



Anleitung zur Herleitung von Störfallszenarien

1. Einleitung

Bei einem Störfall können grössere Mengen an gefährlichen Stoffen¹ und/oder Energie, z. B. in Form von Wärmestrahlung, in kurzer Zeit freigesetzt werden. Um die Auswirkungen infolge von Störfällen abzuschätzen, werden Störfallszenarien betrachtet. Unter einem Störfallszenario versteht man «eine auf der Basis realer Gegebenheiten des Betriebs und seiner Umgebung angenommene Abfolge von Ursachen und Ereignissen [Ereignisabfolge], die zu erheblichen Einwirkungen und damit zu Schädigungen der Bevölkerung oder der Umwelt ausserhalb des Betriebsareals führen kann». Mit der Darstellung von solchen Ereignisabfolgen soll im Formular Untersuchungseinheit «UE» des Kurzberichts abgeklärt werden, ob bei einem Betrieb ggf. *schwere Schädigungen* in Folge von Störfällen zu erwarten sind oder nicht.

In dieser Anleitung soll die Herleitung von Störfallszenarien erläutert werden und insbesondere auf die Frage eingegangen werden, welche Aspekte bei Störfallszenarien relevant sind und welche nicht zu berücksichtigen sind. Dazu werden im ersten Teil (Ziff. 2) Grundsätze zur Bildung von Störfallszenarien dargestellt, im zweiten Teil (Ziff. 3) wird die Ereignisabfolge (resp. die «Grundbausteine») eines Störfallszenarios erklärt und im letzten Teil (Ziff. 4) die Herleitung eines Störfallszenarios an einem Beispiel veranschaulicht.

2. Grundsätze

Bei der Wahl, Herleitung und Betrachtung der Störfallszenarien sind die folgenden Grundsätze (GS) zu beachten:

1. Es sind nur Störfallszenarien mit Stoffen zu betrachten, deren Höchstmengen auf dem gesamten Betriebsareal die entsprechenden Mengenschwellen überschreiten.
Bei Betrieben, die durch die Vollzugsbehörde der Störfallverordnung (StFV) unterstellt wurden², müssen diejenigen Stoffe in Störfallszenarien betrachtet werden, die zur Unterstellung des Betriebs geführt haben.
Die sich aus diesem Grundsatz ergebenden Stoffe werden im Folgenden als «störfallrelevante Stoffe» bezeichnet.
2. Von den störfallrelevanten Stoffen werden zur Szenarienbildung nur die i. S. der StFV relevanten Gefahren berücksichtigt. Konkret heisst dies:
 - Bei *Stoffen* und *Zubereitungen*, deren Mengenschwelle nach den in Anhang 1.1 Ziff. 4 StFV festgelegten Kriterien ermittelt wird, sind nur diejenigen Gefahrenhinweise (H-/EUH-Codes) zu beachten, die in Anh. 1.1 Ziff. 4 StFV aufgeführt sind.
 - Bei *Stoffen* und *Zubereitungen* mit in Anh. 1.1 Ziff. 3 StFV festgelegten Mengenschwellen sowie *Sonderabfällen* sind die i. S. der StFV relevanten Gefahren fallspezifisch abzuklären.
 - Bei *hochaktiven Stoffen* sind die i. S. der StFV relevanten Gefahren aus Anh. 1.1 Ziff. 5 StFV abzuleiten.

¹ Sofern nicht anders präzisiert, wird der Begriff *Stoff(e)* in diesem Dokument als Sammelbegriff für *Stoffe*, *Zubereitungen* und *Sonderabfälle* verwendet.

² Eine Unterstellung durch die Vollzugsbehörde aufgrund des Gefahrenpotentials kommt nur in Einzelfällen vor, und zwar bei Betrieben mit Stoffen, Zubereitungen oder Sonderabfällen, in denen keine Mengenschwellen nach Anhang 1.1 überschritten werden (Art.1 Abs. 3 Bst. a StFV).

3. Es sind diejenigen Störfallszenarien zu betrachten, die nach menschlichem Ermessen durch betriebliche und umgebungsbedingte Ursachen ausgelöst werden können³. Im Formular «UE» ist dann für die entsprechende störfallrelevante Untersuchungseinheit im Hinblick auf die betroffenen Schutzobjekte (*Bevölkerung, Oberirdische Gewässer und Unterirdische Gewässer [Grundwasser]*) jeweils dasjenige realistische Störfallszenario darzulegen, welches zu den schlimmstmöglichen Schädigungen und somit zum grössten Ausmass führt (sogenanntes «Worst Case-Szenario»), unabhängig der i. d. R. sehr kleinen Eintretenswahrscheinlichkeiten. Auf unmögliche Szenarien sowie «Horror-Szenarien» ist jedoch zu verzichten. Die Wahl der Szenarien ist nachvollziehbar zu begründen.
4. Bei Stofffreisetzungen aus Behältern, Anlagen, Rohren, Verpackungen etc. (allg. als Stoffumschliessung bezeichnet) wird i. d. R. angenommen, dass die grösste zusammenhängende Menge freigesetzt wird. Beim Umschlag wird die Freisetzungsmenge einer ganzen Transporteinheit (z. B. Inhalt aller Gebinde auf einem Palett) betrachtet.
5. Bei der Betrachtung der möglichen Ausbreitungsvorgänge eines Stoffs sind konservative, jedoch realistische Annahmen zu treffen (z. B. bez. meteorologischer Bedingungen bei gasförmigen Stoffen).
6. Im Sinne einer konservativen Betrachtung ist anzunehmen, dass alle *aktiven* Sicherheitsmassnahmen (technische Einrichtungen, Steuerungen, organisatorische Massnahmen, die nicht in jedem Fall funktionstüchtig bleiben⁴) entlang der Ereignisabfolge versagen bzw. nicht rechtzeitig eingreifen. Hingegen sind *passive*⁵ Sicherheitsmassnahmen, welche in jedem Fall funktionstüchtig bleiben, zu berücksichtigen.
7. Bei der Einschätzung des Ausmasses sind nur diejenigen Schädigungen zu betrachten, die eine direkte Folge des Störfalls darstellen.

