

**Primärkühlmittel-Reinigungsanlagen
in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren****DIN**
25 476

Primary-coolant clean-up system in nuclear power plants with light water reactors

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	1	5 Strahlenschutzmaßnahmen	4
2 Begriffe	1	6 Betrieb, Instandhaltung, Überwachung	5
3 Aufgaben	1	6.1 Betrieb	5
4 Verfahrenstechnik	1	6.2 Instandhaltung	5
4.1 Randbedingungen für die Auslegung	1	6.3 Überwachung	5
4.2 Behandlungsverfahren	3	Zitierte Unterlagen	10
4.3 Verfahrenstechnische Auslegung	4	Erläuterungen	10

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für Planung, Errichtung und Betrieb von Anlagen zur Primärkühlmittel-Reinigung einschließlich Entgasung in ortsfesten Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren.

Diese Norm gilt nicht für Anlagen zur Primärkühlmittel-Aufbereitung¹⁾ und Lagerbeckenwasserreinigung.

2 Begriffe**2.1 Primärkühlmittel**

Primärkühlmittel ist das Wasser, das im Reaktor die Wärme der Brennelemente aufnimmt und weiterleitet.

2.2 Primärkühlmittel-Reinigung

Primärkühlmittel-Reinigung ist jede Maßnahme (z. B. Entzug), die den Gehalt an radioaktiven und nichtradioaktiven festen, gelösten und gasförmigen Verunreinigungen im Primärkühlmittel herabsetzt.

2.3 Primärkühlmittel-Austausch

Unter Primärkühlmittel-Austausch versteht man die Masse an Primärkühlmittel, die dem Primärkreislauf zur Deckung der Verluste zugegeben oder je nach Betriebsweise entzogen wird.

2.4 Reinigungsrate

Die Reinigungsrate gibt den Massenanteil des gereinigten Primärkühlmittels bezogen auf seine Gesamtmasse dividiert durch die zur Reinigung dieses Anteils benötigte Zeit an. Sie wird üblicherweise in %/h angegeben.

2.5 Primärkühlmittel-Masse

Die Primärkühlmittel-Masse entspricht

- beim Druckwasserreaktor (kurz DWR) der Wassermasse des Primärkreislaufes einschließlich Wasserphase des Druckhalters beim Leistungsbetrieb,
- beim Siedewasserreaktor (kurz SWR) der Wassermasse des Reaktordruckbehälters.

Diese Angaben beziehen sich auf den Zustand des Primärkühlmittels bei 100 % Leistungsbetrieb.

2.6 Dekontaminationsfaktor (DF) für Wasser

Der Dekontaminationsfaktor für Wasser ist der Quotient aus der Aktivitätskonzentration des Wassers vor der Reinigung und der Aktivitätskonzentration des gereinigten Wassers.

3 Aufgaben

Die Primärkühlmittel-Reinigung für Leichtwasserreaktoren hat die Aufgaben

- Spalt- und Aktivierungsprodukte aus dem Primärkühlmittel zu entfernen, und
- zur Einhaltung der spezifizierten Wasserqualität (siehe Abschnitt 4.1.2) beizutragen.

Anmerkung: Beim DWR muß die Primärkühlmittel-Reinigung ihre Aufgaben erfüllen, ohne daß sich die Borkonzentration im Primärkühlmittel ändert.

4 Verfahrenstechnik**4.1 Randbedingungen für die Auslegung****4.1.1 Aktivitätskonzentration im Primärkühlmittel**

Die Aktivitätskonzentration im Primärkühlmittel wird durch radioaktive Nuklide hervorgerufen, die entsprechend ihrem Bildungsmechanismus in Spaltprodukte und Aktivierungsprodukte unterteilt werden.

Anmerkung: Ausführliche Angaben (Literaturhinweise) siehe [1] bis [5].

4.1.1.1 Spaltprodukte

(1) Der Hauptanteil der gebildeten Spaltprodukte verbleibt im Brennstoff. Ein sehr geringer Teil der Spaltprodukte tritt bei Brennstabdefekten ins Primärkühlmittel über. Die für die Auslegung der Primärkühlmittel-Reinigungsanlage von Leichtwasserreaktoren wesentlichen Nuklide sind in Tabelle 1 angegeben.

