

## KTA 3303

### Wärmeabfuhrsysteme für Brennelementlagerbecken von Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren

Die nachfolgend wiedergegebene Regel wurde im Auftrag des Kerntechnischen Ausschusses vom Normenausschuß Kerntechnik (NKe) vorbereitet. Der NKe beabsichtigt, diese Regel wortgleich als Norm DIN 25 484 zu veröffentlichen.

#### Inhalt

	Seite
Grundlagen .....	2
1 Anwendungsbereich.....	2
2 Begriffe.....	2
3 Einsatzfälle und zugeordnete Aufgabenstellungen .....	3
3.1 Allgemeine Aufgabenstellung.....	3
3.2 Bestimmungsgemäßer Betrieb der Anlage .....	3
3.3 Auslegungsfälle der Anlage .....	3
3.4 Ereignisse mit geringer Eintrittshäufigkeit.....	3
3.5 Systemeigene seltene Ereignisse .....	3
3.6 Sonstige Einsatzfälle.....	3
4 Auslegung .....	3
4.1 Bestimmung der abzuführenden Wärmeleistung.....	3
4.2 Einzuhalten Beckenwassertemperaturen in Abhängigkeit von den Einsatzfällen .....	4
4.3 Randbedingungen der Wärmesenke .....	5
5 Systemkonzept.....	5
5.1 Grundkonzept.....	5
5.2 Systemtechnische Verknüpfungen.....	5
5.3 Kühlmittelnachspeisung .....	5
5.4 Reaktorsicherheitsbehälter-Durchdringung.....	6
5.5 Aktivitätsbarrieren zur Wärmesenke .....	6
6 Vorgaben für das Brennelementlagerbecken und die Komponenten der BLWA-Systeme.....	6
6.1 Auslegung .....	6
6.2 Anordnung.....	6
7 Leittechnik .....	6
7.1 Steuerung.....	6
7.2 Überwachung .....	7
8 Betrieb.....	7
8.1 Betriebsweise.....	7
8.2 Instandhaltung.....	7
Anhang A: Zusammenfassende Darstellung der Auslegung der BLWA-Systeme .....	8
Anhang B: Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird .....	9
Stichwortverzeichnis.....	10

## Grundlagen

(1) Die Regeln des KTA haben die Aufgabe, sicherheitstechnische Anforderungen anzugeben, bei deren Einhaltung die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen ist (§ 7 Abs. 2 Nr. 3 Atomgesetz), um die im Atomgesetz und in der Strahlenschutzverordnung festgelegten sowie in den "Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke und den "Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle im Sinne des § 28 Abs. 3 Strahlenschutzverordnung - Störfall-Leitlinien-" weiter konkretisierten Schutzziele zu erreichen.

(2) Grundlagen für diese Regel sind:

- a) die "Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke des Bundesministers des Innern, insbesondere Kriterium 11.1, in dem gefordert wird: "Im Kernkraftwerk müssen Einrichtungen vorhanden sein, die eine sichere Handhabung, Einschließung und Lagerung der Kernbrennstoffe und sonstiger radioaktiver Stoffe ermöglichen. Diese Einrichtungen müssen so beschaffen, angeordnet und abgeschirmt sein, daß eine unzulässige Strahlenexposition des Personals und in der Umgebung, die Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung oder ein Kritikalitätsstörfall ausgeschlossen werden können. Die Einrichtung zur Lagerung bestrahlter Kernbrennstoffe muß über ausreichende Lagerkapazität sowie angemessene und hinreichend zuverlässige Systeme zur Nachwärmeabfuhr im bestimmungsgemäßen Betrieb und bei Störfällen verfügen."
- b) die RSK-Leitlinien, insbesondere Kapitel 15 über die Handhabung und Lagerung von Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen sowie Kapitel 22.1.2, soweit dort systemtechnische Vorgaben über Brennelementlagerbecken-Kühlsysteme enthalten sind.

(3) Ein wesentlicher Bestandteil der Einrichtungen zur Lagerung und Handhabung von bestrahlten Brennelementen sind die Systeme zur Abfuhr der im Brennelementlagerbecken frei werdenden Nachzerfallwärme. Diese gehören als solche nicht zu den Sicherheitssystemen der Reaktoranlage und tragen nicht zur Beherrschung von deren Störfällen bei. Sie gehören damit auch nicht zum Anwendungsbereich des Einzelfehlerkriteriums. Gleichwohl ist die Wärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken ein wichtiger Beitrag zur Radioaktivitätsrückhaltung und hat damit eine sicherheitstechnische Bedeutung. Dabei ist jedoch zu beachten, daß die Brennelementlagerbecken-Kühlung zwar einen ständigen Anforderungsfall darstellt, aber bei ihrem Ausfall bis zum Eintritt von unerwünschten Zuständen viel längere Karenzzeiten zur Verfügung stehen als bei der Anforderung von Sicherheitssystemen bei Störfällen.

(4) Die Anforderungen an die Systeme zur Wärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken werden in der vorliegenden Regel KTA 3303 behandelt; insbesondere werden die im Brennelementlagerbecken einzuhaltenden Temperaturen übergreifend für die im folgenden genannten KTA-Regeln vorgegeben. Die "Lagerung und Handhabung von Brennelementen, Steuerelementen und Neutronenquellen in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren" wird in KTA 3602 geregelt. In Ergänzung dazu werden in KTA 2502 die "Anforderungen an die Mechanische Auslegung von Brennelementlagerbecken", das heißt an "den Maschinen- und Stahlbau und die Betonkonstruktion des Lagerbeckens" gestellt. Soweit zwischen Systemen zur Wärmeabfuhr aus Brennelementlagerbecken und den Nachwärmeabfuhrsystemen, die die Nachwärme aus dem Primärkühlsystem an eine Wärmesenke abzuführen haben, ein systemtechnischer Zusammenhang besteht, wird auf die Regel KTA 3301 "Nachwärmeabfuhrsysteme von Leichtwasserreaktoren" verwiesen.

