

Stand der Sicherheit des AKW Leibstadt
(KKL) im Lichte internationaler
Entwicklungen und unter Beachtung der
beabsichtigten Verlängerung der
Betriebszeit über die eigentliche
Auslegungsbetriebszeit hinaus

Prof. Dr. M. Mertins

- **Inhaltliche Schwerpunkte des Vortrags**
 - Stand von Wissenschaft und Technik zur Sicherheit von AKW für ausgewählte Schwerpunkte
 - Zu gewährleistende Schutzziele
 - Das Defence-in-Depth Concept
 - Schutz gegen externe Einwirkungen
 - Defizite des AKW Leibstadt im Vergleich mit den Anforderungen nach Stand von Wissenschaft und Technik
 - Auslegungsdefizite
 - Defizite bei der Sicherheitskultur
 - Fragen zur Verlängerung der Laufzeit von AKW
 - Schlußfolgerungen

- **These von KKL, von ENSI nicht widersprochen**
 - „Im internationalen Vergleich liegt das KKL als nachgerüstete Generation II Anlage mit einem gut entwickelten Severe Accident Management (präventiv) bei einem sehr niedrigen CDF- Wert. Ohne Erdbeben figuriert die CDF des KKL im Bereich der neuen Generation III (*) Anlagen.“
- **Feststellung**
 - Trotz Nachrüstung verbleiben im Vergleich zu den Anlagen der AKW-Generation III bei KKL erhebliche, bereits auf deterministischem Wege feststellbare Defizite.

(*) Anmerkung: Die AKW-Generation III ist im Wesentlichen bestimmt durch die in Errichtung befindlichen neuen AKW Typen, in Europa handelt es sich um den EPR

- **Eingangsdaten**

- 1984 – Inbetriebnahme KKL
 - Grundlage der Auslegung waren sicherheitstechnische Anforderungen der 1970-er Jahre
- Chronologie von AKW Unfällen mit gravierenden Folgen
 - TMI 1979
 - Tschernobyl 1986
 - Fukushima 2011
- Erkenntnisse aus diesen Unfällen konnten nicht mehr umfassend bei der Auslegung von KKL berücksichtigt werden

- **Konsequenzen der AKW-Unfälle in Bezug auf Anforderungen an die Sicherheit (1)**
 - Verstärkung des präventiv ausgerichteten gestaffelten Sicherheitskonzepts („defence-in-depth“)
 - Verbesserung der Zuverlässigkeit der Sicherheitssysteme zur Beherrschung von Störfällen insb.
 - Sicherstellung der erforderlichen Redundanz auch für den Fall von Instandhaltungen bei Betrieb (n+2)
 - Schutz redundanter Sicherheitseinrichtungen gegen den Ausfall aus gemeinsamer Ursache (z.B. anlageninterne Brände oder Überflutungen)

- **Konsequenzen der AKW-Unfälle in Bezug auf Anforderungen an die Sicherheit (2)**
 - Gewährleistung der vollen Wirksamkeit der Sicherheitssysteme (Sicherheitsebene 3) und des anlageninternen Notfallschutzes auch für den Fall anlagenexterner übergreifender Einwirkungen wie Erdbeben, Überflutungen, Flugzeugabsturz.
 - Nicht beherrschbare Anlagenzustände sowie daraus resultierende unzulässige radiologische Auswirkungen sollen **praktisch ausgeschlossen** (*) sein.
Durch weitere Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 4 soll u.a. ein Versagen des Reaktordruckbehälters bei hohem Druck unter Bedingungen des Kernschmelzens ausgeschlossen werden.
 - Es sollen auch auslegungsüberschreitende anlagenexterne Einwirkungen Berücksichtigung finden.

