. Eine Auswahl kleiner bis mittlerer Ereignisse in Deutschland, Frankreich und der Schweiz sind in der Tabelle 8-1 aufgeführt.

Ort/Land	Jahr	Ereignis	Austrittsmen-ge	Anz.Tote/Verletzte
Kamenz D	1997	Demontearbeiten	5 kg	0 / 0
Bochum D	1997	Korrosion (bei Wiederinbetriebnahme)	100 kg	0 / 0
Regensburg D	1997	Leitungsbeschädigung	1500 kg	0 / 5
München D	1996	Undichte Leitung	400-700 kg	0 / 0
Hamburg D	1995	Klemmendes Ventil	475 Liter	0 / 0
Schwerin D	1995	Demontearbeiten	10 kg	0 / 0
Illkirch F	2000	Klemmendes Ventil	100 kg	0 / 0
Servin sur Vilaine F	2000	Brand	0.5 – 2 to	0 / 0
Ancenis F	1999	Korrosion		0 / 0
Tregunc F	1998	Korrosion		0 / 0
Conde sur Vire F	1998	Demontearbeiten	700 kg	0 / 0
Saint Fulgent F	1998	Klemmendes Ventil	600 kg	0 / 0
Schiltigheim F	1998	Ventilbruch	100 kg	0 / 0
Saint-Brandan	1994	Leitungsbruch	500 kg	0 / 3
Basel CH	2000	Unbemerkte Entfernung der Ventilspindel		0 / 0
Basel CH	1998	Öffnung vermeintlich leerer Ammoniakleitung	10 Liter	0 / 0
Basel CH	1997	Leck beim Dichtungswechsel	20 kg	0 / 0
Basel CH	1996	Klemmendes Ventil		0 / 0
Basel CH	1996	Defekter Kompressor	70 kg	0 / 0
Kreuzlingen CH	1995	Vorschriftswidrige Unterhaltsarbeiten	300 kg	0 / 0
Haut-Nendaz CH	1995	Korrosion	1000 kg	0 / 0
St.Gallen CH	1991	unbekannt	500 Liter	0 / 0
Basel CH	1991	Kompressorvibration beschädigen Manometerleitung		0 / 0

Tabelle 8-1: Auswahl von Störfällen aus der Schweiz, Deutschland und Frankreich zwischen 1990 und 2000 [10]

9 Schlussfolgerung

Die gesamte Ammoniakmenge in der Kühlanlage der Brauerei Eichhof AG beträgt ca. 8'000 kg. Die Beurteilung des Risikos erfolgt gemäss BUWAL-Richtlinie. Für die Beurteilung wird der Schadensindikator Anzahl Tote (n_1) verwendet.

Es wurden verschiedene Varianten von technischen Massnahmen und den daraus folgenden Störfallszenarien untersucht. Die Variante A umfasst kleinere technische Anpassungen bei der heutigen Kälteanlage. Mit den Varianten B und B+ wird der Rückkühlkreislauf über das Maschinenhausdach durch einen sekundären Ethylenglykol Kreislauf ersetzt und damit der gesamte Ammoniak Kreislauf unter Dach geführt. Die diesbezüglichen Störfallszenarien (Sz. 3, 6) sind bei der Variante B/B+ irrelevant.

Das Szenario 1 beschreibt ein Leck im Sammler im Maschinenraum und dem damit verbundenen Austritt von rund 200 kg Ammoniak in die Umwelt. Das maximal zu erwartende Schadensausmass beträgt 6 Tote im Bereich Eichhof West in den Varianten A und B. Mit der Variante B+ reduziert sich das zu erwartende Schadensausmass auf 3 Tote.

Beim Szenario 3, bei dem z.B. ein Kleinflugzeug auf die beiden Kondensatoren abstürzt, ist es möglich, dass der gesamte gasförmige Inhalt beider Kondensatoren inkl. Nachsaugen (600 kg Ammoniak) spontan ins Freie gelangt. In diesem Falle ist bei Vorherrschen der Hauptwindrichtung aus Nordost mit einer relevanten Schädigung der Bevölkerung im Bereich geplanten Wohnüberbauungen Eichhof West zu rechnen (bis zu 12 Tote, entspricht „worst-case“).

Beim Störfall beim Abscheider (Szenario 2), einer Leckage bei den Gärtanks und Gärtankleitungen (Störfallszenarien 4 und 5) sowie bei einem kontinuierlichen Austritt aus den Kondensatorleitungen (Szenario 6) sind keine grösseren Personenschäden zu erwarten. Aufgrund der Durchmischung mit der Umgebungsluft beträgt das erwartete Schadensausmass $n_1 < 1$.

Aus dem W/A-Diagramm der Variante A zeigt sich, dass das Risiko für die Überbauung Eichhof West ohne Berücksichtigung von grösseren Massnahmen im Übergangsbereich liegt. Mit der Realisierung der Variante B (sekundärer Ethylenglykol Kühlkreislauf), liegt das zu erwartende Schadensausmass im Bereich der nicht schweren Schädigung (max. 6 Tote) und reduziert sich in der Variante B+ weiter.

Bei einer allfälligen Überbauung „Eichhof Süd“ besteht in der Variante A ein mögliches Schadensszenario mit 4 Toten. Mit der Umsetzung der Massnahmen in Variante B/B+ reduziert sich dieses Risiko jedoch deutlich.

Ansaugöffnungen von Lüftungen in neuen Gebäude sind auf der Eichhof abgewandten Seite zu installieren und sollen zentral gesteuert bzw. abschaltbar konstruiert sein. Im Sinne der Vorsorge sind die Eichhof zugewandten Gebäudefassaden mit möglichst wenigen Öffnungen zu gestalten und Balkone abgewandt anzuordnen. Auf Plätzen wo grössere Personenansammlungen entstehen können (z.B. Spielplätze) zwischen der Brauerei und der Überbauung Eichhof West ist zu verzichten.

Die 2012 zur Verminderung des Personenrisikos bestimmten und in einem privatrechtlichen Vertrag zwischen Investor und Brauerei Eichhof festgehaltenen technischen Massnahmen, behalten ihre Gültigkeit und sind gemäss Bebauungsplanreglement umzusetzen.

10 Unterlagen

- [Lit.1] Risikoanalyse gemäss Störfallverordnung. Roos+Partner AG vom 9.11.2012 V16 und Nachreichungen zum Bericht vom 28.11.2012 an Dienststelle uwe Luzern
- [Lit.2] Sicherheitsbeurteilung der Kälteanlage Brauerei Eichhof. Schmutz, Starkl und Partner AG (SSP) vom 4. Juli 2006. Verfasser: Rudolf Starkl
- [Lit.3] J.R. Taylor, Risk Analysis for Process Plant, Pipelines and Transport, E&FNSpon, London 1994
- [Lit.4] Jürg Schmidli, The Initial Phase of Sudden Releases of Superheated Liquid, Diss ETHZ Nr. 10391, 1993
- [Lit.5] TNO, The Coloured Books - Yellow, Green, Purple, Red. Methods for the calculation of Physical Effects, determination of possible damage and Guidelines for quantitative risk assessment due to releases of hazardous materials, Voorburg, ab 1992
- [Lit. 6] Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL), Bundesamt für Militärflugplätze (BAMF). Studienauftrag: Die Auswirkungen der Luftfahrt auf die Umwelt. Technischer Bericht F: Teilbereich Absturzrisiken. April 1993
- [Lit.7] H.A. Sellgson, R.T. Eguchi, K.J. Tierney, K. Richmond, Chemical Hazard, Mitigation and Preparedness in Areas of High Seismic Risk; A Methodology for Estimating the Risk of Post-Earthquake Hazardous Materials Release, Technical Report NCEER-96-0013, November 7, 1996
- [Lit.8] Erdbeben und Störfallvorsorge. Behelf zur Einschätzung der Erdbebengefährdung von Bauwerken und Installationen im Geltungsbereich der Störfallverordnung. Baudirektion Kanton Zürich. Oktober 2001
- [Lit.9] Buwal, Beurteilungskriterien I zur Störfallverordnung StFV, Bern September 1996
- [Lit.10] Deutsch-Französisch-Schweizerische Oberrheinkonferenz. T. Hackbusch, V. Blanchard, C. Ferrand, R. Braun. Fünfter Bericht über industrielle Risiken: Gefahrenpotentiale von Ammoniak-Kälteanlagen im grenzüberschreitenden Vergleich.
- [Lit.11] Schweizerische Erdgaswirtschaft: „Sicherheit von Erdgashochdruckanlagen – Rahmenbericht zur standardisierten Ausmasseneinschätzung und Risikoermittlung“; Revision 2010
- [Lit.12] BUWAL, Arbeitsgruppe Ammoniak, Methodikbeispiel einer Risikoermittlung für die Ammoniak-Kälteanlage einer Kunsteisbahn, 1.9.1999

11 Beilagen

Verzeichnis:

- Beilage 1 Ergänzende Beschreibung der Kälteanlage
- Beilage 2 Pläne Gebäude und Turm
- Beilage 3 Situation und Szenarien
- Beilage 4 Mittlere jährlich Windrose Luzern
- Beilage 5 Ausbreitungsbedingungen Luzern
- Beilage 6 Einschätzung Erdbebengefährdung
- Beilage 7 Fehlerbäume Austrittsszenarien
- Beilage 8 Wahrscheinlichkeiten
- Beilage 9 Störfallwerte und Wahrscheinlichkeiten für W-A Diagramme
- Beilage 10 Anhang Ausmassberechnungen Effects

Beilage 1 Ergänzende Beschreibung der Kälteanlage

Beschrieb Anlagenteile

1. Allgemeines

Die Kälteanlage umfasst 2 Kältekreisläufe auf unterschiedlichen Temperaturniveaus. Die interne Bezeichnung der Kreisläufe sind -15° bzw. -5° Kreislauf. Der Gesamtinhalt NH₃ beträgt ca. 8.000 kg.

2. Kompressoren

Es sind 4 Kompressoren im Einsatz. 2 Kompressoren versorgen den -15°-Kreislauf, ein Kompressor den -5°-Kreislauf. Der 4. Kompressor dient als Reserve und kann auf beiden Kreisläufen eingesetzt werden. Die Kompressoren befinden sich im Kompressorenraum.

	Hersteller	Typ	Leistung (kcal/h)	Baujahr	Sollwert Kreislauf
Kompr. 1	Sabroe	SMC-16-100	413.000	1977	-13°C
Kompr. 4	Sabroe	SMC-16-100	413.000	1977	-13°C
Kompr. 2	Sabroe	SMC-16-100	480.000	1982	-3°C
Kompr. 3	Sabroe	SMC-16-100	413.000	1977	-3°C/-13°C (Reservekompressor)

3. Verdunstungskondensatoren

Auf dem Dach des Kompressorenraumes sind 2 Verdunstungskondensatoren installiert, die parallel betrieben werden.

Hersteller	Anzahl	Typ	Leistung pro Kondensator (KW)	Baujahr
Baltimore Aircoil	2	VXC-S-300 R	1313	2002

4. Sammler

Das verflüssigte NH₃ wird in einem Hochdrucksammler gesammelt und von dort in die Abscheider geführt. Der Sammler befindet sich im Kompressorenraum.

Hersteller	Grösse (l)	Druck (bar)	Baujahr
Apaco	3000	18	1978

5. Abscheider

Es befinden sich 2 Abscheider im Abscheiderraum. Ein Abscheider versorgt die -15°-Verbraucher und ein Abscheider versorgt die -5°-Verbraucher.

Hersteller	Grösse (l)	Druck (bar)	Baujahr	
Apaco	4000	13	1978	-15°C-Kreislauf
Apaco	10000	13	1978	-5°C-Kreislauf

6. NH3-Pumpen

Direkt neben dem Abscheiderraum befindet sich der NH3-Pumpenraum. Von dort werden die Verbraucher mit NH3 versorgt. 2 Pumpen können den -15°C-Kreis versorgen, 3 Pumpen den -5°C-Kreislauf. Jeweils 1 Pumpe jedes Kreislaufes dient als Reservepumpe.

7. Verbraucher

-15°-Kreislauf:

- 2 Lagerkeller-Raumkühlungen (Lagerkeller, Diverse Tanks)
- Jungbierkühler
- Tankfüllerei-Raumkühlung
- Entalkoholisierungsanlage

-5°-Kreislauf:

- Wasserkühler Würzekühlung
- Wasserkühler Wasserentgasungsanlage
- Gärtanks, Hefetanks, Hefereinzuchtank
- Hopfenkeller
- Raumkühlung Aufenthaltsraum Schalander

8. Automation:

Wird im Abscheider der Temperatur-Sollwert überschritten, startet der Kompressor und saugt NH3 an. Die Leistungsregulierung der Kompressoren erfolgt je nach Kältebedarf. Wird der Grenzwert im Abscheider erreicht, schaltet der Kompressor wieder ab. Gleichzeitig gehen auch die Kondensatoren in Betrieb. Die Leistungsregulierung der Kondensatoren wird über die Verflüssigungstemperatur gesteuert.

