



STELLUNGNAHME der Reaktor-Sicherheitskommission und der Entsorgungskommission

Realistische Nachweisführung im atomrechtlichen Verfahren

INHALTSVERZEICHNIS

1	Anlass der Beratung	2
2	Beratungsgang	2
3	Sachstandserhebung	3
3.1	Einleitung	3
3.1.1	Kernreaktoren	3
3.1.2	Entsorgungsanlagen und -einrichtungen (Konditionierung und Zwischenlagerung)	4
3.2	Anforderungen an die Nachweisführung	5
4	Ergebnisse der Beratungen	7
5	Unterlagen	10

1 Anlass der Beratung

Mit Schreiben vom 07.02.2024 [1] bat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) die Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) unter Beteiligung der Entsorgungskommission (ESK) um eine Stellungnahme hinsichtlich der Verwendung des Begriffs „realistisch“ im Rahmen der Nachweisführung in atomrechtlichen Verfahren.

Der Begriff der „realistischen Nachweisführung“ sei im Zuge eines Gerichtsverfahrens am Bayerischen Verwaltungsgerichtshof zum Zwischenlager am Standort Gundremmingen intensiv erörtert worden. Dabei sei aufgefallen, dass der Begriff der „realistischen Nachweisführung“ im kerntechnischen Regelwerk noch nicht definiert sei.

Ziel des Beratungsauftrags soll die Entwicklung einer klaren, mit den bestehenden Begriffsdefinitionen (v. a. „konservativ“) abgestimmten und gegeneinander abgegrenzten Definition des Begriffs „realistisch“ sein. Die Intention hierbei ist die präzise Beschreibung der bisherigen Verwendung, nicht die inhaltliche Fortentwicklung. Sofern möglich, soll diese Definition sowohl auf die Belange der nuklearen Sicherheit, als auch der nuklearen Sicherung anwendbar sein.

2 Beratungsgang

Der Beratungsauftrag wurde in der 161. Sitzung des RSK-Ausschusses ANLAGEN- UND SYSTEM-TECHNIK (AST) am 13.03.2024 vorgestellt. Es wurde beschlossen, dass einige AST-Mitglieder eine erste Beratungsunterlage für die 162. Ausschusssitzung am 16.05.2024 erarbeiten sollen.

Abstimmungsgemäß stellte ein AST-Mitglied in der 162. Ausschusssitzung die gemeinsam ermittelten, relevanten Anforderungen aus dem deutschen Regelwerk wie auch aus dem IAEA-Regelwerk vor. Für die Erarbeitung eines ersten Stellungnahmeentwurfs zur Beratung in der 163. Ausschusssitzung am 10.09.2024 rief der Ausschuss AST die Ad-hoc-Arbeitsgruppe REALISTISCHE NACHWEISFÜHRUNG ins Leben, in der neben AST-Ausschussmitgliedern auch zwei ESK-Mitglieder mitwirkten. Nach Beratung in der 163. AST-Sitzung wurde der Stellungnahmeentwurf zur Kommentierung an die ESK übermittelt. Die ESK-Kommentare wurden in der 118. ESK-Sitzung am 24./25.10.2024 erörtert sowie die wesentlichen Eckdaten des Stellungnahmeentwurfs der ESK vom Vorsitzenden des RSK-Ausschusses AST erläutert. In der 544. RSK-Sitzung am 06.11.2024 wurden der Stellungnahmeentwurf erörtert und Änderungswünsche seitens der RSK formuliert, welche nachfolgend in der 164. AST-Sitzung am 21.11.2024 bei der weiteren Anpassung des Stellungnahmeentwurfs berücksichtigt wurden. Die ESK lieferte ebenfalls Beiträge zur Berücksichtigung ESK-relevanter Aspekte zum Stellungnahmeentwurf im Nachgang zur 544. RSK-Sitzung. Der dann aktuelle Entwurfsstand wurde der RSK in ihrer 545. Sitzung am 11.12.2024 vorgestellt. Für die Erarbeitung weiterer ESK-Beiträge wurde eine entsprechende Ad-hoc-Arbeitsgruppe der ESK ins Leben gerufen, welche in ihrer 1. Sitzung am 12.02.2025 unter Mitwirkung der GRS ergänzende Anpassungen des Stellungnahmeentwurfs vornahm. Die ESK hat in ihrer 121. Sitzung am 06.03.2025 über den Stellungnahmeentwurf beraten und die ESK-Beiträge sowie die gemeinsamen Abschnitte von RSK und ESK abgestimmt. In der 165. AST-Sitzung am 13.03.2025 hat der Ausschuss AST zu den zwischenzeitlich erfolgten Anpassungen am Stellungnahmeentwurf beraten und diesen zugestimmt. Die RSK hat den angepassten Stellungnahmeentwurf in ihrer 546. Sitzung am 30.04.2025 erneut beraten und gemeinsam mit der ESK verabschiedet.