(*) Das Eintreten eines Ereignisses oder Ereignisablaufs oder Zustands kann als ausgeschlossen angesehen werden, wenn das Eintreten physikalisch unmöglich ist oder wenn mit einem hohen Maß an Aussagesicherheit das Eintreten als extrem unwahrscheinlich angesehen werden kann. Wörtlich in den IAEA Safety Requirements: „The possibility of certain conditions occurring is considered to have been practically eliminated if it is physically impossible for the conditions to occur or if the conditions can be considered with a high level of confidence to be extremely unlikely to arise.“

- **Stand von Wissenschaft und Technik bei den Sicherheitsanforderungen an AKW (1)**
 - Repräsentative Sicherheitsanforderungen
 - Internationaler Standard
Sicherheitsstandards der IAEA, z.B.: Specific Safety Requirements No. SSR-2/1 (Rev. 1), Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA, Vienna 2016
 - Europäischer Standard
 - WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors – WENRA 2021,
 - RICHTLINIE DES RATES 2014/87/EURATOM vom 8. Juli 2014 zur Änderung der Richtlinie 2009/71/ Euratom über einen Gemeinschaftsrahmen für die nukleare Sicherheit kerntechnischer Anlagen
 - Anforderungen an den EPR
“Technical Guidelines for the design and construction of the next generation of nuclear pressurized water plant units“, 2000

- **Stand von Wissenschaft und Technik bei den Sicherheitsanforderungen an AKW (2)**

- Das defence-in-depth Concept für bestehende Anlagen

	Ebenen im Konzept	Ziele der Ebenen	Maßgebliche Mittel	Anlagenzustände
Anlagenauslegung	Ebene 1	Vermeidung anomaler Betriebszustände	Konservative Auslegung, hohe Qualität	Normalbetrieb
	Ebene 2	Beherrschung des anomalen Betriebs	Betriebsüberwachung und Begrenzung	Betriebsstörungen
	Ebene 3	Beherrschung von Auslegungsstörfällen	Sicherheitssysteme, Störfallprozeduren	Auslegungsstörfälle
Auslegungsüberschreitende Zustände	Ebene 4	Beherrschung von Anlagenzuständen, die nicht in der Auslegung berücksichtigt wurden	Maßnahmen und Einrichtungen anlageninterner Notfallschutz	Ereignisse infolge Mehrfachversagen Unfälle
Katastrophenschutz	Ebene 5	Minderung der Auswirkungen bei Freisetzung radioaktiver Stoffe	Katastrophen- und Umgebungsschutz	

- **Stand von Wissenschaft und Technik bei den Sicherheitsanforderungen an AKW (3)**

- **Das defence-in-depth Concept für Neuanlagen**

Levels of defence in depth	Objective	Essential means	Radiological consequences	Associated plant condition categories
Level 1	Prevention of abnormal operation and failures	Conservative design and high quality in construction and operation, control of main plant parameters inside defined limits	No off-site radiological impact (bounded by regulatory operating limits for discharge)	Normal operation
Level 2	Control of abnormal operation and failures	Control and limiting systems and other surveillance features		Anticipated operational occurrences
Level 3 ⁽¹⁾	3.a Control of accident to limit radiological releases and prevent escalation to core melt conditions ⁽²⁾	Reactor protection system, safety systems, accident procedures	No off-site radiological impact or only minor radiological impact ⁽⁴⁾	Postulated single initiating events
	3.b	Additional safety features ⁽³⁾ , accident procedures		Postulated multiple failure events
Level 4	Control of accidents with core melt to limit off-site releases	Complementary safety features ⁽³⁾ to mitigate core melt, Management of accidents with core melt (severe accidents)	Off-site radiological impact may imply limited protective measures in area and time	Postulated core melt accidents (short and long term)
Level 5	Mitigation of radiological consequences of significant releases of radioactive material	Off-site emergency response Intervention levels	Off site radiological impact necessitating protective measures ⁽⁵⁾	-

- **Stand von Wissenschaft und Technik bei Sicherheitsanforderungen an AKW (4)**

- Grundlegende Anforderungen im defence-in-depth Concept

- Im Gestaffelten Sicherheitskonzept (defence-in-depth) sollen die Sicherheitsebenen unabhängig voneinander wirksam sein.
- Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 4 dürfen grundsätzlich nicht zur Kompensation von Defiziten der Sicherheitsebene 3 herangezogen werden.
- Die Anforderung hinsichtlich Unabhängigkeit gilt auch für die Hilfs- und Versorgungssysteme. Unzulänglichkeiten in Hilfs- und Versorgungssystemen dürfen die Erfüllung von Sicherheitsfunktionen nicht beeinträchtigen.

