

DIN 25471



ICS 27.120.20

Einsprüche bis 2020-10-14
Vorgesehen als Ersatz für
DIN 25471:2009-05

Entwurf

Kritikalitätssicherheit unter Anrechnung des Brennelementabbrands bei der Lagerung und Handhabung von Brennelementen in Brennelementlagerbecken von Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren

Criticality safety taking into account the burnup of fuel elements when handling and storing nuclear fuel elements in fuel pools of nuclear power plants with lightwater reactors

Sûreté-criticité compte tenu du taux de combustion des éléments combustibles lors du maniement et du stockage des éléments combustibles en piscine de refroidissement des centrales nucléaires à réacteur à eau légère

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-08-14 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nmp@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 31 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	4
4 Formelzeichen	6
5 Kritikalitätssicherheit	7
5.1 Grundsätze	7
5.2 Auslegungsannahmen und Festlegungen	8
5.2.1 Grundlegende Anforderungen	8
5.2.2 Anforderungen an die Kritikalitätsanalyse	9
5.3 Parameter, die die Kritikalitätssicherheit beeinflussen	11
5.3.1 Allgemeines	11
5.3.2 Kenngrößen der Brennelemente	11
5.3.3 Kenngrößen der Einrichtungen zur Lagerung und Handhabung der Brennelemente	12
5.3.4 Sonstige Einflussgrößen	12
5.4 Sicherstellung ausreichender Unterkritikalität	12
5.4.1 Grundsätze	12
5.4.2 Ermittlung der Unsicherheiten	13
5.4.3 Berücksichtigung der Inhomogenität des Abbrands	13
6 Ermittlung und Überprüfung des Brennelementabbrands	14
6.1 Allgemeine Anforderungen	14
6.2 Ermittlung des Brennelementabbrands	14
Anhang A (informativ) Anrechnung des Brennelementabbrands bei der Kritikalitätsanalyse von Einrichtungen zur Handhabung oder Lagerung von Brennelementen	16
A.1 Allgemeine Erläuterungen zur Anrechnung des Brennelementabbrands	16
A.2 Erläuterungen zu unterschiedlichen Nuklidsätzen und deren Anwendungsgebieten	16
A.3 Allgemeine Erläuterungen zur Bestimmung des Nuklidinventars und zur Durchführung der Kritikalitätsanalyse	18
Anhang B (informativ) Berechneter Neutronenmultiplikationsfaktor und dessen Unsicherheiten	20
Anhang C (informativ) Struktur und Parameter der Kritikalitätsanalyse, in der zum Nachweis der Kritikalitätssicherheit einer Einrichtung zur Lagerung oder Handhabung bestrahlter Brennelemente der Abbrand der Brennelemente angerechnet wird	21
C.1 Allgemeines	21
C.2 Bestimmung des Nuklidinventars bestrahlten Kernbrennstoffs	22
C.2.1 Voraussetzungen	22
C.2.2 Kenngrößen der Brennelemente	22
C.2.3 Parameter und Randbedingungen der Abbrandberechnungen	22
C.2.4 Abklingzeit der Brennelemente	26
C.3 Durchführung der Kritikalitätsberechnungen und die Festlegung der Mindestabbrände	26
C.3.1 Allgemeines	26
C.3.2 Festlegung des Nuklidsatzes und Validation des Nuklidinventars	26
C.3.3 Parameter, die die betrachtete Einrichtung charakterisieren	27
C.3.4 Axiale und horizontale Abbrandverteilungen	28
Literaturhinweise	30

Tabellen

Tabelle 1 — Formelzeichen	6
--	----------

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 062-07-54 AA „Kritikalitätssicherheit und Zerfallsleistung“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP) erstellt.

Das vorliegende Dokument enthält Anforderungen, die unter Berücksichtigung des Abbrands bestrahlter Brennelemente die Einhaltung der Kritikalitätssicherheit bei der Handhabung und Lagerung von Brennelementen in Brennelementlagerbecken von Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren sicherstellen. Eingeschlossen sind Anforderungen an die Handhabung und Lagerung unbestrahlter Brennelemente, soweit sie für die Anwendung der Norm erforderlich sind.