Das verflüssigte Ammoniak wird im Sammler gesammelt und über die Niveauregulierung der Abscheider wieder von diesen angefordert.

Die NH3-Pumpen versorgen die Verbraucher mit flüssigem NH3. Dieses verdampft in den Verbrauchern und wird zu den Abscheidern zurückgeführt.

9. Leitungen:

Siehe Schema

10. Sicherheitseinrichtungen:

Sicherheitsventile:

- Sammler 2
- Abscheider -5 2
- Abscheider -15 2
- Gärtanks 8
- Jungbierkühler 1

Ueberströmventile:

- Gärtanks: 10
- Kompressoren 8

Schnellschlussventile (8 Ventile):

- Pumpenzuläufe: 5
- Leitung Sammler zu den Abscheidern: 1
- Hefereinzucht: 2

Gasmelder:

- Kompressorenraum
- Abscheiderraum
- Pumpenraum
- Alle Räume mit Verbrauchern

Auffangwanne Abscheiderraum: 11.2 m3

Auffangwanne Kompressorenraum: 16.3 m3

Auffangwanne Pumpenraum: 4.1 m3

11. Sicherheitsmassnahmen:

Kontrollgang vom Wartungspersonal 2 * täglich, nachts zusätzlich durch Securitas

Wartungsplan für Kompressoren, Pumpen und Sicherheitsventile nach Hersteller bzw. gesetzlichen Vorschriften

Alarmplan/Massnahmenplan

Beschilderung und Kennzeichnung

12. Persönliche Schutzausrüstung:

Gasmasken für Ammoniak in der Nähe aller Verbraucher und Aggregate. Das Wartungspersonal verfügt über persönliche Gasmasken.

13. Durchschnittliche Druckverhältnisse:

Kompressor	14 bar
Verdunstungskondensator	12 bar
Sammler	12 bar
Leitung Sammler bis Regelventil Abscheider	12 bar
Abscheider -15	1.5 bar
Abscheider -5	2.6 bar
Pumpen-Auslauf und Leitungen zu den Verbrauchern	3,5 bar
Gasleitung von den Verbrauchern.	Jeweiliger Abscheiderdruck
Heissgasleitung	14 bar

Angaben zur Kälteanlage:

Abscheiderraum:

L: 13.3 m B: 6.4 m H: 4.35 m V: 370 m³

Lüftung: 250 m³/min

Der Abscheiderraum befindet sich im EG. Es bestehen folgende Raumöffnungen:

- 1 Eingang
- Ventilationsöffnungen für Zu- und Abluft über den Turm auf 40 m Höhe.

Der Pumpenraum für die Verteilung des flüssigen Ammoniaks befindet sich in einem separaten Raum neben dem Abscheiderraum.

Kompressorenraum (oberhalb Gitterrost):

L: 19.0 m B: 8.5 m H: 4.5 m V:726.75 m³

Kompressorenraum (unterhalb Gitterrost):

L: 19.0 m B: 8.5 m H: 2.0 m
L: 2.9 m B: 8.5 m H: 1.25 m V:353.8 m³

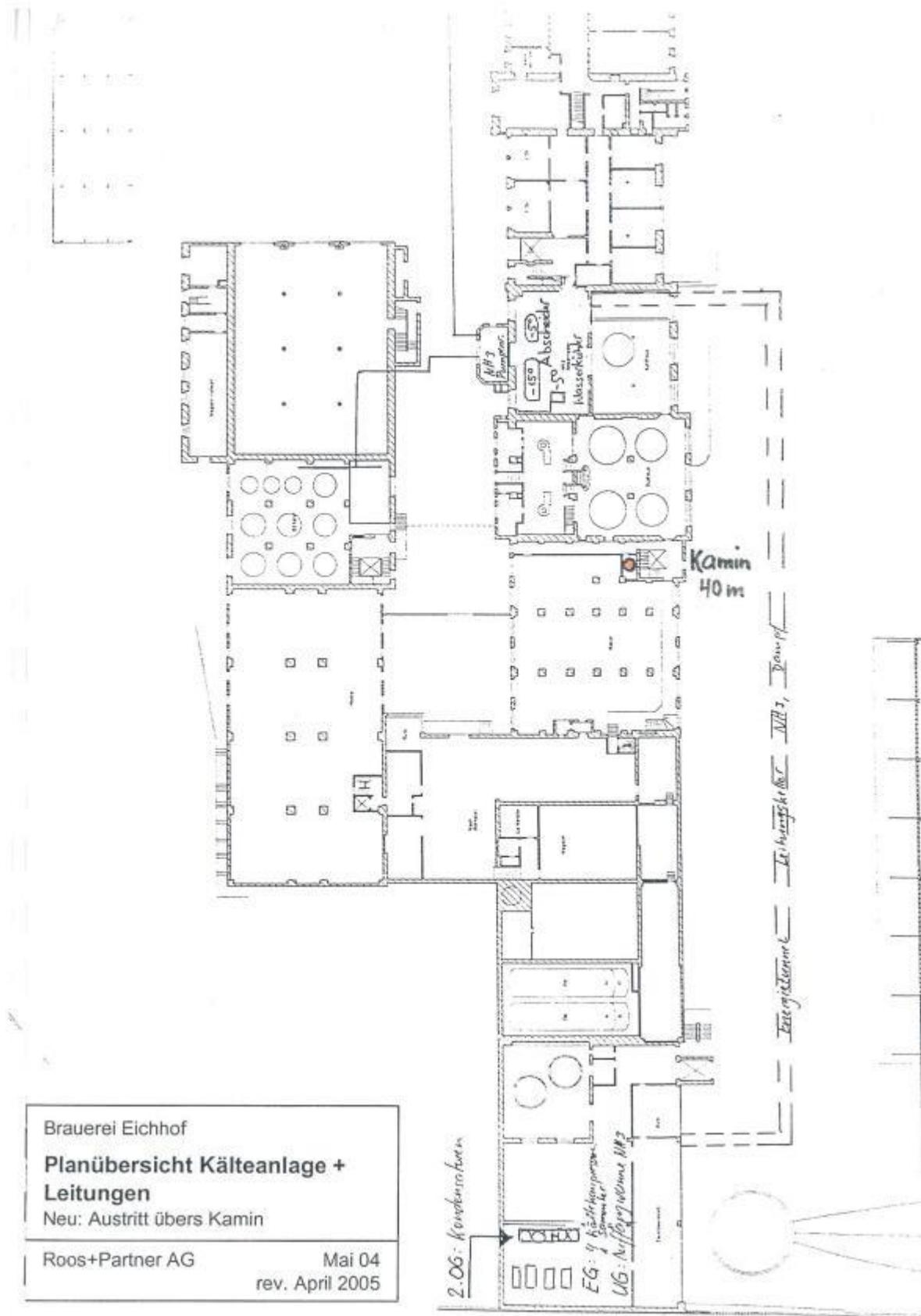
Lüftung: 118 m³/min

Der Kompressorenraum befindet sich im EG. Es bestehen folgende Raumöffnungen:

- 2 Eingänge
- Heutige Ventilationsöffnungen für Zu- und Abluft via Lüftungskanal in den Aussenbereich bei den Warmwassertanks (stark eingekesselt).

Die Schaltwarte mit den notwendigen elektrischen Installationen und der Steuerung findet man im Kompressorenraum.

Planübersicht Kälteanlage und Leitungen



Luftbild Kälteanlage

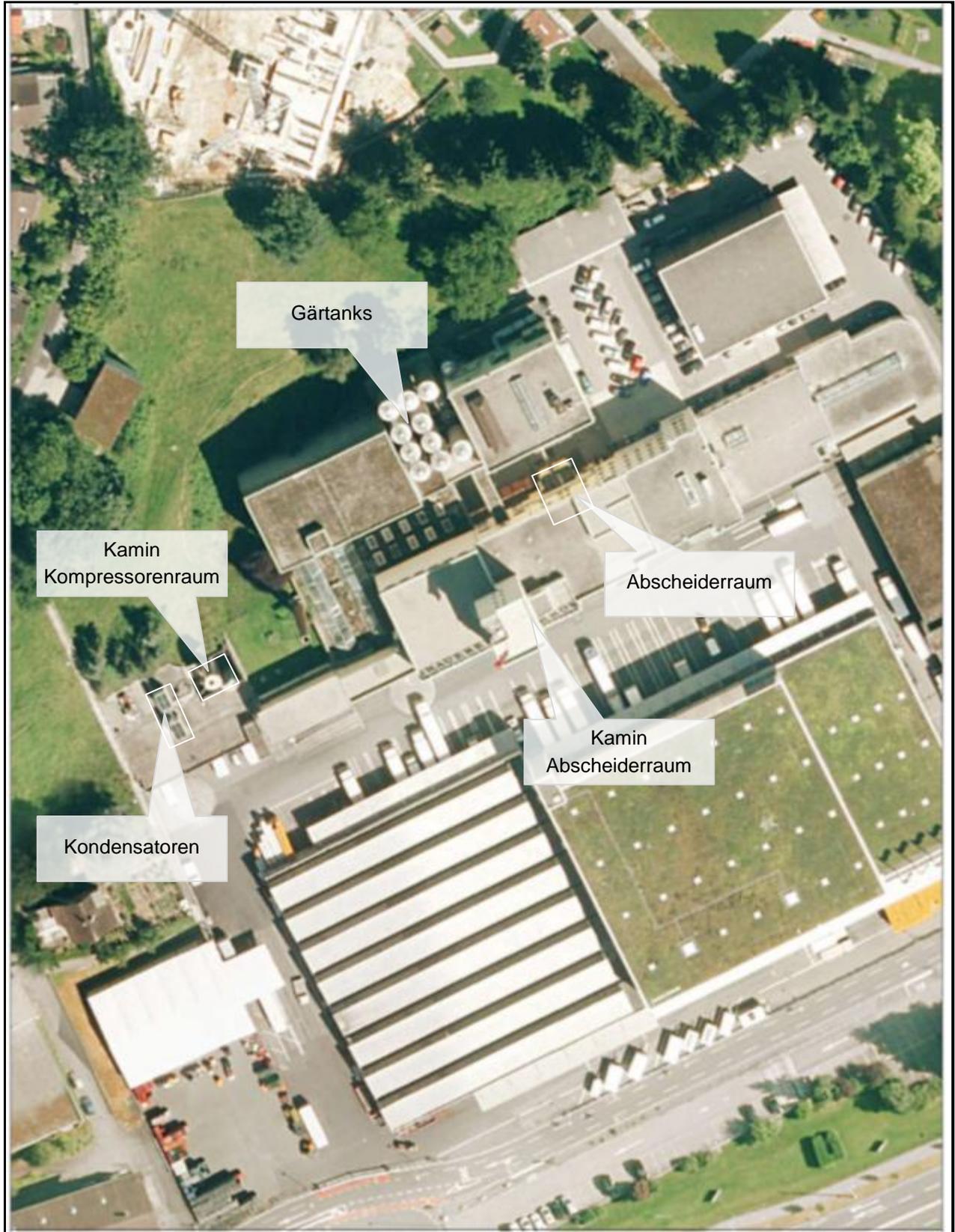
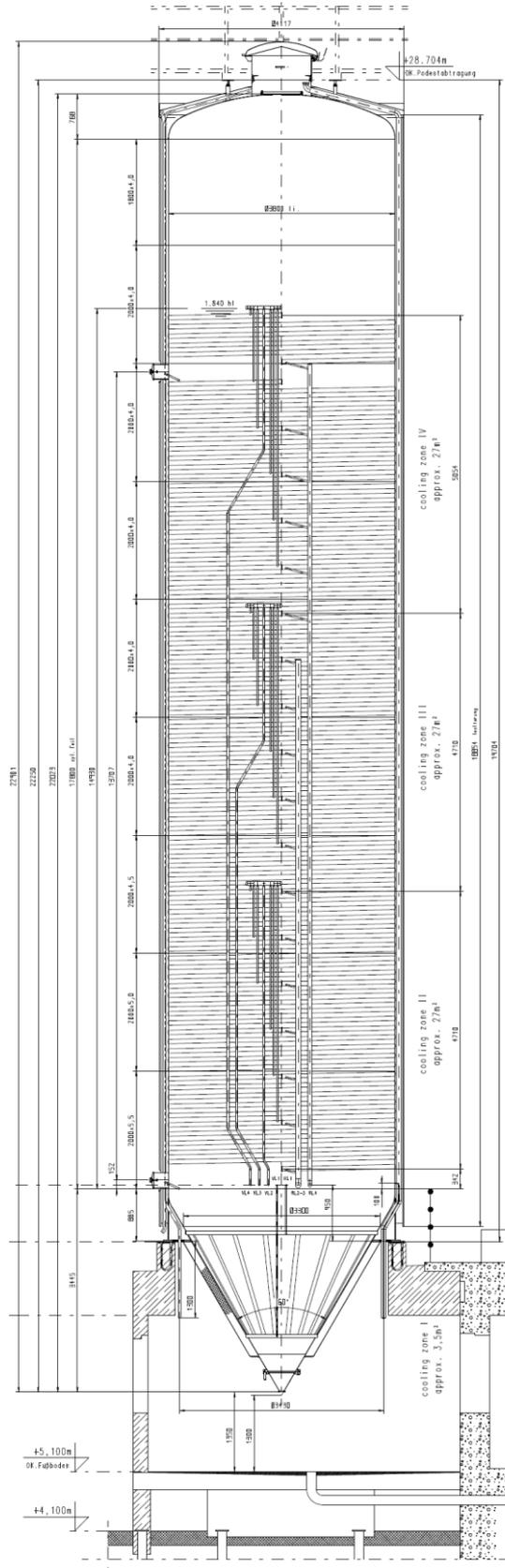
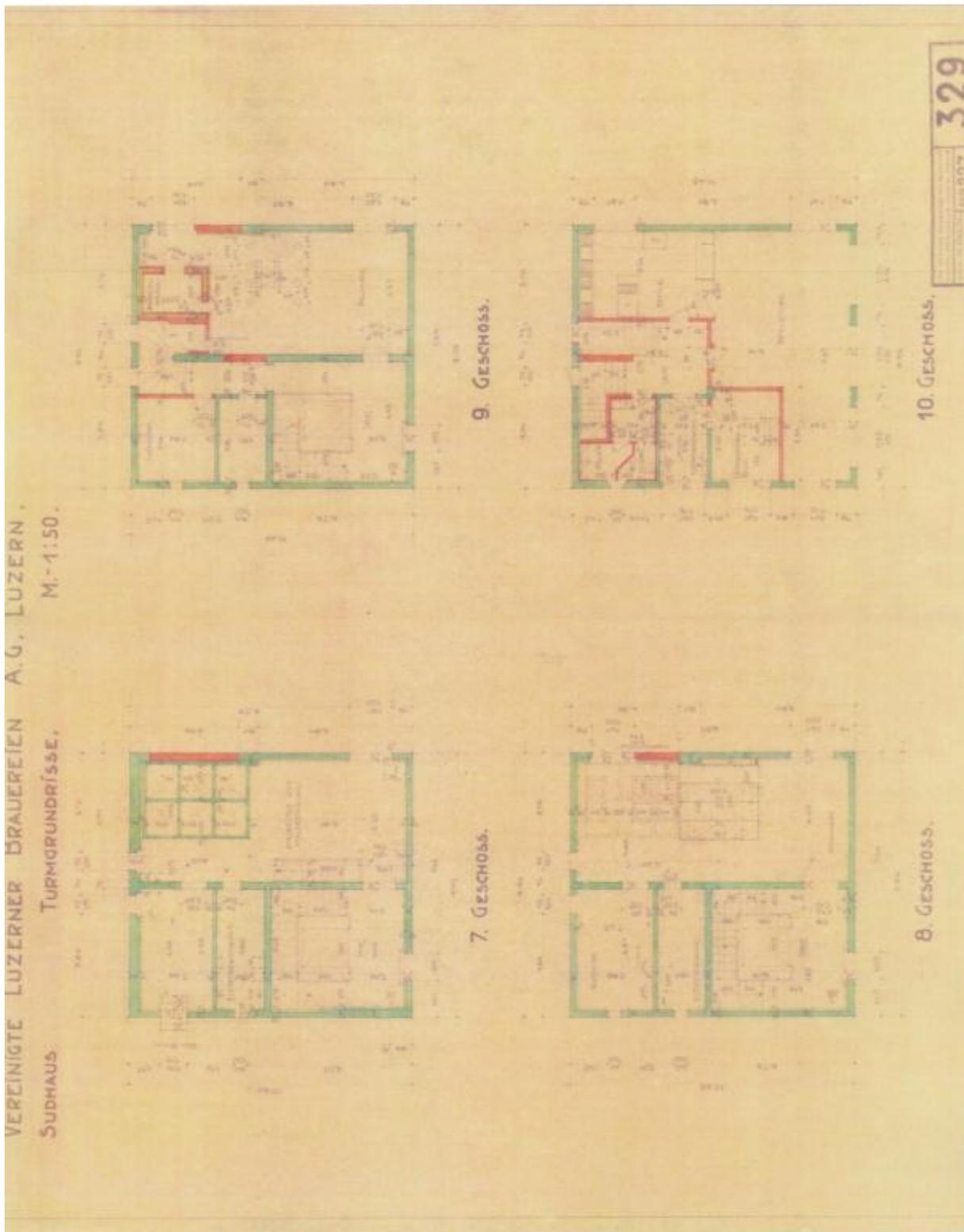