- **Stand von Wissenschaft und Technik bei Sicherheitsanforderungen an AKW-Beispiele (5)**

- Schutz gegen übergreifende Einwirkungen (1)

Der Auslegung sind zu Grunde zu legen:

- die jeweils folgenschwersten naturbedingten Einwirkungen oder sonstigen Einwirkungen von außen, die an dem betreffenden Standort berücksichtigt werden müssen sowie die Besonderheiten lang andauernder äußerer Einwirkungen;
- Kombinationen mehrerer naturbedingter oder sonstiger Einwirkungen von außen (z. B. Erdbeben, Hochwasser, Sturm, Blitz, Brände) oder Kombinationen dieser Einwirkungen mit internen Ereignissen (z. B. Rohrleitungsbruch, Brände in der Anlage, Rauchentwicklung, Notstromfall) (*).

(*) Anmerkung: Diese Kombinationen werden dann unterstellt, wenn die zu kombinierenden Ereignisse in einem kausalen Zusammenhang stehen können oder wenn ihr gleichzeitiges Eintreten auf Grund von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen oder nach dem Stand von Wissenschaft und Technik unterstellt werden muss.

- **Stand von Wissenschaft und Technik bei Sicherheitsanforderungen an AKW–Beispiele (6)**
 - Einzelfehlerkonzept
Sicherheitseinrichtungen sind so redundant und entmascht auszulegen, dass die zur Ereignisbeherrschung erforderlichen Sicherheitsfunktionen auch dann ausreichend wirksam sind, wenn unterstellt wird, dass im Anforderungsfall
 - ein ungünstigst wirkender Einzelfehler in einer Sicherheitseinrichtung infolge eines zufälligen Ausfalls auftritt und
 - grundsätzlich gleichzeitig eine in Kombination mit dem Einzelfehler ungünstigst wirkende Unverfügbarkeit in einer Sicherheitseinrichtung infolge von Instandhaltungsmaßnahmen vorliegt.

- **Anmerkungen zu einer Laufzeitverlängerung (LTE – life time extension) (1)**
 - Die Sicherheit soll sich im Falle einer LTE am Sicherheitsstandard neuer, in Errichtung befindlicher AKW messen.
 - Erforderlich gehalten wird die Erhöhung bzw. Vervollständigung des Umfangs des anlageninternen Notfallschutzes im Umfange, dass die nicht austauschbaren Komponenten (z.B. bautechnische Komponenten, druckführende Komponenten, Kabel der Stromversorgung, der Leittechnik) auch unter Unfallbedingungen im erforderlichen Umfang wirksam bleiben und zu unterstellende Kernschmelzscenario beherrscht werden.

Anmerkung. Bei einer LTE handelt es sich um eine Verlängerung des Betriebes einer Anlage über die ursprünglich der Auslegung zu Grunde gelegte Betriebszeit von 40 Jahren hinaus.

- **Anmerkungen zur Laufzeitverlängerung (LTE – life time extension) (2)**
 - Bestehende grundlegende Defizite gegenüber den bei neuen Reaktoren geltenden Anforderungen an die Sicherheit bleiben nach gegenwärtiger Sicht jedoch bei den in Betrieb befindlichen AKW weiterhin bestehen (*). Sie betreffen insbesondere:
 - die unvollständige Redundanz bei den Sicherheitssystemen, die nicht durchgängige Unabhängigkeit der Sicherheitssysteme sowie Defizite bei der Gewährleistung der Unabhängigkeit der Sicherheitsebenen.
 - den Schutz gegen naturbedingte übergreifende Einwirkungen, insbesondere hinsichtlich eines Eintretens extremer, über die Auslegung deutlich hinausgehender Einwirkungen. Dabei ist davon auszugehen, dass der bereits eingetretene Wandel des Klimas Einfluss auf Intensität und Häufigkeit des Wirksamwerdens zumindest eines Teils der Gefahrenquellen (z.B. langandauernde hohe Temperaturen, extreme Regenfälle, extreme Stürme,) hat.
 - den Schutz gegen zivilisationsbedingte Einwirkungen, insbesondere hinsichtlich des Absturzes eines gegenüber der Auslegung deutlich größeren Flugzeugs.