Die in Regel KTA 3602 enthaltenen Anforderungen an die Kritikalitätsanalyse der Handhabung und Lagerung von Brennelementen in Brennelementlagerbecken von Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren werden berücksichtigt.

Die Anrechnung des Abbrands von Brennelementen erfordert die Kenntnis des Reaktivitätszustandes des bestrahlten Kernbrennstoffs unter den Bedingungen der Handhabung oder Lagerung dieser Brennelemente. Dazu ist das Nuklidinventar des bestrahlten Kernbrennstoffs mit Hilfe von nuklearen Berechnungssystemen zu ermitteln. Dieses Nuklidinventar gehört neben den geometrischen und sonstigen Merkmalen der Brennelemente und der zu ihrer Handhabung oder Lagerung dienenden Einrichtungen zu den Eingangsdaten, die zum Nachweis der Kritikalitätssicherheit mit Hilfe entsprechend geeigneter Berechnungssysteme erforderlich sind. Die vorliegende Norm enthält daher Festlegungen zur Durchführung der Berechnung des Nuklidinventars und der Kritikalitätsanalyse von Einrichtungen, die den genannten Zwecken dienen.

Die Anrechnung des Abbrands von Brennelementen erfordert die Kenntnis ihres Abbrands und seiner Kontrolle vor der Handhabung oder Einlagerung der Brennelemente. Die vorliegende Norm enthält daher Festlegungen zur Ermittlung des Abbrands und seiner Kontrolle.

Erläuterungen zur Anrechnung des Brennelementabbrands werden in Anhang A gegeben.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN 25471:2009-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Verwendung des Einzelfallkriteriums anstelle des Doppelstörfallprinzips in Abschnitt 5.1;
- b) Verweisung auf E DIN 25478 statt auf KTA3101.2:1987 hinsichtlich Anforderungen an Berechnungssysteme und die Vorgehensweise bei der Berechnung von Nuklidinventaren;
- c) Dokument redaktionell überarbeitet, normative Verweisungen angepasst und Literaturhinweise aktualisiert.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument ist anzuwenden für den Nachweis der Kritikalitätssicherheit, insbesondere unter Anrechnung des Brennelementabbrands, bei der Handhabung und Lagerung von Brennelementen in Brennelementlagerbecken von Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 13303-1, *Stochastik — Teil 1: Wahrscheinlichkeitstheorie, Gemeinsame Grundbegriffe der mathematischen und der beschreibenden Statistik — Begriffe und Zeichen*

DIN 13303-2:1982-11, *Stochastik — Teil 2: Mathematische Statistik — Begriffe und Zeichen*

DIN 25401, *Begriffe der Kerntechnik*

DIN 25463-1, *Berechnung der Zerfallsleistung der Kernbrennstoffe von Leichtwasserreaktoren — Teil 1: Uranoxid-Kernbrennstoff für Druckwasserreaktoren*

E DIN 25478, *Einsatz von Berechnungssystemen beim Nachweis der Kritikalitätssicherheit*

DIN 25712, *Kritikalitätssicherheit unter Anrechnung des Brennstoffabbrands bei Transport und Lagerung bestrahlter Leichtwasserreaktor-Brennelemente in Behältern*

DIN ISO 3534-1, *Statistik — Begriffe und Formelzeichen — Teil 1: Wahrscheinlichkeit und allgemeine statistische Begriffe*

DIN ISO 3534-2, *Statistik — Begriffe und Formelzeichen — Teil 2: Angewandte Statistik*

DIN ISO 11929 (alle Teile), *Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Überdeckungsintervalls) bei Messungen ionisierender Strahlung — Grundlagen und Anwendungen*

KTA 1401, *Allgemeine Anforderungen an die Qualitätssicherung*

KTA 3101.2, *Auslegung der Reaktorkerne von Druck- und Siedewasserreaktoren — Teil 2: Neutronenphysikalische Anforderungen an Auslegung und Betrieb des Reaktorkerns und der angrenzenden Systeme*

KTA 3303, *Wärmeabfuhrsysteme für Brennelementlagerbecken von Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren*

KTA 3602, *Lagerung und Handhabung von Brennelementen und zugehörigen Einrichtungen in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 13303-1, DIN 13303-2, DIN 25401, DIN 25463-1, E DIN 25478, DIN ISO 11929, DIN 25712, DIN ISO 3534-1 und DIN ISO 3534-2 sowie Begriffe nach KTA 1401, KTA 3101.2, KTA 3303 und KTA 3602 und die folgenden Begriffe.

