

2.7.2 Komponenten des Reaktorkühlsystems

Werkstoffe

Als Grundwerkstoff für Mäntel, Böden und Stutzen der Komponenten des Reaktorkühlsystems wird der niedrig legierte, warmfeste Feinkornbaustahl 20 MnMoNi 5 5 oder 22 NiMoCr 3 7 verwendet. Alle mit dem Kühlmittel in Berührung kommenden Oberflächen sind durch eine austenitische Auftragschweißung gegen Korrosion geschützt. Eine Ausnahme bildet der Abblasebehälter, der insgesamt aus Austenit gefertigt wird.

Für Reaktordruckbehälter, Dampferzeuger und Druckhalter werden nahtlose Schmiedeteile des Grundwerkstoffes verwendet. Auch die Kühlmittelrohrleitungen sind aus nahtlos geschmiedeten bzw. gepreßten Rohren und Bögen dieser Grundwerkstoffe hergestellt. Die Gehäuse der Kühlmittelpumpen sind geschmiedet.

2.7.2.1 Reaktordruckbehälter

(Tab. 2.7.2.1/1; Abb. 2.7.2.1/1 u. 2)

Der Reaktordruckbehälter (RDB) mit seinen Einbauten dient der Aufnahme des Reaktorkerns und der Strömungsführung des Kühlmittels. Durch die Eintrittsstutzen tritt das Kühlmittel in den Behälter ein, strömt in einem Ringspalt zwischen Kernbehälter und Druckbehälterwand axial nach unten, durchströmt nach Umlenkung den Reaktorkern von unten nach oben und verläßt durch die Austrittsstutzen den Behälter. Die Stutzen für den Kühlmittellein- und -austritt liegen in einer Ebene oberhalb der Oberkante des Reaktorkerns. Unterhalb der Kühlmittelstutzen hat das Druckbehälterunterteil keine weiteren Öffnungen und keine Anschlußleitungen. Der Reaktorkern kann also bei einem Leck in einer Anschlußleitung durch das Not- und Nachkühlsystem immer mit Wasser aufgefüllt werden.

Da die gesamte Innenoberfläche des Druckbehälters, abgesehen von den Austrittsstutzen, nur mit Kühlmittel von Eintrittstemperatur in Berührung kommt, können sich entlang der Behälterwand nur geringe Temperaturunterschiede ausbilden. Alle vom Kühlmittel benetzten Flächen sind mit einem korrosionsbeständigen Werkstoff schweißplattiert.

Der Reaktordruckbehälter ist mit einer Wärmeisolierung umgeben. Diese ist im Bereich des Deckelflansches abnehmbar und im zylindrischen Bereich mit Abstand zur RDB-Außenfläche angebracht.

Das Behälterunterteil besteht aus folgenden 5 Hauptteilen, die durch Schweißnähte verbunden sind:

- dem unteren Halbkugelboden, der sich aus einer Bodenkalotte und einem einteiligen Bodenzonenring zusammensetzt
- dem zylindrischen Mantel aus 2 nahtlos geschmiedeten Ringen und
- einem verstärkten Schmiedering, dem Mantelflansch, der zugleich als Flansch und Ausschnittsverstärkung im Bereich der Kühlmitteldurchtrittsöffnungen dient.

In der Bodenkalotte befindet sich ein Tragrings, an den die Siebtonne angeschweißt wird. Sie bewirkt eine gleichmäßige Verteilung des Kühlmittels. Im Halbkugelboden sind Kernbehälter-Begrenzungen eingeschweißt. An dem Mantelflansch sitzen außer den Kühlmittelstützen auch die Tragpratzen sowie Tangentialanschlüsse. Am Innenrand der Kühlmittelaustrittsbohrungen sind kurze Ringe aufplattiert, an die sich die Austrittsstützen des Kernbehälters anlegen. An der Innenseite des Mantelflansches befindet sich eine ringförmige Tragleiste für die Aufhängung des Kerngerüsts. Oberhalb dieser Tragleiste sind Führungsklötze zur Zentrierung des Kernbehälters befestigt.

Der Mantelflansch nimmt die Beanspruchung durch die Schraubverbindung mit dem Deckel auf und ist soweit verstärkt, daß er die Ausschnittsverstärkung für die Kühlmitteldurchtrittsbohrungen sowie die Tragpratzenkräfte aufnehmen kann. Der Teilkreis der Stiftschrauben liegt nahe der neutralen Faser des Zylindermantels, um die Biegebeanspruchung des Flansches klein zu halten.

Die Kühlmittelstützen am Flansching sind bearbeitete nahtlose Schmiedestücke, die auf die Druckbehälterwand aufgesetzt und mit einer durchgeschweißten Naht verbunden sind.

Der Deckel besteht aus folgenden 2 Hauptteilen, die durch eine Schweißnaht verbunden sind:

- dem Deckelflansch und
- der Deckelkalotte

Die Deckelkalotte nimmt die in quadratischer Gitterteilung angeordneten Stützen für die Steuerantriebe, die Kerninstrumentierung, RDB-Füllstandsmessung und die Entlüftung auf. Die Ausschnittsverstärkung erfolgt durch einen entsprechenden Wanddickenzuschlag der Kalotte. Die Stützen werden in die Deckelbohrungen eingeschraubt und mit einer in die Bohrungen eingebrachten Auftragschweißung dicht verschweißt. Auf der Deckelkalotte sind 3 Deckelstandrohre zum Transport des Deckels angeschweißt.

Behälterunterteil und Deckel sind durch 52 Stiftschrauben /Scheiben jeweils aus dem Werkstoff 26 NiCrMo14 6 und Muttern aus dem Werkstoff 34 CrNiMo 6 miteinander verbunden. Die Stiftschrauben sind als Dehnschrauben ausgebildet und in Sacklöcher des Mantelflansches eingeschraubt. Der Schraubenkopf ist so ausgebildet, daß die Schraubenspannvorrichtung beim Vorspannen die Spannkraft auf die Stiftschrauben übertragen kann.

Die Muttern und die Unterlegscheiben sind an ihren gegenseitigen Auflageflächen zur Erzielung gleichmäßiger Lastverteilung kugelig ausgebildet.

Die Dichtung der Flanschverbindung zwischen Deckel und Behälterunterteil übernehmen zwei konzentrisch angeordnete, hohle metallische O-Ringe (vgl. Abschn. 2.7.1.4.1).

Beim Brennelementwechsel wird der Deckel des Druckbehälters zusammen mit Montageplattform, Deckelisolierung, Steuerantrieben und O-Ringen abgenommen.

Herstellung

Der Reaktordruckbehälter wird aus geschmiedeten, nahtlosen Ringen, Flanschen und warmgepreßten Kalotten hergestellt. Diese Teile werden aus Blöcken gefertigt, die zur Erzielung besonderer Reinheit und Gleichmäßigkeit des Stahles im Elektroofen erschmolzen und unter Vakuum abgegossen werden. Nach Schmieden bzw. Warmumformung werden die Teile vergütet. Durch diesen Vergütungsprozeß werden die erforderlichen mechanischen Werkstoffeigenschaften erreicht. Nach der Vergütung werden die Schmiedeteile bearbeitet.

Die fertig bearbeiteten Schmiedeteile werden durch Rundnähte zusammengesweißt und plattiert. Nach Beendigung aller Schweißarbeiten erfolgt eine letzte Spannungsarmglühung. Mit der Endbearbeitung ist die Fertigung des RDB abgeschlossen.

Kombinierte Schraubenspann- und Bolzendrehvorrichtung für Reaktordruckbehälter

Die Schraubenspann- und Bolzenspannvorrichtung (SSPV/BAV) erlaubt:

1. das gleichzeitige Dehnen der RDB-Schrauben beim Schließen des RDB
2. ein automatisches Heraus- und Hineindreihen der RDB-Schrauben

Mit der Funktionseinheit für das Dehnen der Schrauben werden alle Schrauben des RDB gleichzeitig und gleichmäßig verspannt oder entspannt. Die auf einem Tragring angeordneten hydraulischen Spanneinheiten übertragen die Spannkraft mit einem Greifmechanismus auf das obere Schraubenende und dehnen die Schrauben entsprechend der geforderten Vorspannung. Die Stiftschraubenmutter werden über die gesamte Gewindelänge geschraubt. Für jede Mutter ist dazu ein eigener Antrieb vorhanden. Die vom Schraubenbolzen abgeschraubten Muttern werden im Tragring der Schraubenspannvorrichtung gehalten und transportiert.

Beim Spannen stehen alle Spanneinheiten unter gleichem, von einem Hydraulikpumpenaggregat erzeugtem Druck und spannen dadurch sämtliche Schrauben mit derselben Vorspannkraft, wodurch bestmögliche Dichtwirkung erzielt wird.

Die Längung der RDB-Schrauben wird von Meßstangen, die in die RDB-Schrauben eingesetzt werden über Meßfühler ermittelt und elektronisch auf das Steuerpult übertragen.

Das Öffnen und Verschließen des RDB kann mit dieser Vorrichtung in sehr kurzer Zeit bei niedriger Strahlenbelastung des Personals ausgeführt werden.

Die Bolzenspannvorrichtung ist integrierter Bestandteil der Schraubenspannvorrichtung und wird in 2 Schienen, die sich auf der SSPV befinden, verfahren und geführt.

Die BAV dreht alle Schrauben nacheinander gewichtsentlastet aus und verriegelt die Schrauben nach dem Ausdrehen einschl. der auf den Schrauben sitzenden RDB-Muttern in der SSPV/BAV.

Die Bolzenausdrehvorrichtung wird manuell in Position gebracht; danach laufen alle Funktionsschritte des Aus- bzw. Eindrehvorganges nach Betätigung einer Starttaste im Rahmen einer Folgesteuerung selbsttätig ab.

Der vollautomatische Ablauf kann jederzeit unterbrochen und vom Bedienungspersonal in Einzelschritten fortgesetzt werden.

Die Bedienung der SSPV/BAV erfolgt von einem Hauptsteuerpult aus, das am Beckenrand aufgestellt wird.

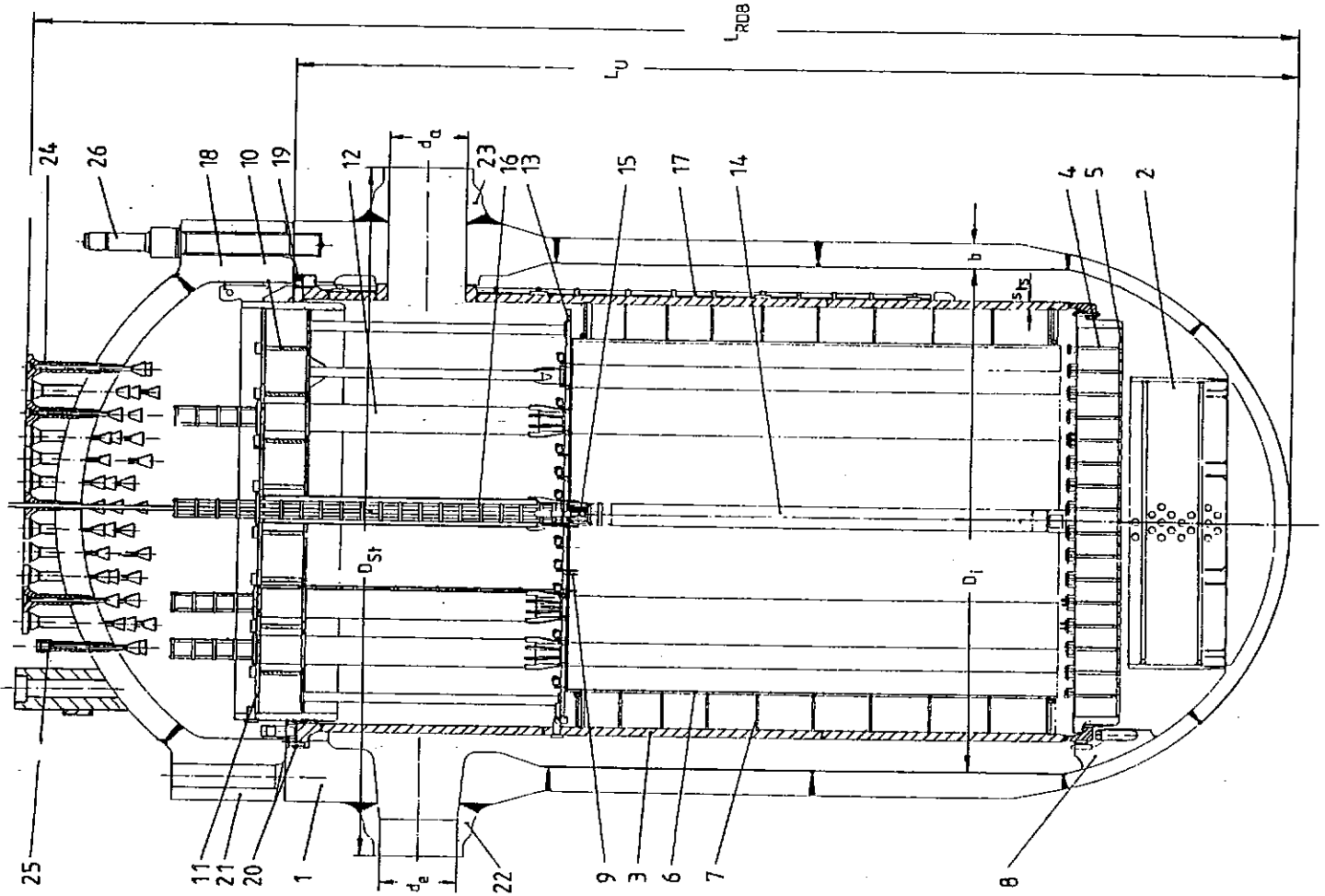
Der Tragrings der Schraubenspannvorrichtung ist in zwei Teile zerlegbar, um den Transport der Vorrichtung durch die Materialschleuse zu ermöglichen.

