



# KKW-Unfall



Dieses Gefährdungsdossier ist Teil  
der nationalen Risikoanalyse  
«Katastrophen und Notlagen Schweiz»

---

## Definition

Jeder vom Normalbetrieb abweichende Anlagenzustand in einem Kernkraftwerk, der das Eingreifen eines Sicherheitssystems erfordert, gilt gemäss Kernenergieverordnung als Störfall.

Die internationale Bewertungsskala für nukleare Ereignisse (International Nuclear Event Scale, INES) umfasst sieben Stufen und ist logarithmisch aufgebaut: Ein Übergang auf die nächste Stufe bedeutet einen zehnfach höheren Schweregrad. Die Stufen 1 bis 3 beschreiben Anomalien oder Zwischenfälle, die Stufen 4 bis 7 Unfälle mit steigenden Freisetzungen radioaktiver Stoffe in die Umgebung.

Der Ablauf eines KKW-Unfalls kann in drei Phasen gegliedert werden: Die Vorphase vom Beginn eines Ereignisses bis zum Austritt von Radioaktivität in die Umgebung, die Wolkenphase vom Austritt von Radioaktivität bis die Partikelwolke vorübergezogen ist und die Bodenphase, in der vom kontaminierten Boden weiterhin Strahlung ausgeht.

November 2020





## Ereignisbeispiele

Stattgefundene Ereignisse tragen dazu bei, eine Gefährdung besser zu verstehen. Sie veranschaulichen die Entstehung, den Ablauf und die Auswirkungen der untersuchten Gefährdung.

---

<p>März 2011 Fukushima (Japan)</p> <p>Unfall nach Naturkatastrophe</p>	<p>Am 11. März 2011 ereignete sich ein Erdbeben der Magnitude 9,0 vor der Küste Japans und löste einen Tsunami aus, der u. a. auch das Kernkraftwerk Fukushima Daiichi stark beschädigte. In den Blöcken 1 bis 3 kam es zur Kernschmelze. Grosse Mengen an radioaktivem Material wurden freigesetzt und kontaminierten die Umwelt. Rund 150 000 im Gebiet rund um das Kernkraftwerk ansässige Personen mussten dieses vorübergehend oder dauerhaft verlassen. Aufgrund einer Schätzung der freigesetzten Menge radioaktiver Stoffe stufte die japanische Atomaufsichtsbehörde die Ereignisse als INES 7 («katastrophaler Unfall») ein. Der offiziellen japanischen Berichterstattung zufolge war kein akutes Strahlenopfer zu verzeichnen. Im Rahmen der Evakuierung wurden 60 Todesopfer unmittelbar registriert. Die Anzahl langfristiger Todesopfer aufgrund der Evakuierung wurde bis 2017 auf ca. 2000 Personen geschätzt. Bis im Jahr 2017 fielen allein für Dekontaminationsarbeiten Kosten in Höhe von rund 26 Mrd. CHF an. Die Rückkehr der Bevölkerung in die evakuierten Gebiete gestaltet sich auch nach den Sanierungsmassnahmen als schwierig.</p>
<p>April 1986 Tschernobyl (Ukraine)</p> <p>Reaktorkatastrophe bei Tests</p>	<p>Als Folge grundlegender Mängel in der Konstruktion des Reaktors sowie aufgrund von Planungs- und Bedienungsfehlern bei einem Test ereignete sich am 26. April 1986 eine Kernschmelze und eine Explosion im Block 4 des Kernkraftwerks Tschernobyl. Der KKW-Unfall wird als INES-7-Ereignis eingestuft: Grosse Mengen radioaktiver Stoffe entwichen durch die Explosionen und den anschliessenden Brand im Reaktor in die Umwelt, wobei die hohen Temperaturen des Grafitbrandes für eine Freisetzung in grosse Höhen sorgten. Insbesondere leicht flüchtige Isotope bildeten Aerosole, die über die Luft Tausende Kilometer weit getragen wurden, bevor sie der Regen aus der Atmosphäre wusch. Erst am 6. Mai 1986 war die Freisetzung von radioaktiven Stoffen weitgehend unterbunden. Schätzungen gehen davon aus, dass die Katastrophe 30 direkte Todesopfer und etwa 200 akut Strahlenerkrankte forderte. Dazu kommen Hunderttausende leicht verstrahlte Personen sowie Hunderttausende Evakuierte.</p>
<p>Januar 1969 Lucens (Schweiz)</p> <p>Kernschmelze im Versuchsreaktor</p>	<p>Am 21. Januar 1969 ereignete sich im ein Jahr zuvor in Betrieb genommenen Versuchskernkraftwerk Lucens ein Unfall, der auf der internationalen Ereignisskala als INES-5-Ereignis eingestuft wurde. Bei der Wiederinbetriebnahme nach einer Revision kam es wegen Problemen mit dem Kühlsystem zur Überhitzung mehrerer Brennelemente und einer partiellen Kernschmelze. Trotz einer automatischen Schnellabschaltung kam es zum Bersten eines Druckrohrs, wodurch u. a. auch radioaktive Gase in die Reaktorkaverne (Containment) entwichen. Das Containment konnte nur zum Teil versiegelt werden, weshalb gasförmige radioaktive Stoffe durch undichte Stellen in die Umwelt gelangten. Die Gefahr für Mensch und Umwelt war begrenzt, da sich der Reaktor in einem Bergstollen befand. Messungen ergaben keine unzulässigen Strahlendosen im Umfeld des Reaktors. Die Aufräumarbeiten konnten im Mai 1973 abgeschlossen werden. Bei der nachfolgenden Dekontamination und Zerlegung des Reaktors fielen 250 Fässer mit radioaktivem Abfall an.</p>