3 Sachstandserhebung

3.1 Einleitung

Entsprechend den Definitionen in den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke (SiAnf) [2] werden unter „Nachweisführung“ nachprüfbar Angaben verstanden, die die Einhaltung von Anforderungen beweisen. Das „Nachweisziel“, also das sicherheitstechnische Ziel der Nachweisführung, wird durch die Einhaltung von „Nachweiskriterien“ erreicht.

Insbesondere gilt ein Ereignis oder Ereignisablauf als beherrscht, wenn unter Berücksichtigung spezifizierter Anfangs- und Randbedingungen die Nachweiskriterien eingehalten sind. Radiologisch repräsentative Auslegungsstörfälle gelten als beherrscht, wenn die Einhaltung radiologischer Nachweiskriterien nachgewiesen wird.

Ein Nachweis kann u. a. mit Hilfe von rechnerischen Analysen, Experimenten und Messungen oder im Zusammenwirken dieser Nachweisformen erbracht werden.

Nachweisführungen werden häufig durch die Anwendung von Rechencodes unterstützt. Bei der Anwendung von Rechencodes sind Eingabedaten erforderlich, die bspw. auch Anlagenmodelle umfassen. Zusammen bilden Rechencodes und ihre Eingabedaten ein Rechenmodell.

Für konservative Nachweisführungen werden entweder Rechenmodelle verwendet, die die Ergebnisse in eine für die Nachweiskriterien ungünstige Richtung verschieben, um eine sehr hohe Aussagesicherheit hinsichtlich des Nachweises zu erreichen (abdeckende Nachweisführung). Oder es werden statistische Nachweisverfahren mit verteilten Eingabedaten und Modellparametern eingesetzt, wobei in diesen Fällen die Werte für das Ergebnis so bestimmt werden müssen, dass sie mit einer statistischen Sicherheit von 95 % das Ergebnisspektrum zu 95 % abdecken.

Sogenannte „realistische“ Rechenmodelle bestehen aus best-estimate Rechencodes und best-estimate Eingabedaten. Best-estimate-Rechenmodelle bilden die jeweiligen Phänomene und Prozesse sowie deren Wechselwirkungen möglichst realistisch ab. Das heißt, sie reproduzieren den unter Berücksichtigung des aktuellen Kenntnisstands zu erwartenden Ablauf, im Gegensatz zu den konservativen Nachweisführungen.

3.1.1 Kernreaktoren

Nachweisziele und entsprechende Nachweiskriterien betreffen im Konzept der gestaffelten Sicherheitsebenen und des gestaffelten Einschlusses der radioaktiven Inventare (Barrierenkonzept) insbesondere die Erfüllung der Schutzziele

- Kontrolle der Reaktivität,
- Kühlung der Brennelemente und
- Einschluss der radioaktiven Stoffe.