Tabelle 2.7.2.1/1Reaktordruckbehälter

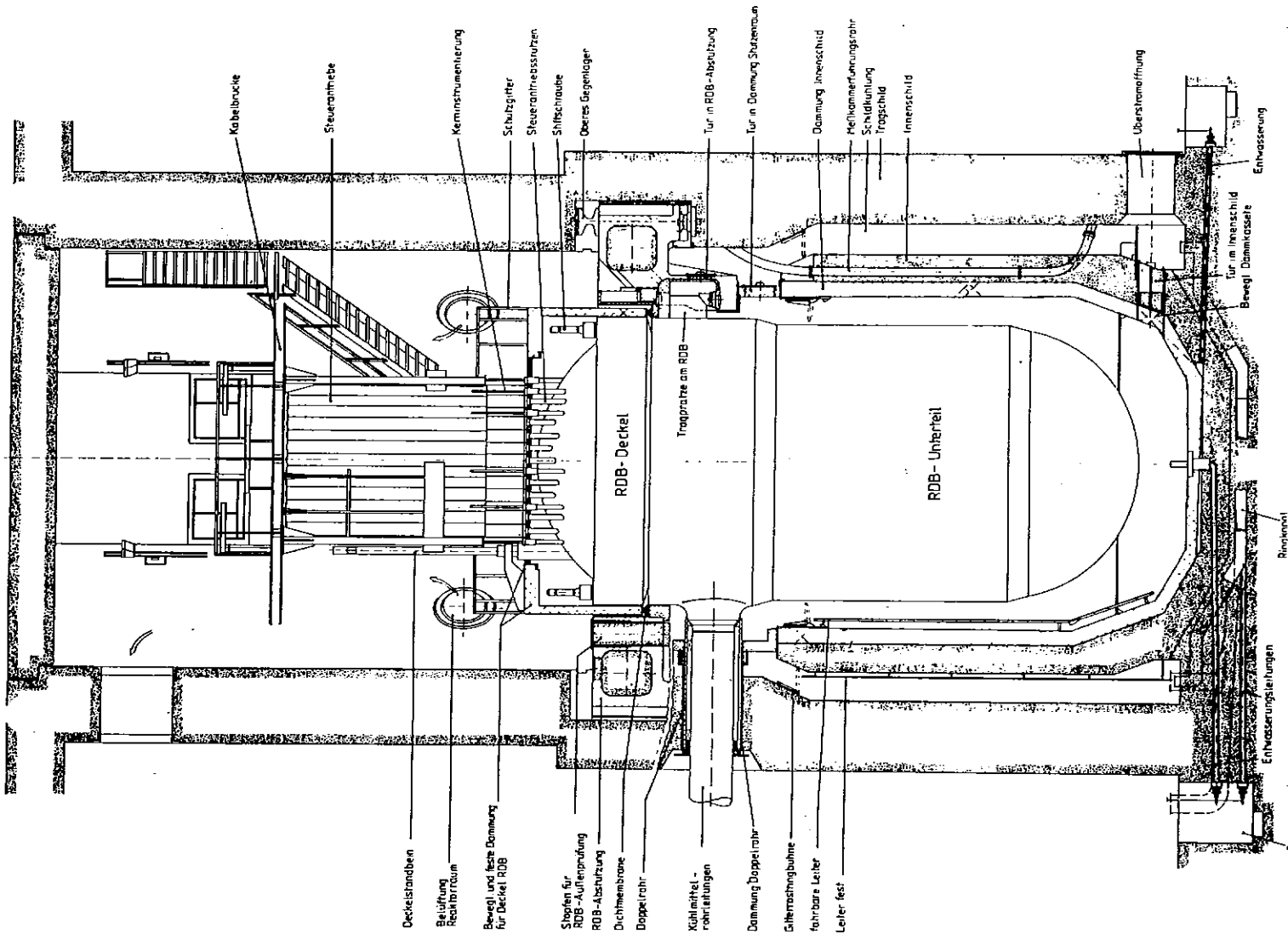
Auslegungsdruck	p_e	175	bar
Auslegungstemperatur		350	°C
Innendurchmesser des Zylindermantels	D_i	5000	mm
Flanschaußendurchmesser		5752	mm
Stiftschraubenlochkreisdurchmesser		5240	mm
Durchmesser über die Kühlmittelstützen	D_{St}	6900	mm
Höhe des Behälterunterteils (Oberkante Flansch bis Unterkante Kalotte)	L_U	9748	mm
Gesamte Höhe einschl. Deckelstandrohre	L_{RDB}	12362	mm
Abstand Stützen-Mittelebene bis Flanschoberkante		1300	mm
Wanddicke des Zylindermantels	b	250	mm
Kühlmittelstützen-Innendurchmesser	d_a, d_e	750	mm
Grundwerkstoff		20 MnMoNi 5 5	
	oder	22 NiMoCr 3 7	

- 1 Druckbehälter
- 2 Siebtonne
- 3 Kernbehälter
- 4 Unterer Rost
- 5 Stauplatte
- 6 Kernumfassung
- 7 Formblech
- 8 Axiale und radiale Kernbehälter-Begrenzung
- 9 Brennelement-Zentrierstifte
- 10 Oberer Rost
- 11 Deckplatte
- 12 Stütze
- 13 Gitterplatte
- 14 Brennelement
- 15 Steuerelement
- 16 Steuerstiftführungseinsatz
- 17 Bestrahlungskanal
- 18 Anhängöse
- 19 Niederhalter
- 20 Zentrierung
- 21 Deckel
- 22 Einlaßstutzen
- 23 Auslaßstutzen
- 24 Stutzen für Steuerelementantrieb
- 25 Stutzen für Kerninstrumentierung
- 26 Stiftschraube mit Mutter

Maße siehe Tab. 2.7.2.1/1



Kernkraftwerk Stendal C/D	
Reaktordruckbehälter mit Kerngerüst und Brennelementen	
SIEMENS Energieerzeugung KWU	
Abb.: 2.7.2.1/1	DWR 1300 08.90



Kernkraftwerk Stendal C/D	
Reaktordruckbehälter eingebaut	
SIEMENS Energieerzeugung KWU	DWR 1300 08.90
Abb.: 2.7.2.1/2	

2.7.2.2 Reaktordruckbehälter-Einbauten

(s. Abb. 2.7.2.1/1)

Kerngerüst

Das Kerngerüst, die Tragstruktur des Reaktorkerns, besteht im wesentlichen aus

- dem unteren Kerngerüst
- dem oberen Kerngerüst mit Führungseinsätzen.

Für den Ein- und Ausbau des Kerngerüsts sind Hebezeuge vorhanden (s. Abschn. 2.8.3.4).

Das Kerngerüst erfüllt folgende Aufgaben:

- Aufnahme von Gewicht und Verspannkraften der Brennelemente
- Gewährleistung von Lage und Ausrichtung der Brennelemente
- Schutz der Brennelemente vor Strömungsschäden
- Ausrichtung und Führung der Steuerelemente
- Aufnahme des Stoßes der Steuerelemente bei Reaktorschnellabschaltung
- Strömungsführung des Kühlmittels im Reaktordruckbehälter
- Herabsetzung der Neutronenbestrahlung der Druckbehälterwand
- Aufnahme und Führung der Kerninstrumentierungslanzen
- Aufnahme der Bestrahlungsproben zur Spröbruchüberwachung des Druckbehälters.

Unteres Kerngerüst

Das untere Kerngerüst besteht aus dem Kernbehälter, dem Rost mit Stauplatte sowie der Kernumfassung mit Formblechen und legt die Anordnung des Reaktorkerns fest. Es bleibt beim Brennelementwechsel im Reaktordruckbehälter, kann aber für Inspektionen des Druckbehälters ebenfalls herausgehoben werden.

Der Kernbehälter hängt mit seinem oberen Ende, dem Stutzenteil, zentriert über Paßklötze an der Tragleiste des Mantelflansches und wird im unteren Bereich, dem Mantelteil, der gleichzeitig als thermischer Schild dient, durch Kernbehälterbegrenzungen vor zu großen Verlagerungen geschützt. Die Stirnflächen der

Druckbehälter-Austrittsstützen und die Ausschnittsverstärkungen des Kernbehälter-Stutzenteils sind konzentrisch zur Behälterachse bearbeitet.

Der biegesteife untere Rost stellt die eigentliche Tragstruktur dar und wird vorgefertigt in den unteren Flansch des Kernbehälters bei der Probemontage eingepaßt. Abstellplatten mit Zentrierstiften dienen der Ausrichtung der Brennelemente auf ihren Gitterpositionen. An der Unterseite des Rostes ist die Stauplatte befestigt, die zusammen mit der am Reaktordruckbehälterboden befestigten Siebtonne eine gleichmäßige Beaufschlagung des Reaktorkerns mit Kühlmittel bewirkt. Die Siebtonne besteht aus einem mit Löchern versehenen zylindrischen Schuß.

Die Kernumfassung umschließt die vieleckige Kontur des Reaktorkerns. Die Abmessungen der Umfassung sind dem Ausdehnungsverhalten der Brennelementanordnung angepaßt.

Durch den Reflektorbereich zwischen Kernumfassung und Kernbehälter fließt zur Kühlung ein definierter Nebenstrom.

Die Bestrahlungskanäle zur Aufnahme der Bestrahlungsproben für die Sprödbruchüberwachung des Reaktordruckbehälters befinden sich an der Außenwand des Kernbehälters.

Oberes Kerngerüst

Im Stutzenteil des Kernbehälters befindet sich das obere Kerngerüst. Es bildet den oberen Abschluß des Reaktorkerns, nimmt die Führungseinsätze auf und besteht aus dem oberen Rost mit Deckplatte, den Stützen und der Gitterplatte. Beim Brennelementwechsel entfernt man das obere Kerngerüst als eine Einheit mit der Hebevorrichtung aus dem gefluteten Druckbehälter gemeinsam mit den entkuppelten Steuerelementantriebsstangen. Die Führung beim Ein- und Ausbau erfolgt mit drei am Druckbehälterflansch befestigten Stangen.

Die Feinzentrierung zwischen oberem Kerngerüst und Kernbehälter geschieht durch Zentrierbolzen im Kernbehälter, die in Führungsteile an der Gitterplatte eingreifen.

Der biegesteife obere Rost bildet das Rückgrat des oberen Kerngerüsts. Er ist mit der vielfach gebohrten Gitterplatte durch Stützen verbunden, die über den gesamten Kernquerschnitt verteilt sind, und liegt mit dem am zylindrischen Mantel angebrachten Flansch auf der Oberseite des oberen Kernbehälterflansches auf.

Die Gitterplatte zentriert mit Stiften die Brennelemente sowie die Steuerstabführungen und überträgt mit kurzen Biegelängen die Strömungs- und Verspannkräfte auf die angeschraubten Stützen. Die Deckplatte schließt den Stützenteil des Kernbehälters zum Dom im Druckbehälterdeckel ab. Zwischen der Deckplatte und den Kühlmitteldurchtritts-Öffnungen der Gitterplatte sind die Führungsrohre der Kerninstrumentierung fest an den Stützen verlegt.

Die Führungseinsätze für die Steuerelemente bestehen im wesentlichen aus Tragstangen und einer Anzahl von Führungsplatten. Im unteren offenen Teil verbinden zusätzlich geschlitzte Rohre, in denen die einzelnen Steuerstäbe gleiten, die Führungsplatten. Im oberen Bereich ist der Führungseinsatz über eine gewisse Länge gegen Querströmung abgedeckt. Die abschließenden Führungsplatten halten die ausgekuppelten Antriebsstangen in annähernd senkrechter Lage, wodurch auch das Aufsetzen des Druckbehälterdeckels erleichtert wird. Die Führungseinsätze werden mit der Deckplatte verschraubt.

Kalibrierte Schlitze in dem Einhängelflansch des unteren Kerngerüsts dienen einer dosierten Nebenströmung des eintretenden Kühlmittels zur Erwärmung bzw. Abkühlung des Bereiches Druckbehälter - Kerngerüst - Flansche. Die Druckverhältnisse liegen so, daß eine zu große Belastung der Deckplatte vermieden wird. Bei allen Schraubverbindungen wird besonders auf dehnungsgünstige Ausbildung und auf formschlüssige, rißunempfindliche Schraubensicherungen geachtet.

Festigkeitsmäßige Auslegung

Die Reaktordruckbehälter-Einbauten werden für die stationären und instationären Belastungen des bestimmungsgemäßen Betriebes sowie der Störfallbelastungen infolge instationärer Temperaturvorgänge, Einwirkungen von außen und Kühlmittelverlust festigkeitsmäßig ausgelegt. Dadurch wird die Nachkühl- und Abschaltbarkeit des Reaktors unter allen Bedingungen sichergestellt.

Die Spannungsanalyse berücksichtigt folgende Belastungen für Betriebs- und Störfallbedingungen:

- mechanische Belastungen durch Gewicht, stationäre Strömung, Schwingungen, Verzögerungs- und Vorspannungskräfte
- Temperaturbelastungen infolge unterschiedlicher Wärmedehnung verschiedener Teile und Strahlungsaufheizung
- Schwingungen und stoßartige Belastungen durch Einwirkungen von außen unter Beachtung der örtlichen Gegebenheiten nach Größe und Frequenz sowie Kühlmittelverlust-Störfällen

Die Betriebsfestigkeit der Einbauten (Nachweis auf Dauer- und Zeitfestigkeit der Bauteile) wird durch Berechnungen nachgewiesen.

Werkstoffe

Durch Verwendung von stabilisierten austenitischen Werkstoffen mit günstigem Verhalten unter Strahlenbelastung wird die sichere Funktionstüchtigkeit der Einbauten über die Lebensdauer des Reaktors gewährleistet. Dabei sind die während der Lebensdauer des Reaktors erreichte Neutronendosis und das Beanspruchungsniveau berücksichtigt.

Es werden vorzugsweise austenitische Stähle mit an die Schweißbedingungen angepasster Analyse in Form von gewalzten Blechen und Stangen, Schmiedeteilen und Schweißzusatz-Werkstoffen verwendet.

Alle verwendeten Werkstoffe sind hinsichtlich Strahlenversprödung, Sicherheit gegen Spannungsrißkorrosion und Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion im Reaktorbetrieb erprobt.

2.7.2.3 Hauptkühlmittelpumpen

(Tab. 2.7.2.3/1; Abb. 2.7.2.3/1 und 2)

Die Hauptkühlmittelpumpe ist eine einstufige Kreiselpumpe mit vertikal angeordneter Welle und oben aufgesetztem Motor. Das Kühlmittel tritt senkrecht von unten in die Pumpe ein und wird nach Druckerhöhung im Lauf- und Leitrad horizontal durch den Druckstutzen herausgeführt.

Das aus 20 MnMoNi 5 5 geschmiedete Pumpengehäuse hat einen axial angeordneten Saug- und einen horizontal herausführenden Druckstutzen. Alle vom Kühlmittel berührten Innenflächen sind mit korrosionsbeständigem austenitischen Stahl plattiert. Die Außenflächen der Pumpengehäuse werden gegen Wärmeabgabe isoliert. Die Pumpengehäuse sind mit den Hauptkühlmittelleitungen verschweißt.

Zum Pumpenläufer gehören u. a. Pumpenwelle, Laufrad, starre Kupplung, Lagerwelle, Axiallagerteller, Antriebskupplung und Wellenschutzhülsen. Der Pumpenläufer wird in Radiallagern und in einem Axiallager mit Haupt- und Gegenspur geführt, wobei das untere Radiallager wassergeschmiert und die übrigen Radial- und Axiallager ölgeschmiert sind.

Die Wellenabdichtung der Kühlmittelpumpe erfolgt durch ein dreistufiges hydrodynamisches Dichtungssystem mit nachgeschalteter Stillstandsichtung.

Die drei Stufen des hydrodynamischen Dichtungssystems sind genau baugleich. Jede Stufe ist in der Lage, den vollen Systemdruck aufzunehmen. Die Druckaufteilung für die drei Dichtungsstufen erfolgt über Rohrdrosseln. In den ersten zwei Dichtungsstufen wird der Systemdruck um ca. 80% abgebaut. Die dritte Dichtungsstufe übernimmt den weiteren Druckabbau bis auf Atmosphärendruck.

Bei Störungen im hydrodynamischen Dichtungssystem oder im Sperrwassersystem kann bei stehender Kühlmittelpumpe, über die nachgeschaltete mit Fremdmedium gesteuerte Stillstandsichtung, auch gegen den vollen Systemdruck abgedichtet werden.

Nach Entfernen der starren Wellenkupplung zwischen Pumpen- und Lagerwelle kann, ohne Motorabbau, das Dichtungssystem, das zusammengefaßt in Dich-

tungspatronen eingebaut ist, schnell und einfach ausgewechselt werden. Bei Schäden am Pumpenläufer kann dieser nach Abbau des Motors als komplette Einheit aus dem Pumpengehäuse gezogen und leicht demontiert werden. Die Pumpen sind deshalb sehr wartungsfreundlich.

Der Antrieb der Pumpe erfolgt über eine Bogenzahnkupplung durch einen Elektromotor mit Rücklauf Sperre. Dieser stützt sich mit der Laterne auf dem Pumpengehäuse ab, das seinerseits an Pendelstützen aufgehängt ist, um die Wärme- dehnung der Kühlmittelleitungen auszugleichen.

Die elektrischen Daten des Motors, die Temperaturen und Drücke an den Lagern und Dichtungen sowie die Durchflüsse von Schmieröl und Wellendichtungsleckagen können ständig kontrolliert werden.