DIN und DKE stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— DIN-TERMinologieportal: verfügbar unter <https://www.din.de/go/din-term>

— DKE-IEV: verfügbar unter <http://www.dke.de/DKE-IEV>

3.1

Anfangsinventar (eines Kernbrennstoffes)

Nuklidinventar eines unbestrahlten Kernbrennstoffes

3.2

Beckenwasser (eines Brennelementlagers)

Wasser des Brennelementlagerbeckens

3.3

Brennelementlagerbecken

mit Wasser gefülltes Becken, in dem insbesondere Brennelemente gehandhabt und in Brennelementlagergestellen gelagert werden und bei dem das Wasser als Kühlmittel und zur Abschirmung dient

Anmerkung 1 zum Begriff: Wegen des Vorhandenseins des Wassers werden Brennelementlagerbecken auch Nasslager genannt.

3.4

Brennelementlagergestell

mechanische Struktur, die eine feste Anordnung von Brennelementlagerpositionen sicherstellt

3.5

Brennelementlagerposition

Position eines Brennelements innerhalb des Brennelementlagergestells

3.6

einseitige Toleranzgrenze

Wert einer Zufallsvariablen, der einen Mindestanteil $1 - \gamma$ der wahren Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zufallsvariablen mit einer Wahrscheinlichkeit $1 - \alpha$ (Konfidenzniveau) einseitig nach unten oder oben abgrenzt. Eine einseitige Toleranzgrenze ist durch den unteren oder oberen Grenzwert eines halboffenen Anteilsintervalls gegeben

Anmerkung 1 zum Begriff: Zum Begriff Anteilsintervall, siehe DIN 13303-2:1982-11, 4.7.1.

Anmerkung 2 zum Begriff: Toleranzgrenzen werden durch die Wahrscheinlichkeiten $1 - \alpha$ und $1 - \gamma$ gekennzeichnet. Wird z. B. $\alpha = \gamma = 0,05$ gewählt, so heißt die Toleranzgrenze einseitige 95 %/95 %-Toleranzgrenze.

Anmerkung 3 zum Begriff: Zur Berechnung von Toleranzgrenzen, siehe z. B. [1].

3.7

Leistungsgeschichte eines Brennelements

Darstellung der von einem Brennelement erzeugten thermischen Leistung als Funktion der Zeit für die gesamte Zeitspanne seiner Betriebszeit

3.8

Nuklidsatz

enthält die Nuklide, die bei der Kritikalitätsanalyse zur Beschreibung eines Stoffes berücksichtigt werden

3.9

Nuklidinventar

Inventar an Nukliden

Anzahldichten oder Konzentrationen aller Nuklide eines Nuklidsatzes

Anmerkung 1 zum Begriff: Sind die Nuklide näher bestimmt, so wird im Allgemeinen ihre nähere Bestimmung verwendet, z. B. Radionuklidinventar (Inventar an Radionukliden), Spaltproduktinventar (Inventar an Spaltprodukten), Spaltstoffinventar (Inventar an Spaltstoffen).

3.10

Reaktivitätsbeitrag (eines Nuklids)

Reaktivitätswert (eines Nuklids)

Reaktivitätsänderung, die durch das Entfernen eines Nuklids aus einem bestimmten Nuklidsatz hervorgerufen wird

3.11

Stellmittel

Funktionselement eines Kernreaktors, das direkt die Reaktivität beeinflusst und der Reaktorsteuerung oder -regelung dient

Anmerkung 1 zum Begriff: Steuerstäbe und Vergiftungssysteme sind Stellmittel im Sinne von DIN 25401.

[DIN 25401:2015-04, 5.120 – Anmerkung 1 gestrichen und neue Anmerkung 1 zum Begriff ergänzt.]

