

Einschätzung der Abdeckung extremer Wetterbedingungen durch die bestehende Auslegung

1 Anlass der Beratung

Anlass der Beratung dieses Themas ist eine Bitte der RSK sowie die Empfehlung in dem von der ENSREG durchgeführten „EU-Stresstest“, für deutsche Kernkraftwerke die Robustheit bei extremen Wetterbedingungen über die bestehende Auslegung hinaus zu betrachten (vgl. [1] bzw. [2]).

2 Beratungsgang

Der Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK hatte in seiner 66. Sitzung am 22.07.2010 einen Bericht der GRS zu extremen Wetterlagen mit Auswirkungen auf Flusswassertemperaturen und Wasserstände und in seiner 74. Sitzung am 13.10.2011 einen entsprechenden Bericht der Betreiber angehört [3]. In der 82. Sitzung des Ausschusses am 09.08.2012 hatte der Vorsitzende dem Ausschuss ein Beratungskonzept zum Thema „extreme Wetterbedingungen“ vorgestellt und einige Ausschussmitglieder gebeten, das Beratungskonzept im Hinblick auf wetterbedingte Einwirkungen auf die Anlagen weiter auszuarbeiten, insbesondere im Hinblick auf die Vollständigkeit der aufgelisteten Einwirkungen, und Vorschläge für eine Einstufung der Einwirkungen hinsichtlich ihrer Abdeckung durch die bestehende Anlagenauslegung vorzubereiten. In seiner 83. Sitzung am 04.10.2012 wurde dem Ausschuss eine entsprechende Unterlage vorgestellt. Der Ausschuss überarbeitete diese Unterlage in seiner 84., 85., 86., und 87. Sitzung am 08.11.2012, am 20.12.2012, am 15.01.2013 und am 14.02.2013. Auf Bitte des Ausschusses ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK hat der Ausschuss ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN in seiner 226. Sitzung am 13.03.2013 die Einwirkungen „Blitz“ und „Sonnenstürme“ ergänzend beraten. In seiner 88. Sitzung am 20.03.2013 beriet der Ausschuss die diesbezüglichen Ergänzungen. Die RSK befassete sich in ihrer 457. Sitzung am 11.04.2013 mit dem Bericht des Ausschusses und empfahl, dass internationalen Entwicklungen (ENSREG, RHWG/WENRA) folgend Nachweise im Auslegungsbereich für die Beherrschung von Wetterbedingungen mit einer Wiederkehrahäufigkeit von $10^{-4}/a$ geführt werden. Sofern sich Einwirkungen in diesem Häufigkeitsbereich nicht mit hinreichender Aussagezuverlässigkeit ermitteln lassen, sollte mit ingenieurmäßigen Bewertungen deterministisch eine sichere Ereignisbeherrschung sowie eine hohe Robustheit ausgewiesen werden. Auf der Grundlage der Anmerkungen der RSK überarbeitete der Ausschuss die Stellungnahme in seiner 90. Sitzung am 13.06.2013 und verabschiedete diesen in seiner 91. Sitzung am 10.07.2013. Die RSK verabschiedete die Stellungnahme in ihrer 462. Sitzung am 06.11.2013.

3 Einschätzung der Abdeckung extremer Wetterbedingungen durch die bestehende Auslegung

Die RSK hat in ihrer 457. Sitzung am 11.04.2013 die Empfehlung ausgesprochen, „dass internationalen Entwicklungen (ENSREG, RHWG/WENRA) folgend Nachweise im Auslegungsbereich für die Beherrschung von Wetterbedingungen mit einer Wiederkehrhäufigkeit von $10^{-4}/a$ geführt werden sollen. Sofern sich Einwirkungen in diesem Häufigkeitsbereich nicht mit hinreichender Aussagezuverlässigkeit ermitteln lassen, sollte mit ingenieurmäßigen Bewertungen deterministisch eine sichere Ereignisbeherrschung sowie eine hohe Robustheit ausgewiesen werden.“ Ergänzend wurde angeregt, im Sinne der Robustheit über diese Einwirkungen hinausgehende Einwirkungen mit ingenieurmäßigen Abschätzungen zur Ermittlung von Sicherheitsreserven zu berücksichtigen. Die in dieser Stellungnahme der RSK behandelten extremen Wetterlagen beziehen sich auf die hierbei zu untersuchenden Einwirkungen.