Hilfseinrichtungen

Für den Betrieb der Hauptkühlmittelpumpen sind folgende Hilfseinrichtungen vorgesehen:

- Ölversorgung
Pro Pumpe ist eine integrierte Ölversorgung vorgesehen, die die Lager mit Öl versorgt und während des Betriebes nicht gewartet werden muß.
- Sperrwasserversorgung
Sauberes, gereinigtes Kühlmittel wird als Sperrwasser vom Volumenregelsystem im Bereich des Dichtungssystems in die Pumpe eingespeist. Ein Teilstrom fließt zur Kühlung und Schmierung des unteren Radiallagers ins Reaktorkühlsystem, während der andere Teilstrom als kontrollierte Drossel-Leckage an den Dichtungsstufen vorbeigeleitet wird und diese kühlt. Bei Sperrwasserausfall ermöglicht ein eigener HD-Kühlkreislauf den weiteren Betrieb der Kühlmittelpumpe. Hierbei wird Kühlmittel aus dem druckseitigen Raum der Pumpe entnommen und durch einen HD-Kühler und einen Abscheider zur Entfernung von Verunreinigungen vor die Dichtungen gefördert.
- Leckageableitung
Die Leckage der Wellendichtung wird entsprechend ihrem Druck in verschiedene geschlossene Systeme abgeleitet:

- die HD-Drossel-Leckage nach der zweiten Dichtungsstufe in das Volumenregelsystem
- die ND-Leckage nach der dritten Dichtungsstufe in die Nukleare Anlagenentwässerung
- Kühlwasserversorgung
Das für die Kühler notwendige Kühlwasser wird vom Nuklearen Zwischenkühlsystem bereitgestellt.

Schutz gegen Schwungradzerknall der Kühlmittelpumpen-Motoren

Der Motor der Kühlmittelpumpe hat ein Schwungrad als Zusatzdrehmasse, damit beim Ausfall der Stromversorgung der Pumpe diese nur langsam ausläuft und ein für die Kernkühlung ausreichender Kühlmitteldurchsatz erhalten bleibt.

Beim Bruch einer Kühlmittleitung wird die Pumpe im betroffenen Kühlkreis durch das ausströmende Kühlmittel beschleunigt. Ein Beschleunigen des Schwungrades auf unzulässig hohe Drehzahlen wird durch die Schwungradabwurfvorrichtung verhindert. Das Schwungrad ist aufgeschrumpft und löst sich durch die Zentrifugalkraft bei zu hoher Drehzahl. Die damit verbundenen konstruktiven Maßnahmen sind folgende:

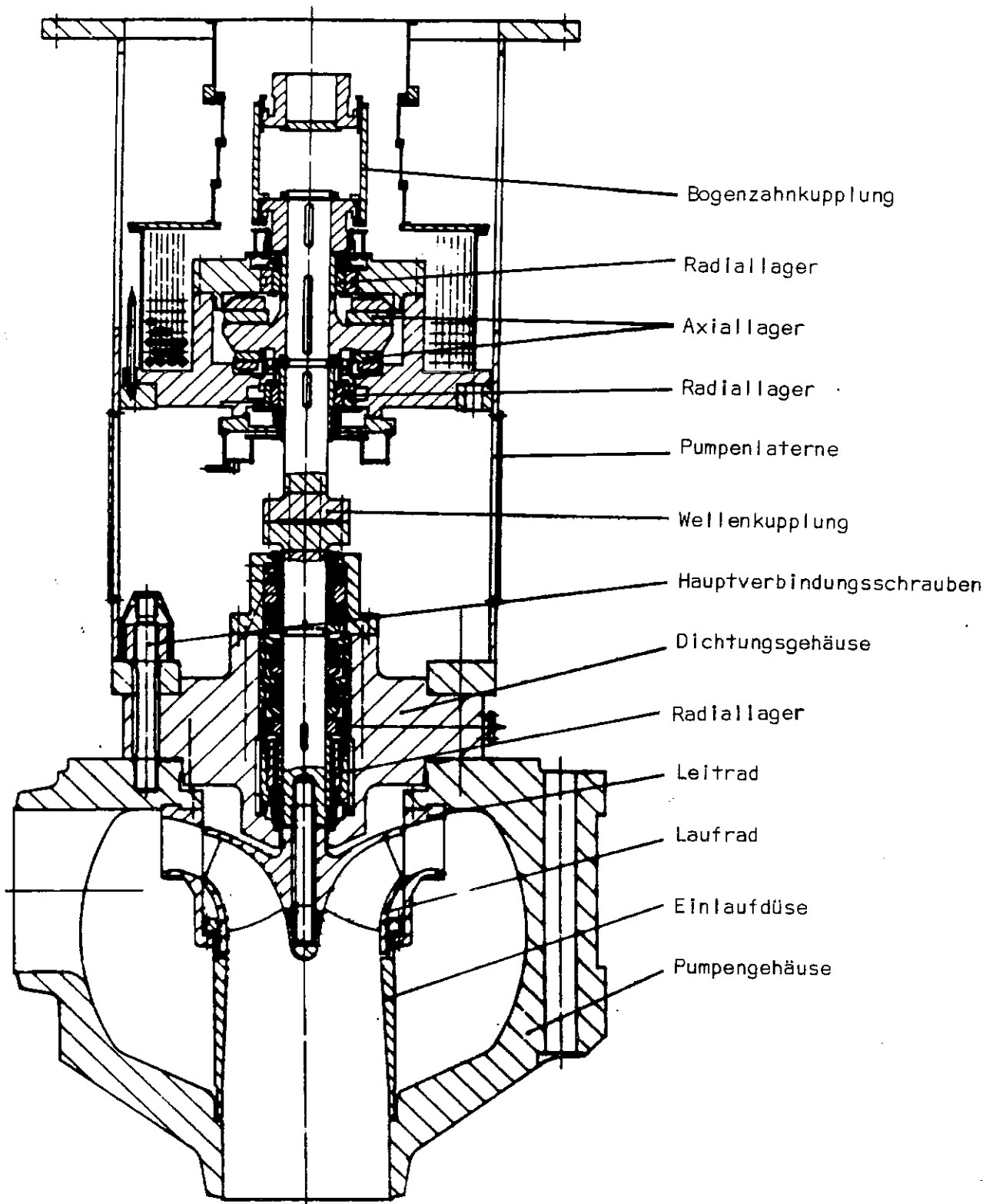
- Aufschrupfung des Schwungrades auf eine Buchse. Die Buchse ist so ausgebildet, daß sie nach dem Abfallen des Schwungrades dessen vertikale Führung übernehmen kann.
- Schwungrad und Buchse werden auf einen kegelförmigen Teil der Motorwelle aufgeschrumpft. Der Kegel verjüngt sich nach unten. Die Lösedrehzahl zwischen Buchse und Welle wird durch entsprechende Bemessung des Schrumpfsitzes eingestellt.
- Schwungradfangvorrichtung
Diese ist am Motorrahmen befestigt. Sie ist so ausgebildet, daß sie die Fallenergie des Schwungrades durch plastische Verformung von Auffangkörpern übernimmt und ein Auslaufen des Schwungrades gewährleistet.

- **Abdrückstifte**
Diese sind in der Buchse befestigt und ragen in Ausfräsungen der Wellenschulter hinein. Diese Stifte bewirken beim Auftreten sehr hoher Momente ein Abschieben des Schwungrades und verhindern eine unerwünschte Relativbewegung zwischen Buchse und Welle.

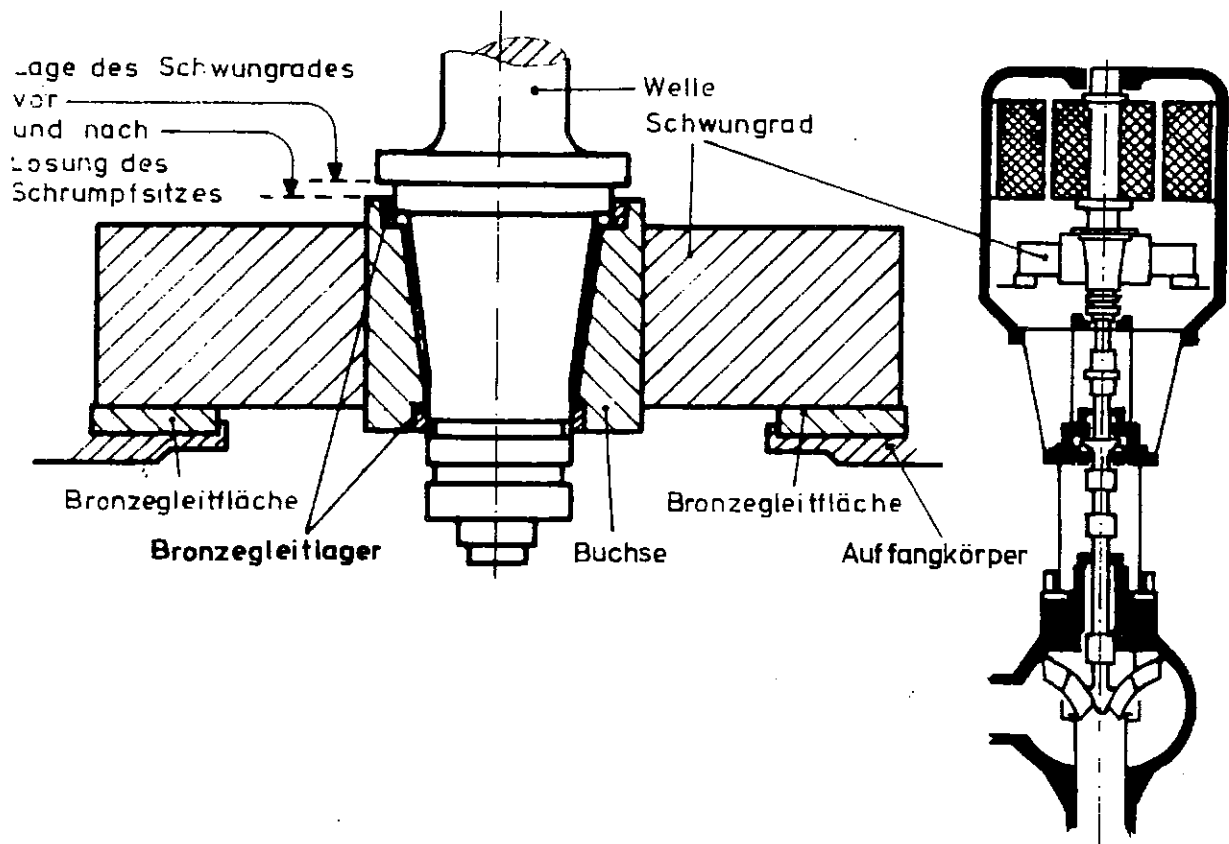
- **Überwachung des Schwungradablösens**
Die Überwachung des Schwungrades auf Ablösen erfolgt bei Betrieb des Motors durch eine Temperaturüberwachung der Gleitbahn. Zusätzlich wird ein fehlerhaftes Abfallen des Schwungrades im Stillstand bzw. bei kleiner Drehzahl durch berührungslose Endtaster überwacht.

Tabelle 2.7.2.3/1Daten der Kühlmittelpumpen

Förderstrom		4700	kg/s
Förderhöhe		89,6	m
Pumpenleistung (kalt)		7350	kW
Drehzahl (Betrieb)	ca.	25	1/s
Druckstutzen	DN	750	
Saugstutzen	DN	750	
Werkstoff Gehäuse		20 MnMoNi 5 5	



Kernkraftwerk Stendal C/D	
Kühlmittelpumpe Prinzipdarstellung	
SIEMENS Energieerzeugung KWU	
Abb.: 2.7.2.3/1	DWR 1300 08.90



Kernkraftwerk Stendal C/D	
Schwungradauffangvorrichtung	
SIEMENS Energieerzeugung KWU	
Abb.: 2.7.2.3/2	DWR 1300 08.90

2.7.2.4 Rohrleitungen und Armaturen

(Tab. 2.7.2.4/1 u. 2; Abb. 2.7.2.4/1)

2.7.2.4.1 Kühlmittelleitung

(Tab. 2.7.2.4/1)

Beschreibung der Konstruktion

Die Kühlmittelleitungen bestehen aus nahtlos geschmiedeten bzw. gepreßten Rohren und Bögen und sind aus dem Werkstoff 20 MnMoNi 5 5 gefertigt. Die Rohre, Bögen und Stutzen der Kühlmittelleitungen sind auf der vom Kühlmittel benetzten Seite korrosionsbeständig schweißplattiert. Die Verbindungen im Reaktorkühlsystem sind geschweißt.

Die Kühlmittelleitungen verbinden die Komponenten des Reaktorkühlsystems und dienen dem Transport des Kühlmittels vom Reaktordruckbehälter zum Dampferzeuger und von diesem durch die Kühlmittelpumpe zurück zum Reaktordruckbehälter. Diese Rohrleitungen haben einheitliche Nennweite und sind in den einzelnen Kühlkreisen identisch geführt. An die Kühlmittelleitungen schließen die Rohrleitungen der angeschlossenen Systeme an.

Die Volumenausgleichsleitung hat eine Querschnittseinschnürung, um den Durchsatz bei Leitungsbrüchen zu begrenzen. Querschnittseinschnürungen befinden sich auch in den Anschlußstutzen des Not- und Nachkühlsystems an den jeweiligen kalten Strang der Kühlmittelleitungen. Die Leitung zwischen Reaktordruckbehälter und Dampferzeuger ist mit einem eingebauten Strömungsführungsrohr versehen, das im Notkühlfall das borierte Wasser bis nahe an den Reaktorkern heranführt, so daß keine Wechselwirkung mit dem ausströmenden Dampf in der heißen Leitung stattfindet.

Die Kühlmittelleitungen sind mit Meßstutzen ausgerüstet.

2.7.2.4.2 Armaturen des Reaktorkühlsystems

(Tab. 2.7.2.4/2; Abb. 2.7.2.4/1)

Das Reaktorkühlsystem enthält folgende Armaturen:

- Sprühventile
- Abblaseventil
- Sicherheitsventile
- Absperrventile
- Rückschlagventile
- Bleed-Ventile

Sprühventile

Die Sprühventile regeln das Einsprühen von kaltem Kühlmittel in den Dampfraum des Druckhalters zum Druckabbau im Reaktorkühlsystem. Der Sprühvorgang wird durch vier magnetisch gesteuerte „Auf-Zu“-Ventile geregelt.

Abblaseventil

Das Reaktorkühlsystem ist zum Abbau von Überdruck mit einem Abblaseventil ausgestattet. Das Abblaseventil spricht an, sobald das Abschalten der Heizstäbe im Druckhalter und das Einsprühen von kaltem Kühlmittel in den Druckhalter nicht ausreichen, den Überdruck abzubauen. Bei Ansprechen des Abblaseventils wird Dampf aus dem Druckhalter in den Druckhalterabblasebehälter geleitet und dadurch der Druck im Reaktorkühlsystem reduziert.

Das Abblaseventil ist an einen Stutzen des Druckhalters angeflanscht. Es wird durch ein magnetgesteuertes Steuerventil im Anforderungsfall geöffnet. Vor dem Abblaseventil ist ein Absperrventil angeordnet, mit dem die Abblaseleitung abgesperrt werden kann, wenn das Abblaseventil nach dem Ansprechen fehlerhaft offen stehen bleiben sollte.