4 Formelzeichen

Tabelle 1 — Formelzeichen

Symbol	Bedeutung
$A_{\min}$	Mindestabbrand
Δk_A	aus der Anrechnung des Abbrands herrührende Unsicherheit oder aufgrund dieser Anrechnung erforderliche Korrektur des für eine Kernbrennstoffanordnung berechneten Neutronenmultiplikationsfaktors
Δk_B	Systematische Abweichung des zur Berechnung des Neutronenmultiplikationsfaktors eingesetzten Berechnungssystems, wie sie sich aus Vergleichen mit adäquat gewählten Benchmark-Experimenten ergibt. Δk_B enthält alle Unsicherheiten, die herrühren aus der Unsicherheit der Rechenergebnisse der anhand der Benchmark-Experimente ausgeführten Validationsrechnungen und aus den Unsicherheiten der Parameter, die die experimentellen Randbedingungen und Resultate beschreiben. Erforderlichenfalls ist Δk_B um einen Beitrag zu erhöhen, der die mit der Extrapolation von den experimentellen Randbedingungen auf die Randbedingungen der betrachteten Kernbrennstoffanordnung verbundene Unsicherheit berücksichtigt (siehe E DIN 25478).
Δk_N	Unsicherheit des berechneten Neutronenmultiplikationsfaktors, die sich aus den mit der Berechnung des Nuklidinventars bestrahlten Kernbrennstoffs verbundenen Unsicherheiten ergibt. Δk_N ergibt sich aus der Validierung des zur Berechnung des Nuklidinventars eingesetzten Berechnungssystems (siehe E DIN 25478).
Δk_R	statistische Unsicherheit oder numerischer Fehler des berechneten Neutronenmultiplikationsfaktors
Δk_S	festgelegter Sicherheitsabstand, der für einen berechneten Neutronenmultiplikationsfaktor unter Berücksichtigung der mit seiner Berechnung verbundenen Unsicherheiten vom Zustand der Kritikalität mindestens eingehalten werden muss ($\Delta k_S = 0,05$, siehe 5.1)
Δk_T	Unsicherheit, die von Maß- und Fertigungstoleranzen sowie von Toleranzen in der Materialzusammensetzung der betrachteten Kernbrennstoffanordnung herrührt.
Δk_U	Summe aus Δk_A , Δk_B , Δk_N , Δk_R und Δk_T .

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Bedeutung
$k(\vec{x})$	Neutronenmultiplikationsfaktor einer durch einen Parametersatz $\vec{x}$ definierten Kernbrennstoffanordnung.
$\vec{x}$	Parametersatz $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, der die zum berechneten Neutronenmultiplikationsfaktor $k(\vec{x})$ gehörende Kernbrennstoffanordnung charakterisiert. $\vec{x}$ umfasst die geometrischen Daten, die Kernbrennstoffdaten (z. B. Anfangsinventar an Spaltstoffen, von der Bestrahlungsgeschichte abhängiges Nuklidinventar, Abbrand) und die sonstigen Materialdaten der Kernbrennstoffanordnung. Je nach ihrer Bedeutung können die Parameter x_i von der Abklingzeit abhängig sein (siehe 5.3.2 e)).
$1 - \alpha$	Konfidenzniveau.
$1 - \gamma$	Mindestanteil an der Wahrscheinlichkeitsverteilung einer Zufallsvariablen.

5 Kritikalitätssicherheit

5.1 Grundsätze

Für jede Einrichtung, die der Handhabung oder der Lagerung von Brennelementen in Brennelementlagerbecken dient, ist eine Kritikalitätsanalyse zu erstellen.

Für jede dieser Einrichtungen ist der Nachweis der Kritikalitätssicherheit für den bestimmungsgemäßen Betrieb sowie für jeden einzelnen der für die jeweilige Einrichtung zu unterstellenden Störfälle zu erbringen. Insbesondere ist sicherzustellen, dass die Kritikalitätssicherheit bei Eintreten eines einzelnen im bestimmungsgemäßen Betrieb nicht zu erwartenden Ereignisses oder Ereignisablaufs gewährleistet bleibt (Einzelfallkriterium).