Aus den Grundsätzen Nr. 6 und 7 geht hervor, dass die Handhabung von (durch aktives Löschen erzeugtem) kontaminiertem Löschwasser grundsätzlich nicht in den Störfallszenarien zu beschreiben ist.

Die Handhabung von (kontaminiertem) Löschwasser ist im Löschwasser-Rückhaltekonzept z. Hd. des Amts für Wasser und Abfall (AWA) zu beschreiben⁶.

8. Die nach menschlichem Ermessen möglichen Dominoeffekte (primäres Ereignis, welches Auslöser eines sekundären Ereignisses ist) in und/oder zwischen Untersuchungseinheiten auf dem Betriebsareal sind zu berücksichtigen, insbesondere falls sich das Ausmass für die Bevölkerung oder die Umwelt bei einer solchen Wechselwirkung erhöhen könnte⁷.
9. In Bezug auf das Schutzobjekt Bevölkerung ist die Anzahl exponierter Personen (Personenbelegung) ausserhalb des Betriebsareals konservativ abzuschätzen. Die Einschätzung des Ausmasses der möglichen Schädigungen ist sowohl für den gegenwärtigen als auch für den zukünftigen Zustand der Umgebung des Betriebs anzugeben. Als zukünftiger Zustand gilt die zu erwartende Siedlungsentwicklung gemäss dem aktuell rechtsgültigen Planungsstand, d. h. unter Berücksichtigung der gemäss geltender

³ Für einige Anlage-Typen sind die zu betrachtenden Störfallszenarien in den entsprechenden Rahmenberichten formuliert.

⁴ Inkl. Intervention des Personals oder der Feuerwehr, Gaswarnanlagen, Brandmeldeanlagen, automatische Sprinkler- oder Löschanlagen, pH-gesteuerte Schieber usw. sowie Alarmierung der Bevölkerung.

⁵ Als passive Sicherheitsmassnahmen sind diejenigen Einrichtungen zu bezeichnen, die zu ihrer Funktionsweise weder Fremdenergie (z. B. Elektrizität oder manuelle Bedienung) noch Fremdinformationen (z. B. Ansteuerung durch einen Detektor oder manuelle Auslösung) benötigen: Auffangwannen, bauliche Rückhalteeinrichtungen ohne Abfluss, Schutzwälle, Entlastungsöffnungen/Sollbruchstellen (Ausblasöffnungen), Brandmauern und brandabschnittsbildende Wände etc.

⁶ Das KL geht davon aus, dass ein durch die zuständige Behörde genehmigtes und tatsächlich umgesetztes Löschwasser-Rückhaltekonzept genügend sorgfältig ausgearbeitet wurde, damit die eingesetzten (u. U. aktiven) Sicherheitsmassnahmen (z. B. Auslösen einer Sprinkleranlage) nicht zu grösseren Schädigungen der Umwelt führen, als diejenigen, die ohne Eingreifen zu erwarten wären.

⁷ Hinweis: Löst ein primäres Ereignis in der störfallrelevanten Untersuchungseinheit «1» i. S. eines Dominoeffektes ein sekundäres Ereignis in der störfallrelevanten Untersuchungseinheit «2» aus, sind die sich aus der zweiten Untersuchungseinheit ergebenden Folgen für die Bevölkerung oder die Umwelt im Formular «UE 2» zu beschreiben.

Nutzungsplanung noch nicht ausgeschöpften baulichen Möglichkeiten. Dies erübrigt sich, wenn keine relevanten Einwirkungen ausserhalb des Betriebsareals zu erwarten sind.

10. Die möglichen Schädigungen sind quantitativ abzuschätzen, d. h. die Schwere der Schädigungen ist als Ausmass mittels Störfallwertes (StFW) auszudrücken.
11. Die Herleitung und Dokumentation der Störfallszenarien muss nachvollziehbar und plausibel sein. Angaben über die verwendeten Grundlagen und Methoden sind zu nennen (z. B. verwendete Modelle, Statistiken, Erfahrungswerte, Literaturhinweise etc.). Szenarien und weitere Angaben, die aus der Optik der Störfallvorsorge nicht relevant sind, sind im Kurzbericht nicht aufzuführen⁸.

3. Herleitung von Störfallszenarien

Der Ablauf zur Szenarienbildung ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt. Grundvoraussetzung für ein Störfallszenario ist, dass mindestens ein störfallrelevanter Stoff (gem. GS Nr. 1) im Ereignis involviert ist.

→ Brennt z. B. in einem Betrieb im Geltungsbereich der StFV ein Gebäudeteil vollständig ab, ohne dass störfallrelevante Stoffe in Mitleidenschaft gezogen werden – es erfolgt weder eine (teilweise) Freisetzung dieser Stoffe noch brennen diese ggf. selber ab –, ist dieser Vorfall nicht als Störfall zu bezeichnen.

Ausgangspunkt bei Störfallszenarien ist jeweils ein realistischer, nach menschlichem Ermessen möglicher Auslöser (Abbildung 1, **A**) für ein Initialereignis⁹ (**B**). Das Initialereignis kann durch *betriebliche* oder *umgebungsbedingte* Ursachen ausgelöst werden und stellt i. d. R. entweder eine unbeabsichtigte Explosion¹⁰ resp. eine unbeabsichtigte Entzündung¹⁰ oder eine unbeabsichtigte Freisetzung von gefährlichen Stoffen dar. Für die systematische Suche nach Ursachen gibt es in der Literatur sowohl intuitive wie induktive und deduktive Methoden¹¹.