---



## Einflussfaktoren

Diese Faktoren können Einfluss auf die Entstehung, Entwicklung und Auswirkungen der Gefährdung haben.

---

- Gefahrenquelle
- Menge und Art der vorhandenen und entstehenden radioaktiven Stoffe
  - Reaktortyp / Bauart
  - Einwirkungen von aussen (Naturgefahren, Terroranschläge)
- 

- Zeitpunkt
- Tageszeit, Wochentag, Jahreszeit (Personenexposition insbesondere auch im Freien)
  - Wettersituation: Windrichtung und -stärke sowie Niederschlag während der Freisetzung
- 

- Ort / Ausdehnung
- Räumliche Ausdehnung von Wolkenphase und Bodenphase
  - Merkmale des betroffenen Gebiets (Bevölkerungsdichte, Landwirtschaftsanteil)
- 

- Ereignisablauf
- Länge der Vorwarnzeit
  - Freisetzungsart:
    - Gefiltert
    - Ungefiltert (bedingt z. B. durch ein Leck des Containments infolge einer Explosion)
  - Verhalten der Einsatzkräfte und verantwortlichen Behörden
  - Reaktion der Bevölkerung und Politik



## Intensitäten von Szenarien

Abhängig von den Einflussfaktoren können sich verschiedene Ereignisse mit verschiedenen Intensitäten entwickeln. Die unten aufgeführten Szenarien stellen eine Auswahl von vielen möglichen Abläufen dar und sind keine Vorhersage. Mit diesen Szenarien werden mögliche Auswirkungen antizipiert, um sich auf die Gefährdung vorzubereiten.

---

- |               |  |
|---------------|--|
| 1 – erheblich | <ul style="list-style-type: none"><li>– Störfall mit Kernschaden (partielle Kernschmelze)</li><li>– Versagen des Containments und ungefilterte Freisetzung von Radioaktivität</li><li>– Freisetzungszeitpunkt nach Unfallbeginn: 12 Stunden</li><li>– Quellterme: Iod: <math>10^{15}</math> Bq, Cäsium (Rb-Cs Klasse): <math>10^{14}</math> Bq, Edelgase: <math>3 \cdot 10^{18}</math> Bq</li><li>– Wetterlage: stabil, ohne Regen</li></ul> |
| 2 – gross     | <ul style="list-style-type: none"><li>– Störfall mit schwerem Kernschaden</li><li>– Versagen des Containments und ungefilterte Freisetzung von Radioaktivität</li><li>– Iod- und Cäsium-Quellterme sind gegenüber dem Szenario «erheblich» um den Faktor 10 erhöht.</li><li>– 100 % Freisetzung von Edelgasen</li><li>– Freisetzungszeitpunkt nach Unfallbeginn: 9 Stunden</li><li>– Mittlere Wetterlage</li></ul>                           |
| 3 – extrem    | <ul style="list-style-type: none"><li>– Störfall mit schwerem Kernschaden</li><li>– Versagen des Containments und ungefilterte Freisetzung von Radioaktivität</li><li>– Iod- und Cäsium-Quellterme sind gegenüber dem Szenario «erheblich» um den Faktor 100 bis 1000 erhöht</li><li>– 100 % Freisetzung von Edelgasen</li><li>– Freisetzungszeitpunkt nach Unfallbeginn: 2–4 Stunden</li><li>– Wetterlage: stabil, ohne Regen</li></ul>     |