## 1 Anwendungsbereich

(1) Die Regel ist auf die Systeme zur Wärmeabfuhr aus wassergekühlten Brennelementlagerbecken in Reaktorgebäuden von Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren (Brennelementlagerbecken-Wärmeabfuhrsysteme, im weiteren Text kurz BLWA-Systeme genannt) anzuwenden. Sie enthält die Anforderungen, die bei Auslegung, Ausführung und Betrieb dieser Systeme sowie des Brennelementlagerbeckens zu berücksichtigen sind, damit in allen anzunehmenden Anforderungsfällen eine ausreichende Lagerbeckenkühlung sichergestellt ist.

### Hinweis:

Zu den BLWA-Systemen gehören nicht nur Brennelementlagerbecken-Kühlsysteme, sondern alle Systeme, die für die Wärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken an eine Wärmesenke erforderlich sind. Ferner zählen dazu auch die Bereiche anderer Systeme, z. B. der Nachwärmeabfuhrsysteme, die für die genannte Funktion mit herangezogen werden.

(2) Die Anforderungen dieser Regel sind auch auf Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme anzuwenden, soweit deren Funktionen für die Wärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken erforderlich sind.

(3) Nicht Gegenstand dieser Regel sind Anforderungen an die Auslegung und konstruktive Gestaltung des Brennelementlagerbeckens und der Komponenten, soweit sie sich nicht aus systemtechnischen Vorgaben ergeben.

### Hinweis:

Diese Anforderungen werden für das Brennelementlagerbecken in KTA 2502 und KTA 3602, für die Komponenten in KTA 3211 (in Vorbereitung) geregelt.

## 2 Begriffe

### Hinweis:

Die Begriffe Nachzerfallsleistung, Betriebszeit, Abklingzeit und Leistungshistogramm werden entsprechend den Definitionen in DIN 25 463 Teil 1 verwendet, die Begriffe Brennelementwechsel und Umsetzen von Brennelementen entsprechend den Definitionen in KTA 3602. Außerdem werden Begriffe aus KTA 3301 herangezogen, wie aktive Komponenten, Ausfall, bestimmungsgemäßer Betrieb Funktionsbereitschaft, Instandhaltung, passive Komponenten, Redundante, Redundanz, Störfall.

### (1) Beckenwassertemperatur

Die Beckenwassertemperatur ist die in Wandnähe in ausreichender Tiefe des Brennelementlagerbeckens vorhandene Mischtemperatur.

### Hinweis:

Erfahrungsgemäß unterscheiden sich die im Brennelementlagerbecken und in der Entnahmeleitung zum Brennelementlagerbecken-Kühlsystem gemessenen Temperaturen nur geringfügig, so daß man für Auslegung und Steuerung von der gemessenen Beckenwassertemperatur ausgehen kann.

### (2) Brennelement-Teilentlademenge

Die Brennelement-Teilentlademenge (BE-Teilentlademenge) ist die Anzahl jener Brennelemente, die am Ende eines Betriebszyklus nicht für den Einsatz im nächstfolgenden Betriebszyklus vorgesehen sind und deshalb beim Brennelementwechsel aus dem Reaktorkern in das Brennelementlagerbecken umgesetzt werden müssen, um dort bis zum Abtransport oder Wiedereinsatz zu verbleiben.

### (3) Kernentladung

Die Kernentladung ist die Entladung aller Brennelemente des Reaktorkerns in das Brennelementlagerbecken.

### 3 Einsatzfälle und zugeordnete Aufgabenstellungen

#### 3.1 Allgemeine Aufgabenstellung

Die BLWA-Systeme haben die Aufgabe, bei Beladung des Brennelementlagerbeckens mit bestrahlten Brennelementen im Hinblick auf

- die Arbeitsbedingungen des Betriebspersonals hinsichtlich Raum-klima und Strahlenexposition bei der Brennelement-Handhabung,
- die Brennelementlagerbecken-Integrität und
- die Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung für alle Anlagenzustände eine ausreichende Wärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken sicherzustellen.

#### 3.2 Bestimmungsgemäßer Betrieb der Anlage

(1) Während des bestimmungsgemäßen Betriebes der Anlage ist der Einsatz der BLWA-Systeme für folgende Fälle erforderlich:

Fall A:

Beckenkühlung während des Brennelementwechsels, wobei das Brennelementlagerbecken während des Umsetzens von Brennelementen mit dem Reaktordruckbehälter verbunden ist (offenes Trennschütz) und maximal der ganze Reaktorkern entladen wird.

Fall B:

Beckenkühlung nach Kernentladung, wobei das Brennelementlagerbecken vom Reaktordruckbehälter getrennt ist (geschlossenes Trennschütz).

Fall C:

Kühlung der BE-Teilentlademengen, beginnend mit dem Schließen des Trennschützes beim Anfahren, während des Leistungsbetriebes, beim Abfahren sowie beim Anlagenstillstand, endend mit dem Öffnen des Trennschützes.

(2) Die BLWA-Systeme müssen dabei in der Lage sein, die im Hinblick auf die Arbeitsbedingungen des Betriebspersonals festgelegte Beckenwassertemperatur unter Berücksichtigung anzunehmender Ausfälle einzuhalten.

(3) Bei anomalem Systemzustand der BLWA-Systeme, zum Beispiel auch bei Ausfall der Eigenbedarfsversorgung, ist eine höhere Temperatur zulässig.

#### 3.3 Auslegungsstörfälle der Anlage

(1) Bei den Störfällen, die der Auslegung der Anlage zugrunde zu legen sind, müssen die BLWA-Systeme in der Lage sein, unter Berücksichtigung anzunehmender Ausfälle die für diese Störfälle im Hinblick auf die Integrität des Brennelementlagerbeckens und eine Radioaktivitätsfreisetzung zulässige Beckenwassertemperatur einzuhalten. Diese darf höher sein als die für den bestimmungsgemäßen Betrieb festgelegten Temperaturen.

(2) Abweichend davon darf die Temperatur in den Fällen, in denen eine Beeinträchtigung der Einsatzfähigkeit oder der Wirksamkeit der BLWA-Systeme als Folge des Störfalles nicht eintreten kann, höchstens ein Niveau erreichen, das für den bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage - anomaler Systemzustand (siehe Abschnitt 3.2, Absatz 3) vorgegeben ist.