¹⁾ Siehe Erläuterungen

Fortsetzung Seite 2 bis 11

Normenausschuß Kerntechnik (NKe) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

Tabelle 1. Spaltprodukte (Anhaltswerte für die Auslegung)

Nuklid	Halbwertszeit HW ²⁾	Freisetzung für			
		DWR		SWR	
		$10^4 \frac{1}{s^2 \cdot MW^1)}$	$\frac{\mu Ci}{s \cdot MW^1)}$	$10^4 \frac{1}{s^2 \cdot MW^1)}$	$\frac{\mu Ci}{s \cdot MW^1)}$
Kr 85m	4,48 h	18,5	5	96,2	26
Kr 87	76,3 min	66,6	18	325,6	88
Kr 88	2,84 h	66,6	18	336,7	91
Xe 133	5,25 d	18,5	5	92,5	25
Xe 135	9,10 h	70,3	19	344,1	93
J 131	8,02 d	7,4	2	7,4	2
J 132	2,30 h	99,9	27	99,9	27
J 133	20,8 h	55,5	15	55,5	15
J 134	52,0 min	284,9	77	284,9	77
J 135	6,61 h	92,5	25	92,5	25

1) Die Leistung bezieht sich auf die thermische Leistung des nuklearen Dampferzeugungssystems.
 2) Karlsruher Nuklidkarte, 5. Auflage 1981.

Tabelle 2. Aktivierungsprodukte (Anhaltswerte für die Auslegung)

Nuklid	Halbwertszeit ¹⁾	Aktivitätskonzentrationen im Primärkühlmittel bei einer Reinigungsrate von 10%/h			
		DWR		SWR	
		Bq/t	Ci/t	Bq/t	Ci/t
Cr 51	27,70 d	$7,4 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^{-3}$	$18,5 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^{-3}$
Mn 54	312,2 d	$7,4 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^{-4}$
Co 58	70,78 d	$7,4 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^{-3}$	$11,1 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^{-3}$
Co 60	5,272 a	$22,7 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^{-3}$

1) Karlsruher Nuklidkarte, 5. Auflage 1981.

(2) Die in Tabelle 1 genannten Freisetzungsraten sind Auslegungswerte für den konstanten Leistungsbetrieb (Kernkraftwerke der 1300 MWe-Klasse).

(3) Die Auslegung der Primärkühlmittel-Reinigungsanlage nach Abschnitt 4.3, Absatz 2, deckt auch die kurzzeitigen erhöhten Freisetzungsraten der Spaltprodukte bei Laständerungen und Abschaltungen mit ab.

(4) Die Konzentrationswerte der einzelnen Spaltprodukte (Nuklide) im Primärkühlmittel sind im wesentlichen von den Freisetzungsraten (siehe Tabelle 1), Halbwertszeiten, von der Reinigungsrate der Primärkühlmittel-Reinigungsanlage und dem Primärkühlmittel-Austausch abhängig. Berechnungsgrundlagen sind in den angegebenen Literaturstellen [1], [2] und [5] beschrieben.

4.1.1.2 Aktivierungsprodukte

(1) Die für die Auslegung der Primärkühlmittel-Reinigungsanlage wesentlichen Aktivierungsprodukte aus der Korrosion und dem Verschleiß von Werkstoffen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

(2) Die in Tabelle 2 genannten Aktivitätskonzentrationen sind Auslegungswerte für den konstanten Leistungsbetrieb (Kernkraftwerke der 1300 MWe-Klasse) und einer Reinigungsrate von 10%/h.

(3) Die Auslegung der Primärkühlmittel-Reinigungsanlage nach Abschnitt 4.3, Absatz 2, deckt auch die kurzzeitig erhöhten Aktivitätskonzentrationen der Aktivierungsprodukte bei Laständerungen und Abschaltungen mit ab.

4.1.2 Primärkühlmittel-Qualität

(1) Im Dauerbetrieb sollen folgende Spezifikationswerte im Primärkühlmittel eingehalten werden (siehe auch VGB-Wasserichtlinien):

DWR:

Lithium-7-hydroxid	0,2 bis 2 mg/kg 7 Li^+
Wasserstoff	2 bis 4 mg/kg H_2
Chlorid	< 0,2 mg/kg Cl^-
Sauerstoff	< 0,05 mg/kg O_2
Kieselsäure	< 4 mg/kg SiO_2
Borsäure**)	< 0 bis 2500 mg/kg B

SWR:

Kieselsäure	< 4 mg/kg SiO_2
Chlorid	< 0,2 mg/kg Cl^-
Leitfähigkeit	< 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$

(2) Für An- und Abfahrvorgänge und für größere Lastwechsel können andere Spezifikationswerte im Betriebshandbuch festgelegt werden.