Barrieren und Rückhaltefunktionen sind nach den SiAnf Abschnitt 2.2 (1) [2] bei den Ereignissen oder Anlagenzuständen auf den verschiedenen Sicherheitsebenen im Zusammenwirken mit den Maßnahmen und Einrichtungen der jeweiligen Sicherheitsebenen und den dabei auftretenden mechanischen, thermischen,

chemischen und durch Strahlung hervorgerufenen Einwirkungen so auszulegen, dass die sicherheits-
ebenspezifischen Nachweisziele und die zugeordneten Nachweiskriterien eingehalten werden und damit
die Erfüllung der Schutzziele gezeigt wird. Letztlich sind die radiologischen Sicherheitsziele nach SiAnf
Abschnitt 2.5 einzuhalten.

Sicherheitstechnische Nachweise sind ferner im Zusammenhang mit Auslegung, Fertigung, Errichtung und
Prüfung sowie Betrieb und Instandhaltung der sicherheitstechnisch wichtigen Anlagenteile zu führen.
Wesentliche technische Anforderungen finden sich in Kapitel 3 der SiAnf, unterlagerte Nachweisziele
und -kriterien werden im einschlägigen kerntechnischen Regelwerk, insbesondere den KTA-Regeln, genannt.

Die für Kernkraftwerke bestehenden Regeln und Empfehlungen sind vorwiegend für die Errichtung und den
Betrieb dieser Anlagen geschaffen worden. Das Gefährdungspotenzial einer in Stilllegung befindlichen
kerntechnischen Anlage ist gegenüber dem Leistungsbetrieb jedoch deutlich reduziert. Die SiAnf [2] sind
daher auf die Belange der Stilllegung entsprechend dem Abbaufortschritt sinngemäß anzuwenden.

Die Anlagen 2 und 3 des Stilllegungsleitfadens [3] kategorisieren die KTA-Regeln wie auch Bekannt-
machungen des BMI/BMU im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit bei Stilllegungsverfahren.

Eine weitere Konkretisierung der sicherheitstechnischen Anforderungen für Kernreaktoren in der Stilllegung
erfolgt in den ESK-Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen [4].

3.1.2 Entsorgungsanlagen und -einrichtungen (Konditionierung und Zwischenlagerung)

Unter den Anlagen und Einrichtungen der Entsorgung sind nachfolgend die Zwischenlager für bestrahlte
Brennelemente und Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle in Behältern, die Zwischenlager für radioaktive
Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung sowie die Konditionierungsanlagen für radioaktive
Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung zu verstehen.

Die wesentlichen sicherheitstechnischen, baulichen und betrieblichen Anforderungen an die jeweiligen
Anlagentypen sind in den ESK-Leitlinien für die Konditionierung von radioaktiven Abfällen mit vernach-
lässigbarer Wärmeentwicklung [5], den ESK-Leitlinien für die Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen
mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung [6] und den ESK-Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung
bestrahlter Brennelemente und Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in Behältern [7] formuliert.

Nachweisziele und entsprechende Nachweiskriterien betreffen im Konzept der gestaffelten Sicherheitsebenen
und des gestaffelten Einschlusses der radioaktiven Inventare (Barrierenkonzept) insbesondere die Erfüllung
der Schutzziele

- sicherer Einschluss der radioaktiven Stoffe,
- sichere Abfuhr der Zerfallswärme,
- sichere Einhaltung der Unterkritikalität und
- Vermeidung unnötiger Exposition, Begrenzung und Kontrolle der Exposition des Betriebspersonals
und der Bevölkerung.

Bei der Planung ist die Einhaltung der radiologischen Schutzziele gemäß StrlSchG (§ 8, § 9) nachzuweisen und gegen auslegungsbestimmende Störfälle sind die Anforderungen von § 104 in Verbindung mit § 194 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) zugrunde zu legen.