#### 3.4 Ereignisse mit geringer Eintrittshäufigkeit

Bei den Ereignissen, die wegen ihrer geringen Eintrittshäufigkeit keine Auslegungsstörfälle sind (zum Beispiel Flugzeugabsturz, Druckwelle aus chemischen Reaktionen), für die aber Maßnahmen zur Risikominimierung vorzusehen sind, gelten in bezug auf die Aufgabenstellung dieselben Forderungen wie bei Auslegungsstörfällen (siehe Abschnitt 3.3,

Absatz 1 jedoch sind im Gegensatz dazu keine Ausfälle zu unterstellen.

#### 3.5 Systemeigene seltene Ereignisse

Systemeigene seltene Ereignisse, siehe Abschnitt 4.2.4, müssen durch vorbereitete Maßnahmen (zum Beispiel Abdichtung von Anschlußstutzen des Brennelementlagerbeckens) beherrscht werden können. Diese Maßnahmen müssen so konzipiert sein, daß die bei Auslegungsstörfällen (Siehe Abschnitt 3.3, Absatz 1) zulässige Beckenwassertemperatur mit Hilfe der BLWA-Systeme eingehalten werden kann.

#### 3.6 Sonstige Einsatzfälle

Die BLWA-Systeme dürfen auch für andere Aufgaben eingesetzt werden, zum Beispiel für die Nachwärmeabfuhr entsprechend KTA 3301 oder die Brennelementlagerbecken-Reinigung, sofern auch dann die Anforderungen dieser Regel an die Wärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken für die vorgenannten Einsatzfälle erfüllt sind.

## 4 Auslegung

### 4.1 Bestimmung der abzuführenden Wärmeleistung

#### 4.1.1 Zu berücksichtigende Wärmeleistungen

(1) Bei der Ermittlung der in den verschiedenen Einsatzfällen abzuführenden Wärmeleistungen ist jeweils der Zustand zugrunde zu legen, bei dem im Rahmen der vorgesehenen Belegung die maximale Nachzerfallsleistung freigesetzt wird. Für die Brennelementwechsel-Phase (Fälle A und B) ist die freigesetzte Gesamtwärmeleistung zu berechnen aus der Nachzerfallsleistung des entladenen Kerns zuzüglich der Nachzerfallsleistung der aus bereits im Brennelementlagerbecken bei maximaler Belegung vorhandenen Brennelement-Teilentlademengen.

(2) Der Wärmeeintrag durch Komponenten der BLWA-Systeme ist zu berücksichtigen. Die Wärmeabgabe aus dem Brennelementlagerbecken durch Verdunstung, Konvektion, Wärmestrahlung und -leitung darf in Ansatz gebracht werden.

#### 4.1.2 Nachzerfallsleistung

##### 4.1.2.1 Berechnungsverfahren

Die Berechnung der Nachzerfallsleistung der im Brennelementlagerbecken untergebrachten Brennelemente ist nach DIN 25 463 Teil 1 durchzuführen. Dabei ist für den Beitrag der Spaltprodukte ein Fehlerzuschlag in Höhe der einfachen Standardabweichung ( $1 \times \text{Sigma}$ ) zu berücksichtigen. Für Brennelemente aus rezykliertem Kernbrennstoff ist eine gesonderte Berechnung der Nachzerfallsleistung erforderlich

**Hinweis:**

Das Verfahren zur Berechnung der Nachzerfallsleistung für Brennelemente aus rezykliertem Kernbrennstoff ist in der DIN 25463 Teil 2 (in Vorbereitung) aufgeführt.

##### 4.1.2.2 Betriebsparameter

(1) Als Betriebszeit der Brennelemente (zusammengefaßt in Gruppen mit gleicher Betriebsgeschichte) ist deren Einsatzzeit im Reaktor jeweils bis zum Zyklusende vor der Entladung zu wählen. Für Leistungsverlauf und Verlauf der Brennstoffzusammensetzung (Leistungshistogramm) des Reaktorkerns ist von dem Brennstoff- und Beladekonzept auszugehen, das der Planung der jeweiligen Anlage zugrunde liegt.

(2) Bei einer Abweichung von den der Planung zugrunde gelegten Betriebsparametern (zum Beispiel Zyklusdauer,

Entladeabbrand), die zu einer Erhöhung der abzuführenden Nachzerfallsleistung führen würde, ist unter Berücksichtigung der jeweils aktuellen Randbedingungen nachzuweisen, daß die nach Abschnitt 4.2 zulässigen Beckenwassertemperaturen eingehalten werden können.

#### 4.1.2.3 Abklingzeiten

(1) Zur Bestimmung der maßgebenden Abklingzeiten sind die - unter Ansetzung praxisnaher oder im Betriebshandbuch festzulegenden Randbedingungen - betriebstechnisch jeweils kürzestmöglichen Zeitspannen zwischen der Abschaltung und den auslegungsbestimmenden Zeitpunkten zugrunde zu legen.

(2) Die auslegungsbestimmenden Zeitpunkte zur Berechnung der Nachzerfallsleistung sind:

- Für die Kühlung nach Kernentladung das Ende der Brennelementumsetzung aus dem Reaktorkern in das Brennelementlagerbecken ( $t_E$ ) als Zeitpunkt der maximalen Wärmefreisetzung im Brennelementlagerbecken.
- Für die Kühlung der BE-Teilentlademengen bei bestimmungsgemäßem Betrieb der Anlage die Abtrennung des Brennelementlagerbeckens durch Schließen des Trennschützes ( $t_T$ ) nach Abschluß des Brennelementwechsels.
- Für die Kühlung der BE-Teilentlademengen bei Auslegungsstörfällen und Ereignissen mit geringer Eintrittshäufigkeit, die nach Wiederaufnahme des Leistungsbetriebes auftreten können, der Zeitpunkt der Wiederaufnahme des Leistungsbetriebes ( $t_L$ ) nach Brennelementwechsel. Bei Verknüpfung der BLWA-Systeme mit Nachwärmeabfuhrsystemen ist der ungünstigste Zeitpunkt für die Wärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken zugrunde zu legen, der auch einige Tage nach Beginn des Leistungsbetriebes auftreten kann.