Sicherheitsventile

Das Reaktorkühlsystem ist zur Verhinderung von unzulässigem Überdruck mit zwei Sicherheitsventilen ausgestattet. Sobald im Reaktorkühlsystem ein Überdruck entsteht, der weder durch Einsprühen von kaltem Kühlmittel in den Dampfraum des Druckhalters noch durch das Ansprechen des Abblaseventils auf den normalen Betriebsdruck des Reaktorkühlsystems reduziert werden kann, öffnen die Sicherheitsventile durch Eigenmedium gesteuert und lassen Dampf aus dem Druckhalter in den Druckhalterabblasebehälter abströmen. Dadurch wird eine Überlastung des Reaktorkühlsystems durch Überdruck verhindert.

Die Sicherheitsventile sind an einen Stutzen des Druckhalters angeflanscht.

Die Sicherheitsventile werden durch Steuerventile betätigt. Jedem der beiden Sicherheitsventile sind vier Steuerventile zugeordnet, von denen ein einziges zur Betätigung des Sicherheitsventils ausreicht. In den Zuleitungen zu den Steuerventilen sind Absperrarmaturen angeordnet, die ein Absperrren der Steuerventile zu Reparaturzwecken ermöglichen. Die Absperrarmaturen sind so untereinander verriegelt, daß nur zwei Steuerventile gleichzeitig abgesperrt werden können, so daß immer mindestens zwei Steuerventile funktionsbereit zur Verfügung stehen.

Um ein unbeabsichtigtes Ansprechen der Steuerventile unterhalb des Ansprechdrucks zu verhindern, werden die Steuerventile durch eine magnetische Zusatzbelastung geschlossen gehalten. Bei Erreichen des Ansprechdruckes für die Sicherheitsventile im Reaktorkühlsystem wird die magnetische Zusatzbelastung durch das Reaktorschutzsystem weggeschaltet. Dadurch werden die Steuerventile in den betriebsbereiten Zustand gebracht und öffnen bei Ansprechen das zugehörige Sicherheitsventil.

Absperrventile

An das Reaktorkühlsystem sind die im Abschnitt 2.7.1.1.4 aufgeführten Systeme absperrbar angeschlossen.

Die Absperrungen der absperrbar angeschlossenen Systeme sind doppelt ausgeführt, wenn sie im Normalbetrieb offen sind. Die erste Absperrarmatur besteht bei kleinen Nennweiten bzw. im Mitteldruckbereich ausschließlich aus Faltenbalgarmaturen. Bei größeren Nennweiten sind im Hochdruckbereich für die erste Absperrarmatur Armaturen mit Stopfbuchsen, Spindelrückdichtung und Zwischenabsaugung eingesetzt.

Rückschlagventile

Einspeiseleitungen (u. a. Not- und Nachkühlsystem) haben auf der „heißen“ Seite Rückschlagventile ohne Durchführung nach außen. Auf der „kalten“ Seite des Reaktorkühlsystems werden aufziehbare Rückschlagventile mit Stopfbuchsen, Spindelrückdichtung und Zwischenabsaugung eingesetzt.

Bleed-Ventile

Die Bleed-Ventile dienen zur Ansteuerung von Sicherheits- und Abblaseventil zur Druckabsenkung im Reaktorkühlsystem im Rahmen von Notfallschutzmaßnahmen (s. Kapitel 8). Jedem Sicherheitsventil sind 2 Bleed-Ventile als Doppelabspernung zugeordnet. Am Abblaseventil ist 1 Bleed-Ventil angeordnet, die zweite Abspernung wird durch das Abblase-Absperrventil gebildet. Die Bleed-Ventile werden durch elektromotorische Stellantriebe betätigt.

Entgasung vor Ventilen der Druckabsicherung

Die Leitungen der Abblase- und Sicherheitsventileinrichtung kühlen im Normalbetrieb ab. Ursache des Abkühlens ist eine Anreicherung von Wasserstoff, der beim Kondensieren des Dampfes in den Leitungen aufgrund ihrer Wärmeverluste frei wird. Der Wasserstoff wird dem Kühlmittel zur Bindung des bei der Radiolyse freiwerdenden Sauerstoffs zugegeben.

Im Bereich des Eintrittsflansches der Steuerventile werden deshalb Entgasungsbohrungen eingebracht und eine Kleinleitung im Bypass zum Steuerventil zur Ausblaseleitung geführt. Durch diese Entgasungsbohrung wird eine kontinuierliche Dampfleckage abgeführt, so daß am Ventileintritt eine Sattdampf-atmosphäre sichergestellt wird.

Durch diese Maßnahmen werden die im Anforderungsfall bei abgekühlten Leitungen auftretenden Temperaturschockbelastungen und die Instabilität des Steuerventils beim Abblasen von Wasserstoff vermieden.

Die Hauptleitungen werden über die vorhandene Entlüftungsleitung und eine dafür vorgesehene abspernbare Bypassleitung mit einer Entgasungsbohrung entgast.

Die Temperaturschockbeanspruchung beim Ansprechen der Hauptventile wird vermieden und die Reaktionskräfte im Anforderungsfall werden durch diese Maßnahmen minimiert.

Die Funktionsfähigkeit der Entgasungsbohrungen kann anhand der Temperatur am jeweiligen Ventil überwacht werden. Dabei werden die im FAMOS-System installierten Temperaturmessungen benutzt (s. Abschnitt 2.7.1.3).

Tabelle 2.7.2.4/1

Rohrleitungen des Reaktorkühlsystems

Kühlmittleitungen

Innendurchmesser		750	mm
Wanddicke	gerades Rohr (mittel)	52	mm
	Krümmen (min)	57	mm
Plattierungsdicke	ca.	5	mm
Werkstoffe		20 MnMoNi 5 5	

Tabelle 2.7.2.4/2

Armaturen des Reaktorkühlsystems

Druckhalter-Sicherheitsventil, mediumgesteuert

Anzahl		2	
Durchsatz 1./2.	ca.	90,3/94,2	kg/s

Steuersicherheitsventile, federbelastet, für Druckhalter-Sicherheitsventile

Stückzahl je Sicherheitsventil		4	
--------------------------------	--	---	--

Druckhalter-Sprühventil, magnetgesteuert

Anzahl		4	
Sprühdurchsatz		12	kg/s

Druckhalter-Abblaseventil, mediumgesteuert

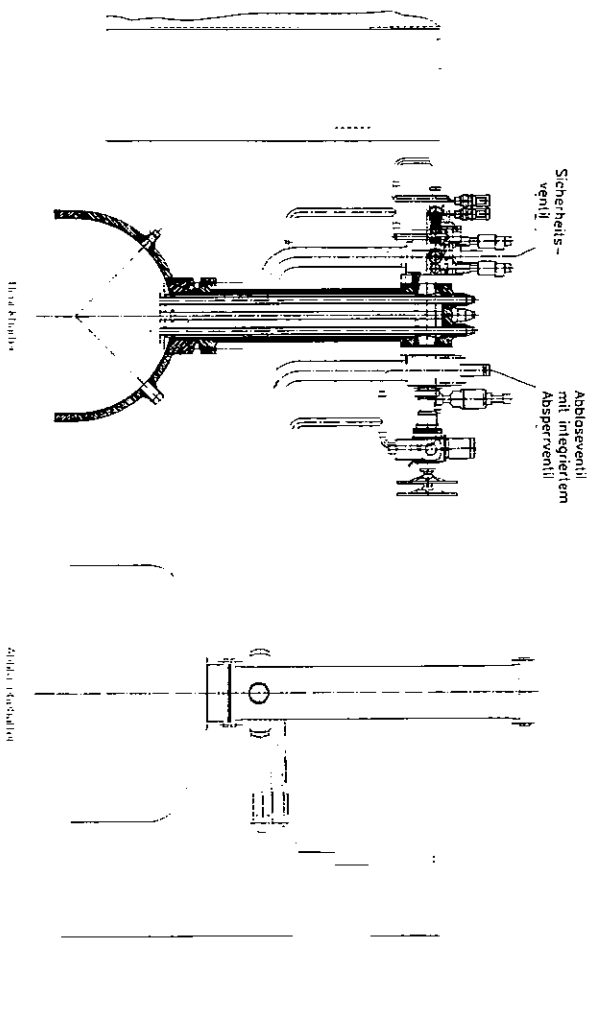
Anzahl		1	
Nenndurchsatz	ca.	47,8	kg/s

Druckhalter-Abblasesteuerventil, magnetgesteuert für Druckhalter-Abblaseventil

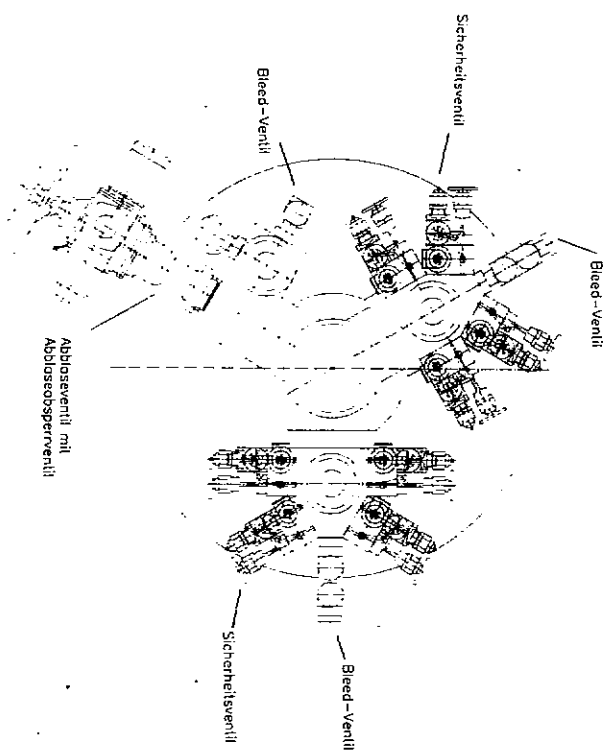
Anzahl je Abblaseventil		1	
Ansprechdruck	p_e	164	bar

Bersteinrichtung am Abblasebehälter

Anzahl		3	
Ansprechdruck	p_e	13	bar



Anordnung der DH-Abblassestation



Draufsicht auf die DH-Abblassestation

Kernkraftwerk Stendal C/D	
DH-Abblassestation Prinzipdarstellung	
SIEMENS Energieerzeugung KWU	
Abb.: 2.7.2.4/1	Dwg 1300 08.90

2.7.2.5 Dampferzeuger

(Tab. 2.7.2.5/1; Abb. 2.7.2.5/1)

2.7.2.5.1 Übersicht

Die Dampferzeuger übertragen die Wärme des Reaktorkühlmittels an den Speisewasser-Dampf-Kreislauf und erzeugen Sattdampf zum Antrieb des Turbogenerators.

Die Dampferzeuger sind als stehende U-Rohr-Bündel-Wärmetauscher mit Naturumlauf des Speisewassers ausgebildet. Die unten angeordnete halbkugelförmige Kühlmittelkammer ist in einen Ein- und Austrittsraum unterteilt und an den darüberliegenden Rohrboden angeschweißt. Über Eintritts- und Austrittsstutzen ist die Sammelkammer mit den Rohrleitungen des Reaktorkühlsystems verbunden.

Das vielfach abgestützte U-Rohr-Bündel aus einem korrosionsbeständigen Material ist mit der kühlmittelseitigen Plattierung des Rohrbodens verschweißt und im Rohrboden hydraulisch sowie zusätzlich an den Enden des Rohrbodens mechanisch aufgeweitet.

Die Schrauben der Mannlochdeckel werden zur Minimierung der Strahlenbelastung mechanisch mit Hilfe einer hydraulischen Schraubenspannvorrichtung gelöst bzw. gleichzeitig und gleichmäßig gespannt, wodurch sehr gute Dichtwirkung erzielt wird.

Durch ein mechanisiertes Prüfverfahren können die U-Rohre von den Kühlmittelkammern aus überprüft werden. Die Kühlmittelkammern können durch je ein Mannloch begangen werden.

Der Druckmantel umschließt das auf dem Rohrboden stehende Rohrbündel. Er erweitert sich nach oben zum Dampfsammelraum, in dem sich die Grob- und Feinabscheider zur Reduzierung der Restfeuchte des Dampfes befinden. Der Sekundärraum ist durch ein Mannloch zugänglich.

2.7.2.5.2 Funktionsbeschreibung

Das Reaktorkühlmittel tritt in die Eintrittskammer ein, strömt durch die U-förmig gebogenen Heizrohre, gibt dabei seine Wärme ab und verläßt den Dampferzeuger durch die Austrittskammer.

Das Speisewasser tritt durch einen Stutzen in den Dampfdom ein und wird durch die anschließende Ringleitung gleichmäßig über den Umfang des Fallraumes zwischen Führungsmantel und Behälterwand verteilt. Das Speisewasser vermischt sich mit dem Umlaufwasser und tritt über der Rohrplatte in das Rohrbündel ein. Im Rohrbündel verdampft ein Teil des aufsteigenden Wassers. Oberhalb des Rohrbündels sind auf einer waagrechten Abscheidertragplatte 50 Dampfabscheider (Zyklone) angeordnet, die den Dampf vom Umlaufwasser trennen. Der abgeschiedene Dampf strömt durch Dampftrockner und verläßt mit einer Restfeuchte von $<0,25\%$ durch einen als Durchflußbegrenzer ausgebildeten Dampfaustrittsstutzen den Dampferzeuger.

Sowohl Dampfabscheider als auch Dampftrockner wurden in einem Dampf-Wasser-Versuchsstand unter allen Betriebsbedingungen getestet (Typ-Test). Das Abscheidesystem ist in allen Siemens-DWR-Anlagen eingesetzt und hat dort seine uneingeschränkte Funktionstüchtigkeit erwiesen.

Das aus den Dampfabscheidern austretende Wasser strömt mit dem Speisewasser im Fallraum nach unten und tritt oberhalb des Rohrbodens in das Rohrbündel ein. Die Umlaufzahl des Naturumlaufs, d. h. das Verhältnis von Massenstrom im Steigraum zu erzeugtem Dampfstrom beträgt bei Vollast ca. 4.

2.7.2.5.3 Konstruktion

Zur Reduzierung der Anzahl der Schweißnähte sind die Teile der druckführenden Wand aus Schmiedeteilen des Werkstoffs 20 MnMoNi 5 5 oder 22 NiMoCr 3 7 gefertigt.

Die Primärkalotte (Kühlmittelkammer) besteht aus dem Halbkugelboden, dem Zonenring sowie je 2 integrierten Hauptkühlmittelleitungs- und Mannlochstutzen.

Die beiden Kühlmittelkammern werden durch ein gewölbtes Trennblech getrennt, das mit dem Rohrboden (Primärseite) und dem Halbkugelboden verschweißt ist.

Die komplette Primärkalotte sowie die Hauptkühlmitteleitungs- und Mannlochstützen sind auf der Innenseite mit einer 2lagigen austenitischen Plattierung versehen. Die primärseitige Oberfläche des Rohrbodens ist mehrlagig mit INCONEL 600 plattiert.

Die Sekundärseite des Dampferzeugers besteht aus den am Rohrboden anschließenden beiden zylindrischen Schüssen, dem Konus sowie dem Dampferzeuger-Oberteil mit einem zylindrischen Schuß und dem Korbbogenboden mit integriertem Frischdampfstützen.

Die Heizrohre aus INCOLOY 800 werden nach dem Einschweißen über die volle Dicke des Rohrbodens hydraulisch aufgeweitet, um den Spalt zwischen Rohr und Rohrboden zu schließen. Zur Erzielung völliger Dichtheit zwecks Korrosionsvermeidung werden die Heizrohre zusätzlich am Austritt auf beiden Seiten des Rohrbodens mechanisch eingewalzt. Sowohl die mechanische Einwalzung als auch Einschweißung sind so bemessen, daß jede Verbindung für sich die für den Auslegungsfall zu berücksichtigenden Belastungen aufnehmen kann.