Den Sicherheitsanalysen ist ein Spektrum von Ereignissen zugrunde zu legen, dass alle potenziell vorkommenden Ereignisse abdeckt. Dabei ist von den in den entsprechenden ESK-Leitlinien [5 - 7] aufgeführten Ereignissen auszugehen. Für alle dort aufgeführten Ereignisse sind die Auswirkungen auf Systeme, sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen und Maßnahmen, Gebäude usw. zu untersuchen sowie die Quellterme für radiologisch relevante Ereignisse zu ermitteln und die daraus resultierenden radiologischen Auswirkungen zu bestimmen, es sei denn, es kann gezeigt werden, dass die entsprechende Ereignisart ausgeschlossen ist. Außerdem ist zu überprüfen, ob weitere Ereignisse möglich sind, die nicht durch die in den entsprechenden ESK-Leitlinien [5 - 7] aufgeführten Ereignisse abgedeckt sind. Falls dies der Fall sein sollte, müssen solche Ereignisse ebenfalls betrachtet werden.

3.2 Anforderungen an die Nachweisführung

Nach Anhang 5 der SiAnf [2] hängen die Anforderungen an die Nachweisführung für Kernreaktoren von der jeweiligen Sicherheitsebene und vom Nachweisziel ab.

Für Nachweise auf der Sicherheitsebene 1 ist die gesamte, während der Betriebs- oder Zyklusdauer in Betracht kommende Bandbreite der Betriebsparameter unter Einbeziehung der im Normalbetrieb möglichen Änderungen und Schwankungen zu berücksichtigen.

Für Nachweise auf der Sicherheitsebene 2 sind für die jeweiligen Betriebsphasen ungünstige, innerhalb realistischer Betriebszustände liegende Anfangszustände anzusetzen. Alle der Sicherheitsebene 2 zugeordneten und bei dem betrachteten Ereignisablauf ordnungsgemäß angeforderten Maßnahmen und Einrichtungen können für die Nachweisführung als verfügbar angenommen werden, wenn sie nicht durch das unterstellte Ereignis als ausgefallen anzusetzen sind.

Nachweise auf der Sicherheitsebene 3 sind konservativ zu führen, d. h. die Analysen erfolgen „*unter Zugrundelegung von unter den gegebenen Umständen sicherheitstechnisch begründeten nachteiligsten Werten*“ (vgl. SiAnf, Anhang 1). Weiterhin sind Nachweise zur Störfallbeherrschung gemäß [2], Nr. 2.1 (6) prinzipiell unter alleiniger Berücksichtigung von Einrichtungen des Sicherheitssystems zu führen, wobei das Einzelfehlerkonzept zu berücksichtigen ist. Hierbei ist gemäß [2] Anhang 5, 3 (2) die Gesamtunsicherheit des jeweiligen Analyseergebnisses im Hinblick auf die Erfüllung der Nachweiskriterien zu quantifizieren und zu berücksichtigen (statistische Nachweisführung nach SiAnf, Anhang 5, Abschnitt 3.3), bzw., sofern die Nachweisführung abdeckend erfolgt, zu berücksichtigen (vgl. SiAnf, Anhang 5, Abschnitt 3.4).

Der Begriff der „realistischen Nachweisführung“ ist in den SiAnf [2] nicht definiert. Nach Anhang 5 der SiAnf können für Nachweise für Notstandsfälle sowie für Ereignisse auf den Sicherheitsebenen 4a bis 4c jedoch realistische Anfangs- und Randbedingungen angesetzt werden. Eine Quantifizierung der Gesamtunsicherheit des Analyseergebnisses im Hinblick auf die Nachweiskriterien ist auf der Sicherheitsebene 4 nicht erforderlich, jedoch sind nach SiAnf, Anhang 5, Abschnitt 3 (2) e die Unsicherheiten des Analyseergebnisses zu bewerten.