Abbildung 11-1: Luftbild Eichhof (Quelle: www.geo.lu.ch/map/grundbuchplan/)

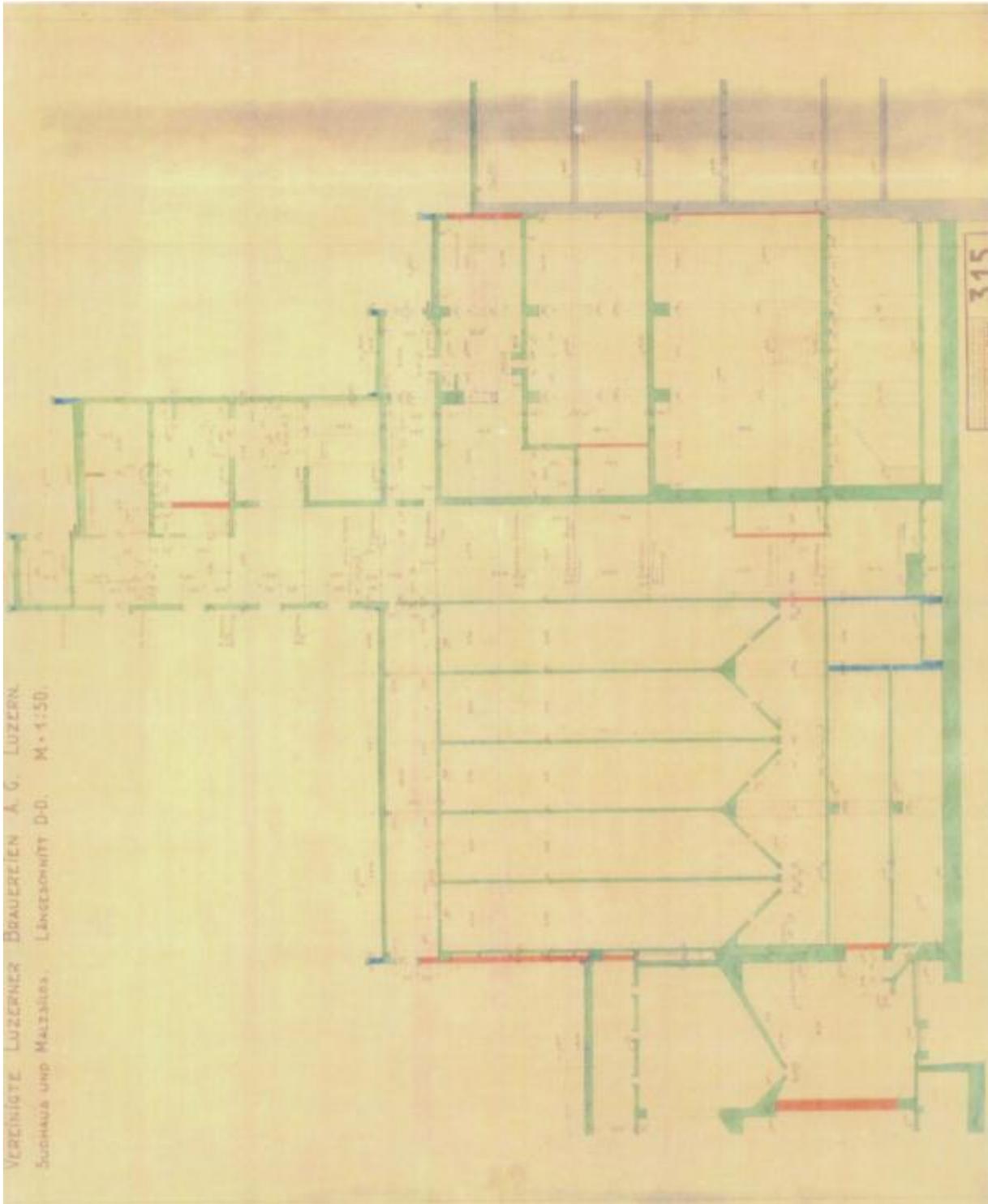
Plan der Gärtanks



Beilage 2 Pläne Gebäude und Turm

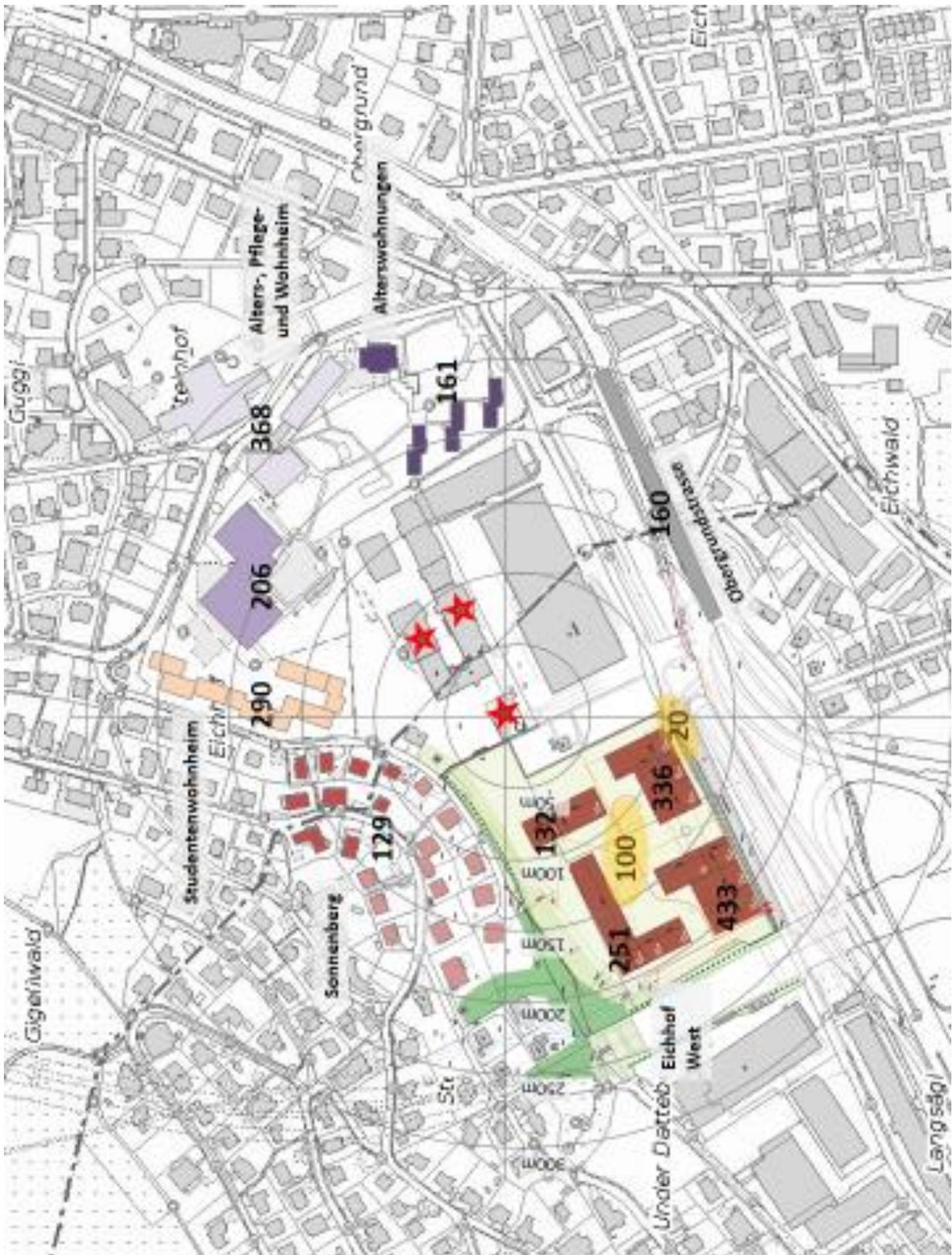


VEREINIGTE LUZERNER BRAUEREIEN A. G. LUZERN.
SUCHHAUS UND MALZBREM. LÄNGSSCHNITT D-D. M. 1:50.



