



TRAS Trinationaler Atomschutzverband

ATPN Association Trinationale
de Protection Nucléaire



Grenzenloses Risiko

Gefährdung Deutschlands
durch schwere Unfälle
in Schweizer Atomkraftwerken

Juni 2025

IMPRESSUM

Studie:

Grenzenloses Risiko: Gefährdung Deutschlands durch schwere Unfälle in Schweizer Atomkraftwerken
Juni 2025

PDF-Download unter atomschutzverband.ch/gefaehrdung-sueddeutschland/studie/

Herausgeber / Auftraggeber:

Trinationaler Atomschutzverband (TRAS), Basel, www.atomschutzverband.ch

Autor*innen:

Armin Simon, .ausgestrahlt – gemeinsam gegen Atomenergie

Angelika Claussen, Internationale Ärzt*innen für die Verhütung des Atomkriegs – Ärzt*innen in sozialer Verantwortung (IPPNW)

In Zusammenarbeit mit:

BUND Landesverband Baden-Württemberg

Mit einem Vorwort von:

Dr. Hauke Doerk, Referent für Radioaktivität, Energie- und Klimapolitik, Umweltinstitut München e. V.
Univ.-Prof. Dipl.-Phys. Wolfgang Renneberg, Abteilungsleiter für Reaktorsicherheit im
Bundesumweltministerium i. R.

Titelgestaltung und grafische Überarbeitung der Karten:

Holger M. Müller, holgermueller.de

Titelgrafik unter Verwendung einer Karte von flexrisk.boku.ac.at/en/evaluation.phtml

Zusammenfassung

- Die Schweizer AKW gehören zu den ältesten der Welt und sind mit unbefristeten Betriebsbewilligungen ausgestattet. Keines von ihnen entspricht aktuellen Sicherheitsanforderungen an Atomkraftwerke. Alle vier stehen auf oder sehr nahe an der deutschen Grenze.
- Ein schwerer Atomunfall in der Schweiz hätte mit hoher Wahrscheinlichkeit großräumige und gravierende Auswirkungen auf Deutschland. Das haben zahlreiche Studien nachgewiesen und mit realen Wetterdaten simuliert. Aufgrund der grenznahen Lage der Schweizer AKW und der Windverhältnisse würde Deutschland in vielen Fällen sogar die Hauptlast einer Schweizer Atomkatastrophe tragen. Baden-Württemberg und Süddeutschland sind besonders gefährdet.
- Die Öffentlichkeit, insbesondere auch die von einem Unfall am massivsten betroffene Bevölkerung in Süddeutschland, ist über die von den Schweizer AKW ausgehende Gefährdung ihrer Heimat und Gesundheit nicht informiert. Eine öffentliche Debatte über die Sicherheitsdefizite der Reaktoren und das Risiko ihres Überzeitbetriebs findet bisher nicht statt.
- Nach einem Atomunfall in einem Schweizer AKW müssten bei entsprechender Wetterlage weite Teile Baden-Württembergs und gegebenenfalls sogar Bayerns großräumig evakuiert werden. Betroffen wären unter Umständen Regionen bis in mehreren Hundert Kilometern Entfernung. Die Evakuierungszone könnte nicht nur die Großstadt Freiburg i. Br., sondern auch Städte wie Karlsruhe, Stuttgart, Mannheim, Heidelberg, Reutlingen, Heilbronn, Ulm, Nürnberg, Augsburg und München umfassen. Auch die gleichzeitige Evakuierung mehrerer Großstädte oder etwa des gesamten Oberrheingrabens könnte erforderlich sein. Darauf ist der Katastrophenschutz nicht ausgelegt.
- Selbst bei für Deutschland günstigen Wetterlagen, bei denen der Wind aus nordöstlicher Richtung weht und die radioaktive Wolke größtenteils in die Schweiz und/oder nach Frankreich bläst, kann das Dreiländereck Deutschland/Schweiz/Frankreich so hohe Strahlendosen abbekommen, dass weite Teile der Region zwischen Waldshut-Tiengen, Freiburg und Basel komplett evakuiert werden müssten.
- Es können Situationen auftreten, in denen rund ein Drittel der Bundesrepublik so stark von der radioaktiven Wolke betroffen wäre, dass die Bevölkerung dort unter Umständen tagelang im Haus bleiben müsste, idealerweise in fensterlosen Kellerräumen.
- Ein Atomunfall in einem Schweizer AKW führt zu einer Strahlenbelastung der Bevölkerung, die das normalerweise geltende Strahlenlimit um Größenordnungen übertrifft. Dies bedeutet, dass mit zahlreichen strahlenbedingten Erkrankungen, Spätfolgen wie Krebs und sogar genetischen Strahlenschäden zu rechnen ist, die auch nachfolgende Generationen noch beeinträchtigen. Selbst bei durchschnittlichen Wetterverhältnissen wären allein in Deutschland Zehntausende Todesfälle und eine deutlich darüber hinausgehende Anzahl von schweren, lebenslangen Erkrankungen nicht auszuschließen, bei ungünstigen Wetterverhältnissen deutlich mehr.
- Noch in 85 Kilometer Abstand zum AKW könnten akute Strahlenschäden auftreten. Etwas näher am AKW könnte die Strahlung sogar tödlich sein. Bei einer Vorwarnzeit von wenigen Stunden oder einer falschen Ausbreitungsprognose bleibt für wirksame Katastrophenschutzmaßnahmen unter Umständen schlicht keine Zeit mehr.
- Das bei einem schweren Atomunfall in einem Schweizer AKW freigesetzte radioaktive Jod bedroht die Gesundheit insbesondere von Kindern in Deutschland bis in vielen Hundert Kilometern Entfernung. Die Einnahme hochdosierter Jodtabletten bietet nur begrenzten Schutz. Zudem ist fraglich, ob die Tabletten so großräumig rechtzeitig verteilt und im richtigen Moment eingenommen werden können.

- Ein schwerer Unfall in einem Schweizer AKW gefährdet die Trinkwasserversorgung aller Gemeinden, über deren Wassergewinnungsgebieten die radioaktive Wolke abregnet. Selbst der Bodensee, aus dem Millionen Menschen in Baden-Württemberg mit Trinkwasser versorgt werden, könnte so stark kontaminiert werden, dass das Wasser nicht mehr als Trinkwasser genutzt werden darf. Besonders gefährdet sind Rheinanliegergemeinden, die ihr Wasser aus dem Fluss gewinnen. Gelangen radioaktive Stoffe wie in Fukushima direkt ins Wasser, das heißt in Aare oder Rhein, ist binnen weniger Stunden noch im Großraum Basel mit einer langanhaltenden vieltausendfachen Überschreitung der Trinkwasser-Grenzwerte zu rechnen.
- Wegen der langen Halbwertszeit des bei einem Atomunfall freigesetzten radioaktiven Cäsiums könnten bei ungünstigen Bedingungen weite Teile Süddeutschlands und immense Gebiete bis in mehreren Hundert Kilometern Entfernung vom AKW auf Dauer unbewohnbar werden. Viele Tausend, in ungünstigen Fällen auch mehrere Hunderttausend oder gar Millionen Menschen in Süddeutschland – unter Umständen auch weit darüber hinaus – könnten dauerhaft ihre Wohnung, ihren Arbeitsplatz und ihre Heimat verlieren.
- Schon bei dem sehr kleinen Unfallszenario, mit dem die Schweizer Behörden rechnen, würden diese für Gebiete im Umkreis von 100 Kilometern um das AKW ein Ernte-, Fischerei-, Weide- und Jagdverbot erlassen. Auf Deutschland übertragen würde dieses bis auf Höhe von Straßburg und Tübingen gelten. Andere Studien, die einen schwerwiegenderen Unfall zugrunde legen, rechnen schon in durchschnittlichen Wettersituationen mit länderübergreifend mehreren Zehntausend Quadratkilometern, die als Anbau- oder Weidefläche ausfallen. Simulationsrechnungen legen nahe, dass in Deutschland ein Mehrfaches an Ackerfläche betroffen wäre als in der Schweiz selbst.
- Weder die Behörden in der Schweiz noch die in Deutschland haben für Unfallabläufe in Schweizer AKW mit größeren Freisetzungen, längerer Freisetzungsdauer und ungünstiger Wetterlage Ausbreitungsrechnungen oder Folgeabschätzungen veröffentlicht. Die von der Schweizer Atomaufsicht auf Basis eigener Szenarien und realer Wetterdaten erstellten Simulationen liegen dem für radiologischen Notfallschutz zuständigen deutschen Bundesumweltministerium nicht vor. Ob und wie detailliert Behörden in Baden-Württemberg oder Südbaden von den Berechnungen Kenntnis haben, ist unbekannt.
- Die auf Empfehlung der deutschen Strahlenschutzkommission 2014 als Konsequenz aus der Reaktorkatastrophe von Fukushima beschlossene Vervierfachung der Evakuierungszonen und Ausweitung der Katastropheneinsatzpläne ist in Südbaden bis heute nicht umgesetzt.
- Die offiziellen Annahmen zu möglichen Freisetzungen bei Reaktorunfällen bilden schon angesichts der geänderten Sicherheitslage in Europa und der Weiterentwicklung vergleichsweise leicht verfügbarer Angriffsmittel wie Drohnen das tatsächliche Risiko nicht mehr adäquat ab. Mögliche radioaktive Freisetzungen und daraus abgeleitet das Risiko des AKW-Betriebs müssen – auch unter Berücksichtigung militärischer Aggression – neu bewertet werden.

Inhalt

Zusammenfassung	1
Vorwort von Dr. Hauke Doerk, Umweltinstitut München	4
Vorwort von Univ.-Prof. Wolfgang Renneberg (i. R.), MinDir a. D.	5
Einleitung	7
1 Die älteste Reaktorflotte der Welt.....	8
1.1 Bekannte Sicherheitsdefizite der Schweizer AKW.....	10
1.1.1 AKW Beznau 1+2	10
1.1.2 AKW Gösgen	11
1.1.3 AKW Leibstadt	11
1.2 Zwischenfazit: Schweizer Uralt-AKW im Risiko-Kontext	12
2 Szenarien / Freisetzungannahmen	14
2.1 ENSI-Referenzszenarien für den Notfallschutz	14
2.1.1 Allgemeines und Einschränkungen	14
2.1.2 Ablauf	14
2.1.3 Quellterme	15
2.2 GRS-Quelltermbibliothek 2010	16
2.2.1 Allgemeines und Einschränkungen	16
2.2.2 Ablauf	16
2.2.3 Quellterme	17
2.3 flexRISK 2013	18
2.4 Öko-Institut 2014.....	19
2.5 Institut Biosphère 2019	20
2.6 Institut Biosphère 2025	21
2.7 Übersicht und Diskussion der Annahmen zu radioaktiven Freisetzungen nach einem schweren Atomunfall	22
3 Auswirkungen eines schweren Unfalls in einem Schweizer AKW	25
3.1 Räumliche Ausbreitung der radioaktiven Wolke	26
3.2 Strahlenbelastung durch die radioaktive Wolke.....	30
3.2.1 Schilddrüsenbelastung und Jodtabletten.....	32
3.2.2 Evakuierung	36
3.3 Langfristige Bodenkontamination.....	42
3.3.1 Umsiedlung	42
3.3.2 Ernte-, Jagd- und Weideverbote	46
3.3.3 Gefährdung der Trinkwasserversorgung	47
3.4 Exkurs: Gesundheitsschäden durch ionisierende Strahlung	48
3.5 Abschätzung der Gesundheitsschäden durch einen schweren Unfall in einem Schweizer AKW	54
4 Literaturverzeichnis	57

Vorwort von Dr. Hauke Doerk, Umweltinstitut München

Die vier Atomreaktoren in der Schweiz sind stark überaltert und damit hochriskant. Der älteste, Beznau 1, ist schon seit 56 Jahren in Betrieb, der jüngste, Leibstadt, hat bereits mehr als seine auslegungsgemäße Betriebsdauer von 40 Jahren auf dem Buckel. In diesen alten Anlagen bestehen nicht nur Risiken durch Materialverschleiß – sie entsprechen außerdem nicht dem Stand der Technik. Trotz der gesteigerten nuklearen Risiken werden derzeit Laufzeiten weit über 60 Jahre hinaus diskutiert.

Die Studie fasst aktuelle Analysen sorgfältig zusammen und macht damit das nukleare Risiko durch die Atomkraftwerke in der Schweiz auf einen Blick deutlich. Menschen in Deutschland sind besonders bedroht: Aufgrund vorherrschender Wetterlagen, geografischer Gegebenheiten und der Bedeutung der AKW-Standorte für die Trinkwasserversorgung führen die meisten Szenarien für schwere Unfälle zu einer besonders starken radioaktiven Belastung im Süden Deutschlands. Aber auch die Schweiz selbst und viele Länder in Europa könnten so schwer getroffen werden, dass der Katastrophenschutz maßlos überfordert wäre. Besonders pikant: Die Aufsichtsbehörde in der Schweiz unterschätzt die möglichen Folgen für Mensch und Umwelt dramatisch, indem sie die Freisetzung von Radioaktivität selbst im schlimmsten betrachteten Szenario geringer annimmt als unabhängige Analysen.

Spätestens die Tschernobyl-Katastrophe hat uns gelehrt, dass Radioaktivität keine Grenzen kennt und die negativen Auswirkungen äußerst lange bestehen. Selbst in tausend Kilometern Entfernung und nach rund 40 Jahren sind in damals kontaminierten Regionen Pilze und Waldprodukte zum Teil so stark verstrahlt, dass sie nicht für den Verzehr geeignet sind. In den Jahren nach der Reaktorkatastrophe waren auch Lebensmittel wie Gemüse und Molkereiprodukte radioaktiv belastet. Am Umweltinstitut München informieren wir seit 1986 Jahr für Jahr mit unserem kostenlosen Messprogramm – unabhängig von Staat und Atomindustrie – über die Strahlenbelastung durch Tschernobyl.

Auch wenn glücklicherweise bisher keine weitere Reaktorkatastrophe in Europa passiert ist, erhalten wir unsere Messkompetenz aufrecht. Die Menschen in Japan hatten weniger Glück, und auch die Auswirkungen des Super-GAU in Fukushima 2011 dauern weiterhin an. Viele Menschen mussten ihr Zuhause verlassen und leiden bis heute an den Folgen der Strahlung.

Nur der Atomausstieg in Europa und weltweit würde unsere Energieversorgung vom Risiko nuklearer Verseuchung befreien und dabei sogar dem Klimaschutz helfen. Denn die Debatte um Atomenergie zieht viel Aufmerksamkeit und Gelder von echten nachhaltigen Lösungen ab. Nicht nur sind erneuerbare Energien heute günstiger als Atom- und fossile Energie. Auch beim verantwortungsbewussten Umgang mit Energie gibt es viel zu verbessern. Ein Beispiel: Rund 40 Prozent des Energiebedarfs in der Industrie in Deutschland ließe sich allein mit wirtschaftlichen Effizienzmaßnahmen einsparen!

Die vorliegende Studie ist ein Augenöffner für nukleare Risiken und macht deutlich, dass die Atomkraftwerke in der Schweiz dringend abgeschaltet werden müssen. Die Arbeit hilft, den Atomausstieg in der Schweiz, in Europa und in der Welt voranzubringen.

Dr. Hauke Doerk

Referent für Radioaktivität, Energie- und Klimapolitik
Umweltinstitut München e.V.

Vorwort

von Univ.-Prof. Wolfgang Renneberg (i. R.), MinDir a. D.

Heute kann man sich in Deutschland wieder als modern outen, wenn man den Weiterbetrieb der alten, bereits abgeschalteten Atomkraftwerke fordert. Die Dimension des Risikos alter Atomkraftwerke war im Jahr 2011 noch präsent, als Fukushima explodierte und die Evakuierung von Tokio drohte. Die Dimension des Risikos durch den Betrieb alter Atomkraftwerke hat sich jedoch bis heute nicht verkleinert.

Die vorliegende Studie zeigt am Beispiel der alten Schweizer Atomkraftwerke, wie gravierend Sicherheitsdefizite selbst in Anlagen sind, die von den zuständigen Behörden als „ausreichend sicher“ eingestuft werden. Sie fasst noch einmal zusammen, welche größeren bekannten Schwachstellen die altgewordenen Atomkraftwerke an den Standorten Beznau, Gösgen und Leibstadt aufweisen.

Die Untersuchung verdeutlicht, dass die gesetzlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen in der Schweiz in den vergangenen Jahren eher abgeschwächt als verschärft wurden. Sicherheitsanforderungen an altgewordene Atomkraftwerke mit praktisch nicht mehr reparierbaren Schäden werden eben auch hier tendenziell so an den Alterszustand der Anlagen angepasst, dass sie nicht abgeschaltet werden müssen.

Dieses Vorgehen gibt es nicht nur in der Schweiz. In Deutschland scheiterte die Verabschiedung eines technischen Regelwerks in den Jahren 2008/2009 bereits daran, dass die geplanten Sicherheitsanforderungen die Betreiber lediglich verpflichten sollten offenzulegen, wo und inwieweit die alten Kernkraftwerke die damals aktuellen wissenschaftlichen und technischen Sicherheitsanforderungen *nicht* erfüllen. Die öffentliche Diskussion über die bestehenden Risiken der Kernkraft war damals – noch kurz vor den Ereignissen in Fukushima – unerwünscht. In der Öffentlichkeit soll auch heute nicht über Sicherheitsdefizite der Kernkraftwerke und erst recht nicht über deren mögliche Folgen diskutiert werden. Dieses Tabu wird durch die Studie eindrucksvoll – und dabei zugleich faktenorientiert und sachlich – durchbrochen.

Die Studie stellt die Folgen eines Reaktorunfalls in der Schweiz für mögliche betroffene Regionen in Deutschland dar, wo Millionen von Menschen dauerhaft umgesiedelt werden müssten, wenn es zum schlimmsten Fall käme. Die Wirklichkeit und das mögliche Ausmaß dieses Risikos konkret und verständlich wissenschaftlich darzustellen, ist das Verdienst der Studie. Jedem und jeder, die hierzu bereits eine begründete Auffassung zu haben glaubt oder ernsthaft sucht, ist die Lektüre dieser Studie zu empfehlen.

Wolfgang Renneberg

Univ.-Prof. i.R., Ministerialdirektor a.D.; Leiter der Abteilung Reaktorsicherheit im Bundesumweltministerium (D) von 1999 bis 2009

Einleitung

Die Schweizer Atomkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt gehören zu den ältesten der Welt. Alle vier Reaktoren stehen nahe oder direkt an der deutschen Grenze. Keine der Anlagen entspricht dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Gesetzlich sind die Laufzeiten der Reaktoren bisher nicht beschränkt; die Betreiber und Teile der Schweizer Politik streben einen jahre- beziehungsweise jahrzehntelangen Weiterbetrieb an.

Ein schwerer Unfall in einem Schweizer AKW würde mit großer Wahrscheinlichkeit auch Deutschland massiv betreffen. Dies gilt insbesondere, aber nicht ausschließlich, für den Süden Deutschlands. Dennoch sind die potenziellen Auswirkungen eines solchen Super-GAUs in der deutschen Öffentlichkeit kaum bekannt.

Diverse Untersuchungen und Modellrechnungen haben in den vergangenen Jahren die mögliche Ausbreitung einer radioaktiven Wolke aus einem Schweizer AKW, den Fallout, die radioaktive Belastung für Mensch und Umwelt und die Konsequenzen eines schweren Unfalls abzuschätzen versucht. Allerdings verfolgen diese Untersuchungen zum Teil unterschiedliche Ziele und gehen zum Teil von sehr unterschiedlichen Annahmen aus, was die Schwere des Unfalls, die radioaktiven Freisetzungen und die Wetterlage betrifft. Auch richten die Untersuchungen häufig keinen besonderen Fokus auf das nördliche Nachbarland der Schweiz. Ziel dieser Überblicksstudie ist, aus den Erkenntnissen der einzelnen Studien ein möglichst umfassendes Bild über die bei einem schweren Atomunfall in der Schweiz möglichen Folgen für Deutschland zu zeichnen.

Nach einem einordnenden Kapitel zur Situation der Schweizer AKW geben wir in einem ersten Schritt verschiedene Annahmen zu den radioaktiven Emissionen nach einem Atomunfall (Quellterme) wieder (Kapitel 0). Den Szenarien der Schweizer Atomaufsicht (ENSI) stellen wir dabei die Szenarien fünf relevanter Arbeiten anderer Expert*innen gegenüber. Dabei erläutern wir jeweils die Herleitung der Quellterme, die Zielsetzung der Untersuchung und die daraus resultierenden Einschränkungen. Bei der Gegenüberstellung der Quellterme beschränken wir uns auf die Angaben zu den beiden Leitnukliden Jod-131 und Cäsium-137. Diese sind aus radiologischer Sicht von wesentlicher Bedeutung für die kurz- beziehungsweise langfristige Strahlenbelastung nach einem Atomunfall und erlauben auch, die Untersuchungen zueinander ins Verhältnis zu setzen.

In einem zweiten Schritt (Kapitel 3) umreißen wir auf Basis der Ergebnisse der einzelnen Arbeiten und Studien sowie thematisch unterteilt die möglichen Folgen einer Reaktorkatastrophe in der Schweiz, jeweils mit dem klaren Fokus auf (Süd-)Deutschland. Dabei betrachten wir die räumliche Ausbreitung der radioaktiven Wolke und zeigen auf, in welchen Bereichen nach den Maßgaben der deutschen Strahlenschutzkommission kurzfristige Notfallschutzmaßnahmen durchgeführt werden müssten. Hierzu zählen insbesondere die Ausgabe und Einnahme von Jodtabletten, welche die radioaktive Belastung der Schilddrüse verringern sollen (Jodblockade), sowie die Evakuierung der Bevölkerung.

Der radioaktive Fallout langlebiger Radionuklide führt zu einer radioaktiven Kontamination des Bodens, die mit einer langfristigen Strahlenbelastung in den betroffenen Gebieten einhergeht. Wir zeigen auf, in welchem Maße Ernte-, Jagd- und Weideverbote zu erwarten sind oder Gebiete gar auf Jahrzehnte hinaus unbewohnbar werden. Auch auf die mögliche massive Gefährdung der Trinkwasserversorgung nach einem Atomunfall gehen wir ein.

Schließlich werfen wir einen Blick auf die gesundheitlichen Auswirkungen eines Unfalls in einem Schweizer AKW. Wir erläutern den aktuellen Forschungsstand zur Wirkung auch niedriger Strahlendosen. Anhand der kollektiven Strahlendosis, mit der die Bevölkerung in der Folge einer Atomkatastrophe belastet wird, lassen sich so die zu erwartenden Krankheits- und Todesfälle abschätzen.

1 Die älteste Reaktorflotte der Welt

In der Schweiz sind aktuell an drei Standorten vier kommerzielle Reaktoren in Betrieb: Beznau 1 und 2, Gösgen und Leibstadt. Alle vier Reaktoren stehen direkt an oder in unmittelbarer Nähe der deutschen Grenze:

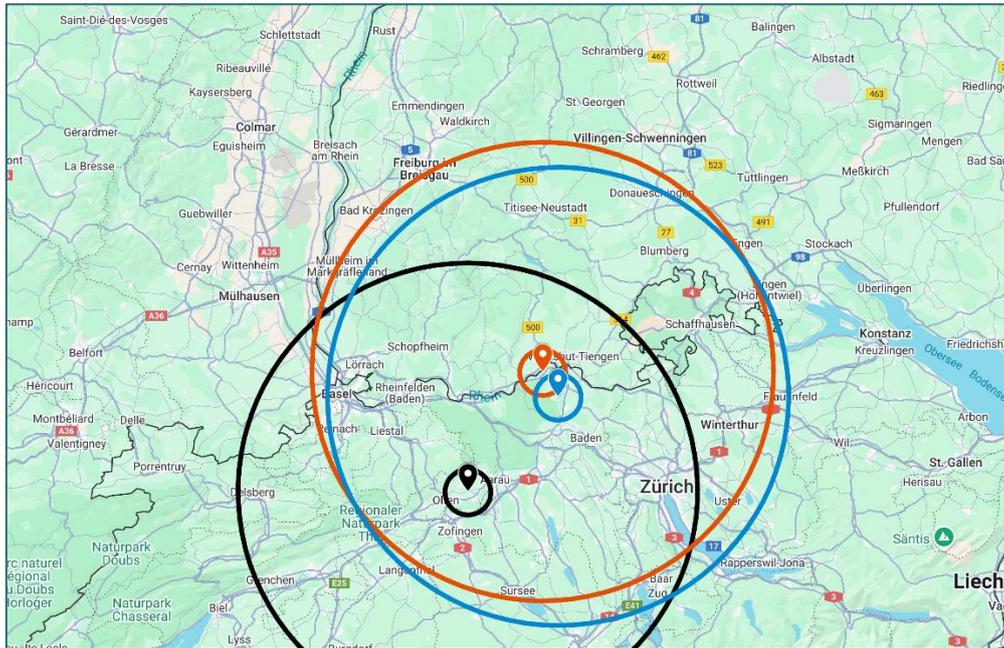


Abbildung 1: Standorte der Schweizer AKW, jeweils mit Radien in 5 km und 50 km Entfernung. AKW Gösgen [schwarz], AKW Beznau 1+2 [blau], AKW Leibstadt [rot]. (Map data ©2025 GeoBasis-DE/BKG (©2009), Google)

- AKW Beznau 1, mit 56 Jahren das älteste noch laufende AKW der Welt, mit stark versprödetem Reaktordruckbehälter, fünf Kilometer von der deutschen Grenze entfernt;
- AKW Beznau 2, 53 Jahre alt, wie der Schwesterreaktor Beznau-1 an einer Engstelle des Aare-Tals auf einer Insel im Fluss gelegen und daher besonders hochwassergefährdet;
- AKW Gösgen, bei Olten an der Aare, 20 Kilometer von der deutschen Grenze entfernt, 45 Jahre alt, mit Dampferzeuger-Heizrohren aus demselben rissanfälligen Material¹ wie im (mittlerweile abgeschalteten) Riss-Reaktor Neckarwestheim 2;²
- AKW Leibstadt, 40 Jahre alt, gegenüber von Waldshut direkt an der deutschen Grenze gelegen, ein Siedewasserreaktor, bei dem der radioaktive Reaktorkreislauf den Sicherheitsbehälter verlässt.³

¹ Incoloy-800. Vgl. Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG (KKG): Technische Hauptdaten, <<https://www.kkg.ch/de/technik/technische-hauptdaten.html>>, Stand: 30.04.2025.

² „ausgestrahlt: Hintergrund Riss-Reaktor Neckarwestheim. Hintergrundinformationen zur Spannungsrissskorrosion im AKW Neckarwestheim-2 und zur Auseinandersetzung um eine Stilllegung des Riss-Reaktors, <<https://www.ausgestrahlt.de/themen/atomunfall/verkehr-neckarwestheim/hintergrund-riss-reaktor-neckarwestheim/>>, Stand: 30.04.2025. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Zusammenfassender Bericht des Umweltministeriums zum Meldepflichtigen Ereignis GKN II ME 04/2018 „Lineare Anzeigen bei Wirbelstromprüfung von Dampferzeugerheizrohren“, November 2018, Stand: 23.06.2025.

³ Mertins, Manfred: Studie zu den Sicherheitsdefiziten des Schweizer AKW Leibstadt, 2021. Online: <https://energiestiftung.ch/files/energiestiftung/pdf/aktuell/20210829_Studie%20zu%20den%20Sicherheitsdefiziten%20des%20Schweizer%20AKW%20Leibstadt_final.pdf>, Stand: 23.06.2025, S. 61, Bild 8.

Technisch konzipiert in den 60er- und frühen 70er-Jahren des vorigen Jahrhunderts gingen die Reaktoren von 1965 bis 1974 in Bau und zwischen 1969 und 1984 in Betrieb.⁴ Alle vier Kraftwerke sind damit inzwischen über 40 Jahre am Netz. Das Durchschnittsalter der Schweizer Reaktoren liegt bei 49 Jahren.⁵ Kein anderes Land der Welt betreibt eine ältere Reaktorflotte.⁶

Reaktor	Typ	Modell	Elektr. Leistung (MWe)	Therm. Leistung (MWth)	Betreiber	Hersteller	Bau-start	Komm. Betrieb
Beznau 1	DWR	WH 2LP	380	1.130	Axpo AG	WH	1965	1969
Beznau 2	DWR	WH 2LP	380	1.130	Axpo AG	WH	1968	1972
Gösgen	DWR	PWR 3 Loop	1.060	3.002	KKG	KWU	1973	1979
Leibstadt	SWR	BWR-6	1.275	3.600	KKL	GETSCO	1974	1984

Tabelle 1: Basisdaten der Schweizer AKW, die sich aktuell noch in Betrieb befinden⁷

Nach Schweizer Kernenergiegesetz⁸ können Betriebsbewilligungen für AKW theoretisch zwar befristet werden. Alle aktuell betriebenen AKW verfügen aber über eine unbefristete Betriebsbewilligung. Die Laufzeit der Anlagen ist also nicht begrenzt. Die Aufsichtsbehörde verlangt ab einer Betriebsdauer von 40 Jahren lediglich ergänzende Unterlagen zum Alterungsmanagement, zu bestimmten Komponenten und zur Nachrüstungsplanung, die im Zuge der regulären, alle zehn Jahre durchzuführenden Probabilistischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) vorzulegen sind.

Offiziell dürfen die Reaktoren so lange betrieben werden, wie sie als ausreichend „sicher“ gelten. „Sicher“ meint in diesem Zusammenhang allerdings lediglich, dass gewisse materialtechnische Grenzwerte – insbesondere betreffend die Integrität des Primärkreislaufs und die Integrität des Containments – eingehalten werden müssen.⁹ Zwar legt das Schweizer Strahlenschutzgesetz fest, dass alle Maßnahmen getroffen werden müssen, die nach der Erfahrung und dem Stand von Wissenschaft und Technik geboten sind, um die Strahlenexposition der Bevölkerung zu begrenzen.¹⁰ Gemeint ist damit, dass die Risiken unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Faktoren möglichst niedrig sein sollen (man spricht in diesem Zusammenhang vom ALARA-Prinzip: Risiken sollen „as low as reasonably achievable“ sein). Ob etwa zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen ergriffen werden oder nicht, ist also immer auch eine Frage der Wirtschaftlichkeit. Die Aufsichtsbehörde ENSI hat die Aufgabe, die Einhaltung der geltenden Gesetze zu überwachen, und entscheidet letztlich auf Basis eines ausdifferenzierten Regelwerks darüber, ob ein AKW vor dem Hintergrund der Gesetze als ausreichend sicher für den weiteren Betrieb eingestuft wird.¹¹

Die Außerbetriebnahmeverordnung allerdings, die einzelne wenige, aber festgelegte Kriterien für eine vorläufige Außerbetriebnahme von AKW enthält, wurde 2018, als ihretwegen die Betriebsgenehmigung

⁴ Internationale Atomenergie Organisation (IAEA): Power Reactor Information System. Contry Statistics: Switzerland, <<https://pris.iaea.org/pris/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=CH>>, Stand: 30.03.2025.

⁵ Schneider, Mycle; Frogatt, Antony: The World Nuclear Industry Status Report 2024, 2024. Online: <<https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2024-v4.pdf>>, Stand: 23.06.2025, S. 450.

⁶ Ausnahme sind die Niederlande, die aber nur einen einzigen Reaktor (52 Jahre) betreiben.

⁷ Internationale Atomenergie Organisation (IAEA): Nuclear Power Reactors in the World. 2024 Edition. Online: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15748-RDS-2-44_web.pdf>, Stand: 22.07.2024, S. 41.

⁸ Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft: Kernenergiegesetz. KEG, 11.06.2025. Online: <<https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2004/723/de>>, Stand: 17.06.2025, Art. 21, 2.

⁹ Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken. Ausserbetriebnahmeverordnung, 16.04.2008. Online: <<https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2008/269/de>>, Stand: 23.06.2025.

¹⁰ Strahlenschutzgesetz. StSG, 22.03.1991. Online: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1994/1933_1933_1933/de>, Stand: 23.06.2025.

¹¹ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Aufgaben des ENSI, 22.06.2025, <<https://ensi.admin.ch/de/die-aufsichtsbehoerde-ensi/aufgaben-des-ensi/>>, Stand: 22.06.2025.

des AKW Beznau auf der Kippe stand,¹² massiv abgemildert: In einem aus rechtsstaatlicher Sicht mehr als fragwürdigen Vorgehen revidierte der Schweizer Bundesrat während eines laufenden Gerichtsverfahrens die für dieses Verfahren entscheidende Verordnung sowie die für ihre Anwendung ebenfalls zentralen Artikel der Kernenergieverordnung.¹³ Konkret schränkte er den Anwendungsbereich der radiologischen Außerbetriebnahmekriterien drastisch ein. Zugleich schaffte er die Pflicht ab, als sehr selten eingeschätzte Naturereignisse zu untersuchen. Vor allem aber hob er den Grenzwert, ab dem ein AKW außer Betrieb zu nehmen ist, für die bei einem sogenannten 10.000-jährlichen Erdbeben zu erwartende Strahlenbelastung der Bevölkerung um den Faktor 100 an. Unterm Strich hat die Änderung die Sicherheitsanforderungen an Schweizer Atomkraftwerke massiv abgeschwächt.

Begründet wurden die Verordnungsrevisionen als Angleichung an die bisherige Praxis. Diese Argumentation offenbart ein grundsätzliches Problem in der Schweizer Atomaufsicht: Einerseits ist die Aufsichtsbehörde dafür zuständig, das geltende Regelwerk durchzusetzen. Andererseits ist es möglich, wie das genannte Beispiel zeigt, das Regelwerk nachträglich an eine bestehende Aufsichtspraxis anzugleichen. Durch die Aushöhlung der Außerbetriebnahmekriterien in den betreffenden Verordnungen fehlen seit 2018 maßgebliche „harte“ Kriterien für eine vorläufige Außerbetriebnahme der Schweizer AKW. Dies erhöht die Bedeutung von sicherheitstechnischen Einschätzungen und daraus folgenden Entscheidungen der Aufsichtsbehörde.

ENSI-Entscheidungen und deren Begründungen werden nicht systematisch der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Weiter bestehen für AKW strenge Geheimhaltungsvorschriften und für deren Betreiber gilt das Geschäftsgeheimnis. Für Zivilgesellschaft und Öffentlichkeit sind die sicherheitstechnischen Entscheidungen des ENSI dementsprechend kaum vollständig und häufig nur verzögert nachvollziehbar; eine öffentliche Kontrolle ist praktisch nicht möglich.¹⁴

Ein schwerer Unfall ist auch in den vom ENSI für „sicher“ befundenen AKW keinesfalls ausgeschlossen.

1.1 Bekannte Sicherheitsdefizite der Schweizer AKW

1.1.1 AKW Beznau 1+2

Die beiden in den 1960er-Jahren gebauten Reaktoren in Beznau sind mit die ältesten in Betrieb befindlichen der Welt und entsprechend weit entfernt von heutigen Sicherheitsstandards. Schon in der Stellungnahme zum Sicherheitsnachweis für den Langzeitbetrieb 2010 räumte das ENSI ein: „Trotz der durchgeführten Nachrüstungen verfügen die beiden Blöcke des KKB nicht über alle Auslegungsmerkmale von Kernkraftwerken der neuesten Generation.“¹⁵ Die festgestellten Defizite betreffen insbesondere den Redundanzgrad, die funktionale Unabhängigkeit und räumliche Trennung von Sicherheitssträngen, den Automatisierungsgrad der Sicherheitssysteme, die Erdbeben- und Flugzeugabsturz-sicherheit und die Vorsorge gegen auslegungsüberschreitende Störfälle.¹⁶ Auch die seither durchgeführten Nachrüstungen konnten diese grundlegenden Schwächen auf der Auslegungsebene nicht beheben.

¹² Pestalozzi, Martin: Beschwerde Erdbebennachweis Beznau, 03.04.2017. Online: <<https://energisch.ch/wp-content/uploads/2017/04/2017-04-03-Beschwerde-Erdbebennachweis-Beznau-anonymisiert.pdf>>, Stand: 17.06.2025.

¹³ Schweizerische Energie-Stiftung (SES): Teilrevision der Kernenergieverordnung, der Kernenergiehaftpflichtverordnung sowie der UVEK-Ausserbetriebnahmeverordnung und UVEK-Gefährdungsannahmenverordnung – Vernehmlassungsstellungnahme, 11.04.2018. Online: <https://energiestiftung.ch/files/energiestiftung/publikationen/pdf/20180411_SES_Stellungnahme_KEV.pdf>, Stand: 11.06.2025; Pestalozzi, Martin: Das Beznau-Verfahren. Präsentation auf der TRAS-Mitgliederversammlung 2018, Trinationaler Atomschutzverband (TRAS) 11.6.2018, <https://atomschutzverband.ch/wp-content/uploads/2025/06/2018_vortrag_tras_mv_pestalozzi.pdf>, Stand: 17.06.2025; Herrmann, André: Reflexion zu einer Dosislimite von 100 mSv. Präsentation auf der TRAS-Generalversammlung 2018, 11.06.2018. Online: <https://atomschutzverband.ch/wp-content/uploads/2025/06/2018_vortrag_tras_mv_herrmann_strahlendosis_de.pdf>, Stand: 17.06.2025.