Zur Positionierung der Heizrohre werden Rohrhaltegitter verwendet. Die Gitter bestehen aus 2 übereinanderliegenden Ebenen austenitischer Flachstäbe, die um 60° versetzt zueinander angeordnet sind und in den so entstehenden Rauten die Rohre halten. Die Konstruktion ermöglicht es, daß trotz der unterschiedlichen Wärmedehnung der austenitischen Flachstäbe der Gitter und des ferritischen Stahls des Gitterrings die Rohre bei Fertigung, Transport und im Betrieb eindeutig fixiert sind.

Die Speisewasserzufuhr in den Dampferzeuger ist so gestaltet, daß Temperaturschichtungen bei Schwachlastbespeisung im Stutzenbereich sowie im horizontalen Teil der Speisewasserleitung minimiert werden. Die Notspeisewasserversorgung erfolgt über einen separaten Stutzen am Dampferzeuger.

Zur Reduzierung von Strömungstotzonen im Dampferzeuger sind auf der heißen und kalten Seite des Rohrbündels oberhalb des Rohrbodens je eine Strömungs-

verteilerplatte eingebaut. Dadurch wird eine verstärkte Spülung des Rohrbodens erreicht sowie der Umfang des Siedebereichs an der Rohrbodenoberseite reduziert. Beide Effekte vermindern Ablagerungen von Korrosionsprodukten.

Ein Mannloch auf der Sekundärseite ermöglicht den Zugang zum Innenraum des Dampferzeugers. Über dieses Mannloch können auch die Abscheider ein- und ausgebaut werden.

Darüberhinaus können über Mannlöcher zum Innenraum des Dampferzeugers der Heizrohrbündeltopf, die Rohrbogenhalterungen sowie der Feinabscheider und der Frischdampfstutzen inspiziert werden. 4 Handlöcher oberhalb des Rohrbodens ermöglichen Inspektion und Reinigung des Rohrbodens durch die Rohrgasse.

Die Dampferzeuger sind durch jeweils zwei an den Rohrboden angeschweißte Trag- und Führungspratzen so aufgehängt, daß sowohl alle waagrecht und senkrecht wirkenden Kräfte bei Betriebs- und Störfällen aufgenommen werden als auch die Wärmedehnung der Hauptkühlmittelleitung ausgeglichen werden können. Zur Aufnahme der horizontalen Kräfte im oberen Teil des Dampferzeugers ist der Dampferzeuger zusätzlich am Dampfaustrittsstutzen gelagert.

Hinsichtlich strömungsangeregter Schwingungen sind die Bauteile des Dampferzeugers, insbesondere die Rohre und deren Abstützungen, so ausgelegt, daß sie den Beanspruchungen der Betriebs- und Störfälle, wie z. B. Frischdampfleitungsbruch, standhalten. Die Absicherung erfolgt durch Auswertung von Schwingungsversuchen, Auswertung der vorliegenden Betriebserfahrungen und durch statische und dynamische Berechnungen.

Die Spannungsabsicherung erfolgt, wie bei allen Komponenten der druckführenden Umschließung, gemäß KTA 3201.

2.7.2.5.4 Korrosion

Siemens verwendet, beginnend mit dem Kernkraftwerk Stade, als Werkstoff für die DE-Heizrohre INCOLOY 800 (32 % Ni, 20 % Cr), dessen Analyse zur Erzielung hoher Korrosionsbeständigkeit, insbesondere gegen die verschiedenen Formen der selektiven Korrosion, modifiziert wurde. So wurden die unteren Grenzwerte

für Ni und Cr angehoben und der C-, N- und P-Gehalt gesenkt. Darüber hinaus ist zur Erzielung hoher Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion ein minimaler Stabilisierungsgrad Ti/C größer 12 und $Ti/(C + N)$ größer 8 spezifiziert worden. Zur Beurteilung des Korrosionsverhaltens und zum Nachweis der Eignung dieses Werkstoffes wurden Untersuchungen durchgeführt. In der Gesamtwertung dieser Untersuchungen erfüllt INCOLOY 800 in dieser auf den Anwendungsfall zugeschnittenen Legierungszusammensetzung die Forderung nach einer guten Korrosionsbeständigkeit. Inzwischen vorliegende langjährige positive Betriebserfahrungen bestätigen das Werkstoff- und Konstruktionskonzept.

Außerdem werden besondere konstruktive Maßnahmen durchgeführt, die dafür sorgen, daß Aufkonzentrationen von Verunreinigungen auf der Sekundärseite weitgehend vermieden werden. Des weiteren unterstützen besondere Reinigungsmaßnahmen des gesamten Speisewasser-Dampfkreislaufes sowie die Vermeidung der Verunreinigung des Speisewassers durch den Bau weitestgehend dichter Kondensatoren und die kontinuierliche Überwachung der Wasserqualität die oben genannten konstruktiven Maßnahmen.

In Dampferzeugern von Druckwasserreaktoren verschiedener Hersteller sind vereinzelt Heizrohrschäden aufgetreten. Eine Analyse der bekannt gewordenen Heizrohrschäden in Dampferzeugern von Druckwasserreaktoren zeigt, daß für die Integrität der Dampferzeugerheizrohre die Wasserchemie, die Konstruktion und der Rohrwerkstoff von entscheidender Bedeutung sind.

Im folgenden soll auf die wichtigsten bekannten Korrosionsmechanismen und die im Vergleich mit Siemens-Dampferzeugern gewonnenen Erfahrungen eingegangen werden.

Die Maßnahmen bei Siemens-Druckwasserreaktoren zielen darauf ab, die bekannten Korrosionsmechanismen, wie insbesondere Denting, Spannungsrißkorrosion, Spaltkorrosion, Wastage und Fretting, zu verhindern.

Denting

Unter Denting wird ein Einschnüren der Dampferzeugerheizrohre im Bereich der Rohrabstandshalterplatten verstanden. Das Auftreten von Denting ist bisher nur an Rohrabstandshaltern aus C-Stahl festgestellt worden, wenn außerdem aggressive Verunreinigungen des Dampferzeugerwassers (z. B. Chloride) korrosive Auf-

konzentrationen bewirken. Folgen dieser Rohrverengungen sind u. a. Rohrleckagen durch Spannungsrißkorrosions-Risse im Bereich der Einschnürung.

In Siemens-Dampferzeugern wird Denting durch geeignete Konstruktion und Wahl des Werkstoffes (Rohrhaltegitter aus Austenit) vermieden.

Spannungsrißkorrosion (SpRK)

- Interkristalline Spannungsrißkorrosion
Diese an Dampferzeugern mit Rohren aus Inconel 600 festgestellte und durch Experimente belegte Korrosionsart tritt an Incoloy 800 in der spezifizierten Zusammensetzung des Speisewasser nicht auf.

- Laugenkorrosion, chlorid-induzierte Spannungsrißkorrosion, Lochfraß (Pitting)
Diese bei Incoloy 800, in Gegenwart kritischer Konzentrationen, möglichen Korrosionsarten werden durch sorgfältige Kontrolle der Wasserzusammensetzung wirksam verhindert. Eine wichtige Voraussetzung dazu ist, den Eintrag von Salzen und sonstigen Verunreinigungen in die Dampferzeuger soweit wie möglich zu vermeiden. Deshalb werden bei der Auslegung und beim Betrieb nachfolgende Maßnahmen berücksichtigt:
 - Dichter Kondensator durch Bohrung des Kondensators mit hoch korrosionsfesten Werkstoffen (Austenit oder Titan) und eingeschweißten Rohren
 - Einstellung eines hohen pH-Wertes.

Spaltkorrosion

Hervorgerufen wird die Spaltkorrosion durch Aufkonzentration von Verunreinigungen im Spalt zwischen Rohr und Rohrboden.

Spaltkorrosion ist an amerikanischen Dampferzeugern in langen Spalten und direkt oberhalb des Rohrbodens im Bereich der Ablagerungen aufgetreten.

Vermeiden läßt sich der Fehler durch das Verschließen des Spaltes durch Aufweitung der Rohre im oberen Bereich des Rohrbodens. Dies ist bei allen Siemens-Dampferzeugern realisiert.

Gleichmaßabtrag (Wastage)

Diese bei Altanlagen durch Salzeintrag infolge von Kondensatorleckagen und durch zu hohe Phosphatdosierung an den Dampferzeugerheizrohren bewirkte Korrosionsart tritt in den Siemens-DWR-1300-Dampferzeugern aufgrund der Konditionierung des Speisewassers mit Ammoniak und Hydrazin und durch die Maßnahme des "dichten Kondensators" nicht auf.

Mit dem Konzept der Wasserchemie im Wasser-Dampf-Kreislauf, das durch die Minimierung des Salzeintrages und des Erosions-/Korrosionsprodukteintrages in die Dampferzeuger gekennzeichnet ist (s. Abschn. 2.10.1.4) und regelmäßigen wiederkehrenden Prüfungen an den Dampferzeugerheizrohren wird dem Auftreten von Schäden an den Dampferzeugerheizrohren entgegengewirkt.

Reibkorrosion (Fretting)

Diese Korrosionsart entsteht, wenn die Heizrohre oder Halterungen, durch Schwingungen angeregt, sich aneinander reiben und durch Schleifverschleiß örtlich erhöhter Abrieb entsteht oder die reibenden Flächen für andere Korrosionsmechanismen aufgeschlossen werden.

Fretting-Korrosion wird u. a. in ausländischen Druckwasseranlagen festgestellt. Bei den neuen Siemens-Anlagen ist diese Korrosionsart aufgrund der Auslegung (geringe Strömungsgeschwindigkeit des eingespeisten Wassers, Art und Anzahl der Halterungen des Rohrbündels) ohne Bedeutung.

2.7.2.5.5 Prüfungen an DE-Heizrohren

Bei regelmäßig wiederkehrenden Prüfungen, bei denen u. a. die Wirbelstromprüftechnik eingesetzt wird, können im weiten Bereich Veränderungen an den Heizrohren erkannt werden.

Die Empfindlichkeit des Wirbelstromprüfverfahrens wurde in den zurückliegenden Jahren ganz erheblich verbessert. Heute können im Geradrohrbereich und im Rohrbogen Fehler mit einer Tiefe von 20 % der Wanddicke, in den Bereichen der Abstandshalter mit einer Tiefe von 30 % der Wanddicke sicher angezeigt werden.

An Rohren aus Incoloy 800 mit künstlichen Fehlern verschiedener Geometrie durchgeführte Berstversuche lassen den Schluß zu, daß ein Versagen von Heizrohren unterhalb ca. 80 % Wanddickenschwächung ausgeschlossen werden kann.

Ein Vergleich der Wirbelstromprüfergebnisse aus aufeinanderfolgenden Prüfungen ergab, daß beim sogenannten Gleichmaßabtrag eine maximale Korrosionsrate von etwa 10 % der Wanddicke pro Jahr aufgetreten ist. Schnellere Korrosionsvorgänge beschränkten sich auf Lochfraß, der örtlich so begrenzt war, daß nur eine kleine Betriebsleckage aufgetreten ist.

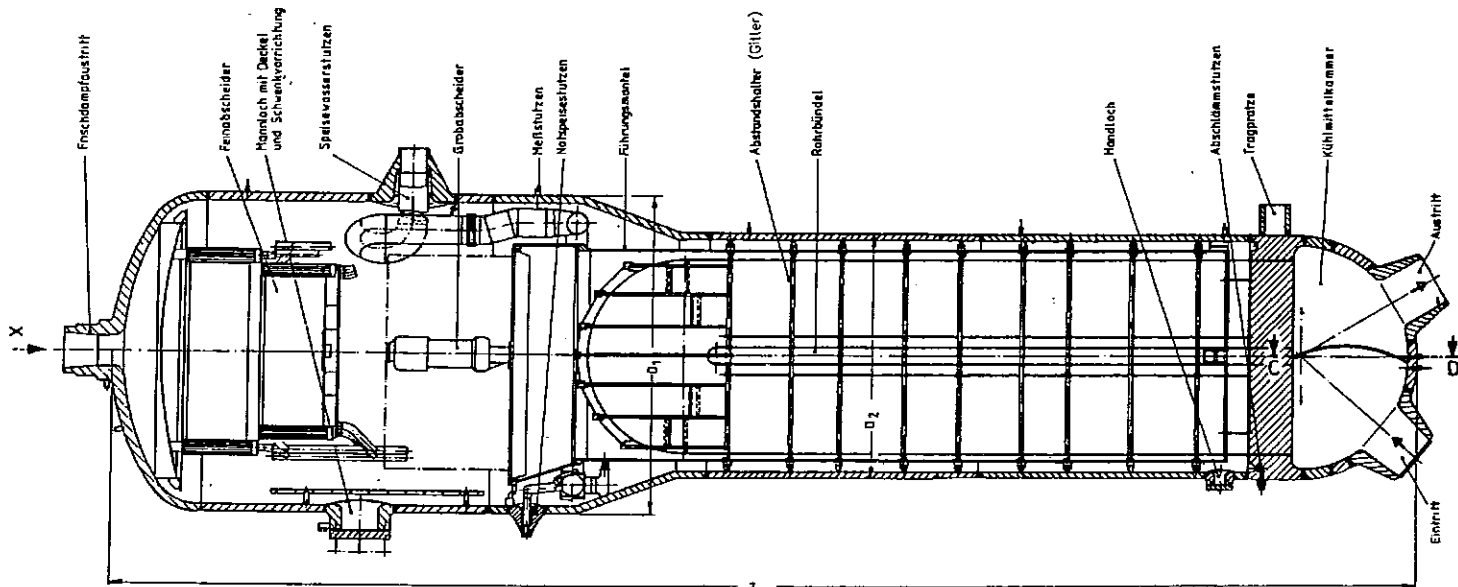
Da mit Hilfe der Wirbelstromprüfung Schwächungen von 20 % erkennbar sind, folgt aus der ermittelten maximalen Korrosionsrate, daß für die Betriebsperiode zwischen zwei wiederkehrenden Prüfungen nicht mit unzulässigen Vorschädigungen zu rechnen ist.

Da der Integritätsnachweis unter Berücksichtigung von Betriebs- und Störfallbelastungen auch für Heizrohre mit längerer Einsatzzeit geführt wird, können Folgeschäden (z. B. bei Frischdampfleitungsbruch) an Dampferzeuger-Heizrohren mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Tabelle 2.7.2.5/1Daten des Dampferzeugers

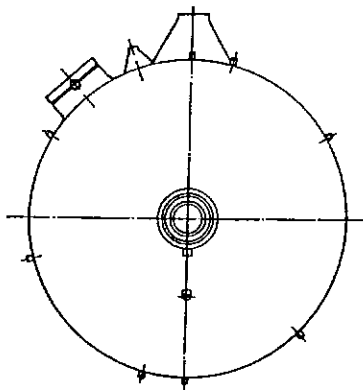
Dampferzeuger für Reaktorkühlsystem mit 4 Kühlkreisen, Typ 54 S

Heizfläche	ca.	5400	m ²
Frischdampf-Erzeugung (100 %)	ca.	514	kg/s
Länge über alles		21300	mm
Durchmesser Rohrboden		3667	mm
Durchmesser Dampfdom		4812	mm
Durchmesser Frischdampfstutzen		530	mm
Grundwerkstoff		20 MnMoNi 5 5	
	oder	22 NiMoCr 3 7	
Heizrohr-Werkstoff		Incoloy 800 mod.	