315

Beilage 3 Situation und Szenarien



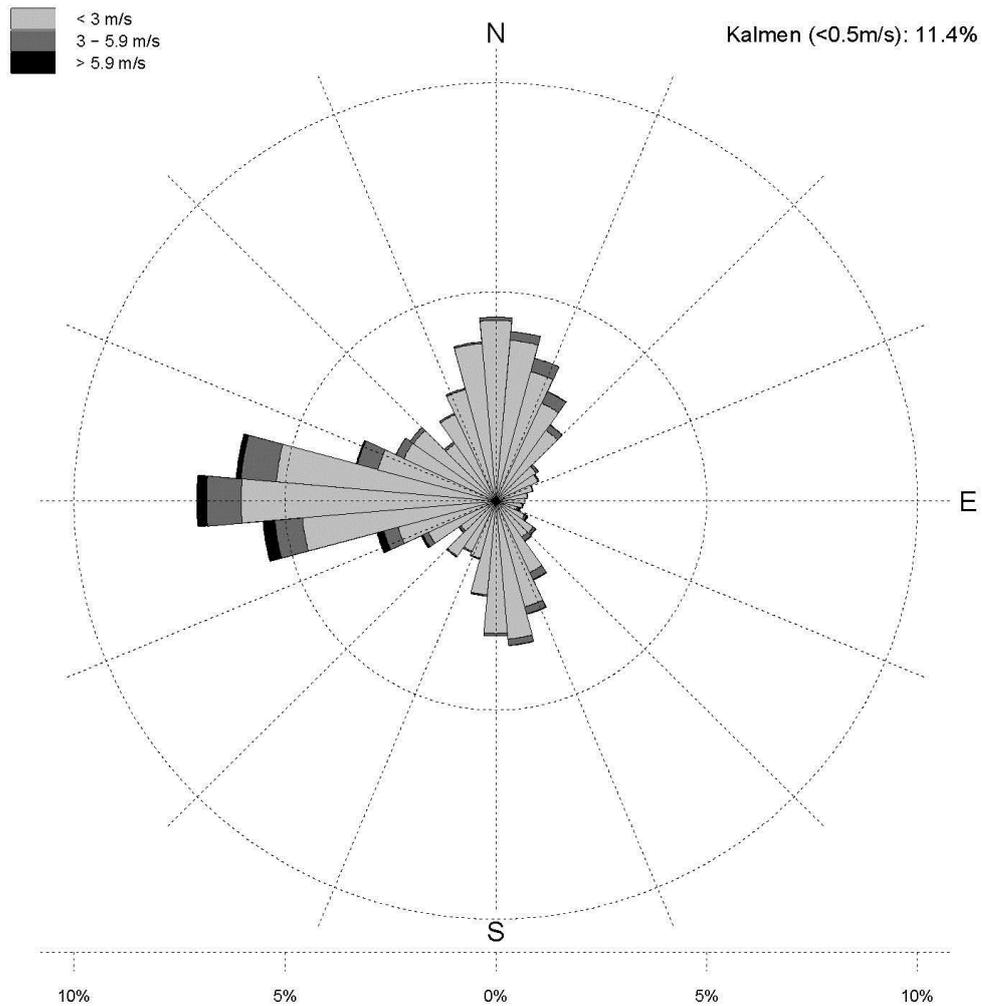
Beilage 4 Mittlere jährlich Windrose Luzern

Mittlere jährliche Windrose

Station Luzern, 1.1981–12.2000

Höhe: 456 m ü. M.

km-Koord. 665 520 / 209 860

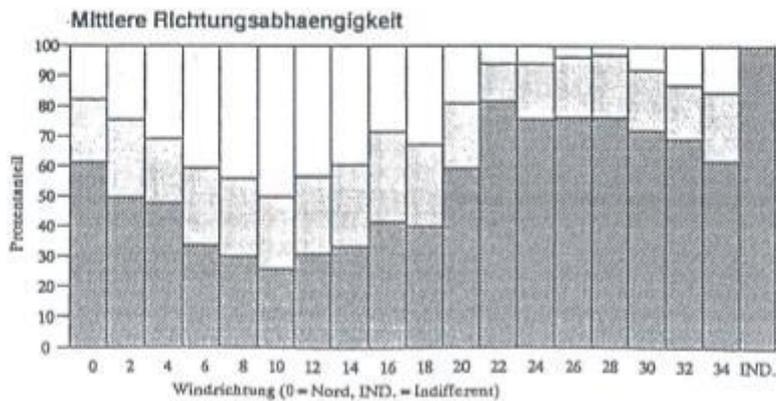
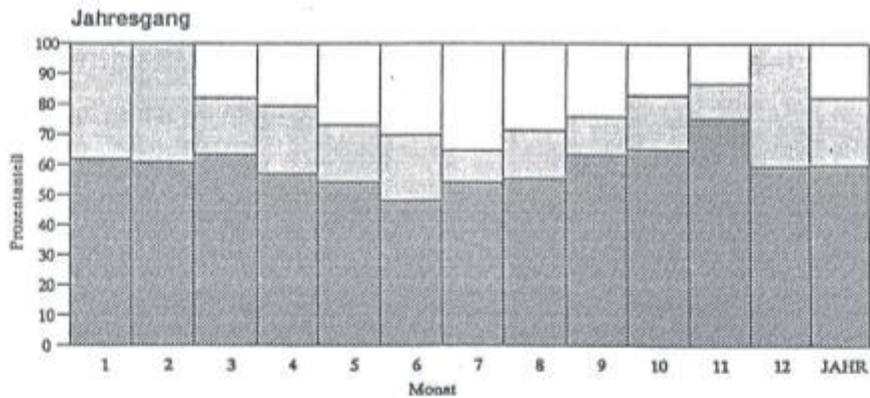
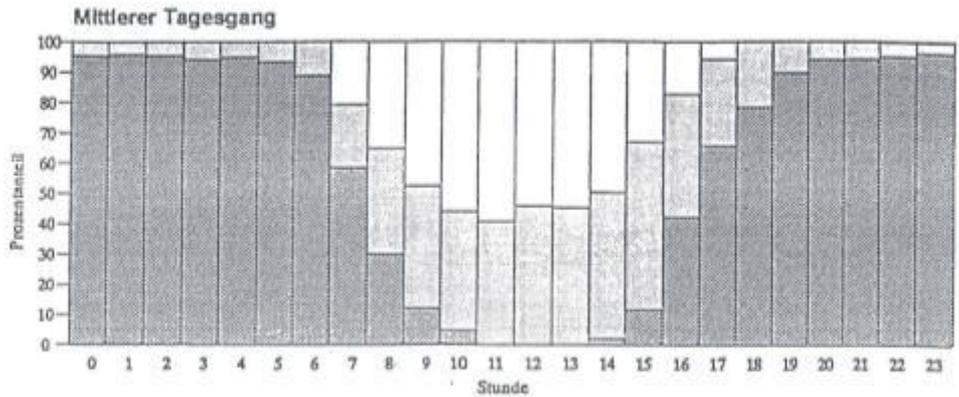


© MeteoSchweiz Krähbühlstrasse 58 CH-8044 Zürich Tel 01 256 94 20 Fax 01 256 92 55 Email kud@meteoswiss.ch
5 Mar 2003

Quelle: www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_schweiz/tabellen/windrichtung.html

Beilage 5 Ausbreitungsbedingungen Luzern

Ausbreitungsbedingungen LUZERN		Jahr	12-16h	8-16h
LEGENDE:	Labil (Klassen 1 und 2)	A	20%	40%
	Neutral (Klassen 3 und 4)	D	20%	40%
	Stabil (Klassen 5 und 6)	F	60%	20%



Beilage 6 Einschätzung Erdbebengefährdung

Checkliste CL1 Gebäude/ GRUNDDATEN

Datum der Aufnahme: <u>April 2005</u>	Interne Nummer: _____ Aufnahme durch: <u>Iby / Scherer</u>	Seite <u>1</u>
---------------------------------------	---	----------------

(Fotos, Skizzen) Turmgebäude Brauerei Eichhof



Verfügbare Grundlagen zum Bauwerk:	Referenz / Bezugsdaten:
<input type="checkbox"/> Dokumentenverzeichnis / Übersicht _____	
<input type="checkbox"/> Baupläne Erstellung / Umbau / Sanierung _____	
<input type="checkbox"/> Zustandsaufnahmen _____	
<input type="checkbox"/> Baugrunduntersuchungen / geotechnisches Gutachten _____	
<input type="checkbox"/> Auslegungsgrundlagen, Nutzungsplan, Sicherheitsplan _____	
<input type="checkbox"/> Statische Berechnungen _____	
<input type="checkbox"/> Erdbebenbemessung / spätere Erdbebennachweise _____	
<input type="checkbox"/> Technische Berichte _____	
<input type="checkbox"/> Liste der verwendeten Normen, Regelwerke _____	
<input type="checkbox"/> Dokumentationsbedarf vorhanden _____	

Checkliste CL1 Gebäude/BEWERTUNGSBLATT

Seite 2
Interne Nummer: _____

Datum der Aufnahme: April 05 Aufnahme durch Sty/Schwarz

Gebäudebewertung											
Bauwerkstyp	Stahltragwerk (S)				Betontragwerk (B)				Mauerwerk (M)		Holztragwerk (H)
	S-OA	S-FW	S-BW	S-MW	B-OA	B-BW	B-MW	B-V	M-U	M-A	H
Ausgangswert	3.5	3	4.5	2.5	4	4.5	<u>3.5</u>	2.5	3	2.5	3.5
Zusatzwerte:											
Z1A niedrig	+0.5	+0.5	+1	+0.5	+0.5	+1	-0.5	0	0	-1	-
Z1B hoch	-0.5	-0.5	-1	-0.5	-0.5	<u>-1</u>	-0.5	-1	-1	-1	-
Z2 Zustand	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Z3 weiches Stockwerk	-2	-2	-2	-1	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-1
Z4 Kurzstützen	-	-	-	-1	-1	-1	-1	-1	-	-	-
Z5 Anprall	-1	-0.5	-0.5	-0.5	-1	-0.5	-0.5	-1	-0.5	-0.5	-0.5
Z6 Torsion	-1.5	-1	-1	-1	-1.5	-1	-1	-1.5	-1	-1	-1
Z7 unregelmässig im Grundriss	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-1	-1	-1	-0.5
Z8 unregelmässig vertikal	-0.5	-0.5	-0.5	-1	-1	-0.5	-1	-1	-1	-0.5	-0.5
Z9 schwere Verkleidungen	-1	-0.5	0	0	-1	0	0	-1	-	-	-
Z10 Baugrund mittel Baugrund weich	-0.5 -1	-0.5 -1	-0.5 -1	-0.5 -1	-0.5 -1	<u>-0.5</u> -1	-0.5 -1	-0.5 -1	-0.5 -1	-0.5 -1	-0.5 -1
Z11 Untergeschosse und Fundation	0	-0.5	-0.5	-0.5	0	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	0
Z12 Normen	+0.5	+0.5	+0.5	-0.5	+0.5	-0.5	-0.5	+0.5	+0.5	+0.5	+0.5
Totalwert						<u>2</u>					

Erläuterungen:	OA	ohne Ausfachung, Fullwände oder Kern	U	unarmiert
	FW	mit Fachwerk	A	armiert
	BW	mit Stahlbetonwänden oder -Kern	V	vorfabrizierte Elemente
	MW	mit unarmierten Mauerwerkfullwänden		

Bemerkungen Zuverlässigkeit der Zuordnung Bauwerkstyp: Kombination von BW/MW

Bemerkungen Zuverlässigkeit der Zuordnung Zusatzwerte: _____

Checkliste CL1 Gebäude/RESULTATE

Seite 3

Adresse: Brauerei Eichhof AG Interne Nummer: _____

Datum der Aufnahme: April 2005

Aufnahme durch: Sty/Scherer

Nähere Bezeichnung: _____ mittels Akten Begehung

Anzahl Stockwerke (über Terrainkote): 9/10

Baujahr: 1930

Grundrissfläche (m²): 600 u. / 100 oben Umbauten: _____

Bedeutung und Nutzung des Gebäudes:

Bauwerksklasse BWK gemäss Norm SIA 160, Tab. 29 - 30: BWK I BWK II BWK III

Gründe für diese Einstufung: _____

Zusammenfassung der Gebäudebewertung:

Bauwerkstyp: I gegen SIA-Erdbeben resistent:

Totalwert: 2 ja unklar nein

Priorität für weitere Aktionen: keine weitere Aktionen

Spezielle Aspekte (besondere Abklärungen erforderlich):

Erdbebensicherheit von Nachbarbauten abklären:
Bezeichnung/Adressen: _____

Gefahr durch Sekundärbauteile im Bauwerk: _____

Gefahr in Gebäudenähe (z.B. Zugänge): möglicher Absturz von Verkleidungen, Glas, usw.