## 4.2 Einzuhaltende Beckenwassertemperaturen in Abhängigkeit von den Einsatzfällen

Hinweise:

Eine zusammenfassende Darstellung der im folgenden Regeltext beschriebenen Auslegung der BLWA-Systeme ist im Anhang A tabellarisch angegeben.

Die im folgenden genannten Temperaturen  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  sind identisch mit den in KTA 2502 genannten Temperaturen  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , die der mechanischen Auslegung des Brennelementlagerbeckens zugrunde gelegt werden. Die Häufigkeit der Ereignisse, bei denen ein Temperaturanstieg des Beckenwassers auf  $T_3$  zulässig ist, wird als so gering eingestuft, daß das Eintreten eines dieser Ereignisse innerhalb der Lebensdauer eines Kernkraftwerkes nicht erwartet wird, jedoch innerhalb der Lebensdauer mehrerer Kernkraftwerke für eine dieser Anlagen nicht ausgeschlossen werden kann. Das Auftreten von  $T_3$  zählt deshalb für die mechanische Auslegung des Brennelementlagerbeckens als HS-Lastfall (siehe KTA 2502). Nach Auftreten dieser Temperatur ist eine Überprüfung der Lagerbeckenteile und -strukturen auf weitere Funktionsfähigkeit des Brennelementlagerbeckens erforderlich.

### 4.2.1 Bestimmungsgemäßer Betrieb der Anlage

#### 4.2.1.1 Normaler Systemzustand

Die BLWA-Systeme sind so auszulegen, daß auch bei maximalem Wärmeanfall eine Beckenwassertemperatur von  $T_1 = 45 \text{ °C}$  eingehalten werden kann. Dabei sind je nach Einsatzfall folgende Annahmen zu treffen:

- Bei Kernentladung (Fälle A und B) stehen alle hierfür vorgesehenen Redundanten der BLWA-Systeme zur Verfügung.

Hinweis:

Bezüglich der einzuhaltenden Randbedingungen im Fall einer Wartung siehe Abschnitt 8.2.2 Absatz 3.

- Bei Kühlung der BE-Teilentlademengen (Fall C) ist eine aktive Komponente der für diesen Fall vorgesehenen BLWA-Systeme ausgefallen oder ein Strang, an dem während dieses Betriebsfalles Wartungsmaßnahmen vorgenommen werden sollen, nicht funktionsbereit.

#### 4.2.1.2 Anomaler Systemzustand

Es muß eine Beckenwassertemperatur von  $T_2 = 60 \text{ °C}$  eingehalten werden können. Dabei sind je nach Einsatzfall folgende Annahmen zu treffen:

- Bei Kernentladung (Fälle A und B) ist eine aktive Komponente ausgefallen; die geforderte Beckenwassertemperatur muß von den verbleibenden hierfür vorgesehenen Redundanten der BLWA Systeme eingehalten werden können.
- Bei Kühlung von BE-Teilentlademengen (Fall C) sind zwei aktive Komponenten unterschiedlicher Redundanz ausgefallen oder eine passive Komponente nicht funktionsbereit (jedoch ohne Integritätsverlust, vergleiche Abschnitt 4.2.4 Aufzählung a) oder es ist ein Strang, an dem während des Betriebsfalles Wartungsmaßnahmen vorgenommen werden sollen, nicht funktionsbereit und zusätzlich eine aktive Komponente ausgefallen. Zur Beherrschung dieses Falles dürfen zusätzliche Kühlmöglichkeiten nach Abschnitt 5.1 Absatz 3 herangezogen werden.
- Die Eigenbedarfsversorgung steht in den Fällen A, B und C nicht zur Verfügung. Zusätzlich ist dabei in den für diesen Einsatzfall vorgesehenen BLWA-Systemen eine aktive Komponente ausgefallen oder ein Strang, an dem in den genannten Fällen Wartungsmaßnahmen vorgenommen werden sollen, nicht funktionsbereit.

### 4.2.2 Auslegungsstörfälle der Anlage

(1) Es muß eine Beckenwassertemperatur von  $T_2 = 60 \text{ °C}$  eingehalten werden können. Dabei ist anzunehmen, daß eine aktive Komponente der BLWA-Systeme ausgefallen oder ein Strang, an dem während des normalen Systemzustands Wartungsarbeiten vorgenommen werden sollen, nicht funktionsbereit ist.

(2) Abweichend von der in Absatz 1 geforderten Temperatur von  $60 \text{ °C}$  ist eine Beckenwassertemperatur von  $T_3 = 80 \text{ °C}$  bei den Auslegungsstörfällen zulässig, bei denen entsprechend dem Störfallbeherrschungskonzept der Anlage

- ein oder mehrere Stränge der BLWA-Systeme für die Brennelementlagerbecken-Kühlung nicht zur Verfügung stehen, damit eine andere höherrangigere Sicherheitsfunktion erfüllt wird (zum Beispiel Reaktorkühlung bei Primärkühlmittelverlust) oder
- sich durch den eingetretenen Störfall die Randbedingungen für den Einsatz der BLWA-Systeme verändern, so daß deren Kühlwirkung verringert wird.

Dabei ist anzunehmen, daß eine aktive Komponente der BLWA Systeme ausgefallen oder ein Strang, an dem während des normalen Systemzustands Wartungsarbeiten vorgenommen werden sollen, nicht funktionsbereit ist.

(3) Soweit aufgrund von Systemverknüpfungen mehr als ein Strang als nicht verfügbar angenommen werden muß, ist ebenfalls eine Temperatur von  $T_3 = 80 \text{ °C}$  einzuhalten; siehe auch Abschnitt 5.2.

### 4.2.3 Ereignisse mit geringer Eintrittshäufigkeit

(1) Nach Ereignissen mit geringer Eintrittshäufigkeit, für die Maßnahmen zur Risikominimierung vorzusehen sind, muß

eine Beckenwassertemperatur von  $T_3 = 80^\circ\text{C}$  eingehalten werden können.

(2) Ein Ausfall von Systemteilen, die für den Einsatz bei diesen Ereignissen vorgesehen und ausgelegt sind, sowie das Zusammentreffen mit Wartungsmaßnahmen an diesen Systemteilen wird nicht unterstellt. Vorgeplante Hilfsmaßnahmen dürfen berücksichtigt werden.