Der Nachweis der Kritikalitätssicherheit einer Einrichtung zur Handhabung und Lagerung von Brennelementen ist erbracht, wenn der unter den Annahmen in 5.2 errechnete Neutronenmultiplikationsfaktor $k(\vec{x})$ dieser Einrichtung eine obere Grenze $(1 - \Delta k_S)$ nicht überschreitet. Dabei sind alle Unsicherheiten nach 5.4.2 in das für $k(\vec{x})$ erhaltene Ergebnis einzubeziehen.

Für den Sicherheitsabstand Δk_S ist der Wert 0,05 zu wählen.

Werden bei der Berechnung von $k(\vec{x})$ keine Mindestabbrände für die Brennelemente zu Grunde gelegt, so darf in der Analyse von Störfällen in begründeten Fällen für Δk_S auch ein kleinerer Wert als 0,05 angewendet werden (siehe KTA 3602).

Beim Nachweis der Kritikalitätssicherheit sind

- alle Kenngrößen der Brennelemente (siehe 5.3.2) anzugeben,
- alle Kenngrößen der Einrichtungen zur Lagerung oder Handhabung der Brennelemente anzugeben, von denen die Kritikalitätssicherheit abhängt und deren Einhaltung bei der Herstellung, der Aufstellung oder dem Betrieb dieser Einrichtungen sicherzustellen ist (siehe 5.3.3),
- alle sonstigen Einflussgrößen anzugeben, von denen die Kritikalitätssicherheit abhängt und deren Einhaltung beim Betrieb der genannten Einrichtungen sicherzustellen ist (siehe 5.3.4).

5.2 Auslegungsannahmen und Festlegungen

5.2.1 Grundlegende Anforderungen

5.2.1.1 Allgemeines

Die zur Handhabung und Lagerung von Brennelementen in Brennelementlagerbecken in KTA 3602 enthaltenen Kritikalitätssicherheitsanforderungen sind zu erfüllen.

Außerdem sind für die Lagerung von Brennelementen die Anforderungen nach 5.2.1.2, für die Handhabung von Brennelementen die Anforderungen nach 5.2.1.3 einzuhalten.

5.2.1.2 Auslegung von Brennelementlagerbecken für die Lagerung von bestrahlten und unbestrahlten Brennelementen

Für die zur Lagerung vorgesehenen Brennelementtypen sind

- a) entweder diejenigen Kenngrößen der Brennelemente anzunehmen, die dem Zustand der unter Lagerbedingungen höchsten Reaktivität entsprechen,
- b) oder diejenigen Kenngrößen der Brennelemente anzunehmen, die bestimmten, für den Nachweis der Kritikalitätssicherheit festgelegten Mindestabbränden dieser Brennelemente entsprechen.

Der Nachweis der Kritikalitätssicherheit ist nach 5.2.2 zu führen.

Wird nach 5.2.1.2 b) verfahren, so ist das Brennelementlagerbecken in mindestens zwei Zonen aufzuteilen, von denen eine nach 5.2.1.2 a) auszulegen ist. Das Fassungsvermögen der nach 5.2.1.2 a) auszulegenden Zone ist für die Aufnahme mindestens einer vollständigen Kernladung sowie nach den sonstigen betrieblichen Belangen (siehe auch KTA 3602) zu bemessen.

ANMERKUNG Wird nach 5.2.1.2 b) verfahren, so beinhaltet der Nachweis der Kritikalitätssicherheit üblicherweise für jede der nach 5.2.1.2 b) ausgelegten Zonen jeweils die Bestimmung einer Beladungskurve, welche den Mindestabbrand als Funktion des Anfangsinventars an Spaltstoffen im Brennelement darstellt. Je nach Anordnung der Zonen kann es zu einer wechselseitigen Abhängigkeit der Beladungskurven verschiedener Zonen kommen. Verfahren zur Bestimmung von Beladungskurven sind in DIN 25712 beschrieben.

Entsprechend der Konstruktion und Aufstellung der Brennelementlagergestelle und je nach den für sie untersuchten Betriebs- oder Störfallbedingungen ist die zu betrachtende Anordnung der Brennelemente beim Nachweis der Kritikalitätssicherheit entweder als in seitlicher Richtung unendlich ausgedehnt anzunehmen, oder es ist — je nach den Gegebenheiten — von maximaler Reflexion mit Wasser oder Beton auszugehen. Wird nach 5.2.1.2 b) verfahren, so sind die Neutronenwechselwirkungen zwischen allen unterschiedlich ausgelegten Zonen zu berücksichtigen.