Foundation im Grundwasser lokale Abklärung möglicher Bodenverflüssigung/Setzungen

Wichtige Schwachstellen / systematische Mängel an Details des Tragwerks (durch Zusatzwerte nicht erfasst): _____

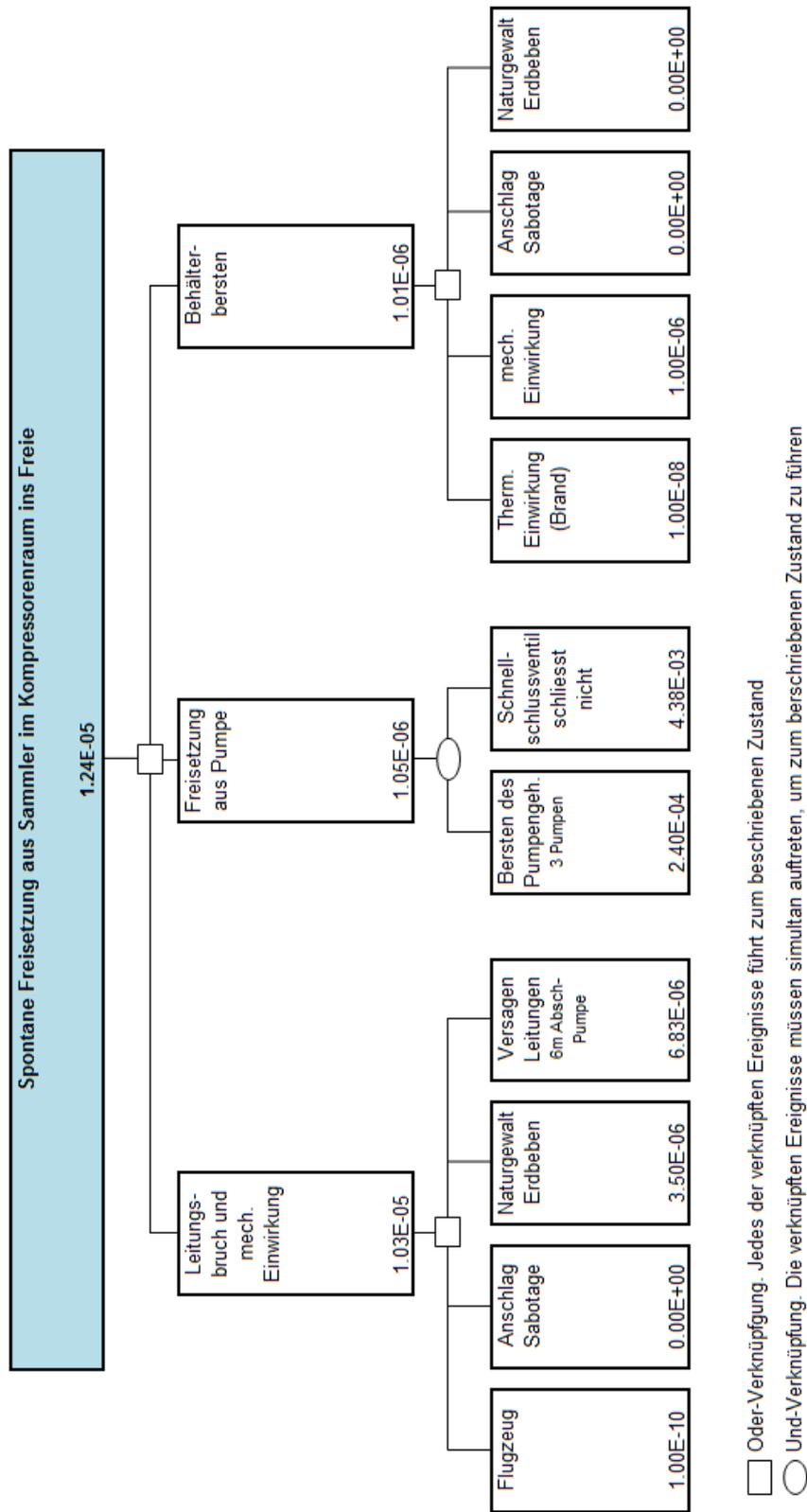
Lokal starke Schäden durch aufgezwungene Verformungen möglich: _____ (Ort)

Probleme für Gebrauchstauglichkeit _____

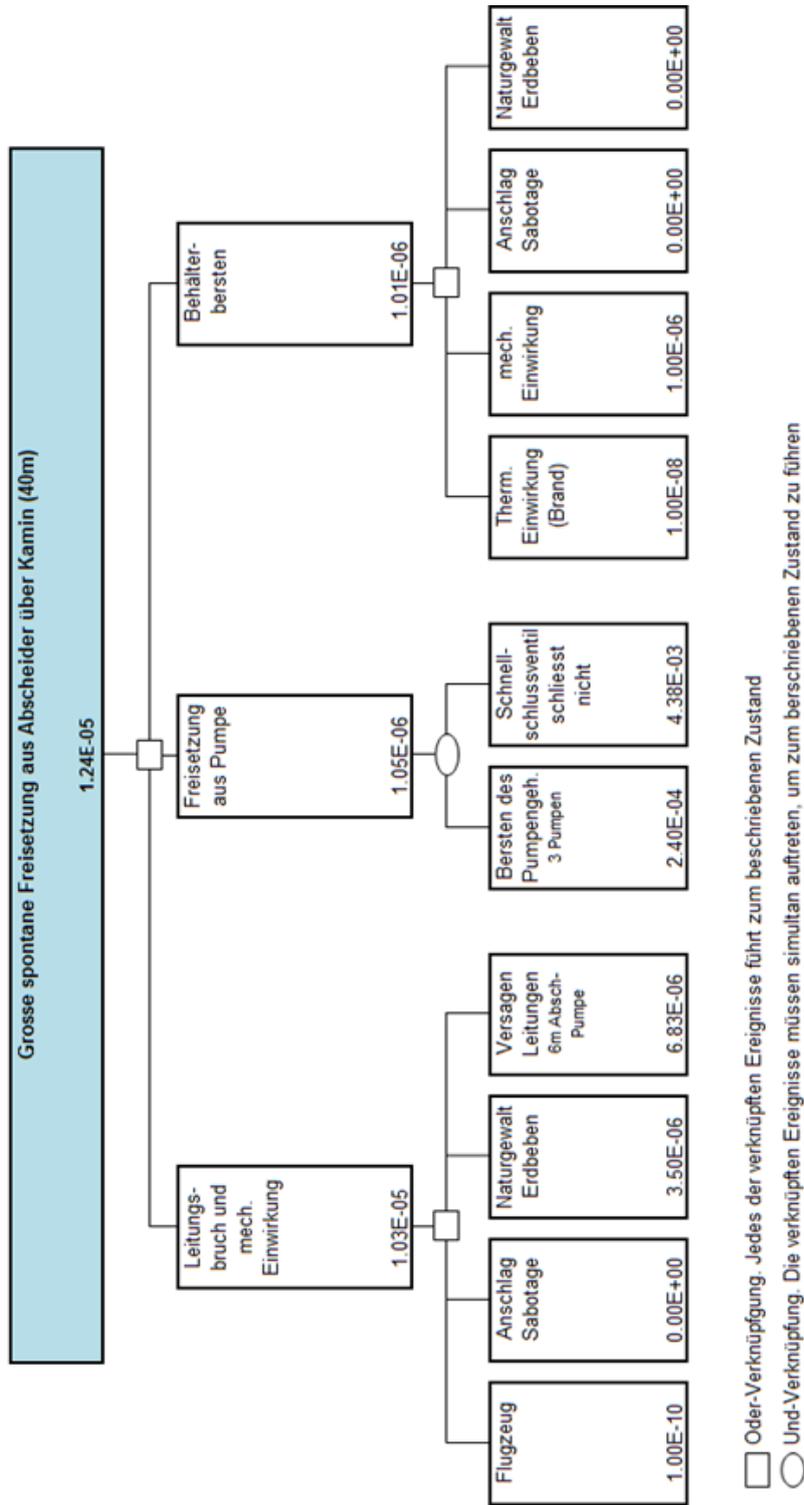
ROOS+PARTNER AG
Obergrundstrasse 26
Postfach 7750
6000 Luzern 7

Beilage 7 Fehlerbäume Austrittsszenarien

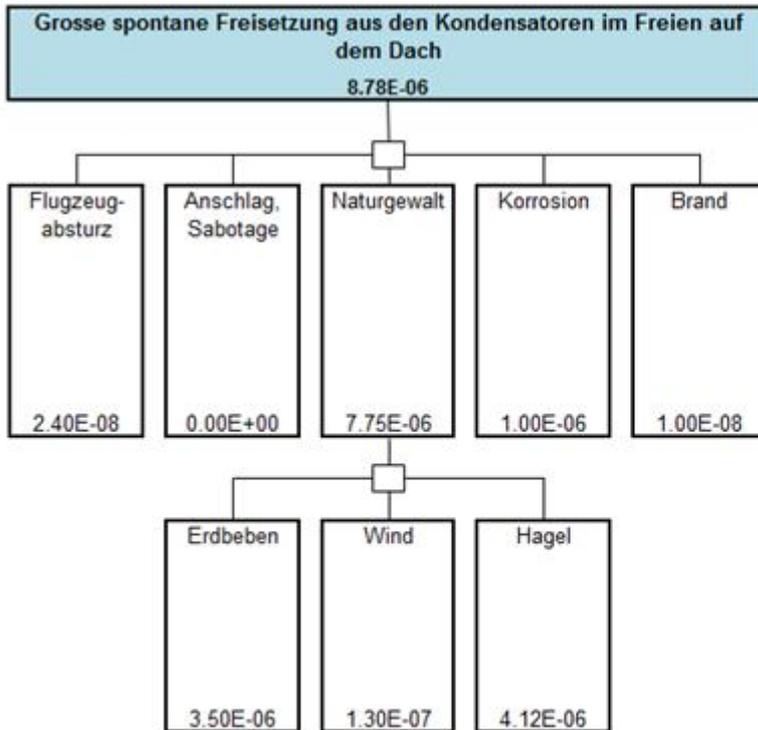
Szenario 1: spontane Freisetzung aus Sammler (Austritt via Lüftungsöffnung 15 m (Var. A/B) 25 m Var. B+)