¹⁴ Vgl. etwa Greenpeace Schweiz: Geheimniskrämerei um Atomkraftwerk Beznau: Greenpeace reicht erneut Beschwerde ein, <<https://www.greenpeace.ch/de/medienmitteilung/115741/geheimniskraemerei-um-atomkraftwerk-beznau-greenpeace-reicht-erneut-beschwerde-ein/>>, Stand: 21.06.2025.

¹⁵ Sicherheitstechnische Stellungnahme zum Langzeitbetrieb des Kernkraftwerks Beznau Block 1 und Block 2, 2010, S. 36.

¹⁶ Ebd., S. 36.

Im Zuge seiner letzten PSÜ-Stellungnahme (2021) stellte das ENSI sowohl auf Sicherheitsebene 3¹⁷ als auch auf Sicherheitsebene 4 Abweichungen zum Stand der Technik fest. Konkret identifizierte es insbesondere das Frischdampfabblasesystem und die gefilterte Druckentlastung als Schwachstelle. Gemäß den probabilistischen Sicherheitsanalysen ist die Core Damage Frequency (CDF), also die errechnete Häufigkeit eines Unfalls mit Schaden am Reaktorkern – einer Kernschmelze –, des AKW Beznau zudem so hoch, dass der Betreiber gemäß Schweizer Regelwerk verpflichtet ist, Maßnahmen zur Risikoreduktion zu identifizieren und umzusetzen.¹⁸

Für Diskussionen sorgten insbesondere Sicherheitsprobleme an nichtaustauschbaren Komponenten der beiden Reaktoren, namentlich die Versprödung der Reaktordruckbehälter und Korrosionsschäden an der StahlDruckschale des Containments. Das ENSI akzeptierte zwar 2018 den äußerst umstrittenen Sicherheitsnachweis für den Reaktordruckbehälter des AKW Beznau 1, allerdings nur für eine Betriebszeit von 60 Vollast-Jahren.¹⁹ Das Containment akzeptierte das ENSI „unter der Voraussetzung der Wirksamkeit der Korrosionsschutz- und Überwachungsmaßnahmen“ ebenfalls nur „bis zu einer Betriebsdauer von 60 [Vollast-]Jahren.“²⁰

Ende 2024 kündigte der Betreiber des AKW an, die beiden Reaktoren nur noch bis 2032 beziehungsweise 2033 betreiben zu wollen.²¹ Es ist davon auszugehen, dass der technische Zustand der Anlagen dabei eine entscheidende Rolle spielte.

1.1.2 AKW Gösgen

Gemäß der ENSI-Stellungnahme (2023) zur letzten PSÜ für das AKW-Gösgen (2018) entspricht dieses in zahlreichen Punkten nicht dem Stand von Wissenschaft und Technik, wie er Ende der 1990er-Jahre ins Design des Europäischen Druckwasserreaktors (EPR) Eingang fand. Defizite bestehen demnach bei der Eindämmung von Kernschmelzunfällen, dem Notkühlwasservorrat, den Notstands-, Sicherheits- und Versorgungssystemen sowie beim Schutz gegen Flugzeugabstürze. Laut ENSI sind Verbesserungen in diesen Punkten „nicht bzw. nur mit unverhältnismäßigem Aufwand nachrüstbar.“²²

Die dünnwandigen Dampferzeugerheizrohre, fragilster Teil des radioaktiven Reaktorkreislaufs, bestehen im AKW Gösgen aus demselben Material wie in den 2023 abgeschalteten deutschen AKW Neckarwestheim 2, Emsland und Isar 2. In zweien davon (Neckarwestheim 2 und Emsland) waren ab 2018 insgesamt mehrere Hundert zum Teil lange und tiefe Risse in den Heizrohren der Dampferzeuger entdeckt worden. Ursache war Spannungsrisskorrosion, bei der Risse auch sehr schnell und unvorhersehbar wachsen können.²³ Ob und mit welchem Ergebnis in der Folge auch die rund 12.000 Dampferzeugerheizrohre im AKW Gösgen überprüft wurden, ist nicht bekannt. Ein Leck eines Dampferzeugerheizrohrs ist Basis des Unfallszenarios „FKA“, das von deutschen Behörden für sehr große radioaktive Freisetzungen angenommen wird (siehe unten Kapitel 2.2.2).

1.1.3 AKW Leibstadt

Für das AKW Leibstadt hat der ehemalige Projektleiter für die Überarbeitung der Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke bei der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), Prof. Dr.-Ing. habil. Manfred Mertins, in einer umfangreichen Studie im Auftrag der Schweizerischen Energie-Stiftung (SES) nachgewiesen, dass der Reaktor zahlreiche aktuelle

¹⁷ Zum Konzept der Sicherheitsebenen vgl. Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN): Gestaffeltes Sicherheitskonzept, <<https://www.nuklearesicherheit.de/genehmigungs-und-aufsichtssystem/sicherheitskonzept/gestaffeltes-sicherheitskonzept/>>, Stand: 21.06.2025.

¹⁸ Sicherheitstechnische Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung 2017 des Kernkraftwerks Beznau, S. 360.

¹⁹ Ebd., S. 342.

²⁰ Ebd., S. 352.

²¹ Axpo wird Kernkraftwerk Beznau bis 2033 betreiben und dafür weitere 350 Mio. Franken investieren, 05.12.2024, <<https://www.axpo.com/ch/de/newsroom/medienmitteilungen/2024/axpo-wird-kernkraftwerk-beznau-bis-2033-betreiben.html>>, Stand: 15.05.2025.

²² Ebd., S. 422.

²³ .ausgestrahlt: Hintergrund Riss-Reaktor Neckarwestheim.

Sicherheitsanforderungen an AKW nicht erfüllt. Unter anderem sind die Sicherheitsebenen nicht vollständig voneinander unabhängig (das Nach- und Notkühlsystem übernimmt Funktionen auf zwei verschiedenen Sicherheitsebenen; das Notstandssystem wird neben seiner eigentlichen Funktion zur Beherrschung von auslegungüberschreitenden Zuständen auch als Redundanz zur Beherrschung von Auslegungsstörfällen angerechnet). Weiter bestehen Defizite, was die Unabhängigkeit und Diversität einzelner Sicherheitsstränge (Vergiftungssystem, Füllstandsmessung; Abblaseventile), die vorhandenen Redundanzen und die Widerstandsfähigkeit gegen externe und interne Einwirkungen angeht. Diese Defizite, so hält Mertins fest, „erhöhen die Wahrscheinlichkeit dafür, dass es zu schweren Unfällen kommt, deutlich und führen damit zu schwerwiegenden Risiken für Mensch und Umwelt.“²⁴

1.2 Zwischenfazit: Schweizer Uralt-AKW im Risiko-Kontext

Trotz intensiver Nachrüstung weisen die Schweizer Atomkraftwerke heute massive Sicherheitsdefizite auf. Alle vier Reaktoren bergen das Risiko schwerer Unfälle in sich. Dieses ist im Vergleich mit moderneren Atomkraftwerken teilweise um Größenordnungen erhöht.²⁵

Skepsis ist auch gegenüber Angaben zu angeblichen (Un-)Wahrscheinlichkeiten auslegungsüberschreitender Ereignisse angebracht: Aus prognostizierten Eintrittswahrscheinlichkeiten für große Unfälle lässt sich nie ableiten, wann ein schwerer Unfall zu erwarten ist. Auch bei niedrigen Wahrscheinlichkeiten ist ein schwerer Unfall jederzeit möglich.

Zudem hat etwa Dieter Majer, ehemaliger Leiter der Abteilung „Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen“ des deutschen Bundesumweltministeriums und langjähriger Vorsitzender der Deutsch-Schweizerischen Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen (DSK), 2014 auf die eingeschränkte Aussagekraft absoluter probabilistischer Werte hingewiesen. Er betonte, dass die Fehlerbandbreite bei probabilistischen Analysen enorm sei und mindestens bei einem Faktor 100 läge: „Wenn also die Kernschadenshäufigkeit z. B. mit einmal in 10.000 Jahren angegeben wird, dann kann der wahre Wert auch bei einmal in 100 Jahren liegen: ein für die Sicherheit völlig inakzeptabler Wert.“²⁶

Unberücksichtigt bei allen Abschätzungen des Unfallrisikos bleiben die Risiken durch böswillige Einwirkungen auf ein AKW. Diese sind erst recht nicht seriös quantifizierbar. Schon nach den Anschlägen vom 11. September 2001 auf das World Trade Center in New York machte das Schweizer Nuklearforum deutlich, dass keines der Schweizer AKW gegen den Absturz großer Passagierflugzeuge ausgelegt ist und dass entsprechende Nachrüstungen nicht möglich sind. Es räumte ein, dass derartige Einwirkungen zu einem nicht mehr beherrschbaren Kernschmelzunfall mit massiven Freisetzungen führen können.²⁷ In gleicher Weise sei auch kein Schweizer (und auch kein anderes zivil genutztes) AKW gegen „kriegerische Einwirkungen“ ausgelegt. Der Schweizer Bundesrat bekräftigte zwei Jahrzehnte später in einer Antwort auf eine parlamentarische Anfrage, dass die AKW „nicht gegen schwere militärische Mittel ausgelegt“ sind.²⁸ Klar ist auch, dass etwa Angriffe mit Drohnen, die vergleichsweise einfach zu besorgen sind, eine neuartige und schwerwiegende Bedrohung für Atomanlagen darstellen.²⁹ Welche konkreten Szenarien von den Behörden überhaupt in Betracht gezogen werden, welche Maßnahmen dagegen ergriffen wurden, ob und welche Konsequenzen die

²⁴ Mertins: Studie zu den Sicherheitsdefiziten des Schweizer AKW Leibstadt, 2021, S. 135.

²⁵ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Sicherheitstechnische Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung 2018 des Kernkraftwerks Gösgen, Dezember 2023. Online: https://ensi.admin.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2024/01/Sicherheitstechnische_Stellungnahme_zur_Periodischen_Sicherheitsueberpruefung_2018_des_Kernkraftwerks_Goesgen.pdf, Stand: 23.06.2025.

²⁶ Majer, Dieter: Risiko Altreaktoren Schweiz, 2014, S. 5.

²⁷ Schutz der schweizerischen Kernkraftwerke gegen einen Flugzeugabsturz, Nuklearforum Schweiz 20.09.2001, <https://www.nuklearforum.ch/de/news/schutz-der-schweizerischen-kernkraftwerke-gegen-einen-flugzeugabsturz/>, Stand: 15.05.2025, Kap. 2.7 und 3.4.

²⁸ 22.3443 | Kriegerische Handlungen verlangen höheren Sicherheitsstandard von Schweizer AKW | Geschäft | Das Schweizer Parlament, <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20223443>, Stand: 03.01.2025.

²⁹ Vgl. etwa Becker, Oda: Mögliche Auswirkungen von Terrorangriffen auf Zwischenlager für hochradioaktiven Abfall am Beispiel der Zwischenlager in Ahaus und Brokdorf, Dezember 2024. Online: https://www.ausgestrahlt.de/media/filer_public/28/79/2879b772-0fdd-4312-bc4d-16c3f52a291f/zwischenlager-ahaus-brokdorf-ausgestrahlt.pdf, Stand: 12.06.2025.

jüngsten Veränderungen der Sicherheitslage in Europa und weltweit nach sich zogen etc., ist nicht bekannt. Nach den öffentlich zugänglichen Informationen basieren die offiziellen Freisetzungsszenarien für Schweizer AKW wie auch die der meisten anderen Studien immer nur auf reinen Unfallszenarien infolge technischen Versagens. Dadurch, dass Unfälle, wie sie infolge von Angriffen auf AKW auftreten können, nicht berücksichtigt werden, zeigen die Studien ein unvollständiges Bild beziehungsweise unterschätzen das tatsächliche Risiko.

Inwiefern bei Szenarien, die auf böswilliger Einwirkung basieren, etwa die Annahmen zu den freigesetzten Mengen radioaktiver Stoffe und zur Vorwarnzeit noch gelten, ist nicht bekannt. Es ist allerdings plausibel, dass bei einer schweren mechanischen Zerstörung der Reaktorhülle auch weitaus größere und schnellere Freisetzungen – und entsprechend gravierendere radiologische Folgen – als bei einem reinen Unfallszenario möglich sind. Kang/Lisowski³⁰ sind in ihrem Gedankenexperiment zu möglichen Folgen militärischer Angriffe auf ukrainische Atomkraftwerke von einer Freisetzung von 50 Prozent des radioaktiven Inventars pro Reaktor ausgegangen, das ist fünfmal so viel, wie bei den offiziellen Unfallszenarien unterstellt wird. In der politischen Debatte über den Betrieb von Atomkraftwerken und die von ihnen ausgehenden Risiken darf dieses Risiko nicht einfach ignoriert werden.

³⁰ Kang, Jungmin; Lisowski, Eva: Could an attack on Ukrainian nuclear facilities cause a disaster greater than Chernobyl? Possibly, simulations show, Bulletin of the Atomic Scientists 23.03.2022, <https://thebulletin.org/2022/03/could-an-attack-on-ukrainian-nuclear-facilities-cause-a-disaster-greater-than-chernobyl-possibly-simulations-show/>, Stand: 23.06.2025.

2 Szenarien / Freisetzungsannahmen

2.1 ENSI-Referenzszenarien für den Notfallschutz

2.1.1 Allgemeines und Einschränkungen

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) hat als Grundlage für die Notfallschutzplanung generische (nicht reaktorspezifische) Freisetzungsannahmen für schwere AKW-Unfälle definiert: insgesamt sechs Szenarien (A1 bis A6).³¹ Detaillierte Angaben zu den einzelnen Quelltermen – welche Radionuklide mit jeweils wieviel Becquerel Radioaktivität werden den Annahmen zufolge freigesetzt – wurden bisher nicht publiziert.³² Öffentlich zugänglich sind lediglich summarische Angaben für verschiedene Nuklidgruppen (Edelgase, Iod, Aerosole; nicht für jedes der rund 100 Nuklide einzeln), die Annahmen zum Freisetzungsbeginn und zur Freisetzungsdauer.³³ Weiter sind einzelne rudimentäre Ausbreitungskarten zugänglich, allerdings nicht für das gravierendste Szenario A6.³⁴ Die Karten sollen primär veranschaulichen, dass die betroffene Fläche bei einem schweren AKW-Unfall nicht nur vom Quellterm, sondern auch von der Wetterlage abhängt (vgl. Abbildung 6a-Abbildung 11c, Seiten 28-30). Konkrete Folgenabschätzungen liegen nur für das Szenario A4 und nur bezogen auf das Schweizer Staatsgebiet vor, das heute als Referenzszenario für den Notfallschutz dient. Die Folgeschätzungen wurden vom Schweizer Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) entwickelt.³⁵

Alle ENSI-Referenzszenarien sind explizit Unfallszenarien. Böswillige Einwirkungen sind nicht Teil der Betrachtungen. Diesbezüglich ging der Schweizer Notfallschutz etwa von folgender Annahme aus:

„Beispielsweise ist bei allen denkbaren KKW-Störfällen der Freisetzunganteil erheblich unter 100 % des Kerninventars (ausser bei den Edelgasen). Die HSK [heute ENSI] geht [...] von einem maximalen Freisetzunganteil des gesamten Kerninventars (ohne Edelgase) von ca. 20 % aus. Eine grössere Freisetzung wäre vielleicht als Folge eines gezielten (atomaren) Angriffs auf ein KKW denkbar; eine Möglichkeit, mit der höchstens im Krieg gerechnet werden muss.“³⁶

Im größten Szenario des ENSI (A6) wird – abgesehen von den Edelgasen – ein Freisetzunganteil von 3 bis 5 Prozent des Kerninventars angenommen. Die Szenarien, die das ENSI für die Notfallplanung definiert hat, sind also nicht abdeckend für sämtliche denkbaren AKW-Unfälle und schon gar nicht abdeckend für nukleare Freisetzungen im Zuge eines Angriffs auf ein AKW.

2.1.2 Ablauf

Die ENSI-Szenarien beziehen sich nicht auf einen spezifischen Reaktortyp. Die Freisetzunganteile, die jeweils nur pro Nuklidgruppe und nicht für jedes Nuklid einzeln angegeben werden, orientieren sich aber an einem Druckwasserreaktor mit 3.000 MW thermischer Leistung, was ungefähr dem AKW Gösgen entspricht.³⁷ Der postulierte Unfall, der zu großen Freisetzungen führt, ist ein Bruch der

³¹ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Überprüfung der Referenzszenarien für die Notfallplanung in der Umgebung der Kernkraftwerke, ENSI, AN-8293, 2014. Online: https://ensi.admin.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2014/06/ueberpruefung-der-referenzszenarien_ida_nomex_ensi-an-8293.pdf, Stand: 16.01.2025.

³² Auf Anfrage erläuterte das ENSI: „Der verwendete Nuklidvektor setzt sich insgesamt aus 100 Nukliden zusammen, welche den Edelgasen, Halogenen und den erwähnten Nuklidgruppen zugeordnet werden.“ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): AW: Quellterm Referenzszenario A3 – Nachfrage zu Cäsium-Werten, Schreiben an .ausgestrahlt 19.03.2025.

³³ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Überprüfung der Referenzszenarien für die Notfallplanung in der Umgebung der Kernkraftwerke, 2014.

³⁴ ebd.

³⁵ Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS: Gefährdungsdossier KKW-Unfall, November 2020. Online: <https://backend.babs.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-babsch-files/files/2023/12/12/f6a0f256-0f9f-40de-b461-39e15f9097c4.pdf>, Stand: 30.03.2025; Bundesamt für Bevölkerungsschutz Labor Spiez: ABC-Referenzszenarien, 2021.

³⁶ Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS: KATARISK - Katastrophen und Notlagen in der Schweiz. Grundlagen und Informationen zur Risikoanalyse, 2003. Online: <https://backend.babs.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-babsch-files/files/2024/02/27/196a9fba-468c-425d-82ad-51765ea8426d.pdf>, Stand: 23.06.2025, S. 92, FN28.

³⁷ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Überprüfung der Referenzszenarien für die Notfallplanung in der Umgebung der Kernkraftwerke, 2014, S. 37.

Hauptkühlmittelleitung mit anschließender zeitlich verzögerter und teilweiser ungefilterter Freisetzung in die Atmosphäre (*containment bypass*).³⁸ Für alle Szenarien A3 bis A6 wird eine Freisetzungsdauer von 2 bis 48 Stunden unterstellt. Der Beginn der Freisetzung nach dem auslösenden Ereignis (Bruch der Hauptkühlmittelleitung) beträgt bei den Szenarien A3 und A4 jeweils 6 Stunden, beim Szenario A5 noch 4 Stunden und beim Szenario A6 noch 2 Stunden.³⁹

2.1.3 Quellterme

Szenario	I-131 (Bq)	% d. Inv.	Cs-137 (Bq)	% d. Inv.
ENSI-A3	2E+14	n.a.	2E+13	n.a.
ENSI-A4	2E+15	n.a.	2E+14	n.a.
ENSI-A5	2E+16	n.a.	2E+15	n.a.
ENSI-A6	2E+17	n.a.	2E+16	n.a.

Tabelle 2: Freisetzung von I-131 und Cs-137 gemäß den ENSI-Szenarien A3 bis A6⁴⁰

Bis zur Überprüfung der Szenarien im Nachgang von Fukushima galt in der Schweiz das Szenario A3 als Referenzszenario für den Notfallschutz. Die größeren Szenarien A4 bis A6 sind skalierte Versionen des Szenarios A3. Im Vergleich zum Szenario A3 postulieren die Szenarien A4 bis A6 alle eine vollständige Freisetzung der Edelgase. Die Freisetzungsannahmen für die Nuklidgruppen Jod und Aerosole erhöhen sich pro Szenario jeweils um eine Größenordnung, sind aber im öffentlich zugänglichen Bericht nicht pro Nuklid deklariert. Für die hier diskutierten Freisetzungen von I-131 und Cs-137 ergibt sich folgende Einordnung:

- I-131: Die ENSI-Szenarien A3 bis A5 postulieren I-131-Freisetzungen, die zuweilen deutlich unter allen anderen hier skizzierten Szenarien liegen. Das Szenario A6 geht für I-131 von einer Freisetzung im Bereich dessen aus, was für einen einzelnen Block des AKW Fukushima berechnet wurde. Der Großteil der im vorliegenden Bericht skizzierten Szenarien und Berechnungen geht indes von höheren I-131-Freisetzungen aus als ENSI-A6. Die I-131-Freisetzung der Katastrophe von Tschernobyl⁴¹ lag um rund eine Größenordnung über der Annahme von ENSI-A6.
- Cs-137: Die ENSI-Szenarien A3 bis A5 postulieren Cs-137-Freisetzungen, die zuweilen deutlich unter allen anderen im vorliegenden Bericht skizzierten Werten liegen. Das größte ENSI-Szenario A6 liegt für die Cs-137-Freisetzung im Bereich der Annahmen für Fukushima. Die Cs-137-Freisetzung in Tschernobyl war allerdings gut viermal so groß wie die in ENSI-A6 unterstellte.

³⁸ Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS: Gefährdungsdossier KKW-Unfall, November 2020, S. 5; Bundesamt für Bevölkerungsschutz Labor Spiez: ABC-Referenzszenarien, 2021, S. 24.

³⁹ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Überprüfung der Referenzszenarien für die Notfallplanung in der Umgebung der Kernkraftwerke, 2014, S. 37–38. Bemerkenswert ist, dass das Gefährdungsdossier des BABS seinerseits von einer deutlich längeren Zeit (9 Stunden) zwischen auslösendem Ereignis und Beginn der Freisetzung ausgeht als das ENSI, ohne diese Annahme zu begründen: Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS: Gefährdungsdossier KKW-Unfall, November 2020, S. 5.

⁴⁰ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Überprüfung der Referenzszenarien für die Notfallplanung in der Umgebung der Kernkraftwerke, 2014, S. 37–38; Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Aktivitätskonzentration im Regenwasser - Modellstudie zum Referenzszenario A4, ENSI, ENSI-AN-9323 Rev. 1, 03.11.2015. Online: https://www.ensi.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2015/11/ENSI-AN-9323-Rev.-1_geschwaerzt.pdf, Stand: 23.06.2025, S. 8.

⁴¹ Bei Verweis auf den Reaktorunfall von 1986 in der Sowjetunion verwenden wir die russische Bezeichnung des AKW, unter der sich die Atomkatastrophe eingepreigt hat. Der heute verwendete ukrainische Name lautet Tschornobyl.

2.2 GRS-Quelltermbibliothek 2010

2.2.1 Allgemeines und Einschränkungen

Im Auftrag des deutschen Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) hat die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) 2010 – also ein Jahr vor Fukushima – für je eine Referenzanlage der Reaktortypen Druckwasserreaktor (DWR) und Siedewasserreaktor (SWR) je fünf Quellterme ausgewählt und detailliert diskutiert.⁴² Unter anderem hat die GRS in diesem Bericht auch Vergleiche der ausgewählten Quellterme mit vergleichbaren Angaben ausländischer Behörden angestellt – namentlich mit dem Szenario A3 des ENSI, das damals noch als Referenzszenario für den Notfallschutz galt.⁴³ Für diesen Vergleich hat die GRS aus den fünf Quelltermen pro Reaktortyp jeweils einen ausgewählt, der als Annahme für schwere Unfälle diente. Die Referenzanlagen, die die GRS zugrunde legte, waren Biblis B (DWR) und Philippsburg 1 (SWR).⁴⁴ Anders als das ENSI schlug die GRS also Quellterme in Abhängigkeit des Anlagentyps vor. Biblis B war damals mit einer thermischen Leistung von 3.733 MWth leistungsstärker als die vom ENSI bis heute postulierte Referenzanlage (DWR 3.000 MWth). Philippsburg 1 wiederum war mit 2.575 MWth weniger leistungsstark als die Referenzanlage des ENSI und insbesondere weniger leistungsstark als der einzige heute in der Schweiz noch betriebene Siedewasserreaktor in Leibstadt (3.600 MWth). Die beiden damals mit dem Schweizer Szenario A3 verglichenen Quellterme sind pro Nuklid aufgeschlüsselt, sowohl betreffs freigesetzter Aktivität als auch betreffs des Anteils am Inventar beziehungsweise der Anfangsaktivität. Die GRS hat auch detaillierte Angaben zu den postulierten Anfangsinventaren publiziert.⁴⁵

Auch bei den GRS-Quelltermen handelt es sich samt und sonders um unfallbedingte Freisetzungen. Folgen möglicher Angriffe auf ein AKW wurden nicht berücksichtigt. Insgesamt wird in den GRS-Szenarien ein Freisetzungsanteil des Kerninventars (ohne Edelgase) von 8,5 bis 9,5 Prozent unterstellt. Die GRS machte indes darauf aufmerksam, dass unter sehr ungünstigen Unfallbedingungen auch Jodfreisetzungen von bis zu 70 Prozent denkbar wären.⁴⁶

2.2.2 Ablauf

Für das von der GRS vorgeschlagene Szenario „FKA“ wird für einen Druckwasserreaktor ein Abriss von einem der vielen Tausend Heizrohre in einem der Dampferzeuger (unbedecktes Dampferzeugerheizrohrleck, 6 cm²) mit Versagen eines Frischdampfventils in Offenstellung unterstellt.⁴⁷ Die Freisetzung beginnt 20,8 Stunden nach dem auslösenden Ereignis. Eine erste kurze Freisetzung dauert ca. 7 Stunden, gefolgt von sehr langdauernder stetiger Freisetzung.⁴⁸

Für das GRS-Szenario „FKKAZ2“ wird für einen Siedewasserreaktor ein Komplettausfall der Reaktordruckbehälter-Bespeisung und ein Komplettausfall der Hochdruck- und Niederdruckeinspeisung in den Reaktordruckbehälter unterstellt.⁴⁹ Die erste kurze, aber starke Freisetzung beginnt 2,6 Stunden nach dem auslösenden Ereignis und dauert ca. 1 Minute, gefolgt von einer sehr langdauernden stetigen Freisetzung.⁵⁰

⁴² Löffler, H.; Mildenerger, O.; Sogalla, M. u. a.: Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS für Ereignisse im Leistungsbetrieb, GRS, A-3580, 30.10.2010. Online: https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-201202017259/3/BfS_2012_3609S60009.pdf, Stand: 23.06.2025.

⁴³ ebd., S. 159–164.

⁴⁴ ebd., 37; 147.

⁴⁵ ebd., S. 12.

⁴⁶ ebd., S. 14.

⁴⁷ ebd., S. 13–14.

⁴⁸ ebd., S. 163.

⁴⁹ ebd., S. 26–27.

⁵⁰ ebd., S. 163.

2.2.3 Quellterme

Szenario	I-131	% d. Inv.	Cs-137	% d. Inv.
FKA	3.06E+17	8.4 %	2.85E+16	9.4 %
FKKAZ2	4.07E+16	1.6 %	5.32E+15	1.4 %

Tabelle 3: Freisetzung von I-131 und Cs-137 gemäß den Freisetzungskategorien FKA und FKKAZ2 der GRS⁵¹

2.2.3.1 Quellterm FKA

Die GRS hat für das Szenario FKA den Quellterm für 25 Nuklide angegeben.⁵² Blickt man auf ganze Nuklidgruppen, liegt das Szenario FKA im Bereich des ENSI-Szenarios A6 für die Jodgruppe und zwischen A5 und A6 für die Gruppe der Aerosole. Blickt man hingegen auf einzelne Nuklide, ergibt sich ein anderes Bild. Die konkrete Zusammensetzung des Quellterms unterscheidet sich also massiv, auch wenn die freigesetzte Aktivität pro Gruppe ähnlich ist. Für die im vorliegenden Bericht diskutierten Freisetzungen von I-131 und Cs-137 ergibt sich folgende Einordnung:

- I-131: Der I-131-Quellterm im Szenario FKA liegt über der Annahme eines einzelnen Blocks von Fukushima, aber unter den höchsten Schätzungen für die Katastrophe von Fukushima und deutlich unter dem Wert für Tschernobyl. Insbesondere liegt der Wert deutlich über allen ENSI-Szenarien.
- Cs-137: Für das Szenario FKA liegt der Wert über allen Schätzungen für Fukushima, aber unter dem Wert für Tschernobyl. Insbesondere liegt der Wert deutlich über allen ENSI-Szenarien.

2.2.3.2 Quellterm FKKAZ2

Die GRS hat für das Szenario FKKAZ2 den Quellterm für 25 Nuklide angegeben.⁵³ Blickt man auf ganze Nuklidgruppen, liegt das Szenario FKKAZ2 zwischen ENSI-Szenario A5 und A6 für die Jodgruppe und zwischen A4 und A5 für die Gruppe der Aerosole. Blickt man hingegen auf einzelne Nuklide, liegt das Szenario sowohl für I-131 als auch für Cs-137 zwischen den ENSI-Szenarien A5 und A6. Für die im vorliegenden Bericht diskutierten Freisetzungen von I-131 und Cs-137 ergibt sich folgende Einordnung:

- I-131: Der I-131-Quellterm im Szenario FKKAZ2 liegt unter den Annahmen zu Fukushima und zwischen den beiden ENSI-Szenarien A5 und A6.
- Cs-137: Für das Szenario FKKAZ2 liegt der Wert im Bereich der Schätzungen für Fukushima. Der Wert liegt zwischen den ENSI-Szenarien A5 und A6.

⁵¹ ebd., 48; 107.

⁵² ebd., S. 48.

⁵³ ebd., S. 107.

2.3 flexRISK 2013

Szenario	I-131 (Bq)	% d. Inv.	Cs-137 (Bq)	% d. Inv.
AKW Beznau 1 bzw. 2	2.8E+17	30 %	4.4E+16	30 %
AKW Gösgen	4.9E+17	20 %	7.8E+16	20 %
AKW Leibstadt	5.4E+17	14 %	1.2E+17	14 %

Tabelle 4: Freisetzung von I-131 und Cs-137 gemäß den Szenarien von flexRISK für die Schweizer AKW Beznau, Gösgen und Leibstadt⁵⁴

Wissenschaftler*innen der Universität für Bodenkultur Wien erarbeiteten 2013 ein Computermodell, das die Auswirkungen schwerer Unfälle für alle europäischen Atomkraftwerke abschätzen helfen sollte.⁵⁵ Für acht verschiedene Reaktortypen trugen sie in öffentlich zugänglichen Quellen verfügbare Informationen über das radioaktive Inventar im Reaktorkern zusammen.⁵⁶ Die Angaben skalierten sie anschließend jeweils nach thermischer Leistung der untersuchten Anlage.

Für jeden Reaktortyp identifizierten sie zudem ein mit großen Freisetzungen einhergehendes, zugleich aber nicht zu unwahrscheinliches Unfallszenario.⁵⁷ Im Fall der AKW Beznau 1 und Beznau 2 wählten sie, basierend auf diversen Publikationen, einen Unfall, der von einem Containment-Bypass geprägt ist, etwa nicht absperrbare Brüche von Leitungen außerhalb des Containments, die direkt an das Reaktorkühlsystem anschließen, oder nicht absperrbare Dampferzeuger-Heizrohrbrüche.⁵⁸ Im Fall des AKW Gösgen wählten sie ein Dampferzeugerheizrohr-Leck mit Bypass des Containments und der gefilterten Druckentlastung, wie ihn die Schweizer Atomaufsicht im Zusammenhang mit der Periodischen Sicherheitsüberprüfung des AKW 1999 beschrieben hat.⁵⁹ Beim AKW Leibstadt, einem Siedewasserreaktor, legten sie einen schweren Unfall mit frühzeitigem Versagen der Containment-Luftschleuse und ungekühlter Brennstoffschmelze zugrunde, entnommen der sicherheitstechnischen Stellungnahme der Schweizer Atomaufsicht zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung des AKW 2009.⁶⁰

Für jedes Unfallszenario ermittelten die Wissenschaftler*innen, welche Anteile des radioaktiven Inventars mutmaßlich freigesetzt würden, aufgeschlüsselt nach sechs Nuklidgruppen. Zudem bestimmten sie Dauer, Beginn und Phasen der Freisetzung sowie Austrittshöhen der radioaktiven Wolken.

Ihr Quellterm für die anschließende Ausbreitungsrechnung umfasste insgesamt 20 Nuklide (radioaktive Edelgase und radioaktive Aerosole; in obiger Tabelle sind nur zwei davon angegeben). Ein Großrechner simulierte für 2.788 reale Wettersituationen der Jahre 1995 und 2000 bis 2009 die jeweilige Ausbreitung der radioaktiven Wolke, die Bodenkontamination und die Strahlenbelastung der Bevölkerung; dabei wurden auch radiologisch relevante Zerfallsprodukte der freigesetzten Nuklide mitberücksichtigt.

⁵⁴ Seibert, Petra; Arnold, Dèlia; Arnold, Nikolaus u. a.: flexRISK – Flexible Tools for Assessment of Nuclear Risk in Europe. Final Report, Preliminary Version May 2013, BOKU Met-Report, 23, Mai 2013. Online: https://meteo.boku.ac.at/report/BOKU-Met_Report_23_PRELIMv2_online.pdf, Stand: 23.06.2025.

⁵⁵ ebd.

⁵⁶ Die Annahmen zum Inventar des AKW Leibstadt fußen auf Daten zum Siedewasserreaktor Cofrentes (Spanien). FlexRISK weist darauf hin, dass die dort genannten Werte für Cäsium relativ hoch sind. Andererseits unterstellt auch das ENSI in seinem (nicht reaktorspezifischen) A6-Szenario ein ähnlich hohes Cäsium-Inventar, allerdings einen deutlich geringeren Freisetzunganteil.

⁵⁷ Die Annahmen zur Freisetzungswahrscheinlichkeit für die Unfallszenarien in FlexRISK streuen aufgrund unterschiedlicher Berechnungsmethoden und -ansätze über mehrere Größenordnungen (1E-05 bis 1E-09) und sind mit großen Unsicherheiten behaftet. Die Annahmen für die Schweizer AKW stammen aus reaktorspezifischen Untersuchungen und liegen mit jeweils 4,9E-07/a für Beznau 1 und 2, 1,9E-07/a für Gösgen und 3,0E-07/a für Leibstadt im Mittelfeld.

⁵⁸ Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK): KKW Beznau II: Gutachten zum Gesuch der NOK um Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung, HSK, 14/730, 2004. Online: https://ensi.admin.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2011/08/gus_01_03_04_d.pdf, Stand: 23.06.2025.

⁵⁹ Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK): Periodische Sicherheitsüberprüfung für das Kernkraftwerk Gösgen-Däniken. Zusammenfassung, Ergebnisse und Bewertung, 1999. Online: https://ensi.admin.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2011/08/psu_kkg.pdf, Stand: 30.03.2025.

⁶⁰ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Sicherheitstechnische Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung des Kernkraftwerks Leibstadt, 2009. Online: https://www.ensi.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2011/08/psue_kkl-2009.pdf, Stand: 30.03.2025.

2.4 Öko-Institut 2014

Szenario	I-131 (Bq)	% d. Inv.	Cs-137 (Bq)	% d. Inv.
AKW Beznau 1 und 2 (Öko-Institut)	1.8E+17	9 %	6.9E+15	5 %
AKW Gösgen (Öko-Institut)	2.4E+17	9 %	9.2E+15	5 %
AKW Leibstadt (Öko-Institut)	2.9E+17	9 %	1.1E+16	5 %

Tabelle 5: Freisetzung von I-131 und Cs-137 gemäß den Szenarien des Öko-Instituts für die Schweizer AKW Beznau, Gösgen und Leibstadt⁶¹

Das Freiburger Öko-Institut untersuchte 2014 im Auftrag des Trinationalen Atomschutzverbands TRAS die Auswirkungen eines schweren Atomunfalls in einem Schweizer AKW auf die Trinkwasserversorgung insbesondere von Basel.⁶² Unterstellt wurde dabei ein Unfall, bei dem derselbe Prozentsatz des radioaktiven Inventars des Reaktors freigesetzt wird wie beim Super-GAU in Fukushima. Grundlage waren die Berechnungen und Modellierungen der Japan Nuclear Energy Safety Organization (JNES) zu den von den Blöcken 1 bis 3 des AKW Fukushima-Daiichi verursachten Freisetzungen.⁶³ Demnach ging der größte Beitrag zur radioaktiven Belastung der Umgebungsluft durch Aerosole in Fukushima von Block 2 aus.⁶⁴ Das Öko-Institut rechnete deshalb die diesem Reaktor zugeschriebenen Freisetzungen sechs relevanter Nuklide (plus das nicht weiter betrachtete Edelgas Xe-133) unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Reaktorkern-Zusammensetzungen und Leistungen auf die Schweizer AKW um, ergänzt um vier weitere radiologisch relevante Isotope, für die es identische nuklidspezifische Freisetzungsanteile unterstellte.⁶⁵ Im Fall von Beznau 1 und 2 beziehen sich die Angaben auf beide Reaktoren zusammen, da das Öko-Institut ein Szenario unterstellte, das in beiden Reaktoren gleichzeitig zu einem Unfall führt.

