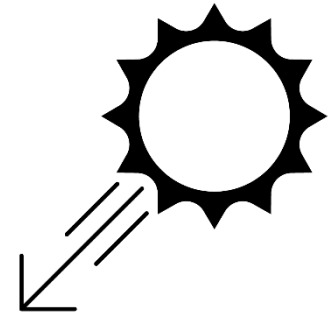




# Sonnensturm



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

## Definition

Von Zeit zu Zeit ereignen sich auf der Sonnenoberfläche massive Explosionen und Eruptionen, durch die Plasma mit hoher Geschwindigkeit ausgestossen wird. Diese sogenannten koronalen Massenauswürfe sind begleitet von intensiver Strahlung und einem Ausstoss hochenergetischer Partikel. Trifft dieses Gemisch aus Strahlung und Teilchen auf die Erde, spricht man von einem Sonnensturm. Grundsätzlich lassen sich drei Phänomene unterscheiden, die nicht in jedem Fall gemeinsam auftreten:

- Ein Röntgenblitz (Flare) erreicht die Erde in weniger als zehn Minuten und kann einen Sonnensturm ankünden. Die Strahlung ist innerhalb der Erdatmosphäre nicht gesundheitsschädlich, kann aber die Radiokommunikation auf der von der Sonne beschienenen Seite der Erde stören.
- Nach ungefähr einer Stunde wird die Erde von hochenergetischen Partikeln, zumeist Protonen, getroffen. Auf ihrem Weg auf die Erde können sie Satelliten in ihrer Funktionstüchtigkeit einschränken oder gar beschädigen.
- Der koronale Massenauswurf selbst (eine Plasmawolke aus geladenen Teilchen) erreicht die Erde nach ca. 1 bis 2 Tagen. Beim Eintreffen auf das Erdmagnetfeld schwächt sich dieses ab. Diese Änderung ist messbar und wird in Nanotesla (nT) angegeben.

Der erhöhte Teilchenfluss in Erdnähe und die Wechselwirkung mit der Erdmagnetosphäre führen zum Phänomen des Magnetsturms, welcher in langgestreckten elektrischen Leitern – zum Beispiel in Überlandleitungen – Ausgleichsströme von grosser Stärke induziert. Diese können zum Ausfall der angekoppelten Transformatorstationen und somit zu Stromausfällen führen. Ebenfalls kann es zu Störungen des Funkverkehrs kommen. Betroffen sind besonders Gebiete nahe der Pole. Polarlichter werden währenddessen bis weit in den Süden sichtbar.

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.

---

**Oktober/November 2003** 17 grössere Sonneneruptionen wurden zwischen dem 19. Oktober und dem 5. November 2003 beobachtet. Diese führten zu sich zeitlich überlappenden Magnetstürmen und zu wesentlichen Einschränkungen des Funkverkehrs. Im schwedischen Malmö fiel das gesamte regionale Stromnetz aus. In Nord-Kanada wurden Luftkorridore für Passagierflugzeuge geschlossen, weil technische Anlagen für die Luftüberwachung ausfielen. Satelliten- und Navigationssysteme setzten zeitweise aus. Polarlichter waren bis in tropische Regionen zu sehen.

---

**13. März 1989** Ein Sonnensturm führte in Québec zu einer Überlastung des Stromnetzes und in der Folge zu einem neunstündigen Stromausfall in der Region um Montreal. Sechs Millionen Menschen waren bei Aussentemperaturen von  $-15^{\circ}\text{C}$  betroffen. Verkehrsleitsysteme, Flughäfen sowie die Fernwärmeversorgung fielen aus. Die Störung des Erdmagnetfeldes betrug  $-589\text{ nT}$ . Der Schaden belief sich auf mehrere Hundert Millionen US-Dollar.