4.2 Behandlungsverfahren

4.2.1 Allgemeines

(1) Die Reinigungsrate der Primärkühlmittel-Reinigungsanlage, der Dekontaminationsfaktor und die Halbwertszeit der Spalt- und Aktivierungsprodukte beeinflussen wesentlich den Entzug von Radionukliden aus dem Primärkühlmittel.

Der Einfluß des Dekontaminationsfaktors auf die Gleichgewichtskonzentration eines langlebigen oder stabilen Isotops im Primärkühlmittel ist für eine Reinigungsrate von 20%/h in Bild 1 dargestellt, den Einfluß der Reinigungsrate im Gleichgewichtszustand bei einem Dekontaminationsfaktor von 10 gibt Bild 2 wider.

(2) Der Entzug von Verunreinigungen durch die Primärkühlmittelreinigung erfolgt derart, daß in gleichen Zeitabschnitten immer gleiche Anteile aus dem Primärkühlmittel entfernt werden. Deshalb kann für die Reinigung in Anlehnung an den radioaktiven Zerfall eine „Reinigungs-Halbwertszeit“¹⁾ definiert werden, die sich für Radionuklide mit deren physikalischer Halbwertszeit überlagert.

Die Aktivitätskonzentration eines Spalt- oder Aktivierungsproduktes im Primärkühlmittel wird somit durch dessen „effektive Halbwertszeit“¹⁾ beeinflusst. Somit wird die Primärkühlmittelreinigung also nur auf die Aktivitätskonzentration solcher Radionuklide Einfluß haben, deren physikalische Halbwertszeit größer oder gleich den „Reinigungs-Halbwertszeiten“ sind.

Bei einem Dekontaminationsfaktor von 10 entspricht eine Reinigungsrate von 10%/h (20%/h) einer „Reinigungs-Halbwertszeit“ von 7,7 h (3,9 h). Bei diesen Reinigungsraten wird beispielsweise die Aktivitätskonzentration des Radionuklids J-134 (HW = 52 min) nicht wesentlich durch die Wirkung der

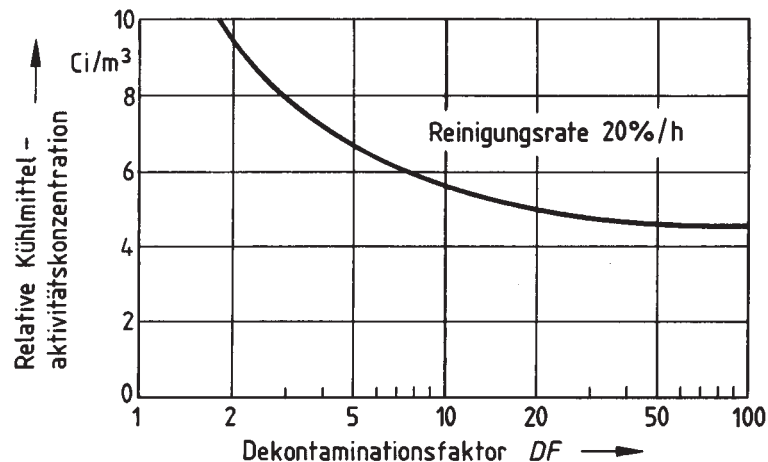


Bild 1. Einfluß des Dekontaminationsfaktors auf die Änderung der Aktivitätskonzentration im Primärkühlmittel bei einer Reinigungsrate von 20%/h