Szenario 2: Spontane Freisetzung aus Abscheider

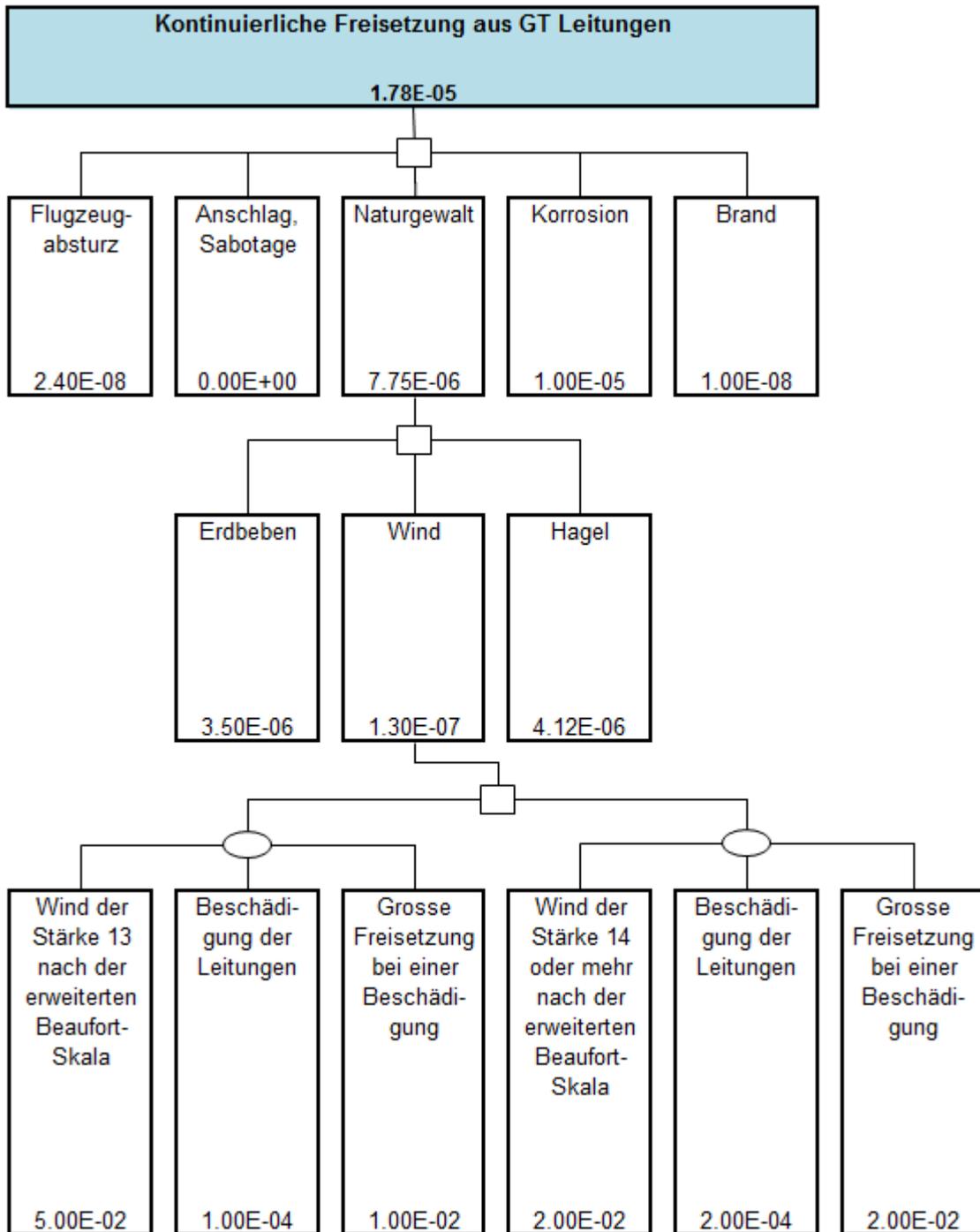


Szenario 3: Spontane Freisetzung aus Kondensatoren im Freien

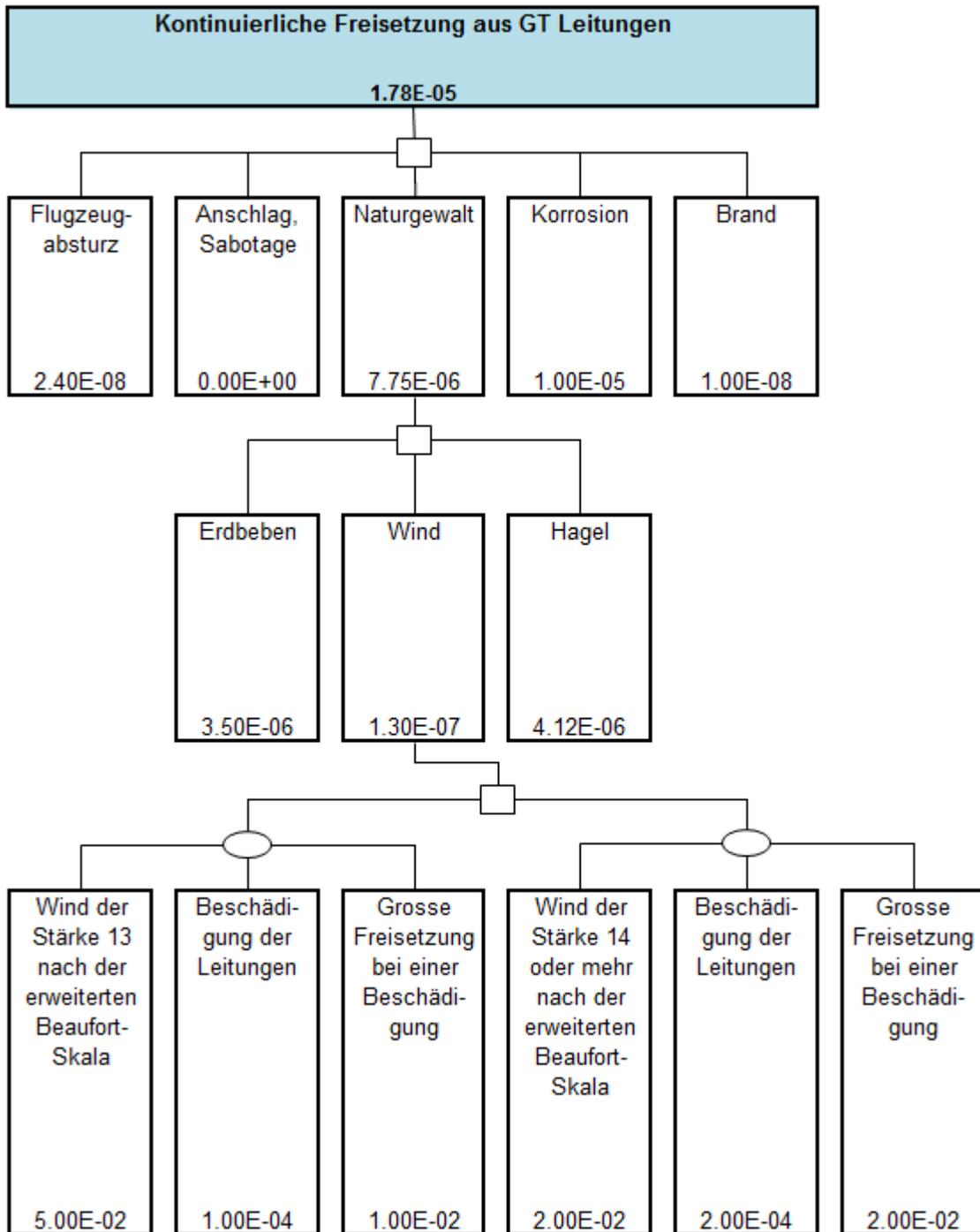


- Oder-Verknüpfung. Jedes der verknüpften Ereignisse führt zum beschriebenen Zustand
- Und-Verknüpfung. Die verknüpften Ereignisse müssen simultan auftreten, um zum beschriebenen Zustand zu führen

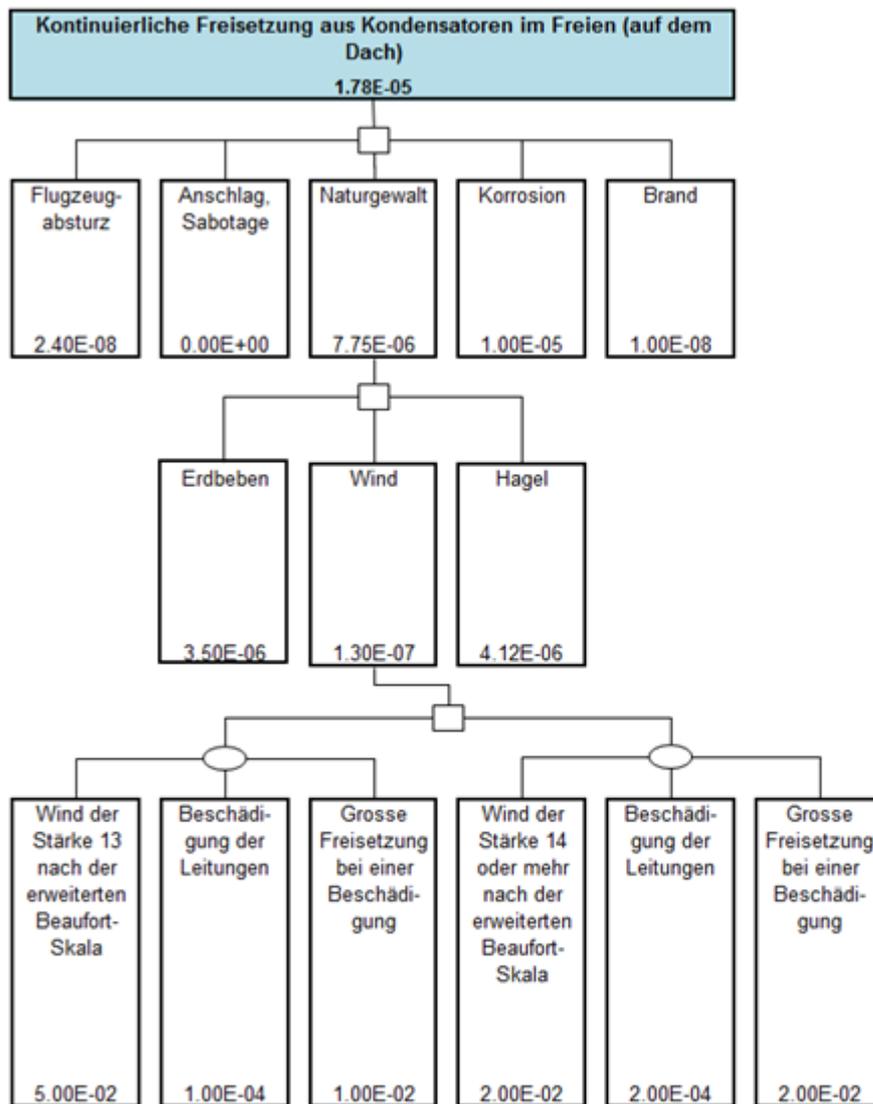
Szenario 4: Kontinuierliche Freisetzung aus Gärtank-Leitungen (Austritt an Umwelt 5 m)



Szenario 5: Fehlerbaum kontinuierliche Freisetzung aus Gärtanks (Austritt an Umwelt 5 m)



Szenario 6: Kontinuierliche Freisetzung aus Kondensatoren



□ Oder-Verknüpfung. Jedes der verknüpften Ereignisse führt zum beschriebenen Zustand

○ Und-Verknüpfung. Die verknüpften Ereignisse müssen simultan auftreten, um zum beschriebenen Zustand zu führen

Beilage 8 Wahrscheinlichkeiten

Kriterium	Ausprägung	Wahrscheinlichkeit
Freisetzung Szenario	1 - Sammler (spont)	1.24E-05
	2 - Abscheider (spont)	1.24E-05
	3 - Kondensator (spont)	8.78E-06
	4 - GT-Leitung (kont)	1.78E-05
	5 - GT (kont)	1.78E-05
	6 - Kondensator (kont)	1.78E-05
Stabilitätsklasse	D	30%
	F	70%
indoor / outdoor*	in	100%
	out	100%
Tagessituation	Tag	40%
	Nacht	60%

* Gewichtung erfolgt bereits bei der Ausmasseseinschätzung

Beilage 9 Störfallwerte und Wahrscheinlichkeiten für W-A Diagramme

Beilage 10 Anhang Ausmassberechnungen Effects

Die folgenden Darstellungen sind die Resultate der Ausbreitungsrechnungen des Computerprogramms Effects (Version 9.0.18). Dargestellt sind pro Szenario:

Letalitätskontur „outdoor“:

- meteorologische Situation 1: 0.5 m/s Wind, Stabilität D
- meteorologische Situation 2: 0.5 m/s Wind, Stabilität F
- meteorologische Situation 3: 3.3 m/s Wind, Stabilität D
- meteorologische Situation 4: 3.3 m/s Wind, Stabilität F

Letalitätskurven

- „outdoor“ mit allen meteorologischen Bedingungen
- „indoor“ mit allen meteorologischen Bedingungen

In die Modellrechnungen sind folgende relevanten Parameter miteingeflossen

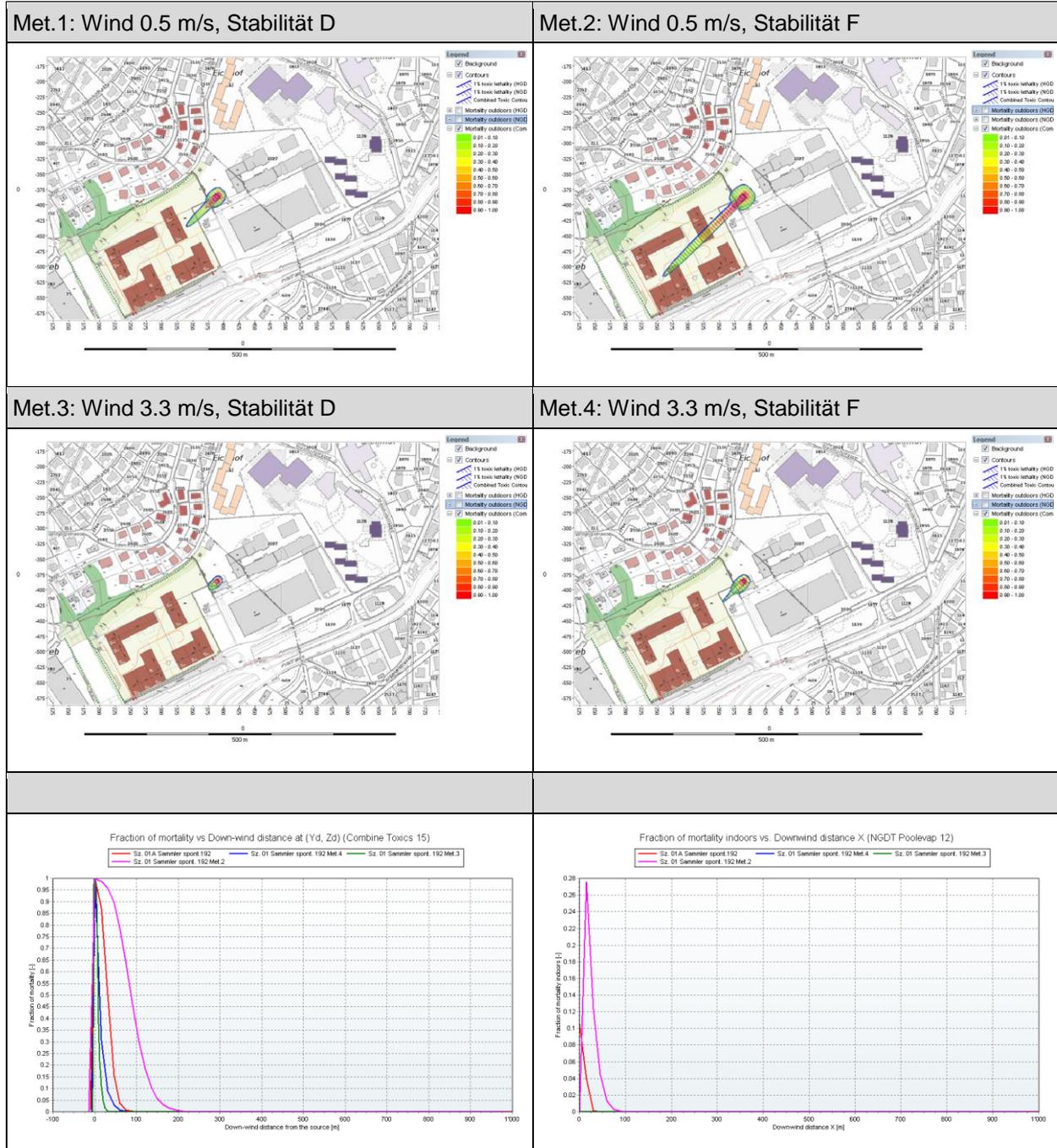
Umgebungstemperatur:	20°C
Oberflächenrauigkeit:	1.0 m
relative Luftfeuchtigkeit:	70%
Umgebungsdruck:	1.01 bar
Luftwechselrate:	2/h
max. Zeit bis zum Schutz:	15 min allgemein, Alterswohnungen/Pflegeheim 30 min