In Bezug auf das radioaktive Inventar der Reaktoren entsprechen die Werte einer Freisetzung von etwa 9 Prozent des radioaktiven Jods und etwa 5 Prozent des radioaktiven Cäsiums. Diese Annahmen sind, wie das Öko-Institut unterstreicht, „moderat im Vergleich zu vielen Studien zu Freisetzungen aus Leichtwasserreaktoren bei schnell ablaufenden Unfällen mit Kernschmelzen und Containmentversagen“.⁶⁶ Es verwies dabei auf die für schweizerische AKW durchgeführten probabilistischen Risikountersuchungen, die mitunter noch größere Freisetzungen prognostizieren: Ihnen zufolge könnten bei Unfällen im AKW Gösgen jeweils mehr als 10 Prozent des Cäsium- und Jod-Inventars, im AKW Leibstadt bei bestimmten Unfallszenarien sogar 14 bis 19 Prozent freigesetzt werden. Das Öko-Institut hält in Bezug auf seine Annahmen daher fest: „Die hier angesetzte Freisetzungsmenge stellt nicht die größtmögliche Freisetzung nach einem schweren Unfall dar.“⁶⁷

Mit Hilfe eines einfachen Ausbreitungsmodells berechnete das Öko-Institut unter anderem die bei ungünstigen Wetterbedingungen zu erwartende Oberflächenkontamination in bis zu 85 Kilometer Entfernung vom Reaktor und daraus abgeleitet die mögliche Kontamination von Oberflächengewässern und die Gefährdung der Trinkwasserversorgung, vgl. dazu insbesondere unten Kapitel 3.3.3.

⁶¹ Ustohalova, Veronika; Küppers, Christian; Claus, Manuel: Untersuchung möglicher Folgen eines schweren Unfalls in einem schweizerischen Kernkraftwerk auf die Trinkwasserversorgung, 18.06.2014. Online: <https://www.oeko.de/oekodoc/2116/2014-672-de.pdf>, Stand: 23.06.2025.

⁶² ebd.

⁶³ Hoshi, Harutaka: Source Term Analysis Using Melcor Code. Presentation held on Technical Workshop on TEPCO's Fukushima Dai-ichi NPS Accident, 23.-24. Juli 2012.

⁶⁴ Freisetzungen radioaktiver Edelgase wurden außer Acht gelassen, da diese keinen Einfluss auf die Oberflächenkontamination haben, auf die es in der Untersuchung ankam. Die Freisetzungen von Xe-133 aus Block 3 waren noch um 30 Prozent größer als die aus Block 2.

⁶⁵ Für die Schweizer AKW legte das Öko-Institut das Inventar eines Reaktors mit Urankern am Ende eines Betriebszyklus zugrunde, wie er beschrieben ist in: Strahlenschutzkommission (SSK): Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Unfällen, SSK-Bericht, 37, 2003. Online: <https://www.yumpu.com/de/document/view/26004056/leitfaden-fa-1-4-r-den-fachberater-strahlenschutz-der-sardog>, Stand: 23.06.2025.

⁶⁶ Ustohalova, Küppers, Claus: Untersuchung möglicher Folgen eines schweren Unfalls in einem schweizerischen Kernkraftwerk auf die Trinkwasserversorgung, 18.06.2014, S. 18.

⁶⁷ ebd., S. 7.

2.5 Institut Biosphère 2019

Szenario	I-131 (Bq)	% d. Inv.	Cs-137 (Bq)	% d. Inv.
AKW Beznau 1 bzw. 2	2.8E+17	30 %	4.4E+16	30 %
AKW Gösgen	4.9E+17	20 %	7.8E+16	20 %
AKW Leibstadt	5.4E+17	14 %	1.2E+17	14 %

Tabelle 6: Freisetzung von I-131 und Cs-137 gemäß den Szenarien des Institut Biosphère für die Schweizer AKW Beznau, Gösgen und Leibstadt⁶⁸

Das Schweizer Institut Biosphère modellierte 2019 im Auftrag der Organisation Sortir du Nucléaire Suisse Romande die Folgen eines schweren Reaktorunfalls in den Schweizer AKW Beznau 1 und 2, Gösgen, Leibstadt und Mühleberg (abgeschaltet Ende 2019) sowie dem französischen AKW Bugey nordöstlich von Lyon.⁶⁹ Grundlage der Ausbreitungsrechnungen, die mit realen Wetterdaten für jeden Tag des Jahres 2017 durchgeführt wurden, waren reaktorspezifisch definierte Quellterme, die Freisetzungen auf einem Niveau zwischen Fukushima und Tschernobyl abbilden sollten.

Die Autoren griffen dafür auf eine Publikation der US-Atomaufsicht NRC von 1994 zurück, die das radioaktive Inventar eines Siedewasser- und eines Druckwasserreaktors in 60 Nukliden aufschlüsselt und für diverse Reaktortypen und Unfallszenarien Angaben über die zu erwartenden Freisetzungsanteile macht.⁷⁰ Für jedes untersuchte AKW wählten sie einen möglichst passenden Reaktortyp und ein Unfallszenario aus. Den sich daraus ergebenden Quellterm skalierten sie auf die Reaktorleistung des untersuchten AKW. Bei den sechs in der flexRISK-Studie aufgeführten Nukliden (s.o.), darunter I-131 und Cs-137, nutzten sie diese anstelle der NRC-Zahlen. Ebenso verfahren sie bei sechs weiteren Nukliden, für welche die Studie des Öko-Institut von 2014 (s.o.) Daten lieferte. Allerdings passten sie die von flexRISK und Öko-Institut übernommenen Werte gegebenenfalls deutlich nach unten an, damit die von der NRC für die jeweilige Nuklidgruppe angegebenen Freisetzungsanteile nicht überschritten wurden. Weil ihr Modell für die Ausbreitungsrechnung keinen radioaktiven Zerfall berücksichtigte, strichen sie schließlich alle Nuklide mit einer Halbwertszeit unter 72 Stunden, also einem eher schnellen Zerfall, von ihrer Liste. Ihre Quellterme umfassten so am Ende statt 60 nur jeweils 32 Nuklide. Betrachtet man die Summen aller in den Quelltermen enthaltenen Aerosole (einschließlich Jod und Cäsium), liegen die Freisetzungen 2,3- bis 6,6-fach unter denen von Tschernobyl und 1,4- bis 4,3-fach über denen von Fukushima.⁷¹

Den je nach Wetterlage zu erwartenden radioaktiven Fallout in der Schweiz und den Nachbarländern zeigte die Studie in Form von Karten. Mit Hilfe von Bevölkerungsdaten rechnete sie ihn in zu erwartende Gesundheitsschäden um.

Wegen der vergleichsweise hohen Cäsium-137-Werte der verwendeten Quellterme erhob das ENSI den Vorwurf, das Institut Biosphère unterstelle radioaktive Freisetzungen auf Tschernobyl-Niveau, was für Unfälle in Schweizer AKW unseriös sei.⁷² Die Autoren der Studie wiesen diesen Vorwurf zurück. Für die Frage, wie viele Menschen von einem schweren Unfall in einem AKW oder bei einem Angriff auf ein AKW betroffen wären und mit Gesundheitsschäden zu rechnen hätten, komme es nicht auf die Werte eines einzelnen Nuklids an. Entscheidend sei vielmehr die Summe aller freigesetzten Aerosole, und

⁶⁸ Piguet, Frédéric-Paul; Eckert, Pierre; Knüsli, Claudio u. a.: Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries, 2019. Online: https://www.institutbiosphere.ch/wa_files/EUNUPRI-2019v01.pdf, Stand: 16.10.2024.

⁶⁹ ebd.

⁷⁰ Hanson, A. L.; Davis, E.; Mubayi, V.: Calculations in Support of a Potential Definition of Large Release, NUREG/CR, 6094, 1994. Online: <https://www.nrc.gov/docs/ML1219/ML12191A004.pdf>, Stand: 23.06.2025.

⁷¹ Piguet, Eckert, Knüsli, Wildi, Giuliani: Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries, 2019, S. 11–12.

⁷² Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Stellungnahme des ENSI zur Studie "Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries" des Institut Biosphère, ENSI, AN-10939, 30.06.2020, S. 2.

diese läge in allen Fällen – siehe oben – deutlich unterhalb des Tschernobyl-Quellterms.⁷³ Die Ausbreitungsrechnung an sich, also die Simulation der Wolke und Berechnung der von ihr und dem Fallout ausgehenden Strahlenbelastung, hält auch das ENSI für „plausibel“.⁷⁴

2.6 Institut Biosphère 2025

Szenario	I-131 (Bq)	% d. Inv.	Cs-137 (Bq)	% d. Inv.
AKW Leibstadt	2.0E+18	49 %	3.1E+17	58 %

Tabelle 7: Freisetzung von I-131 und Cs-137 gemäß einer Vorstudie des Institut Biosphère für das Schweizer AKW Leibstadt.⁷⁵

In einer Vorstudie im Auftrag des TRAS hat das Institut Biosphère im März 2025 noch einmal speziell die Auswirkungen eines schweren Unfalls im AKW Leibstadt auf (Süd-)Deutschland abgeschätzt.⁷⁶ Dieser Studie lagen die Wetterdaten der Jahre 2017, 2018, 2020 und 2021 zugrunde, insgesamt wurden 1.461 Simulationen durchgeführt.

Der verwendete Quellterm basiert auf dem Preliminary Safety Analysis Report (PSAR), den der AKW-Betreiber Taipower für die (nie vollendeten) taiwanesischen Reaktoren Lungmen 1 und 2 erstellt hat.⁷⁷ In diesem sind für 14 Unfallszenarien die zu erwartenden Freisetzungsanteile berechnet, aufgeschlüsselt nach 9 Nuklidgruppen.⁷⁸

Nr. 13 der 14 Unfallszenarien ist ein Ausfall der Kernkühlung während eines Stillstands des Reaktors bei geöffnetem Reaktordruckbehälter. Der Reaktortyp ist ein Advanced Boiling Water Reactor (ABWR), ein Siedewasserreaktor der Generation III. Dieser verfügt, wie Institut Biosphère anmerkt, schon konzeptionell über höhere Sicherheitsstandards als das AKW Leibstadt (Siedewasserreaktor Generation II).⁷⁹

Die Annahmen zum radioaktiven Inventar stützen sich auf das eines vergleichbaren Reaktortyps (ESBWR) am Ende eines Betriebszyklus, heruntergerechnet auf die Reaktorleistung des AKW Leibstadt. Wissenschaftler*innen des Instituts für Sicherheits- und Risikowissenschaften der Universität für Bodenkultur Wien haben den gleichen Quellterm in einer anderen Studie ebenfalls als Beispiel für eine große Freisetzung herangezogen.⁸⁰ Das Unfallszenario zeichnet sich dadurch aus, dass die bei der Kernschmelze freiwerdenden radioaktiven Stoffe aus dem Reaktorkern direkt in die Umwelt gelangen, was sich in den hohen Freisetzungsanteilen widerspiegelt. Es ähnelt also einem Szenario, wie es auch bei einer mechanischen Zerstörung von Sicherheits- und Reaktordruckbehälter etwa durch einen Angriff eintreten würde. Dessen ungeachtet ist das Unfallszenario nicht das gravierendste, das Taipower im PSAR beschreibt und berechnet.

⁷³ Piguet, Frédéric-Paul; Eckert, Pierre; Knüsli, Claudio: Réponse de l'Institut Biosphère aux critiques de l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN/ENSI), 05.03.2024. Online: https://institutbiosphere.ch/wa_files/eunupri2023a-fr.pdf, Stand: 23.06.2025, S. 5–6.

⁷⁴ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Stellungnahme des ENSI zur Studie "Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries" des Institut Biosphère, 30.06.2020, S. 2.

⁷⁵ Piguet, Frédéric-Paul; Eckert, Pierre; Knüsli, Claudio: Impact sur le Sud de l'Allemagne d'un accident nucléaire majeur à la centrale nucléaire de Leibstadt en Suisse (3600 MWth). Étude préliminaire ; European Nuclear Risk Study (Eunupri-2025a), 13.03.2025.

⁷⁶ ebd.

⁷⁷ Taipower: Lungmen Units 1 & 2 - Preliminary Safety Analysis Report (PSAR).

⁷⁸ Sholly, Steven; Müllner, Nikolaus; Arnold, Nikolaus u. a.: Source Terms For Potential NPPs at The Lubiatowo Site, Januar 2014. Online: http://www.risk.boku.ac.at/download/pub/2014/ISR_report_source_terms_poland.pdf, Stand: 23.06.2025, Tabelle 9.

⁷⁹ Piguet, Eckert, Knüsli: Impact sur le Sud de l'Allemagne d'un accident nucléaire majeur à la centrale nucléaire de Leibstadt en Suisse (3600 MWth), 13.03.2025, S. 1–2.

⁸⁰ Sholly, Müllner, Arnold, Gufler: Source Terms For Potential NPPs at The Lubiatowo Site, Januar 2014.

Institut Biosphère verwendet für seine Berechnungen 28 Nuklide (von 30 in der Quelle genannten) plus 26 relevante Tochternuklide, die aus ersteren durch radioaktiven Zerfall entstehen. Radioaktive Edelgase wie das bei einem Unfall in großer Menge freigesetzte Xe-133, die sich nach anderen Regeln ausbreiten als Aerosole, wurden nicht mitberücksichtigt. Eine Ausnahme stellt Xe-131m dar, das durch radioaktiven Zerfall aus I-131 entsteht, weshalb es laut den Autoren mit der Aerosolwolke zusammen auftritt und deshalb auch mitberücksichtigt wurde.

Aus Wolke und Fallout berechnet Institut Biosphère die an dem jeweiligen Ort zu erwartende Strahlenbelastung, und zwar sowohl die individuelle Dosis als auch die unter Berücksichtigung der Bevölkerungsdichte zu erwartende Kollektivdosis. Aus letzterer leitet es die stochastisch zu erwartenden schweren Erkrankungen (Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Krebsfälle) sowie Todesfälle ab.

Die Simulation der 1.461 realen Wetterlagen zeigt, dass Deutschland bei einem Unfall im AKW Leibstadt in 90 Prozent der Fälle großräumig betroffen gewesen wäre, vgl. dazu unten Kapitel 3.1-3.5.

2.7 Übersicht und Diskussion der Annahmen zu radioaktiven Freisetzungen nach einem schweren Atomunfall

Die Quellterme, die den hier betrachteten Studien und Ausbreitungsrechnungen zugrunde liegen, differieren hinsichtlich Art und Anzahl der berücksichtigten Nuklide. Längst nicht alle Details sind zudem öffentlich zugänglich. In vielen Fällen beschränken sich die publizierten Angaben auf einige Leitnuklide und die für diese beziehungsweise die zugehörigen Nuklidgruppen angenommenen Freisetzungsanteile.

Beim Vergleich beschränken wir uns daher auf zwei radiologisch besonders relevante Leitnuklide Jod-131 (I-131) und Cäsium-137 (Cs-137), für die Angaben für alle hier diskutierten Szenarien vorliegen und die zumindest eine grobe Einordnung des jeweiligen Quellterms zulassen. Das radioaktive Jod-Isotop I-131 (Halbwertszeit: 8 Tage) wird meist als Leitnuklid herangezogen, um die kurzfristigen radiologischen Auswirkungen eines Atomunfalls abzuschätzen. Das radioaktive Cäsium-Isotop Cs-137 (Halbwertszeit: 30,2 Jahre) ist entscheidend für die langfristigen radiologischen Auswirkungen.⁸¹

Der Vergleich der Quellterme anhand dieser beiden Leitnuklide zeigt, dass die den Studien zugrundeliegenden Annahmen zu den radioaktiven Freisetzungen zum Teil mehrere Größenordnungen auseinanderliegen:

⁸¹ Vgl. etwa: Zaletel, Katja; Mihovec, Anamarija; Gaberscek, Simona: Characteristics of exposure to radioactive iodine during a nuclear incident, in: Radiology and oncology 58 (4), 2024, S. 459–468. Online: <https://sciendo.com/article/10.2478/raon-2024-0051>, Stand: 23.06.2025, sowie: Löffler, Mildenerger, Sogalla, Stahl: Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS für Ereignisse im Leistungsbetrieb, 30.10.2010.

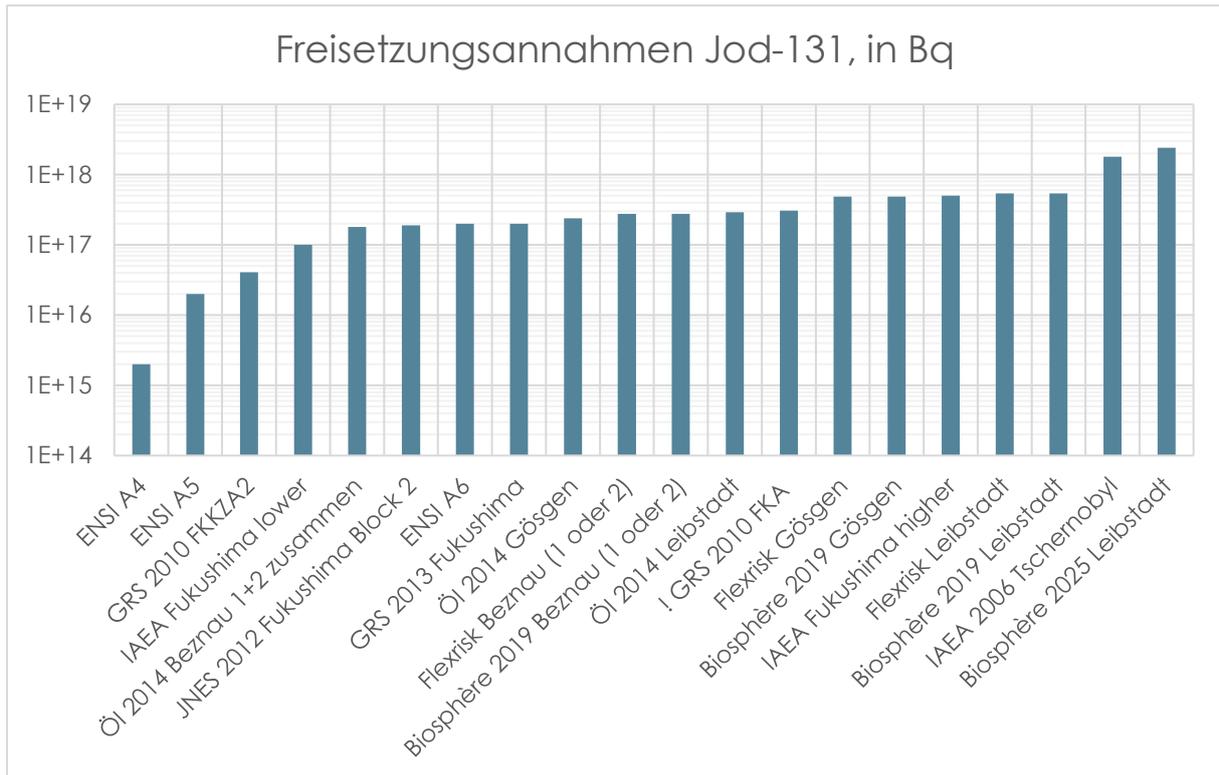


Abbildung 2: Freisetzungsannahmen der oben skizzierten Szenarien (exkl. ENSI-A3) für I-131 in Becquerel.

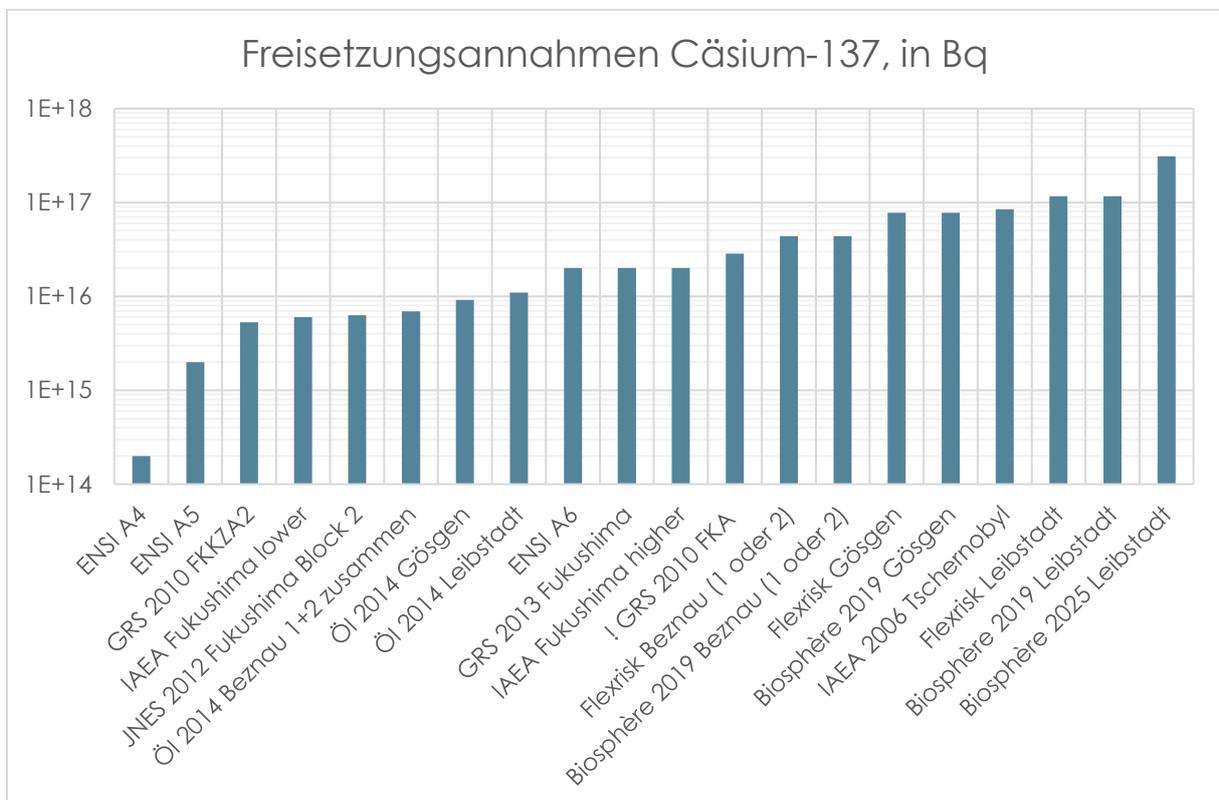


Abbildung 3: Freisetzungsannahmen der oben skizzierten Szenarien (exkl. ENSI-A3) für Cs-137 in Becquerel.

Die großen Differenzen zwischen den Quelltermen sind in erster Linie auf sehr unterschiedliche Annahmen dazu zurückzuführen, welcher Anteil der radioaktiven Stoffe aus dem Reaktor bei einem Unfall freigesetzt wird. Was das angenommene radioaktive Inventar der Reaktoren angeht, errechnet als Quotient aus freigesetzter Aktivität und Freisetzunganteil und skaliert nach der Reaktorleistung, sind die Unterschiede zwischen allen Studien eher gering.

Es herrscht somit ein weitgehender Konsens über das theoretisch mögliche Schadenspotenzial der Schweizer AKW. Der Dissens beschränkt sich auf die Frage, wie groß der Schaden ausfällt, wenn es zu einem schweren Unfall in einem der Reaktoren kommt, beziehungsweise darauf, welche Unfälle oder Ereignisse welcher Art zu unterstellen sind.

Eine Erklärung für diese Differenzen sind die zum Teil unterschiedlichen Fragestellungen der Studien: So interessieren sich Notfallschutzbehörden eher für Szenarien, für die Notfallschutzmaßnahmen zumindest noch einigermaßen planbar sind, während andere Studien eher versuchen, das tatsächlich mögliche Schadensausmaß abzubilden, und deshalb von einem *worse case* oder *worst case* ausgehen.

Auffallend in diesem Zusammenhang ist allerdings, dass etwa die deutschen Behörden und die GRS für einen schweren Atomunfall von einer Freisetzung von ca. 10 Prozent des radioaktiven Jods im Reaktor ausgehen, was sich mit den Erfahrungen von Fukushima, den IAEA-Empfehlungen für die Katastrophenschutzplanung um AKW und den Annahmen des Öko-Instituts deckt.⁸² Die Annahmen von flexRISK und Institut Biosphère 2019 für das AKW Leibstadt liegen jeweils etwas darüber. Die Szenarien der Schweizer Atomaufsicht ENSI unterstellen hingegen, dass selbst bei Unfällen der höchsten INES-Kategorie 7 nur 0,1 Prozent (Referenzszenario A4) bis maximal 5 Prozent (Referenzszenario A6) des radioaktiven Jods aus dem Reaktor in die Umwelt gelangen. Bei den Freisetzunganteilen für radioaktives Cäsium-137 verhält es sich ähnlich.

Am oberen Ende der Skala wiederum liegen Szenarien, die von Freisetzungsraten von 20 bis 60 Prozent für Jod und Cäsium ausgehen. Diese Annahmen sind keineswegs aus der Luft gegriffen. Auch die GRS⁸³ sowie Studien zu belgischen, französischen, tschechischen⁸⁴ und taiwanesischen⁸⁵ AKW halten Freisetzungen in einem solchen Umfang oder sogar noch größer bei bestimmten Unfallabläufen für möglich. Berücksichtigt und unterstellt werden bei den allermeisten Studien zudem nur Unfälle infolge technischen Versagens. Das Institut Biosphère hat demgegenüber darauf hingewiesen, dass etwa im Falle eines Angriffs auf ein AKW – ein Szenario, das alle anderen Studien und Untersuchungen komplett ausklammern – sehr schnell ein direkter und massiver Freisetzungspfad aus dem Reaktorkern in die Umwelt entstehen kann, was leicht zu sehr großen Freisetzungen führen kann. Verwiesen sei in diesem Zusammenhang unter anderem auf die jüngsten Ereignisse in der Ukraine, bei denen Atomkraftwerke mit Drohnen und Granaten unter Beschuss genommen wurden und auch ein Bombardement von und Raketenangriffe auf Atomkraftwerke nicht mehr ausgeschlossen werden können.

⁸² International Atomic Energy Agency (IAEA): Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor, Mai 2013. Online: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-NPP_PPA_web.pdf, Stand: 23.06.2025.

⁸³ Löffler, Mildenerberger, Sogalla, Stahl: Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS für Ereignisse im Leistungsbetrieb, 30.10.2010, S. 14.

⁸⁴ Vgl. Holbein, Simon; Mühr-Ebert, Elena; Petermann, Ilka: Identifikation von Freisetzungsmechanismen und Ereignissen, für die tieferes wissenschaftliches Interesse an theoretischen Möglichkeiten für eine schnelle und umfassende Lagebewertung besteht, GRS, GRS-666, Köln, Garching b. München, Berlin, Braunschweig März 2022. Online: <https://www.grs.de/sites/default/files/2022-04/GRS-666.pdf>, Stand: 23.06.2025, S. 20–24.

⁸⁵ Sholly, Müllner, Arnold, Gufler: Source Terms For Potential NPPs at The Lubiatoowo Site, Januar 2014.

3 Auswirkungen eines schweren Unfalls in einem Schweizer AKW

Bei einem schweren Unfall in einem AKW entweichen radioaktive Stoffe aus dem Reaktor in die Luft, unter Umständen auch ins Wasser. Die Folgen hängen entscheidend davon ab, wie viel Radioaktivität freigesetzt wird (Quellterm) und wohin sich die freigesetzten Nuklide ausbreiten.

Radioaktive Aerosole, die in die Luft freigesetzt werden, breiten sich mit dem Wind aus (radioaktive Wolke) und lagern sich je nach Witterungsbedingungen unterschiedlich schnell ab (Fallout und Washout). Dabei kontaminieren sie Böden und Oberflächen, im Freien angebaute oder gelagerte Futter- und Nahrungsmittel sowie Gewässer, die unter Umständen zur Trinkwassergewinnung genutzt werden.

Während des Durchzugs der radioaktiven Wolke ist mit einer Strahlenbelastung sowohl durch Direktstrahlung aus der Wolke als auch durch Inhalation radioaktiver Aerosole zu rechnen. Radionuklide, die sich auf Boden und Oberflächen ablagern, führen über die von ihnen ausgehende Strahlung sowie über Inhalation aufgewirbelten Staubs zu einer kontinuierlichen Strahlenbelastung; bei Nukliden mit langen Halbwertszeiten hält diese über lange Zeiträume an. Hinzu kommen ggf. Strahlenbelastungen durch Verzehr kontaminierter Nahrung und kontaminierten Trinkwassers.⁸⁶ Leitnuklide für Überwachungsmessungen sind das radioaktive Jod-131 und das radioaktive Cäsium-137.

Strahlenbelastungen gehen mit Gesundheitsschäden einher. Unterschieden wird zwischen deterministischen und stochastischen Schäden. Deterministische Schäden stehen in direktem Zusammenhang mit der absorbierten Strahlendosis. Die Schwere des Effekts nimmt mit zunehmender Dosis zu. Ein deterministischer Strahlenschaden hat einen Schwellenwert von 500 Millisievert (mSv), beim ungeborenen Kind von 50–100 mSv, und kann zu Strahlenkrankheit und Unfruchtbarkeit, beim Ungeborenen zu Fehlbildungen und Fehlentwicklungen im Gehirn führen.⁸⁷

Unter stochastischen Strahlenwirkungen versteht man Strahlenschäden, die nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftreten. Die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens nimmt mit der Strahlendosis zu. Die Schwere von stochastischen Strahlenschäden ist dagegen unabhängig von der Dosis. Aus diesen Schäden am Erbmateriale können Krebserkrankungen entstehen oder genetische Veränderungen bei den Nachkommen.⁸⁸ Eine ausführliche Erörterung der prognostizierten Strahlenschäden nach einem schweren AKW-Unfall erfolgt in den Kapiteln 3.4 und 3.5.

Neben den Folgen für Leben und Gesundheit, Natur und Umwelt hat ein schwerer AKW-Unfall auch massive ökonomische, soziale und politische Folgen. In evakuierten Gebieten kommen Wirtschaft und Tourismus zum Erliegen, Städte und Dörfer verwaisen. Arbeitsplätze fallen unter Umständen für Jahre oder Jahrzehnte weg, Betriebe verlieren die Existenzgrundlage. Landwirtschaft, Viehhaltung und Lebensmittelproduktion sind auf kontaminierten Böden nicht mehr oder nur noch eingeschränkt möglich. Ein schwerer Atomunfall beeinträchtigt oder zerstört somit nicht nur Eigentum und Heimat, sondern auch die Versorgung der Bevölkerung mit Lebensmitteln sowie soziale, kommunale und staatliche Strukturen.

Die in dieser Überblicksstudie betrachteten Basisstudien liegen nicht nur bei ihren Annahmen zu Unfallszenarien und Freisetzungen zum Teil weit auseinander (siehe oben), sondern werfen auch unterschiedliche Blicke auf die Folgen eines Atomunfalls und verwenden auch dafür wieder ggf. unterschiedliche Parameter. Manche Arbeiten interessieren sich in erster Linie für kurzfristige radiologische Belastungen, andere auch für die langanhaltenden Kontaminationen. Ein direkter Vergleich der Ausbreitungskarten und Schlussfolgerungen ist daher nur bedingt möglich. Zusammengenommen zeichnen die Untersuchungen und Modellrechnungen jedoch ein umfassendes Bild von den bei einem schweren Atomunfall in einem Schweizer AKW zu erwartenden und möglichen Schäden.

⁸⁶ Strahlenschutzkommission (SSK): Radiologische Grundlagen, 2014. Online: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-2014111925770>, Stand: 23.06.2025, S. 14–15.

⁸⁷ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Wie wirkt ionisierende Strahlung?, <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/wirkung/einfuehrung/einfuehrung.html>, Stand: 06.06.2025.

⁸⁸ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Stochastische Strahlenwirkungen, <https://www.bfs.de/SharedDocs/Glossareintraege/DE/S/stochastische.html>, Stand: 06.06.2025.

3.1 Räumliche Ausbreitung der radioaktiven Wolke

Über alle hier besprochenen Szenarien hinweg ist unbestritten, dass ein massiver auslegungsüberschreitender Störfall in einem Schweizer AKW schwere bis schwerste Folgen für die betroffene Bevölkerung hätte.

Entscheidend für die Ausbreitung über den Luftpfad und für den zu erwartenden Fallout bzw. Washout ist die Wetterlage in den Stunden, Tagen und Wochen nach Beginn der Freisetzung. Wind treibt die radioaktiven Stoffe in größere Entfernung und verteilt sie über größerem Gebiet. Niederschlag während des Durchzugs der radioaktiven Wolke erhöht die radioaktive Belastung in den betroffenen Regionen. Das bedeutet, dass auch Gebiete, die auf den abgebildeten Karten nicht oder nur schwach belastet sind, bei anderem Wetter zu den stärker belasteten zählen können.

Radioaktivität macht an Grenzen ebenso wenig Halt wie Wind und Wasser. Aufgrund der Lage der Schweizer AKW direkt an oder in unmittelbarer Nähe der deutschen Grenze wäre deshalb insbesondere der in Hauptwindrichtung liegende Süden Deutschlands mit hoher Wahrscheinlichkeit unmittelbar und schwerwiegend von einem Atomunfall in der Schweiz betroffen.⁸⁹ Dies deckt sich mit den in flexRISK durchgeführten Analysen. Demnach ist kein anderes Land so sehr durch Schweizer Atomkraftwerke bedroht wie Deutschland, wobei sich das Risiko deutlich in Süddeutschland ballt, wie Abbildung 4 zeigt:

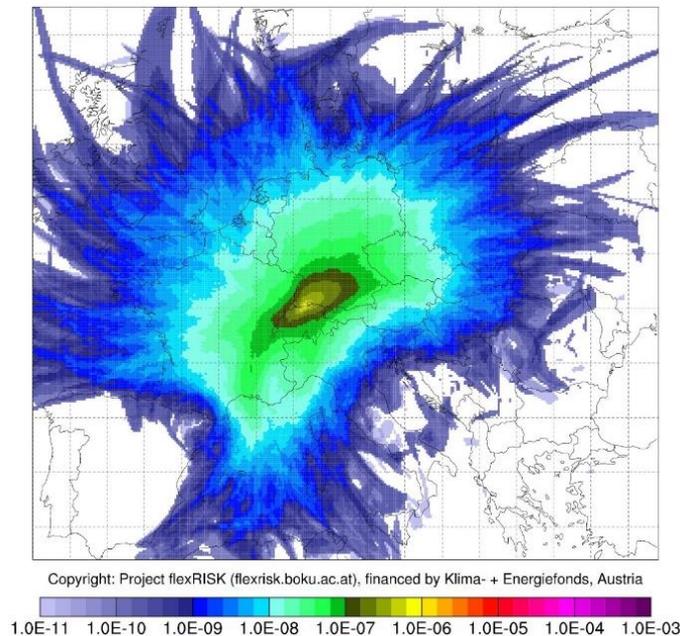


Abbildung 4: Räumliche Verteilung des von einem Unfall in einem Schweizer AKW (noch inkl. dem inzwischen abgeschalteten AKW Mühleberg) ausgehenden Risikos über alle 88 evaluierten Wettersituationen des Jahres 1995, hier am Beispiel der Wahrscheinlichkeit einer Schilddrüsendosis von mehr als 10 Millisievert in 7 Tagen für Kinder. Das Strahlenrisiko im gelb-grauen bis grünen Bereich ist hundertmal höher als in hellblauen bis graublauen Regionen; die Gebiete mit besonders hohem Risiko liegen mehrheitlich in (Süd-)Deutschland.⁹⁰

Die Studien zeigen allerdings auch, dass die Auswirkungen bei entsprechenden Wetterlagen und Unfallszenarien deutlich über Süddeutschland hinaus reichen und sogar mehrere europäische Länder betreffen können. Einen Eindruck hiervon geben etwa die flexRISK-Karten zur Bodenkontamination mit Cs-137 drei Wochen nach Freisetzungsbeginn. Beispielhaft sind hier Ausbreitungsrechnungen für einen Unfall in einem der beiden Reaktoren des AKW Beznau dargestellt. Diese verfügen nur über je 1.130 MW thermische und 365 MW elektrische Leistung, was ungefähr der Größe sogenannter *small*

⁸⁹ Meteostat: Beznau (kkw) | Wetterrückblick & Klimadaten | Meteostat, 04.05.2025, <https://meteostat.net/de/station/06646?t=2023-01-01/2024-12-31>, Stand: 04.05.2025; Meteostat: Obergösgen | Wetterrückblick & Klimadaten | Meteostat, 04.05.2025, <https://meteostat.net/de/place/ch/obergosgen?s=06626&t=2023-01-01/2024-12-31>, Stand: 04.05.2025. Meteostat: Leibstadt | Wetterrückblick & Klimadaten | Meteostat, 04.05.2025, <https://meteostat.net/de/station/06666?t=2023-01-01/2024-12-31>, Stand: 04.05.2025.