(*) RISQUE NUCLÉAIRE, DÉVELOPPEMENT DURABLE ET TRANSITION ÉNERGÉTIQUE OCTOBRE 2021 CSS N° 9576 (Conseil Supérieur de la Santé, BE)
(Stellungnahme 9576 - Nukleares Risiko, nachhaltige Entwicklung und Energiewende)

- **Praxis in der Schweiz (*)**

- als Nachrüstgrundsatz für Altreaktoren gilt nach dem KEG „**Stand der Nachrüsttechnik**“
 - weltweit hierzu kein vergleichbarer Ansatz – es gilt der Stand von Wissenschaft und Technik.
Der Grad der Vorsorge gegen mögliche Schäden aus dem Betrieb von AKW gilt dann als erreicht, wenn der jeweils geltende Stand von Wissenschaft und Technik als erfüllt nachgewiesen ist.
 - selbst ENSI sieht sich außer Stande, eine „generische und praxistaugliche“ Definition „Stand der Nachrüsttechnik“ zu liefern.
- Unbestimmtheiten im Regelwerk (Beispiel)
 - ENSI-G02/d: „Der Grundsatz der **Diversität** ist für SE3-Funktionen soweit möglich und angemessen umzusetzen.
Der Grundsatz der **Redundanz** ist für SE3-Funktionen soweit möglich und angemessen umzusetzen.“
 - Kritik: Allein der „Grundsatz“ bedeutet schon eine „Regel mit Ausnahmeverbehalt“. Das Zusammenwirken von „Grundsatz“ und die Anforderung „soweit möglich und angemessen“ ist hier völlig unbestimmt.

(*) ausgewählte Beispiele

• Defizite im AKW KKL (1)

- Defizite im defence-in-depth Concept
 - Es werden Einrichtungen der 3. Sicherheitsebene (SE3) auch für Funktionen der 1. Sicherheitsebene (SE1) verwendet (z.B. wird das Nach- und Notkühlssystem (TH) als Sicherheitssystem auch für betriebliche Funktionen eingesetzt). Insofern wird hier die Anforderung hinsichtlich Unabhängigkeit der Sicherheitsebenen im Gestaffelten Sicherheitskonzept nicht erfüllt. (Es wäre also notwendig nachzuweisen, dass eine Beeinflussung der SE3 Funktion des TH Systems durch die SE1 Funktion praktisch ausgeschlossen werden kann.)
- Defizite im Bereich der Sicherheitssysteme betreffen
 - Fehlende durchgängige Redundanz im Vergiftungssystem
 - Fehlende Diversität bei der Füllstandsmessung im Reaktor
 - Unzureichende Redundanz im Notkühlssystem (N+2)
Argumentativ wird hier versucht, das SEHR System (Special Emergency Heat Removal, Notstandssystem) zur Kompensation der fehlenden Redundanz einzusetzen.
(Das SEHR ist nachgerüstet worden zur Beherrschung von Notstandsfällen. Insbesondere zählen hierzu Ereignisse, bei denen das Wartenpersonal als ausgefallen zu unterstellen ist.)

• Defizite im AKW KKL (2)

- Defizite hinsichtlich des Schutzes gegen Externe übergreifende Einwirkungen
 - Es zeigt sich, dass der gegenwärtige, menschenverursachte Klimawandel vorgedachte Entwicklungen bezüglich Häufigkeit und Intensität der meteorologisch bedingten Einwirkungen deutlich verstärkt. Unter dem Gesichtspunkt eines beabsichtigten Betriebs über die ursprüngliche Betriebszeit von 40 Jahren werden Analysen zu einer möglichen deutlichen Veränderung meteorologisch bedingter Einwirkungen für erforderlich gehalten.
 - In ENSI-G02/d wird darauf verwiesen wird, dass jeweils „gegen die zum Zeitpunkt ihrer Errichtung von den Aufsichtsbehörden akzeptierten Belastungen“ maßgeblich für die Auslegung sind. Nachprüfbare Angaben hierzu liegen jedoch nicht vor.
 - Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass es im Falle eines größeren, die heutige Auslegung der AKW gegen Flugzeugabsturz überschreitenden Flugzeugabsturzes, zum Versagen der Sicherheitshülle und auch zur Beschädigung der darunter liegenden inneren Gebäudestrukturen kommen kann.