Die im Folgenden vorgenommenen Einschätzungen hinsichtlich der Abdeckung extremer Wetterbedingungen durch die bestehende Anlagenauslegung beziehen sich auf mögliche Einflüsse auf das Sicherheits- und Notstandssystem im Hinblick auf die Aufrechterhaltung vitaler Sicherheitsfunktionen. Auswirkungen auf betriebliche Einrichtungen oder auf Sicherheitsfunktionen, die zur Beherrschung der extremen Wetterbedingungen nicht erforderlich sind, werden im Folgenden nicht berücksichtigt. Alle Einschätzungen stehen unter dem Vorbehalt, dass die jeweiligen Einwirkungsparameter nicht quantitativ ermittelt wurden und daher daraus resultierende Auswirkungen auf die Anlage rein ingenieurtechnisch abgeschätzt worden sind.

Zunächst hat die RSK alle in nationalen [5] und internationalen Regelwerken [6], [7] und [8] aufgelisteten Wetterbedingungen zusammengetragen und strukturiert. Dabei wurde anhand einer Zusammenstellung potentiell gekoppelter Auswirkungen extremer Wetterbedingungen auch beurteilt, inwieweit deren Überlagerungen bzw. Kausalitäten relevant sein können. In einem zweiten Schritt sind diese Bedingungen im Hinblick auf ihre Abdeckung durch die bestehende Auslegung bewertet worden. Die Ergebnisse dieser Einschätzungen sind in den beiden folgenden Tabellen dargestellt, wobei in Tabelle A diejenigen Wetterbedingungen aufgelistet sind, für deren Einschätzung ihrer Abdeckung aus Sicht der RSK noch weitere Analysen erforderlich sind. Tabelle B enthält die Wetterbedingungen, für die RSK eine Abdeckung durch die bestehende Anlagenauslegung generisch gegeben sieht.

Nicht Gegenstand dieser Stellungnahme sind wetterbedingte extreme Überflutungsereignisse, die bereits im Rahmen der RSK-SÜ [11] thematisiert wurden (Überflutungsszenarien an Fluss- oder Tidestandorten). Ebenfalls nicht Gegenstand dieser Stellungnahme sind Einwirkungen durch Blitz, zu denen die RSK noch berät. In [11] nicht explizit angesprochene witterungsbedingte Überflutungspotentiale infolge von lokaler Eisversetzung oder von lokalem Starkregen sind in den folgenden Tabellen jedoch enthalten. Witterungsbedingte Einwirkungen, die durch die Empfehlung der RSK zu einer Diversitären Wärmesenke abgedeckt sind, werden im Folgenden durch Hinweis auf die entsprechende RSK-Stellungnahme [12] behandelt.