#### 4.2.4 Systemeigene seltene Ereignisse

Es muß eine Beckenwassertemperatur von  $T_3 = 80^\circ\text{C}$  eingehalten werden können. Dabei sind folgende Fälle zu berücksichtigen:

a) Versagen (Integritätsverlust) einer passiven Komponente (siehe Abschnitt 5.3).

Zusätzliche Ausfälle von Komponenten der BLWA-Systeme sowie das Zusammentreffen mit Wartungsmaßnahmen an diesen Systemteilen sind nicht zu unterstellen. Vorgeplante Hilfsmaßnahmen dürfen berücksichtigt werden (siehe auch Abschnitte 5.1 Absatz 3 und 6.2 Absatz 6).

b) Ausfall einer weiteren aktiven Komponente bei Wartung während des Brennelementwechsels.

Bei Systemen, an denen während des Anlagenstillstandes zum Brennelementwechsel, insbesondere nach Kernentladung, Wartungsarbeiten vorgenommen werden sollen, ist neben der Wartung eines Stranges der Ausfall einer weiteren aktiven Komponente zu unterstellen. Dabei darf der Einsatz zusätzlicher Kühlmöglichkeiten nach Abschnitt 5.1 Absatz 3 berücksichtigt werden.

##### Hinweis:

Bezüglich der einzuhaltenden Randbedingungen im Falle einer Wartung siehe Abschnitt 8.2.2 Absatz 3.

### 4.3 Randbedingungen der Wärmesenke

#### 4.3.1 Wärmeeinleitung in Gewässer

Bei Wärmeeinleitung in Gewässer (Frischwasserkühlung) ist als auslegungsbestimmende Kühlwasserentnahmetemperatur die höchste Monatsmitteltemperatur zugrunde zu legen, die in einem mehrjährigen Beobachtungszeitraum ermittelt wurde.

#### 4.3.2 Wärmeabgabe an die Atmosphäre

Bei Wärmeabgabe an die Atmosphäre über Naßkühlurmanlagen ist für die Auslegung der Systeme der Tageshöchstwert der Feuchtthermometertemperatur zu wählen, der im langjährigen Mittel an zwanzig Tagen pro Jahr erreicht wurde. Bei Wärmeabgabe über Trockenkühlurmanlagen ist die Referenztemperatur entsprechend zu wählen.

## 5 Systemkonzept

### 5.1 Grundkonzept

(1) Gemäß den Anforderungen in Abschnitt 4.2 sind die BLWA Systeme mindestens zweisträngig auszulegen. Ausnahmen bei den passiven Komponenten sind zulässig, wenn Maßnahmen zur Sicherstellung der Funktionsbereitschaft vorgesehen werden, insbesondere Maßnahmen gemäß Abschnitt 5.1 Absatz 3.

(2) Übereinstimmend mit dem strangweisen Aufbau der BLWA -Systeme sollen auch die erforderlichen leittechnischen Einrichtungen, Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme strangweise aufgebaut werden.

(3) Zur Beherrschung des Ausfalls von zwei redundanten Strängen oder einer gemeinsamen passiven Komponente

muß ein dritter Strang oder eine andere zusätzliche Kühlmöglichkeit vorhanden sein, wobei auch Hilfsmaßnahmen zulässig sind. Vorzugsweise sollen dabei in der Anlage vorhandene Einrichtungen und Kühlmedien eingesetzt werden (zum Beispiel durch Nutzung von betrieblichen Querverbindungen zu anderen Systemen).

(4) Bei der Planung des Systemkonzepts, insbesondere im Hinblick auf die Verknüpfung mit anderen Systemen sowie bei der leittechnischen Ausrüstung der Systeme, darf eine zeitlich begrenzte Unterbrechung der Beckenkühlung berücksichtigt werden. Die Karenzzeit ergibt sich aus dem Aufheißvorgang von der betrieblich vorgesehenen Maximaltemperatur, zum Beispiel gekennzeichnet durch eine Warnmeldung "Temperatur hoch", bis zur jeweils zulässigen Beckenwassertemperatur  $T_1$ ,  $T_2$  oder  $T_3$ .

### 5.2 Systemtechnische Verknüpfungen

(1) Eine systemtechnische Verknüpfung der Wärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken mit anderen Funktionen, insbesondere mit anderen Wärmeabfuhrfunktionen und mit der Brennelementlagerbecken-Reinigung, ist zulässig, wenn dabei die Anforderungen dieser Regel an die Wärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken bei allen zu betrachtenden Einsatzfällen erfüllt sind. Beispielsweise sind folgende Verknüpfungen zulässig, die einen gleichzeitigen oder zeitlich versetzten Betrieb ermöglichen:

- Verknüpfung der Brennelementlagerbecken-Kühlung mit anderen Wärmeabfuhrsystemen während des Leistungsbetriebes.
- Verknüpfung der Brennelementlagerbecken-Kühlung mit dem Nachkühlsystem und Nutzung von dessen Kühlkapazität während der Brennelementwechselphase.
- Einsatz von Komponenten der BLWA-Systeme für Nachwärmeabfuhr-Funktionen, zum Beispiel für die Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktorkern nach Einwirkung von außen.
- Verknüpfung der Stromversorgung für die NWA- und die BLWA-Systeme bei Ausfall der Eigenbedarfsversorgung.

(2) Soweit die BLWA-Systeme einschließlich der zugehörigen Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme mit Systemen verknüpft sind, bei denen für bestimmte Einsatzfälle Ausfallannahmen (zum Beispiel nach Einzelfehlerkonzept oder Regel KTA 3301) getroffen werden, sind die als nicht funktionsbereit eingestuften Systemteile auch für die Wärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken als ausgefallen im Sinne der Abschnitte 4.2.1.2 Aufzählung c und 4.2.2 zu betrachten, so daß für die BLWA-Systeme kein zusätzlicher Ausfall angenommen zu werden braucht. In diesem Fall darf auf eine zusätzliche Kühlmöglichkeit nach Abschnitt 5.1 Absatz 3 zurückgegriffen oder die Karenzzeit gemäß Abschnitt 5.1 Absatz 4 ausgenutzt werden. Alternierender Einsatz einer aktiven Komponente für mehrere Funktionen während desselben Einsatzfalles soll vermieden werden.