---

**August 1859**  
**Carrington-Event** Eine Serie von solaren Eruptionen ereignete sich gegen Ende des Monats August im Jahr 1859. Auf der Erde konnten bis in Äquatornähe zahlreiche Polarlichter gesichtet werden. Starke Störungen wurden bei elektrischen Telegraphen festgestellt. Gemäss statistischen Auswertungen weist ein solcher Sonnensturm eine Jährlichkeit von 500 Jahren aus. Heute würde ein vergleichbarer Sonnensturm weltweit das Strom- und Telekommunikationsnetz sowie die Satelliten stark beeinträchtigen. Die Kosten eines vergleichbaren Ereignisses allein für die USA werden auf 0,6 bis 2,6 Billionen USD geschätzt.



## Einflussfaktoren

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

---

Gefahrenquelle	<ul style="list-style-type: none"><li>– Intensität des Sonnensturms (Intensität der Röntgen- und Gammastrahlung sowie der solaren Teilchenstrahlung, maximale Schwächung des Erdmagnetfeldes)</li><li>– Dauer des Sonnensturms</li></ul>
Zeitpunkt	<ul style="list-style-type: none"><li>– Stellung der Erde zur Sonne (Tag/Nacht, Sommer/Winter)</li><li>– Wochentag und Tageszeit</li><li>– Jahreszeit (Ferienzeit, Kühlung, Heizung, Beleuchtung)</li></ul>
Ort / Ausdehnung	<ul style="list-style-type: none"><li>– Radiologischer Sturm ist auf die der Sonne zugewandten Hemisphäre beschränkt</li><li>– Magnetsturm ist grundsätzlich ein globales Phänomen und unabhängig von der Stellung der Sonne zum betrachteten Ort</li><li>– Auswirkungen auf der Erde hängen neben der Stärke des Ereignisses vom Erdmagnetfeld ab und sind deshalb in Polnähe deutlich stärker als in Äquatornähe</li></ul>
Ereignisablauf	<ul style="list-style-type: none"><li>– Alarmmeldungen durch Weltraum- und Weltraumwetter-Agenturen, Verbreitung durch Medien</li><li>– Mögliche Ausfälle von Bordelektronik bei Satelliten und Flugzeugen (z. B. durch sogenannte single event upsets SEU oder spacecraft charging)</li><li>– Betroffenheit von Funkverbindungen und ggf. GNSS-Systemen</li><li>– Betroffenheit des Stromnetzes</li><li>– Schädigung von zentralen Elementen der Strom-Infrastruktur (z. B. Transformatoren)</li><li>– Möglichkeiten zur Notstromversorgung</li><li>– Möglichkeiten für provisorische Instandstellung der Strom-Infrastruktur (Kraftwerke, Transformatoren, Netze)</li><li>– Verhalten von betroffenen Organisationen, Einsatzkräften und verantwortlichen Behörden</li><li>– Reaktion der Bevölkerung</li></ul>