Modellwahl:

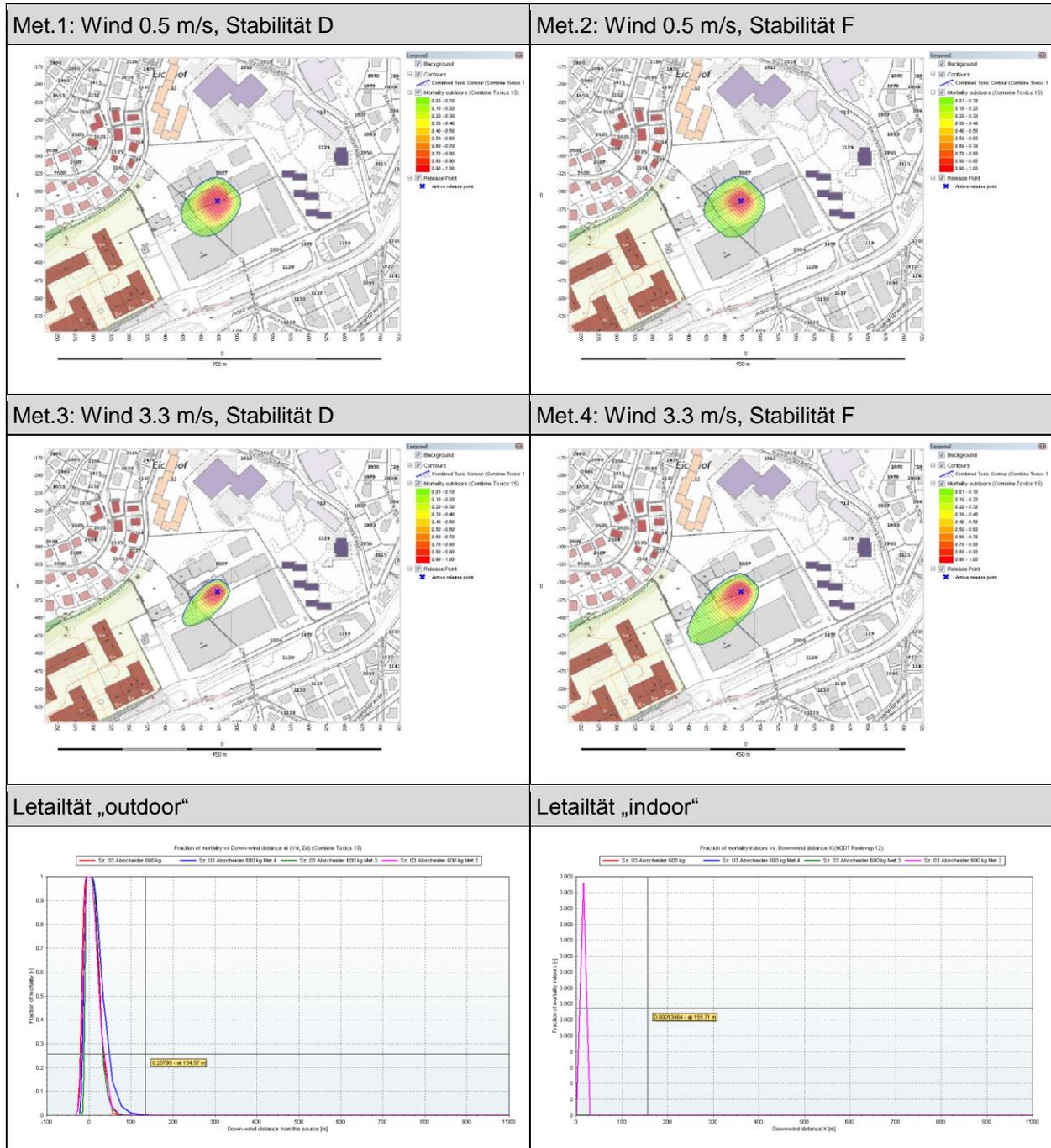
Szenario 1/2:	Liquified gas LOC scenerio instantaneous release (G1)
Szenario 3-5 :	Dense Gas Dispersion : Toxic Dose (5.13)

Detailliertere Informationen zu den Ausbreitungsrechnungen können bei Roos+Partner nachgefragt werden.

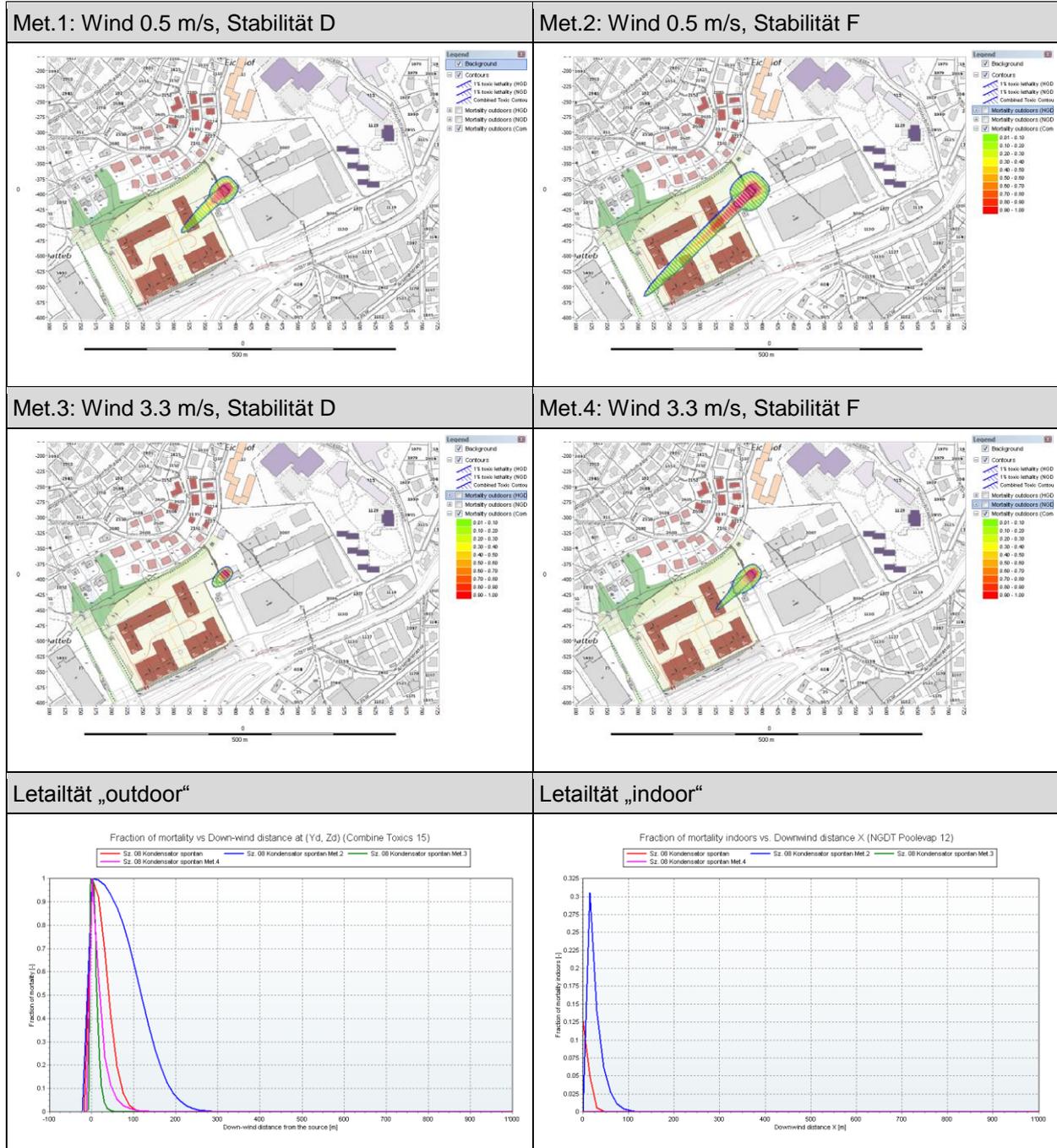
Szenario 1: Spontane Freisetzung aus Sammler, Austritt auf Dach 15m über Boden, 230 kg



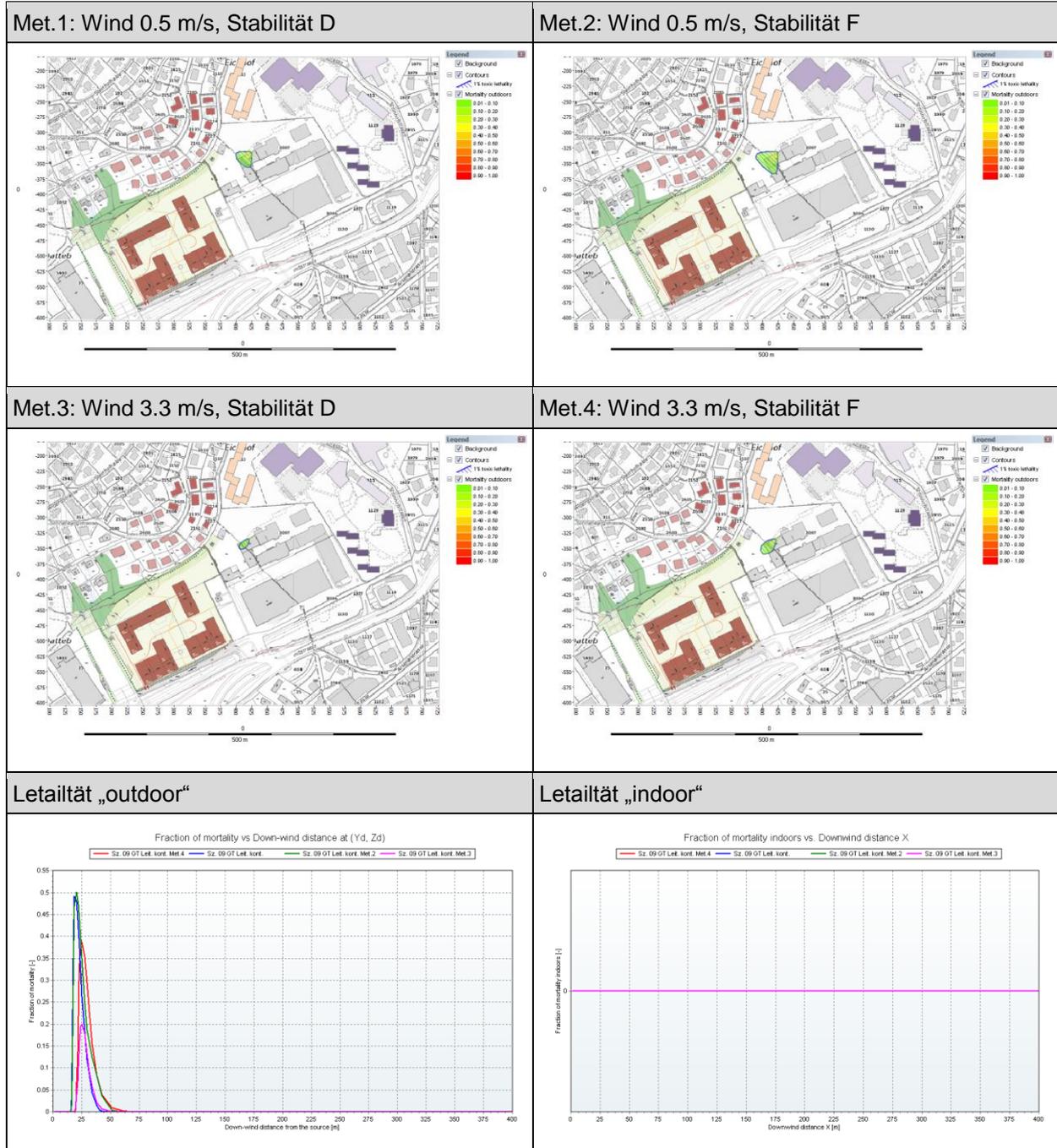
Szenario 2: Spontane Freisetzung aus Abscheider in Auffangwanne mit Austritt über Kamin (40 m) an die Umwelt, 600 kg