## Szenario

Das nachfolgende Szenario basiert auf der Intensitätsstufe «gross».

---

### Ausgangslage / Vorphase

In einem Schweizer Kernkraftwerk kommt es um ca. 4 Uhr zum Bruch einer Kühlmittelleitung innerhalb der Sicherheitshülle. In der Folge wird sofort eine Schnellabschaltung des Reaktors ausgelöst. Der Betreiber informiert umgehend das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) und die Nationale Alarmzentrale (NAZ) über das Ereignis. Das ENSI informiert die NAZ laufend über die Entwicklung des Unfalls. Die NAZ beruft ein Konferenzgespräch ein, an dem der KKW-Betreiber, die NAZ, das ENSI und der Führungsstab des Standortkantons teilnehmen. Im Nachgang an das Konferenzgespräch werden die kantonalen Behörden in der ganzen Schweiz informiert.

Nachdem im Werk die Notkühlung versagt hat, werden die Brennelemente nicht mehr ausreichend gekühlt. Im weiteren Verlauf erhöht sich die Temperatur im Reaktorkern so stark, dass ein Teil des Kerns schmilzt. Gegen 6.30 Uhr tritt wegen der Überhitzung ein Teil der Radioaktivität aus dem Reaktordruckgefäss in die Sicherheitshülle (Containment) aus, wo sie aber nach wie vor zurückgehalten werden kann. Die NAZ ordnet in dieser Phase des Ereignisses gemäss Dosismassnahmenkonzept der Verordnung über den Bundesstab Bevölkerungsschutz zeitgerecht Schutzmassnahmen für die Bevölkerung an. Auf der Grundlage von Prognosen des ENSI zur Unfallentwicklung und der möglichen Ausbreitung von radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre wird die Bevölkerung im gefährdeten Gebiet vorsorglich evakuiert. Trotz frühzeitiger Alarmierung per ICARO-Meldung (Information Catastrophe Alarme Radio Organisation) im Rundfunk und über die App Alertswiss werden Teile der Bevölkerung nicht erreicht, sodass sich diese nicht rechtzeitig in Sicherheit bringen können.

---

### Ereignisphase (Wolkenphase)

Im weiteren Verlauf des Störfalls kommt es zum Versagen des Containments, sodass ab 13 Uhr während etwa zwei Stunden unkontrolliert und ungefiltert Radioaktivität freigesetzt wird. Die wenigen Personen, die sich im näheren Bereich der Anlage im Freien aufhalten, werden dabei einer erheblichen Strahlendosis ausgesetzt. Bis zu einer Distanz von ca. 20 km tritt eine vergleichsweise hohe Strahlenbelastung für ungeschützte Personen auf. Es können 10 mSv für den Aufenthalt im Haus über die Zone 2 hinaus bis ca. 50 km in Abwindrichtung überschritten werden. Im Durchzugsgebiet der radioaktiven Wolke wird der Boden langfristig kontaminiert.

---

### Regenerationsphase

Nach dem Wolkendurchzug können die zurückgebliebenen Personen innerhalb von Stunden oder Tagen aus dem am stärksten betroffenen Gebiet evakuiert werden. Dazu werden alle verfügbaren Verkehrsmittel eingesetzt. An verschiedenen Stellen kommt es dadurch zu Verkehrsproblemen. Viele weiter entfernt lebende Personen verlassen das kontaminierte Gebiet unaufgefordert selbstständig.