## 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>– Sonneneruption führt zu Intensitätsanstieg der kosmischen Strahlung in hohen und mittleren geografischen Breiten und zu Schockwellenfronten, welche die Erde nach 24 Stunden erreichen.</li><li>– Geomagnetischer Sturm mit maximaler global gemessener Störung des Erdmagnetfeldes von -750 nT</li><li>– Sonnensturm trifft die Erde im November.</li><li>– Dauer der Sturmphase beträgt 60 Stunden.</li><li>– Vielerorts fallen elektronisch gesteuerte Infrastrukturen mehrere Tage aus.</li></ul> |
|---------------|---|
- 
- |           |   |
|-----------|---|
| 2 – gross | <ul style="list-style-type: none"><li>– Sonneneruption führt global zu Intensivierung der kosmischen Strahlung und zu Schockwellenfronten, die die Erde nach 18 Stunden erreichen.</li><li>– Über der Schweiz werden Nordlichter beobachtet.</li><li>– Geomagnetischer Supersturm mit maximaler global gemessener Störung des Erdmagnetfeldes von rund -1600 nT</li><li>– Sonnensturm trifft die Erde im Dezember.</li><li>– Dauer der Sturmphase beträgt insgesamt eine Woche, ausgelöst durch drei koronale Massenauswürfe.</li><li>– Verbreitet fallen zeitweise elektronisch gesteuerte Infrastrukturen aus (z. B. Kommunikationsinfrastrukturen, Stromversorgung).</li></ul> |
|-----------|---|
- 
- |            |  |
|------------|--|
| 3 – extrem | <ul style="list-style-type: none"><li>– Sonneneruption führt global zu Intensivierung der kosmischen Strahlung und zu Schockwellenfronten, die die Erde nach 18 Stunden erreichen.</li><li>– Über der Schweiz werden Nordlichter beobachtet.</li><li>– Geomagnetischer Supersturm mit maximaler global gemessener Störung des Erdmagnetfeldes von rund -2400 nT</li><li>– Sonnensturm trifft die Erde im Januar.</li><li>– Dauer der Sturmphase beträgt 10 Tage, ausgelöst durch mehrere koronale Massenauswürfe.</li><li>– Grossflächig werden elektronisch gesteuerte Infrastrukturen beschädigt oder fallen aus (u. a. Kommunikationsinfrastrukturen, Stromversorgung).</li><li>– Stromversorgung kann wenige Tage nach Abklingen des Sonnensturms wiederhergestellt werden. Verschiedene Dienste sind noch über einen Monat nur beschränkt verfügbar, bis beschädigte Infrastrukturen wieder vollständig repariert sind.</li></ul> |
|------------|--|



## Szenario

Für dieses Beispiel ist das Szenario mit der Intensität «gross» gewählt worden. Dieses Szenario ist in der Schweiz grundsätzlich vorstellbar, aber doch selten zu erwarten.

---

Ausgangslage / Vorphase	Über zwei Wochen hinweg wird eine verstärkte Sonnenaktivität beobachtet. Am ersten Ereignistag wird eine ungewöhnlich grosse Sonneneruption mit einem koronalen Massenauswurf (KMA, CME in Englisch) in Richtung Erde festgestellt. Die ESA informiert die NAZ über die Eruption. Die NAZ gibt die Information an zentrale Infrastrukturbetreiber weiter (Vorgehen in Entwicklung).
----------------------------	---

---

Ereignisphase	<p>Zehn Minuten nach der ersten schwerwiegenden Eruption setzt der radiologische Sturm (ionisierende Strahlung) ein, wodurch die Kommunikation mit und via Satelliten, mit Flugzeugen, aber auch über Kurzwellenfunk gestört wird. Auf der sonnenzugewandten Seite der Erde ist die Übertragung von Radio und Fernsehen stark beeinträchtigt. Dies entspricht in der Skala der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, USA) einem «Blackout R5 Radio». GNSS-Systeme (GPS, GLONASS, Galileo und Beidou), Satelliten- und Kabelfernsehen, Satellitenradio und -telefon sowie Funk (inkl. Polycom) und Mobiltelefonie werden gestört. GNSS-gestützte Steuerungsanlagen arbeiten fehlerhaft oder fallen aus. Innerhalb der ersten Stunden sind die Auswirkungen der elektromagnetischen Stürme am stärksten. Anschliessend lassen sie langsam nach. Das weltweite Netz kosmischer Strahlungsdetektoren registriert einen signifikanten Intensitätsanstieg der kosmischen Strahlung aufgrund des Einfalls hochenergetischer solarer Partikelstrahlung.</p>
---------------	--

Der Flugverkehr ist während dieser Zeit stark beeinträchtigt. Viele Flüge müssen verschoben werden, da Flugzeuge aus Sicherheitsgründen nicht starten dürfen. Diejenigen, die sich in der Luft befinden, müssen ohne GPS etc. weiterfliegen. Polnahe Luftkorridore werden geschlossen und Flugrouten werden umgeleitet.