A		Weitere Analysen erforderlich
Tiefe Temperaturen		
A1	Eisregen / Eissturm / Schneesturm (direkte Auswirkungen auf die Anlage)	<p>Bei Anlagen mit einem Notkühlsystem, das über Zellenkühler gekühlt wird, besteht Klärungsbedarf, ob diese Kühler vereisen können. Dabei ist nicht nur das Einfrieren des Wassers in der Vorlage zu betrachten, sondern z. B. auch das Einfrieren der Einrichtungen, über die das Kühlwasser zum Abregnen verteilt wird.</p> <p>Die Gitter bzw. Lamellen in den Bauwerksöffnungen für die Lüftung oder die Zuluft der Notstromdiesel könnten vereisen bzw. bei Schneefall zugeweht werden. Hierbei sind nicht besonders tiefe Temperaturen von Bedeutung, sondern hinsichtlich einer Eisbildung an Strukturen sonstige ungünstige Randbedingungen (wie bspw. Regen oder hohe Luftfeuchtigkeit bei Temperaturen knapp unter dem Gefrierpunkt).</p> <p>Es sollte für beide Sachverhalte gezeigt werden, dass dies entweder nicht zu unterstellen ist oder dass Vorkehrungen zur Verhinderung (z. B. Beheizung), Beseitigung (z. B. durch administrative Regelungen) bzw. zur Beherrschung der Auswirkungen getroffen und ausreichend wirksam bzw. robust sind.</p>
A2	Eisschollen (auf dem Vorfluter)	<p>Gemäß KTA 2207 ist eine Eisversetzung bei der Ermittlung des Bemessungshochwassers (BHW) an Fluss- bzw. Binnenseestandorten zu berücksichtigen, allerdings ohne weitere Konkretisierung des Vorgehens.</p> <p>Es sollte gezeigt werden, dass die Bildung von Eisbarrieren am Standort entweder nicht zu unterstellen ist oder dass Vorkehrungen zur Verhinderung, Beseitigung bzw. zur Beherrschung der Auswirkungen getroffen und ausreichend wirksam bzw. robust sind.</p>
A3	Lufttemperatur extrem niedrig, auch langanhaltend	<p>Die Betriebserfahrung zeigt, dass z. B. Leitungen einfrieren können (eingefrorene Entwässerungsleitung in GKN-1 am 14.01.82; Schaden an Sprühwasserlöschanlage in KKR (Rheinsberg) am 12.02.96).</p> <p>Es sind geeignete Maßnahmen vorzusehen, durch die die vitalen Sicherheitsfunktionen auch bei diesen Bedingungen aufrechterhalten werden.</p>
A4	Umgebungs- bzw. Vorfluter-temperatur langanhaltend extrem niedrig und Vorfluterwasserstand langanhaltend extrem niedrig	<p>Die Kombination dieser Bedingungen kann relevant sein.</p> <p>Es sollte geprüft werden, ob bei solchen Bedingungen neben der Primären Wärmesenke auch die Diversitäre Wärmesenke (gemäß [12]) gleichzeitig beeinträchtigt werden kann.</p>
A5	Sulzeis-/Schwebeis-Bildung	<p>An einigen Standorten kann es infolge sehr schneller Temperaturstürze zu Sulzeis-/Schwebeis-Bildung kommen, wodurch die Kühlwasserentnahme beeinträchtigt werden kann.</p> <p>Es sollte geprüft werden, ob bei solchen Bedingungen neben der Primären Wärmesenke auch die Diversitäre Wärmesenke (gemäß [12]) gleichzeitig beeinträchtigt werden kann.</p>

Langanhaltende Trockenheit		
A6	Vorfluterwasserstand langanhaltend extrem niedrig	Es sollte gezeigt werden, dass bei einer langanhaltenden Trockenheit ein Verlust der Wasserversorgung über den Vorfluter entweder nicht zu unterstellen ist oder dass bei solchen Bedingungen neben der Primären Wärmesenke nicht auch die Diversitäre Wärmesenke gleichzeitig beeinträchtigt werden kann.
A7	Anlagenexterner Brand	Es sollte untersucht werden, ob sich bei anlagenexternen Bränden, insbesondere bei Starkwindlagen, Auswirkungen auf Einrichtungen der Anlage ergeben können, die zum Verlust vitaler Sicherheitsfunktionen führen können.
Niederschlag		
A8	Langanhaltender Starkregen, ggf. in Kombination mit starkem Wind	<p>Die Kraftwerksgelände sind alle eben und zur Umgebung hin offen, so dass das Wasser bei Starkregen prinzipiell abfließen kann. Ob im Falle eines extremen Starkregenereignisses auch unter Berücksichtigung der Potentiale für Verstopfungen von Abflusspfaden ein ausreichender Abfluss für alle Anlagen sicher gegeben ist, sollte überprüft werden.</p> <p>Untersuchungen zum Eindringen von Regenwasser in Gebäude werden im Rahmen der WLN 3/2012 behandelt. Als zusätzlicher Aspekt sollte dabei die Möglichkeit und die ggf. daraus resultierenden Folgen des Eindringens von Regenwasser bei starkem Regen bei einem gleichzeitigen extremen Sturm, z. B. über Lüftungsöffnungen oder über die Ansaugöffnungen, für die Zuluft der Notstromdiesel untersucht werden.</p> <p>Hinweis: Der Aspekt der möglicherweise erhöhten Schmutzfracht in das Einlaufbauwerk, was auch die Folge von langanhaltendem Regen sein kann, oder der Eintrag von biologischen Fremdkörpern ist bereits in der RSK-Stellungnahme „Ausfall der Primären Wärmesenke“ [12] angesprochen. Mit dem Vorhandensein einer Diversitären Wärmesenke gemäß [12] sind solche Einwirkungen abgedeckt.</p>
Wind		
A9	Starkwind, Tornado (Unterdrücke)	Zu Aussagen bezüglich Unterdruckbildung bzw. resultierender Druckgradienten sollte die Größe möglich auftretender Unterdrücke ermittelt und eine mögliche Relevanz bewertet werden.
A10	Sand- /Staubstürme (durch ausgetrocknete landwirtschaftliche Flächen)	Es sollte untersucht werden, inwieweit durch standortspezifische Gegebenheiten der landwirtschaftlichen Nutzung und der Bodenverhältnisse Sand-/Staubstürme zu unterstellen sind und ob in diesem Fall ausreichend Vorsorge zur Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit von Notstromdieselaggregaten getroffen ist. Dabei sollten auch die Möglichkeiten des Eintrags sonstiger luftgetragener Materialien (wie Laub) mit berücksichtigt werden.