### 5.3 Kühlmittelnachspeisung

(1) Zur Ergänzung von Wasserverlusten durch Verdunstung und Leckagen (Stopfbuchsen, Beckenauskleidung) und zum Wiederauffüllen nach Betriebsvorgängen und Leckfällen ist eine Nachspeisemöglichkeit vorzusehen. Deren Kapazität ist so zu bemessen, daß die Summe aus Zeiten zur Fehlererkennung, Isolierung des Lecks und Wiederauffüllen bis zum Mindestwasserstand höchstens gleich der Karenzzeit ist, die bis zum Erreichen der gemäß Abschnitt 4.2.4 zulässigen Beckenwassertemperatur  $T_3 = 80^\circ\text{C}$  zur Verfügung steht. Dabei ist von einem Leckquerschnitt entsprechend dem Querschnitt einer Rohrleitung mit DN 50 auszugehen.

##### Hinweis:

Dieser Mindestwasserstand ergibt sich aus den Anforderungen

an einen ordnungsgemäßen Betrieb des Brennelementlagerbecken-Kühlsystems nach dem Abschnitt 6.2 Absätze 3 und 4.

(2) Ein Schutz gegen unbeabsichtigte Überspeisung ist vorzusehen, zum Beispiel durch ausreichende Überlaufquerschnitte oder leittechnische Überwachung (siehe Abschnitt 7.2).

#### 5.4 Reaktorsicherheitsbehälter-Durchdringung

(1) Rohrleitungen der BLWA-Systeme, die den Reaktorsicherheitsbehälter durchdringen und nach Kühlmittelverluststörfällen der Wärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken dienen, sind außerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters mit je einer mittelbar oder unmittelbar wirkenden Absperrrichtung gemäß KTA 3404 auszurüsten. Sie brauchen in den automatischen Durchdringungsabschluß nicht einbezogen zu werden, wenn die Druckauslegung des Systembereiches außerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters mindestens dessen Druckauslegung abdeckt.

(2) Rohrleitungen, die nach Kühlmittelverluststörfällen keine BLWA-Funktion haben und die außerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters an die unter Abschnitt 5.4 Absatz 1 angeführten Rohrleitungen der BLWA-Systeme anschließen, sind in den Durchdringungsabschluß gemäß KTA 3404 einzubeziehen. Unter der Voraussetzung, daß bei der Auslegung des anschließenden Systems mindestens der Auslegungsdruck des Reaktorsicherheitsbehälters zugrunde gelegt wurde, ist in den betreffenden Leitungen jeweils eine Absperrarmatur nahe der Abzweigstelle anzuordnen. Ansonsten sind zwei Armaturen vorzusehen.

#### 5.5 Aktivitätsbarrieren zur Wärmesenke

(1) Eine unkontrollierte Aktivitätsabgabe über die BLWA-Systeme an die Wärmesenke ist zu verhindern.

##### Hinweis:

Grundsätzlich werden zwei Aktivitätsbarrieren eingesetzt. Als erste Barriere kann eine passive Komponente (Wärmetauscher), als zweite Barriere eine zweite passive Komponente oder eine entsprechende Druckstaffelung vorgesehen werden.

(2) Eine Überwachung auf Leckagen und auf Aktivitäten ist gemäß KTA 1504 vorzusehen.

### 6 Vorgaben für das Brennelementlagerbecken und die Komponenten der BLWA-Systeme

#### 6.1 Auslegung

(1) Bei der Auslegung des Brennelementlagerbeckens und der Komponenten der BLWA-Systeme sind die Festlegungen aus Abschnitt 4 zugrunde zu legen. Dabei ist von den Rand- und Umgebungsbedingungen auszugehen, mit denen bei den verschiedenen Einsatzfällen zu rechnen ist. Störfallbedingt erhöhte Betriebsdrücke und geänderte Umgebungsbedingungen sind zu beachten. In den Fällen, in denen eine Überschreitung von  $T_2 = 60^\circ \text{C}$  unterstellt wird, ist der aufgrund des anzunehmenden Ereignisablaufes für das Brennelementlagerbecken ungünstigste Temperaturverlauf (sowohl für die Aufheizung als auch die Abkühlung) für dessen Auslegung anzusetzen. Die Auslegung der Antriebe ist entsprechend KTA 3504 vorzunehmen. Die zulässige Betriebstemperatur für die Komponenten des Brennelementlagerbecken-Kühlsystems soll nicht unter  $100^\circ \text{C}$  liegen.

(2) Den Erfordernissen, die sich aus den Eigenschaften der Kühlmedien (zum Beispiel Radioaktivität, Bor- und Sauerstoffgehalt) und ihren Wechselwirkungen mit den Werkstoffen ergeben, ist Rechnung zu tragen.

(3) Komponenten, deren Funktion zur Beherrschung von Einwirkungen von außen gefordert ist, sind gegen die hieraus folgenden Beanspruchungen auszulegen. Abzweigende Rohrleitungen, die nicht gegen diese Einwirkungen ausgelegt

sind, müssen absperrbar sein. Räumliche Trennung der Redundanten kann als Schutz ausreichend sein, wenn die Beanspruchungen auf Teilbereiche der Anlage begrenzt bleiben.

#### 6.2 Anordnung

(1) Die Komponenten der BLWA-Systeme sind möglichst außerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters anzuordnen, so daß sie im Bedarfsfall zur Betätigung und für Instandhaltungsmaßnahmen zugänglich sind.

##### Hinweis:

Im Hinblick auf die Instandsetzung nach einem Kühlmittelverluststörfall sind die Planungsvorgaben aus KTA 1301.1, Abschnitt 9.2.3 zu beachten.

(2) Ansaug- und Einspeisestutzen des Brennelementlagerbecken-Kühlsystems sind so anzuordnen und auszuführen, daß die Zirkulation im Brennelementlagerbecken unterstützt und eine Kurzschlußströmung vermieden wird.

