

**ABTEILUNG FÜR KERNENERGIE
KANTGOWRONG UNIVERSITÄT**

**BETRIEBSALEITUNG UND INSPEKTIONS-
UND WARTUNGSHANDBUCH
KERNKRAFTWERK NR-1001**

SEPTEMBER 1972

XCM 201

BEDIENUNGSANLEITUNG
REAKTOR NR-1001

ABTEILUNG FÜR KERNENERGIE
UNIVERSITÄT UND KANTGOWRONG

RÜCKBLICK: SEPTEMBER 1972

INDEX

seite

KAPITEL I

WARNHINWEISE UND UNTERNEHMENSRICHTLINIEN..... 3

KAPITEL II

ZENTRAKARTE..... 4

KAPITEL III

BEDIENUNG DER KOMPONENTEN

1. Ventil.....	5
2. Pumpe.....	6
3. Durchflussmesser.....	7
4. Druckmesser.....	8
5. Wärmetauscher.....	9
6. Füllstandsmesser.....	10
7. Akkumulator.....	11
8. Turbine.....	12
9. Generator/alternator.....	13

KAPITEL IV

BEREICHE

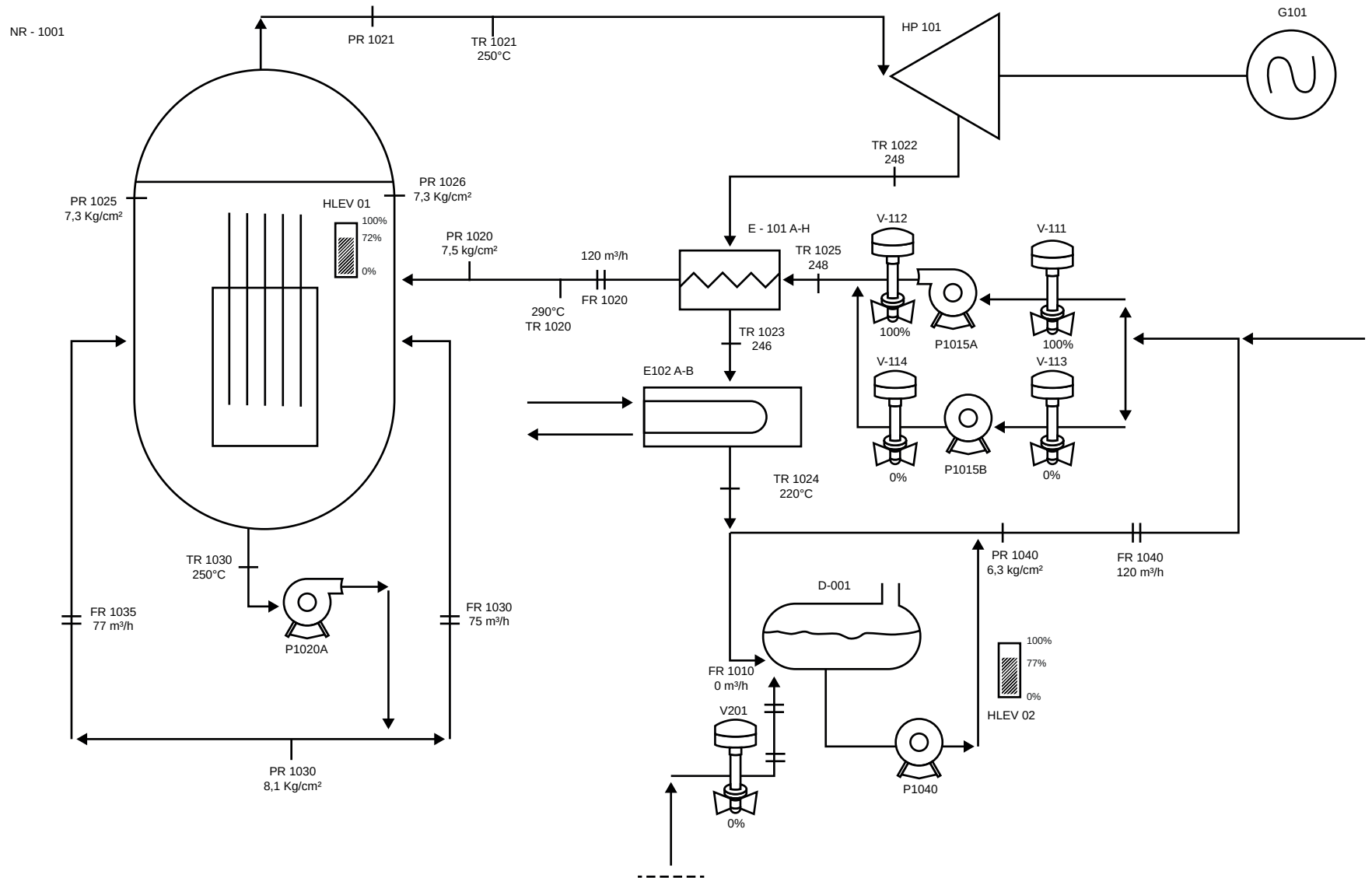
1. Reaktor.....	14
2. Steuerstäbe	15
2. Stromerzeugungsbereich.....	16
3. Wärmerückgewinnungsanlage.....	17
4. Kondensationsanlage.....	18
5. Umwälzpumpenkreislauf.....	19