→ Die Freisetzung von Stoffen steht in den meisten Fällen mit einem Versagen der Stoffumschliessung (z. B. Behälterversagen) in Zusammenhang. So kann z. B. bei einem Lagertank durch Materialkorrosion oder bei einem Brand in einem Gebäude (betriebliche Ursache), bei einem Rohr durch Versagen einer Schweisssnaht infolge eines Erdbebens (umgebungsbedingte Ursache) oder beim Umschlag eines IBC¹² durch eine menschliche Fehlhandlung ein Leck entstehen, wodurch ein Stoff freigesetzt wird (Initialereignis).

→ Nicht in jedem Fall steht das Versagen der Stoffumschliessung mit anschliessender Freisetzung als Initialereignis im Vordergrund. So können z. B. infolge einer nicht beabsichtigten Zugabe von Chemikalien (Ursache) toxische Stoffe aus einem Prozessbad ausgasen (Initialereignis).

In jedem Fall ist situations- und stoffspezifisch abzuklären, welche möglichen (Störfall-)Ursachen zu welchen Initialereignissen führen können.

⁸ Dies bedeutet nicht, dass sich der Inhaber des Betriebs nicht mit möglichen Vorfällen oder Störungen im Rahmen des Sicherheitsmanagements auseinandersetzen muss. In den Störfallszenarien sind jedoch nur Angaben, die aus der Optik der Störfallvorsorge relevant sind, aufzuführen.

⁹ Bei der Ereignisbaumanalyse entspricht das Initialereignis dem sogenannten «Top-Event».

¹⁰ Verlust der physikalischen Integrität

¹¹ Z. B.: «What-if»-Analyse, Hazard and Operability study (HAZOP), Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), Fehlerbaumanalyse etc.

¹² *Intermediate Bulk Container* (Grosspackmittel)

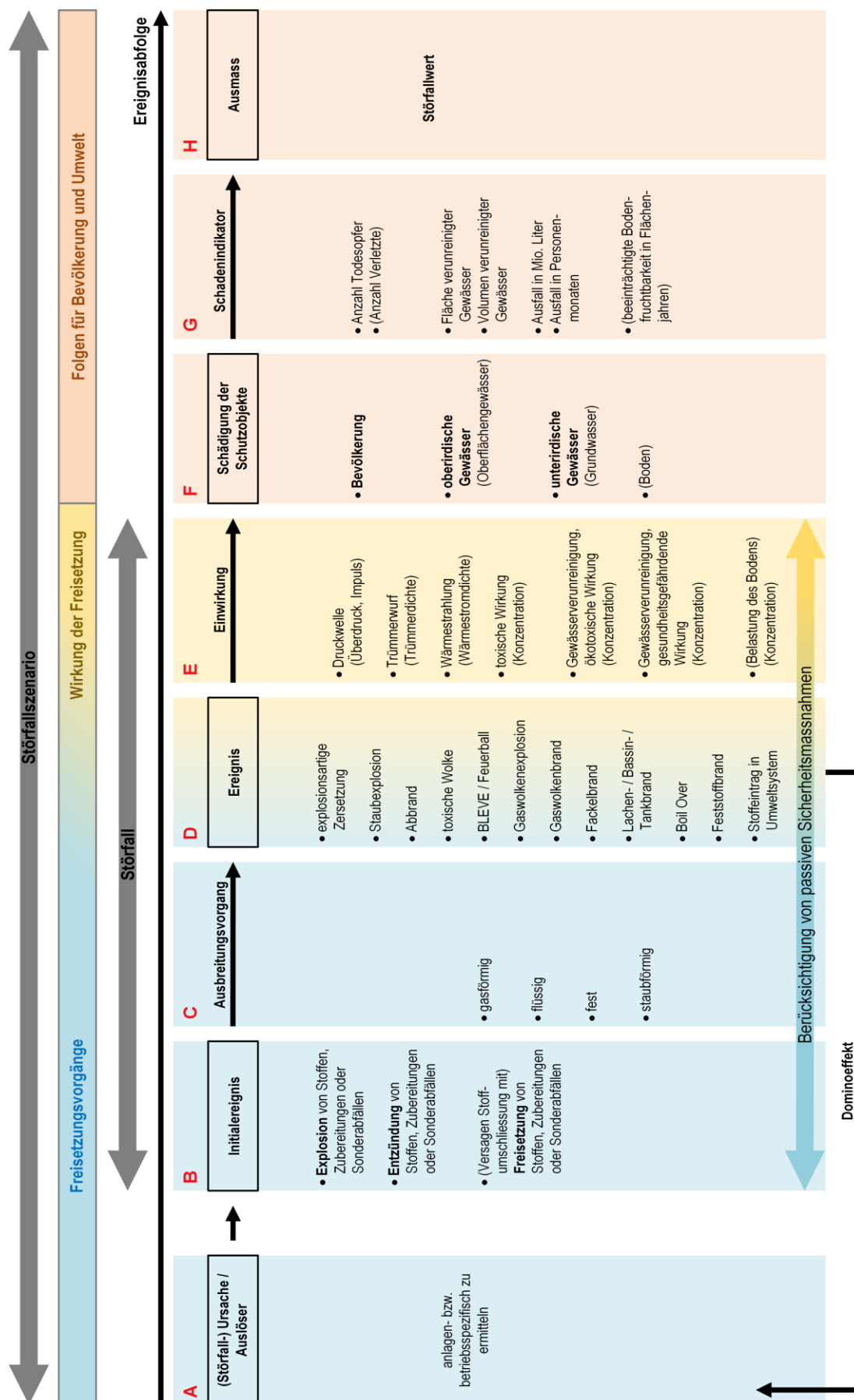


Abbildung 1: Allgemeines Schema zur Betrachtung und Herleitung von Störfallszenarien. Es ist im Einzelfall zu prüfen, ob das hier abgebildete Schema für den jeweils vorliegenden Fall verwendet werden kann oder orts- resp. stoffspezifisch angepasst oder ergänzt werden muss.