Der PSA-Leitfaden [8] gibt vor, dass als Ausgangsbedingungen diejenigen Anlagenzustände anzusetzen sind, die hinsichtlich der zu analysierenden Ereignisabläufe die Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen realistisch repräsentieren.

Im IAEA Safety Guide SSG-2 „Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants“ [9] wird unter einer realistischen Analyse eine „best-estimate analysis without quantification of uncertainty“ verstanden. Eine solche Methodik ist klar abzugrenzen von einer „best-estimate analysis plus uncertainty“, welche den konservativen Methoden zuordenbar ist und im deutschen Regelwerk dem statistischen Vorgehen nach SiAnf, Anhang 5, Abschnitt 3.3 entsprechen würde.

Eine realistische Analyse kommt nach dem SSG-2 [9] insbesondere für die Nachweisführung bei „design-extension conditions“ in Betracht (entsprechend etwa den Sicherheitsebenen 4a bis 4c im deutschen Regelwerk). Der IAEA Safety Standard SSR-2/1 [10] definiert die „design extension conditions“ wie folgt:

“Postulated accident conditions that are not considered for design basis accidents, but that are considered in the design process for the facility in accordance with best estimate methodology, and for which releases of radioactive material are kept within acceptable limits.”

Bezüglich der Bewertung der Unsicherheiten des Analyseergebnisses fordert der IAEA SSG-2 [9] dann Sensitivitätsanalysen, um potenzielle „Cliff-edge“-Effekte mit großen oder frühen Freisetzungen zuverlässig zu vermeiden.

Im Rahmen der anlagenspezifischen Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deutscher Kernkraftwerke unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-I (Japan) sowie bei daraus folgenden Betrachtungen wurde die Robustheit deutscher Kernkraftwerke und Forschungsreaktoren im Hinblick auf auslegungsüberschreitende Ereignisse bewertet [11]. In ihrer zusammenfassenden Stellungnahme zum Flugzeugabsturz [12] bewertet die RSK die bei den Analysen zum Absturz eines großen Verkehrsflugzeugs gewählten Randbedingungen wie folgt:

„Die Gesamtheit der verwendeten Randbedingungen stellt eine Festlegung dar, die eine daraus resultierende Belastung im oberen Bereich der Belastungen aus den möglichen Kombinationen von Parameterwerten definiert, aber nicht jedem Parameter den jeweils ungünstigsten möglichen Einzelwert zuweist.“

Für Kernreaktoren in Stilllegung wird in den ESK-Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen [4] in Abschnitt 8.3 geregelt, dass für auslegungsüberschreitende Ereignisse *„eine hinreichende Reduzierung der Schadensauswirkung gegeben [ist], wenn die unter realistischen Randbedingungen sowie unter Berücksichtigung der Reststofflogistik ermittelten radiologischen Auswirkungen einschneidende Maßnahmen des Katastrophenschutzes nicht erforderlich machen.“*

Gemäß den ESK-Leitlinien [5] Abschnitt 9.2, [6] Abschnitt 8.2 und [7] Abschnitt 9 ist für Anlagen und Einrichtungen der Entsorgung für auslegungsüberschreitende Ereignisse *„eine hinreichende Reduzierung der Schadensauswirkung gegeben, wenn die unter realistischen Randbedingungen ermittelten radiologischen Auswirkungen einschneidende Maßnahmen des Katastrophenschutzes nicht erforderlich machen“*.

Zum Begriff *einschneidende Maßnahmen des Katastrophenschutzes* verweisen die ESK-Leitlinien auf die Notfall-Dosiswerte-Verordnung [13], die hierzu in § 4 das Kriterium zur Maßnahme Evakuierung mit einer

effektiven Dosis von 100 Millisievert aus äußerer Exposition und Inhalation über einen Zeitraum von sieben Tagen definiert.