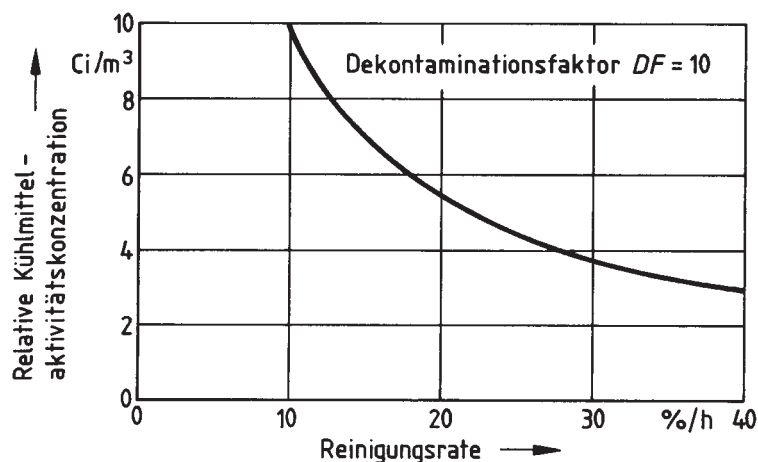


Bild 2. Einfluß der Reinigungsrate auf die Änderung der Aktivitätskonzentration im Primärkühlmittel

**) Die Konzentration der Borsäure wird entsprechend den kernphysikalischen Bedingungen eingestellt.

¹⁾ Siehe Erläuterungen

Primärkühlmittel-Reinigungsanlage beeinflusst, hingegen wird J-133 (HW = 20,8 h) deutlich durch die Primärkühlmittel-Reinigungsanlage reduziert.

(3) Für den Entgaser beim DWR ergeben sich die gleichen Zusammenhänge.

4.2.2 Ionenaustausch

(1) Bei der Anwendung des Ionenaustauschs für die Dekontamination von Primärkühlmittel werden radioaktive und nichtradioaktive Ionen an Ionenaustauschern gebunden [6]. Dabei wird, bezogen auf die Ladung, eine äquivalente Menge Ionen vom Ionenaustauscher abgegeben. Die zum Einsatz kommenden Ionenaustauscherharze sollen möglichst chloridarm sein.

(2) Grundsätzlich wird das zu reinigende Primärkühlmittel durch Ionenaustauschfilter geleitet, die Kationen- und Anionenaustauscherharze enthalten. Die Wirksamkeit des Ionenaustauschs ist abhängig von

- der Selektivität und dem Konzentrationsverhältnis der auszutauschenden Ionen
- dem Beladungszustand des Ionenaustauschers
- den pH-Wert und der Temperatur des Primärkühlmittels in der Primärkühlmittel-Reinigungsanlage
- den anlagenspezifischen Kenndaten des Ionenaustauschfilters.

Zum Entfernen von Radionukliden sind entsprechend Bild 1 Dekontaminationsfaktoren von $DF > 10$ nicht erforderlich.

(3) Erschöpfte Ionenaustauscherharze werden ohne Regeneration als Feststoffabfall gelagert.

4.2.3 Filtration

(1) Die Filtration ist ein Verfahren zum Abtrennen von aktivierten und nichtaktivierten Feststoffen aus dem Primärkühlmittel mit einer für Wasser durchlässigen Schicht.

(2) Als Filtereinrichtungen sind z.B. Siebe (Oberflächenfilter), Bettfilter (Tiefenfilter) und Anschwemmfilter (Oberflächenfilter) bekannt.

Durch die Beschaffenheit der Feststoffe im Primärkühlmittel und durch die erforderliche Reinheit des Filtrates wird die Filtereinrichtung bestimmt.

(3) Der erreichbare Dekontaminationsfaktor beträgt je nach Art und Menge der Verunreinigungen 2 bis 20.

4.2.4 Entgasung

(1) Die Entgasung dient der Entfernung gasförmiger Radionuklide und nichtradioaktiver Gase aus dem Primärkühlmittel. Sie wird dann sinnvoll eingesetzt, wenn

- die Aktivität durch gasförmige Radionuklide bestimmt wird, und
- die nichtradioaktiven Gase zur Einhaltung der Spezifikationswerte des Primärkühlmittels entfernt werden müssen.

(2) Die Entgasung erfolgt durch Erniedrigen der Gaslöslichkeit im Primärkühlmittel mittels

- Erhöhung der Temperatur bis zum Siedepunkt
- Senken des Partialdrucks durch Anlegen eines Vakuums oder durch eine Kombination dieser Verfahren.

(3) Durch die Entgasung können je nach der Eingangsaktivität der im Primärkühlmittel gelösten radioaktiven Gase Dekontaminationsfaktoren bis 10^3 erreicht werden.