⁹⁰ Seibert, Arnold, Arnold, Gufler, Kromp-Kolb, Mraz, Sholly, Wenisch: flexRISK – Flexible Tools for Assessment of Nuclear Risk in Europe, Mai 2013, S. 70.

modular reactors (SMR) entspricht, die aktuell oft als Hoffnungsträger der Nuklearindustrie beworben werden.⁹¹ Aufgrund ihrer geringen Leistung haben diese Reaktoren in der flexRISK-Studie den kleinsten Cäsium-Quellterm aller Schweizer Reaktoren. Schon dieser ist anderthalbmal so groß wie der von deutschen Behörden für Ausbreitungsrechnungen unterstellte (GRS-Freisetzungskategorie FKA) und doppelt so groß wie der Block 2 in Fukushima zugeschriebene, aber nur halb so groß wie die Cäsium-137-Freisetzung bei der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl 1986.

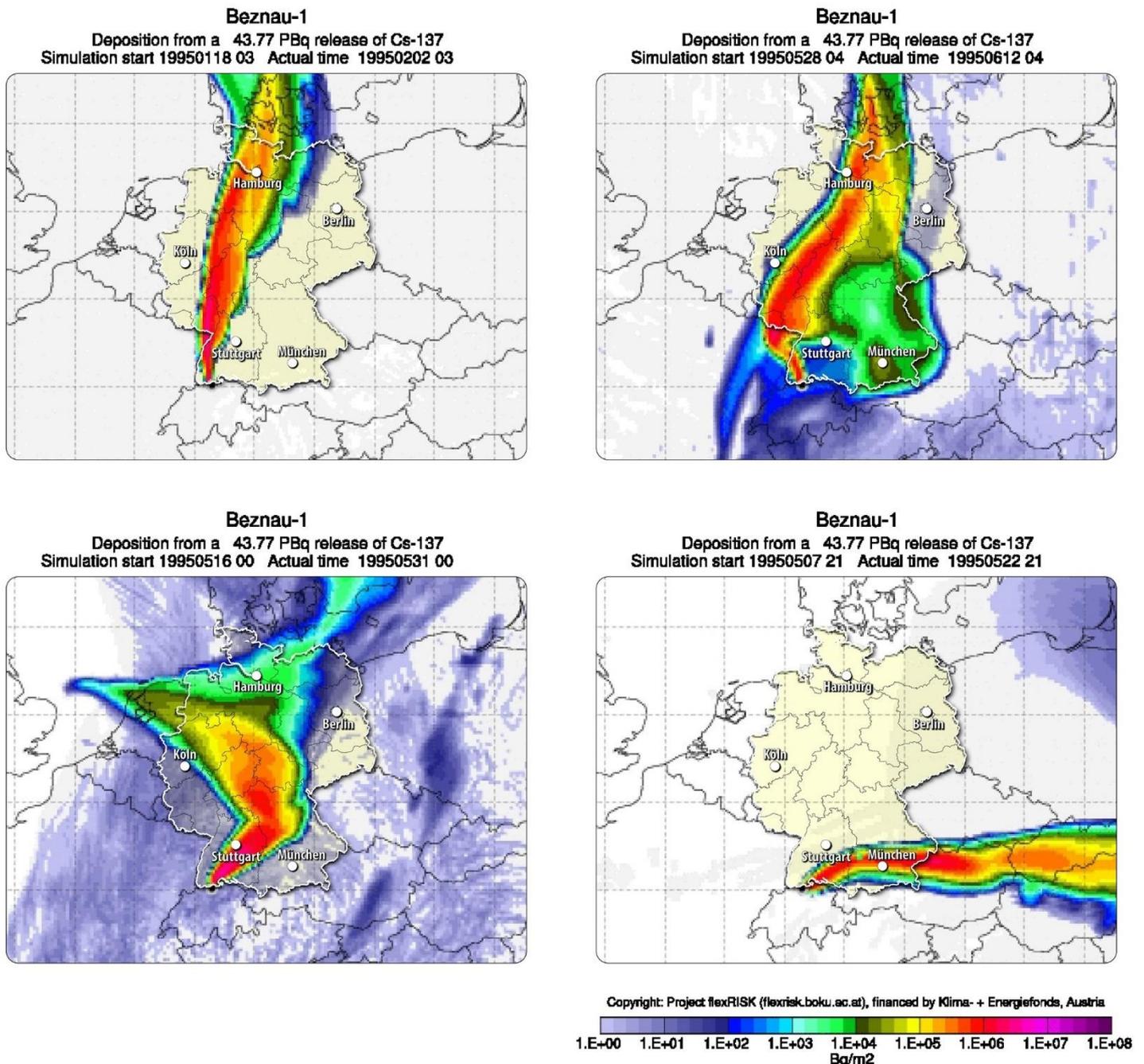


Abbildung 5a-d: flexRISK-Simulationen der Bodenkontamination mit radioaktivem Cäsium-137 nach einem Unfall im AKW Beznau 1 in Abhängigkeit von der Wetterlage⁹²

⁹¹ Small Modular Reactors, Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) 2023, https://www.base.bund.de/de/nukleare-sicherheit/kerntechnik/small-modular-reactors/small-modular-reactors_inhalt.html, Stand: 23.06.2025.

⁹² Seibert, Petra: flexRISK Online-Tool: Contamination and dose results for all NPP units for 1995, 2011, <https://flexrisk.boku.ac.at/en/evaluation.phtml>, Stand: 23.06.2025 2011.

Die Simulationen für vier verschiedene Startzeitpunkte im Jahr 1995 zeigen, wie sehr die kontaminierte Zone vom Wetter abhängt, und geben eine Vorstellung davon, wie großräumig mit Kontaminationen zu rechnen ist. In Weißrussland und der Ukraine wurden infolge des Reaktorunfalls von Tschernobyl sukzessive alle Gebiete mit einer Cäsium-137-Bodenbelastung von mehr als 555.000 Becquerel pro Quadratmeter umgesiedelt.⁹³ In den Darstellungen oben – mit logarithmischer Farbskala – entspricht dies den Zonen mit roter oder pinker Einfärbung.

Im Rahmen der Überprüfung der Schweizer Notfallszenarien hat auch das ENSI einige exemplarische Ausbreitungskarten für die Szenarien ENSI A2, A3, A4 und A5 (nicht aber A6) publiziert. Diese zeigen jeweils die Simulation, die zur minimalen, medianen und maximalen Fläche mit effektiven Strahlendosen über 10 Millisievert geführt hat. Die Karten sind somit keineswegs abdeckend für die mögliche räumliche Ausbreitung der radioaktiven Wolke und die Strahlenbelastung der Bevölkerung. So fehlen etwa Beispiele für Wetterlagen, in denen zwar keine große Fläche, dafür aber sehr weite Strecken kontaminiert werden, wobei durchaus auch bevölkerungsreiche Gebiete betroffen sein könnten. Weiter fehlen auch Beispiele für langdauernde Freisetzungen, was dazu führt, dass sich in diesen Karten das Schlüsselochprinzip – die Strahlendosis im Umfeld des AKW ist nur in einem begrenzten Sektor hoch – gut abbildet. Eine lange Freisetzungsdauer mit wechselnden Windverhältnissen würde hingegen ganz andere, mit hoher Wahrscheinlichkeit großflächigere Ausbreitungen ergeben. Die Karten zeigen also nur beispielhafte Ausbreitungen und insbesondere nicht unbedingt die für Süddeutschland gravierenden Situationen. Schon sie machen aber deutlich, dass teilweise massive Kontaminationen bis weit über die Notfallschutzzonen hinaus zu erwarten wären, würde es in einem Schweizer AKW auch nur zu einer Freisetzung gemäß der vergleichsweise kleinen⁹⁴ Szenarien A4 oder A5 kommen. Für größere Freisetzungen im Bereich des ENSI-Szenarios A6 oder gar darüber hinaus hat die Schweizer Atomaufsicht bislang keine Ausbreitungskarten publiziert.

Auf den abgebildeten Karten entspricht die Farbe Blau einer Effektivdosis von 100 Millisievert, was der Dosischwelle für „Evakuierung“ entspricht. Rosa markiert eine Effektivdosis von 10 Millisievert, Gelb von 1 Millisievert, was den damals gültigen Schweizer Dosischwellen für „geschützten Aufenthalt“ für Erwachsene sowie für Kinder, Jugendliche und Schwangere entspricht:

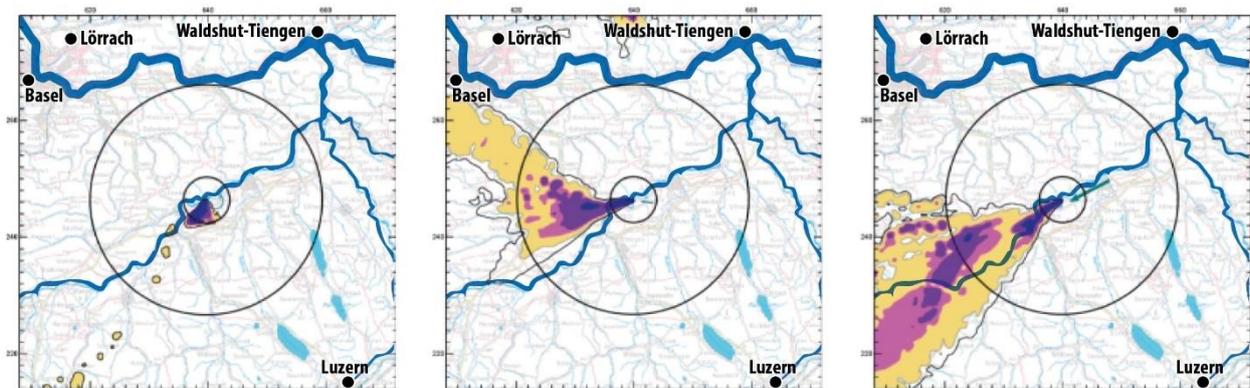


Abbildung 6a-c: Strahlenbelastung durch radioaktive Wolke aus dem AKW Gösgen, Szenario ENSI-A4 (v.l.n.r.: Min., Median, Max.). Die schwarzen Kreise markieren den 5- bzw. 20-Kilometer-Radius um das AKW.⁹⁵

⁹³ Seibert, Arnold, Arnold, Gufler, Kromp-Kolb, Mraz, Sholly, Wenisch: flexRISK – Flexible Tools for Assessment of Nuclear Risk in Europe, Mai 2013, S. 37, Tabelle 7.

⁹⁴ Vgl. oben Kapitel 2.7.

⁹⁵ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Überprüfung der Referenzszenarien für die Notfallplanung in der Umgebung der Kernkraftwerke, 2014, S. 29. Das Schweizer Dosis-Maßnahmen-Konzept wurde zwischenzeitlich angepasst, vgl. dazu Schweizerischer Bundesrat: Verordnung über den Bevölkerungsschutz. BevSV, 01.01.2025. Online: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2020/889/de>, Stand: 06.05.2025, Anh. 2.

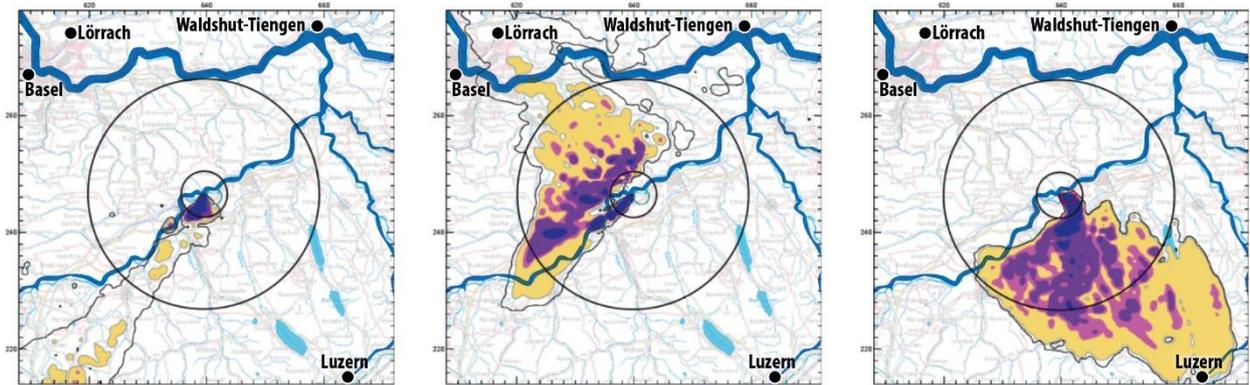


Abbildung 7a-c: Strahlenbelastung durch radioaktive Wolke aus dem AKW Gösgen, Szenario ENSI-A5 (v.l.n.r.: Min., Median, Max.) (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), 2014, S. 29)

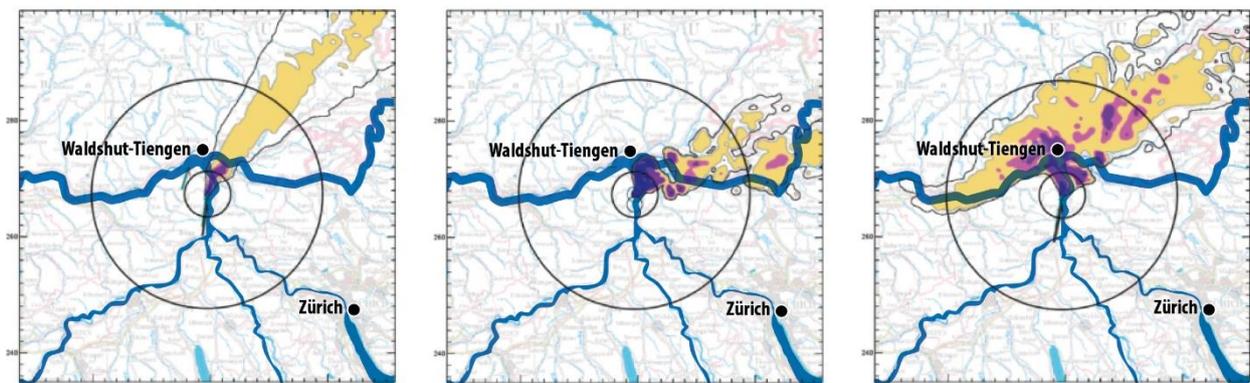


Abbildung 8a-c: Strahlenbelastung durch radioaktive Wolke aus dem AKW Beznau, Szenario ENSI-A4 (v.l.n.r.: Min., Median, Max.) (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), 2014, S. 28)

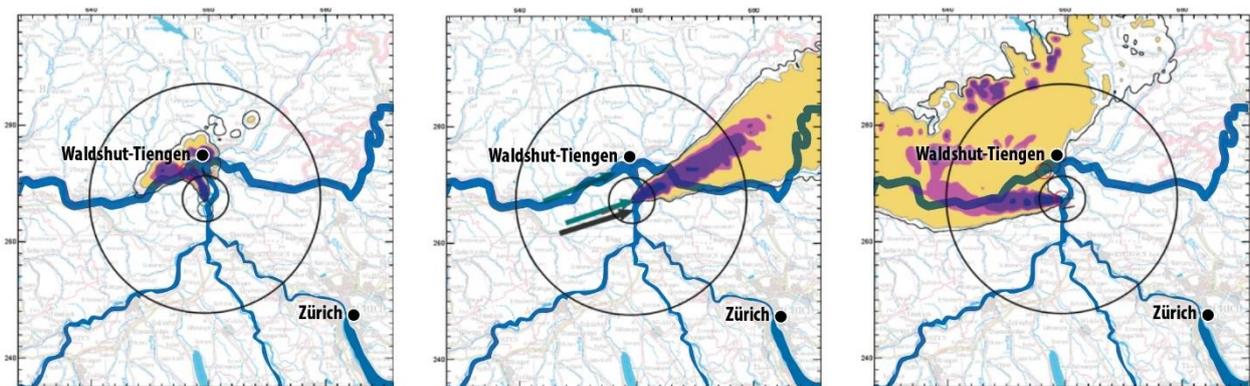


Abbildung 9a-c: Strahlenbelastung durch radioaktive Wolke aus dem AKW Beznau, Szenario ENSI-A5 (v.l.n.r.: Min., Median, Max.) (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), 2014, S. 28)

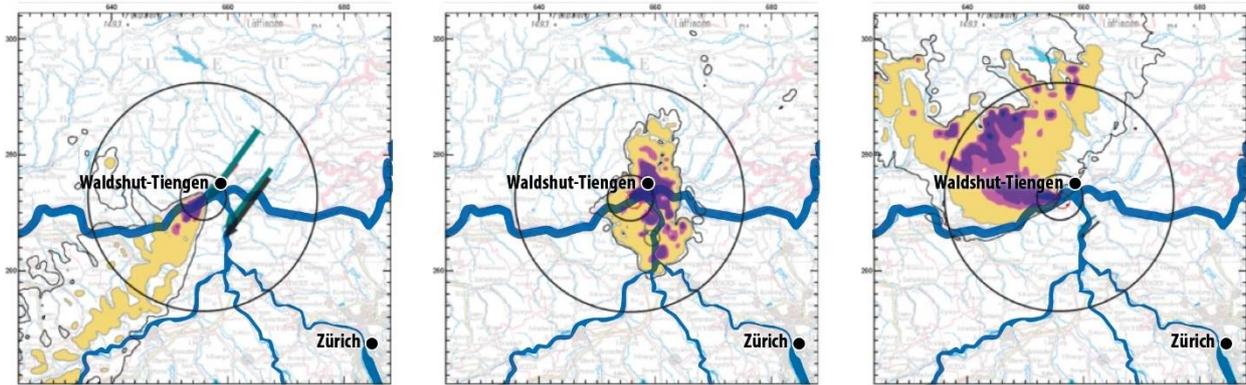


Abbildung 10a-c: Strahlenbelastung durch radioaktive Wolke aus dem AKW Leibstadt, Szenario ENSI-A4 (v.l.n.r.: Min., Median, Max.) (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), 2014, S. 30)

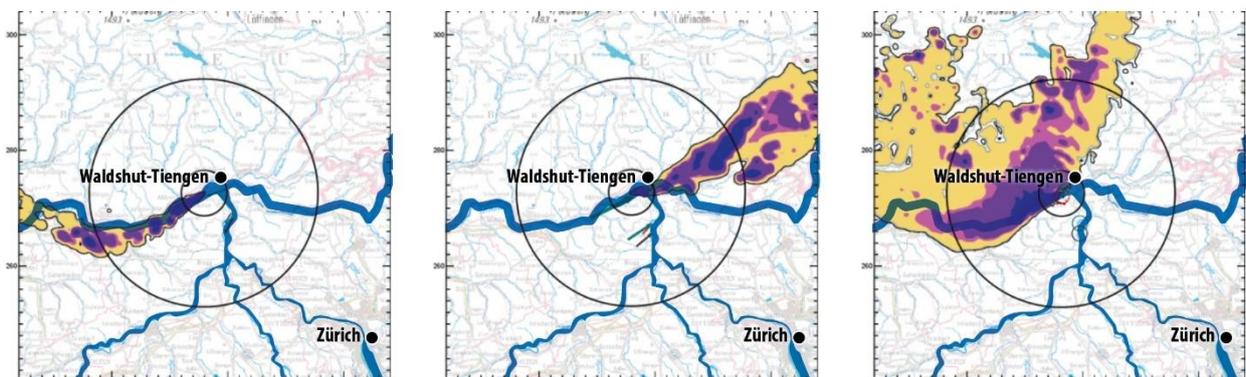


Abbildung 11a-c: Strahlenbelastung durch radioaktive Wolke aus dem AKW Leibstadt, Szenario ENSI-A5 (v.l.n.r.: Min., Median, Max.) (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), 2014, S. 30)

Neben Art und Größe der radioaktiven Freisetzungen (Quellterm) sind bei einem Atomunfall die Wind- und Wetterbedingungen entscheidend dafür, wie weit die radiologischen Auswirkungen reichen. Simulationen mit realen Wetterdaten zeigen, dass unter Umständen auch Gebiete in vielen Hundert Kilometern Entfernung vom AKW noch massiv betroffen sein können.

3.2 Strahlenbelastung durch die radioaktive Wolke

Laut deutscher Strahlenschutzgesetzgebung dürfen kerntechnische Einrichtungen die Bevölkerung im Normalbetrieb mit maximal 1 Millisievert (mSv) pro Jahr belasten.⁹⁶ Bereits bei diesem Grenzwert ist strittig, ob er streng genug ist (vgl. dazu Kapitel 3.4).

Schon bei sogenannten Auslegungsstörfällen („GAU“), die das AKW dem Papier nach noch beherrschen können muss, gilt für die Bevölkerung indes der 50-mal so hohe sogenannte „Störfallgrenzwert“ von 50 Millisievert.⁹⁷ Bei auslegungsüberschreitenden Unfällen („Super-GAU“) wird auch dieser absehbar überschritten. Von den Katastrophenschutzbehörden bei solchen Großschadenslagen⁹⁸ zu ergreifende Notfallschutzmaßnahmen sollen gemäß dem deutschen Strahlenschutzgesetz dann lediglich noch sicherstellen, dass eine Effektivdosis von 100 Millisievert im Laufe eines Jahres nicht überschritten wird.⁹⁹ Dies soll in erster Linie deterministische Strahlenschäden

⁹⁶ StrSchG 80, 1.

⁹⁷ StrSchV 104, 1 Nr. 1.

⁹⁸ Basiswissen nuklearer Notfallschutz, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) 12.06.2025, <https://www.grs.de/de/notfallzentrum/basiswissen-nuklearer-notfallschutz>, Stand: 12.06.2025.

⁹⁹ StrSchG 93, 1.

verhindern beziehungsweise verringern, wohingegen stochastische Gesundheitsschäden – mit Ausnahme von Schilddrüsenkrebs bei erfolgreicher Jodblockade, vgl. Kapitel 3.2.1 – mit Notfallschutzmaßnahmen nicht verhindert, sondern lediglich in der Häufigkeit reduziert werden können. Allerdings sind die vorgesehenen Notfallschutzmaßnahmen nicht auf den *worst case*, sondern auf weniger gravierende, dafür mit höherer Wahrscheinlichkeit erwartete Unfallabläufe ausgelegt. In welchem Maße sie im Falle einer atomaren Katastrophe tatsächlich helfen können, die Strahlenbelastung zu reduzieren, ist deshalb offen.

Die von einem Unfall-AKW ausgehende radioaktive Wolke führt in den Stunden und Tagen nach Beginn der Freisetzung zu radioaktiven Belastungen für alle, die ihr ausgesetzt sind. Wie stark diese Belastung ist, hängt neben dem Unfallszenario von der Entfernung zum AKW, den Witterungsbedingungen, dem Aufenthaltsort (im Freien oder im Haus), der Dauer der Einwirkung und möglichen Schutzmaßnahmen ab. Das Spektrum reicht von potenziell tödlichen Strahlendosen in der unmittelbaren Umgebung des AKW über Dosen, die weit über den Eingreifwerten für Katastrophenschutzmaßnahmen liegen, bis zu eher geringen Strahlendosen in Regionen, die nur marginal von den Ausläufern der Wolke und vom Fallout touchiert werden.

Viele dieser Überblicksstudie zugrundeliegenden Arbeiten untersuchen, in welchem räumlichen Umfang die vom Menschen aufgenommene Effektivdosis oder Schilddrüsendosis die normalerweise geltenden Strahlenschutzgrenzwerte und/oder die Eingreifrichtwerte für Notfallschutzmaßnahmen überschreitet. Darüber hinaus schätzen manche Arbeiten auf Basis der innerhalb eines Jahres zu erwartenden Strahlendosis und der jeweiligen Bevölkerungsdichte die (stochastischen) Gesundheitsschäden infolge eines Unfalls ab.

In Deutschland gelten folgende Eingreifwerte für Notfallschutzmaßnahmen:¹⁰⁰

Maßnahme	Eingreifwert	betrifft	im Zeitraum
Aufenthalt im Gebäude	10 mSv	Effektive Dosis	7 Tage
Einnahme Jodtabletten	50 mSv (< 18 J., Schwangere) 250 mSv (18–45 Jahre)	Schilddrüsendosis	7 Tage
Evakuierung	100 mSv	Effektive Dosis	7 Tage

Tabelle 8: Eingreifwerte für radiologische Notfallschutzmaßnahmen in Deutschland

Die Notfallschutzmaßnahmen sollen zur Anwendung kommen, wenn die innerhalb des angegebenen Zeitraums in Summe aufgenommene oder zu erwartende Strahlendosis den jeweiligen Eingreifwert überschreitet. Spezielle Katastrophenschutzpläne für Atomunfälle in grenznahen AKW, die solche Maßnahmen zumindest vorgedacht haben, umfassen in Deutschland – auch für grenznahe AKW im Ausland – eine „Zentralzone“, eine „Mittelzone“ und eine „Außenzone“, wobei Evakuierungen nur für die Zentral- und Mittelzone vorgesehen sind. Nach den Erfahrungen der Reaktorkatastrophe von Fukushima wurden die Radien der Zonen von ursprünglich 2, 10 und 25 Kilometern um das AKW deutlich ausgeweitet. Den neuen Regeln zufolge müssen die Katastrophenschutzplanungen eine Zentralzone bis etwa 5 Kilometer um das AKW, eine Mittelzone bis etwa 20 Kilometer und eine Außenzone bis etwa 100 Kilometer um das AKW abdecken.¹⁰¹ Evakuierungen etwa müssen demnach für ein vierfach größeres Gebiet als zuvor, die Ausgabe von Jodtabletten gar für ein 16-mal so großes Gebiet geplant werden. In Südbaden, im Umkreis der Schweizer AKW, ist diese Überarbeitung der Katastropheneinsatzpläne allerdings bis heute nicht abgeschlossen. Dies bedeutet etwa, dass Evakuierungspläne hier weiterhin nur für den 10-Kilometer-Umkreis um das AKW existieren.¹⁰²

¹⁰⁰ Strahlenschutzkommission (SSK): Radiologische Grundlagen, 2014, S. 29–35.

¹⁰¹ Strahlenschutzkommission (SSK): Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, 2014. Online: <https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/DE/2014/Planungsgebiete.pdf>, Stand: 23.06.2025, S. 4–5.

¹⁰² Regierungspräsidium Freiburg: Notfallschutz: Fragen und Antworten, 16.05.2025, <https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpf/abt1/ref16/notfallschutz-faq/>, Stand: 16.05.2025, sowie: Regierungspräsidium Freiburg: AW: Frage zu Katastrophenschutzplanungen / radiologischer Notfallschutz, Schreiben an Armin Simon 06.06.2025.

3.2.1 Schilddrüsenbelastung und Jodtabletten

Zu den bei einem AKW-Unfall freigesetzten Nukliden, die strahleninduzierte Folgeerkrankungen hervorrufen, gehört das radioaktive Jod-Isotop Jod-131 (Halbwertszeit: 8 Tage). Dieses ist zugleich eines der Leitnuklide, anhand derer sich die radiologische Belastung nach einem Atomunfall abschätzen lässt. Jod-131 lagert sich durch Inhalation oder über die Nahrungskette in der menschlichen Schilddrüse ab und erhöht dort das Krebsrisiko signifikant. Als Maßnahme ausschließlich gegen das Risiko strahleninduzierter Erkrankungen der Schilddrüse ist eine sogenannte Jodblockade vorgesehen: Nicht-radioaktives Jod soll in Tablettenform und in hoher Dosierung eingenommen werden, um die Schilddrüse damit zu sättigen und eine Aufnahme radioaktiven Jods möglichst zu blockieren. Die Eingreifrichtwerte dafür liegen in Deutschland bei einer zu erwartenden Schilddrüsendosis von 50 Millisievert binnen 7 Tagen für Kinder, Jugendliche und Schwangere und 250 Millisievert binnen 7 Tagen für Erwachsene bis 45 Jahren.¹⁰³

Die Einnahme der Tabletten muss allerdings passgenau vor Durchzug der radioaktiven Wolke erfolgen,¹⁰⁴ idealerweise drei bis sechs Stunden davor.¹⁰⁵ Im Falle eines schweren Unfalls müsste die betroffene Bevölkerung also rasch mit Jodtabletten versorgt und zudem präzise informiert werden, wann diese nun von wem einzunehmen sind.

Nach Berechnungen auf Basis des Freisetzungsszenarios FKA (siehe Kapitel 2.2.3.1) wäre die Einnahme von Jodtabletten je nach Wetterlage bis weit über 100 Kilometer Entfernung vom AKW erforderlich.¹⁰⁶ Bei langandauernder Freisetzung wäre eine einmalige Einnahme von Jodtabletten nicht ausreichend, sondern müsste gegebenenfalls wiederholt werden.¹⁰⁷

Zwar werden in Deutschland Jodtabletten für die gesamte Bevölkerung bis 45 Jahre in einem Radius von 100 Kilometer um Atomkraftwerke im benachbarten Ausland sowie in weiterer Entfernung für Kinder, Jugendliche und Schwangere vorgehalten.¹⁰⁸ Im Falle eines Atomunfalls müssen die Gemeinden aber erst noch Ausgabestellen einrichten, bei denen die Bevölkerung die Tabletten dann abholen muss. Das ist insbesondere bei Unfällen mit keiner oder wenig Vorwarnzeit unpraktikabel. Das Abholen der Jodtabletten kann sogar kontraproduktiv sein, wenn sich die Menschen dabei gerade der bereits durchziehenden Wolke aussetzen. In Regionen, die mehr als 100 Kilometer vom AKW entfernt sind, müssen die Jodtabletten zudem zunächst noch von zentralen Lagern herbeigeschafft werden.

¹⁰³ Strahlenschutzkommission (SSK): Radiologische Grundlagen, 2014, S. 29.

¹⁰⁴ Strahlenschutzkommission (SSK): Verwendung von Jodtabletten zur Jodblockade der Schilddrüse bei einem Notfall mit Freisetzung von radioaktivem Jod. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, 30.01.2024. Online: https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/DE/2024/2024-01-30_Jodmerk.pdf?__blob=publicationFile&v=10, Stand: 23.06.2025, S. 9.

¹⁰⁵ Thiel, Reinhold: IPPNW-Empfehlungen bei Atomreaktorunfällen zum Schutz der Schilddrüse mit speziellen Jod-Tabletten (Jodblockade), Januar 2024. Online: https://www.ippnw.de/commonFiles/pdfs/Atomenergie/IPPNW-Empfehlungen_Jodtabletten.pdf, Stand: 12.06.2025.

¹⁰⁶ Löffler, H.; Mildenerger, O.; Sogalla, M. u. a.: Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz. Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS für Ereignisse im Leistungsbetrieb - Vorhaben 3609S60009, S. 176; Gering, F.; Gerich, B.; Wirth, E u. a.: Analyse der Vorkehrungen für den anlagenexternen Notfallschutz für deutsche Kernkraftwerke basierend auf den Erfahrungen aus dem Unfall in Fukushima, in, S. 23.

¹⁰⁷ Gering u. a.: Analyse der Vorkehrungen für den anlagenexternen Notfallschutz für deutsche Kernkraftwerke basierend auf den Erfahrungen aus dem Unfall in Fukushima, S. 34.

¹⁰⁸ <https://www.jodblockade.de/jodtabletten>, <https://www.jodblockade.de/jodtabletten>.

Die **flexRISK-Studie** hat detailliert untersucht, mit welcher Schilddrüsenbelastung nach einem schweren Atomunfall zu rechnen ist. Weil die Schilddrüsen von Kindern mehr Jod aufnehmen und bei Aufnahme von radioaktivem Jod stärker belastet werden,¹⁰⁹ unterscheidet die flexRISK-Studie zwischen der 7-Tage-Schilddrüsendosis für Kinder und der für Erwachsene. Auf den Karten entspricht Rotorange dem Eingreifrichtwert von 50 Millisievert, demnach hätten Kinder in allen rotorangefarbenen, roten und pinken Regionen Jodtabletten einnehmen müssen. Auf den Karten für die Erwachsenenendosis fallen die Flächen generell etwas kleiner aus, die Farbe Pink entspricht (auf beiden Kartentypen) dem für Erwachsene geltenden Eingreifrichtwert von 250 Millisievert. Vom Unfallszenario her liegt die hier angenommene Jod-Freisetzung durch einen Unfall im AKW Beznau noch unterhalb des Szenarios FKA, auf das sich deutsche Behörden stützen. Die von flexRISK für Unfälle in den AKW Leibstadt und Gösgen angenommenen Jod-Freisetzungen liegen deutlich darüber, wobei auch die GRS solche Unfälle für möglich hält. Die Karten zeigen, dass das radioaktive Jod, das bei einem Atomunfall freigesetzt wird, insbesondere die Gesundheit von Kindern noch in vielen Hundert Kilometern Abstand vom AKW bedroht.

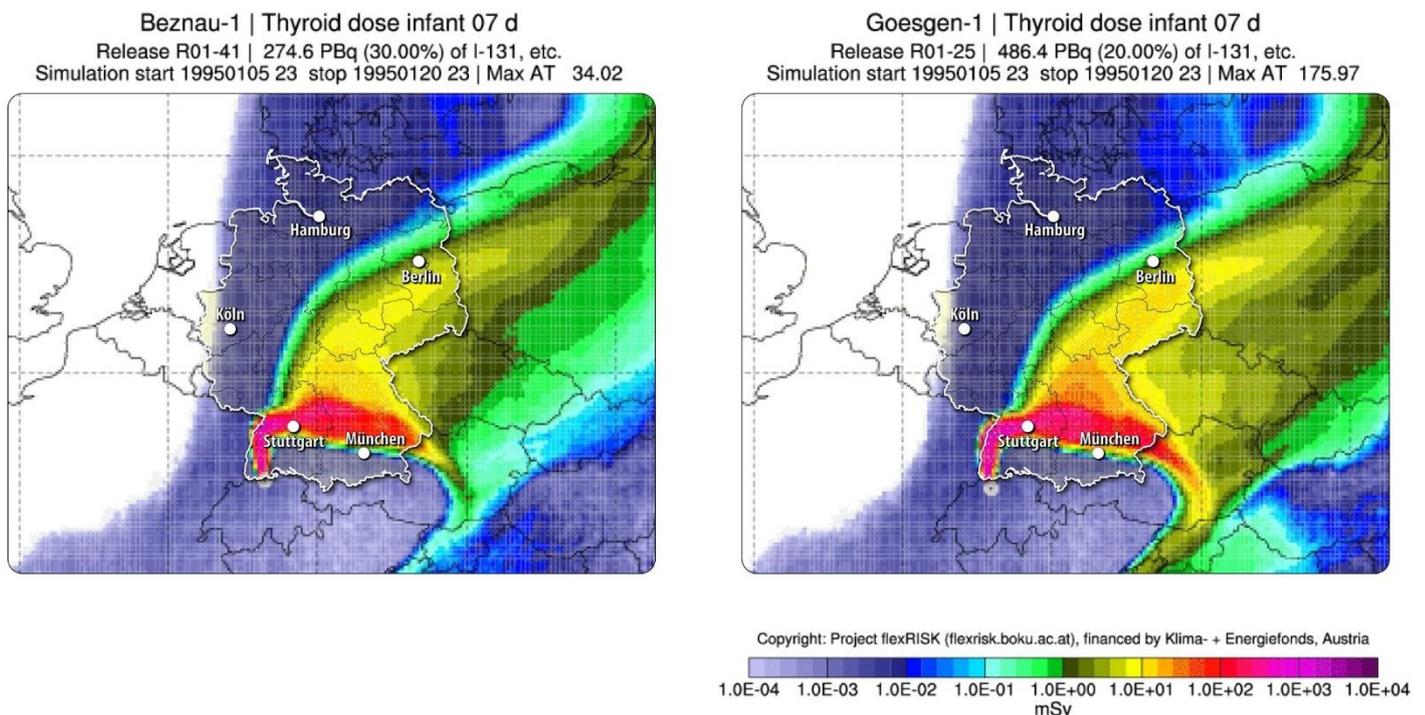
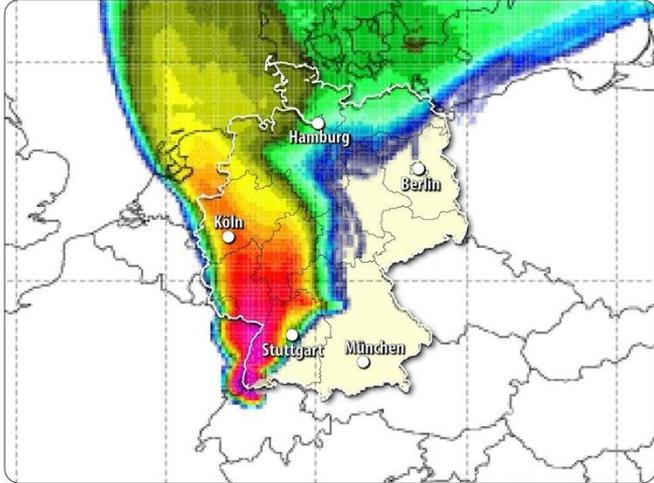


Abbildung 12a-b: flexRISK-Simulationen der Schilddrüsendosis für Kinder (7-Tage-Dosis) nach einem Unfall in den AKW Beznau 1 und Gösgen¹¹⁰

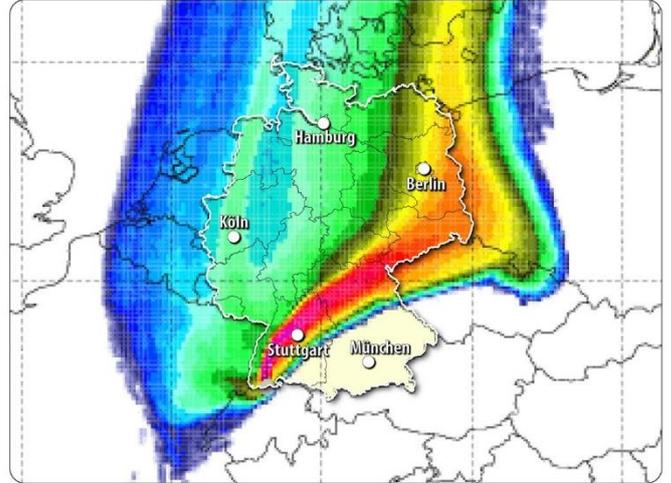
¹⁰⁹ Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUV): Einnahme von Jodtabletten. Schutzmaßnahme bei einem schweren Unfall in einem Kernkraftwerk - Häufig gestellte Fragen (FAQs), <https://www.jodblockade.de/hintergrundinformationen/faq/>, Stand: 02.04.2025.