4 Ergebnisse der Beratungen

Die Bewertung von Ereignissen auf der Sicherheitsebene 3 erfolgt bei Kernreaktoren gemäß den SiAnf [2] konservativ, wobei hier sowohl eine abdeckende Vorgehensweise (Anhang 5, Abschnitt 3.4 in den SiAnf) als auch eine statistische Vorgehensweise mit Quantifizierung der Gesamtunsicherheit des Analyseergebnisses (Anhang 5, Abschnitt 3.3 in den SiAnf) angewendet werden können. Ebenfalls konservativ sind Nachweise zur Wirksamkeit des Sicherheitssystems für Ereignisse, die sich aus auslegungsbestimmenden Einwirkungen von außen und innen ergeben, zu führen¹.

Eine realistische Methode der Nachweisführung kommt für die sicherheitstechnische Bewertung im Zusammenhang mit Ereignissen auf den Sicherheitsebenen 4a bis 4c und Notstandsfällen sowie für Robustheitsbewertungen in Betracht. Sie kommt in der Praxis auch im Rahmen von Analysen zu den Auswirkungen von lastannahmenüberschreitenden Störmaßnahmen und sonstigen Einwirkungen Dritter (SEWD) zur Anwendung.

Die ESK-Leitlinien [5 - 7] legen fest, dass für Anlagen und Einrichtungen der Entsorgung für auslegungsüberschreitende Ereignisse die radiologischen Auswirkungen realistisch zu ermitteln sind.

Ausgangspunkt für eine Definition des Begriffs der realistischen Nachweisführung stellen folgende Anforderungen im Regelwerk dar:

- Definition von „konservativ“ im Anhang 1 der SiAnf [2]:
 - *„Art des Vorgehens bei der sicherheitstechnischen Bewertung unter Zugrundelegung von unter den gegebenen Umständen sicherheitstechnisch begründeten nachteiligsten Werten“*,
- IAEA Safety Guide SSG-2, Tabelle 1 und Abschnitt 7.55 [9]:
 - *„For simplicity, the terms ‘realistic approach’ or ‘realistic analysis’ are used in this Safety Guide to mean best estimate analysis without quantification of uncertainties“*,
 - *„When best estimate analysis is performed, the margins to avoid cliff edge effects should be demonstrated to be adequate [...]“*,
- Anhang 5 der SiAnf, Abschnitt 3 (2) e, zur Behandlung von Unsicherheiten auf der Sicherheitsebene 4:
 - *„Bei Nachweisführungen durch die Analyse von Ereignissen oder Zuständen sind für die Sicherheitsebene 4 die Unsicherheiten des Analyseergebnisses im Hinblick auf das Nachweisziel zu bewerten.“*

¹ Hinweis: Dies gilt nicht für Notstandsfälle und für die im Rahmen von Robustheitsüberprüfungen betrachteten auslegungsüberschreitenden Ereignisse.

Auf dieser Basis wird folgende Definition abgeleitet:

Realistische Nachweisführung:

Art des Vorgehens bei der sicherheitstechnischen Bewertung unter Zugrundelegung von unter den gegebenen Umständen realistischerweise vorzufindenden Werten („best-estimate“).

Hierbei werden in der Regel die Unsicherheiten des Ergebnisses nicht in ihrer Gesamtheit quantifiziert, sofern relevant jedoch im Hinblick auf das Nachweisziel bewertet, beispielsweise bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen mit Blick auf einen Abstand zu großen oder frühen Freisetzungen bzw. zum Erfordernis einschneidender Maßnahmen des Katastrophenschutzes.

Die realistische Nachweisführung kann dabei auf Randbedingungen aufsetzen, die seitens Aufsichtsbehörden/Regelwerk bei der Festlegung des einleitenden Ereignisses postuliert sind (z. B. Charakteristiken von externen/internen Einwirkungen/SEWD).