(3) Für alle Betriebsfälle muß eine Wirbelbildung mit Luftansaugen verhindert werden.

(4) Die Saugleitungen des Brennelementlagerbecken-Kühlsystems sind so anzuordnen, daß auch bei erhöhter Wassertemperatur einwandfreie Zulaufverhältnisse für die Pumpen gegeben sind.

(5) Ansaug- und Einspeisestutzen sind so auszuführen, daß die Strömungsgeschwindigkeit in Hinblick auf Wellenbildung nicht zu groß wird, um die Durchsichtigkeit des Wassers nicht zu beeinträchtigen und die Aerosolbildung nicht zu fördern.

(6) Zum Erhalt der Kühlkapazität bei Leckfällen und für Instandsetzungen an den ersten Absperrarmaturen ist eine Absperrmöglichkeit der Ansaug- und Einspeisestutzen von Brennelementlagerbecken aus oder eine gleichwertige Hilfsmaßnahme vorzusehen.

(7) Rohrleitungen, die nicht der Kühlung des Brennelementlagerbeckens dienen, sind so an dieses anzuschließen, daß ihr Versagen die Kühlung nicht beeinträchtigt.

(8) Rohrleitungen innerhalb des Brennelementlagerbeckens sind so anzuordnen oder mit Einnrichtungen zu versehen, daß durch Saugheberwirkung keine unzulässige Füllstandsabsenkung möglich ist.

(9) Die Komponenten der BLWA-Systeme sind so anzuordnen, daß ihre Integrität durch mechanische Einwirkungen (zum Beispiel durch Versagen benachbarter hochenergetischer Rohrleitungen oder durch Transportvorgänge) nicht beeinträchtigt und eine Überflutung, durch die die Funktionsfähigkeit der Komponenten beeinträchtigt wird, verhindert wird.

### 7 Leittechnik

#### 7.1 Steuerung

(1) Für die BLWA-Systeme ist eine manuelle Steuerung zulässig. Die Steuerung darf komponentenweise - Einzelbetätigung - und für funktionell zusammenhängende Gruppen von Komponenten gruppenweise Gruppenbetätigung - erfolgen.

(2) Die Betätigungselemente für die BLWA-Systeme sind in der Warte vorzusehen. Wenn es das Schutzkonzept der Anlage erfordert, zum Beispiel für den Betrieb nach Einwirkungen von außen, ist eine zusätzliche Betätigungsstelle in der Notsteuerstelle oder in einem örtlichen Leitstand vorzusehen.

## 7.2 Überwachung

(1) Die Meßstelle "Beckenwassertemperatur" im Brennelementlagerbecken ist als Meßstelle der Störfallübersichtsanzeige und die Meßstelle "Beckenfüllstand" ist als Meßstelle der Störfallweitbereichsanzeige gemäß den Anforderungen von KTA 3502 auszulegen. Vor Überschreiten der Grenztemperatur  $T_2$  ist eine Gefahrenmeldung der Klasse 1 gemäß KTA 3501 zu bilden, ebenso vor dem Absinken des Beckenfüllstandes auf den Mindestwasserstand.

(2) Für die betriebliche Überwachung und die Wirksamkeit der Beckenkühlung sind weitere geeignete Zustandsgrößen zu erfassen. Vor Überschreiten der Grenztemperatur  $T_1$ , und bei Erreichen der betrieblichen Füllstandsgrenzwerte sind Gefahrenmeldungen der Klasse 2 gemäß KTA 3501 zu bilden.

## 8 Betrieb

### 8.1 Betriebsweise

(1) Der Betrieb der BLWA-Systeme hat so zu erfolgen, daß die Einhaltung der in Abschnitt 4.2 vorgegebenen Beckenwassertemperaturen sichergestellt wird, wobei eine kontinuierliche oder diskontinuierliche Betriebsweise freigestellt ist.

(2) Zu Beginn des Brennelementwechsels sollen alle Komponenten der BLWA-Systeme funktionsbereit sein.

(3) Bei allen Einsatzfällen, bei denen aufgrund der Verknüpfung mit einem anderen Wärmeabfuhrsystem eine vorübergehende Abschaltung der BLWA-Systeme vorgenommen wird, ist sicherzustellen, daß die Wiederaufnahme der Beckenkühlung rechtzeitig vor Überschreiten der jeweils zulässigen Beckenwassertemperatur möglich ist.

(4) Bei Eintritt von Auslegungsstörfällen, von Ereignissen mit geringer Eintrittshäufigkeit und von systemeigenen seltenen Ereignissen soll die in Abschnitt 4.2 genannte Beckenwassertemperatur  $T_3$  nur in Anspruch genommen werden, wenn und solange dies aufgrund des Ereignisablaufes und des Systemzustandes erforderlich ist. Anzustreben ist die Einhaltung der Temperatur  $T_2$ .

(5) Bei Einwirkungen von außen ist die Wärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken entsprechend dem Schutzkonzept der Anlage sicherzustellen.

## 8.2 Instandhaltung

### 8.2.1 Instandsetzung

(1) Bei Ausfall einer Komponente der BLWA-Systeme soll die Instandsetzung unmittelbar nach der Ausfallerkennung durchgeführt werden.

(2) Als Basis für die Festlegung der Instandsetzungszeiten ist die jeweils aktuelle Redundanz der BLWA-Stränge (unter Einbeziehung zusätzlicher Kühlmöglichkeiten gemäß Abschnitt 5.1 Absatz 3) anzusetzen, im Fall C (Kühlung der BE-Teilentlademengen) bezogen auf die Einhaltung einer Beckenwassertemperatur von  $T_2 = 60^\circ \text{C}$ , in den Fällen A und B (Kernentladung) bezogen auf die Einhaltung einer Beckenwassertemperatur von  $T_3 = 80^\circ \text{C}$ .

(3) Um die Einhaltung der im Einzelfall festzulegenden Instandsetzungszeiten sicherzustellen, sind Vorsorgemaßnahmen zu treffen.

### 8.2.2 Wartung und Inspektion

(1) Bei Wartungs- und Inspektionsarbeiten ist die unter Abschnitt 4.2.1.1 vorgegebene Beckenwassertemperatur  $T_1 = 45^\circ \text{C}$  einzuhalten.