¹¹⁰ Seibert: flexRISK Online-Tool: Contamination and dose results for all NPP units for 1995, 2011.

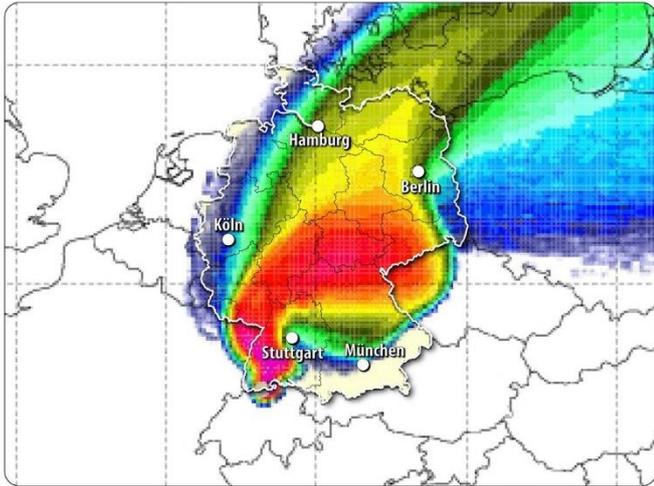
Leibstadt-1 | Thyroid dose infant 07 d
 Release R06-14 | 538.4 PBq (14.00%) of I-131, etc.
 Simulation start 19951009 07 stop 19951024 07 | Max AT 0.00



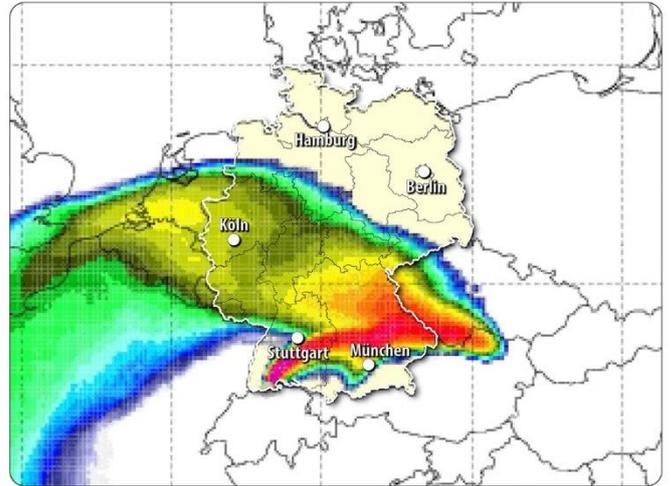
Leibstadt-1 | Thyroid dose infant 07 d
 Release R06-14 | 538.4 PBq (14.00%) of I-131, etc.
 Simulation start 19950114 02 stop 19950129 02 | Max AT 0.00



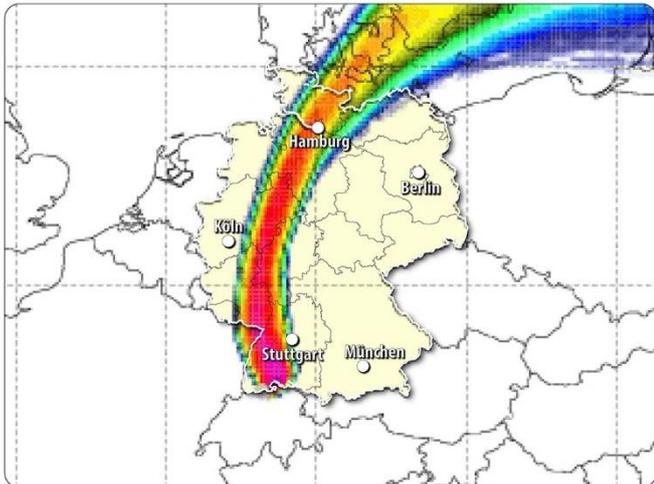
Leibstadt-1 | Thyroid dose infant 07 d
 Release R06-14 | 538.4 PBq (14.00%) of I-131, etc.
 Simulation start 19951013 08 stop 19951028 08 | Max AT 0.00



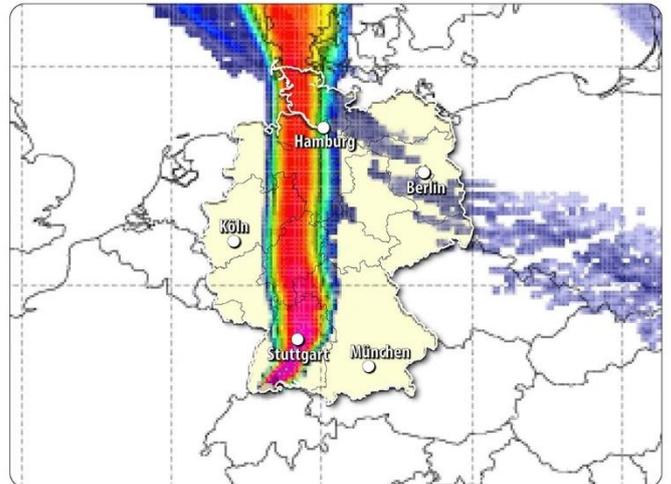
Leibstadt-1 | Thyroid dose infant 07 d
 Release R06-14 | 538.4 PBq (14.00%) of I-131, etc.
 Simulation start 19950914 22 stop 19950929 22 | Max AT 62.04



Leibstadt-1 | Thyroid dose infant 07 d
 Release R06-14 | 538.4 PBq (14.00%) of I-131, etc.
 Simulation start 19951025 13 stop 19951109 13 | Max AT 0.00



Leibstadt-1 | Thyroid dose infant 07 d
 Release R06-14 | 538.4 PBq (14.00%) of I-131, etc.
 Simulation start 19951123 00 stop 19951208 00 | Max AT 0.00



Das bei einem schweren Atomunfall in einem Schweizer AKW freigesetzte radioaktive Jod kann in ganz Deutschland zu einer gesundheitsgefährdenden Strahlenbelastung der Schilddrüse führen. Um das Risiko, an Schilddrüsenkrebs zu erkranken, zu reduzieren, müssten selbst Erwachsene bis in vielen Hundert Kilometern Entfernung vom AKW bei oder kurz vor Durchzug der radioaktiven Wolke hochdosierte Jodtabletten einnehmen. Die Schilddrüsen von Kindern – auch ungeborenen – und Jugendlichen sind noch deutlich stärker gefährdet. Bei entsprechender Wetterlage müssten deshalb Kinder, Jugendliche und Schwangere in weiten Teilen des Bundesgebiets, unter Umständen bis hinauf nach Schleswig-Holstein, mit Jodtabletten versorgt werden und diese zum jeweils richtigen Zeitpunkt einnehmen.

← Abbildung 13a-f: flexRISK-Simulationen der Schilddrüsendosis für Kinder (7-Tage-Dosis) nach einem Unfall im AKW Leibstadt für verschiedene Wettersituationen¹¹¹

¹¹¹ ebd.

3.2.2 Evakuierung

Die Strahlenbelastung eines schweren AKW-Unfalls macht die rasche Evakuierung der am stärksten betroffenen Gebiete notwendig. Gemäß den Rahmenempfehlungen der deutschen Strahlenschutzkommission ist die Evakuierung „besonders dann eine wirkungsvolle Schutzmaßnahme, wenn sie vor Durchzug der Wolke erfolgt. In bestimmten Fallkonstellationen (z. B. bei langandauernden Freisetzungen) kann eine nachträgliche Evakuierung nach Freisetzungsbeginn, während und nach erfolgtem Durchzug der radioaktiven Wolke zur Verringerung der Strahlenexposition sinnvoll sein.“¹¹²

Die Schweizer AKW liegen alle in sehr dicht besiedeltem Raum. Die Ballungsräume Zürich, Basel oder Freiburg i. Br. befinden sich alle in einem Radius von nur rund 50 Kilometer zum AKW Leibstadt, das ist weniger als der Abstand der japanischen Großstädte Fukushima und Koriyama zum havarierten AKW Fukushima. Aus Fukushima ist bekannt, dass die Wolke bei etwas ungünstigerem Wind den Großraum Tokio massiv kontaminiert hätte.¹¹³ Dieser ist etwa 200 Kilometer vom AKW Fukushima entfernt. Auf die Schweizer AKW und Süddeutschland übertragen entspricht dies einer Entfernung bis Mannheim, Heilbronn oder Augsburg.

Das vom Schweizer Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) grob durchexerzierte **ENSI-Szenario A4** – also das kleinste vom ENSI vorgeschlagene Szenario für einen Unfall der höchsten Kategorie (INES 7) – führt bereits bei mittlerer Wetterlage (siehe Kapitel 2.1) zu extremen Folgen für das betroffene Gebiet. 50.000 bis 900.000 Menschen wären direkt davon betroffen. In diesem Szenario müssten mehrere Hunderttausend Menschen evakuiert werden oder würden selbstständig flüchten.¹¹⁴

Konkret sollten in der Planung der Schweizer Notfallschutzbehörde die Bewohner*innen im Umkreis von ca. 20 Kilometer um das betroffene AKW (Notfallschutzzonen 1 und 2) noch vor der Freisetzung evakuiert werden. Die Schweizer Behörden rechnen hierbei mit einem Freisetzungsbeginn 6 Stunden nach dem auslösenden Ereignis. Das heißt, dass bei einem Unfall in den AKW Leibstadt oder Beznau innerhalb von 6 Stunden allein in der Schweiz zwischen knapp 30.000 (Bevölkerung CH in der Zone 1: 27.683) und 300.000 (Bevölkerung CH in der Zone 2: 278.437) Menschen evakuiert werden müssten.¹¹⁵ Auf deutscher Seite kämen in diesem Szenario weitere rund 15.000 Menschen im 5-Kilometer-Umkreis dazu. Im Landkreis Waldshut, der allerdings flächenmäßig etwas über den 20-Kilometer-Radius hinausgeht, leben rund 175.000 Menschen.

Insgesamt müssten also schon nach diesem Unfallszenario grenzüberschreitend mindestens 45.000 Menschen im Umkreis von 5 Kilometern um das AKW innerhalb von sechs Stunden ihr Zuhause verlassen. Abhängig von der Windrichtung und Freisetzungsdauer wäre eine – ggf. nachgelagerte, also erst nach Beginn der Freisetzung oder nach Durchzug der radioaktiven Wolke erfolgende – Evakuierung von mehreren Hunderttausend Menschen auf der einen oder anderen Seite der Grenze oder aber beidseitig notwendig. Das ebenfalls auf dem ENSI-Szenario A4 basierende Gefährdungsdossier des BABS geht davon aus, dass zusätzlich zu den zur Evakuierung aufgeforderten Personen viele weitere Menschen das Gefahrengebiet selbstständig verlassen würden. Insgesamt schätzt das BABS, dass in der Schweiz rund 300.000 Menschen entweder flüchten würden oder evakuiert werden müssten, wobei sich diese Zahl mit der Bevölkerung der Zonen 1 und 2 auf Schweizer Seite deckt. Die Annahmen, die das BABS für die Schweizer Seite trifft, lassen sich nicht vorbehaltlos auf die deutsche Seite übertragen. Einerseits ist die Bevölkerungsdichte im 20-Kilometer-Radius etwas geringer als auf der Schweizer Seite, andererseits treibt die radioaktive Wolke bei vielen Wetterlagen vornehmlich nach Deutschland.

¹¹² Strahlenschutzkommission (SSK): Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, 2015. Online: https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/DE/2015/Rahmenempfehlungen_Katastrophenschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=2, Stand: 23.06.2025, S. 28.

¹¹³ Vgl. etwa Becker, Markus: Wetterprognose Japan: Wind bläst radioaktive Wolke Richtung Tokio, 15.03.2011. Online: <https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/wetterprognose-japan-wind-blaest-radioaktive-wolke-richtung-tokio-a-750988.html>, Stand: 04.05.2025.

¹¹⁴ Bundesamt für Bevölkerungsschutz Labor Spiez: ABC-Referenzszenarien, 2021; Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS: Gefährdungsdossier KKW-Unfall, November 2020.

¹¹⁵ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Zonenpläne für die Notfallplanung, https://info.ensi.ch/beznau_leibstadt/bevoelkerung, Stand: 06.05.2025.

Eine **Freisetzung entsprechend dem Szenario FKA der deutschen Behörden** (vgl. oben Kapitel 2.2.3.1) könnte den geschützten Aufenthalt in Gebäuden in Entfernungen über 100 Kilometer hinaus und Evakuierungen in bis zu 80 Kilometer Entfernung (je nach Wetter) notwendig machen.¹¹⁶ Eine solche Evakuierungsmaßnahme ginge also um ein Mehrfaches über das von den Schweizer Notfallbehörden skizzierte Szenario hinaus. Die Evakuierung der Großstadt Freiburg i. Br. wäre schon nach diesen offiziellen Annahmen ein mögliches Szenario. Ein derart vergrößerter Evakuierungsradius würde entsprechend großräumigere Fluchtbewegungen und extremere Herausforderungen für Verkehr, Kommunikation, Schutz verlassener Gebiete etc. mit sich bringen.

Nebst dem drohenden Zusammenbruch von Verkehr und Kommunikation im Falle einer großflächigen Evakuierungs- und Fluchtbewegung stellt insbesondere die Evakuierung von Bildungseinrichtungen, Seniorenheimen, Kindertageseinrichtungen, Justizvollzugsanstalten und Krankenhäusern eine zusätzliche Herausforderung dar.¹¹⁷ Die Evakuierung der beiden Krankenhäuser Futaba und Minamisōma im Zuge der Fukushima-Katastrophe führte zu massiven zusätzlichen Problemen. In Waldshut, rund drei Kilometer vom AKW Leibstadt entfernt, befindet sich das Klinikum Hochrhein mit über 300 Betten. Auch in Lörrach, Müllheim, Bad Krozingen, Breisach, Waldkirch und Freiburg i. Br. befinden sich Kliniken, die gegebenenfalls evakuiert werden müssten.

In jedem Fall ist klar, dass die enorme Dimension einer solchen Massenbewegung von Menschen beidseitig der Grenze zu gewaltigen Herausforderungen für Verkehrs- und Kommunikationssysteme aber auch für die Unterbringung der innerhalb von wenigen Stunden oder Tagen obdachlos gewordenen Menschen führt.

Einen Eindruck davon, welche Folgen ein Unfall hätte, bei dem mehr als die im Szenario FKA unterstellten 10 Prozent des radioaktiven Inventars des Reaktors freigesetzt würden, vermitteln etwa die **Karten des Online-Tools von flexRISK¹¹⁸ zur effektiven 7-Tage-Dosis für Erwachsene** nach einem Atomunfall in den AKW Leibstadt, Gösgen, Beznau 1 oder Beznau 2. Dabei entspricht die Farbe Gelb dem Eingreifwert für „Aufenthalt im Gebäude“, die Farbe Rot dem für „Evakuierung“. Demnach müssten in allen gelben und orangefarbenen Gebieten die Menschen aufgefordert werden, das Haus nicht zu verlassen, Fenster und Türen zu schließen, Lüftungsanlagen abzustellen und sich möglichst im Keller aufzuhalten, weil dort der Schutz vor Strahlung am größten ist. Rote und pinke Gebiete müssten vollständig evakuiert werden.

Schon die hier abgebildeten beispielhaften Situationen, die unterschiedliche Wettersituationen des Jahres 1995, aber nicht unbedingt den wettermäßigen Worst Case abbilden, verdeutlichen:

- Kurzfristige Notfallschutzmaßnahmen wären in weit größeren Regionen erforderlich als in deutschen Katastrophenschutzplanungen vorgesehen. Der Katastrophenschutz wäre voraussichtlich komplett überfordert.
- Selbst in mehreren Hundert Kilometern Entfernung vom AKW müssten unter Umständen noch ganze Städte und Gemeinden binnen weniger Stunden evakuiert werden. Je nach Wetterlage könnte die Evakuierungszone auch Großstädte wie Freiburg i. Br. (50 Kilometer bis zum AKW Leibstadt), Konstanz (75 km), Reutlingen (125 km), Stuttgart (150 km), Karlsruhe (158 km), Ulm (161 km), Heilbronn (188 km), Heidelberg (205 km), Mannheim (210 km), Augsburg (219 km), München (260 km) und Nürnberg (296 km) umfassen.
- Das insgesamt zu evakuierende Gebiet könnte räumlich sehr ausgedehnt sein und erhebliche Teile Baden-Württembergs umfassen.
- (→ *Fortsetzung auf Seite 39*)

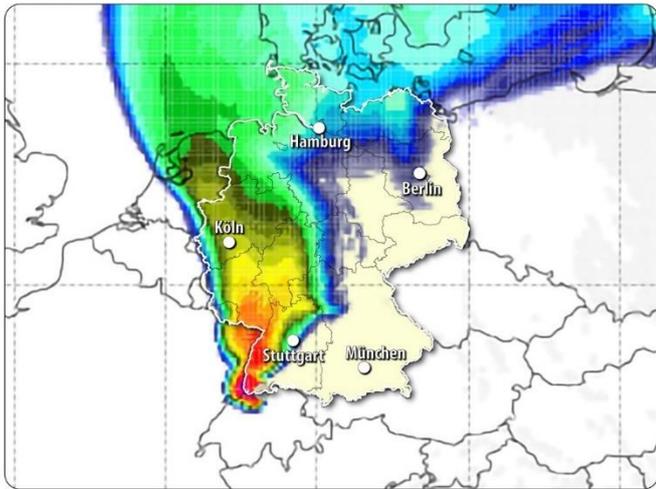
¹¹⁶ Löffler, Mildenerger, Sogalla, Stahl: Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS für Ereignisse im Leistungsbetrieb, 30.10.2010, S. 176.

¹¹⁷ Strahlenschutzkommission (SSK): Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, 2015, S. 28–29.

¹¹⁸ Seibert: flexRISK Online-Tool: Contamination and dose results for all NPP units for 1995, 2011.

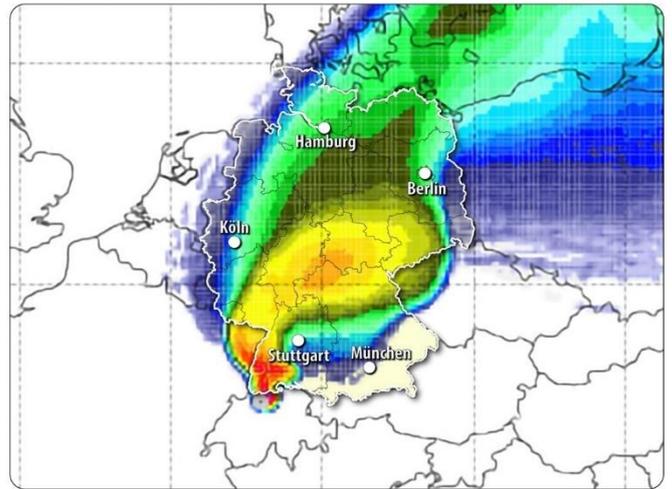
Leibstadt-1 | Effective dose adult 07 d

Release R06-14 | 116.9 PBq (14.00%) of Cs-137, etc.
Simulation start 19951009 07 stop 19951024 07 | Max AT 0.00



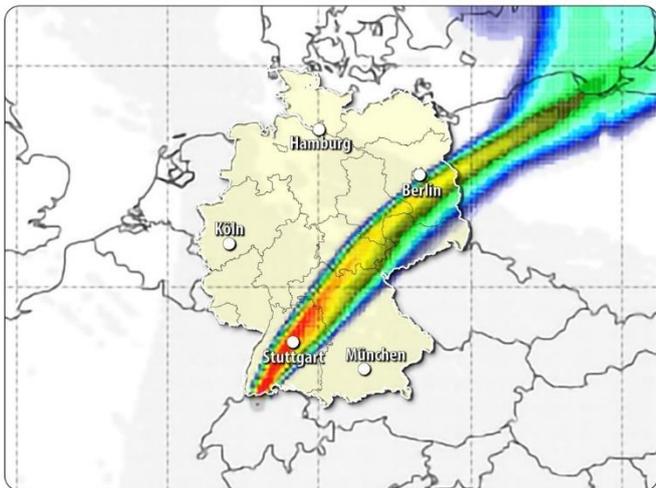
Goesgen-1 | Effective dose adult 07 d

Release R01-25 | 77.5 PBq (20.00%) of Cs-137, etc.
Simulation start 19951013 08 stop 19951028 08 | Max AT 0.00



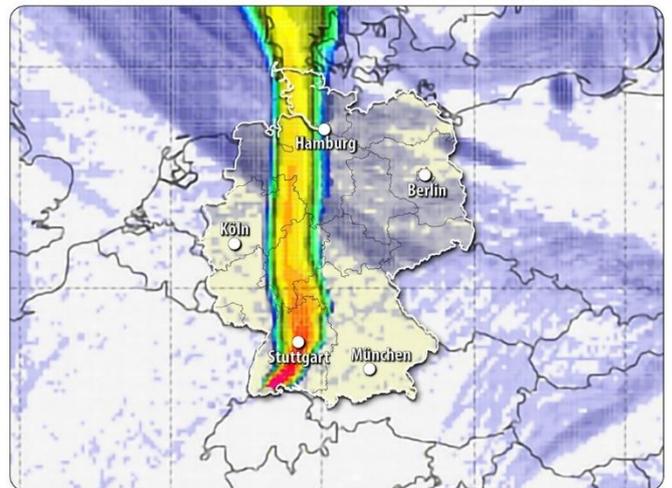
Goesgen-1 | Effective dose adult 07 d

Release R01-25 | 77.5 PBq (20.00%) of Cs-137, etc.
Simulation start 19951114 21 stop 19951129 21 | Max AT 0.00



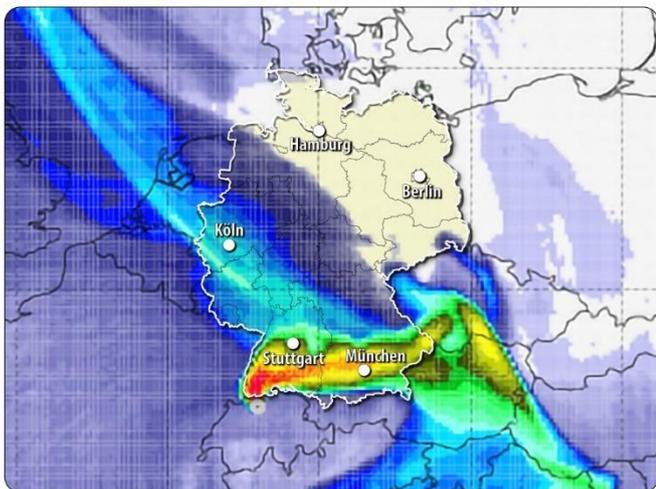
Leibstadt-1 | Effective dose adult 07 d

Release R06-14 | 116.9 PBq (14.00%) of Cs-137, etc.
Simulation start 19951123 00 stop 19951208 00 | Max AT 0.00



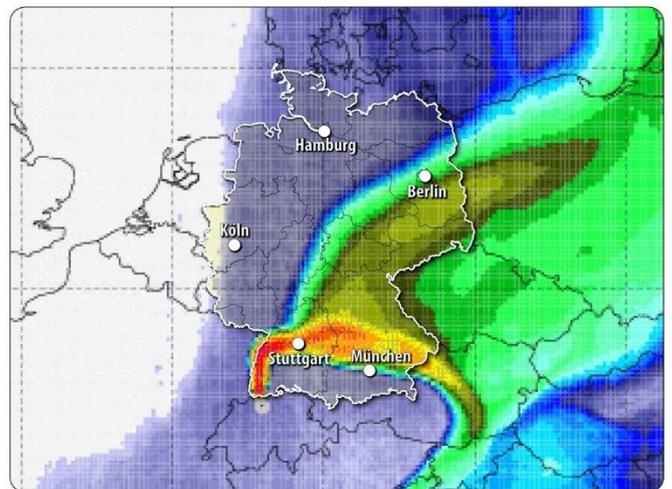
Goesgen-1 | Effective dose adult 07 d

Release R01-25 | 77.5 PBq (20.00%) of Cs-137, etc.
Simulation start 19951127 01 stop 19951212 01 | Max AT 9.29

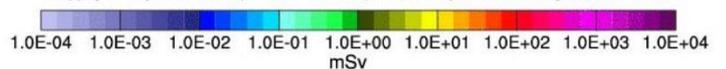


Goesgen-1 | Effective dose adult 07 d

Release R01-25 | 77.5 PBq (20.00%) of Cs-137, etc.
Simulation start 19950105 23 stop 19950120 23 | Max AT 21.53



Copyright: Project flexRISK (flexrisk.boku.ac.at), financed by Klima- + Energiefonds, Austria



- Die Topografie des Rheingrabens begünstigt bei bestimmten Wetterverhältnissen eine Ausbreitung der Wolke entlang des Rheins. Unter Umständen könnte so mehr oder weniger das gesamte Rheintal bis hinauf nach Karlsruhe zur Evakuierungszone werden. Gerade wegen der Topografie (Schwarzwald im Osten, Vogesen im Westen) wäre eine Evakuierung allerdings besonders schwierig, wenn nicht praktisch unmöglich.
- Es können Situationen auftreten, in denen – vgl. etwa ← Abbildung 14b – rund ein Drittel der Bundesrepublik so stark von der radioaktiven Wolke betroffen wäre, dass nach den Empfehlungen der Strahlenschutzkommission die Menschen dort unter Umständen tagelang im Haus bleiben müssten, idealerweise in fensterlosen Kellerräumen. Allerdings weisen die Expert*innen selbst darauf hin, dass diese Maßnahme „nur über kurze Zeit aufrechterhalten werden kann.“¹¹⁹ Auch eine gegebenenfalls erforderliche Verteilung bzw. Abholung von Jodtabletten (siehe Kapitel 3.2.1) ist so kaum möglich.
- Auch ein Unfall im mit etwa 20 Kilometern am weitesten von der deutschen Grenze entfernten AKW Gösgen kann großräumige Evakuierungen in (Süd-)Deutschland erforderlich machen.
- Selbst bei für Deutschland günstigen Wetterlagen, bei denen der Wind aus nordöstlicher Richtung weht und die radioaktive Wolke größtenteils in die Schweiz und/oder nach Frankreich bläst, kann das Dreiländereck Deutschland/Schweiz/Frankreich, also der Südwesten Baden-Württembergs, nach einem Unfall in einem der Schweizer AKW so hohe Strahlendosen abbekommen, dass weite Teile der Region zwischen Waldshut-Tiengen, Freiburg und Basel komplett evakuiert werden müssten.

Weder die Behörden noch die Bevölkerung sind auf solche Katastrophenschutzmaßnahmen auch nur ansatzweise vorbereitet. Die Evakuierungsplanungen auf deutscher Seite für Unfälle in den AKW Beznau 1, Beznau 2 und Leibstadt beschränken sich immer noch auf den 10-Kilometer-Umkreis um das AKW Leibstadt (alte „Mittelzone“), auch die Notfallschutzbroschüren¹²⁰ sind auf diesem Stand. Ausgearbeitete Katastropheneinsatzpläne für die 2014 auf 20 Kilometer erweiterten Evakuierungszonen liegen auch mehr als zehn Jahre später nicht vor. Das für den Katastrophenschutz in Südbaden zuständige Regierungspräsidium verweist auf die „herausfordernden“ Vorgaben für eine großräumige Evakuierung, noch dazu einer Region in deutsch-schweizerischer und deutsch-französischer Grenzrandlage.¹²¹ Auf seiner Homepage teilt es mit: „Es lässt sich derzeit leider noch nicht abschätzen, wann die erforderliche Aktualisierung der bestehenden Planungen abgeschlossen werden kann.“¹²²

Für Unfälle im AKW Gösgen, das etwas mehr als 20 Kilometer von der Grenze entfernt liegt, existieren auf deutscher Seite gar keine Evakuierungsplanungen und sind auch keine vorgesehen.¹²³

← Abbildung 14a-f: flexRISK-Simulationen der 7-Tage-Dosis für Erwachsene nach einem Unfall im AKW Gösgen für verschiedene Wettersituationen¹²⁴

¹¹⁹ Strahlenschutzkommission (SSK): Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, 2015, S. 27.

¹²⁰ Regierungspräsidium Freiburg: Notfallschutz. Ein Ratgeber für die Bevölkerung in der deutschen Umgebung der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt, 12.03.2012. Online: https://rp.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/RP-Internet/Themenportal/Sicherheit/_DocumentLibraries/Documents/KKW_Beznau_Leibstadt_Notfallschutz.pdf, Stand: 13.06.2025.

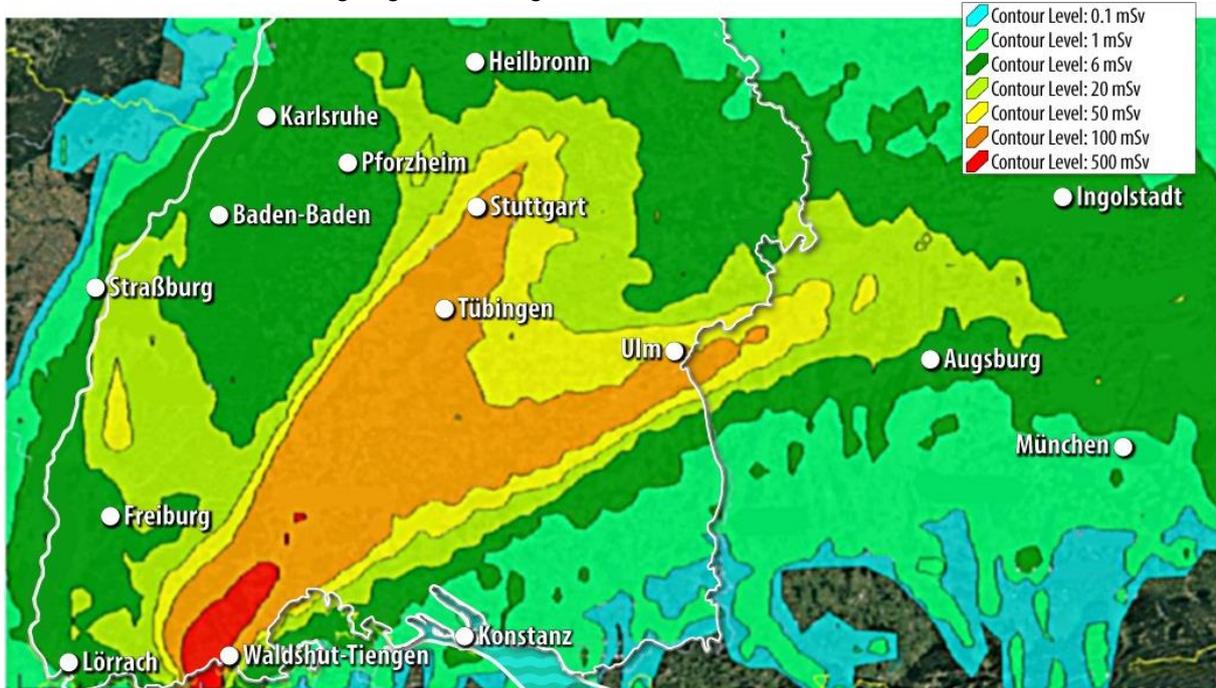
¹²¹ Regierungspräsidium Freiburg: AW: Frage zu Katastrophenschutzplanungen / radiologischer Notfallschutz, 06.06.2025.

¹²² Baden-Württemberg, Regierungspräsidien: Notfallschutz: Fragen und Antworten - Regierungspräsidium Freiburg, 05.05.2025, <https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpf/abt1/ref16/notfallschutz-faq/>, Stand: 05.05.2025.

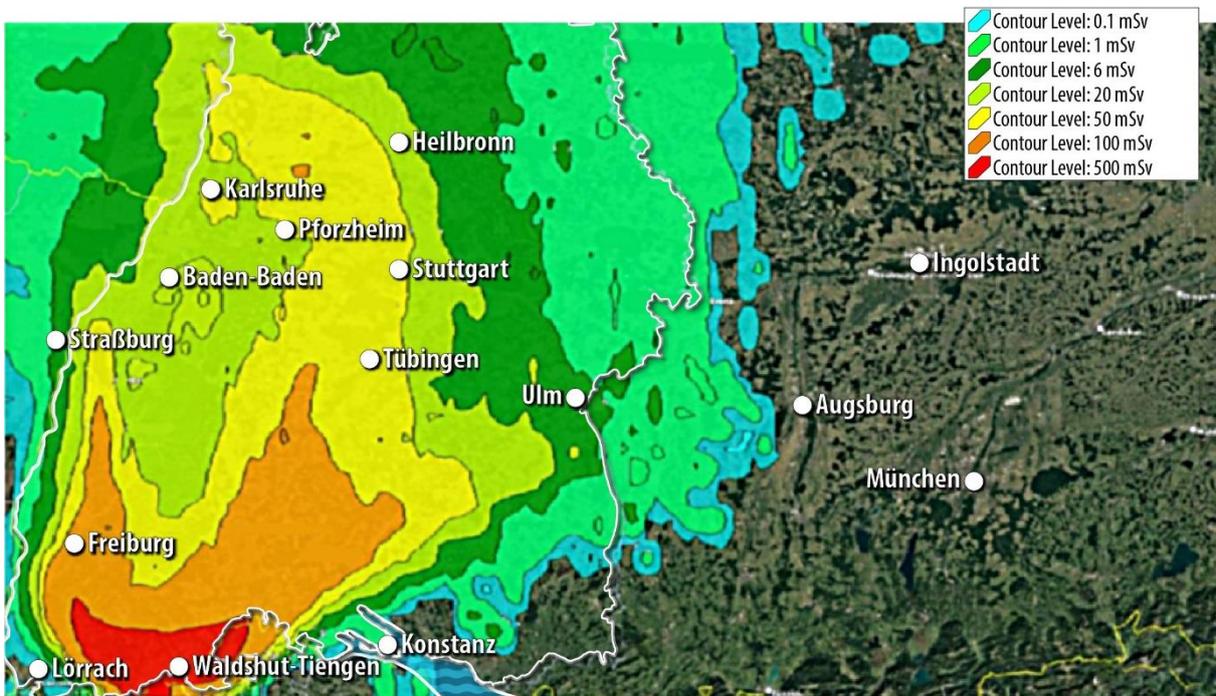
¹²³ ebd.

¹²⁴ Seibert: flexRISK Online-Tool: Contamination and dose results for all NPP units for 1995, 2011.

Die Ergebnisse von flexRISK sind in Übereinstimmung mit **2025 speziell für das AKW Leibstadt durchgeführten Simulationen des Institut Biosphère**, wie die folgenden drei Beispielkarten zeigen. Sie stellen die (in diesem Fall nur anhand der radioaktiven Wolke) berechnete Effektivdosis dar. Die Farbgebung differiert leicht von jener der flexRISK-Karten: Orange und Rot markieren die Gebiete, die gemäß den Empfehlungen der deutschen Strahlenschutzkommission¹²⁵ zu evakuieren wären. Die Maßnahme „Aufenthalt im Haus“ wäre schon in den Randbereichen von Dunkelgrün anzuordnen und umfasst darüber hinaus die gelbgrünen und gelben Bereiche.

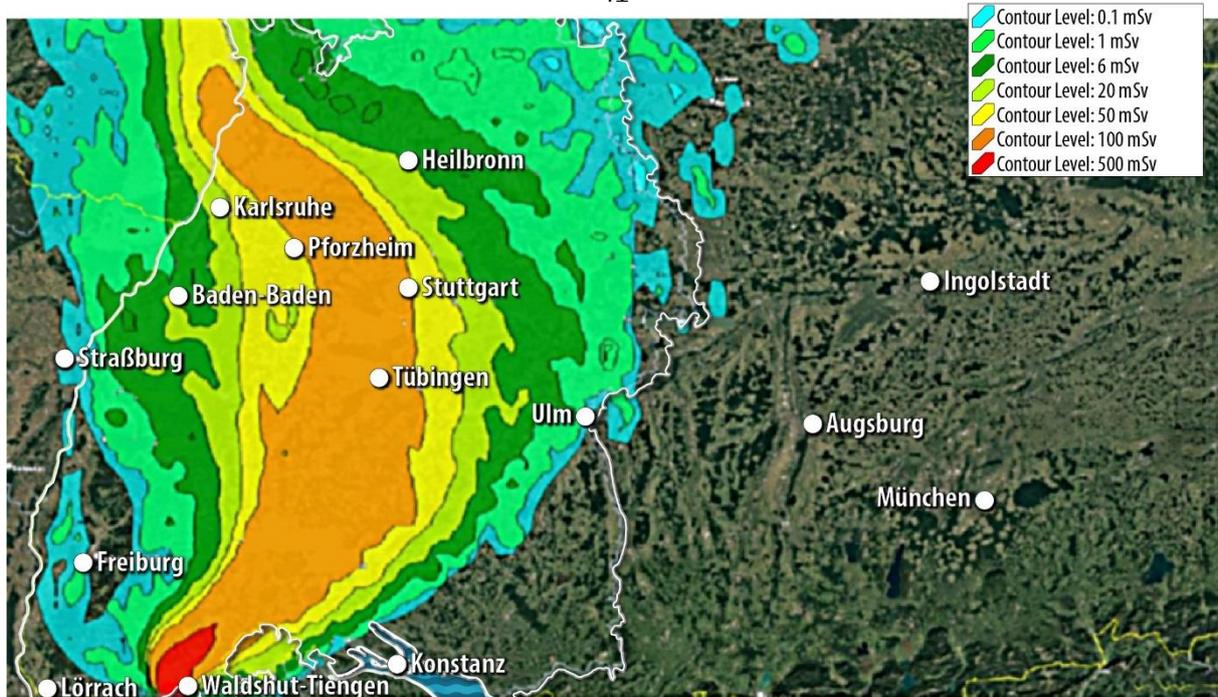


Nuage radioactif, simulation du 12.12.2021, 670'298 persSv, centile 99 (à comparer avec la carte suivante)



Nuage radioactif, simulation du 25.11.2020, 704'432 persSv, centile 99

¹²⁵ Strahlenschutzkommission (SSK): Radiologische Grundlagen, 2014, S. 35, Tab 4.3.



Nuage radioactif, simulation du 28.10.2021, 796'087 persSv, centile 99

Abbildungen 15, 16, 17: Simulationen der durch die radioaktive Wolke nach einem Unfall im AKW Leibstadt verursachten individuellen Strahlendosen für verschiedene Wettersituationen, mit Angabe der auf ganz Deutschland entfallenden Kollektivdosis¹²⁶

Basierend auf 1.461 Wettersimulationen zu einem Unfall im AKW Leibstadt – jeweils eine pro Tag, über vier Jahre – hat das Institut Biosphère zudem errechnet, welcher Strahlendosis die Bevölkerung in einzelnen Städten und Gemeinden im Schnitt der 15 schlimmsten Fälle ausgesetzt wäre. Demnach würden die Einwohner*innen von Rheinfelden mit durchschnittlich 1.889 Millisievert belastet, was bereits deterministische Gesundheitsschäden erwarten lässt. In Lörrach liegt der Wert bei 1.336 Millisievert pro Person. Freiburger*innen haben im Schnitt mit einer Effektivdosis von 341 Millisievert zu rechnen, etwas mehr als die Einwohner*innen von Titisee-Neustadt (324 Millisievert). Konstanz kommt in den schlimmsten 15 Fällen auf im Schnitt 196 Millisievert pro Person, Tübingen auf im Schnitt 135 Millisievert und auch Stuttgart liegt mit im Schnitt 117 Millisievert um mehr als den Faktor Hundert über der im Normalfall gesetzlich zulässigen Strahlenbelastung.¹²⁷

Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Institut Biosphère in diesen Karten lediglich die Strahlenbelastung in den ersten 72 Stunden nach Beginn der Freisetzung modelliert hat. Die genannten Städte müssten in diesen Fällen also allesamt evakuiert werden. Die Karten zeigen, dass dies durchaus auch für mehrere Großstädte zugleich der Fall sein kann. Evakuierungen in diesem Ausmaß würden den Katastrophenschutz heillos überfordern. Ihre Umsetzung und die Flucht so vieler Menschen, noch dazu in der Kürze der Zeit, ist organisatorisch kaum zu bewältigen. Die betroffene Bevölkerung könnte der radioaktiven Wolke praktisch nicht entkommen. Sie wäre einer Strahlenbelastung ausgesetzt, die um den Faktor 100 bis 2.000 über den Strahlenschutzgrenzwerten liegt, und hätte auch mit den entsprechenden gesundheitlichen Folgen (siehe dazu Kapitel 3.4 und 3.5) zu rechnen.

Nach einem schweren Unfall in einem Schweizer AKW müssten bei entsprechender Wetterlage große Teile Baden-Württembergs und gegebenenfalls sogar Bayerns großräumig evakuiert werden. Betroffen wären unter Umständen Regionen bis in mehreren Hundert Kilometern Entfernung vom AKW. Auch die gleichzeitige Evakuierung mehrerer Großstädte oder etwa des gesamten Oberrheingrabens könnte erforderlich sein. Evakuierungspläne auf deutscher Seite existieren bisher nur im 10-Kilometer-Umkreis um die AKW Leibstadt und Beznau. Am Hochrhein ist mit Strahlendosen zu rechnen, die so hoch sind, dass sogar akute (deterministische) Strahlenschäden zu erwarten sind.

¹²⁶ Piguet, Eckert, Khüsli: Impact sur le Sud de l'Allemagne d'un accident nucléaire majeur à la centrale nucléaire de Leibstadt en Suisse (3600 MWth), 13.03.2025, S. 8–9.

¹²⁷ ebd., S. 6.

3.3 Langfristige Bodenkontamination

Die Ablagerung langlebiger Radionuklide, insbesondere von Cäsium-137 mit einer Halbwertszeit von 30 Jahren, führt zu einer langanhaltenden Kontamination von Boden und Oberflächen. Dies beeinträchtigt die weitere Nutzung solcher Gebiete. Zum einen sind sie landwirtschaftlich nicht mehr oder nur noch eingeschränkt nutzbar. Zum anderen führt die Bodenstrahlung sowie die Inhalation aufgewirbelten radioaktiven Staubs zu einer radiologischen Dauerbelastung. Das für den Normalbetrieb geltende gesetzliche Ziel, die Strahlenbelastung der Bevölkerung durch kerntechnische Anlagen auf 1 Millisievert im Jahr zu begrenzen, ist nach einem schweren Atomunfall obsolet. Der bis dahin geltende Grenzwert kann dann auch faktisch in weiten Teilen des Landes nicht mehr eingehalten werden. Die Kontamination kann vielmehr sogar so hoch sein, dass selbst deutlich höhere Grenzwerte dauerhaft überschritten werden. Solche Gebiete werden damit auf Jahre oder Jahrzehnte hinaus unbewohnbar.

3.3.1 Umsiedlung

Für **das Schweizer Notfallschutzszenario, das auf dem ENSI-Szenario A4 basiert**, gibt die Notfallschutzbehörde lediglich an, dass die Umsiedlung von Personen im Umkreis von 2 Kilometern (oder mehr) um das havarierte AKW angeordnet werden würde.¹²⁸ Entscheidend für die Anordnung dauerhafter Umsiedlung ist die dauerhafte Bodenkontamination und Strahlenbelastung vor Ort.

Das deutsche Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat nach Fukushima festgehalten, dass die Erfahrungen in Japan zu einer Diskussion der Grenzwerte für die permanente Umsiedlung in Deutschland führen könnte. Je nachdem, wie dieser Grenzwert angesetzt wird, könnte eine dauerhafte Umsiedlung selbst in Gebieten weit über 50 Kilometer vom AKW entfernt nötig sein.¹²⁹ Bei Anwendung des japanischen Umsiedlungsgrenzwerts von 20 Millisievert pro Jahr könnten sogar Gebiete in 170 Kilometern Entfernung vom AKW noch dauerhaft unbewohnbar werden, selbst wenn lediglich 10 Prozent des radioaktiven Inventars des Reaktors freigesetzt würden.¹³⁰

Auch die EURATOM-Richtlinie 2013/59 hält fest, dass nach Ende des radiologischen Notfalls die dauerhafte Effektivdosis der Bevölkerung nicht mehr als 20 Millisievert pro Jahr betragen soll.¹³¹ Institut Biosphère legt dar, dass eine Bodenkontamination mit Cs-137 von mehr als 1.480.000 Bq/m² – ein von sowjetischen Behörden nach Tschernobyl angewandter Grenzwert – als Indikator für eine zu erwartende effektive Dosis von 20 Millisievert pro Jahr angesehen werden kann.¹³²

Das **Öko-Institut** hat für seinen Quellterm für das AKW Leibstadt, der bezüglich Cs-137 zwischen den ENSI-Szenarien A5 und A6 angesiedelt ist, die Oberflächenkontamination durch Cs-137 entlang des Hauptausbreitungspfads berechnet und grafisch dargestellt. Demnach ist bis in etwa 50 Kilometer Entfernung vom AKW eine Bodenbelastung von mehr als 1.500.000 Bq/m² durch Cs-137 zu erwarten.¹³³

Karten, die die Ablagerung von Cs-137 nach einem Atomunfall beispielhaft für verschiedene (reale) Wettersituationen darstellen, sind sowohl von **flexRISK** als auch vom **Institut Biosphère (2019)** für alle drei AKW-Standorte in der Schweiz verfügbar. Die Zone, die demnach dauerhaft unbewohnbar würde, beginnt auf den **flexRISK**-Karten¹³⁴ mit dem Farbton Purpurrot und erstreckt sich in die Pinktöne – unter Umständen viele Hundert Kilometer weit:

¹²⁸ ABC Referenzszenarien, Bundesamt für Bevölkerungsschutz; Labor Spiez, 2021, S. 30.

¹²⁹ Gering u. a.: Analyse der Vorkehrungen für den anlagenexternen Notfallschutz für deutsche Kernkraftwerke basierend auf den Erfahrungen aus dem Unfall in Fukushima, S. 33.

¹³⁰ Gering, F.; Gerich, G.; Wirth E. u. a.: Analyse der Vorkehrungen für den anlagenexternen Notfallschutz für deutsche Kernkraftwerke basierend auf den Erfahrungen aus dem Unfall in Fukushima, Salzgitter April 2012. Online: <https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-201204128010/3/BfS-SW-11-12-AnlagenExternerNotfallschutz-rev120420.pdf>, Stand: 23.06.2025, S. 32–33.

¹³¹ Europäischer Rat. EURATOM 2013/59, 05.12.2013. Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0059&from=ES>, Stand: 03.04.2025, Anhang 1, § 1.

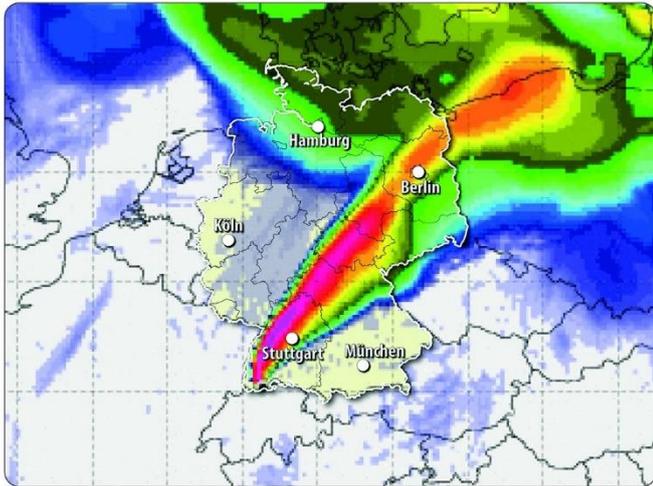
¹³² Piguet, Eckert, Knüsli, Wildi, Giuliani: Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries, 2019, S. 37.

¹³³ Ustohalova, Küppers, Claus: Untersuchung möglicher Folgen eines schweren Unfalls in einem schweizerischen Kernkraftwerk auf die Trinkwasserversorgung, 18.06.2014, S. 29, Abb. 3.3.

¹³⁴ Seibert: flexRISK Online-Tool: Contamination and dose results for all NPP units for 1995, 2011.

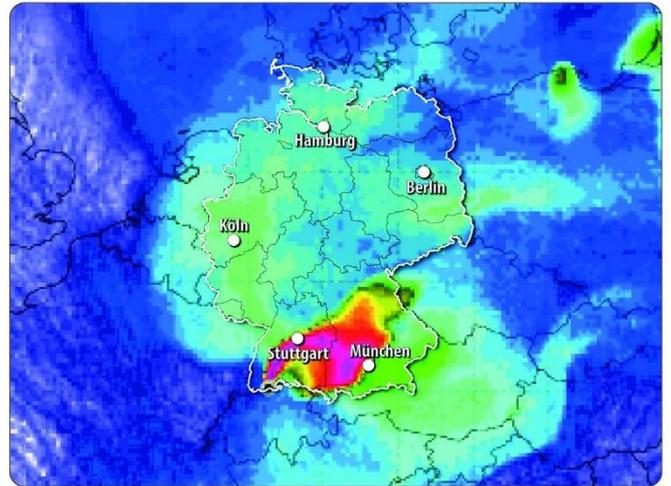
Leibstadt-1

Deposition from a 116.89 PBq release of Cs-137
Simulation start 19950910 20 Actual time 19950925 20



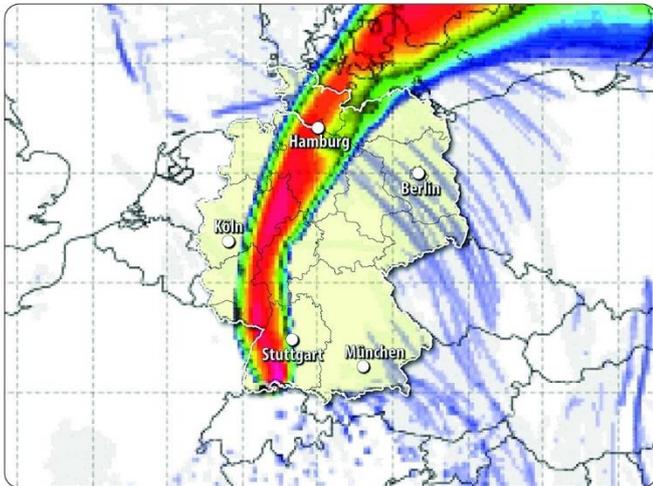
Leibstadt-1

Deposition from a 116.89 PBq release of Cs-137
Simulation start 19951005 05 Actual time 19951020 05



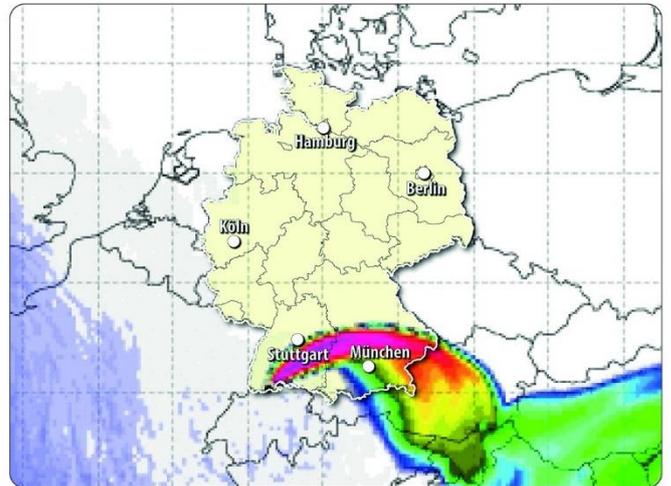
Leibstadt-1

Deposition from a 116.89 PBq release of Cs-137
Simulation start 19951025 13 Actual time 19951109 13



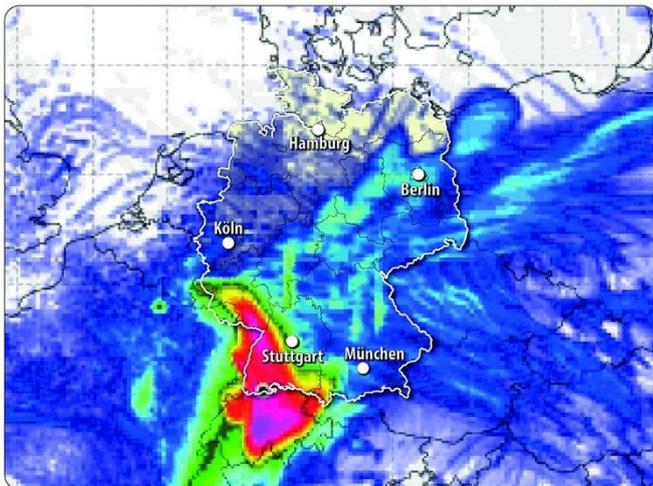
Leibstadt-1

Deposition from a 116.89 PBq release of Cs-137
Simulation start 19951029 14 Actual time 19951113 14



Leibstadt-1

Deposition from a 116.89 PBq release of Cs-137
Simulation start 19950805 06 Actual time 19950820 06



Leibstadt-1

Deposition from a 116.89 PBq release of Cs-137
Simulation start 19950516 00 Actual time 19950531 00

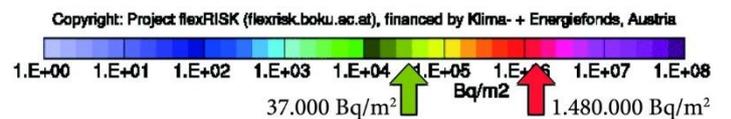
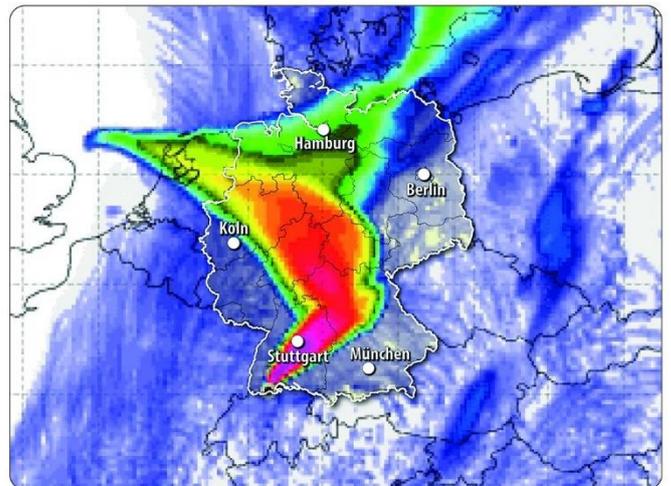


Abbildung 18a-f: Simulationen der Bodenkontamination mit Cs-137 nach Unfall im AKW Leibstadt (Ausschnitte)

Auf den Karten von **Institut Biosphère (2019)** entspricht die dauerhaft unbewohnbare Sperrzone den roten Bereichen:

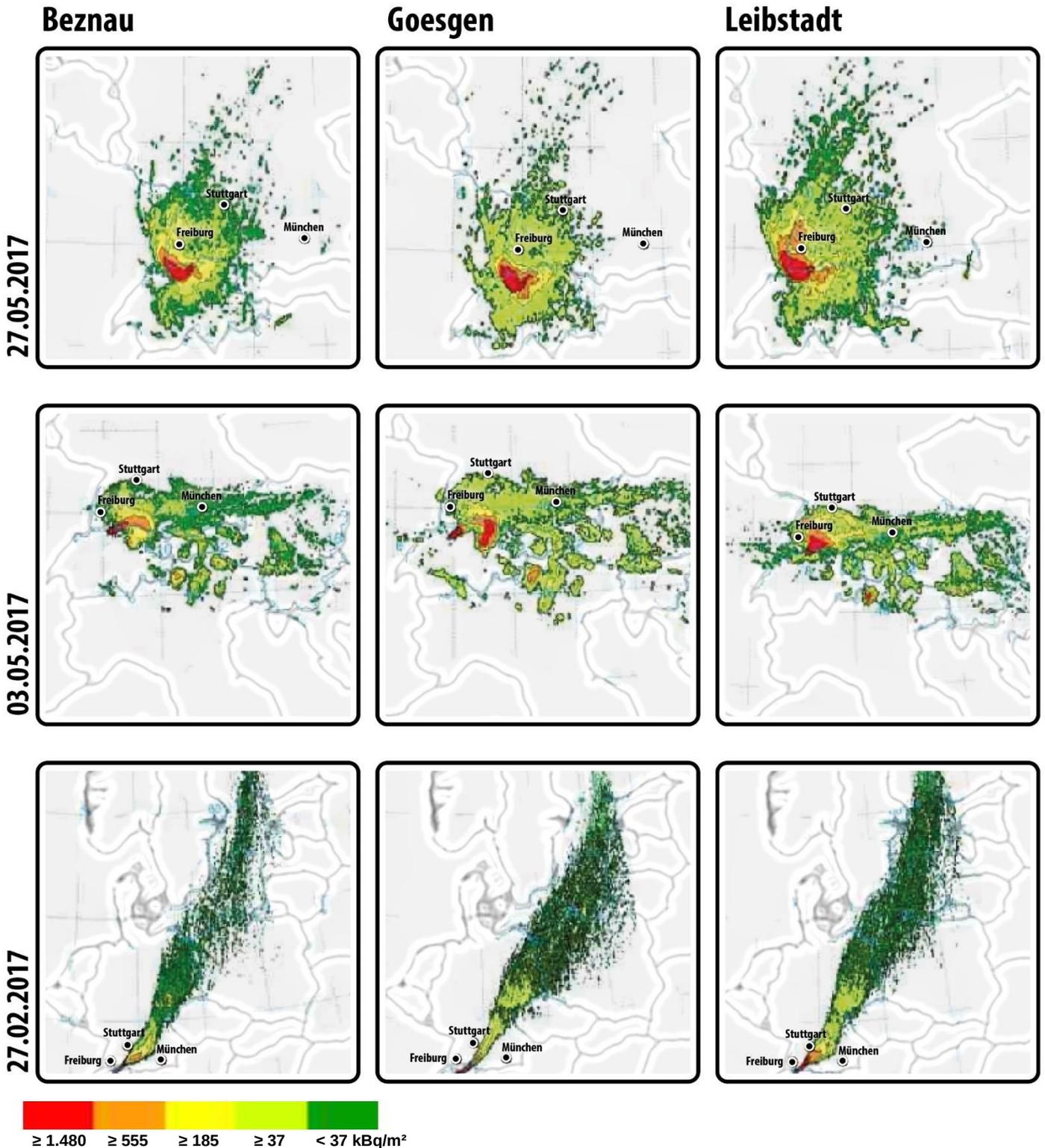


Abbildung 19a-i: Simulation der nach einem Unfall in den AKW Beznau, Gösigen oder Leibstadt möglichen Bodenkontamination mit Cäsium-137 für verschiedene Wettersituationen¹³⁵

¹³⁵ Piguet, Eckert, Knüsli, Wildi, Giuliani: Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries, 2019.

Europaweit könnten nach einem schweren Unfall in einem Schweizer AKW nach den Berechnungen von Institut Biosphère mehr als 7.000 Quadratkilometer Land langfristig unbewohnbar werden¹³⁶ – das wären mehr als doppelt so viele wie in Tschernobyl. Im Durchschnitt aller Wettersituationen müssten 250.000 (AKW Beznau 1 oder 2), 430.000 (AKW Gösgen) oder gar mehr als 500.000 Menschen (AKW Leibstadt) umgesiedelt werden.¹³⁷ Welcher Anteil davon jeweils auf Deutschland entfiel, hat die Studie 2019 nicht gesondert berechnet. Zumindest grob abschätzen lässt es sich jedoch anhand des auf Deutschland entfallenden Anteils der Strahlenbelastung insgesamt. Gemittelt über alle Wettersituationen des Jahres 2017 entfallen 17 % (AKW Gösgen), 30 % (AKW Beznau) beziehungsweise 45 % (AKW Leibstadt) der durch einen Unfall verursachten europaweiten Kollektivdosis auf Deutschland.¹³⁸

Zu beachten ist, dass in diese Durchschnittsergebnisse auch günstige Wettersituationen eingeflossen sind, bei denen die Wolke sich nicht weit ausbreitet und/oder nur über vergleichsweise dünn besiedelte Gebiete zieht. Sie geben also keinesfalls den untersuchten oder gar absoluten Worst Case an. Vielmehr unterliegen die Ergebnisse der einzelnen Simulationen wetterbedingt erheblichen Schwankungen. Für die ungünstigste der untersuchten 730 Wettersituation der Jahre 2017 und 2018 kamen die Wissenschaftler*innen auf rund 2 Millionen umzusiedelnde Personen bei einem Unfall im AKW Beznau, auf 2,2 Millionen bei einem Unfall im AKW Leibstadt und auf 3,7 Millionen Umzusiedelnde bei einem Unfall im AKW Gösgen.¹³⁹

Eine speziell auf Deutschland fokussierte beispielhafte Karte, welche die durch Bodenkontamination nach einem Unfall im AKW Leibstadt verursachte Effektivdosis pro Jahr darstellt, findet sich in der **Vorstudie von Institut Biosphère (2025)**.¹⁴⁰ Die Zone, in der Menschen aufgrund der Bodenkontamination binnen eines Jahres mit einer effektiven Dosis von 20 Millisievert oder mehr belastet würden, beginnt mit der Farbe Gelbgrün und setzt sich über Gelb und Orange bis Rot fort:

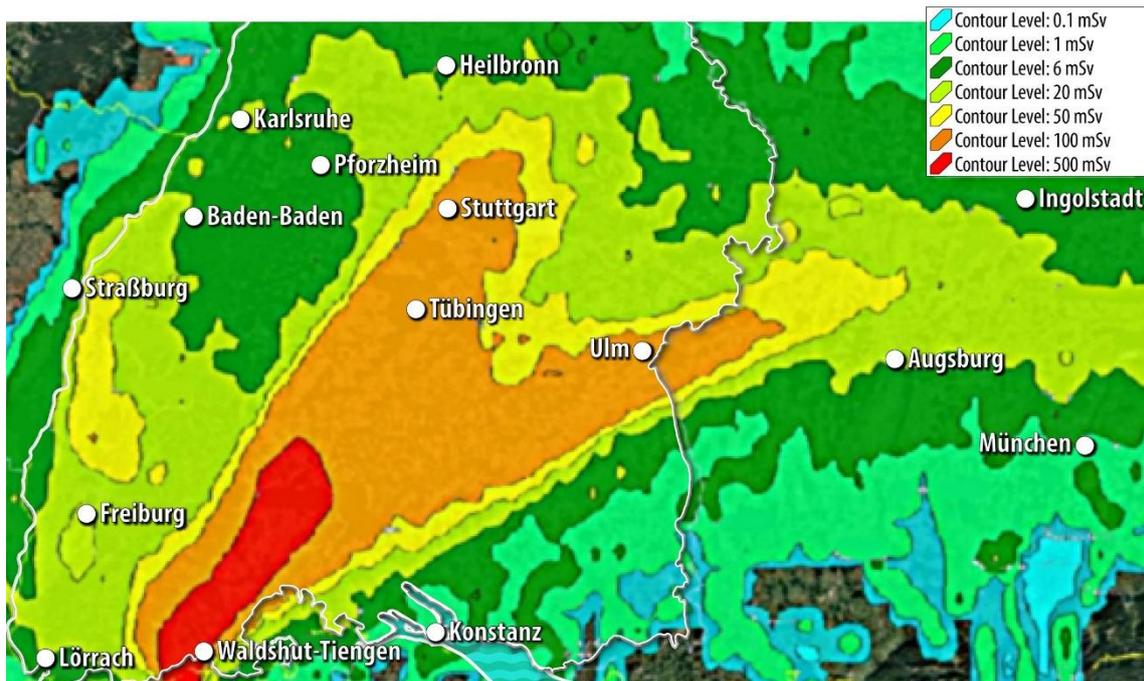


Abbildung 20: Simulation der Bodenkontamination nach einem Unfall im AKW Leibstadt, Wetterlage vom 12.12.2021 (Piguet, Eckert, Knüsli, 13.03.2025, S. 8)

¹³⁶ Chernobyl Forum: Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience. Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment', Radiological assessment reports series, STI PUB 1239, Vienna 2006. Online: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1239_web.pdf, Stand: 23.06.2025, S. 26.

¹³⁷ Piguet, Eckert, Knüsli, Wildi, Giuliani: Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries, 2019, S. 37, Tab. 3.14.

¹³⁸ ebd., S. 31, Tab. 3.2.

¹³⁹ ebd., S. 62, Tab. C1.

¹⁴⁰ Piguet, Eckert, Knüsli: Impact sur le Sud de l'Allemagne d'un accident nucléaire majeur à la centrale nucléaire de Leibstadt en Suisse (3600 MWth), 13.03.2025, S. 8.

Die diversen Berechnungen, Abschätzungen und Kartendarstellungen zeigen, dass nach einem schweren Atomunfall, abhängig von der Größe der Freisetzung und dem Wetter, immense Gebiete selbst in großer Entfernung vom AKW dauerhaft unbewohnbar und unnutzbar werden könnten. Viele Tausend, in ungünstigen Fällen auch mehrere Hunderttausend oder gar Millionen Menschen in Süddeutschland – unter Umständen auch weit darüber hinaus – könnten dauerhaft ihre Wohnung, ihren Arbeitsplatz und ihre Heimat verlieren.

Die Erfahrungen von Fukushima zeigen, dass selbst nach aufwändigsten Dekontaminationsmaßnahmen, offizieller Freigabe „gesäuberter“ Städte und Gemeinden und trotz finanziellen Drucks nur wenige Einwohner*innen und Firmen tatsächlich wieder dorthin zurückziehen. Insbesondere Familien mit Kindern meiden das Gebiet. Die ehemalige Sperrzone um Fukushima ist auch 14 Jahre nach dem schweren Atomunfall nur spärlich bevölkert, die Strahlengefahr trotz Dekontamination längst nicht beseitigt: Jeder Windstoß kann erneut radioaktive Partikel aus der Umgebung herbeiwirbeln. Von einer Rückkehr des Lebens von vor Beginn der Katastrophe kann keine Rede sein.

3.3.2 Ernte-, Jagd- und Weideverbote

Die radioaktive Kontamination von Böden und Gewässern hat potenziell gravierende Auswirkungen auf die Landwirtschaft. Radioaktiv belastetes Getreide, Gemüse und Obst muss unter Umständen vernichtet werden. Nach Tschernobyl war das selbst im 1.000 Kilometer entfernten Deutschland bei etlichen Kulturen der Fall. Besonders betroffen vom radioaktiven Fallout nach einem Atomunfall, das hat Tschernobyl gezeigt, sind Milchviehhalter;¹⁴¹ die Radionuklide, die sich auf den Wiesen ablagern, kontaminieren die Milch, die dann nicht mehr verkauft werden kann. Bei der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl 1986 war das selbst in Deutschland ein enormes Problem, das monatelang für Schlagzeilen sorgte. Der Südschwarzwald, eine traditionelle Milchviehregion, ist nur wenige Kilometer von den Schweizer AKW entfernt. Gemäß den deutschen Rahmenempfehlungen der Strahlenschutzkommission müsste bei einem AKW-Unfall das Inverkehrbringen kontaminierter Nahrungs- und Futtermittel unterbunden werden.¹⁴²

Laut flexRISK sind bereits ab einer Cs-137-Bodenkontamination von 37.000 Bq/m² Radioaktivitätsmessungen für landwirtschaftliche Produkte und Futtermittel nötig;¹⁴³ unter Umständen muss die Ernte dann vernichtet werden. Auf den **flexRISK-Karten zur Bodenkontamination mit Cs-137** oben (Abbildung 18, Seite 43) entspricht dies den grüngelben, gelben, orangenen, roten und pinken Farbflächen. Auf den **Karten von Institut Biosphère (2019)** oben (Abbildung 19, Seite 44) entspricht es allen Farbflächen außer den dunkelgrünen. Im Szenario des BABS, das sich auf das (kleine) **ENSI-Szenario A4** stützt, würde in der Schweiz ein Ernte-, Fischerei-, Weide- und Jagdverbot ausgesprochen, das sich von der Landesgrenze bis zum Alpenkamm (ungefähr 100 Kilometer vom AKW Leibstadt entfernt) erstrecken würde. Daraus kann abgeleitet werden, dass schon bei diesem kleinen Szenario auch bis 100 Kilometer nördlich der AKW, also in Deutschland bis auf Höhe von Straßburg und Tübingen, im selben Umfang Einschränkungen gelten müssten. Entsprechende Prognosen zu den Szenarien A5 und A6 fehlen.

Nach den Berechnungen von **Institut Biosphère (2019)** würde im Durchschnitt aller untersuchten Wettersituationen des Jahres 2017 europaweit eine Fläche von 32.000 (AKW Beznau) bis 72.000 Quadratkilometern (AKW Leibstadt) mit mehr als 37.000 Becquerel pro Quadratmeter kontaminiert. Gut die Hälfte der Fläche wäre als landwirtschaftliche Anbau- oder Weidefläche genutztes Gebiet. Eine beispielhafte länderspezifische Aufteilung nimmt die Studie nur für Ackerflächen vor. Demnach läge im Schnitt rund ein Drittel der relevant verstrahlten Ackerfläche in Deutschland: mehr als 4.000 Quadratkilometer bei einem Unfall im AKW Beznau, mehr als 5.000 Quadratkilometer bei einem

¹⁴¹ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Der Reaktorunfall 1986 in Tschernobyl, 2016. Online: https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/bro-tschernobyl.pdf?__blob=publicationFile&v=1, Stand: 23.06.2025.

¹⁴² Strahlenschutzkommission (SSK): Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, 2015, S. 19–20.

¹⁴³ Seibert, Arnold, Arnold, Gufler, Kromp-Kolb, Mraz, Sholly, Wenisch: flexRISK – Flexible Tools for Assessment of Nuclear Risk in Europe, Mai 2013, S. 38.

Unfall im AKW Gösgen und mehr als 8.000 Quadratkilometer bei einem Unfall im AKW Leibstadt. Dies ist drei-, vier- respektive siebenmal so viel wie die jeweils in der Schweiz im Schnitt betroffene Ackerfläche.¹⁴⁴ Zu beachten ist, dass es sich bei sämtlichen Flächenangaben nur um Durchschnittswerte der Ergebnisse von 365 einzelnen Simulationen unterschiedlicher Wetterverhältnisse handelt. Darin sind also auch Wetterlagen enthalten, in denen der Wind aus nördlichen Richtungen bläst und Deutschland nur wenig bis gar nicht betroffen wäre. Umgekehrt wären bei ungünstigen Wetterlagen deutlich größere Gebiete als oben angegeben betroffen.

Ein schwerer Unfall in einem Schweizer AKW könnte zigtausend Quadratkilometer, unter Umständen sogar ein Mehrfaches der Landesfläche Baden-Württembergs, so stark radioaktiv kontaminieren, dass sie nicht mehr oder nur noch eingeschränkt landwirtschaftlich nutzbar sind. Dabei wäre Deutschland, was die mutmaßlich kontaminierte Ackerfläche angeht, von den Auswirkungen eines Unfalls in einem Schweizer AKW um ein Vielfaches mehr betroffen als die Schweiz selbst.

3.3.3 Gefährdung der Trinkwasserversorgung

Fallout und Washout können auch Oberflächengewässer so erheblich kontaminieren, dass diese nicht mehr zur Trinkwassergewinnung, zum Tränken von Vieh, zum Bewässern landwirtschaftlicher Flächen und zur Fischerei genutzt werden dürfen. Gleiches gilt für Grundwasser, das in Verbindung mit Oberflächengewässern steht oder in das radioaktive Stoffe aus dem Boden eingetragen werden. Gemäß den Rahmenempfehlungen der deutschen Strahlenschutzkommission gehört das Sperren kontaminierter Wassergewinnungsstellen mit zu den ersten Aufgaben nach einem Atomunfall.¹⁴⁵

Das **Öko-Institut** hat in einer Studie gezeigt, dass selbst der immens große Bodensee durch Fallout und Washout nach einem Unfall im AKW Leibstadt so kontaminiert werden könnte, dass die Trinkwasser-Toleranzwerte für radioaktives Cäsium, Jod und Strontium überschritten würden.¹⁴⁶ Aus dem Bodensee werden rund fünf Millionen Menschen mit Trinkwasser versorgt.¹⁴⁷ Die Pumpfassungen der Bodenseewasserversorgung, die 147 Städte und Gemeinden in Baden-Württemberg, darunter Stuttgart, Reutlingen, Pforzheim und Heilbronn, sowie 34 Wasserversorgungszweckverbände mit Trinkwasser beliefert, befinden sich bei Sipplingen im nordwestlichen Ausläufer des Bodensees (Überlinger See). Dieser ist weniger tief als der Hauptsee, nicht vom Rhein durchströmt und liegt vergleichsweise nah an den Schweizer AKW. Alle drei Faktoren begünstigen eine radioaktive Kontamination des Trinkwassers.

Eine mögliche direkte Einleitung radioaktiv kontaminierten Wassers aus dem Unfall-AKW, wie sie etwa in Fukushima auftrat, in den Rhein-Zufluss Aare (AKW Beznau und Gösgen) bzw. direkt in den Rhein (AKW Leibstadt) würde nach Berechnungen des Öko-Instituts das Flusswasser derart stark kontaminieren, dass noch in Basel die Schweizer Trinkwasser-Toleranzwerte vieltausendfach und selbst die Schweizer Trinkwasser-Grenzwerte zigfach überschritten würden. Die Toleranzwerte würden voraussichtlich auch nach mehr als drei Monaten noch nicht eingehalten.¹⁴⁸

Die Aare mündet bei Waldshut in den Rhein. Selbst vom AKW Gösgen, das die meisten Flusskilometer entfernt ist, würde die radioaktive Fracht binnen weniger Stunden den Rhein und den Großraum Basel erreichen. Deutsche Gemeinden, die Trinkwasser aus dem Rhein oder aus mit Rheinwasser angereichertem Grundwasser oder Uferfiltrat gewinnen, wären in vergleichbarem Maße betroffen wie Gemeinden auf der Schweizer Seite. Auch die in Deutschland geltenden Referenzwerte für die

¹⁴⁴ Piguet, Eckert, Knüsli, Wildi, Giuliani: Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries, 2019, S. 38–39, Tab. 3.15-3.18.

¹⁴⁵ Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, S. 19–20.

¹⁴⁶ Ustohalova, Küppers, Claus: Untersuchung möglicher Folgen eines schweren Unfalls in einem schweizerischen Kernkraftwerk auf die Trinkwasserversorgung, 18.06.2014, S. 60–62.

¹⁴⁷ IGKB Wasserentnahmen aus dem Bodensee, https://www.igkb.org/fileadmin/user_upload/Downloads/Publikationen/Fachpublikationen/IGKB_Faktenblatt_Wasserentnahmen_2024.pdf, Stand: 23.03.2025.

¹⁴⁸ Ustohalova, Küppers, Claus: Untersuchung möglicher Folgen eines schweren Unfalls in einem schweizerischen Kernkraftwerk auf die Trinkwasserversorgung, 18.06.2014, S. 63–67.

Trinkwasserbelastung mit künstlichen Radionukliden¹⁴⁹ würden am Hochrhein vielhundert- bis vieltausendfach überschritten. Betroffene Kommunen müssten auf unverseuchte Notbrunnen ausweichen – sofern vorhanden –, sich über Tankwagen mit Trinkwasser von anderswo versorgen oder den Konsum kontaminierten Wassers akzeptieren.

Ein schwerer Unfall in einem Schweizer AKW gefährdet potenziell die Trinkwasserversorgung aller Gemeinden, über deren Wassergewinnungsgebieten die radioaktive Wolke abregnet. Der strahlende Washout gefährdet auch Grundwasservorkommen. Selbst großvolumige Oberflächengewässer können noch in vielen Dutzend Kilometern Entfernung vom AKW so stark kontaminiert werden, dass ihr Wasser nicht mehr als Trinkwasser genutzt werden darf. Dies betrifft auch den nordwestlichen Ausläufer des Bodensees (Überlinger See), aus dem die Bodenseewasserversorgung das Trinkwasser für große Teile Baden-Württembergs gewinnt. Besonders gefährdet sind Rhein-Anliegergemeinden, die ihr Wasser aus dem Fluss oder damit in Verbindung stehenden Grundwasserleitern gewinnen. Bei direkter Einleitung radioaktiver Stoffe ins Wasser, wie etwa in Fukushima geschehen, ist unter Umständen selbst im Großraum Basel noch mit einer vieltausendfachen Überschreitung der Trinkwasser-Toleranzwerte zu rechnen.

3.4 Exkurs: Gesundheitsschäden durch ionisierende Strahlung

3.4.1 Was ist ionisierende Strahlung und wie macht sie krank?

Ionisierende Strahlung hat die Fähigkeit, aus Atomen oder Molekülen Elektronen zu entfernen. Dies führt zur Bildung von Ionen. Sie kann verschiedene Formen annehmen, wie elektromagnetische Röntgen- und Gamma- sowie Teilchen-Strahlung (Alpha-, Beta-, Neutronen-). Sie existiert natürlich (kosmische und terrestrische Strahlung) und kann technisch erzeugt werden (Röntgenstrahlung). Wenn sich bestimmte Atomkerne ohne äußere Einwirkung von selbst in andere Kerne umwandeln und dabei ionisierende Strahlung aussenden, nennt man diese Eigenschaft Radioaktivität. Der Prozess der Kernumwandlung wird als radioaktiver Zerfall bezeichnet. Die radioaktiven Atomkerne nennt man Radionuklide.

Strahlenschäden werden in akute (deterministische) Strahlenschäden und Spätfolgen (stochastische Strahlenschäden) unterteilt.

Deterministische Strahleneffekte werden durch Zellschäden (im Wesentlichen durch Stopp der Zellteilung) verursacht, die über die Reparaturkapazität des Körpers hinausgehen. Diese Effekte treten aber erst auf, wenn eine bestimmte Schwellendosis der Strahlung überschritten wird. Es besteht eine direkte Dosis-Wirkungs-Beziehung: Mit der Höhe der erhaltenen Strahlendosis steigt die Schwere der dadurch ausgelösten Erkrankung. Typisch für eine solche direkte Schädigung ist die akute Strahlenkrankheit, welche die Organsysteme Knochenmark/blutbildendes System, Magen, Darm und Haut betrifft. Bei Embryonen können viele Arten von Fehlbildungen und Totgeburten die Folge sein. Für unterschiedliche Organsysteme existieren unterschiedliche Schwellenwerte.¹⁵⁰

Durch ionisierende Strahlung bewirkte, nach einer Zellteilung auftretende chromosomale Schäden, etwa eine falsche Zahl von Chromosomen oder Brüche derselben in den Tochterzellen (chromosomale Aneuploidie), sind die wesentliche Ursache stochastischer Strahlenschäden. Folgen sind vor allem Krebserkrankungen, Leukämien und diverse Fehlbildungen (somatische stochastische Strahlenschäden) sowie Erbkrankheiten bei Nachkommen (genetische stochastische

¹⁴⁹ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Leitfaden zur Untersuchung und Bewertung von radioaktiven Stoffen im Trinkwasser bei der Umsetzung der Trinkwasserverordnung, 30.05.2018. Online: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017020114224>, Stand: 23.06.2025, S. 16, Tab. 4.

¹⁵⁰ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Abschätzung des Gesundheitsrisikos durch ionisierende Strahlung, <https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/wirkung-risiken-ion/stellungnahmen/risiko.html>, Stand: 15.06.2025; Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Folgen eines Strahlenunfalls, <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/wirkung/strahlenunfall-folge/strahlenunfall-folge.html>, Stand: 15.06.2025.

Strahlenschäden).¹⁵¹ Stochastische Strahleneffekte sind zufallsabhängig, wobei das Risiko, zu erkranken, mit der Dosis steigt und sinkt. Jede noch so kleine Strahlendosis kann also Krebs oder Leukämien auslösen; einen Schwellenwert gibt es nicht. Die Schwere der Erkrankung hingegen ist dosisunabhängig.

3.4.2 Dosisgrenzwerte

Im Strahlenschutz sind Dosisgrenzwerte festgelegte Grenzwerte einer Strahlenexposition (Organdosen, effektive Dosen) in einem bestimmten Zeitraum mit dem Ziel, die schädigende ionisierende Strahlung und das daraus resultierende Strahlenrisiko für Beschäftigte und für die Bevölkerung zu begrenzen. Der Grenzwert für die gemäß Strahlenschutzverordnung zulässige Strahlenbelastung der Bevölkerung durch Atomanlagen im Normalbetrieb beträgt 1 Millisievert pro Jahr.¹⁵²

3.4.3 Das LNT-Modell der Abschätzung von Strahlenfolgen

Um die Strahlenwirkung quantitativ und qualitativ genauer abzuschätzen, wird im Strahlenschutz das Linear-Non-Threshold-Modell (LNT-Modell) benutzt. Das Modell beruht auf der im Strahlenschutz gemachten Annahme, dass die Häufigkeit eines stochastischen Effekts,¹⁵³ die im mittleren bis hohen Dosisbereich (etwa 0,1 bis 5 Gray) beobachtet wird, linear bis zur Dosis Null (also ohne Schwellendosis) extrapoliert werden kann.¹⁵⁴ In seiner Reaktion auf die Studie des **Institut Biosphère von 2019** (vgl. Kapitel 2.5) bezweifelt das Eidgenössische Nuklearsicherheits-Inspektorat ENSI auch die Gültigkeit dieser in der Strahlenmedizin gängigen Linear-Non-Threshold-Hypothese.¹⁵⁵ Zwar erkennt die Behörde an, dass das LNT-Modell „für eine schnelle Risikoabschätzung (...) einfach zu handhaben (ist) und (...) sich nicht zuletzt genau deswegen etabliert (hat)“. Sie räumt also ein, dass das Modell eine verlässliche Basis für die Quantifizierung von Gesundheitseffekten durch Niedrigstrahlung ist, die sie auch selbst nutzt: „Das ENSI verwendet das Modell ebenfalls für den praktischen Strahlenschutz im Sinne einer vorsichtigen Abschätzung.“ Andererseits lehnt sie es unter Verweis auf eine kontroverse Fachdiskussion bezüglich der Anwendbarkeit dieses Modells im Bereich der natürlichen Hintergrundstrahlung grundsätzlich ab, das LNT-Modell für Aussagen zur Risikovorsorge und zur Abschätzung der Gesundheitsschäden nach AKW-Unfällen heranzuziehen. Sie bestreitet also, dass die LNT-Hypothese geeignet sei, quantitativ Gesundheitseffekte durch Niedrigstrahlung zu erfassen. Dies ist in sich widersprüchlich.

Den Stand der wissenschaftlichen Diskussion zur LNT-Hypothese wird überzeugend von David Brenner, Physiker und Krebsforscher am Zentrum für radiologische Forschung an der Columbia-Universität wiedergegeben. Seine Übersichtsarbeit „Extrapolating radiation-induced cancer risks from low doses to very low doses“ behandelt die wesentlichen Argumente.¹⁵⁶ Die Diskussion dreht sich um die Bewertung, welche zellulären Reparaturmechanismen in sehr niedrigen Dosisbereichen (gleich oder kleiner als 1 mGy) in welchem Ausmaß eine Rolle spielen. Brenner kommt in seiner Arbeit zu dem Schluss, dass die LNT-Hypothese eine plausible Hypothese basierend auf einem mechanistischen Denkansatz ist, die das Risiko für strahleninduzierte Krebserkrankungen vom Niedrigdosisbereich (5–20 mGy) bis zum sehr niedrigen Dosisbereich bis hinunter zum 1-mGy-Bereich extrapoliert.

¹⁵¹ Strahlenschutzkommission (SSK): Stochastischer Effekt – Glossar Strahlenschutz, 22.09.2022, https://glossar-ssk.de/index.php?title=Stochastischer_Effekt, Stand: 15.06.2025.

¹⁵² StrSchG 80, 1.

¹⁵³ Strahlenschutzkommission (SSK): Stochastischer Effekt – Glossar Strahlenschutz, 22.09.2022.

¹⁵⁴ Strahlenschutzkommission (SSK): LNT Modell – Glossar Strahlenschutz, Strahlenschutzkommission (SSK) 22.09.2022, https://glossar-ssk.de/index.php?title=LNT_Modell, Stand: 15.06.2025.

¹⁵⁵ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Stellungnahme des ENSI zur Studie “Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries” des Institut Biosphère, 30.06.2020, S. 5–6.

¹⁵⁶ Brenner, David J.: Extrapolating radiation-induced cancer risks from low doses to very low doses, in: Health physics 97 (5), 2009, S. 505–509. Online: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19820460/>, Stand: 23.06.2025.

3.4.4 Was kann der Katastrophenschutz (nuklearer Notfallschutz) im Fall von Atomunfällen leisten und was nicht?

Durch die Maßnahmen zum Katastrophenschutz nach einem AKW-Unfall können bis auf die Jodprophylaxe¹⁵⁷ nur deterministische Strahleneffekte erfasst und teilweise verhindert werden.

Bei AKW-Unfällen, die man als Großschadenslagen einordnen muss, spielt für das Ausmaß der Strahlenschäden die Ausbreitung der Radionuklide Jod-131 und Cäsium-137 die Hauptrolle. Die Aufnahme von Cäsium-137 in den menschlichen Körper lässt sich nur durch Vermeidung, also Evakuierungsmaßnahmen und Nicht-Aufnahme belasteter Nahrung, verhindern. Ziel des Katastrophenschutzes nach einem AKW-Unfall ist zunächst vor allem, das Entstehen sogenannter deterministischer Strahlenfolgen (vor allem die akute Strahlenkrankheit verschiedener Schweregrade) möglichst zu verhindern. Diese treten bei Erwachsenen ab einer Strahlendosis von ca. 500 Millisievert, beim ungeborenen Kind ab 50–100 Millisievert auf. Die entsprechenden Maßnahmen des Katastrophenschutzes bestehen vor allem in einer Evakuierung hoch strahlenbelasteter beziehungsweise strahlenbedrohter Gebiete.

Mit der in den Katastrophenschutzplänen vorgesehenen sogenannten „Jodprophylaxe“, welche durch aufgenommenes radioaktives Jod verursachte Schilddrüsenkarzinome verhindern soll, wird lediglich eine der vielen stochastischen Strahlenwirkungen berücksichtigt. Weitere Maßnahmen zur Vermeidung anderer stochastischer Strahlenschäden wie anderer Krebserkrankungen, Leukämien oder Lymphome werden vom Gesetzgeber offensichtlich als unverhältnismäßig bzw. undurchführbar angesehen.

3.4.5 Welche Studien zu stochastischen Langzeiteffekten sind bekannt?

Die stochastischen Langzeiteffekte sogenannter „Niedrigstrahlung“ (0–100 Millisievert) sind nicht nur nach Atomunfällen wie Tschernobyl und Fukushima nachgewiesen worden, sondern auch in zahlreichen Studien, in denen natürliche Quellen (z. B. Radon) oder künstliche Quellen (Röntgenstrahlung, Computertomographie) untersucht wurden.

3.4.5.1 *„Natürliche Radioaktivität“ am Beispiel Radon*

Radioaktivität bzw. Radionuklide natürlichen Ursprungs sind in der Umwelt überall anzutreffen. Auch diese Radioaktivität verursacht nachweisbar Krebsrisiken. Dieses Ergebnis zeigen verschiedene Studien, in denen die Radonkonzentration innerhalb von Wohngebäuden mit der Radonkonzentration außerhalb von Wohngebäuden und das dazugehörige Krebsrisiko verglichen wurden: Krewski et al.¹⁵⁸ haben sieben US-amerikanische Fall-Kontroll-Studien verglichen, welche die Radon-Konzentration in Wohngebäuden mit dem Lungenkrebsrisiko verglichen haben. Die Exposition bezog sich auf 100 Becquerel pro Kubikmeter innerhalb eines Zeitfensters von 5 bis 30 Jahren.

Auch das Bundesamt für Strahlenschutz benennt Radon nach dem Rauchen als eine der wichtigsten Ursachen für das Auftreten von Lungenkrebs. Etwa sechs Prozent der Lungenkrebsfälle in Deutschland seien darauf zurückzuführen.¹⁵⁹

Die Studie von Menzler et al.¹⁶⁰ untersucht das Lungenkrebsrisiko für Deutschland und für die Schweiz. Sie kommen auf ein zusätzliches Lungenkrebsrisiko von 8 Prozent bei einer Radonexposition von 100 Becquerel pro Kubikmeter.

¹⁵⁷ Thiel: IPPNW-Empfehlungen bei Atomreaktorunfällen zum Schutz der Schilddrüse mit speziellen Jod-Tabletten (Jodblockade), Januar 2024

¹⁵⁸ Krewski, Daniel; Lubin, Jay H.; Zielinski, Jan M. u. a.: Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of 7 North American case-control studies, in: Epidemiology (Cambridge, Mass.) 16 (2), März 2005, S. 137–145. Online: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15703527/>, Stand: 23.06.2025.

¹⁵⁹ Bundesamt für Strahlenschutz: Was ist Radon?, 19.06.2025, <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/einfuehrung/einfuehrung.html>, Stand: 19.06.2025.

¹⁶⁰ Menzler, Susanne; Piller, Georges; Gruson, Martha u. a.: Population attributable fraction for lung cancer due to residential radon in Switzerland and Germany, in: Health physics 95 (2), 2008, S. 179–189. Online: https://journals.lww.com/health-physics/abstract/2008/08000/population_attributable_fraction_for_lung_cancer.1.aspx, Stand: 23.06.2025.

3.4.5.2 Hintergrundstrahlung und Leukämie bei Kindern

Die Krebsforscher Wakeford et al. schätzen, dass 20 Prozent der Leukämie-Erkrankungen bei Kindern in Großbritannien auf die natürliche Hintergrundstrahlung zurückzuführen sind.¹⁶¹ Sie benutzten dabei Risiko-Abschätzungen, die auf den Studien an japanischen Atombomben-Überlebenden beruhen. Auch aus der Anwendung von medizinisch indizierter Radiotherapie, z. B. bei Prostata-Krebs, ist das erhöhte Auftreten von Leukämie bei Erwachsenen bekannt.¹⁶²

In der Studie von Spycher et al. wird der Zusammenhang zwischen der Hintergrundstrahlung in der Schweiz und dem erhöhten Auftreten von Leukämien bei Kindern untersucht.¹⁶³ Ihr Ergebnis ist, dass Hintergrundstrahlung das Risiko bei Kindern für Leukämie und andere Krebserkrankungen erhöhen kann: 1,03 (95 % CI: 1,01, 1,05) für alle Kinderkrebskrankungen, 1,04 (95 % CI: 1,00, 1,08) für Leukämie, 1,01 (95 % CI: 0,96, 1,05) für Lymphome, und 1,04 (95 % CI: 1,00, 1,08) für Hirntumore.

3.4.5.3 Schwere AKW-Unfälle

Tschernobyl Unfall:

Der Tschernobyl-Unfall von 1986 ist der am besten erforschte und größte Strahlenunfall infolge ziviler Nutzung der Atomtechnologie. In ihrer Multicenter-Studie von 2006 beziffert die Krebsforscherin Elizabeth Cardis¹⁶⁴ gemeinsam mit anderen Krebsforscher*innen Abschätzungen über die Zahl der durch das Tschernobyl-Unglück verursachten Krebskranken und Krebstoten: 16.000 (3.400–72.000) Schilddrüsenkrebsfälle, 25.000 (11.000–59.000) andere Krebserkrankungen und 15.000 zusätzliche Krebstote. In einer weiteren Arbeit aus 2017 beschreibt Cardis zusammen mit der Krebsforscherin Hatch somatische Nicht-Krebserkrankungen als Strahlenfolge 30 Jahre nach dem Tschernobyl-Unglück.¹⁶⁵ Sie benennen u. a. Herzinfarkte, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Hirninfarkte, Linsentrübungen, chromosomale Defekte und Umgruppierungen sowie Hinweise auf genetische Effekte bei Kindern von hochexponierten Gruppen der Bevölkerung.

AKW-Unfall Fukushima:

Nach dem schweren AKW-Unfall in Fukushima 2011 beschränkte sich die japanische Regierung hinsichtlich strahlenbedingter somatischer Erkrankungen lediglich darauf, das Auftreten von Schilddrüsenkrebs-Erkrankungen bei Kindern und Jugendlichen durch regelmäßiges Screening zu untersuchen. Es gab keine systematisch angelegten Reihenuntersuchungen für die von der Strahlung betroffene Bevölkerung wie nach dem Tschernobyl-Unglück. Wie zu erwarten, kam es auch nach dem AKW-Unfall in Fukushima (2011) zu einem starken Anstieg der Schilddrüsenkrebs-Erkrankungen bei Kindern und Jugendlichen. Die Inzidenz (Häufigkeit der Neuerkrankungen pro Jahr) betrug in Japan vor dem Unfall 0,59/100.000 pro Jahr. Bezogen auf das ursprüngliche Untersuchungskollektiv von 300.000 Kindern wären bis 2022 16 erkrankte Kinder zu erwarten gewesen. Tatsächlich waren es jedoch 152 Fälle, ein Anstieg des Krebsrisikos für Kinder und Jugendlichen um den Faktor 15.¹⁶⁶

Eine systematische Untersuchung der von Strahlung besonders belasteten Aufräumarbeiter*innen, die Gebäude und Straßen in der Evakuierungszone reinigten, hat die japanische Regierung nie in Auftrag gegeben. Das steht im Gegensatz zu den systematischen Kontrolluntersuchungen, die nach der

¹⁶¹ Wakeford, R.; Kendall, G. M.; Little, M. P.: The proportion of childhood leukaemia incidence in Great Britain that may be caused by natural background ionizing radiation, in: *Leukemia* 23 (4), 2009, S. 770–776. Online: <https://www.nature.com/articles/leu2008342>, Stand: 23.06.2025.

¹⁶² Kinderkrebsinfo: Spätfolgen der Chemo- und Strahlentherapie (Schädelbestrahlung), 2017, https://www.gpoh.de/kinderkrebsinfo/content/erkrankungen/leukaemien/pohpatinfoall120060414/nachsorge/spaetfolgen/chemo_und_strahlentherapie/index_ger.html, Stand: 19.06.2025.

¹⁶³ Spycher, Ben D.; Lupatsch, Judith E.; Zwahlen, Marcel u. a.: Background ionizing radiation and the risk of childhood cancer: a census-based nationwide cohort study, in: *Environmental health perspectives* 123 (6), 2015, S. 622–628. Online: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25707026/>, Stand: 23.06.2025.

¹⁶⁴ Hauptmann, Michael; Byrnes, Graham; Cardis, Elisabeth u. a.: Brain cancer after radiation exposure from CT examinations of children and young adults: results from the EPI-CT cohort study, in: *The Lancet. Oncology* 24 (1), 2023, S. 45–53. Online: [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(22\)00655-6](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(22)00655-6), Stand: 23.06.2025.

¹⁶⁵ Hatch, Maureen; Cardis, Elisabeth: *Somatic health effects of Chernobyl: 30 years on*, Springer 2017, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10654-017-0303-6>, Stand: 19.06.2025

¹⁶⁶ Zieren, Hans Udo: Hohes Schilddrüsenkrebsrisiko bei Kindern nach Reaktorunfall, 2023, <https://www.deutsches-schilddruesenzentrum.de/aktuelle-studie-hohes-schilddruesenkrebsrisiko-bei-kindern-nach-reaktorunfall-in-fukushima/>, Stand: 19.06.2025.

Tschernobyl-Katastrophe in den drei Republiken Ukraine, Weißrussland und Russland stattgefunden hatten. In Fukushima wurden zwei unterschiedliche Gruppen von Aufräumarbeiter*innen eingesetzt: diejenigen, die direkt am Reaktor arbeiteten, ausgebildet und mit guten Schutzanzügen ausgestattet, und diejenigen, die die verstrahlte Zone (Umfang 300 Quadratkilometer), die Häuser und die Böden reinigen mussten. Bei Letzteren handelte es sich oft um ungelernete Arbeiter*innen und Wanderarbeiter*innen, die von Subunternehmen angeheuert worden waren und oft ohne spezielle Anweisung arbeiteten,¹⁶⁷ oft auch unzureichend mit Schutzanzügen ausgestattet.¹⁶⁸

3.4.5.4 *INWORKS-Studie zu Niedrigdosisstrahlung und Krebserkrankung bei Nukleararbeiter*innen in 15 Ländern sowie nachfolgende Studien*

E. Cardis et al. wiesen bei einer Kohorte von über 400.000 Nukleararbeiter*innen aus 15 Ländern nach,¹⁶⁹ dass ein zusätzliches Risiko (*excess relative risk*) von 0,97 pro Sievert für das Auftreten einer Krebserkrankung besteht. Es lag höher als das Krebsrisiko für Atombombenüberlebende (0,32 pro Sievert).

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) begann ab 2011 das Kollektiv der Nukleararbeiter*innen weiter zu beforschen.¹⁷⁰ Es handelte sich um eine Kohorte von 600.000 Arbeiter*innen, an denen man die Folgen von chronischer Niedrig-Dosis-Bestrahlung (Langzeitexposition) untersuchen wollte. Im Ergebnis fand sich eine klare ursächliche Beziehung zwischen der Exposition und dem Auftreten von Lymphomen und Leukämien sowie zu dem Auftreten von Nicht-Krebs-Erkrankungen, vor allen Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Hirninfarkten und Herzinfarkten.

3.4.5.5 *Strahlenbedingte Erkrankungen infolge medizinischer Diagnostik und Behandlung*

Die britische Epidemiologin Alice Stewart wies schon in den 1950er-Jahren nach, dass Kinder von Müttern, die während ihrer Schwangerschaft diagnostisch geröntgt worden waren, zweimal so häufig an Leukämie oder anderen Krebsarten erkrankten als andere Kinder.¹⁷¹ Sie erbrachte damit den wissenschaftlichen Nachweis, dass zwischen selbst geringer Strahlenexposition und Krebsmortalität ein ursächlicher Zusammenhang besteht.

Ab dem Jahr 2000 erschien eine zunehmende Anzahl von epidemiologischen Studien zum Zusammenhang zwischen der diagnostischen Anwendung von Computertomographie (CT) und dem Auftreten von Krebserkrankungen und Leukämie bei Kindern nach Durchführung eines CT des Kopfes.

So zeigten etwa Studien zur Anwendung von CT-Scans bei Kindern mit kumulativen Dosen von etwa 50 Milligray (mGy; Einheit für die ungewichtete Energiedosis der Strahlung), dass sich das Leukämierisiko fast verdreifachte. Auch das Risiko von Hirnkrebs verdreifachte sich bei Dosen von etwa 60 mGy.¹⁷² Eine internationale Studie der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) in Lyon bestätigte das Ergebnis.¹⁷³ Die Medizingeräteindustrie reagierte sofort und mit verbesserten Geräten

¹⁶⁷ Brandner, Judith: Japanische AKW - Tagelöhner am Reaktor, Deutschlandfunk.de 04.03.2016, <https://www.deutschlandfunk.de/japanische-akw-tageloehner-am-reaktor-100.html>, Stand: 19.06.2025.

¹⁶⁸ BBC: Fukushima nuclear disaster: UN says clean-up workers risk exploitation, 16.08.2018, <https://www.bbc.com/news/world-asia-45209746>, Stand: 23.06.2025; Putte, Jan Vande; Smital, Heinz; Burnie, Shaun u. a.: In the Frontline of the Fukushima Nuclear Accident: Workers and Children, Radiation risks and human rights violations | Greenpeace, März 2019. Online: <https://www.greenpeace.de/publikationen/20190308-greenpeace-report-fukushima-workers-children.pdf>, Stand: 23.06.2025.

¹⁶⁹ Cardis, E.; Vrijheid, M.; Blettner, M. u. a.: Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries, in: *BMJ (Clinical research ed.)* 331 (7508), 2005, S. 77. Online: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15987704/>, Stand: 23.06.2025.

¹⁷⁰ International Agency for Research on Cancer (IARC): INWORKS: collaborative study using NRRW data, UK Health Security Agency 22.08.2024, <https://www.gov.uk/government/publications/radiation-workers-and-their-health-national-study/inworks-collaborative-study-using-nrrw-data>, Stand: 19.06.2025.

¹⁷¹ Stewart, A.; Webb, J.; Hewitt, D.: A survey of childhood malignancies, in: *British medical journal* 1 (5086), 1958, S. 1495–1508. Online: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13546604/>, Stand: 23.06.2025.

¹⁷² Pearce, Mark S.; Salotti, Jane A.; Little, Mark P. u. a.: Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study, in: *Lancet (London, England)* 380 (9840), 2012, S. 499–505. Online: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22681860/>, Stand: 23.06.2025.

¹⁷³ Hauptmann, Byrnes, Cardis, Bernier, Blettner, Dabin, Engels, Istad, Johansen, Kaijser, Kjaerheim, Journy, Meulepas, Moissonnier, Ronckers, Thierry-Chef, Le Cornet, Jähnen, Pokora, Bosch de Basea, Figuerola, Maccia, Nordenskjöld, Harbron, Lee, Simon, Berrington de Gonzalez, Schüz, Kesminiene: Brain cancer after radiation exposure from CT examinations of children and young adults: results from the EPI-CT cohort study, 2023.

und Verfahren, um die Strahlenbelastung durch diagnostisches Röntgen effektiv zu reduzieren.¹⁷⁴ In ärztlichen Fortbildungen wurde zudem auf eine strenge Indikationsstellung hingewiesen, um nicht nötige Untersuchungen bei Bagatellgeschehnissen zu vermeiden.

Im Gegensatz dazu streiten internationale Expert*innen bis heute darum, ob die drastisch erhöhte Rate der Schilddrüsenkrebserkrankungen bei Kindern und Jugendlichen nach dem Unfall von Fukushima strahlenbedingt sei oder lediglich ein künstlich hervorgerufener Screening-Effekt, wie Forscher*innen der Medizinischen Fakultät der Fukushima-Universität immer wieder behaupten.¹⁷⁵

3.4.6 Abschätzung des Gesundheitsrisikos für andere als Krebserkrankungen

Das Bundesamt für Strahlenschutz weist darauf hin, dass „eine Abschätzung des Risikos, nach Strahlenbelastung an anderen Krankheiten als Krebs zu erkranken, zurzeit nicht zuverlässig möglich ist. Auswertungen bei den Überlebenden der Atombombenabwürfe in Japan, bei exponierten Bevölkerungsgruppen in der ehemaligen Sowjetunion und bei Strahlentherapie-Patienten weisen darauf hin, dass auch Herz-Kreislauf-Erkrankungen nicht wie lange angenommen erst ab 0,5 Gray als späte deterministische Strahlenschäden auftreten können, sondern bereits bei niedrigeren Dosen.“¹⁷⁶ Es werde diskutiert, dass für diese Erkrankungen möglicherweise keine Schwellendosis existiere, sie also wie bösartige Neubildungen als stochastische Strahlenschäden anzusehen seien.

Weitere Beispiele für diese Diskussion sind die Folgestudien im Rahmen des Projekts INWORKS (*International Nuclear Workers Study*), bei denen 309.032 strahlenschutzüberwachte Beschäftigte der Nuklearindustrie in Frankreich, Großbritannien und den USA untersucht wurden. Die Studie fand auch für länger anhaltende und dauerhafte Aufnahme ionisierender Strahlung im Niedrigdosisbereich (0–100 Millisievert) ein erhöhtes Risiko, an Krebs zu sterben.¹⁷⁷ Studien an Arbeiter*innen der russischen Atomanlage in Majak fanden zusätzlich eine signifikant erhöhte Anzahl von Herzinfarkten.¹⁷⁸

3.4.7 Exkurs-Fazit: Gesundheitsfolgen eines Atomunfalls

Aufgrund der bei einem großen Atomunfall zu erwartenden radioaktiven Belastung der Bevölkerung ist mit langfristigen und schwerwiegenden Gesundheitsschäden zu rechnen. Bei stärker strahlenbelasteten Personen sind deterministische Strahlenschäden wie akute Strahlenkrankheit, Unfruchtbarkeit und Fehlbildungen möglich. Hierbei ist die Gefährdung von Schwangeren und des ungeborenen Lebens hervorzuheben. Stochastische Strahlenschäden wie Krebs- und andere später auftretende Erkrankungen sowie genetische Schäden, die sich bis in nachfolgende Generationen auswirken, wie Morbus Down (Down-Syndrom), treten auch schon bei geringen Strahlendosen auf. Die vorgesehenen Katastrophenschutzmaßnahmen, selbst wenn sie erfolgreich durchgeführt werden, können diese Schäden lediglich eindämmen. Insbesondere stochastische Strahlenschäden aber können sie nicht verhindern.

¹⁷⁴ Lell, Michael; Wucherer, Michael; Kachelrieß, Marc: Dosis und Dosisreduktion in der Computertomografie, in: Radiologie up2date 17 (02), 2017, S. 163–178. Online: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/pdf/10.1055/s-0043-105755.pdf>, Stand: 23.06.2025.

¹⁷⁵ Deutsches Ärzteblatt: Zehn Jahre nach Fukushima: Gesundheitliche Folgen nicht gänzlich abschätzbar, 02.03.2021, <https://www.aerzteblatt.de/news/zehn-jahre-nach-fukushima-gesundheitliche-folgen-nicht-gaenzlich-abschaetzbar-5bf96fc6-db93-4040-b827-fff6cc103e02>, Stand: 16.06.2025.

¹⁷⁶ Bundesamt für Strahlenschutz: Abschätzung des Gesundheitsrisikos durch ionisierende Strahlung, 16.06.2025, <https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/wirkung-risiken-ion/stellungnahmen/risiko.html>, Stand: 16.06.2025.

¹⁷⁷ Richardson, David B.; Leuraud, Klervi; Laurier, Dominique u. a.: Cancer mortality after low dose exposure to ionising radiation in workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS): cohort study, in: BMJ (Clinical research ed.) 382, 2023, e074520. Online: <https://www.bmj.com/content/382/bmj-2022-074520>, Stand: 23.06.2025.

¹⁷⁸ Azimzadeh, O.; Azizova, T.; Tapio, S.: Untersuchung des Risikos für kardiovaskuläre Erkrankungen nach einer Strahlenexposition mit niedrigen Dosen an Biopsieproben von Majak-Arbeitern - Vorhaben 3617S32261, Salzgitter 2019 (Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz 152/19). Online: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019091719217>, Stand: 23.06.2025.

3.5 Abschätzung der Gesundheitsschäden durch einen schweren Unfall in einem Schweizer AKW

In seiner umfangreicheren **Studie von 2019** evaluiert das **Institut Biosphère** die europaweit möglichen Gesundheitsschäden nach einem schweren Unfall unter anderem in den AKW Beznau (1 oder 2), Gösgen und Leibstadt. Dafür berechnet es für 365 Wettersituationen des Jahres 2017 aus der Ausbreitung der radioaktiven Wolke, dem Fallout sowie der örtlichen Bevölkerungsdichte die sogenannte effektive Kollektivdosis. Das ist die Summe aller individuellen effektiven Strahlendosen, gemessen in Personen-Sievert (persSv). Die Bevölkerung in Europa erhält nach diesen Berechnungen bei einem Unfall im Durchschnitt aller 365 Wettersituationen eine Kollektivdosis von 50.000 persSv (Unfall im AKW Beznau 1 oder 2), 93.000 persSv (Unfall im AKW Leibstadt) oder 123.000 persSv (Unfall im AKW Gösgen). Davon entfallen im Schnitt 15.000 persSv (Beznau), 42.000 persSv (Leibstadt) und 21.000 persSv (Gösgen) auf Deutschland. Kein anderes Nachbarland der Schweiz trägt einen größeren Teil des von diesen AKW ausgehenden Atomrisikos.¹⁷⁹

Aus der errechneten effektiven Kollektivdosis schätzt die Studie unter Anwendung neuerer epidemiologischer Daten („Model B“) die Zahl der Krebsfälle und Herz-Kreislauf-Erkrankungen ab, die infolge der Strahlenbelastung stochastisch zu erwarten sind. In den meteorologisch ungünstigsten Fällen (p99) ist demnach europaweit im Durchschnitt mit jeweils mehr als 85.000 (Unfall im AKW Beznau 1 oder 2), 145.000 (Unfall im AKW Leibstadt) bzw. 195.000 (Unfall im AKW Gösgen) strahleninduzierten Krankheitsfällen zu rechnen, von denen etwas weniger als die Hälfte tödlich enden. Für Deutschland sind in den meteorologisch ungünstigsten Fällen (p99) der untersuchten 365 Wettersituationen im Schnitt mehr als 41.000 (AKW Beznau), mehr als 61.000 (AKW Gösgen) beziehungsweise mehr als 82.000 (AKW Leibstadt) schwerwiegende Erkrankungen zu erwarten, von denen wiederum knapp die Hälfte tödlich endet.¹⁸⁰

Die Autor*innen weisen darauf hin, dass diese Modellrechnungen nur strahleninduzierte Krebserkrankungen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen umfassen. Sie ignorieren also sämtliche anderen Gesundheitsfolgen radioaktiver Belastung, die Studien etwa bei Betroffenen der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl in Belarus und der Ukraine, bei Opfern der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki oder bei Nukleararbeiter*innen festgestellt haben. Hierzu zählen unter anderem Atemwegserkrankungen, Magen-Darm-Erkrankungen, neurologische und psychiatrische Erkrankungen, endokrine Erkrankungen, immunologische Erkrankungen, Infektionen, Hautkrankheiten, Erkrankungen des Bewegungsapparats, hämatologische und Erkrankungen des Lymphsystems, Atemwegserkrankungen, Lungenentzündung und Grippe, Erkrankungen des Verdauungssystems, Erkrankungen des Urogenitalsystems, nicht-neoplastische Erkrankungen des Blutes, psychische Störungen, nicht-maligne Atemwegserkrankungen und Erkrankungen des Verdauungssystems. Unberücksichtigt bleiben zudem die von ionisierender Strahlung ausgehenden Gefahren für Fortpflanzung und Entwicklung. Neben Unfruchtbarkeit der Eltern zählen hierzu Auswirkungen beim Kind entweder aufgrund einer vorangegangenen Strahlenbelastung der Eltern oder aufgrund einer Strahlenbelastung des Embryos selbst im Mutterleib, unter anderem: Sterilität, spontane Fehlgeburt, Chromosomen-/Genomveränderungen, Down-Syndrom (Trisomie 21), Verlust weiblicher Lebendgeburten, niedriges Geburtsgewicht, erhöhte perinatale und Säuglingssterblichkeit, angeborene Fehlbildungen, bösartige Tumore, Leukämie, Immunschwäche, Chromosomenaberrationen, Organfunktionsstörungen und geistige Entwicklungsstörungen. Die Zahl solcher Erkrankungen könnte bisherigen Studien zufolge die der strahlenbedingten Krebsfälle weit übertreffen.¹⁸¹ Das Institut Biosphère schätzt, dass im Falle eines schweren Unfalls in einem Schweizer AKW mit Millionen nicht-bösartiger Erkrankungen, bei Neugeborenen mit Tausenden von Fehlbildungen jedes Jahr und bei Hunderten Millionen Menschen mit Erbgutveränderungen zu rechnen sei.¹⁸² Analog der Verteilung der Kollektivdosis und der Krebs- bzw. Herz-Kreislauf-Erkrankungen (siehe oben) dürfte auch davon jeweils ein erheblicher Teil, in ungünstigen Fällen fast zwei Drittel, auf Deutschland entfallen.

¹⁷⁹ Piguet, Eckert, Knüsli, Wildi, Giuliani: Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries, 2019, S. 31.

¹⁸⁰ ebd., S. 61.

¹⁸¹ ebd., S. 29–30.

¹⁸² ebd., S. 35–36.

Auch in seiner mit Fokus auf das AKW Leibstadt und die Auswirkungen auf Deutschland erstellten Vorstudie, die einen anderen Quellterm als die Studie von 2019 verwendet, multipliziert **Institut Biosphère (2025)** die nach einem Unfall im AKW Leibstadt zu erwartende ortsspezifische Strahlendosis mit der Zahl der an dem jeweiligen Ort wohnenden Menschen, um die sogenannte effektive Kollektivdosis zu ermitteln.

In die Berechnung der Dosis fließen sowohl die Direktstrahlung aus der Wolke als auch die Inhalation von Radionukliden während ihres Durchzugs ein, ferner die Bodenstrahlung im Laufe des ersten Jahres (unter Berücksichtigung eines Indoor-Faktors von 0,4). Anders als in der Studie von 2019 unterstellt die Rechnung in diesem Fall allerdings, dass alle Personen, die aufgrund der Bodenkontamination einer individuellen effektiven Dosis von 20 Millisievert oder mehr binnen eines Jahres ausgesetzt wären, an einen nicht verstrahlten Ort umgesiedelt werden. Unberücksichtigt bleiben darüber hinaus alle Personen, die durch die Wolke rechnerisch mit mehr als 2.000 Millisievert belastet werden, was insbesondere im Nahbereich von einigen Kilometern um das AKW möglich ist; diese sollen die Statistik nicht verfälschen. Individuelle Strahlendosen von weniger als 1 Millisievert fließen ebenfalls nicht mit ein.

Im Mittelpunkt der Vorstudie stehen mögliche Auswirkungen eines Atomunfalls auf Deutschland, deshalb berechnet sie ausschließlich die in Deutschland zu erwartenden Schäden aufgrund der in Deutschland zu erwartenden Strahlendosen. Da das AKW Leibstadt direkt an der deutschen, nahe der französischen und nicht sonderlich weit von der österreichischen und liechtensteinischen Grenze steht, wären in nahezu jedem Fall mehrere Länder von einem Unfall betroffen. Die Zahlen geben daher *nicht* die zu erwartende Gesamtzahl der Strahlenopfer wieder.

Die Berechnung der effektiven Kollektivdosis in Deutschland – unter den oben genannten Annahmen und Beschränkungen – führt das Institut Biosphère für 1.461 Wettersituationen durch. Erwartbar unterscheiden sich die Ergebnisse dabei sehr stark. Sie reichen von Situationen, die Deutschland gar nicht betreffen, bis zu einem Maximum von fast 500.000 Krankheits- und 226.000 Todesfällen. In den 15 für Deutschland ungünstigsten Wettersituationen ist demnach im Schnitt mit mindestens 324.000 schweren Erkrankungen und mehr als 147.000 Todesfällen zu rechnen. In der Hälfte der Fälle sind mehr als 55.000 schwere Erkrankungen und mehr als 25.000 Todesfälle zu erwarten. Der Mittelwert aller 1.461 Simulationen liegt bei etwa 70.000 schweren Erkrankungen und 32.000 Toten.¹⁸³

Ergänzend berechnet die Vorstudie die individuelle effektive Strahlendosis, mit der Bewohner*innen ausgewählter Städte und Gemeinden in Süddeutschland bei einem schweren Unfall im AKW Leibstadt unter Umständen belastet würden (Tabelle 9). Weil die Wissenschaftler*innen auch hier eine (nachgelagerte) Evakuierung aller Gebiete unterstellen, bei denen die Bodenstrahlung zu einer Jahresbelastung von 20 Millisievert oder mehr führen würde, ist das Gros der errechneten Strahlenbelastung dem Durchzug der radioaktiven Wolke in den ersten 72 Stunden nach Beginn der Freisetzung zuzuschreiben. Angegeben ist der Mittelwert für die jeweils 15 ungünstigsten (von 1.461 untersuchten) Wettersituationen im Laufe von vier Jahren. Angaben zum Medianwert oder anderen Quantilen macht die vom Umfang begrenzte Vorstudie nicht. Die gemeindespezifischen Berechnungen beginnen zudem erst in einem Umkreis von etwa 30 Kilometern um das AKW, wobei jeweils ein Ort in westlicher, nordwestlicher, nördlicher und nordöstlicher Richtung in etwa diesem Abstand in die Liste mit aufgenommen wurde (in der Liste mit Richtungsangabe markiert). In Orten, die weniger als 30 Kilometer vom AKW entfernt sind, ist unter Umständen mit noch deutlich höheren Strahlenbelastungen zu rechnen.

¹⁸³ Piguet, Eckert, Knüsli: Impact sur le Sud de l'Allemagne d'un accident nucléaire majeur à la centrale nucléaire de Leibstadt en Suisse (3600 MWth), 13.03.2025, S. 4–5.

Stadt/Gemeinde	Entfernung AKW Leibstadt (km)	Individuelle Effektivdosis der Einwohner*innen, Durchschnitt der 15 (von 1.461) ungünstigsten Wettersituationen (mSv)
Rheinfelden → W	31	1.889
Stühlingen → NO	28	1.343
Lörrach	39	1.336
Schönau i. Schw. ¹⁸⁴ → NW	28	759
Lenzkirch → N	30	576
Freiburg im Breisgau	52	341
Titisee-Neustadt	35	324
Stockach	68	292
Tuttlingen	64	278
Lahr	85	251
Rottweil	71	231
Konstanz	75	196
Meßkirch	82	172
Sigmaringen	94	154
Riedlingen	114	150
Tübingen	121	135
Nagold	113	132
Albstadt	93	132
Sindelfingen	137	127
Biberach a. d. Riß	132	124
Ravensburg	109	117
Stuttgart	150	117
Reutlingen	125	106
Ulm	161	101
Lindau	114	99
Bad Waldsee	123	96
Wangen i. A.	124	87
Pforzheim	148	80
Memmingen	155	70
Heilbronn	188	69
Baden-Baden	129	59
Mannheim	212	40

Tabelle 9: Individuelle Effektivdosis in den 15 (von 1.461 untersuchten) ungünstigsten Wettersituationen (p99), für ausgewählte Städte und Gemeinden in Baden-Württemberg, in Millisievert, bei unterstellter Evakuierung aller Orte (nach Durchzug der radioaktiven Wolke).¹⁸⁵

¹⁸⁴ Tunau, Gemeindeverwaltungsverband Schönau im Schwarzwald, 2 Kilometer östlich von Schönau.

¹⁸⁵ Piguet, Eckert, Knüsli: Impact sur le Sud de l'Allemagne d'un accident nucléaire majeur à la centrale nucléaire de Leibstadt en Suisse (3600 MWth), 13.03.2025, S. 6, Tab. 4.

Deutlich wird, dass bei entsprechenden Wetterbedingungen noch in 150 Kilometern Abstand zum AKW erhebliche Strahlenbelastungen – mehr als hundertfach über dem normalerweise geltenden Grenzwert von 1 Millisievert pro Jahr – auftreten können. Selbst 85 Kilometer vom AKW entfernt ist noch mit Strahlendosen zu rechnen, die so hoch sind, dass sogar akute Strahlenschäden (ab ca. 200 Millisievert) bis hin zu potenziell tödlichen Folgen (ab ca. 1.000 Millisievert) möglich sind. Diese Strahlenbelastungen treten innerhalb weniger Stunden nach Beginn der Freisetzung auf, und zwar weit jenseits der Katastrophenschutz-zonen, für die Evakuierungen zumindest auf dem Papier geplant sein sollten. Es ist somit mehr als fraglich, ob und wie in einem solchen Fall noch rechtzeitig wirksame Katastrophenschutzmaßnahmen getroffen werden können.

Ein schwerer Unfall in einem Schweizer AKW bedroht bei entsprechender Wetterlage Leben und Gesundheit von Hunderttausenden Menschen in Deutschland. Selbst bei durchschnittlichen Wetterverhältnissen wären – allein in Deutschland – Zehntausende Todesfälle und eine deutlich darüber hinausgehende Anzahl von schweren, lebenslangen Erkrankungen nicht auszuschließen. Noch in 85 Kilometer Abstand zum AKW können akute Strahlenschäden auftreten, etwas näher am AKW kann die Strahlung sogar potenziell tödlich sein. Die genannten Strahlenbelastungen treten binnen weniger Stunden auf. Für wirksame Katastrophenschutzmaßnahmen bleibt, abgesehen von allen anderen Schwierigkeiten, unter Umständen schlicht keine Zeit mehr.

4 Literaturverzeichnis

.ausgestrahlt: Hintergrund Riss-Reaktor Neckarwestheim. Hintergrundinformationen zur Spannungsrisskorrosion im AKW Neckarwestheim-2 und zur Auseinandersetzung um eine Stilllegung des Riss-Reaktors, <<https://www.ausgestrahlt.de/themen/atomunfall/gefah-neckarwestheim/hintergrund-riss-reaktor-neckarwestheim/>>, Stand: 30.04.2025.

Axpo wird Kernkraftwerk Beznau bis 2033 betreiben und dafür weitere 350 Mio. Franken investieren, 05.12.2024, <<https://www.axpo.com/ch/de/newsroom/medienmitteilungen/2024/axpo-wird-kernkraftwerk-beznau-bis-2033-betreiben.html>>, Stand: 15.05.2025.

Azimzadeh, O.; Azizova, T.; Tapio, S.: Untersuchung des Risikos für kardiovaskuläre Erkrankungen nach einer Strahlenexposition mit niedrigen Dosen an Biopsieproben von Majak-Arbeitern - Vorhaben 3617S32261, Salzgitter 2019 (Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz 152/19). Online: <<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019091719217>>, Stand: 23.06.2025.

Baden-Württemberg, Regierungspräsidien: Notfallschutz: Fragen und Antworten - Regierungspräsidium Freiburg, 05.05.2025, <<https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpf/abt1/ref16/notfallschutz-faq/>>, Stand: 05.05.2025.

Basiswissen nuklearer Notfallschutz, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) 12.06.2025, <<https://www.grs.de/de/notfallzentrum/basiswissen-nuklearer-notfallschutz>>, Stand: 12.06.2025.

BBC: Fukushima nuclear disaster: UN says clean-up workers risk exploitation, 16.08.2018, <<https://www.bbc.com/news/world-asia-45209746>>, Stand: 23.06.2025.

Becker, Markus: Wetterprognose Japan: Wind bläst radioaktive Wolke Richtung Tokio, 15.03.2011. Online: <<https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/wetterprognose-japan-wind-blaest-radioaktive-wolke-richtung-tokio-a-750988.html>>, Stand: 04.05.2025.

Becker, Oda: Mögliche Auswirkungen von Terrorangriffen auf Zwischenlager für hochradioaktiven Abfall am Beispiel der Zwischenlager in Ahaus und Brokdorf, Dezember 2024. Online: <https://www.ausgestrahlt.de/media/filer_public/28/79/2879b772-0fdd-4312-bc4d-16c3f52a291f/zwischenlager-ahaus-brokdorf-ausgestrahlt.pdf>, Stand: 12.06.2025.

- Brandner, Judith: Japanische AKW - Tagelöhner am Reaktor, Deutschlandfunk.de 04.03.2016, <<https://www.deutschlandfunk.de/japanische-akw-tageloehner-am-reaktor-100.html>>, Stand: 19.06.2025.
- Brenner, David J.: Extrapolating radiation-induced cancer risks from low doses to very low doses, in: Health physics 97 (5), 2009, S. 505–509. Online: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19820460/>>, Stand: 23.06.2025.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS: KATARISK - Katastrophen und Notlagen in der Schweiz. Grundlagen und Informationen zur Risikoanalyse, 2003. Online: <<https://backend.babs.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-babsch-files/files/2024/02/27/196a9fba-468c-425d-82ad-51765ea8426d.pdf>>, Stand: 23.06.2025.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS: Gefährdungsdossier KKW-Unfall, November 2020. Online: <<https://backend.babs.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-babsch-files/files/2023/12/12/f6a0f256-0f9f-40de-b461-39e15f9097c4.pdf>>, Stand: 30.03.2025.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz Labor Spiez: ABC-Referenzszenarien, 2021.
- Bundesamt für Strahlenschutz: Abschätzung des Gesundheitsrisikos durch ionisierende Strahlung, 16.06.2025, <<https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/wirkung-risiken-ion/stellungnahmen/risiko.html>>, Stand: 16.06.2025.
- Bundesamt für Strahlenschutz: Was ist Radon?, 19.06.2025, <<https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/einfuehrung/einfuehrung.html>>, Stand: 19.06.2025.
- Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Abschätzung des Gesundheitsrisikos durch ionisierende Strahlung, <<https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/wirkung-risiken-ion/stellungnahmen/risiko.html>>, Stand: 15.06.2025.
- Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Folgen eines Strahlenunfalls, <<https://www.bfs.de/DE/themen/ion/wirkung/strahlenunfall-folge/strahlenunfall-folge.html>>, Stand: 15.06.2025.
- Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Stochastische Strahlenwirkungen, <<https://www.bfs.de/SharedDocs/Glossareintraege/DE/S/stochastische.html>>, Stand: 06.06.2025.
- Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Wie wirkt ionisierende Strahlung?, <<https://www.bfs.de/DE/themen/ion/wirkung/einfuehrung/einfuehrung.html>>, Stand: 06.06.2025.
- Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Der Reaktorunfall 1986 in Tschernobyl, 2016. Online: <https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/bro-tschernobyl.pdf?__blob=publicationFile&v=1>, Stand: 23.06.2025.
- Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Leitfaden zur Untersuchung und Bewertung von radioaktiven Stoffen im Trinkwasser bei der Umsetzung der Trinkwasserverordnung, 30.05.2018. Online: <<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017020114224>>, Stand: 23.06.2025.
- Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN): Gestaffeltes Sicherheitskonzept, <<https://www.nuklearesicherheit.de/genehmigungs-und-aufsichtssystem/sicherheitskonzept/gestaffeltes-sicherheitskonzept/>>, Stand: 21.06.2025.
- Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUV): Einnahme von Jodtabletten. Schutzmaßnahme bei einem schweren Unfall in einem Kernkraftwerk - Häufig gestellte Fragen (FAQs), <<https://www.jobblockade.de/hintergrundinformationen/faq/>>, Stand: 02.04.2025.
- Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft: Kernenergiegesetz. KEG, 11.06.2025. Online: <<https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2004/723/de>>, Stand: 17.06.2025.
- Cardis, E.; Vrijheid, M.; Blettner, M. u. a.: Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries, in: BMJ (Clinical research ed.) 331 (7508), 2005, S. 77. Online: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15987704/>>, Stand: 23.06.2025.
- Chernobyl Forum: Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience. Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment', Radiological assessment reports series, STI PUB 1239, Vienna 2006. Online: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1239_web.pdf>, Stand: 23.06.2025.

Deutsches Ärzteblatt: Zehn Jahre nach Fukushima: Gesundheitliche Folgen nicht gänzlich abschätzbar, 02.03.2021, <<https://www.aerzteblatt.de/news/zehn-jahre-nach-fukushima-gesundheitliche-folgen-nicht-gaenzlich-abschaetzbar-5bf96fc6-db93-4040-b827-fff6cc103e02>>, Stand: 16.06.2025.

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Zonenpläne für die Notfallplanung, <https://info.ensi.ch/beznau_leibstadt/bevoelkerung>, Stand: 06.05.2025.

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Sicherheitstechnische Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung des Kernkraftwerks Leibstadt, 2009. Online: <https://www.ensi.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2011/08/psue_kkl-2009.pdf>, Stand: 30.03.2025.

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Überprüfung der Referenzszenarien für die Notfallplanung in der Umgebung der Kernkraftwerke, ENSI, AN-8293, 2014. Online: <https://ensi.admin.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2014/06/ueberpruefung-der-referenzszenarien_ida_nomex_ensi-an-8293.pdf>, Stand: 16.01.2025.

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Aktivitätskonzentration im Regenwasser - Modellstudie zum Referenzszenario A4, ENSI, ENSI-AN-9323 Rev. 1, 03.11.2015. Online: <https://www.ensi.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2015/11/ENSI-AN-9323-Rev.-1_geschwaerzt.pdf>, Stand: 23.06.2025.

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Stellungnahme des ENSI zur Studie "Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries" des Institut Biosphère, ENSI, AN-10939, 30.06.2020.

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Sicherheitstechnische Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung 2018 des Kernkraftwerks Gösgen, Dezember 2023. Online: <https://ensi.admin.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2024/01/Sicherheitstechnische_Stellungnahme_zur_Periodischen_Sicherheitsueberpruefung_2018_des_Kernkraftwerks_Goesgen.pdf>, Stand: 23.06.2025.

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): AW: Quellterm Referenzszenario A3 – Nachfrage zu Cäsium-Werten, Schreiben an .ausgestrahlt 19.03.2025.

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI): Aufgaben des ENSI, 22.06.2025, <<https://ensi.admin.ch/de/die-aufsichtsbehoerde-ensi/aufgaben-des-ensi/>>, Stand: 22.06.2025.

Europäischer Rat. EURATOM 2013/59, 05.12.2013. Online: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0059&from=ES>>, Stand: 03.04.2025.

Gering, F.; Gerich, G.; Wirth E. u. a.: Analyse der Vorkehrungen für den anlagenexternen Notfallschutz für deutsche Kernkraftwerke basierend auf den Erfahrungen aus dem Unfall in Fukushima, Salzgitter April 2012. Online: <<https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-201204128010/3/BfS-SW-11-12-AnlagenExternerNotfallschutz-rev120420.pdf>>, Stand: 23.06.2025.

Greenpeace Schweiz: Geheimniskrämerei um Atomkraftwerk Beznau: Greenpeace reicht erneut Beschwerde ein, 2024, <<https://www.greenpeace.ch/de/medienmitteilung/115741/geheimniskraemerei-um-atomkraftwerk-beznau-greenpeace-reicht-erneut-beschwerde-ein/>>, Stand: 21.06.2025.

Hanson, A. L.; Davis, E.; Mubayi, V.: Calculations in Support of a Potential Definition of Large Release, NUREG/CR, 6094, 1994. Online: <<https://www.nrc.gov/docs/ML1219/ML12191A004.pdf>>, Stand: 23.06.2025.

Hatch, Maureen; Cardis, Elisabeth: Somatic health effects of Chernobyl: 30 years on, Springer 2017, <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10654-017-0303-6>>, Stand: 19.06.2025.

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK): Periodische Sicherheitsüberprüfung für das Kernkraftwerk Gösgen-Däniken. Zusammenfassung, Ergebnisse und Bewertung, 1999. Online: <https://ensi.admin.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2011/08/psu_kkg.pdf>, Stand: 30.03.2025.

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK): KKW Beznau II: Gutachten zum Gesuch der NOK um Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung, HSK, 14/730, 2004. Online: <https://ensi.admin.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2011/08/gus_01_03_04_d.pdf>, Stand: 23.06.2025.

Hauptmann, Michael; Byrnes, Graham; Cardis, Elisabeth u. a.: Brain cancer after radiation exposure from CT examinations of children and young adults: results from the EPI-CT cohort study, in: *The Lancet. Oncology* 24 (1), 2023, S. 45–53. Online: <[https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(22\)00655-6](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(22)00655-6)>, Stand: 23.06.2025.

Herrmann, André: Reflexion zu einer Dosislimite von 100 mSv. Präsentation auf der TRAS-Generalversammlung 2018, 11.06.2018. Online: <https://atomschutzverband.ch/wp-content/uploads/2025/06/2018_vortrag_tras_mv_herrmann_strahlendosis_de.pdf>, Stand: 17.06.2025.

Holbein, Simon; Mühr-Ebert, Elena; Petermann, Ilka: Identifikation von Freisetzungsmechanismen und Ereignissen, für die tieferes wissenschaftliches Interesse an theoretischen Möglichkeiten für eine schnelle und umfassende Lagebewertung besteht, GRS, GRS-666, Köln, Garching b. München, Berlin, Braunschweig März 2022. Online: <<https://www.grs.de/sites/default/files/2022-04/GRS-666.pdf>>, Stand: 23.06.2025.

Hoshi, Harutaka: Source Term Analysis Using Melcor Code. Presentation held on Technical Workshop on TEPCO's Fukushima Dai-ichi NPS Accident, 23.-24. Juli 2012.

International Agency for Research on Cancer (IARC): INWORKS: collaborative study using NRRW data, UK Health Security Agency 22.08.2024, <<https://www.gov.uk/government/publications/radiation-workers-and-their-health-national-study/inworks-collaborative-study-using-nrrw-data>>, Stand: 19.06.2025.

International Atomic Energy Agency (IAEA): Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor, Mai 2013. Online: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-NPP_PPA_web.pdf>, Stand: 23.06.2025.

Internationale Atomenergie Organisation (IAEA): Nuclear Power Reactors in the World. 2024 Edition. Online: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15748-RDS-2-44_web.pdf>, Stand: 22.07.2024.

Internationale Atomenergie Organisation (IAEA): Power Reactor Information System. Contry Statistics: Switzerland, <<https://pris.iaea.org/pris/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=CH>>, Stand: 30.03.2025.

Kang, Jungmin; Lisowski, Eva: Could an attack on Ukrainian nuclear facilities cause a disaster greater than Chernobyl? Possibly, simulations show, *Bulletin of the Atomic Scientists* 23.03.2022, <<https://thebulletin.org/2022/03/could-an-attack-on-ukrainian-nuclear-facilities-cause-a-disaster-greater-than-chernobyl-possibly-simulations-show/>>, Stand: 23.06.2025.

Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG (KKG): Technische Hauptdaten, <<https://www.kkg.ch/de/technik/technische-hauptdaten.html>>, Stand: 30.04.2025.

Kinderkrebsinfo: Spätfolgen der Chemo- und Strahlentherapie (Schädelbestrahlung), 2017, <https://www.gpoh.de/kinderkrebsinfo/content/erkrankungen/leukaemien/pohpatinfoall120060414/nac_hsorge/spaetfolgen/chemo__und_strahlentherapie/index_ger.html>, Stand: 19.06.2025.

Krewski, Daniel; Lubin, Jay H.; Zielinski, Jan M. u. a.: Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of 7 North American case-control studies, in: *Epidemiology (Cambridge, Mass.)* 16 (2), März 2005, S. 137–145. Online: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15703527/>>, Stand: 23.06.2025.

Lell, Michael; Wucherer, Michael; Kachelrieß, Marc: Dosis und Dosisreduktion in der Computertomografie, in: *Radiologie up2date* 17 (02), 2017, S. 163–178. Online: <<https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/pdf/10.1055/s-0043-105755.pdf>>, Stand: 23.06.2025.

Löffler, H.; Mildenerger, O.; Sogalla, M. u. a.: Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS für Ereignisse im Leistungsbetrieb, GRS, A-3580, 30.10.2010. Online: <https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-201202017259/3/BfS_2012_3609S60009.pdf>, Stand: 23.06.2025.

Menzler, Susanne; Piller, Georges; Gruson, Martha u. a.: Population attributable fraction for lung cancer due to residential radon in Switzerland and Germany, in: *Health physics* 95 (2), 2008, S. 179–189. Online: <https://journals.lww.com/health-physics/abstract/2008/08000/population_attributable_fraction_for_lung_cancer.1.aspx>, Stand: 23.06.2025.

- Mertins, Manfred: Studie zu den Sicherheitsdefiziten des Schweizer AKW Leibstadt, 2021. Online: <https://energiestiftung.ch/files/energiestiftung/pdf/aktuell/20210829_Studie%20zu%20den%20Sicherheitsdefiziten%20des%20Schweizer%20AKW%20Leibstadt_final.pdf>, Stand: 23.06.2025.
- Meteostat: Beznau (kkw) | Wetterrückblick & Klimadaten | Meteostat, 04.05.2025, <<https://meteostat.net/de/station/06646?t=2023-01-01/2024-12-31>>, Stand: 04.05.2025.
- Meteostat: Leibstadt | Wetterrückblick & Klimadaten | Meteostat, 04.05.2025, <<https://meteostat.net/de/station/06666?t=2023-01-01/2024-12-31>>, Stand: 04.05.2025.
- Meteostat: Obergösgen | Wetterrückblick & Klimadaten | Meteostat, 04.05.2025, <<https://meteostat.net/de/place/ch/obergosgen?s=06626&t=2023-01-01/2024-12-31>>, Stand: 04.05.2025.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Zusammenfassender Bericht des Umweltministeriums zum Meldepflichtigen Ereignis GKN II ME 04/2018 „Lineare Anzeigen bei Wirbelstromprüfung von Dampferzeugerheizrohren“, November 2018, Stand: 23.06.2025.
- Pearce, Mark S.; Salotti, Jane A.; Little, Mark P. u. a.: Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study, in: Lancet (London, England) 380 (9840), 2012, S. 499–505. Online: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22681860/>>, Stand: 23.06.2025.
- Pestalozzi, Martin: Beschwerde Erdbebennachweis Beznau, 03.04.2017. Online: <<https://energis.ch/wp-content/uploads/2017/04/2017-04-03-Beschwerde-Erdbebennachweis-Beznau-anonymisiert.pdf>>, Stand: 17.06.2025.
- Pestalozzi, Martin: Das Beznau-Verfahren. Präsentation auf der TRAS-Mitgliederversammlung 2018, Trinationaler Atomschutzverband (TRAS) 11.6.2018, <https://atomschutzverband.ch/wp-content/uploads/2025/06/2018_vortrag_tras_mv_pestalozzi.pdf>, Stand: 17.06.2025.
- Piguet, Frédéric-Paul; Eckert, Pierre; Knüsli, Claudio u. a.: Modeling of a Major Accident in Five Nuclear Power Plants From 365 Meteorological Situations in Western Europe and Analysis of the Potential Impacts on Populations, Soils and Affected Countries, 2019. Online: <https://www.institutbiosphere.ch/wa_files/EUNUPRI-2019v01.pdf>, Stand: 16.10.2024.
- Piguet, Frédéric-Paul; Eckert, Pierre; Knüsli, Claudio: Réponse de l'Institut Biosphère aux critiques de l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN/ENSI), 05.03.2024. Online: <https://institutbiosphere.ch/wa_files/eunupri2023a-fr.pdf>, Stand: 23.06.2025.
- Piguet, Frédéric-Paul; Eckert, Pierre; Knüsli, Claudio: Impact sur le Sud de l'Allemagne d'un accident nucléaire majeur à la centrale nucléaire de Leibstadt en Suisse (3600 MWth). Étude préliminaire ; European Nuclear Risk Study (Eunupri-2025a), 13.03.2025.
- Putte, Jan Vande; Smital, Heinz; Burnie, Shaun u. a.: In the Frontline of the Fukushima Nuclear Accident: Workers and Children, Radiation risks and human rights violations | Greenpeace, März 2019. Online: <<https://www.greenpeace.de/publikationen/20190308-greenpeace-report-fukushima-workers-children.pdf>>, Stand: 23.06.2025.
- Regierungspräsidium Freiburg: Notfallschutz. Ein Ratgeber für die Bevölkerung in der deutschen Umgebung der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt, 12.03.2012. Online: <https://rp.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/RP-Internet/Themenportal/Sicherheit/_DocumentLibraries/Documents/KKW_Beznau_Leibstadt_Notfallschutz.pdf>, Stand: 13.06.2025.
- Regierungspräsidium Freiburg: Notfallschutz: Fragen und Antworten, 16.05.2025, <<https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpf/abt1/ref16/notfallschutz-faq/>>, Stand: 16.05.2025.
- Regierungspräsidium Freiburg: AW: Frage zu Katastrophenschutzplanungen / radiologischer Notfallschutz, Schreiben an Armin Simon 06.06.2025.
- Richardson, David B.; Leuraud, Klervi; Laurier, Dominique u. a.: Cancer mortality after low dose exposure to ionising radiation in workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS): cohort study, in: BMJ (Clinical research ed.) 382, 2023, e074520. Online: <<https://www.bmj.com/content/382/bmj-2022-074520>>, Stand: 23.06.2025.
- Schneider, Mycle; Frogatt, Antony: The World Nuclear Industry Status Report 2024, 2024. Online: <<https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2024-v4.pdf>>, Stand: 23.06.2025.

Schutz der schweizerischen Kernkraftwerke gegen einen Flugzeugabsturz, Nuklearforum Schweiz 20.09.2001, <<https://www.nuklearforum.ch/de/news/schutz-der-schweizerischen-kernkraftwerke-gegen-einen-flugzeugabsturz/>>, Stand: 15.05.2025.

Schweizerische Energie-Stiftung (SES): Teilrevision der Kernenergieverordnung, der Kernenergiehaftpflichtverordnung sowie der UVEK-Ausserbetriebnahmeverordnung und UVEK-Gefährdungsannahmenverordnung – Vernehmlassungsstellungnahme, 11.04.2018. Online: <https://energiestiftung.ch/files/energiestiftung/publikationen/pdf/20180411_SES_Stellungnahme_KEV.pdf>, Stand: 11.06.2025.

Schweizerischer Bundesrat: Verordnung über den Bevölkerungsschutz. BevSV, 01.01.2025. Online: <<https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2020/889/de>>, Stand: 06.05.2025.

Seibert, Petra: flexRISK Online-Tool: Contamination and dose results for all NPP units for 1995, 2011, <<https://flexrisk.boku.ac.at/en/evaluation.phtml>>, Stand: 23.06.2025.

Seibert, Petra; Arnold, Dèlia; Arnold, Nikolaus u. a.: flexRISK – Flexible Tools for Assessment of Nuclear Risk in Europe. Final Report, Preliminary Version May 2013, BOKU Met-Report, 23, Mai 2013. Online: <https://meteo.boku.ac.at/report/BOKU-Met_Report_23_PRELIMv2_online.pdf>, Stand: 23.06.2025.

Sholly, Steven; Müllner, Nikolaus; Arnold, Nikolaus u. a.: Source Terms For Potential NPPs at The Lubiato Site, Januar 2014. Online: <http://www.risk.boku.ac.at/download/pub/2014/ISR_report_source_terms_poland.pdf>, Stand: 23.06.2025.

Small Modular Reactors, Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) 2023, <https://www.base.bund.de/de/nukleare-sicherheit/kerntechnik/small-modular-reactors/small-modular-reactors_inhalt.html>, Stand: 23.06.2025.

Spycher, Ben D.; Lupatsch, Judith E.; Zwahlen, Marcel u. a.: Background ionizing radiation and the risk of childhood cancer: a census-based nationwide cohort study, in: Environmental health perspectives 123 (6), 2015, S. 622–628. Online: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25707026/>>, Stand: 23.06.2025.

Stewart, A.; Webb, J.; Hewitt, D.: A survey of childhood malignancies, in: British medical journal 1 (5086), 1958, S. 1495–1508. Online: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13546604/>>, Stand: 23.06.2025.

Strahlenschutzgesetz. StSG, 22.03.1991. Online: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1994/1933_1933_1933/de>, Stand: 23.06.2025.

Strahlenschutzkommission (SSK): Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Unfällen, SSK-Bericht, 37, 2003. Online: <<https://www.yumpu.com/de/document/view/26004056/leitfaden-fa-1-4-r-den-fachberater-strahlenschutz-der-sardog>>, Stand: 23.06.2025.

Strahlenschutzkommission (SSK): Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, 2014. Online: <<https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/DE/2014/Planungsgebiete.pdf>>, Stand: 23.06.2025.

Strahlenschutzkommission (SSK): Radiologische Grundlagen, 2014. Online: <<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-2014111925770>>, Stand: 23.06.2025.

Strahlenschutzkommission (SSK): Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, 2015. Online: <https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/DE/2015/Rahmenempfehlungen_Katastrophenschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=2>, Stand: 23.06.2025.

Strahlenschutzkommission (SSK): LNT Modell – Glossar Strahlenschutz, Strahlenschutzkommission (SSK) 22.09.2022, <https://glossar-ssk.de/index.php?title=LNT_Modell>, Stand: 15.06.2025.

Strahlenschutzkommission (SSK): Stochastischer Effekt – Glossar Strahlenschutz, 22.09.2022, <https://glossar-ssk.de/index.php?title=Stochastischer_Effekt>, Stand: 15.06.2025.

Strahlenschutzkommission (SSK): Verwendung von Jodtabletten zur Jodblockade der Schilddrüse bei einem Notfall mit Freisetzung von radioaktivem Jod. Empfehlung der Strahlenschutzkommission,

30.01.2024. Online: <https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/DE/2024/2024-01-30_Jodmerk.pdf?__blob=publicationFile&v=10>, Stand: 23.06.2025.

Taipower: Lungmen Units 1 & 2 - Preliminary Safety Analysis Report (PSAR).

Thiel, Reinhold: IPPNW-Empfehlungen bei Atomreaktorunfällen zum Schutz der Schilddrüse mit speziellen Jod-Tabletten (Jodblockade), Januar 2024. Online: <https://www.ippnw.de/commonFiles/pdfs/Atomenergie/IPPNW-Empfehlungen_Jodtabletten.pdf>, Stand: 12.06.2025.

Ustohalova, Veronika; Küppers, Christian; Claus, Manuel: Untersuchung möglicher Folgen eines schweren Unfalls in einem schweizerischen Kernkraftwerk auf die Trinkwasserversorgung, 18.06.2014. Online: <<https://www.oeko.de/oekodoc/2116/2014-672-de.pdf>>, Stand: 23.06.2025.

Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken. Ausserbetriebnahmeverordnung, 16.04.2008. Online: <<https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2008/269/de>>, Stand: 23.06.2025.

Wakeford, R.; Kendall, G. M.; Little, M. P.: The proportion of childhood leukaemia incidence in Great Britain that may be caused by natural background ionizing radiation, in: *Leukemia* 23 (4), 2009, S. 770–776. Online: <<https://www.nature.com/articles/leu2008342>>, Stand: 23.06.2025.

Zaletel, Katja; Mihovec, Anamarija; Gaberscek, Simona: Characteristics of exposure to radioactive iodine during a nuclear incident, in: *Radiology and oncology* 58 (4), 2024, S. 459–468. Online: <<https://sciendo.com/article/10.2478/raon-2024-0051>>, Stand: 23.06.2025.

Zieren, Hans Udo: Hohes Schilddrüsenkrebsrisiko bei Kindern nach Reaktorunfall, 2023, <<https://www.deutsches-schilddruesenzentrum.de/aktuelle-studie-hohes-schilddruesenkrebsrisiko-bei-kindern-nach-reaktorunfall-in-fukushima/>>, Stand: 19.06.2025.



TRAS Trinationaler Atomschutzverband
ATPN Association Trinationale
de Protection Nucléaire

Wir setzen uns über die nationalen Grenzen hinweg für den Schutz der Bevölkerung vor bestehenden Atomrisiken ein!

Der Trinationale Atomschutzverband:

- vertritt die Interessen und Rechte der von nuklearen Risiken Betroffenen in Deutschland, Frankreich und der Schweiz;
- vertritt Gemeinden, Einwohnergemeinden, Landkreise, juristische Personen und Privatpersonen;
- setzt sich für den Schweizer Atomausstieg ein, wie er 2017 vom Schweizer Volk beschlossen wurde;
- ist gegen eine Verlängerung des Weiterbetriebs der Anlagen in Beznau, Gösgen und Leibstadt.

Schwere Atomunfälle können sich jederzeit ereignen. Die Bevölkerung hat ein Recht darauf zu wissen, was diese Risiken genau sind. Deswegen fordert TRAS u.a. adäquate grenzüberschreitende Unfallpläne, die Führung von Krebsregistern rund um AKW und mehr Transparenz bei der Veröffentlichung „heikler“ Daten wie Erdbebenanalysen oder zu Altersbeschwerden der AKW.

TRAS positioniert sich gegen Neubauideen in Frankreich, gegen die immer längeren Laufzeiten bestehender AKW und der Aufhebung des Schweizer AKW-Neubauverbots. **Dies tun wir insbesondere durch wissenschaftliche Expertisen und die Nutzung aller verfügbaren Rechtsmittel.**

Unterstützen Sie die wichtige Arbeit von TRAS und werden Sie jetzt Mitglied:

<https://atomschutzverband.ch/>