Aus dem am stärksten betroffenen Gebiet müssen die Bewohner dauerhaft umgesiedelt werden. In weniger stark betroffenen Gebieten erhalten die Einwohner Verhaltensanweisungen, wie sie die radioaktive Belastung minimieren können: Insbesondere ist der Aufenthalt im Freien auf ein Minimum zu beschränken und landwirtschaftliche Produkte müssen vor dem Verkauf auf ihre Belastung hin geprüft werden. Für die Betroffenen wird zudem eine Beratungsstelle eingerichtet.



Wo möglich wird das verstrahlte Gebiet dekontaminiert, indem Oberflächen gewaschen und Böden abgetragen werden. Aufgrund der grossen betroffenen Fläche ziehen sich diese Arbeiten über mehrere Jahre hin. Dabei fallen grosse Mengen an radioaktivem Abfall an, die wiederum über Jahrzehnte fachgerecht gelagert werden müssen. Gebiete, die nicht dekontaminiert werden können, werden deshalb für lange Zeit zu Sperrzonen erklärt. Der Verkehr bleibt über einige Zeit stark eingeschränkt, bis die Hauptverkehrsachsen dekontaminiert sind und wieder genutzt werden können.

---

Zeitlicher Verlauf	Nach einer Vorphase von neun Stunden erfolgt die Freisetzung und die Ausbreitung der radioaktiven Wolke über einen Zeitraum von mehreren Stunden. Mit Dekontaminationsmassnahmen in den ersten Jahren können die Auswirkungen stark reduziert werden. Die vollständige Regeneration benötigt dennoch Jahrzehnte.
--------------------	--

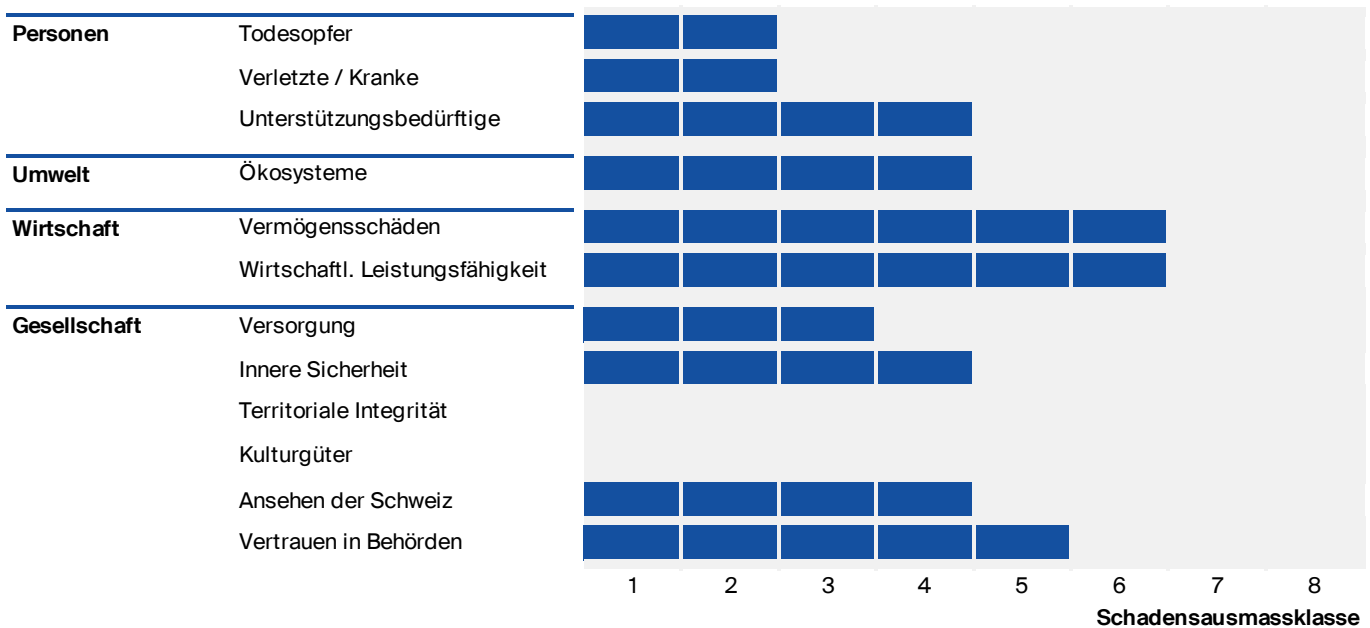
---

Räumliche Ausdehnung	Am stärksten betroffen ist das Gebiet in Abwindrichtung in unmittelbarer Nähe des KKW. Eine langfristige radioaktive Belastung grosser Areale ist denkbar. Die Ausdehnung der betroffenen Areale wird stark von der Wetterlage abhängen.
----------------------	--