Wissenschaftler des Space Weather Segments der European Space Agency ESA stellen fest, dass sich die von der Sonne ausgestossene Wolke koronaler Masse schnell auf die Erde zubewegt. Das Auftreffen auf das Erdmagnetfeld (Beginn eines sogenannten geomagnetischen Sturms) wird 20 Stunden später erwartet. Man geht von einem Sturm der Stärke G5 auf der NOAA-Skala aus.

Wie vorausgesagt, beginnt nach rund 20 Stunden der geomagnetische Sturm. Viele elektronische Geräte funktionieren vorübergehend nicht. Der Sturm bewirkt induzierte Ströme in Stromverteilungsnetzen, die in Kanada, Nordeuropa und Russland Hochspannungs-Transformatoren beschädigen. Die Stromversorgung und Kommunikations-Infrastrukturen sind in vielen Regionen der Schweiz immer wieder eingeschränkt.

Im Abstand von jeweils rund zwei Tagen kommt es zu weiteren, ähnlich starken koronalen Massenauswürfen. Die Auswirkungen der jeweils kurz darauffolgenden radiologischen Stürme und der rund 20 Stunden später einsetzenden geomagnetischen Stürme dauern insgesamt rund eine Woche an.

---

Regenerationsphase	Mit Abklingen der radiologischen und geomagnetischen Stürme normalisiert sich die Lage. Bis alles wieder normal funktioniert, vergeht eine Woche.
--------------------	---



---

**Zeitlicher Verlauf**            Die drei koronalen Massenauswürfe und deren Folgen erstrecken sich etwa über eine Woche. Nach einer weiteren Woche sind alle Versorgungsengpässe behoben. Bis sich alle Systeme wieder im Normalzustand befinden, vergeht rund ein Monat.