B	Kein Bedarf für weitere Analysen	
B1	Sonnenstürme	<p>Durch geomagnetisch induzierte Gleichströme eines Sonnensturms können im Freileitungsnetz erhebliche elektrische Störspannungen und Ströme induziert werden. Bei einer hohen Netzauslastung kann nicht ausgeschlossen werden, dass es in der Folge zu großflächigen und länger andauernden Netzstörungen bis hin zu Netzausfällen kommen kann.</p> <p>Auch können Ausfälle von hochbelasteten Transformatoren (nahe der Nennleistung) in der Eigenbedarfsversorgung der Kernkraftwerke, wie z. B. Maschinentransformatoren, nicht ausgeschlossen werden.</p> <p>Durch die vorhandenen Schutzeinrichtungen werden Spannungstransienten infolge der Netzstörungen beherrscht. Ggf. wird der Notstromfall ausgelöst, den die Anlagen auslegungsgemäß beherrschen.</p>
B2	Langanhaltende Vereisungen / Schneeverwehungen auf dem Anlagengelände oder außerhalb	<p>Eine Nachbetankung der Diesel im Notstromfall bei einer langanhaltenden Vereisung oder bei Schneeverwehungen auf dem Anlagengelände ist für die Dauer von mindestens drei Tagen sichergestellt.</p> <p>Mit den gemäß RSK SÜ [11] geforderten Vorplanungen zur Gewährleistung der Notstromversorgung wird auch der Fall eines langandauernden Notstromfalls (Dauer bis zu einer Woche) in Kombination mit einer langandauernden Vereisung/Verwehung der Zufahrtswege abgedeckt.</p>
B3	Hagel, Schneelast	<p>Die mechanischen Einwirkungen von Hagel und Schneelast sind abgedeckt durch die Auslegung der Notstandseinrichtungen gegen FLAB, EDW und gegen Bemessungserdbeben.</p>
B4	Vorflutertemperatur langanhaltend extrem hoch	<p>Da die Nachwärmeabfuhrsysteme für einen KMV-Störfall bei Volllast ausgelegt sind, diese Kombination aber nicht zu unterstellen ist, sind die Reserven in diesen Systemen auch für sehr hohe Temperaturen ausreichend.</p> <p>Für KMV-unabhängige Ereignisse wie z. B. Notstromfall sind aufgrund der Teillast der Diesel mehr Reserven für die Dieselmotorkühlung vorhanden. Zusätzlich sind Handmaßnahmen zur Sicherstellung der Dieselmotorkühlung unabhängig von den Vorflutern möglich.</p>
B5	Luftfeuchtigkeit langanhaltend extrem hoch und Lufttemperatur langanhaltend extrem hoch	<p>Die Kombination dieser Bedingungen kann für die Kühlung der Außenluft relevant sein, da dies immer mit einem Entfeuchtungsvorgang verbunden ist und im Hinblick auf die Kühlerleistung eine höhere Luftfeuchtigkeit in Verbindung mit höheren Lufttemperaturen ein betriebliches Problem darstellen kann (Sommerliche Auslegungswerte für Lüftungsanlagen i. d. R. +32°C/ 40 % rel. Feuchte).</p> <p>Auch wenn die Auslegung der Lüftung gegebenenfalls nicht mehr die ungünstigsten Umgebungsbedingungen abdeckt, wird die Störfallbeherrschung dadurch nicht in Frage gestellt, da die erforderliche Raumluftkühlung über von den Außenluftbedingungen unabhängige wassergekühlte Umluftkühlanlagen erfolgt.</p>