- **Defizite im AKW KKL (3)**

- Defizite hinsichtlich des Schutzes gegen Kernschmelzunfälle
 - Es bestehen Zweifel, dass Versagensmöglichkeiten unter Beachtung der vorhandenen Maßnahmen und Einrichtungen für das KKL als so unwahrscheinlich, also als praktisch ausgeschlossen zu bewerten sind, so dass „weitergehende Vorsorge gegen Durchschmelzen des Containmentbodens im Fall eines Kernschmelzunfalls bei KKL nicht nötig wären“, wie von KKL behauptet und von ENSI bestätigt.
 - Dem steht entgegen, dass z.B. bei den französischen 32 900 MW Anlagen als Voraussetzung für eine Laufzeitverlängerung der Einbau von Core-Catchern zu realisieren wäre.

• Defizite im AKW KKL (4)

– Defizite bei Systemen, Strukturen und Komponenten

- Es ist vorgesehen, probabilistisch orientierte Bewertungsansätze zum Abbau sog. „unangemessener Konservativitäten“ für den bisher deterministisch geführten Nachweis der Sprödbruchsicherheit des Reaktordruckbehälters zu verwenden.
Es sollte jedoch nicht der Abbau von Konservatismen als Ziel definiert werden, sondern ein optimaler Umgang damit.
- Als sicherheitskritisch ist die Einschätzung des KKL zur Integrität des Umwälzsystems zu bewerten. Das KKL führt dazu aus, dass für den auslegungsgemäßen Betrieb genügend große Reserven, auch hinsichtlich eines möglichen Risswachstums in den Schweißnähten der Umwälzschleifen, aufgezeigt sind.
Dieser Ansatz ist jedoch unzulässig. Auslegungsreserven sind zur Kompensation u.a. zur Berücksichtigung von Wissenslücken eingebracht worden und sollen im deterministischen Ansatz nicht wesentlich verringert werden.
- Die beabsichtigte und erforderliche Modernisierung der Leittechnik im KKL weist offensichtlich Verzögerungen auf. Der Alterungszustand der Leittechnik kann sich aus sicherheitstechnischer Sicht zu einem Problem entwickeln. Dies hat eine besondere Bedeutung für den beabsichtigten Betrieb der Anlage über den ursprünglich vorgesehenen Betrieb von 40 Jahren hinaus.

- **Defizite im AKW KKL (5)**

- Defizite bei der Sicherheitskultur/Betriebserfahrungen

- Es ist Aufgabe des Genehmigungsinhabers, eine hohe Sicherheitskultur aufrechtzuerhalten und diese kontinuierlich zu verbessern. Es ist festzustellen, dass diesbezüglich Defizite im KKL bestehen.
 - Bei der Auswertung von Betriebserfahrungen ist festzustellen, dass die Ursachen für Vorkommnisse häufig mit personellen oder organisatorischen Fehlhandlungen, sowohl beim Betreiber selbst aber auch bei Fremdfirmen, verbunden sind. Im KKL haben sich in den letzten Jahren durch die Häufung von Vorkommnissen in den Bereichen Mensch und Organisation Schwächen im Sicherheitsmanagement gezeigt.