KAPITEL V

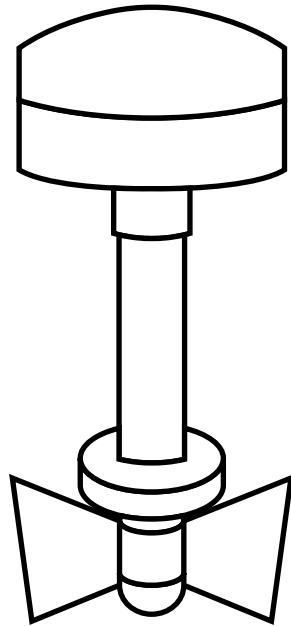
KOMPONENTENLISTEN

Temperaturesensoren.....	20
Drucksensoren.....	21
Durchflusssensoren.....	22
Füllstandsanzeigen / Pumpen.....	23
Ventile.....	24

ZENTRAKARTE



VENTIL



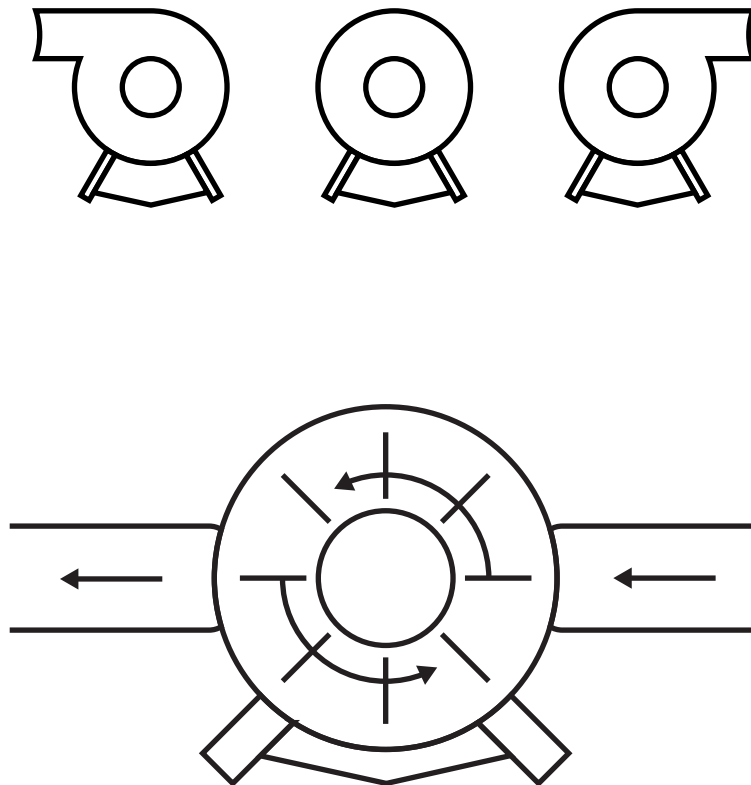
Code: **V**

Das Ventil ist ein wesentliches mechanisches Bauteil, das es ermöglicht, den Fluss eines Fluids innerhalb einer Anlage zu regulieren, zu starten, zu stoppen oder umzuleiten. In einem Kernkraftwerk spielen Ventile eine entscheidende Rolle, um die Sicherheit, Effizienz und Kontrolle der verschiedenen Kreisläufe zu gewährleisten. Sie können in Primärkreisläufen (die das Kühlmittel vom Reaktor zu den Dampferzeugern transportieren), in Sekundärkreisläufen (die den Dampf zu den Turbinen führen), in Notkühlsystemen und in Hilfsanlagen installiert sein.