Im Fall einer Stofffreisetzung (z. B. Leckage) ist es für die Betrachtung des Ausbreitungsvorgangs **(C)** wichtig abzuklären:

- in welchem Aggregatzustand die Freisetzung erfolgt;
- ob es sich um eine spontane oder kontinuierliche Freisetzung handelt¹³;
- ob die Freisetzung im Inneren eines Gebäudes oder direkt ins Freie erfolgt (besonders im Fall von Gasen);
- ob die Freisetzung und/oder Ausbreitung durch *passive* Sicherheitsmassnahmen (Auffangwannen, Rückhaltebecken, Brandabschnittsbildung etc.) begrenzt werden kann (besonders bei flüssigen Stoffen);
- wie sich der Stoff unter Umgebungsbedingungen verhält (z. B. Verdampfung von druckverflüssigten Gasen oder Verdunstung von flüchtigen Stoffen).

Falls eine Eindämmung des Freisetzungsvorgangs mittels *passiver* Sicherheitsmassnahmen¹⁴ nicht oder nur teilweise möglich ist, ist zu ermitteln, welche Menge des Stoffs sich weiter und wohin ausbreiten kann.

Die möglichen Ausbreitungsdistanzen mit den entsprechenden Konzentrationen freigesetzter Stoffe in der Luft, im Wasser oder im Boden sind durch nachvollziehbare Ausbreitungsüberlegungen und -berechnungen aufzuzeigen, wobei konservative Annahmen z. B. für die meteorologischen Bedingungen zu treffen sind (GS Nr. 5). Die verwendeten Ausbreitungsmodelle und die getroffenen Annahmen sind anzugeben. Ggf. ist darzustellen, wie stark die Resultate auf Parameteränderungen reagieren (Sensitivitätsanalyse).

Die möglichen, zu betrachtenden Ereignisse **(D)** ergeben sich aus den physikalischen Eigenschaften der jeweiligen Stoffe (z. B. [leicht] flüchtig, entzündbar) sowie deren i. S. der StfV relevanten Gefahren (GS Nr. 2). Weist ein Stoff mehrere i. S. der StfV relevante Gefahren auf, die zu unterschiedlichen Ereignissen führen können, werden u. U. mehrere Störfallszenarien benötigt.

- Im Fall einer Explosion ist das Initialereignis **(B)** und das Ereignis **(D)** das gleiche Phänomen.
- Weist ein flüssiger, mässig flüchtiger Stoff beispielsweise die Gefahrenhinweise H225 (Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar) und H319 (Verursacht schwere Augenreizung) auf, so ist bei einer Freisetzung als Ereignis ein Lachenbrand zu betrachten, da nur der Gefahrenhinweis H225 in Anh. 1.1 Ziff. 4 StfV aufgeführt wird und somit i. S. der StfV relevant ist; die Betrachtung einer toxischen Wolke oder eines Eintrags in die Umwelt macht für diesen Stoff aus der Optik der Störfallvorsorge keinen Sinn⁸.
- Weist ein Stoff mehrere in Anh. 1.1 Ziff. 4 StfV aufgeführte Gefahrenhinweise auf, überschreitet die Höchstmenge des Stoffs jedoch nicht alle diesbezüglichen Mengenschwellen, so sind primär Ereignisse zu betrachten, die sich aus den Gefahrenhinweisen mit überschrittenen Mengenschwellen ergeben. Sekundär können weitere Ereignisse, die sich aus Gefahrenhinweisen ohne überschrittene Mengenschwelle ergeben, betrachtet werden. Weist bspw. ein Stoff mit einer Höchstmenge von 4'000 kg die Gefahrenhinweise H225 (Mengenschwelle: 20'000 kg) und H331 (Giftig bei Einatmen; Mengenschwelle: 2'000 kg) auf, so ist in erster Linie als Ereignis eine toxische Wolke zu betrachten, da die Mengenschwelle des entsprechenden Gefahrenhinweises H331 überschritten wird. Da aber auch der Code H225 in Anh. 1.1 Ziff. 4 StfV aufgeführt wird, kann ebenfalls z. B. ein Lachenbrand betrachtet werden.
- Weist ein Stoff mehrere in Anh. 1.1 Ziff. 4 StfV aufgeführte Gefahrenhinweise auf und überschreitet die Höchstmenge des Stoffs alle diesbezüglichen Mengenschwellen, sind alle Ereignisse zu betrachten, die sich aus diesen Gefahrenhinweisen ergeben. Weist bspw. ein Stoff mit einer Höchstmenge von 21'000 kg die Gefahrenhinweise H220 (Extrem entzündbares Gas, Mengenschwelle 20'000 kg) und H331 auf, so ist als Ereignis z. B. eine Gaswolkenexplosion und eine toxische Wolke zu betrachten.
- Der Stoffeintrag eines ökotoxischen Stoffs in ein Gewässer ist nur dann in Störfallszenarien abzubilden, wenn der Stoff einen der in Anh. 1.1 Ziff. 43 StfV aufgelisteten Gefahrenhinweise H400, H410 oder H411 aufweist. Weist ein Stoff keinen oder einen übrigen H-Code der H400-Reihe auf, so stellen diesbezügliche Abklärungen eine Angelegenheit des ordentlichen Gewässerschutzes und nicht der Störfallvorsorge dar.

Die relevanten Einwirkungen **(E)** auf Schutzobjekte lassen sich aus den Ereignissen ableiten, wobei je nach Schutzobjekt andere Einwirkungen massgebend sind.