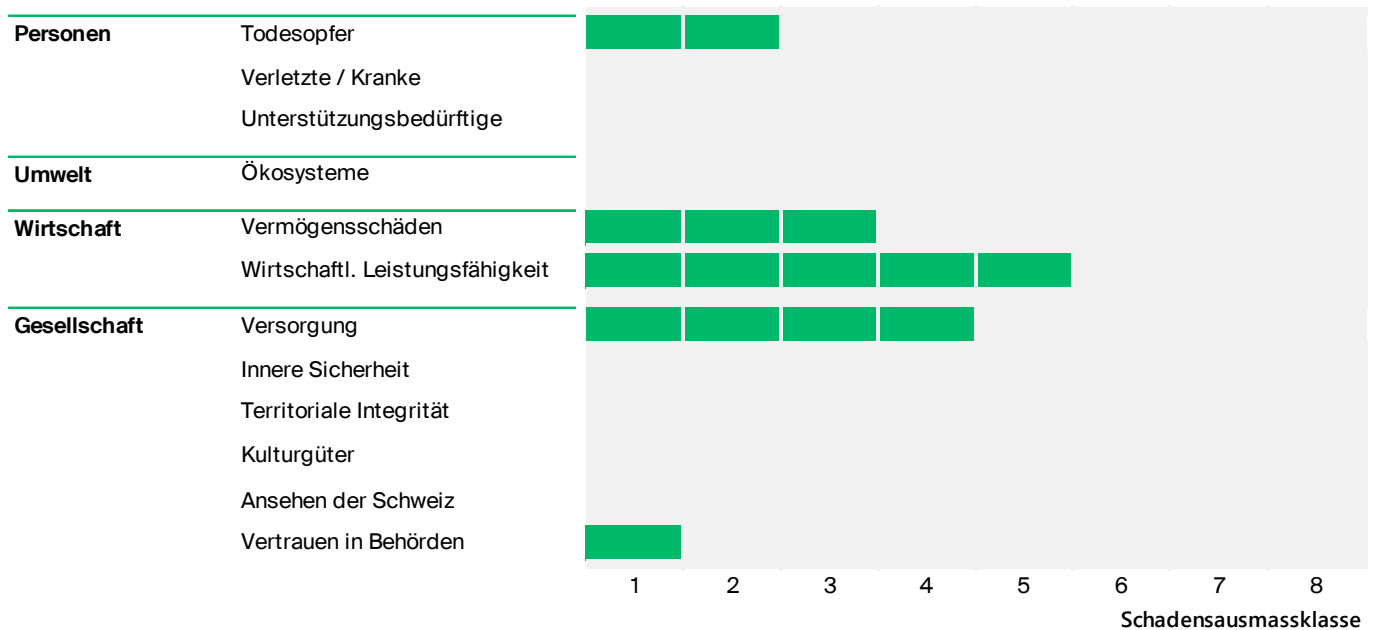
---

**Räumliche Ausdehnung**            Die Folgen des Sonnensturms betreffen die ganze Welt, v. a. aber die polnahen Gebiete.



## 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 radiologische Strahlung führt zu einer starken Beeinträchtigung der Kommunikationssysteme (z. B. GPS, Funk, Satellitenverbindungen). Teilweise werden auch Fehlfunktionen von Steuerungssystemen im Verkehr hervorgerufen, sodass es in der Folge zu Unfällen kommt.

Einsatzdienste sind infolge der Störung von Funksystemen zeitweise schlecht erreichbar.

Der Betrieb der Flughäfen wird auf die Abfertigung der landenden Maschinen reduziert. Tausende Reisende stranden deshalb an Flughäfen und müssen betreut werden. Vergleichbare Situationen kommen auf Bahnhöfen vor.

Infolge der geomagnetischen Stürme kommt es zu lokalen, befristeten Stromausfällen. In betroffenen Privathaushalten kommt es vereinzelt zu Bränden, die von Kerzen ausgelöst werden.

### Umwelt

Da die relevanten Systeme nicht richtig funktionieren, z. B. in Kläranlagen, entweichen mancherorts Gefahrenstoffe und Abwasser ungereinigt in die Umwelt.



---

Wirtschaft	<p>An Geräten in den Satelliten, die von der Schweizer Industrie und Schweizer Wissenschaftlern betrieben und unterhalten werden, kommt es zu Schäden. Diese müssen im Nachgang an das Ereignis wieder instand gestellt oder ausgewechselt werden.</p> <p>Wirtschaft und öffentliche Hand sind wegen der Störungen in den Kommunikationssystemen sowie aufgrund von Stromunterbrüchen und deren Effekte (z. B. auf Verkehr und Versorgung) über eine Woche in ihren Tätigkeiten eingeschränkt. In verschiedenen Systemen (z. B. Schliessanlagen, Kassensystemen) treten Störungen auf, worauf diese auf Notbetrieb schalten und nur noch sehr eingeschränkt oder gar nicht mehr zur Verfügung stehen. Auch die Lieferketten sind beeinträchtigt.</p> <p>Der elektronische Zahlungsverkehr und Kreditkartenzahlungen sind global vorübergehend gestört (inkl. Auswirkungen auf Börsenhandel).</p> <p>Aufgrund der Ausfälle im Flug-, Bahn- und Strassenverkehr und in der Schifffahrt entstehen wirtschaftliche Schäden.