Ventile können manuell oder automatisch betätigt werden, mithilfe elektrischer, pneumatischer oder hydraulischer Antriebe, die durch Sensoren oder Bediener im Kontrollraum gesteuert werden. Einige Ventile sind so konzipiert, dass sie autonom auf kritische Bedingungen reagieren, wie z.B. Überdruck oder plötzliche Temperaturschwankungen, und sich aktivieren, um die Integrität der Anlage zu schützen.

Es gibt verschiedene Arten: Schieberventile, geeignet für vollständiges Öffnen und Schließen; Regelventile (Globeventile), die zur genauen Durchflussregulierung verwendet werden; Kugel- und Klappenventile, die für ihre schnelle Bedienbarkeit geschätzt werden. Jede Art hat spezifische Eigenschaften je nach Medium, Betriebsdruck und Funktion. Ventile müssen regelmäßig gewartet und sorgfältig überprüft werden, um sicherzustellen, dass sie sich korrekt öffnen und schließen. Ein Ausfall eines Ventils kann das Gleichgewicht des Systems stören und im schlimmsten Fall die Sicherheit der Anlage gefährden. Aus diesem Grund wird ihr Zustand ständig überwacht und in den Kontrollsystemen erfasst.

PUMPE



Code: **P**

Die Pumpe ist ein mechanisches Gerät, das dazu dient, ein Fluid von einem Punkt zum anderen innerhalb des Systems zu transportieren, wobei der Druck erhöht wird, um den Fluss in den Kreisläufen aufrechtzuerhalten. In einem Kernkraftwerk spielen Pumpen eine zentrale Rolle: Sie gewährleisten den konstanten Fluss von Wasser oder anderen Flüssigkeiten in den Kühlsystemen, in den Primär- und Sekundärkreisläufen sowie in den Hilfseinrichtungen.

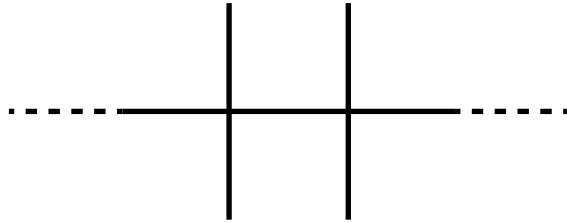
Im Primärkreislauf beispielsweise sind die Kühlmittelpumpen für den kontinuierlichen Transport von Wasser unter Hochdruck vom Reaktor zu den Dampferzeugern verantwortlich. Dieser Fluss ermöglicht es, die vom Reaktorkern erzeugte Wärme aufzunehmen und an den Sekundärkreislauf zu übertragen, ohne dass ein direkter Kontakt zwischen dem radioaktiven Wasser und dem Dampf, der die Turbine antreibt, besteht.

Pumpen müssen kontinuierlich und zuverlässig arbeiten, auch unter extremen Bedingungen von Temperatur und Druck. Sie werden in der Regel von leistungsstarken Elektromotoren angetrieben und mit Redundanzen ausgelegt: Jede kritische Pumpe verfügt über ein oder mehrere Ersatzaggregate, die im Falle eines Ausfalls einspringen können. In Sicherheitssystemen gibt es auch Notfallpumpen, die im Falle eines Unfalls oder Stromausfalls automatisch aktiviert werden und von unabhängigen Generatoren gespeist werden können.

Es gibt verschiedene Pumpentypen, darunter Kreiselpumpen, die die Zentrifugalkraft nutzen, um das Fluid nach außen zu drücken und durch die Rohrleitungen zu fördern, sowie Verdrängerpumpen, die präziser arbeiten und verwendet werden, wenn exakte Flüssigkeitsmengen gefördert werden müssen.

Die Pumpen werden kontinuierlich überwacht. Spezielle Sensoren messen Parameter wie Druck, Temperatur, Vibrationen und Durchflussmenge, um frühzeitig Anzeichen von Verschleiß oder Fehlfunktionen zu erkennen. Die vorbeugende Wartung ist entscheidend: Eine ausgefallene Pumpe kann das gesamte Kühlsystem gefährden und ein Risiko für die Sicherheit der Anlage darstellen.

DURCHFLUSSMESSER



Code: **FR**

Der Durchflussmesser ist ein Instrument, das verwendet wird, um die Menge eines Fluids zu bestimmen, die in einem bestimmten Zeitraum durch einen Rohrleitungsabschnitt fließt. In einem Kernkraftwerk ist die Durchflussrate ein entscheidender Parameter für die Steuerung und Sicherheit des Systems, da sie es ermöglicht zu überprüfen, ob Flüssigkeiten – wie das Wasser im Primärkreislauf, der Dampf im Sekundärkreislauf oder Kühlmittel – mit der vorgesehenen Geschwindigkeit und Menge zirkulieren.