Für das Brennelementlagerbecken ist reines Wasser anzunehmen, soweit nicht der Zusatz von Bor oder ein Teil dieses Zusatzes nach KTA 3602 anrechenbar ist.

5.2.1.3 Auslegung sonstiger Einrichtungen zur Handhabung bestrahlter Brennelemente

Soweit nicht durch KTA 3602 anders geregelt, dürfen bei der Auslegung von Einrichtungen, die der Handhabung, dem innerbetrieblichen Transport, der Umsetzung oder der Reparatur bestrahlter Brennelemente dienen, diejenigen Kenngrößen der Brennelemente angenommen werden, die bestimmten, durch den Nachweis der Kritikalitätssicherheit festgelegten Mindestabbränden dieser Brennelemente entsprechen. Der Nachweis der Kritikalitätssicherheit ist nach 5.2.2 zu führen.

5.2.2 Anforderungen an die Kritikalitätsanalyse

5.2.2.1 Berechnung des Nuklidinventars

Bei der Bestimmung des Nuklidinventars sind die in 5.3.2 aufgeführten Brennstab- und Brennelementkenngrößen zu berücksichtigen. Für bestrahlten Kernbrennstoff gelten zusätzlich folgende Anforderungen und Festlegungen:

- a) Die Berechnung des Nuklidinventars muss unter Berücksichtigung anlagenbezogener Reaktorbetriebsbedingungen erfolgen. Die bei der Berechnung des Nuklidinventars verwendeten betrieblichen Kenngrößen und Randbedingungen sind in der Dokumentation über den Kritikalitätssicherheitsnachweis auszuweisen.

ANMERKUNG Betriebliche Kenngrößen und Randbedingungen, die die Reaktivität des bestrahlten Kernbrennstoffs beeinflussen, sind im Wesentlichen (siehe auch E DIN 25478, 4.3, sowie Erläuterungen in Anhang C):

- spezifische Leistung und Leistungsgeschichte;
 - Positionierung des jeweiligen Brennelements im Kern in seinen einzelnen Standzeiten;
 - Temperatur des Kernbrennstoffs;
 - Temperatur, Dichte und Dampfblasengehalt des Moderators;
 - Präsenz löslichen Bors im Moderator (in Druckwasserreaktoren);
 - Präsenz abbrennbarer Neutronenabsorber (z. B. Gadolinium, Erbium, Bor), die fester Bestandteil des unbestrahlten Kernbrennstoffs sind;
 - Präsenz fester Neutronenabsorber im Brennstabgitter oder zwischen den Brennelementen (z. B. Steuerstäbe, Neutronenabsorberstäbe wie z. B. Borglasstäbe).
- b) Die Reaktivität der zu betrachtenden Einrichtung zur Lagerung oder Handhabung von Brennelementen ist als Funktion der Zeit nach Bestrahlungsende der Brennelemente zu untersuchen. Es gilt:
 - 1) Die in einer solchen Untersuchung gewählte Zeitspanne muss hinreichend die geplante Standzeit der Einrichtung überdecken.
 - 2) Reaktivitätsanstiege, die durch eine solche Untersuchung aufgezeigt werden, dürfen beim Nachweis der Kritikalitätssicherheit durch eine in Bezug auf die Reaktivität nachweislich abdeckende Korrektur des verwendeten Nuklidsatzes kompensiert werden.
 - c) Die zur Berechnung des Nuklidinventars eingesetzten nuklearen Berechnungssysteme müssen die Anforderungen nach E DIN 25478, 4.3, erfüllen.