</p> <p>Einige Unternehmen können für die Energieversorgung auf eine unterbruchfreie Stromversorgung (USV) sowie auf Notstromaggregate zurückgreifen. Dadurch können IT-Systeme bzw. Rechenzentren (insbesondere für Zahlungsverkehr und Kommunikationseinrichtungen) und Hauptsitze grösserer Banken trotz Stromunterbrüchen weiterbetrieben werden.</p> <p>Die gesamten Bewältigungskosten und Vermögensschäden werden auf rund 270 Mio. CHF geschätzt.</p> <p>Die wirtschaftlichen Folgeschäden belaufen sich auf ca. 1,5 Mrd. CHF.</p>
Gesellschaft	<p>Es kommt während rund einer Woche immer wieder zu Versorgungsengpässen und -unterbrüchen für Teile der Bevölkerung in verschiedenen Bereichen. Dies betrifft z. B. die Versorgung mit Informations- und Kommunikationsdienstleistungen, aber auch die Stromversorgung. Damit verbunden ist auch eine Einschränkung des öffentlichen und privaten Verkehrs. In Spitälern werden kritische Operationen zur Sicherheit verschoben, weil unklar ist, ob mit akuten Herzproblemen aufgrund der elektromagnetischen Strahlung zu rechnen ist.</p> <p>Satellitengestützte Fernseh- und Radioübertragungen sind immer wieder gestört. Die Programme der SRG über Kabelnetze können jedoch durchgehend empfangen werden.</p> <p>Die Übertragung von Meteo- und Geodaten, die von Satelliten erfasst werden, ist während des Sonnensturms gestört oder es kommt zu Ausfällen. Defekte Satelliten und/oder Messgeräte können keine Daten mehr liefern und müssen ersetzt werden, was Monate bis Jahre dauert.</p> <p>Die Einsatzdienste sind durch den Ausfall der Informations- und Kommunikationsmittel erheblich beeinträchtigt. Die Information der Bevölkerung über den Hintergrund der Ausfälle sowie Verhaltensempfehlungen seitens der zuständigen Behörden sind aufgrund der teilweise ausgefallenen Informationskanäle eingeschränkt.</p> <p>Während des Ereignisses gehen bei Polizei und Feuerwehr Anrufe besorgter Personen in Bezug auf die Nordlichterscheinungen und die ungewöhnlichen Ausfälle sowie die fehlenden Informationen über die Dauer der Ausfälle ein.</p>