¹³ I. d. R. macht es Sinn, kontinuierliche Freisetzungen nur bei gasförmigen Stoffen zu betrachten. Bei flüssigen sowie festen Stoffen ist auf Stufe Kurzbericht meistens von einer spontanen Freisetzung auszugehen.

¹⁴ Aktive Rückhaltmassnahmen werden nicht berücksichtigt, d. h. man geht a priori davon aus, dass Sicherheitseinrichtungen wie automatische/manuelle Schieber, Absperrrichtungen, Detektoren etc. versagen (GS Nr. 6).

- Bezüglich des Schutzobjekts Bevölkerung können Schädigungen beispielsweise durch folgende Einwirkungen erfolgen:
 - Druckwellen und Trümmerwurf (z. B. infolge von Explosionen),
 - Wärmestrahlung (z. B. infolge eines BLEVE mit anschliessendem Feuerball oder infolge von Lachenbränden) oder
 - toxische Wirkung von Stoffen (z. B. infolge der Ausbreitung einer toxischen Wolke)¹⁵.
- Bezüglich des Schutzobjekts Oberirdische Gewässer erfolgen Schädigungen durch:
 - Verunreinigungen des Gewässers durch ökotoxische Stoffe und/oder
 - Verunreinigungen des Gewässers mit Stoffen, die eine Gesundheitsgefährdung darstellen, falls das Gewässer zur öffentlichen Trinkwassergewinnung beiträgt (Art. 3 TBDV¹⁶).
- Beim Schutzobjekt Unterirdische Gewässer (Grundwasser) erfolgen Schädigungen durch Verunreinigungen des Gewässers mit Stoffen, die eine Gesundheitsgefährdung darstellen, falls das Wasser für die öffentliche Trinkwasserversorgung genutzt wird (Art. 3 TBDV¹⁶).

Die Einwirkungen sind durch nachvollziehbare Wirkungsüberlegungen und -berechnungen aufzuzeigen. Allfällige *passive* Sicherheitsmassnahmen an der Quelle (z. B. Brandschutzmauern, die Wärmestrahlung abschirmen, oder Schutzwälle, die einen Teil des Trümmerwurfs aufnehmen), mit denen die Einwirkungen verringert werden können, sind zu berücksichtigen. Die in den Wirkungsmodellen verwendeten Parameter sowie weitere getroffene Annahmen zur Einschätzung der Einwirkungen sind zu beschreiben. Ggf. ist darzustellen, wie stark die Resultate auf Parameteränderungen reagieren (Sensitivitätsanalyse).

Es ist explizit festzuhalten, welche Einwirkungen in Funktion vom Abstand zur Untersuchungseinheit zu erwarten sind.

- Bei einem Lachenbrand ist z. B. die Wärmestromdichte in Funktion des Abstands zu berechnen, bei einer Explosion muss bspw. die Trümmerdichte und der Überdruck in Abhängigkeit des Abstands angegeben werden und bei einer toxischen Wolke sind die maximalen Konzentrationen in Abwindrichtung zu ermitteln.

Zudem sind diejenigen Distanzen zu ermitteln, bei denen die schädigende Einwirkung soweit abgeklungen ist, dass Schädigungen von Schutzobjekten vernachlässigt werden können¹⁷.

- Bei einer toxischen Wolke ist diejenige Distanz anzugeben, bei der die Letalität von ggf. anwesenden Personen aufgrund der vorhandenen Konzentrationen des toxischen Stoffs unter z. B. 1 Prozent fällt.

Die durch Einwirkungen hervorgerufenen Schädigungen (**F**) werden i. d. R. bezüglich der drei Schutzobjekte *Bevölkerung*, *Oberirdische Gewässer* und *Unterirdische Gewässer (Grundwasser)* untersucht, nur in begründeten Ausnahmefällen können das Schutzobjekt *Boden* und ggf. weitere Schutzobjekte herangezogen werden.

- Bez. des Schutzobjekts Bevölkerung können Einwirkungen in Form von Wärmestrahlung bspw. zu Schädigungen in Form von (letalen) Verbrennungen führen.

Für die Einschätzung der Schädigungen sind konservative Annahmen bez. der Exposition der Bevölkerung in den Gefahrenbereichen (Bereiche mit schädlichen Einwirkungen) und der Umwelt zu treffen. Wesentliche chemische und biologische Umwandlungen (z. B. Pyrolyse, Hydrolyse), die Topographie sowie die Schutzwirkung allfälliger Hindernisse am Einwirkungsort können berücksichtigt werden.

¹⁵ Die Einwirkungen infolge Brandgase sind nur in begründeten Ausnahmefällen zu betrachten, da die bei einem Brand entstandenen, ggf. toxischen Wolken aufgrund des grossen Auftriebs i. d. R. keine bedeutsame Rolle spielen.

¹⁶ Verordnung vom 16. Dezember 2016 des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV; SR 817.022.11). Im Fall von Verunreinigungen, die eine Gesundheitsgefährdung darstellen, spricht die TBDV von «Kontaminanten».

¹⁷ Im Hinblick auf das Schutzobjekt Bevölkerung ist i. d. R. diejenige Distanz zu bestimmen, bei der noch 1 Prozent der ggf. anwesenden Personen eine Schädigung erleidet.

- Einerseits ist zu beachten, dass Schädigungen eines Schutzobjekts nur möglich sind, falls ein Schutzobjekt tatsächlich exponiert ist resp. im Bereich möglicher Einwirkungen liegt.

→ Bei einem Fackelbrand mit grosser Wärmestrahlung kann nur eine Schädigung der Bevölkerung auftreten, falls angenommen werden muss, dass sich auch tatsächlich Personen im entsprechenden Gefahrenbereich aufhalten.

→ Das Schutzobjekt Grundwasser kann nur geschädigt werden, falls ein Grundwasservorkommen vorhanden ist, welches eine Fassung der öffentlichen Trinkwasserversorgung alimentiert¹⁸.