5.2.2.2 Berechnung des Neutronenmultiplikationsfaktors einer Einrichtung zur Lagerung oder Handhabung von Brennelementen

Für die Berechnung des Neutronenmultiplikationsfaktors $k(\vec{x})$ einer Einrichtung zur Lagerung oder Handhabung von Brennelementen gelten folgende Anforderungen und Festlegungen:

- a) Sämtliche im Kernbrennstoff vorhandenen Nuklide, die positive Reaktivitätsbeiträge aufweisen, sind im Nuklidsatz, der zur Bestimmung von $k(\vec{x})$ verwendet wird, zu berücksichtigen.
- b) Nuklide mit negativen Reaktivitätsbeiträgen, deren Beiträge zur Größe Δk_N (siehe Tabelle 1) bestimmt werden können, dürfen dann berücksichtigt werden, wenn diese Beiträge verifizierbar sind.
- c) Negative Reaktivitätsbeiträge von Radionukliden, deren Halbwertszeiten nicht signifikant größer sind als die geplante Standzeit der betrachteten Einrichtung, dürfen nur dann angerechnet werden, wenn dies ent-

weder durch die Absorptionseigenschaften der Zerfallsprodukte oder durch die Resultate der nach 5.2.2.1 b) auszuführenden Untersuchung gerechtfertigt ist.

- d) Negative Reaktivitätsbeiträge von Nukliden solcher Elemente oder deren chemischer Verbindungen, die bei bestimmungsgemäßem Betrieb oder unter Störfallbedingungen flüchtig werden können, dürfen nicht angerechnet werden.
- e) Abbrennbare Neutronengifte, die fester Bestandteil des unbestrahlten Kernbrennstoffs in einem Brennelement sind, dürfen berücksichtigt werden, soweit nicht durch KTA 3602 anders geregelt. Dabei ist ein möglicher Anstieg der Reaktivität mit dem Abbrand des Kernbrennstoffs zu beachten.
- f) Der reaktivste Zustand, der entsprechend der Konstruktion der betrachteten Einrichtung erreicht werden kann, ist zu ermitteln. Dabei sind die nach 5.1 zu untersuchenden Betriebs- und Störfallbedingungen zu berücksichtigen.
- g) Bei reparierten Brennelementen, bei denen bei einer Reparatur Brennstäbe entnommen oder ausgetauscht wurden, sind folgende Einflüsse auf die Reaktivität einer Brennelementanordnung zu beachten:
 - 1) Die Reparatur kann zu einer Änderung des mittleren Abbrands eines Brennelements führen.
 - 2) Ein repariertes Brennelement, das nach seiner Reparatur nochmals bestrahlt wird, kann ein im Vergleich zu einem nicht reparierten Brennelement gleichen Typs geändertes Abbrandverhalten besitzen.
 - 3) Die Reaktivität eines gefluteten Brennelements kann mit zunehmender Anzahl der aus diesem Brennelement entfernten Brennstäbe zunächst zunehmen.
- h) Die zur Berechnung des Neutronenmultiplikationsfaktors eingesetzten Berechnungssysteme müssen die Anforderungen nach E DIN 25478 erfüllen.

5.2.2.3 Zu betrachtende Störfälle

Zu den Störfällen, für die nach 5.1 Kritikalitätssicherheitsnachweise zu erbringen sind, gehört der Fall einer störfallbedingten Temperaturänderung des Beckenwassers (siehe KTA 3602 und KTA 3303).

Zusätzlich ist zu untersuchen, ob weitere Fälle zu den nach 5.1 zu behandelnden Störfällen zählen, z. B.:

- a) Borverdünnungsstörfälle in Druckwasserreaktor-Lagerbecken;
- b) Auswirkungen von Erdbeben auf die Einrichtungen zur Lagerung oder Handhabung der Brennelemente (z. B. auf die Brennelementlagergestelle, Brennelementlagerpositionen in diesen Gestellen, Einrichtungen zur Inspektion oder Reparatur von Brennelementen) sowie auf die in diesen Einrichtungen befindlichen Brennelemente;
- c) Beschädigung eines Brennelements bei der Handhabung im Brennelementlagerbecken;
- d) Absturz eines Brennelements bei seiner Handhabung
 - 1) auf ein Brennelementlagergestell,
 - 2) in eine zwischen Brennelementlagerpositionen eines Brennelementlagergestells befindliche Position (z. B. in eine für die Lagerung eines Steuerelementes reservierte Position),
 - 3) in einen neben oder zwischen Brennelementlagergestellen oder sonstigen Einrichtungen befindlichen Freiraum;
- e) versehentliches Absetzen eines Brennelements außerhalb eines Brennelementlagergestells und direkt neben diesem Gestell oder einer sonstigen Einrichtung.