B6	Starkwind, Tornado (Überdrücke, umherfliegende Teile)	<p>Aufgrund des EU-Stresstestes [4] liegen für repräsentative Anlagen Untersuchungen vor, wonach die Effekte</p> <ul style="list-style-type: none"> - infolge Überdruck von Starkwind bzw. Tornados bezogen auf einen maximalen Überdruck von 0,2 bar gemäß USAEC REG. Guide 1.76 durch die Auslegung gegen EDW (vgl. [3]) und - durch tornadoinduzierte umherfliegende Teile sowie etwaige Trümmerlasten aus dem nicht gegen Tornados ausgelegten Fortluftkamin durch die Auslegung gegen FLAB bzw. ausreichende Gebäudewandstärken abgedeckt werden.
B 7	Extrem salzhaltige Luft	<p>Aus der Betriebserfahrung sind keine Probleme für Sicherheitssysteme erkennbar. Sicherheitstechnisch wichtige Schaltanlagen sind innerhalb von Gebäuden untergebracht und deswegen durch salzhaltige Luft in der Umgebung nicht betroffen. Langfristig sind nur Auswirkungen durch verstärkte Korrosion denkbar, die durch die Überwachungsmaßnahmen ausreichend erfasst werden.</p>

4 Weiteres Vorgehen

Vor dem Hintergrund der Empfehlungen des ENSREG Stress Test Peer Reviews sollte mit einer ingenieurtechnischen Bewertung im Rahmen der Robustheitsprüfungen gemäß [11, 13] von den Betreibern untersucht werden, ob erforderliche vitale Sicherheitsfunktionen durch in der Tabelle A aufgeführte Einwirkungen infolge extremer Wetterbedingungen unzulässig beeinträchtigt werden können. Sofern eine belastbare Quantifizierung dieser Einwirkungen nicht möglich ist, sollte die Robustheit der vorhandenen Vorkehrungen auf Basis bestehender Auslegungsreserven und möglicher Gegenmaßnahmen qualitativ bewertet werden, gegebenenfalls anhand physikalischer Grenzbetrachtungen.

Literatur/Unterlagen

- [1] Peer Review Report
Stress tests performed on European nuclear power plants
Post Fukushima accident
European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG)
Stress Test Peer Review Board
v12i – 2012 04 25

- [2] Peer Review Country Report
Germany
Stress tests performed on European nuclear power plants
Post Fukushima accident
European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG)
Stress Test Peer Review Board

- [3] VGB Powertech
Auswirkungen von extremen Wetterlagen auf die Sicherheit von Kernkraftwerken
Präsentation, 74. AST-Sitzung am 13.10.2011

- [4] EU-Stresstest, National Report of Germany
Implementation of the Stress Tests in Germany
Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety
Final National Report, 31 December 2011
ENSREG, Publishing date: Monday, 2 January 2012

- [5] Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke, BMU, November 2012, hier: Anhang 3

- [6] IAEA Safety Standards
Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations
Specific Safety Guide, No. SSG-18
Vienna 2011

- [7] IAEA Safety Standards Series
External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants
Safety Guide, No. NS-G-1.5
Vienna November 2003

- [8] WENRA
Safety of new NPP designs
Study by WENRA Reactor Harmonization Working Group
October 2012

-
- [9] CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Électriques) Study Committee SC4
"System Technical Performance", Working Group C4-407 "Lightning Parameters for
Engineering Applications"
- [10] VGB Powertech e.V.,
VGB-AG „Forsmark“, VGB-Abschlussbericht „Untersuchungsprogramm zum Einfluss
von Spannungstransienten auf das Notstromsystem“, Abschlussbericht, Stand:
25.06.2012, Version 5
- [11] RSK-Stellungnahme: „Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deut-
scher Kernkraftwerke unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-I (Japan)“,
16.05.2011
- [12] RSK-Stellungnahme (446. Sitzung am 05.04.2012): „Ausfall der Primären Wärmesen-
ke“ (veröffentlicht im Bundesanzeiger: BAnz AT 03.08.2012 B5)
- [13] RSK-Empfehlung (450. Sitzung am 26./27.09.2012): „Empfehlungen der RSK zur
Robustheit der deutschen Kernkraftwerke“