---

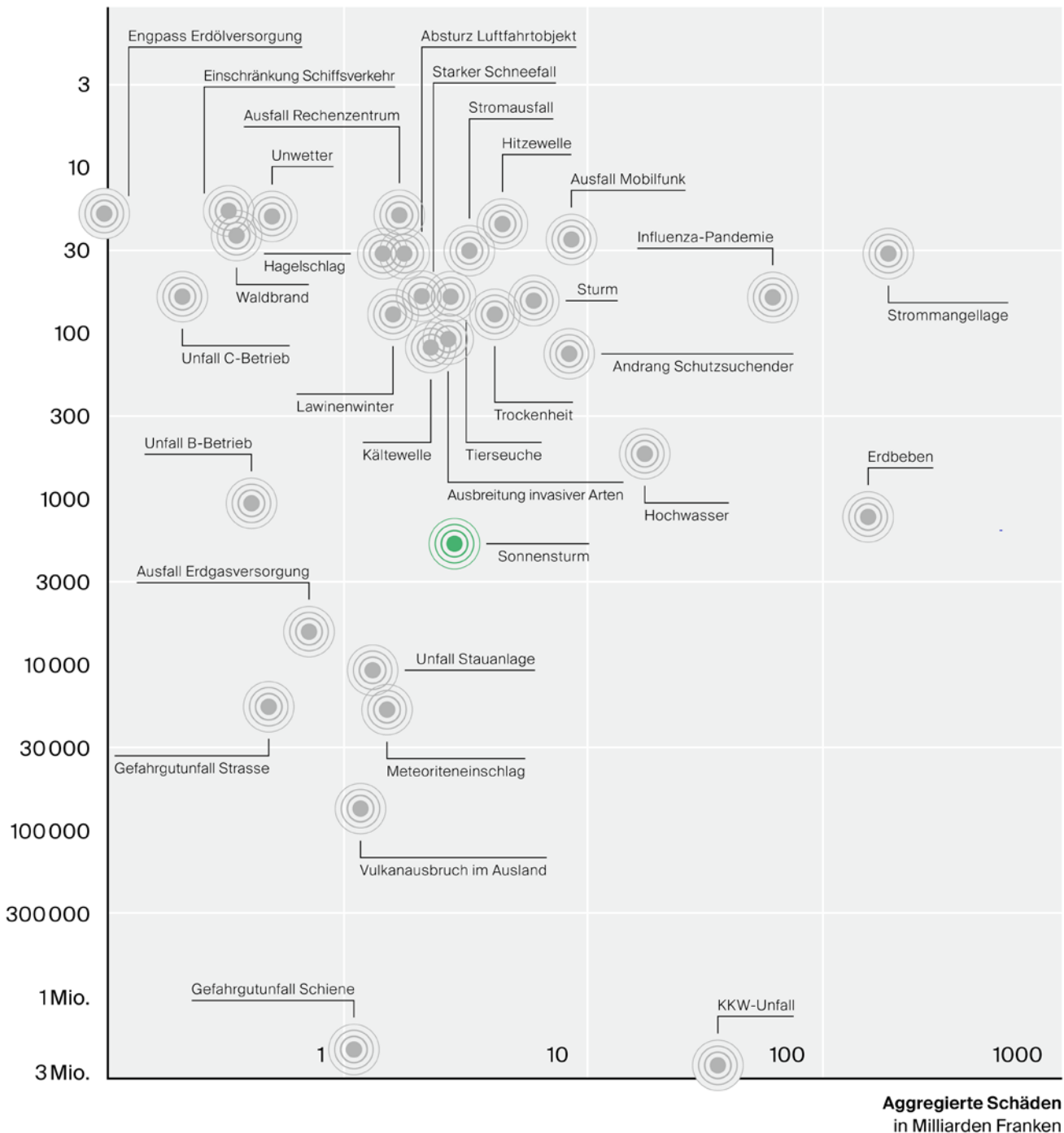




## Risiko

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





## Rechtliche Grundlagen

---

- Verfassung
- Artikel 89 (Energiepolitik) und 91 (Transport von Energie) 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.
  - Energiegesetz (EnG) vom 30. September 2016; SR 730.0.
  - Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen (Elektrizitätsgesetz, EleG) vom 24. Juni 1902; SR 734.0.
  - Bundesgesetz über die Stromversorgung (Stromversorgungsgesetz, StromVG) vom 23. März 2007; SR 734.7.
- 
- Verordnung
- Verordnung über den Bundesstab Bevölkerungsschutz (VBSTB) vom 2. März 2018; SR 520.17.
  - Energieverordnung (EnV) vom 7. Dezember 1998; SR 730.01.
  - Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV) vom 30. März 1994; SR 734.31.
  - Stromversorgungsverordnung (StromVV) vom 14. März 2008; SR 734.71.



## Weiterführende Informationen

---

- Zur Gefährdung
- Bundesamt für Energie (BFE) (2012): Geomagnetisch induzierte Ströme im Schweizer Übertragungsnetz. BFE, Bern.
  - Carrington, R. C. (1859): Description of a singular appearance seen in the Sun on September 1, 1859. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 20 / 1.
  - Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) (2012): Betrachtungen zu infrastrukturellen elektromagnetischen Auswirkungen aufgrund von solaren Eruptionen. ENSI, Bern.
  - Hanslmeier, Arnold (2011): Kosmische Katastrophen. Verlag Vehling, Graz.
  - Lang, K. R. (2000): The Sun from Space. Springer.
  - Lloyd's (2013): Solar Storm Risk to the North American Electric Grid. AER.
  - Moríña, David / Serra, Isabel u. a. (2019): Probability estimation of a Carrington-like geomagnetic storm. Scientific Reports 9, 2393 (2019). Nature.
  - National Research Council of the National Academics (2008): Severe Space Weather Events. Understanding Societal and Economic Impacts. The National Academic Press, Washington DC (USA).
  - Riswadkar, A. V / Dobbins, B. (2010): Solar Storms: Protecting Your Operations Against the Sun's 'Dark Side'. Zurich Services Corporation.
  - Viljanen, A. / Pirjola, R. (2014): Geomagnetically induced currents in Europe. Modelled occurrence in a continent-wide power grid. Journal of Space Weather and Space Climate, Vol. 4.

- 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