Ein korrekter Durchfluss stellt sicher, dass die vom Reaktorkern erzeugte Wärme effizient übertragen und abgeführt wird. Eine zu geringe Durchflussrate kann auf ein Problem hinweisen, etwa eine Verstopfung, eine Pumpenstörung oder ein

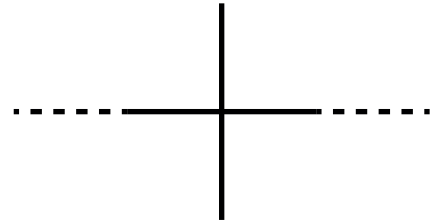
Leck. Umgekehrt kann ein zu hoher Durchfluss zu abnormalem Druck und mechanischer Belastung der Anlagen führen. Eine kontinuierliche Überwachung des Durchflusses ist daher entscheidend, um die Anlage unter sicheren und stabilen Betriebsbedingungen zu halten.

In Kernkraftwerken kommen verschiedene Arten von Durchflussmessern zum Einsatz, die jeweils für bestimmte Betriebsbedingungen ausgelegt sind. Am häufigsten sind Differenzdruckmesser (wie Blenden, Venturi-Rohre oder Blenden-Durchflussmesser), die den Durchfluss anhand des Druckunterschieds berechnen, der beim Durchströmen einer Verengung entsteht. Andere Modelle verwenden Ultraschall- oder elektromagnetische Technologien, die präzise Messungen ohne bewegliche Teile ermöglichen – ideal für Hochtemperaturumgebungen oder radioaktive Flüssigkeiten.

Der Durchflussmesser ist mit den Steuerungssystemen der Anlage verbunden und sendet Echtzeitdaten an den Kontrollraum. Durchflussabweichungen werden aufgezeichnet, analysiert und lösen gegebenenfalls Alarme oder automatische Korrekturmaßnahmen aus. In manchen Fällen werden redundante Systeme eingesetzt, d.h. mehrere Messgeräte am gleichen Rohrschnitt, um Messwerte vergleichen und die Gesamtzuverlässigkeit erhöhen zu können.

Wartung und regelmäßige Kalibrierung der Durchflussmesser sind unerlässlich, um die Messgenauigkeit langfristig zu gewährleisten. Eine fehlerhafte Messung kann das thermische Gleichgewicht des gesamten Systems gefährden und im schlimmsten Fall zu gefährlichen Betriebsbedingungen führen. Aus diesem Grund überprüft das technische Personal ständig die Leistung dieser Geräte und greift bei Abweichungen oder Ausfällen sofort ein.

DRUCKMESSER



Code: PR

Der Druckmesser ist ein unverzichtbares Instrument zur Überwachung von Fluiden in den verschiedenen Systemen eines Kernkraftwerks. Der Druck ist ein kritischer Parameter, da er die Sicherheit, Effizienz und mechanische Integrität der Anlage direkt beeinflusst. Die Überwachung des Drucks in den Primär- und Sekundärkreisläufen, in Tanks, Dampferzeugern und Hilfssystemen ermöglicht die frühzeitige Erkennung von Anomalien, verhindert strukturelle Schäden und stellt sicher, dass die Betriebsbedingungen innerhalb der Auslegungsgrenzen bleiben.

Druckmesser erfassen die Kraft, die das Fluid auf die inneren Oberflächen des Systems ausübt. Diese Geräte sind an strategischen Stellen installiert und übermitteln kontinuierliche

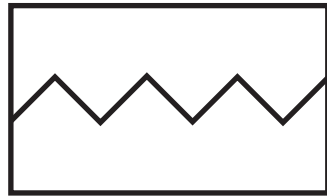
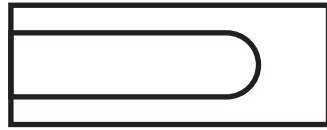
Messwerte an die Leitsysteme, wo die Informationen mit den Sollwerten verglichen werden. Bei signifikanten Abweichungen kann das System Alarme auslösen, Ventile verstellen oder Notfallmaßnahmen einleiten.

Zu den am häufigsten verwendeten Technologien gehören Drucktransmitter, die den Druck in ein proportionales elektrisches Signal umwandeln. Andere Geräte nutzen mechanisch verformbare Elemente – wie Bourdon-Rohre, Membranen oder elastische Kapseln – zur direkten Druckmessung. In modernen Systemen bieten digitale Sensoren eine hohe Genauigkeit und sind für extreme Bedingungen hinsichtlich Temperatur, Strahlung und Vibration ausgelegt.