Das Fehlen eines Schutzobjekts entbindet den Inhaber des Betriebs nicht von der Ausarbeitung eines Störfallszenarios. Kann mit der Betrachtung der Freisetzungsvorgänge sowie der Wirkung der Freisetzung (Schritte **A** bis **E**) jedoch gezeigt werden, dass keine Schädigungen von Schutzobjekten resultieren, kann auf die Betrachtung der Folgen für Bevölkerung und Umwelt (Schritte **F** bis **H**) verzichtet werden.

Falls Schädigungen von Schutzobjekten fall- und ortsspezifisch ohne weitere Abklärungen ausgeschlossen werden können, ist dies nachvollziehbar zu begründen und zu dokumentieren.

- Andererseits werden nur Schädigungen betrachtet, die von einer störfallrelevanten Einwirkung verursacht werden.

→ Z. B. werden bei einem Brand von entzündbaren Stoffen bez. des Schutzobjekts Bevölkerung Schädigungen infolge der Wärmestrahlung betrachtet, jedoch nicht Schädigungen aufgrund von Brandgasen¹⁵.

- Weiter ist zu beachten, dass nur Schädigungen zu betrachten sind, die eine direkte Folge des Störfalls sind (GS Nr. 7).

→ Wird beispielsweise durch einen Brand (Auslöser) eine ökotoxische aber nicht brennbare Flüssigkeit freigesetzt, so sind in den Störfallszenarien die möglichen Schädigungen von Gewässern zu untersuchen, die Einwirkungen des Brandes selbst auf Personen im und ausserhalb des Betriebsareals stellen in diesem Fall eine Angelegenheit des ordentlichen Brandschutzes und nicht der Störfallvorsorge dar.

Störfälle können verschiedene Schädigungen von Schutzobjekten verursachen, wobei die Art der Schädigung durch den Schadenindikator (**G**) erfasst und quantitativ ausgedrückt wird (GS Nr. 10).

- Bezüglich des Schutzobjekts Bevölkerung wird zwischen dem Schadenindikator *Anzahl Todesopfer* und *Anzahl Verletzte* unterschieden, wobei i. d. R. nur der Schadenindikator Anzahl Todesopfer verwendet wird.
- Bei Oberirdischen Gewässern werden die Folgen der Einwirkungen durch die Schadenindikatoren *Fläche verunreinigter Gewässer*¹⁹ oder *Volumen verunreinigter Gewässer*²⁰ ausgedrückt.
- Bei Unterirdischen Gewässern (Grundwasser) kommen die Schadenindikatoren *Ausfall in Mio. Liter* resp. *Ausfall in Personenmonaten* zur Anwendung.
- In begründeten Ausnahmefällen können Schädigungen des Bodens betrachtet werden, wobei der Schadenindikator *Beeinträchtigte Bodenfruchtbarkeit*, ausgedrückt in Flächenjahren, verwendet wird.

¹⁸ Aus Vollzugsgründen und aus dem Blickwinkel des Katastrophenschutzes wird eine Trinkwasserförderleistung von kleiner 2'500 l/min als Ausschlusskriterium für Störfallbetrachtungen verwendet. D. h., dass lediglich Gewässerschutzzonen S mit Fassungen der öffentlichen Trinkwasserversorgung im Bereich möglicher Einwirkungen berücksichtigt werden, deren kumulierte Förderleistung $\geq 2'500$ l/min beträgt. Dabei werden nur Fassungen mit konzessionierter Fördermenge ≥ 500 l/min kumuliert. Siehe Modul *Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung (StFV)*²¹ des Handbuchs zur StFV.

¹⁹ Der Schadenindikator *Fläche verunreinigter Gewässer* wird i. d. R. bei flüssigen Stoffen verwendet, die schlecht wasserlöslich sind sowie eine geringere Dichte als Wasser aufweisen und somit die Wasseroberfläche verunreinigen (z. B. Mineralölprodukte).

²⁰ Die ökotoxische Wirkung ist in jedem Fall anhand der LC₅₀- bzw. EC₅₀-Konzentration zu betrachten. Trägt das Gewässer zudem zur öffentlichen Trinkwassergewinnung bei, ist das verunreinigte Volumen anhand der Höchstwerte gemäss TBDV zu ermitteln. Im Formular «UE» ist dann das grösste Ausmass bzw. der grösste Störfallwert anzugeben.

Je nach Schutzobjekt und Art der Einwirkung ist der geeignete Schadenindikator zu wählen. Für diesbezüglich detaillierte Informationen wird auf das Modul *Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung (StFV)*²¹ des Handbuchs zur StFV verwiesen.

Damit die Schwere der Schädigungen unter den verschiedenen Schutzobjekten vergleichbar wird und schlussendlich festgehalten werden kann, ob *schwere Schädigungen* in Folge von Störfällen zu erwarten sind, wird das Ausmass der Schädigungen mittels Störfallwertes (**H**) quantifiziert. Entsprechende Umrechnungsformeln sind im Anhang A3 des Moduls *Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung (StFV)*²¹ des Handbuchs zur StFV zu finden.

→ Falls in einem Störfallszenario bez. des Schutzobjekts Bevölkerung beispielsweise mit 10 Todesopfern zu rechnen ist, ergibt dies einen Störfallwert von 0.3, was der Schwelle zu *schweren Schädigungen* entspricht.

4. Beispiel

Die Höchstmenge eines fiktiven, flüssigen Stoffs «X» auf dem Betriebsareal beträgt 4'000 kg, diejenige eines Stoffs «Y» 15'000 kg. Die entsprechenden Eigenschaften und Gefahrenhinweise der beiden Stoffe werden in Tabelle 1 aufgeführt.