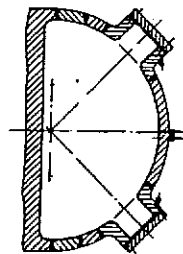


L ca. 20 100
 D₁ ca. 4 810
 D₂ ca. 3 660

Ansicht X



Schnitt C-D



Kernkraftwerk Stendal C/D	
Dampferzeuger Prinzipdarstellung	
SIEMENS Energieerzeugung KWU	
Abb.: 2.7.2.5/1	DWR 1300 08.90

2.7.2.6 Druckhalter und Abblasebehälter

(Tab. 2.7.2.6/1 u. 2; Abb. 2.7.2.6/1 u. 2)

2.7.2.6.1 Druckhalter

(Tab. 2.7.2.6/1; Abb. 2.7.2.6/1)

Aufgabe und Funktion

Der Druckhalter dient dazu, den für den Normalbetrieb des Reaktorkühlsystems erforderlichen Druck zu halten, der über dem zur Reaktoraustrittstemperatur gehörenden Sättigungsdruck liegt, und insbesondere bei Laständerungen des Reaktors infolge Änderung der Systemtemperatur hervorgerufene Volumenschwankungen des Kühlmittels ohne wesentliche Druckänderungen zu begrenzen und auszugleichen.

Der Druckhalter enthält Kühlmittel, über dem sich ein Dampfpolster befindet.

Beim Hochfahren der Anlage von „Nulllast heiß“ steigt der Kühlmittelstand im Druckhalter proportional zur mittleren Kühlmitteltemperatur zunächst an. Im Lastbereich oberhalb 50 % Nennleistung wird die Kühlmitteltemperatur konstant gehalten, so daß sich der Kühlmittelstand im Druckhalter nicht mehr wesentlich ändert.

Der Druckhalter-Dampfraum und die Abblaseleitung der Druckhalterabblase- und -sicherheitsventile wurde unter den in Abschn. 2.7.1.2.2 beschriebenen Annahmen ausgelegt.

Der Druckhalter ist durch die Volumenausgleichsleitung mit der heißen Leitung eines Reaktorkühlkreises verbunden. Die betriebliche Druckregelung erfolgt mit Hilfe einer elektrischen Heizung und einer Sprüheinrichtung. Bei Abfall des Druckes wird durch Einschalten der elektrischen Heizung Kühlmittel verdampft und der Druck wieder auf seinen Sollwert gebracht. Bei Ansteigen des Druckes wird durch Einsprühen von Kühlmittel aus kalten Kühlmittelleitungen in den Dampfraum Dampf kondensiert. Ein kleiner Teil der in Stufen zuschaltbaren Heizung ist zur Deckung der Wärmeverluste immer in Betrieb. Ein kontinuierlicher Durchsatz durch die Sprühleitungen hält diese auf Betriebstemperatur und be-

wirkt, daß das Kühlmittel im Druckhalter ständig ausgetauscht und durchmischt wird.

Einen unzulässig hohen Druck im Reaktorkühlsystem, der nur unter Annahme mehrerer gleichzeitig auftretender Störungen, wie z. B. Ausfall aller Druckregel- und -begrenzungseinrichtungen, auftreten kann, verhindern die mit dem Druckhalter verbundenen Sicherheitsventile.

Konstruktion

Der Druckhalter ist ein stehender Druckbehälter aus dem Grundwerkstoff 20 MnMoNi 5 5, der aus einem zylindrischen Mantel mit oberem und unterem Boden besteht. Im unteren Boden sind Führungsstutzen eingeschweißt, in denen die Heizstäbe befestigt sind.

Im unteren Teil des Druckhalters ist der Stutzen mit Wärmefalle für die Volumenausgleichsleitung eingeschweißt und im oberen Behälterteil ein Mannlochstutzen angeschmiedet bzw. eingeschweißt. Die Schrauben des Mannlochdeckelflansches werden zur Reduzierung der Strahlenbelastung des Personals mechanisch mit einer hydraulischen Schraubenspannvorrichtung gleichzeitig und gleichmäßig gespannt oder gelöst. Im oberen Behälterteil befinden sich außerdem Stutzen für den Anschluß der Druckhalter-Abblasestation und für den Anschluß der Sprühleitungen. An den Sprühleitungen im Druckhalter hängen die Sprühkästen mit den Sprühdüsen.

Weiter ist der Behälter mit einem Entwässerungs-, Entlüftungs-, Probeentnahme- sowie den Höhenstandsmeßstutzen ausgestattet.

Im oberen zylindrischen Teil des Behälters ist ein Sprühschutzhemd eingebaut, das verhindert, daß eingesprühtes kälteres Kühlmittel an die drucktragende Wandung gelangen kann. Dadurch werden Thermoschocks vermieden. An die Volumenausgleichsleitung schließt im Behälter ein Krümmer an, der die Strömung nach unten umlenkt. Ein vorgesetzter Streukegel sorgt für eine Durchmischung des einströmenden Kühlmittels mit dem im Druckhalter vorhandenen Kühlmittel.

Die Spannungsabsicherung erfolgt, wie bei allen Komponenten der Druckführenden Umschließung, gemäß KTA 3201. Zum Aufstellen hat der Druckhalter Tragpratzen, die vertikale Belastungen aufnehmen. Zur Aufnahme von Tangential- und Radialkräften sind zusätzlich Horizontal-Anschläge vorgesehen.

2.7.2.6.2 Abblasebehälter

(Tab. 2.7.2.6/2, Abb. 2.7.2.6/2)

Aufgabe und Funktion

Der Abblasebehälter nimmt den beim Öffnen des Abblaseventils und der Sicherheitsventile des Druckhalters und der Sicherheitsventile des Volumenregelsystems abblasenen Dampf auf und kondensiert ihn.

Der Abblasebehälter gehört nicht zur druckführenden Umschließung.

Der Abblasebehälter ist zu etwa 2/3 mit Wasser gefüllt, der Rest mit einem Stickstoffpolster. Er ist so bemessen, daß er die bei einem Abblasevorgang übertretende Dampfmenge aufnehmen kann. Bei einem Abblasevorgang gelangt der Dampf durch das Abblaseventil bzw. die Sicherheitsventile in den Dampfdom. Von hier wird der Dampf über Dampfrohr und Verteilrohr in die Ringleitung geführt, in den Wasserraum abblasen und kondensiert. Zum Abführen der im Abblasebehälter anfallenden Wärme ist ein Kühlkreislauf angeschlossen.

Ein unzulässig hoher Druck im Abblasebehälter wird durch Berstscheiben verhindert.

Konstruktion

Der Abblasebehälter ist ein stehender Druckbehälter aus austenitischem Werkstoff, der aus einem zylindrischen Mantel sowie einem oberen und unteren Korb-bogenboden zusammengesetzt ist. In der Mitte des oberen Bodens ist der Dampfdom angeflanscht. In den Dampfdoms münden die Abblaseleitungen für die Sicherheitsventile und für das Abblaseventil.

Im oberen Boden des Behälteres befinden sich Berstscheiben. Das Mannloch ist im zylindrischen Mantel vorgesehen. Der Behälter hat außerdem Entwässerungs-, Entlüftungs-, Stickstoffanschluß-, Abgasstutzen sowie 2 Stutzen für den Kühlkreislauf.

Die Aufstellung des Abblasebehälters erfolgt über eine Standzarge auf einem Betonfundament mit zusätzlicher Abstützung am Dom.

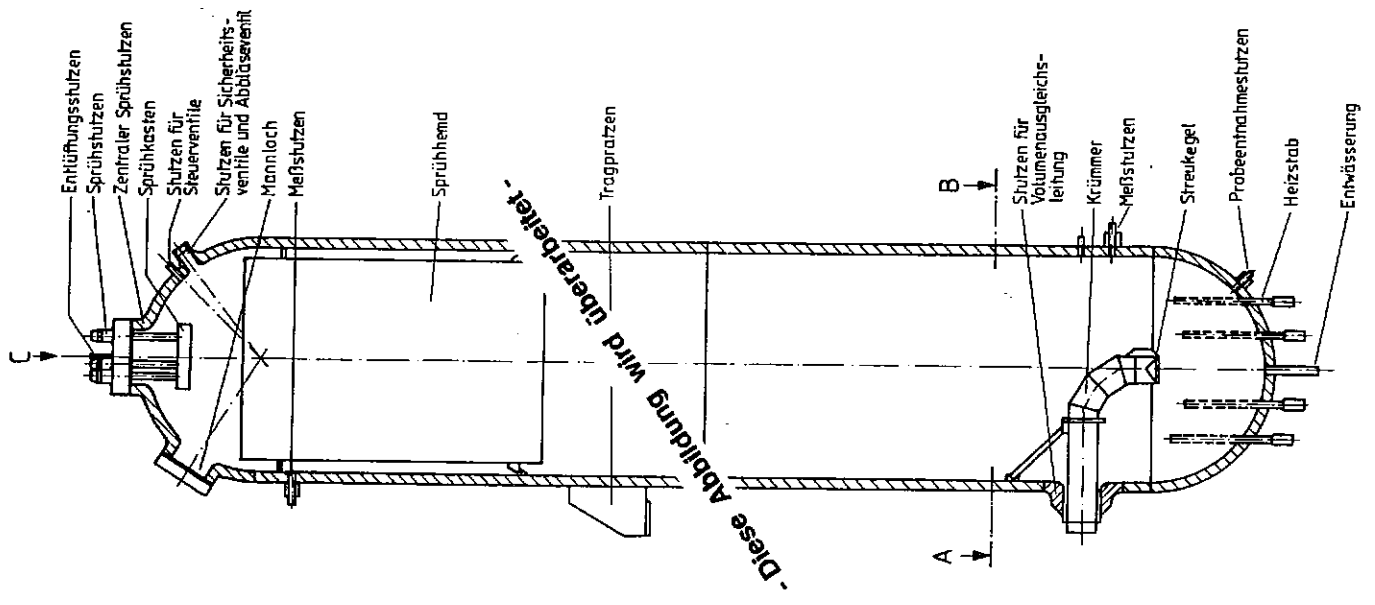
Die Spannungsabsicherung wird nach AD-Regelwerk und zusätzlichen Festlegungen durchgeführt.

Tabelle 2.7.2.6/1Druckhalter

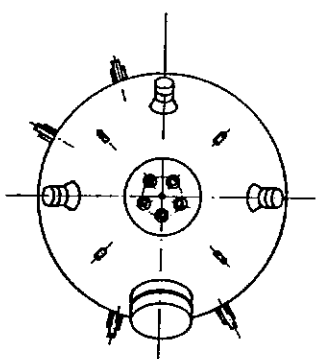
gesamtes freies Volumen		65	m ³
Wasservolumen bei Vollast		40	m ³
Dampfvolumen bei Vollast		25	m ³
Betriebstemperatur		346	°C
Betriebsdruck	pe	157	bar
installierte Heizleistung		2000	kW
innerer Durchmesser des Behälters		2600	mm
Gesamthöhe	ca.	14500	mm
Grundwerkstoff		20 MnMoNi 5 5	

Tabelle 2.7.2.6/2Druckhalter-Abblasebehälter

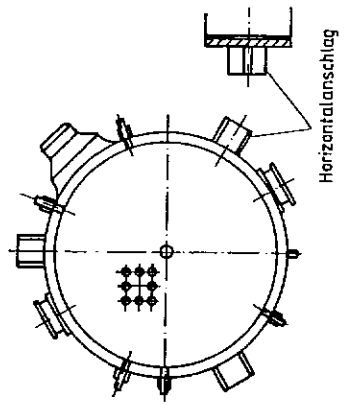
Gesamtvolumen	ca.	42	m ³
Wasserinhalt, normal	ca.	23	m ³
maximale Abblasemenge	ca.	1200	kg
Auslegungsdruck	p _e	19	bar
Grundwerkstoff			austenitischer Stahl



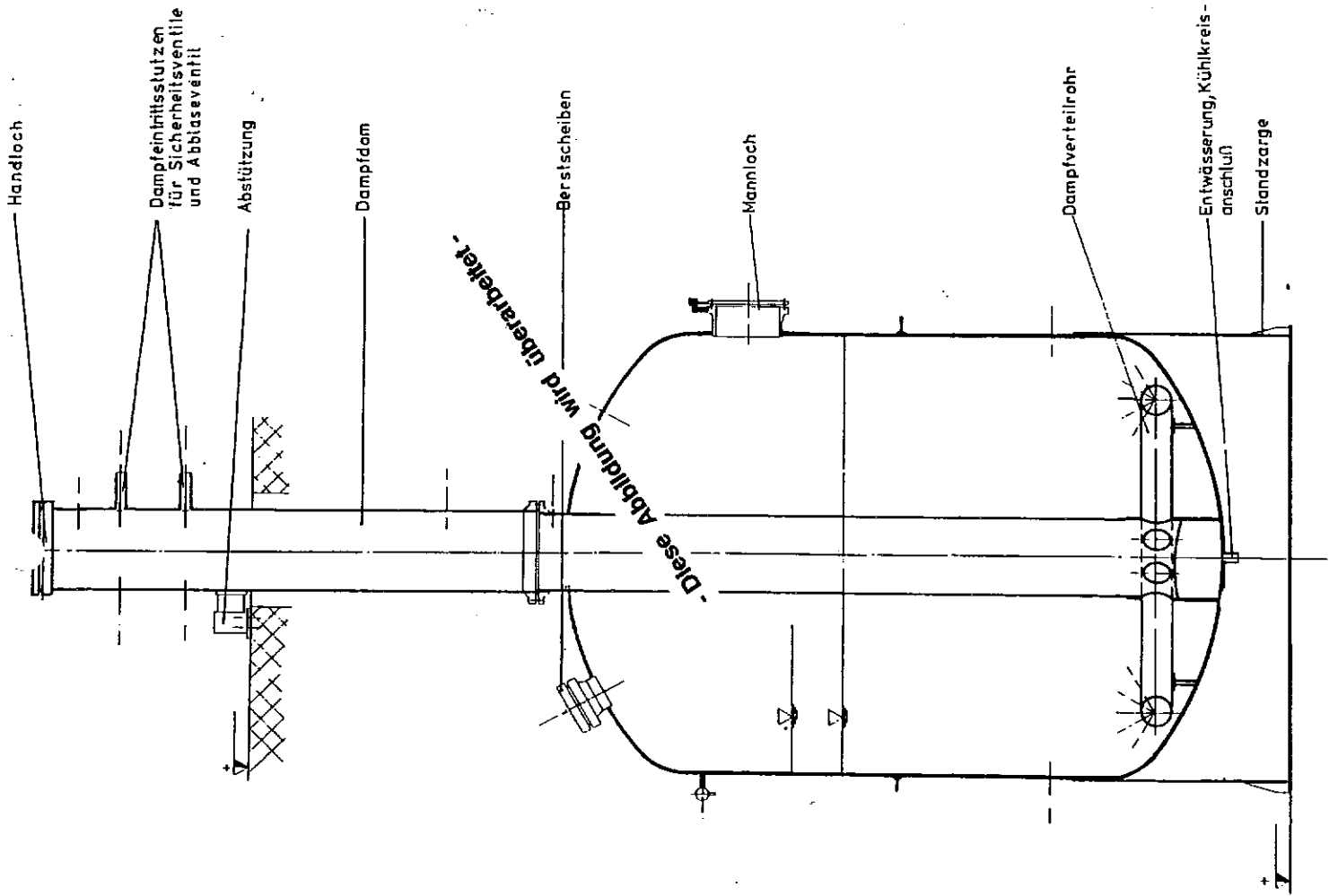
Ansicht C



Schnitt A-B



Kernkraftwerk Stendal C/D	
Druckhalter Prinzipdarstellung	
SIEMENS Energieerzeugung KWU	
Abb.: 2.7.2.6/1	DWR 1300 08.90



Kernkraftwerk Stendal C/D	
Abblasebehälter	
Prinzipdarstellung	
SIEMENS Energieerzeugung KWU	
Abb.: 2.7.2.6/2	DWR 1300 08.90

2.7.2.7 Steuerelementantriebe (Tab. 2.7.2.7/1; Abb. 2.7.2.7/1)

Die Steuerelementantriebe haben die Aufgabe, die Steuerelemente (s. Abschnitt 2.6.2.3) über die Höhe des Kerns ein- und auszufahren sowie sie in einer beliebigen Stellung innerhalb des Fahrbereiches festzuhalten.