(2) Wartungs- und Inspektionsarbeiten die zur Unterbrechung der Funktionsbereitschaft einer Komponente führen, sollen vorzugsweise dann vorgenommen werden, wenn die abzuführende Wärmeleistung aus dem Brennelementlagerbecken möglichst gering ist, zum Beispiel gegen Ende des Betriebszyklus der Anlage.

(3) Falls dennoch Wartungs- und Inspektionsarbeiten während des Anlagenstillstandes nach Kernentladung durchgeführt werden müssen, ist bei der Arbeitsplanung zu beachten:

Der Beginn der Wartungsarbeiten  $t_w$  ist so zu wählen, daß im aktuellen Fall

- mit den verbleibenden Redundanten die Beckenwassertemperatur  $T_1 = 45^\circ \text{C}$  eingehalten wird und
- bei einem postulierten zusätzlichen Ausfall einer aktiven Komponente gemäß Abschnitt 4.2.4 Aufzählung b die dort vorgegebene Temperatur  $T = 80^\circ \text{C}$  ein gehalten werden kann.

### 8.2.3 Funktionsprüfungen

An allen aktiven Komponenten sind Funktionsprüfungen vorzunehmen. Diese sollen alle vier bis acht Wochen durchgeführt werden. Diese Prüfungen können auch durch betriebliche Strangumschaltungen erfolgen.

## Anhang A Zusammenfassende Darstellung der Auslegung der BLWA-Systeme

### Brennelementlagerbecken-Wärmeabfuhrsysteme (BLWA-Systeme)

Fall (entsprechender Abschnitt der Regel)	Einzuhaltende Beckenwassertemperatur	Beladung des Brennelementbeckens	Auslegungsbestimmender Zeitpunkt <sup>1)</sup>	Nicht funktionsbereite Komponenten <sup>2)</sup>
Bestimmungsgemäßer Betrieb der Anlage, normaler Systemzustand (4.2.1.1)	45°C	Ganzer Kern BE-Teillademengen	$t_w$ $t_T$	1 Strang in Wartung <sup>4)</sup> 1 aktive Komponente ausgefallen oder 1 Strang in Wartung <sup>4)</sup>
Bestimmungsgemäßer Betrieb der Anlage, anomaler Systemzustand (4.2.1.2 a), b))	60°C	Ganzer Kern BE-Teillademengen	$t_E$ $t_T$	1 aktive Komponente ausgefallen 2 aktive Komponenten ausgefallen oder 1 passive Komponente ausgefallen oder 1 Strang in Wartung und 1 aktive Komponente ausgefallen <sup>4)</sup>
Eigenbedarfsversorgung ausgefallen (4.2.1.2 c))	60°C	Ganzer Kern BE-Teillademengen	$t_E$ $t_T$	1 aktive Komponente ausgefallen oder 1 Strang in Wartung <sup>4)</sup>
Auslegungsstörfälle der Anlage (4.2.2)	60°C 80°C <sup>5), 6)</sup>	Ganzer Kern BE-Teillademengen	$t_E$ $t_L$	1 aktive Komponente ausgefallen oder 1 Strang in Wartung <sup>4)</sup>
Ereignisse mit geringer Eintrittshäufigkeit (4.2.3)	80°C <sup>5)</sup>	Ganzer Kern BE-Teillademengen	$t_E$ $t_L/t_T$ <sup>3)</sup>	- -
Systemeigene seltene Ereignisse (4.2.4)	80°C <sup>5)</sup>	Ganzer Kern BE-Teillademengen	$t_E$ $t_w$ $t_T$	1 passive Komponente versagt (Integritätsverlust) 1 Strang in Wartung und 1 aktive Komponente ausgefallen <sup>4)</sup> 1 passive Komponente versagt (Integritätsverlust)
<p>1) Es bedeutet <math>t_E</math> Kern entladen, <math>t_T</math> Trennschutz nach Brennelementwechsel geschlossen, <math>t_L</math> Beginn Leistungsbetrieb nach Brennelementwechsel, <math>t_w</math> Beginn Wartung (siehe Abschnitt 8.2.2 Absatz 3).</p> <p>2) Soweit für den Fall asugelegt und vorgesehen; Systemverknüpfungen nicht berücksichtigt.</p> <p>3) Bei anlageninternen Störfällen <math>t_L</math>, bei Einwirkungen von außen <math>t_T</math>.</p> <p>4) Falls Wartungsmaßnahmen in diesem Fall vorgenommen werden sollen.</p> <p>5) HS-Lastfall gemäß KTA 2502.</p> <p>6) 80°C bei Auslegungsstörfällen mit Einfluß auf die BLWA-Systeme gemäß Abschnitt 4.2.2 Absatz 2.</p>				

## Anhang B

### Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird

(Verwiesene Bestimmungen gelten nur in der in diesem Anhang angegebenen Fassung)

Einzelfehlerkonzept		Interpretationen zu den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, Einzelfehlerkonzept - Grundsätze für die Anwendung des Einzelfehlerkriteriums (GMBI Nr. 13 vom 14. 6. 1984, S. 208ff)
KTA 1504	(6/78)	Messung flüssiger radioaktiver Stoffe zur Überwachung der radioaktiven Ableitungen
KTA 2502	(6/90)	Mechanische Auslegung von Brennelementlagerbecken in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren
KTA 3301	(11/84)	Nachwärmeabfuhrsysteme von Leichtwasserreaktoren
KTA 3404	(9/88)	Abschließung der den Reaktorsicherheitsbehälter durchdringenden Rohrleitungen im Falle einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen innerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters
KTA 3501	(6/85)	Reaktorschutzsystem und Überwachung von Sicherheitseinrichtungen
KTA 3502	(11/84)	Störfallinstrumentierung
KTA 3504	(9/88)	Elektrische Antriebe des Sicherheitssystems in Kernkraftwerken
DIN 25 463 Teil 1	(5/90)	Berechnung der Nachzerfallsleistung der Kernbrennstoffe von Leichtwasserreaktoren; Nichtrezyklierte Kernbrennstoffe

## Stichwortverzeichnis