Beide Stoffe «X» und «Y» werden jeweils in einem im Freien aufgestellten Tank separat voneinander gelagert. In der unmittelbaren Umgebung des Betriebs befindet sich ein Bach, dieser mündet jedoch nicht in ein oberirdisches Gewässer, welches zur öffentlichen Trinkwassergewinnung beiträgt. Grundwasservorkommen, welche Fassungen der öffentlichen Trinkwasserversorgung alimentieren, gibt es keine.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Gefahrenhinweise, der entsprechenden Mengenschwellen und der Höchstmengen der fiktiven Stoffe «X» und «Y». Die für den jeweiligen Stoff massgebende Mengenschwelle ist **fett** markiert.

Stoff	H-/EUH-Code	Gefahrenhinweis	Mengenschwelle	Höchstmenge
X	H225	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.	20'000 kg	4'000 kg
	H331	Giftig bei Einatmen.	2'000 kg	
	H413	Kann für Wasserorganismen schädlich sein, mit langfristiger Wirkung.	–	
	EUH071	Wirkt ätzend auf die Atemwege.	–	
Y	H225	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.	20'000 kg	15'000 kg
	H411	Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.	20'000 kg	

Der Betrieb fällt aufgrund der Überschreitung der Mengenschwelle für den Stoff «X» in den Geltungsbereich der StFV. Da die Mengenschwelle für den Stoff «Y» nicht überschritten wird, braucht dieser nicht weiter betrachtet zu werden (GS Nr. 1).

Abbildung 2 zeigt die Herleitung der zu betrachtenden Störfallszenarien für den Stoff «X» auf.

Als betriebliche Störfallursache (**A**) kann z. B. die Ermüdung einer Schweissnaht des Tanks in Betracht gezogen werden, das Initialereignis (**B**) besteht somit aus dem Versagen des Lagertanks mit Freisetzung des Stoffs «X».

²¹ BAFU (Hrsg.) 2018: Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung (StFV). Ein Modul des Handbuchs zur Störfallverordnung (StFV). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1807; 49 S. unter www.bafu.admin.ch → Themen → Störfallvorsorge → Vollzugshilfen → Handbuch zur Störfallverordnung (StFV) → Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung (StFV)

Ob die Freisetzung spontan oder kontinuierlich erfolgt, spielt im vorliegenden Fall keine wesentliche Rolle, da angenommen wird, dass bei einem Behälterversagen der gesamte Inhalt ausfliesst (GS Nr. 4). Die Freisetzung erfolgt in flüssiger Form, jedoch ist anzunehmen, dass auch ein Teil des Stoffs aufgrund dessen Flüchtigkeit verdunstet. Somit findet die Ausbreitung (**C**) einerseits am Boden, andererseits in der Luft statt.

Für die Ausbreitung am Boden ist abzuklären, ob passive Rückhaltemassnahmen (z. B. Umwallung oder Einfassung des Tanks) vorhanden sind, die einen Teil oder ggf. das gesamte auslaufende Volumen auffangen und somit die Lache (resp. die Lachenfläche) begrenzen können (GS Nr. 6).