## Auswirkungen

Um die Auswirkungen eines Szenarios abzuschätzen, werden zwölf Schadensindikatoren aus vier Schadensbereichen untersucht. Das erwartete Schadensausmass des beschriebenen Szenarios ist im Diagramm zusammengefasst und im nachfolgenden Text erläutert. Pro Ausmassklasse nimmt der Schaden um den Faktor drei zu.



### Personen

Die Anzahl durch Strahlung geschädigter Personen bleibt sehr gering, da sich die Bevölkerung aufgrund der frühzeitigen Warnung grösstenteils rechtzeitig in Sicherheit bringen kann. Nur wenige Personen, die sich dennoch im Freien aufhalten, werden durch die Strahlung geschädigt. Einzelne Personen werden beim Notfallmanagement in der Kernanlage Strahlung ausgesetzt.

Rund 300 000 Personen flüchten oder werden aus dem betroffenen Gebiet evakuiert. Dabei kommt es zu Verkehrsunfällen und es wird mit etwa 20 Todesopfern gerechnet. Mehrere Dutzend Personen erleiden schwere Verletzungen. Mehrere 100 Personen werden mittelschwer bis leicht verletzt.

Die Mehrheit der evakuierten und flüchtenden Personen kommt provisorisch bei Verwandten und Bekannten unter. Dennoch müssen Tausende von Personen vorübergehend in Notunterkünften untergebracht und gepflegt werden. Zudem müssen Hunderttausende nach und nach auf radioaktive Belastung untersucht werden, nachdem sie das betroffene Gebiet verlassen haben.

Das Ereignis und seine Konsequenzen traumatisieren v. a. einen Teil der betroffenen älteren Bevölkerung (Verunsicherung, Angst, Entwurzelung, Verlust der Existenz). Gesundheitliche Schäden sind die Folge davon.



---

**Umwelt** Ein Gebiet von mehreren 1000 km<sup>2</sup> wird radioaktiv kontaminiert, wobei die Belastung mit zunehmender Distanz stark abnimmt. Durch Wiederaufwirbelung wird die radioaktive Kontamination teilweise in angrenzende Gebiete verschleppt. Auch die Oberflächengewässer, insbesondere die Aare, sind davon betroffen. Das für die Dekontamination benötigte Wasser gelangt teilweise in die Kanalisationen, von dort in Kläranlagen und schliesslich in die Gewässer, wodurch die Radioaktivität immer wieder neu eingetragen wird. Die Radioaktivität lässt je nach freigesetztem Stoff unterschiedlich rasch nach. Für die betroffenen Gebieten spricht die NAZ vorsorglich ein ausgedehntes Ernte- und Weideverbot aus.

---

**Wirtschaft** Im betroffenen Gebiet kommt die Wirtschaft vorübergehend zum Erliegen. Insbesondere der Tourismus, die Lebensmittelherstellung und andere produzierende Unternehmen haben mittel- bis langfristig Mühe, wieder Fuss zu fassen. Wo immer möglich werden Standorte in nicht betroffene Gebiete verlagert. Die Wirtschaft im betroffenen Gebiet erleidet dadurch langfristig Schaden.

Der betroffene Boden und die Immobilien verlieren massiv an Wert und die Dekontamination des Gebietes ist mit hohen Kosten verbunden. In der näheren Umgebung des KKW ist die Dekontamination nur durch Abtragen der obersten Schicht Erde machbar, was zu einer Ansammlung grösserer Volumina von radioaktiv kontaminierten Materialien führen wird, die fachgerecht entsorgt werden müssen.