Der komplette Steuerelementantrieb besteht aus dem Druckkörper, der Klinkeneinheit, der Antriebsstange, den Arbeits- und Stellungsanzeigespulen sowie zwei Endstellungsspulen. Jeder Antrieb ist eine unabhängige Einheit, die für sich ein- und ausgebaut werden kann. Die Klinkeneinheit ist im Druckkörper befestigt, der auf einen Stutzen am Reaktordruckbehälterdeckel aufgeflanscht wird (s. Abb. 2.7.2.7/1).

Die rohrförmige Antriebsstange ist das Verbindungsglied zwischen Antriebseinheit und dem Steuerelement, die im oberen Teil über die erforderliche Hublänge gerillt ist und am unteren Ende eine mechanische Kupplung aufweist. Während des Reaktorbetriebes ist die Antriebsstange immer mit dem Steuerelement gekuppelt. Die Kupplung kann mit Hilfe eines am oberen Ende aufgesetzten Spezialwerkzeuges über eine Zugstange, die im Inneren der Antriebsstange geführt wird, gelöst und verriegelt werden.

Die Arbeitsspulengruppe, bestehend aus Hub-, Greif- und Haltespule, ist zu Montagezwecken mit der Stellungsanzeigespule in einer Baueinheit zusammengefaßt und kann leicht vom Druckkörper abgezogen werden.

Der Antrieb arbeitet wie folgt:

Die Antriebsstange und mit ihr das Steuerelement im Kern werden durch eine von einem Taktgeber vorgegebene und wiederholbare Folge von Unterbrechungen des Arbeitsspulenstromes auf und ab bewegt.

Das Hochfahren des Steuerelementes aus der Ruhestellung (nur die Greifspule ist eingeschaltet) erfolgt durch folgenden Ablauf:

- | | |
|-------------------|---|
| 1. Hubspule ein | Die Stange hebt sich um eine Rillenteilung. |
| 2. Haltespule ein | Die Halteklinken kommen in Eingriff, durch leichtes Anheben übernehmen sie die Last von den Hubklinken. |
| 3. Greifspule aus | Die Hubklinken werden zurückgezogen |
| 4. Hubspule aus | und fallen in die Ausgangsstellung zurück. |
| 5. Greifspule ein | Die Hubklinken werden in die Rille gedrückt. |
| 6. Haltespule aus | Die Halteklinken werden aus der Rille zurückgezogen und sind damit außer Eingriff. |

Dieser Zyklus wird entsprechend der gewünschten Schrittzahl wiederholt.

Mit einer entsprechenden Taktfolge wird das Steuerelement wieder in den Kern eingefahren.

Die jeweilige Stellung des Steuerelementes wird sowohl mit einem digitalen Schrittzählwerk, das vom Taktgeber gesteuert wird, als auch mit einer kontinuierlich messenden analogen Anzeige durch die Stellungsanzeigespule erfaßt. Die obere und untere Endstellungsmeldung erfolgt über gesonderte Endstellungsspulen.

In der Steuerelementruhestellung steht nur die Greifspule unter Strom. Bei einer Stromunterbrechung dieser Spule fällt der Anker ab, die Klinken werden zurückgezogen und das Steuerelement fällt frei in den Kern.

Test-Programm

Die Steuerelementantriebe werden nach der Montage mit einem Steuerelementdummy auf einem Versuchsstand einer Funktionsprüfung unterzogen, wobei Druck und Temperatur den Verhältnissen im Reaktordruckbehälter entsprechen.

Das Testprogramm umfaßt dabei das Fahren des Antriebes im kalten und warmen Zustand sowie die Erprobung der Abschaltfunktion. Nach dem Einbau auf dem Druckbehälterdeckel wird die Funktion jedes Antriebes nochmal überprüft. Es werden u.a. Fallzeitmessungen mit den Steuerelementen durchgeführt.

Betriebserfahrungen

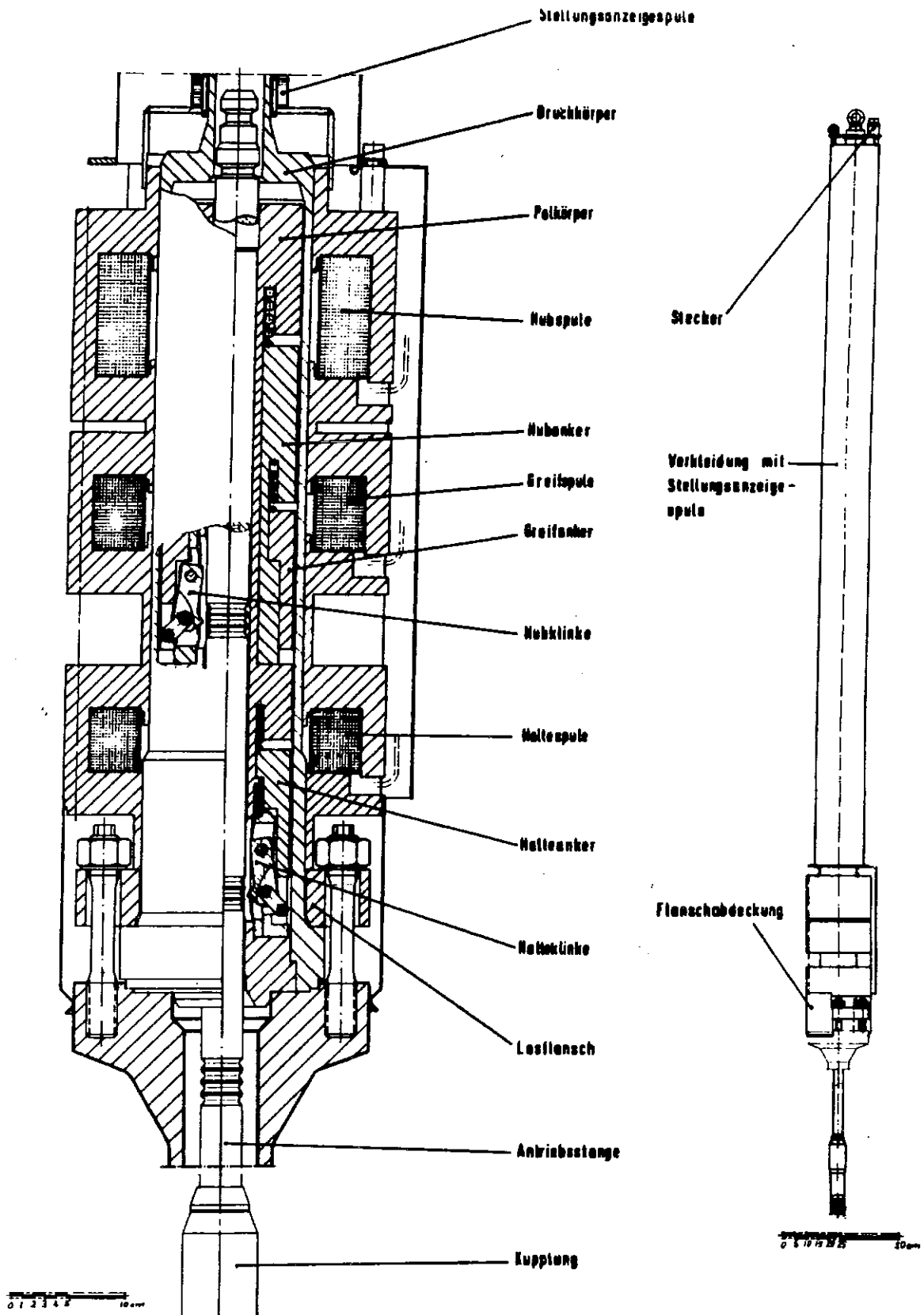
Für das im oben beschriebenen Steuerelementantrieb verwendete Konstruktionsprinzip wurde auf eigenen Versuchsständen ein ausgedehntes Prototyp-Erprobungsprogramm ausgeführt. Es wurden unter Reaktorbetriebsbedingungen über 4 Millionen Schritte und über 600 Schnellabschaltungen ohne Störungen absolviert. Dieser Antrieb hat sich inzwischen in den in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken bewährt.

Abdichtung nach außen

Die Verbindung zwischen Druckrohr und Antriebsstützenflansch der Steuerelementantriebe wird mit zwei Metalldichtringen abgedichtet. Diese Metaldichtungen erfahren beim Niederziehen des Druckrohres durch ihre konische Form eine Vergrößerung der Außendurchmesser bzw. eine Verringerung der Innendurchmesser. Dadurch drücken sich die scharfen Dichtkanten des Ringes in den Eckradius des Flansches bzw. des Druckrohrbundes und dichten durch örtliches Fließen. Nach Einbau der Druckrohre erfolgt eine Dichtheitsprüfung.

Tabelle 2.7.2.7/1Auslegung der Steuerelementantriebe

Druckkörper:	Berechnungsdruck	176	bar
	Berechnungstemperatur	350	°C
Hubhöhe		3830	mm
Verfügbare Hubkraft:		etwa das 2fache der zu hebenden Last	
Verstellgeschwindigkeit in Schritten		1/08 bzw. 1/1,6 s	
entsprechende Hub- bzw. Senkgeschwindigkeit		1,25 bzw. 0,625 cm/s	
Verwendete Werkstoffe			
Druckrohr		1.4550 und 1.4313	
Antriebsstange		1.4006 und Inconel X750	
Klinkeneinheit		1.4006, 1.4550, Inconel X750 und Haynes Alloy Nr. 25	



Kernkraftwerk Stendal C/D	
Steuerelementantrieb	
SIEMENS Energieerzeugung KWU	
Abb.: 2.7.2.7/1	DWR 1300 08.90

2.7.3 Prüfungen

2.7.3.1 Werkstoff-, Bau- und Druckprüfungen

Das Reaktorkühlsystem wird so ausgelegt, daß es über die gesamte Lebensdauer des Kernkraftwerkes einsatzfähig bleibt. Aus diesem Grunde kommt der Auswahl geeigneter Werkstoffe, der Werkstoffprüfung, einer sorgfältigen Fertigungsplanung, der Fertigung sowie der begleitenden Fertigungsüberwachung und der Bauprüfung große Bedeutung zu. Die Anforderungen und Vorschriften für die Werkstoffe und die Werkstoffprüfung, die Fertigungsplanung, die Fertigung sowie die begleitende Fertigungsüberwachung und die Bauprüfung sind für die einzelnen Komponenten in der jeweiligen Komponentenspezifikation zusammengefaßt. Diese Spezifikationen stellen eine sorgfältige Planung und Überwachung der Fertigung von der Herstellung der Halbzeuge bis zur fertigen Komponente sicher.

Werkstoffauswahl

Bei der Auswahl der Werkstoffe sind folgende Anforderungen zu beachten:

- ausreichende mechanische Eigenschaften (Zugfestigkeit, Streckgrenze, Kerbschlagzähigkeit, Bruchdehnung, Einschnürung), bei Betriebs- und Raumtemperatur)
- gute Durchvergütbarkeit für die erforderlichen Wanddicken
- gute Schweißbarkeit
- geringe Versprödung durch Neutronenbestrahlung (d. h. möglichst geringe Anhebung der Sprödbrech-Übergangstemperatur während des Reaktorbetriebes) für Werkstoffe im Kernbereich
- Korrosionsbeständigkeit gegen das Kühlmittel an der Innenoberfläche durch Schweißplattierungen mit austenitischem Material.

Fertigung und Fertigungsüberwachung

Die gesamte Fertigung, beginnend bei der Herstellung der Halbzeuge, erfolgt nach vorher erstellten und geprüften Unterlagen. Zentrale Fertigungsunterlagen

ist ein Plan, aus dem alle Prüfschritte ersichtlich sind. In diesem Plan wird auf alle weiteren Unterlagen wie Zeichnungen, Schweißpläne, Wärmebehandlungspläne, Prüfanweisungen etc. hingewiesen.

Dieser Prüffolgeplan bildet auch die Grundlage für die Dokumentation, in der die Ergebnisse der Prüfungen und Kontrollen zusammengefaßt sind.

Während der Fertigung wird durch die begleitende Fertigungsüberwachung sichergestellt, daß alle Prüfschritte sachgemäß ausgeführt werden.

Prüfungen

Durch die Prüfungen wird nachgewiesen, daß die Halbzeuge bzw. Bauteile den an sie gestellten Anforderungen entsprechen. Umfang und Zeitpunkt sowie die bei der Durchführung zu beachtenden Vorschriften sind im Werkstoffprüf- und Probeentnahmeplan festgehalten. Im folgenden werden die Prüfungen am Beispiel von Schmiederingen für den RDB beschrieben.

Prüfung der Schmiederinge

An den Schmiedeteilen werden sowohl zerstörende als auch zerstörungsfreie Prüfungen durchgeführt.

Die Überprüfung der chemischen Zusammensetzung erfolgt sowohl als Schmelzanalyse als auch am fertig geschmiedeten Erzeugnis durch Stückanalysen.

Zerstörende Prüfung der Schmiederinge

Für die mechanischen Prüfungen erfolgt die Probeentnahme nach dem Vergütungsprozeß. Bei Ringen, die während der weiteren Verarbeitung noch mehrmals gegläht werden, erfolgt die mechanische Prüfung in zwei Wärmebehandlungszuständen:

- im simulierten Wärmebehandlungszustand. Dabei wird das Probestück einer Reihe von Glühungen unterzogen, welche die nach dem Fertigungsgang zu erwartenden Glühungen mit einigen zusätzlichen Glühungen für etwa notwendige Reparaturen simulieren. Durch diese Prüfung hat man die im ferti-

gen Zustand zu erwartenden Werte bereits am Beginn der Fertigung vorliegen;

- im Endwärmebehandlungszustand. Das hierfür vorgesehene Probematerial wird der entsprechenden Erzeugnisform beigelegt und macht alle Wärmebehandlungen mit. Nach der letzten Glühung erfolgt die Prüfung dieser mitlaufenden Proben.

Von den einzelnen Probeentnahmeorten werden nach diesen Glühungen geprüft:

- Zugfestigkeit und Streckgrenze, Dehnung und Einschnürung bei Raumtemperatur und bei Auslegungstemperatur
- Kerbschlagzähigkeit (einschl. Übergangstemperaturkurven)
- Sprödbbruchverhalten anhand des Fallgewichtsversuchs nach Pellini.

Je Schmiedering werden nach KTA 3201.1 Proben entnommen.

Die Gleichmäßigkeit der Vergütung wird durch am Umfang verteilte Härtereihen sowie metallographische Untersuchungen und mechanisch-technologische Prüfungen von verschiedenen Probeentnahmestellen nachgewiesen.

Die Proben werden an den Probeentnahmestellen so entnommen, daß die bei den zerstörenden Prüfungen genommenen Werte für die ganze Erzeugnisform repräsentativ sind.

Zerstörungsfreie Prüfung der Schmiederinge

An den Erzeugnisformen wird eine vollständige Oberflächenrißprüfung durchgeführt. Alle Werkstoffe werden außerdem einer vollständigen Ultraschall-Prüfung (US-Prüfung) unterzogen.

Prüfung der Schweißnähte

Die Schweißung erfolgt anhand eines detaillierten, vom zugezogenen Sachverständigen geprüften Schweißplans durch geprüfte Schweißer unter Aufsicht eines verantwortlichen Schweißfachmanns.