Typische Merkmale einer realistischen Nachweisführung sind insbesondere:

- „best-estimate“ Rechenmodelle („welche die Mittelwerte der in Experimenten gewonnenen Ergebnisse reproduzieren“, vgl. Regel KTA 3101.1 [14]);
- „best-estimate“ Annahmen zu Systemverfügbarkeiten und Handmaßnahmen:
 - Berücksichtigung der Betriebsweisen für unterschiedliche Betriebszustände der zu untersuchenden Anlage bzw. Einrichtung,
 - Kreditierung von Einrichtungen, die nicht Teil des Sicherheitssystems sind (sofern deren Funktion unter den Bedingungen des jeweiligen Ereignisses gegeben ist),
 - Kreditierung von Personalhandlungen ggf. auch im Zeitraum < 30 Minuten, sofern die Durchführbarkeit unter Berücksichtigung der maßgeblichen Karenzzeiten nachvollziehbar gezeigt wird (z. B. Prozeduren vorhanden, Personal geschult),
 - keine Berücksichtigung eines Einzelfehlers, vgl. SiAnf Anhang 4, Abschnitte 2.2.5 bis 2.2.7,
 - jedoch Berücksichtigung von Folgeausfällen durch das Ereignis,
 - Berücksichtigung der durch Steuerungs- bzw. Regelungsvorgänge verursachten Änderungen von Betriebsparametern und Betriebszuständen;
- „best-estimate“ Anfangs- und Randbedingungen (typische Werte ohne Zuschläge/Postulate sofern entsprechende Daten/Statistiken vorliegen), z. B.:
 - Erkenntnisse aus repräsentativen Experimenten (z. B. experimentelle Daten für physikalische und chemische Prozesse aus Single-Effekt-Tests und Integraltests, Festigkeitskennwerte aus repräsentativen Materialproben anstelle von Mindest-/Maximalwerten aus Codes/Standards),
 - Erkenntnisse aus der Betriebserfahrung (z. B. Pumpenförderhöhen bzw. -mengen gemäß den Ergebnissen wiederkehrender Prüfungen anstelle gerade noch zulässiger Mindest-/Maximalwerte, anfängliche Systemfüllstände, -drücke, -temperaturen)
 - Erkenntnisse aus der Betriebsdokumentation (z. B. Aktivitätsinventare, Konditionierung, Anordnung der Behälter),
 - Erkenntnisse zu Auslegungsreserven,
 - Ergebnisse aus Analysen für vergleichbare Anlagen,

- Ergebnisse einer ingenieurmäßigen Betrachtung (Definition eines Erwartungshorizonts, auf dessen Basis die Wahl von Anfangs- und Randbedingungen erfolgt).

Eine Bewertung der Unsicherheiten des Ergebnisses im Hinblick auf die Aussagesicherheit der Analyse kann zum Beispiel durch Sensitivitätsanalysen (vgl. IAEA SSG-2 [9], Abschnitt 7.55) oder durch ingenieurmäßige Bewertung nach SiAnf [2], Anhang 5, Abschnitt 5 erfolgen. Bei hohen Kenntnisstandunsicherheiten kann die Aussagesicherheit auch durch die Wahl geeignet konservativer Anfangs- und Randbedingungen erhöht werden.

In der folgenden Tabelle sind wesentliche Merkmale der konservativen Nachweisführung (abdeckend oder statistische Methode) sowie der realistischen Nachweisführung vergleichend zusammengestellt.

Tabelle 1: Synopse typischer Merkmale von konservativer und realistischer Nachweisführung