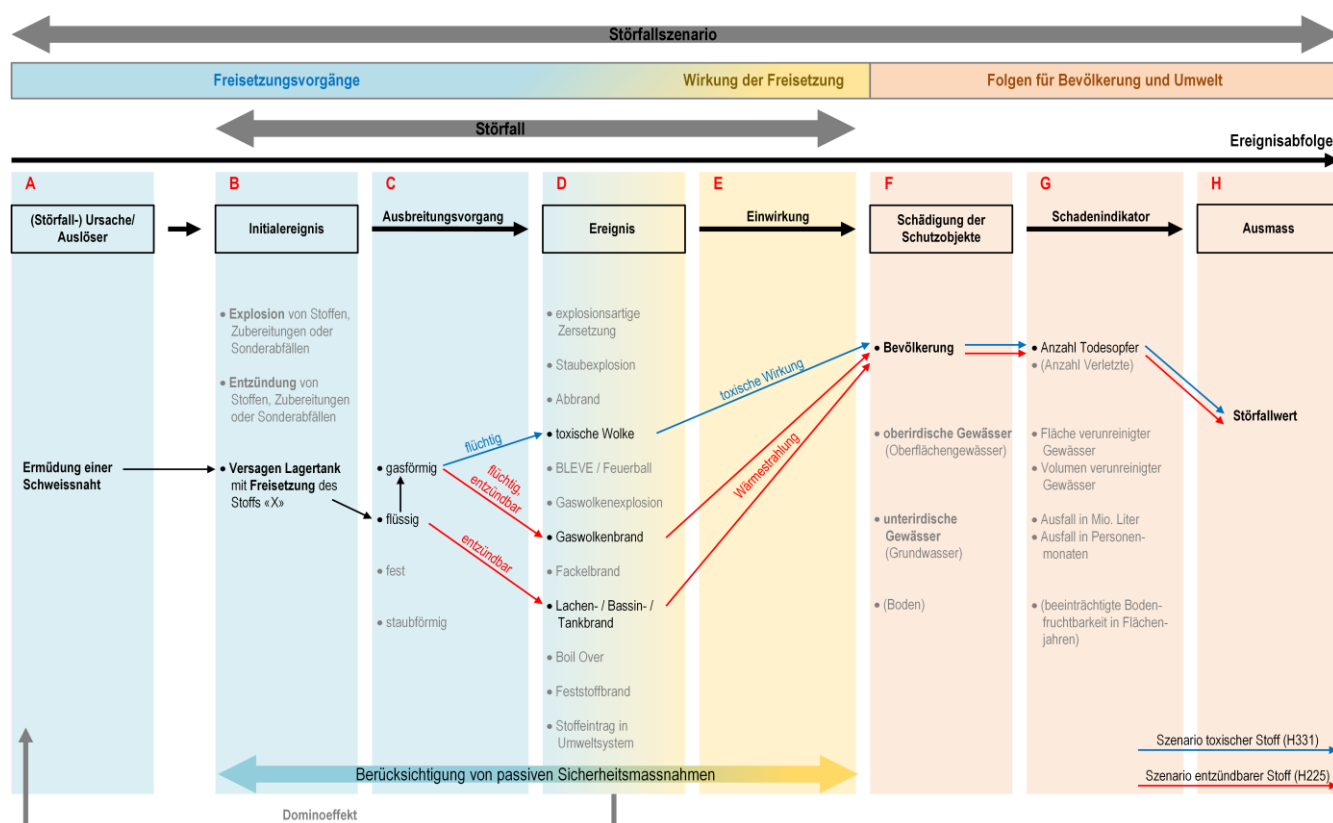


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Herleitung der Störfallscenarien für den fiktiven Stoff «X».

Die im Folgenden abzuklärenden Ereignisse (**E**) ergeben sich anschliessend aus den Eigenschaften des gefährlichen Stoffs (hier flüssig, flüchtig und entzündbar), dem Ausbreitungsvorgang (hier Ausbreitungspfad Boden und Luft) sowie aus den i. S. der StfV relevanten Gefahren. Von den in Tabelle 1 aufgeführten H-/EUH-Codes sind nur H225 und H331 in Anh. 1.1 Ziff. 4 StfV aufgeführt: Die vom betrachteten Stoff ausgehenden i. S. der StfV relevanten Gefahren sind folglich seine Toxizität (Giftigkeit) bei Einatmen (H331) sowie die Entzündbarkeit der Dämpfe wie auch der Flüssigkeit (H225). Daraus lässt sich ableiten, dass folgende Ereignisse weiter untersucht werden müssen:

- eine toxische Wolke,
- ein Lachenbrand und ggf.
- ein Gaswolkenbrand.

Da der Stoff «X» keine i. S. der StfV relevante Umweltgefahr aufweist (H413 wird nicht in Anh. 1.1 Ziff. 43 StfV aufgeführt) und er auch nicht in ein Gewässer gelangen kann, welches zur öffentlichen Trinkwassergewinnung beiträgt, kann auf die Betrachtung des Ereignisses *Stoffeintrag in Umweltsystem* verzichtet werden.

Dominoeffekte infolge Wärmestrahlung eines allfälligen Lachenbrandes können ebenfalls ausgeschlossen werden, da kein weiterer störfallrelevanter Stoff auf dem Betriebsareal vorhanden ist.

Die zu betrachtenden Einwirkungen (**E**) auf das Schutzobjekt Bevölkerung lassen sich aus den Ereignissen ableiten.

- Im Fall der toxischen Wolke können toxische Wirkungen in Abwindrichtung auftreten. Es ist konservativ anzunehmen, dass die Windrichtung für die exponierte Bevölkerung ungünstig ist, d. h., dass sich die toxische Wolke auf den Ort mit der grössten Bevölkerungsdichte zubewegt (GS Nr. 5).
- Im Fall des Lachenbrandes (und ggf. des Gaswolkenbrandes) können exponierte Personen je nach Distanz letalen Wärmestrahlungen ausgesetzt sein. Bei der Berechnung der ausgehenden Wärmestrahlung können passive Massnahmen an der Quelle (z. B. hohe Brandschutzmauer), die zu einer Verminderung der Strahlung beitragen, berücksichtigt werden.

Die Schutzobjekte Oberirdische Gewässer und Unterirdische Gewässer (Grundwasser) sind im vorliegenden Beispiel nicht betroffen.

- Im Fall der Oberirdischen Gewässer (Bach) fehlen die i. S. der StFV relevanten Umweltgefahren resp. das Gewässer trägt nicht zur öffentlichen Trinkwassergewinnung bei. Somit ergeben sich keine relevanten Einwirkungen.
- Im Fall der Unterirdischen Gewässer fehlt das Schutzobjekt selbst.

Im Weiteren ist zu ermitteln, welche Schädigungen (**F**) durch die Konzentration des toxischen Stoffs in der Luft resp. durch die Wärmestrahlung bez. der Bevölkerung hervorgerufen wird. Hierzu werden die Orte mit einer (möglichen) Personenbelegung mit den Gefahrenbereichen überlappt.

- Konservativ ist von einer hohen, aber realistischen Personenbelegung auszugehen (GS Nr. 9).
- Die Schutzwirkung von Gebäuden für Personen, die sich im Innern aufhalten, kann berücksichtigt werden. Auch kann eine allenfalls günstige Topographie eine schadensmindernde Wirkung aufweisen.
- Die Schädigung der Bevölkerung infolge Wärmestrahlung resp. der auftretenden Konzentration des toxischen Stoffs an Orten mit einem Bevölkerungsaufkommen kann z. B. mittels aufgenommener Dosen ermittelt werden.

Die Schädigungen sind nun den Schadenindikatoren (**G**) zuzuordnen, im vorliegenden Beispiel wird hierzu der Schadenindikator *Anzahl Todesopfer* verwendet. Die Anzahl Todesopfer kann z. B. mittels Probitfunktionen oder tabellierter Werte ermittelt werden.

Das schlussendliche Ausmass der Schädigungen (**H**) wird mittels des Störfallwertes quantifiziert.

Das für das Formular «UE» bez. des Schutzobjekts Bevölkerung massgebende Störfallszenario ist dann dasjenige, welches das grösste Ausmass, also den grössten Störfallwert, aufweist (GS Nr. 3). Ergeben die Abklärungen beispielsweise, dass das Störfallszenario mit Lachenbrand zu keinen Schädigungen führt, das Störfallszenario mit einer toxischen Wolke hingegen Schädigungen hervorrufen kann, ist folglich dieses als massgebendes Störfallszenario zu betrachten.