• **Schlußfolgerungen (1)**

▪ *Generelle Feststellungen*

- Das Sicherheitskonzept des KKL ist veraltet und wäre nach aktuellen Maßstäben nicht mehr genehmigungsfähig.
- Defizite gegenüber Stand von Wissenschaft und Technik bestehen insbesondere hinsichtlich
 - der Auslegung der sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen in Bezug auf ihre Redundanz und Unabhängigkeit
 - der Auslegung von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen in Bezug auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen Einwirkungen von außen (z.B. Flugzeugabsturz)
 - des Schutzes gegen auslegungsüberschreitende Anlagenzustände und Einwirkungen
- Defizite bestehen im Bereich des Sicherheitsmanagements und der Sicherheitskultur
- Den Angaben von KKL, wonach „Im internationalen Vergleich liegt das KKL als nachgerüstete Generation II Anlage mit einem gut entwickelten Severe Accident Management (präventiv) bei einem sehr niedrigen CDF- Wert. Ohne Erdbeben figuriert die CDF des KKL im Bereich der neuen Generation III Anlagen.“ kann nicht gefolgt werden. Trotz Nachrüstung verbleiben im Vergleich zu den Anlagen der AKW-Generation III erhebliche, bereits auf deterministischem Wege feststellbare Defizite.

- **Schlußfolgerungen (2)**

- *Störfallsicherheit*

- Ohne eine ausreichende Zuverlässigkeit der Einrichtungen des Sicherheitssystems besteht eine deutlich erhöhte Wahrscheinlichkeit dafür, dass die auf der Sicherheitsebene 3 zu unterstellenden Ereignisabläufe nicht auslegungsgemäß beherrscht werden, sondern es zu auslegungsüberschreitenden Unfallabläufen mit einem Mehrfachversagen von Sicherheitseinrichtungen kommen kann.
 - Die vorhandenen Defizite bezüglich Diversität, Redundanz sowie Unabhängigkeit und Entmaschung in den für die Sicherheit wichtigen Systemen und Komponenten erhöhen die Wahrscheinlichkeit dafür, dass es zu schweren Unfällen kommt, deutlich und führen damit zu schwerwiegenden Risiken für Mensch und Umwelt.
 - Bereits durch die defizitäre sicherheitstechnische Auslegung bestehen deutliche Zweifel an der Störfallsicherheit von KKL, die durch negative Erkenntnisse aus der Betriebserfahrung weiter verstärkt werden.

• **Schlußfolgerungen (3)**

- *LTE – Life Time Extension*
- KKL ist unter Berücksichtigung von Lastannahmen eines Betriebes von insgesamt 40 Jahren ausgelegt wurden (*). Ein darüber hinaus gehender Betrieb war nicht Grundlage der ursprünglichen Auslegung. Für den Fall einer LTE wäre die Sicherheit am Sicherheitsstandard neuer, in Errichtung befindlicher AKW zu messen. Abweichungen davon wären in einer öffentlich verfügbaren Risikobewertung darzulegen.
- Nicht alle Auslegungsdefizite lassen sich durch Nachrüstungen beseitigen: Ein erheblicher Teil des Sicherheitsstandards wird bereits bei der Auslegung des Kernkraftwerks festgelegt. Nachrüstungen von zusätzlichen Sicherheitssystemen sind u.a. aufgrund der baulichen Gegebenheiten nur bis zu einem begrenzten Umfang möglich. Die Einhaltung heutiger Sicherheitsstandards würde praktisch einen kompletten Neubau eines AKW bedingen.
- Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) ist das einzige Instrument, das eine rechtlich bindende Beteiligung der Bevölkerung und von Umweltverbänden im Rahmen der Genehmigung nuklearer Projekte ermöglicht, dies auch grenzüberschreitend. UVP ist international, auf EU-Ebene geregelt (Espoo-Konvention).
- Was die praktische Umsetzung der Espoo-Konvention in der Schweiz anbelangt, so fallen grundsätzlich alle Vorhaben, die gemäß dem Anhang der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV, SR 814.011) der UVP unterstellt sind und die voraussichtlich erhebliche, grenzüberschreitende nachteilige Umweltauswirkungen zur Folge haben, in den Anwendungsbereich der Espoo-Konvention (**)(***). Die UVP wäre für KKL erforderlich und durchzuführen.

(*) In der Regel sind die bestehenden Anlagen weltweit für eine Betriebszeit von 40 Jahren ausgelegt.

(**) <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/uvp/espoo-konvention.html>

(***) In der Schweiz trat die Espoo-Konvention am 10. September 1997 in Kraft.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt Daten:

- +49 1723847051
- Manfred.mertins@unitybox.de
- Manfred.mertins@th-brandenburg.de