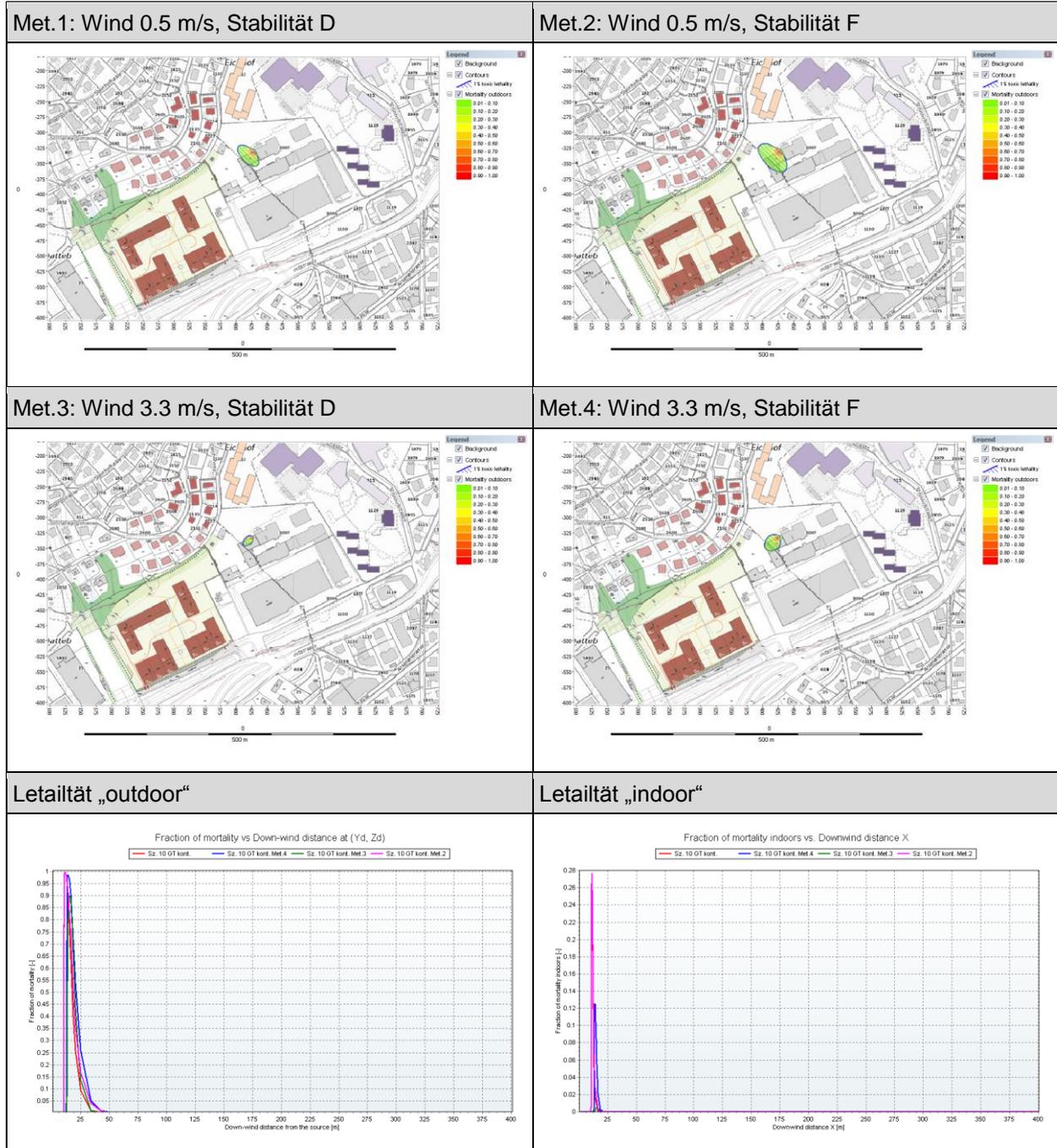
Szenario 3: Spontane Freisetzung aus Kondensator 600 kg 15 m über Boden



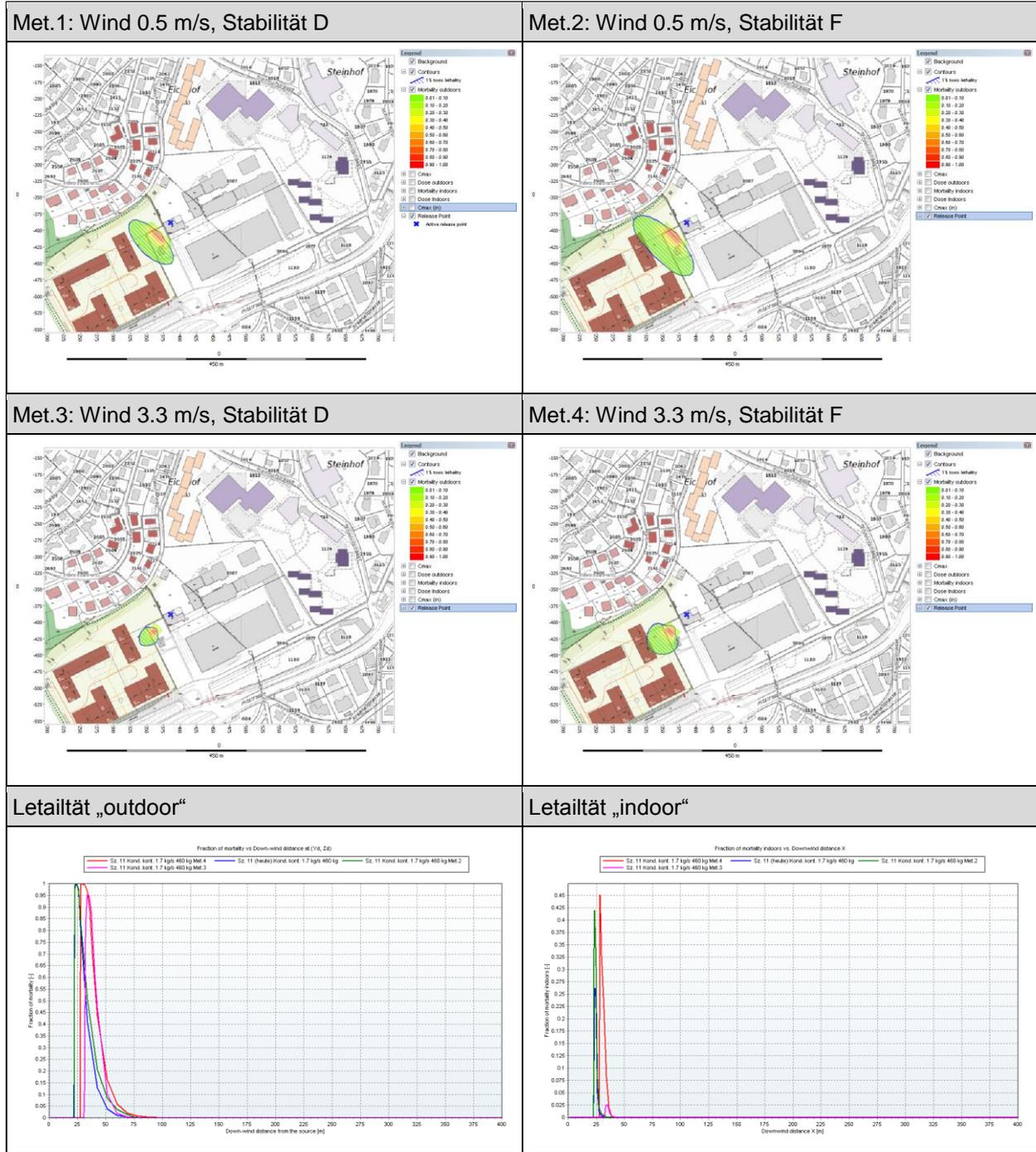
Szenario 4: kontinuierliche Freisetzung aus GT-Leitungen (118 kg mit 1.7 kg/s) 5 m über Boden



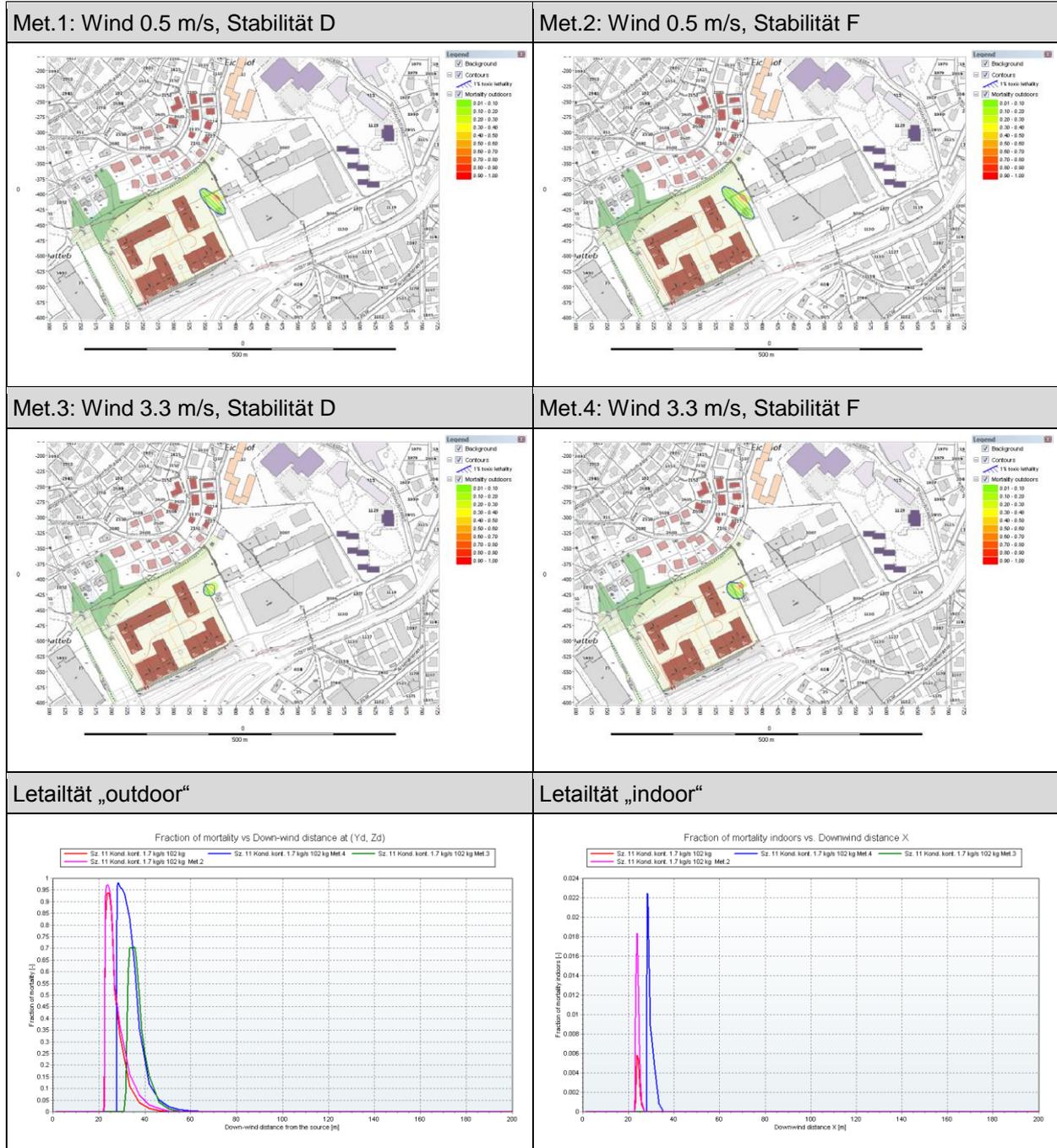
Szenario 5: kontinuierliche Freisetzung aus Gärtanks (144 kg mit 0.6 kg/s) 5 m über Boden



Szenario 6 – Ist-Situation: kontinuierliche Freisetzung aus Kondensator (460 kg mit 1.7 kg/s)



Szenario 6 – Variante A: kontinuierliche Freisetzung aus Kondensator (102 kg mit 1.7 kg/s)



Szenario 1 (Var. B+): Spontane Freisetzung aus Sammler via Kamin, Austritt auf Dach 25m über Boden, 230 kg