Aufgrund umfangreicher Untersuchungen von Dickwandschweißungen ist bekannt, daß die mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht denjenigen des Grundwerkstoffes entsprechen. Das gilt sowohl für die Festigkeits- wie auch für die Zähigkeitseigenschaften.

Im Zuge der Fertigung werden Arbeitsproben mitgeschweißt. Diese Arbeitsproben werden sowohl zerstörend als auch zerstörungsfrei geprüft, wobei die in den einschlägigen Vorschriften geforderten Schweißnahtprüfungen zusätzlich durchgeführt werden.

Der zerstörungsfreien Prüfung von Schweißnähten kommt besondere Bedeutung zu. Geprüft wird jede Naht 100 % mit Ultraschall und 100 % mit Oberflächenrißprüfung. Fallweise wird eine Durchstrahlungsprüfung vorgesehen. Die Prüfempfindlichkeit bei der US-Prüfung ist in der Spezifikation so festgelegt, daß die zu registrierenden Anzeigen deutlich unter der jeweiligen Zulässigkeitsgrenze liegen. Die Schweißnähte werden mit Prüfköpfen verschiedener Winkeleinstrahlung geschallt, so daß die Gewähr gegeben ist, daß alle Bereiche der Naht voll erfaßt werden.

Die Abnahmeprüfung wird nach der letzten Wärmebehandlung jeder Schweißnaht durchgeführt. Vorher finden Zwischenprüfungen zur möglichst frühzeitigen Erkennung von Schweißfehlern statt.

Nach der Wasserdruckprüfung werden die Schweißnähte nochmals einer zerstörungsfreien Prüfung unterzogen, und zwar der Oberflächenrißprüfung und der US-Prüfung.

Hersteller, Anlagelieferer und Sachverständige führen unabhängig voneinander baubegleitende Herstellungs-Überwachungen durch, wobei der sicherheitstechnischen Beurteilung der Komponenten Vorrangigkeit zukommt. Es wird über die Komponenten-Spezifikationen und über vorprüfpflichtige Herstellungsunterla-

gen sichergestellt, daß in den Prüfzeitpunkten, die wichtig für diese Beurteilung sind, jeweils zwei Prüfparteien eingeschaltet sind. Insgesamt verschafft sich dadurch jede der drei Prüfparteien einen Einblick in die Qualität der Komponenten und dokumentiert dies.

Über jeden Prüfungsvorgang wird ein Protokoll angefertigt. Die Ergebnisse der Abnahmeprüfungen bilden die Grundlage für die Erstellung des US-Atlas.

Prüfung der Schweißplattierung

Die Schweißplattierung wird durch 100 %ige Oberflächenrißprüfung und 100 %ige US-Prüfung geprüft.

Außerdem werden alle Chargen der verwendeten Zusatzwerkstoffe geprüft und es wird, ähnlich wie bei der Verbindungsschweißung, eine Arbeitsprobe geschweißt, zerstörungsfrei und zerstörend geprüft.

Durch diese Prüfungen wird die Güte der Schweißplattierung hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, ihrer Korrosionsbeständigkeit, ihrer einwandfreien Bindung zum Grundwerkstoff sowie ihrer Rißfreiheit kontrolliert.

Druckprüfung

Im Anschluß an die zerstörungsfreie Prüfung nach der letzten Wärmebehandlung erfolgt eine Wasserdruckprüfung. Prüftemperatur und Ablauf der Druckprüfung werden in einem Druckprüfungsplan vorher festgelegt.

2.7.3.2 Wiederkehrende Prüfungen an Komponenten des Reaktorkühlsystems

(Abb. 2.7.3.2/1)

2.7.3.2.1 Aufgabe der wiederkehrenden Prüfungen

Zur Überprüfung der Integrität der Komponenten des Reaktorkühlsystems werden diese nach Inbetriebnahme des Reaktors regelmäßig wiederkehrenden Prüfungen gemäß KTA 3201.4 unterzogen.

Bereits während der Bauphase werden im Rahmen von Fertigungskontrollen entsprechende Messungen durchgeführt, die bei späteren wiederkehrenden Prüfungen zum Vergleich herangezogen werden können.

Die Hauptaufgabe der wiederkehrenden Prüfungen ist die Überwachung bei vorangegangenen registrierten Anzeigen und deren Auswertung hinsichtlich eventueller Veränderungen im vorausgegangenen Betriebszeitraum.

2.7.3.2.2 Vorkehrungen für die Durchführbarkeit

Bereits bei der Konstruktion und der baulichen Anordnung der Komponenten wird der Forderung nach möglichst schneller und reibungsloser Durchführung der wiederkehrenden Prüfungen weitgehend Rechnung getragen, um den Bedarf an Prüfpersonal und dessen Strahlenbelastung so niedrig wie möglich zu halten.

Dies wird unter anderem erreicht durch

- prüfgerechte Konstruktion der Komponenten
- prüfgerechte Oberfläche der Komponenten an den Prüfbereichen
- gut auffindbare und nach einem einheitlichen System vorgenommene Markierung der Schweißnähte
- ausreichende Anzahl von Mann-, Handloch- und Besichtigungsöffnungen an den Komponenten für Inneninspektionen
- schnell abnehmbare und wieder montierbare Wärmeisolierung an den zu prüfenden Bereichen

- gute Zugänglichkeit zu den Komponenten
- weitgehenden Einsatz von Vorrichtungen und fernbedienten Prüfgeräten.

2.7.3.2.3 Prüfmethoden und Prüfmöglichkeiten bei wiederkehrenden Prüfungen

Für die wiederkehrenden Prüfungen stehen folgende Prüfverfahren zur Verfügung:

Ultraschallprüfung (US)

Ultraschallprüfungen werden für volumetrische Prüfungen manuell, oder im Gebiet höherer Strahlung, mechanisiert mittels fernbedienter Prüfkopfführung und automatischer Anzeigenregistrierung eingesetzt.

Die Einschallrichtungen werden so gewählt, daß Trennungen mit den wahrscheinlichsten Orientierungen angezeigt werden können. Als wahrscheinlichste Orientierungen gelten dabei

- die senkrecht zu den Hauptspannungsrichtungen verlaufenden Flächen
- die Schmelzfläche an Schweißnähten (Längsfehler)
- die Flächen senkrecht zur Schweißrichtung (Querfehler)

Um eine bestmögliche Fehlererkennbarkeit zu erreichen, werden Prüfköpfe mit verschiedenen Einschallwinkeln sowie spezielle Prüfköpfe für prüfkopfnahen Zonen eingesetzt.

Je nach Wanddicke und Geometrie wird entweder die Einkopftechnik oder zusätzlich die Tandemtechnik bzw. eine Tandem-Ersatztechnik angewendet.

Bei Einkopftechnik erfolgt die Prüfung aus zwei entgegengesetzten Richtungen, bei Tandemtechnik nur von einer Seite.

Bei der Prüfung der Stumpf-, Stutzen- und Anschweißnähte wird eine benachbarte Grundwerkstoffzone mit einbezogen.

Wirbelstromprüfung (WS)

Die Wirbelstromprüfung ist anwendbar für oberflächennahe Prüfungen. Im Gebiet hoher Strahlung kann mechanisiert mittels fernbedienter Prüfkopfführung und automatischer Anzeigenregistrierung geprüft werden. Das Wirbelstromprüfverfahren kann eingesetzt werden zur Prüfung

- der Dampferzeuger-Heizrohre
Es können Fehler auf der Innen- bzw. Außenseite der Rohre unterschieden, Längs- und Querfehler erkannt sowie Materialabtrag und sekundärseitige Ablagerungen festgestellt werden.
- der Gewindesacklöcher im RDB-Unterteil, RDB-Schraubenbolzen
Es können vom Gewinde und Dehnschaft ausgehende Fehler aufgefunden werden.
- von Hauptkühlmittelpumpenwellen, Hauptverbindungsschraube, Zentraler Laufradschraube
Es können von der Oberfläche ausgehende Fehler gefunden werden.

Oberflächenprüfverfahren

Oberflächenprüfverfahren sind anwendbar für Oberflächen, die zugänglich und nicht aus Abschirmgründen mit Wasser geflutet sind.

- Magnetpulververfahren
Damit können Materialtrennungen und -inhomogenitäten an der Oberfläche, die senkrecht oder annähernd senkrecht zur Feldrichtung liegen und deren Breite klein gegenüber der Länge und Tiefe ist, nachgewiesen werden.

Die Magnetpulverprüfung ist nur für ferromagnetische Werkstoffe anwendbar.

- Farbeindringverfahren
Damit können Materialtrennungen an allen Werkstoffen an der Oberfläche nachgewiesen werden.

- Sichtprüfungen

Sind visuell an zugänglichen Stellen, mit optischen Geräten oder Fernsehkameras auch an schwer zugänglichen oder gefluteten Teilen anwendbar.

Sie dienen zur Beurteilung des Allgemeinzustandes der Komponenten auf z. B.

- Spuren von Leckagen
- mechanische Beschädigungen
- Ablagerungen von Fremdkörpern
- festen Sitz von Verschraubungen
- Zustand der Anschlüsse von Meßstellen und Meßleitungen

Integrale Prüfungen

- Dichtheitsprüfungen

Sie dienen zur Auffindung von Leckagen in der druckführenden Umschließung und werden bei jedem Anfahren durchgeführt.

- Druckprüfungen

Werden mit erhöhtem Druck durchgeführt zum Nachweis, daß in der druckführenden Umschließung keine Schäden vorhanden sind, die innerhalb der folgenden Betriebsphase zum Versagen führen.

2.7.3.2.4 Prüfmöglichkeiten bei den einzelnen Komponenten des Reaktorkühlsystems

Reaktordruckbehälter (RDB)

(s. Abb. 2.7.3.2/1)

RDB-Unterteil

Die gesamte Innenoberfläche des RDB-Unterteils ist nach dem Abnehmen des Deckels und dem Ausbau der Einbauten zugänglich. Die Prüfungen erfolgen wegen der guten Abschirmung der hohen Ortsdosisleistung und zur Ankopplung

der US-Prüfköpfe fernbedient unter Wasser von der Innenseite des Druckbehälters her durch die Plattierung. Dies bringt folgende Vorteile:

- gute Zugänglichkeit
- ein einfaches Manipulatorsystem und somit kurze Prüf- und Rüstzeiten
- geringe Dosisbelastung für das Prüfpersonal

Bevorzugt sind US-Prüfungen an folgenden Bereichen vorgesehen:

- sämtliche Schweißnähte in der Behälterwand
- Einschweißungen der Kühlmittelstutzen
- Innenkanten der Kühlmittelstutzen
- Anschlußnähte der Kühlmittleitungen
- Anschweißnähte an die Behälterwand

Weiterhin besteht die Möglichkeit der visuellen Besichtigung des RDB z. B. mit Hilfe einer Unterwasser-Fernsehkamera, dies gilt auch für die RDB-Einbauten.

Um im Bedarfsfall eine Außenprüfung zu ermöglichen, ist die Isolierung im Bereich des RDB-Unterteils ca. 600 mm vom RDB abgerückt.

Es ist Vorsorge getroffen, daß die zu prüfenden Bereiche für die Prüfungen zugänglich gemacht werden können.

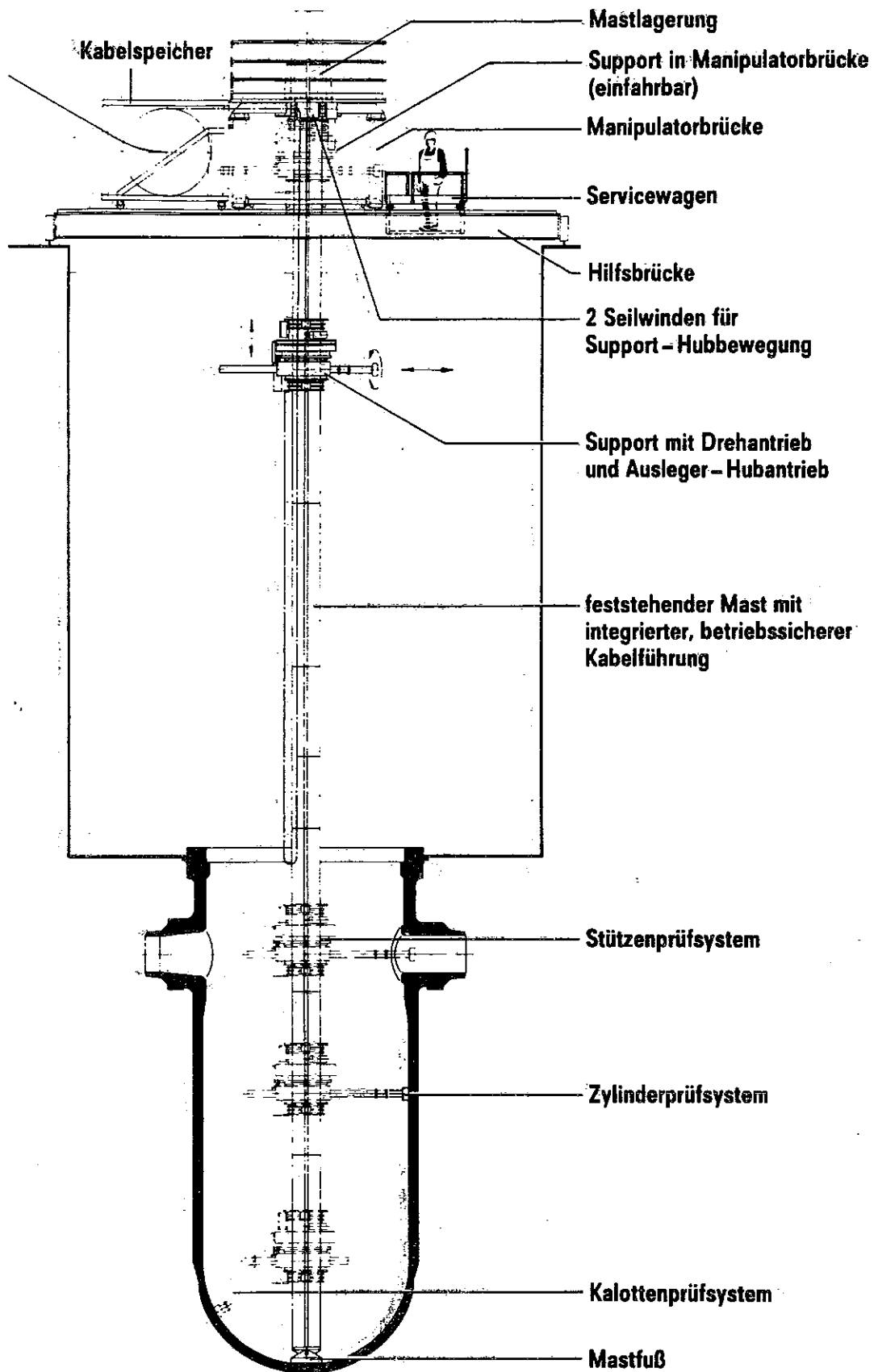
RDB-Deckel

Der RDB-Deckel ist in seiner Abstellposition von außen und innen zugänglich und prüfbar.

Um die Zugänglichkeit sicherzustellen und zur Reduzierung der Strahlenbelastung des Prüfpersonals sind folgende Maßnahmen vorgesehen:

- Abgesetzte feste Deckelisolierung von der Deckeloberseite zur Prüfung der Stege zwischen den Bohrungen für die Steuerelementstutzen

Um die Strahlenexposition des Prüfpersonals auch bei der Prüfung dieser Komponenten zu reduzieren, kommen weitgehend mechanisierte Prüfmethoden zum Einsatz.



Kernkraftwerk Stendal C/D	
Zentralmastmanipulator im Reaktordruckbehälter	
SIEMENS Energieerzeugung KWU	
Abb.: 27332/1	DWR 1300 08.90