Insgesamt belaufen sich die wirtschaftlichen Schäden auf Dutzende Milliarden Schweizer Franken.

---

**Gesellschaft** Stark betroffene Gebiete werden vorübergehend evakuiert. Insbesondere am Rand der evakuierten Gebiete, wo die Strahlenbelastung geringer ist, besteht die Gefahr von Plünderungen. Diesen begegnen Sicherheitskräfte mit vermehrten Kontrollen.

Personen aus dem am stärksten betroffenen Gebiet werden dauerhaft umgesiedelt. Auch in weniger stark betroffenen Gebieten ziehen viele Personen weg, wenn sie es sich leisten können.

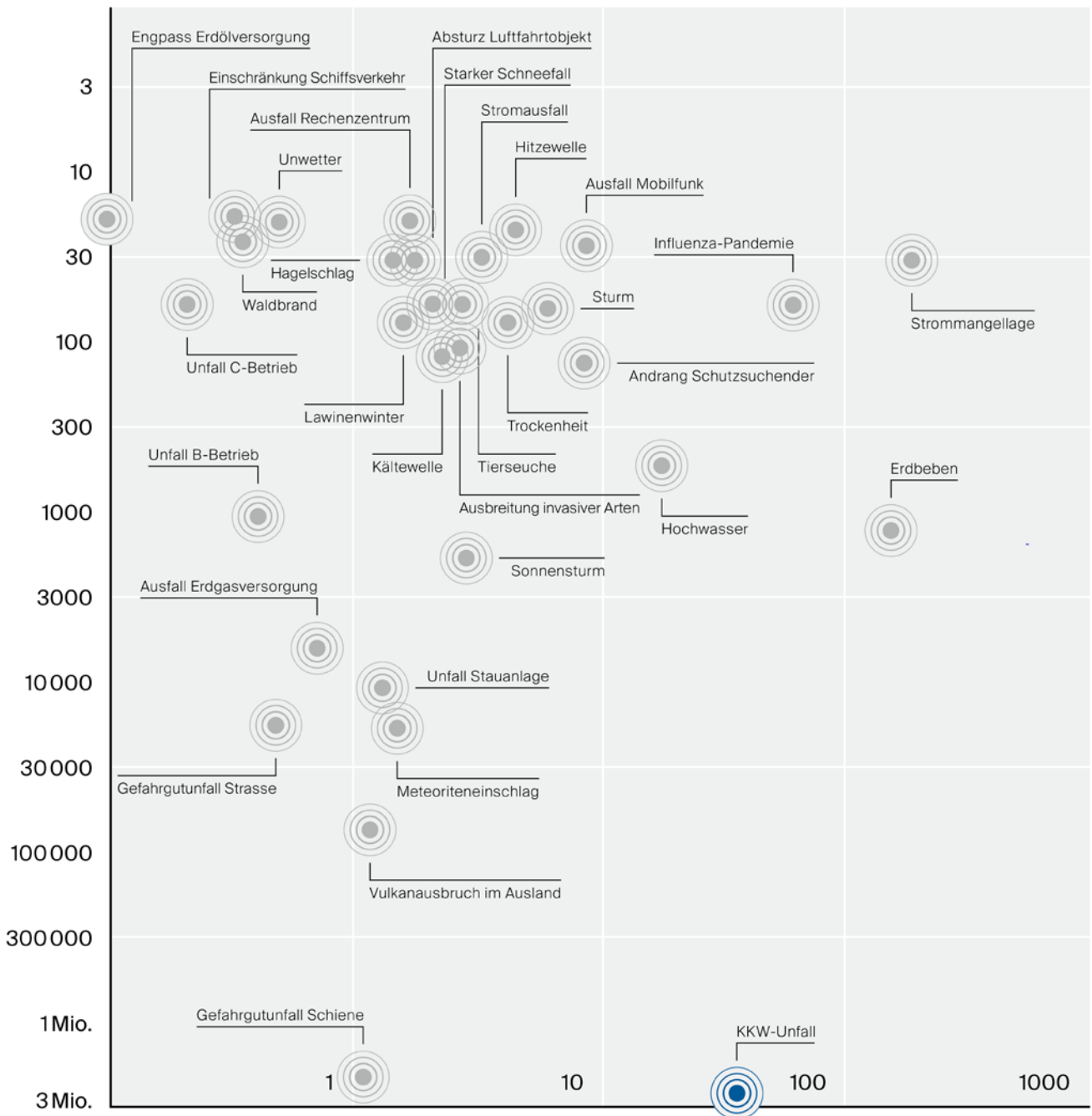




## Risiko

Das Risiko des beschriebenen Szenarios ist zusammen mit den anderen analysierten Szenarien in einer Risikomatrix dargestellt. In der Risikomatrix ist die Eintrittswahrscheinlichkeit als Häufigkeit (1-mal in x Jahren) auf der y-Achse (logarithmische Skala) und das Schadensausmass aggregiert und monetarisiert in CHF auf der x-Achse (ebenfalls logarithmische Skala) eingetragen. Das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmass stellt das Risiko eines Szenarios dar. Je weiter rechts und oben in der Matrix ein Szenario liegt, desto grösser ist dessen Risiko.

Häufigkeit  
einmal in x Jahren



Aggregierte Schäden  
in Milliarden Franken



## Rechtliche Grundlagen

---

- Verfassung
- Artikel 90 (Kernenergie) und Artikel 196 (Übergangsbestimmung) der Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999; SR 101.
- 
- Gesetz
- Bundesgesetz über den Bevölkerungsschutz und den Zivilschutz (Bevölkerungs- und Zivilschutzgesetz, BZG) vom 20. Dezember 2019; SR 520.1.
  - Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003; SR 732.1.
  - Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991; SR 814.50.
- 
- Verordnung
- Verordnung über den Bundesstab Bevölkerungsschutz (VBSTB) vom 2. März 2018; SR 520.17.
  - Verordnung über den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen (Notfallschutzverordnung, NFSV) vom 14. November 2018; SR 732.33.
  - Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 26. April 2017; SR 814.501
  - Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV) vom 16. Dezember 2016; SR 817.022.11.