Der Druckmesser ist besonders im Primärkreislauf von entscheidender Bedeutung, wo das Wasser unter sehr hohem Druck gehalten wird, um ein Sieden auch bei Temperaturen über 300°C zu verhindern. Ein Druckabfall in diesem Kreislauf kann auf ein Kühlmittelleck, einen Bruch oder einen Pumpenausfall hinweisen. Im Sekundärkreislauf hingegen muss der Dampfdruck kontrolliert werden, um die Effizienz der Turbine zu gewährleisten und Überdruck in den Erzeugern zu vermeiden. Die regelmäßige Kalibrierung der Druckmesser ist vorgeschrieben. Selbst kleine Ungenauigkeiten können die Fähigkeit des Systems, in kritischen Situationen richtig zu reagieren, beeinträchtigen. Daher werden die Sensoren regelmäßig getestet und nach strengen Protokollen ausgetauscht. In besonders sensiblen Bereichen der Anlage sind zudem häufig redundante Systeme installiert, um eine Kreuzüberprüfung der Messwerte zu ermöglichen.

In einer komplexen Umgebung wie einem Kernkraftwerk ist der Druckmesser nicht nur ein Messinstrument, sondern eine aktive Kontrollbarriere, die für den sicheren und stabilen Betrieb der gesamten Anlage unerlässlich ist.

WÄRMETAUSCHER



Code: **E**

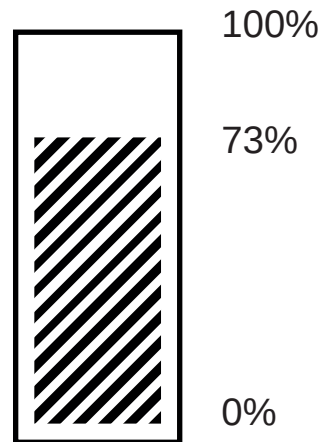
Der Wärmetauscher ist ein zentrales Bauteil in den thermohydraulischen Systemen eines Kernkraftwerks. Seine Hauptfunktion besteht darin, thermische Energie von einem heißen Fluid auf ein kälteres zu übertragen, ohne dass die beiden direkt miteinander in Kontakt kommen. In den meisten Druckwasserreaktoren (DWR) stellt der Dampferzeuger den Hauptwärmetauscher dar. Er überträgt Wärme vom Primärkreislauf (radioaktives Wasser) auf den Sekundärkreislauf (nicht radioaktives Wasser) und erzeugt so den Dampf, der die Turbine antreibt. Das Funktionsprinzip basiert auf Wärmeleitung durch Metalloberflächen: Die Rohre des Wärmetauschers trennen die beiden Fluide und ermöglichen einen kontrollierten und effizienten Wärmeaustausch. Das hochtemperierte Wasser aus dem Reaktor

fließt durch das Innere der Rohre, während das Wasser des Sekundärkreislaufs außen vorbeiströmt, Wärme aufnimmt und verdampft. Dieser Prozess sorgt dafür, dass die Radioaktivität im Primärkreislauf verbleibt und der Sekundärkreislauf sauber und sicher bleibt.

Die Struktur eines Wärmetauschers ist so ausgelegt, dass sie sehr hohen Drücken und Temperaturen sowie der korrosiven Wirkung chemisch behandelter Wässer standhält. Die verwendeten Materialien müssen eine hohe Wärmeleitfähigkeit und sehr gute mechanische Eigenschaften aufweisen. Die Rohre bestehen häufig aus Nickellegierungen oder rostfreiem Stahl, um langfristige Haltbarkeit und Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Ein einwandfreier Betrieb des Wärmetauschers ist entscheidend für die Gesamteffizienz des Kraftwerks. Wenn die Wärmeübertragungsfähigkeit – etwa durch Ablagerungen, Rohrschäden oder Leckagen – abnimmt, sinkt die Dampferzeugung und das Kühlsystem des Reaktors kann beeinträchtigt werden. Daher ist der Wärmetauscher mit Überwachungsinstrumenten ausgestattet und wird regelmäßig durch Sichtprüfungen, Dichtheitsprüfungen und thermische Leistungsanalysen kontrolliert.

Ein Schaden an den Innenwänden kann zu einem direkten Kontakt der beiden Fluide führen, was ein Risiko radioaktiver Kontamination des Sekundärkreislaufs darstellt. In solchen Fällen werden Isolations- und Entleerungsverfahren aktiviert, gefolgt von spezialisierten technischen Eingriffen. Das Vorhandensein redundanter Systeme und Absperrventile ermöglicht es, betriebliche oder ökologische Folgen rasch einzudämmen. