

**Zeitschrift:** Energie & Umwelt : das Magazin der Schweizerischen Energie-Stiftung SES

**Herausgeber:** Schweizerische Energie-Stiftung

**Band:** - (2013)

**Heft:** 1: Risiko Altreaktoren

**Artikel:** "Das Risiko ist nicht mehr kalkulierbar"

**Autor:** Majer, Dieter

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-585987>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.01.2026

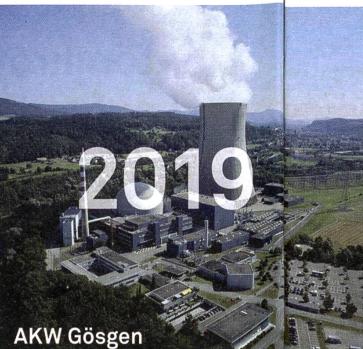
**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



AKW Beznau I&II Abschalten !



AKW Mühleberg Abschalten !



AKW Gösgen



AKW Leibstadt

## «Das Risiko ist nicht mehr kalkulierbar»

In der Schweiz werden zurzeit fünf Atomkraftwerke betrieben. Es handelt sich dabei mit um die ältesten Atomkraftwerke in Europa. Die Schweizer AKW befinden sich alle mehr oder weniger in der so genannten Phase 3, das heisst, es ist jederzeit mit alterungsbedingten Ausfällen von sicherheitsrelevanten Komponenten zu rechnen. Im Klartext: Das Risiko ist nicht mehr kalkulierbar – und nicht mehr hinnehmbar.



Von DIETER MAJER  
Dipl. Ing. / Atomsicherheitsexperte,  
dmajer@t-online.de

Dieter Majer war von 1982 bis zu seiner Pensionierung 2011 im Bereich Kerntechnik-Aufsicht tätig. Er arbeitete im hessischen Umweltministerium u.a. unter Joschka Fischer (Grüne) und wechselte dann ins Bundesumweltministerium. Dort war er Leiter des etwa 50 Personen umfassenden Bereichs «Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen».

Spätestens seit der schweren Reaktorunfälle in Three Mile Island USA 1979, Tschernobyl 1986 und Fukushima 2011 hat sich eine neue kritische Einstellung zur weiteren Nutzung der Atomenergie entwickelt. Viele Länder sind, insbesondere nach den Erfahrungen in Fukushima, der Auffassung, dass die Atomenergie keine Zukunft mehr habe. Ausbauprogramme wurden ad acta gelegt – auch in der Schweiz.

### Abschalten oder weiterbetreiben?

Die hochaktuelle Frage ist nun, ist es verantwortbar, die heute noch laufenden und in die Jahre gekommenen Atomkraftwerke weiterzubetreiben? Eine intensive Diskussion darüber ist auch in der Schweiz entstanden.

In der Schweiz werden zurzeit fünf Atomkraftwerke in Beznau, Gösgen, Leibstadt und Mühleberg betrieben. Es handelt sich dabei mit um die ältesten Atomkraft-

werke in Europa. Die Inbetriebnahme der Anlagen in Beznau und Mühleberg liegt mehr als 40 Jahre zurück, die Planung und Herstellung dieser Anlagen reicht bis Mitte der 60er-Jahre des letzten Jahrhunderts zurück. Die beiden anderen Anlagen sind zwar einige Jahre jünger, aber auch diese Anlagen weisen im Vergleich zum heutigen Stand von Wissenschaft und Technik erhebliche sicherheitstechnische Nachteile auf.

**Alterungsprozesse ungenügend berücksichtigt**  
Atomkraftwerke, bei denen auch nach dem Abschalten die Notwendigkeit der Wärmeabfuhr besteht, um eine Kernschmelze zu vermeiden, sind schon aufgrund ihrer Bauart und ihrer physikalischen Gesetzmäßigkeiten Anlagen, die ein enormes Gefährdungspotenzial besitzen. Theoretische Untersuchungen, aber auch Unfälle haben gezeigt, dass eine Fülle von Einzelereignissen und deren Kombination während des Betriebes auftreten können, die im weiteren Verlauf zu einer Kernschmelze mit erheblichen Freisetzungsradiaktivierter Stoffe führen können. In der Fachwelt ist unbestritten, dass es Risiken gibt, die nur beherrscht werden, wenn die dafür vorgesehenen Sicherheits-

Die von den Betreibern durchgeführten Analysen, die aufzeigen sollen, wie gering die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Unfall ist, berücksichtigen jedoch die Alterungsprozesse nur unzureichend.

Alle Schweizer Anlagen sind mehr oder weniger von konzeptionellen Auslegungsdefiziten betroffen.

einrichtungen zuverlässig funktionieren (siehe auch Textbox unten rechts).

Unfälle, die durch Einzelereignisse ausgelöst werden können, sind dann noch wahrscheinlicher, wenn die Anlagen sowohl im Hinblick auf ihre konzeptionelle Auslegung als auch im Hinblick auf Alterungsprozesse Defizite aufweisen. Die von den Betreibern durchgeführten probabilistischen Analysen, die aufzeigen sollen, wie gering die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Unfalls ist, berücksichtigen jedoch die Alterungsprozesse nur unzureichend und sind deshalb insbesondere für ältere Anlagen in ihren Aussagen sehr fragwürdig.

### Auslegedefizite der Schweizer AKW

Alle Schweizer Anlagen sind mehr oder weniger von konzeptionellen Auslegungsdefiziten betroffen. In der Schweiz gibt es drei Druckwasserreaktoren (2x in Beznau und 1x in Gösgen) und zwei Siedewasserreaktoren (Leibstadt und Mühleberg). Die Druckwasserreaktoren der AKW Beznau I&II wurden in den 60er-Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt und gebaut. Zwischenzeitlich hat sich die Auslegung von Druckwasserreaktoren aber erheblich weiterentwickelt. Die Erkenntnisse über sicherheitstechnische Defizite sind in die Auslegung moderner Druckwasserreaktoren eingeflossen wie sie z.B. in Finnland und Frankreich derzeit gebaut werden. Zwar haben die Schweizer AKW-Betreiber erhebliche Nachrüstungen durchgeführt, doch bestimmte Defizite konnten wegen der räumlichen und bautechnischen Beschränkungen nicht ausgeglichen werden.

Die Dicke des Sicherheitsbehälters beim AKW Beznau ist ein solcher Schwachpunkt, der negative Auswirkungen bezüglich der Beherrschbarkeit eines Flugzeugabsturzes hat. Aber auch die Abtragbarkeit von

hohen Drücken innerhalb des Sicherheitsbehälters bei schweren Kühlmittelverluststörfällen ist durch den relativ dünnen Mantel des Sicherheitsbehälters eingeschränkt. Die Reaktoranlagen Beznau haben nur zwei Primärkreisschleifen, was sie für Störfälle anfälliger und für die Beherrschung von Störfällen weniger sicher macht. Etliche Sicherheitssysteme sind miteinander so gekoppelt, dass Störungen in einer Redundanz Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit weiterer Redundanzen haben. Die heute geforderte bautechnische Trennung zur Vermeidung von Übertragungen von Störungen von einer Redundanz auf die andere ist in Beznau in weiten Bereichen nicht gegeben. Aus all diesen Gründen hat man in Deutschland das an nähernd baugleiche Atomkraftwerk Obrigheim schon vor vielen Jahren stillgelegt.

### AKW Mühleberg: Weiterbetrieb fragwürdig

Der Siedewasserreaktor in Mühleberg ist ein Reaktor, dessen Weiterbetrieb schon allein aus konzeptionellen Gründen fragwürdig ist. Er entspricht in seiner Bauart im Wesentlichen den Anlagen in Fukushima. Die Art der Anordnung von Kondensationskammer und Brennelementlagerbecken stellt erhebliche sicherheitstechnische Nachteile dar. Dazu kommt die besondere Problematik der Umwälzschiene. Der ähnliche Reaktor Würgassen in Deutschland wurde u.a. aus diesen Gründen schon vor Jahren stillgelegt. Bei neueren Siedewasserreaktoren hat man wegen der vielen Störfähigkeiten der Umwälzschiene auf diese Konstruktionsart verzichtet. Nebst den Rissen im Kernmantel ist auch zu beachten, dass der Reaktordruckbehälter sehr beansprucht und damit

Siedewasserreaktoren der Bauart wie in Mühleberg haben bei Eintritt einer Kernschmelze nur wenige Sicherheitsreserven, sprich: Störungen führen relativ schnell zu schweren Unfällen.

rissanfällige Längsschweißnähte enthält. Zudem ist das AKW Mühleberg aufgrund seiner Lage besonders überflutungsgefährdet ist. Klimaveränderungen verschärfen dieses Problem noch. Eine Studie der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit in Köln zeigt, dass insbesondere Siedewasserreaktoren dieser Bauart bei Eintritt einer Kernschmelze nur wenige Sicherheitsreserven haben, sprich: Störungen führen relativ schnell zu schweren Unfällen.

### Mögliche Auslöser von schweren Reaktorunfällen

Als wichtige mögliche Auslöser von schweren Unfällen gelten zum Beispiel: totaler Stromausfall, kleine und grosse Lecks in einer der wichtigen Kühlmittelleitung, grössere Lecks im Reaktordruckbehälter, Ausfall der Speisewasserversorgung oder des Turbinenkondensators, Überflutung des Reaktorgebäuderäumes bis hin zu Flugzeugabsturz, Erdbeben und Angriffen von aussen. Die Ende des Jahres 2012 vom deutschen Umweltministerium veröffentlichten Sicherheitsanforderungen listet etwa 200 Einzelergebnisse auf, die bei Versagen von wichtigen Sicherheitseinrichtungen zu schweren Unfällen führen können.

### **Siedewasserreaktoren = kostengünstig!**

Siedewasserreaktoren wie Mühleberg und Leibstadt wurden entwickelt, um kostengünstig Atomkraftwerke bauen zu können. Dies führte dazu, dass zusätzlich zu den meisten bei Druckwasserreaktoren bekannten Risiken weitere Gefahren in Kauf genommen wurden. Ein Beispiel dafür ist die Abschalteinrichtung des Reaktors, die beim Siedewasserreaktor unterhalb des Reaktordruckbehälters angeordnet ist und deswegen die Abschaltung unterstützende Schwerkraft nicht nutzen kann. Ein weiteres Beispiel

prinzipiellen Risiken von Atomkraftwerken und den Auslegungsdefiziten wie sie bei den Schweizer Reaktoren vorhanden sind, Ursache für schwere Unfälle und die Freisetzung von grossen Mengen radioaktiver Stoffe sein. Unter «Alterung» wird die Veränderung von Eigenschaften über die Zeit verstanden. Abzugrenzen ist dazu der Begriff «Veralten», also dass eine technische Einrichtung, Technologie oder auch Prozesse nicht mehr auf dem heutigen Stand der Technik sind.

Man muss heute davon ausgehen, dass in Atomkraftwerken sicherheitsrelevante Einrichtungen von Versprödungen infolge Bestrahlung und Temperaturbelastungen, Materialermüdung, Korrosion und Verschleiss betroffen sind. Besonders betroffen ist der Reaktordruckbehälter insbesondere dann, wenn, wie in älteren Anlagen üblich, die Schweißnähte grössere Mengen an Kupfer und Nickel enthalten. Es ist in Fachkreisen unbestritten, dass ein grösseres Leck im Reaktordruckbehälter zu einem nicht beherrschbaren Störfall führt.

Tatsache ist: Trotz aller wissenschaftlichen Fortschritte werden die alterungsbedingten Schäden nur teilweise verstanden. Die Krux dabei: Da für eine verlässliche Voraussage von alterungsbedingten Schäden das Verstehen der Schadensmechanismen Voraussetzung ist, ist eine verlässliche Voraussage von alterungsbedingten Schäden in vielen Fällen nicht möglich.

### **Trotz aller wissenschaftlichen Fortschritte werden die alterungsbedingten Schäden nur teilweise verstanden. Eine verlässliche Voraussage von alterungsbedingten Schäden ist in vielen Fällen nicht möglich.**

für die besondere Gefährlichkeit von Siedewasserreaktoren ist die Gefahr einer Wasserstoffexplosion im laufenden Betrieb. Beim Siedewasserreaktor bildet sich ähnlich wie beim Druckwasserreaktor durch Spaltung von Wasser aufgrund der herrschenden Strahlung Wasserstoff (Radiolyse). Da sich aber im Siedewasserreaktorkühlmittel erheblich mehr Wasserstoff befindet, kann sich im Kreislauf des Siedewasserreaktors explosives Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch bilden. Solche gewaltigen Wasserstoffexplosionen haben sich schon mehrfach ereignet.<sup>1</sup> Auch die übrigen Anlagen in der Schweiz haben erhebliche Auslegungsmängel, die in ihrem Baujahr begründet sind und nicht korrigiert werden können.

### **Alterungsprozesse: Voraussage oft unmöglich**

Ein grosses Problem stellen die so genannten Alterungsprozesse dar. Sie können, verbunden mit den

### **Stets neue alterungsbedingte Schäden**

In der Schweiz wie auch in anderen Ländern hat man ein umfangreiches Überwachungssystem zur Erkennung von alterungsbedingten Schäden etabliert. Trotz solcher Überwachungsprogramme werden immer wieder neue Erscheinungen von alterungsbedingten

### **Die Vielfalt der Alterungsprozesse:**

#### **Von ErmüdungsrisSEN, Versprödung, Korrosion und der Schwierigkeit passender Ersatzteile**

Die Geschichte der Atomkraftwerke ist gekennzeichnet durch eine Vielfalt von beobachteten Alterungsvorgängen. Es wurden Ermüdungsrisse bis zu teilweise aufgetretenen Durchrissen in mit heissem Medium unter hohem Druck beaufschlagten Rohrleitungen festgestellt. Die Ursachen waren vor allem im Rahmen der Auslegung nicht erkannte hochzyklische Schichtungsvorgänge, z. B. in Sprühsystemen oder Speisewassersystemen oder auch infolge von Leckagen an Armaturen.

In austenitischen<sup>4</sup> Rohrleitungen von Siedewasserreaktoren sind unter bestimmten Medienbedingungen unerwartete Korrosionsrisse aufgetreten. Ursache waren neben der nicht optimalen Wasserchemie Schweißkerben und Schweißeigenspannungen.

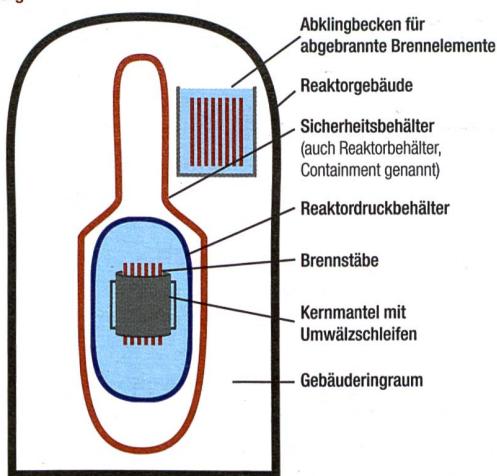
An Armaturen wurden verschiedene Arten der Alterung parallel wirksam. Dazu kommt, dass zum Zeitpunkt der Auslegung der meisten in AKW eingebauten Armaturen keine ausreichend fundierten Kenntnisse über das Reibverhalten verschiedener eingebauter Bauteile vorlagen (Mutter/Spindel, Stopfbuchsdichtungen, Schieberplatte/Schieberführung etc.). An verschiedenen Pumpen sind z. B. durch Ausfall von Kupplungen, bei denen Kupplungselemente aus Kunststoff versprödet waren, Ereignisse festgestellt worden, die alterungsbedingt sind. Weitere Alterungsvorgänge

mit Abtrag von Werkstoffen und damit Wanddickenreduzierung wie z. B. Dampferzeuger-Heizrohr Schäden durch «Wastage» (chemisch korrosiver Wanddickenabtrag) sind ebenfalls völlig unerwartet aufgetreten und haben damit eine wichtige Barriere für den Einschluss radioaktiver Stoffe gefährdet. In diesem Zusammenhang sind immer wieder aufgetretene Schäden an Dampferzeugerheizrohren z. B. durch «Fretting» (mechanische Einwirkung von Fremdkörpern wie Drähte, Schrauben) zu nennen.

Auch bei den für die Sicherheit wichtigen elektrotechnischen und elektronischen Einrichtungen ist mit Alterungsproblemen zu rechnen. Es kommt z.B. zur Versprödung von Kunststoffen in Schaltern oder Kabelummantelungen, zum Ermüden von Membranen in Messzellen durch Wechselbeanspruchung, zur Korrosion von Kontakten infolge von Umgebungseinflüssen, zum Verstopfen von Messleitungen infolge von Schmutzteilen und Abrieb und zu Whiskerbildung an elektronischen Bauelementen (wachsende Kristallfäden an Gehäusen und Anschlussdrähten mit der Folge von internen Kurzschlägen). Insbesondere bei den elektronischen Einrichtungen gibt es teilweise erhebliche Schwierigkeiten, passende Ersatzteile zu beschaffen. Es besteht gar die Gefahr, dass durch Kompatibilitätsprobleme neue Risiken geschaffen werden.

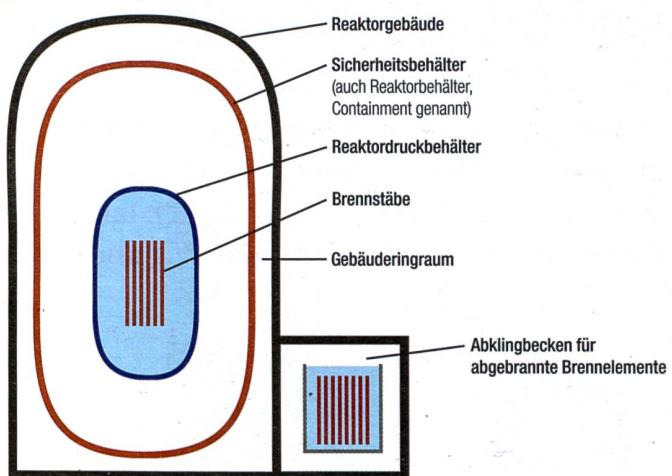
## Wo ist was im AKW?

Mühleberg



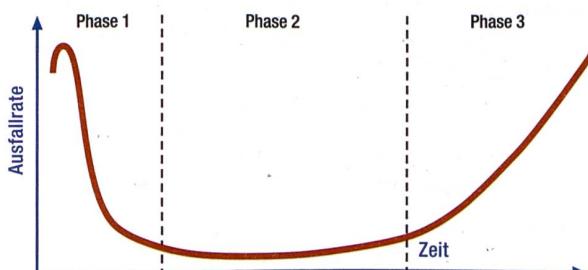
Grafiken: Schweizerische Energie-Stiftung SES

Beznau



Schäden sichtbar. Dies liegt zum einen daran, dass neuartige Schadensmechanismen noch nicht bekannt sind, und zum anderen gibt es in den Anlagen auch Komponenten und Systeme, die nach Inbetriebsetzung nicht mehr anforderungsgerecht geprüft werden können, weil dies entweder verfahrenstechnisch nicht möglich und unzulässig<sup>2</sup> oder aus technischen Gründen nicht realisierbar<sup>3</sup> ist. Typische bekannte und beobachtete Alterungsmechanismen sind:

- Verspröden (z. B. infolge Bestrahlung, Temperaturbelastung)
- Ermüden (z. B. infolge Belastungen aus Druck und Temperatur, Schwingungen)
- Korrosion (z. B. infolge Umgebungseinflüsse)
- Erosion (z. B. durch Strömungsablösungen, Zweiphasenströmung)
- Verschleiss (z. B. durch Reibungsvorgänge)



- Phase 1 Frühausfälle, die sich überwiegend aus fertigungsbedingten Fehlern ergeben.  
 Phase 2 Zufallsausfälle, die unterschiedlichen Ursachen zuzuordnen sind.  
 Phase 3 Verschleiss, Alterung. Diese Ausfälle sind in der Regel systematischer Natur.

Generell kann man davon ausgehen, dass bei vielen technischen Komponenten das Ausfallverhalten der so genannten Badewannenkurve folgt (siehe nebenan).

**Das Risiko ist nicht mehr kalkulierbar und damit nicht mehr hinnehmbar.**

### Alterungsschäden zeigen sich oft erst im Störfall

Alterungseffekte werden häufig erst bemerkt, wenn Schäden eingetreten sind, da ihre Mechanismen in Mikrostrukturen wirken und von aussen oft nicht sichtbar sind. Besonders fatal ist es, wenn Alterungseffekte erst bei einem Auftreten von Störfällen dadurch bemerkt werden, dass die für die Störfallbeherrschung erforderlichen Sicherheitssysteme versagen. Der wirkliche Qualitätszustand eines Bauteils zeigt sich erst bei entsprechender Störfallbelastung, die aber vorher verständlicherweise nicht simuliert werden kann. Die oft gehörte Aussage, das Atomkraftwerk habe seine Sicherheit im Betrieb erwiesen, geht vor diesem Hintergrund ins Leere.

### Das Risiko ist nicht mehr hinnehmbar

Die Atomkraftwerke in der Schweiz befinden sich alle mehr oder weniger in der Phase 3. Mit alterungsbedingten Ausfällen – sowohl bekannter als auch unbekannter Natur – ist in Zukunft jederzeit zu rechnen. Das Risiko eines alterungsbedingten Ausfalls von sicherheitstechnisch bedingten Komponenten nimmt laufend zu. Das Risiko ist nicht mehr kalkulierbar und damit nicht mehr hinnehmbar.

- 1 Im deutschen Atomkraftwerk Brunsbüttel im Jahr 2001 hatte man grosses Glück, da die Druckwelle der Wasserstoffexplosion nicht ganz ausreichte, um eine Absperrarmatur direkt am Reaktordruckbehälter zu beschädigen. Ein nicht absperrbares und damit nicht beherrschbares Leck im Reaktordruckbehälter wäre die Folge gewesen.
- 2 Beispiel: Erzeugung der Bedingungen eines Kühlmittelverlust-Störfalles im Sicherheitsbehälter mit hoher Druck-, Temperatur- und Feuchtebeanspruchung für die dort installierten sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten.
- 3 Beispiel: Schwingungsbeanspruchung durch Flugzeugabsturz, Erdbeben oder Explosionsdruckwelle
- 4 [www.de.wikipedia.org/wiki/Austenit](http://www.de.wikipedia.org/wiki/Austenit)