  - Verordnung des EDI über die Höchstgehalte für Kontaminanten (Kontaminantenverordnung, VHK) vom 16. Dezember 2016; SR 817.022.15.



## Weiterführende Informationen

---

- Zur Gefährdung
- Blättler / Cartier / Schmid (2003): Umsetzung DMK. Massnahmen im Bereich Aufenthaltsbeschränkung, Transit und Kontaminationskontrolle im Falle eines KKW-Unfalls. Eidgenössische Kommission für ABC-Schutz (KomABC), Spiez.
  - Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) (2015): Leitfaden Schutz kritischer Infrastrukturen. BABS, Bern.
  - Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) (2015): Notfallschutzkonzept bei einem KKW-Unfall in der Schweiz. BABS, Bern.
  - Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) / Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2015): Referenzszenarien ABCN. BABS und BAFU, Spiez.
  - Bundesamt für Gesundheit (BAG) (2007): Radioaktivität und Strahlenschutz. BAG, Bern.
  - Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) (2016): Schlussbericht Aktionsplan Fukushima. ENSI, Brugg.
  - Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) (2014): ENSI-AN-8293. Überprüfung der Referenzszenarien für die Notfallplanung in der Umgebung der Kernkraftwerke. ENSI, Brugg.
  - Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) (2011): Auswirkungen Fukushima 11032011. Radiologische Auswirkungen aus den kerntechnischen Unfällen in Fukushima vom 11.03.2011. ENSI, Brugg.

- 
- Zur nationalen Risikoanalyse
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) (2020): Bericht zur nationalen Risikoanalyse. Katastrophen und Notlagen Schweiz 2020. BABS, Bern
  - Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) (2020): Methode zur nationalen Risikoanalyse. Katastrophen und Notlagen Schweiz 2020. Version 2.0. BABS, Bern.
  - Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) (2020): Welche Risiken gefährden die Schweiz? Katastrophen und Notlagen Schweiz 2020. BABS, Bern.
  - Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) (2019): Katalog der Gefährdungen. Katastrophen und Notlagen Schweiz. 2. Auflage. BABS, Bern.

### Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS

Guisanplatz 1B  
CH-3003 Bern  
risk-ch@babs.admin.ch  
www.bevoelkerungsschutz.ch  
www.risk-ch.ch