Methode		Einsatz	Rechencode	Annahmen zu Anfangs- und Randbedingungen	Quantifizierung von Unsicherheiten
konservativ	abdeckend , vgl. SiAnf, Anhang 5, Abschnitt 3.4	<ul style="list-style-type: none"> • Störfallanalysen auf der SE 3 • Integritäts- und Standsicherheitsnachweise auf den SE 1 bis 4a • Nachweise zur Wirksamkeit des Sicherheitssystems bei EVI/EVA 	konservativ (ggf. auch best-estimate und weitere Betrachtungen nach SiAnf Anhang 5, Abschnitt 3.4)	konservativ	Nicht nötig, falls Anforderungen nach SiAnf, Anhang 5, Abschnitt 3.4 erfüllt.
	statistisch , vgl. SiAnf, Anhang 5, Abschnitt 3.3		best-estimate	best-estimate + Quantifizierung der Unsicherheiten	Quantifizierung der Gesamtunsicherheit des Analyseergebnisses („95 %, 95 %“)
realistisch		<ul style="list-style-type: none"> • Ereignisse auf der SE 4 • Notstandsfälle, Robustheitsanalysen, • lastannahmen-überschreitende SEWD • auslegungsüberschreitende Ereignisse bei Kernreaktoren in Stilllegung sowie bei Anlagen und Einrichtungen der Entsorgung 	best-estimate	best-estimate (bei hohen Kenntnisstandunsicherheiten ggf. auch ungünstige Anfangs- und Randbedingungen)	Keine Quantifizierung der Gesamtunsicherheit des Analyseergebnisses. Sofern relevant jedoch Bewertung der Unsicherheiten des Analyseergebnisses im Hinblick auf das Nachweisziel, beispielsweise auf Abstand zu großen oder frühen Freisetzungen bzw. zum Erfordernis einschneidender Maßnahmen des Katastrophenschutzes.

5 **Unterlagen**

- [1] Beratungsauftrag zur Klarstellung von Begriffsdefinitionen in der atomrechtlichen Nachweisführung, Schreiben 1340/000-2023.0003 des BMUV vom 07.02.2024

- [2] Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke, veröffentlicht im Bundesanzeiger am 22.11.2012, Neufassung vom 03.03.2015, geändert am 25.02.2022

- [3] Leitfaden zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss und zum Abbau von Anlagen oder Anlagenteilen nach § 7 des Atomgesetzes vom 16. September 2021 (Banz AT 23.11.2021 B2)

- [4] Empfehlung der Entsorgungskommission
Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen, 05.11.2020

- [5] Empfehlung der Entsorgungskommission
Leitlinien für die Konditionierung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, 10.12.2020

- [6] Empfehlung der Entsorgungskommission
Leitlinien für die Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, 09.12.2021

- [7] Empfehlung der Entsorgungskommission
Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in Behältern, 07.09.2023

- [8] Sicherheitsüberprüfung für Kernkraftwerke gemäß § 19a des Atomgesetzes –
Leitfaden Probabilistische Sicherheitsanalyse (BAnz. Nr. 207a vom 03.11.2005 S. 1)

- [9] IAEA Specific Safety Guide No. SSG-2 (Rev. 1)
Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants, veröffentlicht im Juli 2019

- [10] IAEA Specific Safety Requirements No. SSR-2/1 (Rev. 1)
Safety of Nuclear Power Plants: Design, veröffentlicht im Februar 2016

- [11] RSK-Stellungnahme „RSK-Verständnis zur Robustheit im Zusammenhang mit dem EU-Stresstest“ aus der 442. Sitzung der REAKTOR-SICHERHEITS-KOMMISSION (RSK) vom 17.11.2011

- [12] RSK-Stellungnahme „Zusammenfassende Stellungnahme der RSK zu zivilisatorisch bedingten Einwirkungen, Flugzeugabsturz“ aus der 524. Sitzung der REAKTOR-SICHERHEITSKOMMISSION (RSK) vom 20.10.2021

- [13] Verordnung zur Festlegung von Dosiswerten für frühe Notfallschutzmaßnahmen (Notfall-Dosiswerte-Verordnung – NDWV), 29.11.2018 (BGBl. I S. 2034, 2172 I S. 5261)

- [14] Regel KTA 3101.1
Auslegung der Reaktorkerne von Druck- und Siedewasserreaktoren
Teil 1: Grundsätze der thermohydraulischen Auslegung
Fassung 2022-11