4.3 Verfahrenstechnische Auslegung

(1) Die Primärkühlmittel-Reinigungsanlage ist im Bypass zum Primärkreislauf zu schalten. Das Primärkühlmittel muß vor seinem Eintritt in die Primärkühlmittel-Reinigungsanlage unter die für sie zulässigen Druck- und Temperaturwerte gebracht werden.

(2) Die Primärkühlmittel-Reinigung ist für eine Reinigungsrate von 20%/h auszulegen. Bei der wärmetechnischen und

hydraulischen Auslegung sind gegebenenfalls systembedingte erhöhte Durchsätze bei An- und Abfahrvorgängen zu berücksichtigen.

Anmerkung: Je nach radiologischen und chemischen Erfordernissen können beim Betrieb der Primärkühlmittel-Reinigungsanlage auch kleinere Reinigungsraten als der Auslegungswert gefahren werden.

(3) Der Ionenaustausch kann mit Kugel- oder Pulverharzen erfolgen. Die Auswahl des Verfahrens für die ionale Reinigung erfolgt in Abhängigkeit von der spezifizierten Wasserqualität und den spezifischen Eigenschaften der Ionenaustauscherharze.

Die Standzeit der Ionenaustauscherharze soll bei Kugelharzen mindestens $\frac{1}{2}$ Jahr und bei Pulverharzen mindestens 3 Wochen betragen.

(4) Die Abscheidung von ungelösten Korrosionsprodukten kann durch die vorhandenen Ionenaustauscher und bei Kugelharzen in Verbindung mit vor- oder nachgeschalteten mechanischen Filtern erfolgen. Diese Filter müssen ein Rückhaltevermögen von mindestens 98% für Partikelgrößen $\geq 3 \mu\text{m}$ haben.

Anmerkung: Es kann vorteilhaft sein, den in der Brennelement-Lagerbeckenreinigungsanlage befindlichen Ionenaustauscher mit in die Primärkühlmittel-Reinigung einzubeziehen.

Beim DWR kann auch ein separater Kationenaustauscher zum Lithium- und zum Cäsiumentzug vorgesehen werden.

(5) Mögliche Schaltungen von Primärkühlmittel-Reinigungsanlagen sind den Bildern 3, 4 und 5 zu entnehmen.

5 Strahlenschutzmaßnahmen

(1) Die bei der Auslegung der Primärkühlmittel-Reinigungsanlage zu beachtenden Gesichtspunkte des Strahlenschutzes sind der KTA-Regel 1301.1 zu entnehmen. Besonders sind bei dieser Anlage folgende Punkte zu beachten:

- a) Nicht rückspülbare mechanische Filter sind so auszulegen und anzuordnen, daß das Personal bei Wechsel des Filtereinsatzes mit geeigneten Abschirmungen und Einrichtungen geschützt ist. Die mechanischen Filter, die mit einer Wechseleinrichtung bedient werden, sind möglichst zu einer Station zusammenzufassen.
- b) Harztransportleitungen sind dem Fördermedium angepaßt strömungstechnisch günstig zu verlegen und in abgeschirmten Bereichen anzuordnen. Das Einbringen von frischen Harzen hat nur von begehbaren Bereichen aus zu erfolgen.
- c) Es muß sichergestellt werden, daß radioaktiv kontaminiertes Wasser durch Undichtwerden, Überlaufen oder Fehlbedienung von Komponenten nicht in das Erdreich, das Oberflächen- oder Grundwasser eindringen oder unkontrolliert in ein inaktives Abwassernetz entweichen kann.
- d) Um eine Ausbreitung von flüchtigen radioaktiven Stoffen in die Raumluft von begehbaren Räumen möglichst gering zu halten, sind die Anlagenräume der Primärkühlmittel-Reinigungsanlage in das Fortluftsystem des Kernkraftwerkes einzubeziehen.
- e) Die Be- und Entlüftung der Komponenten, in denen sich radioaktiv kontaminiertes Wasser befindet, hat so zu erfolgen, daß keine unkontrollierte Freisetzung von Radionukliden in die Räume erfolgt. Zu diesem Zweck ist bei Komponenten mit Aerosol-, Jod- und/oder Edelgasfreisetzung ein Anschluß an Lüftungssysteme mit entsprechenden Rückhalteeinrichtungen oder an das Abgasystem vorzusehen.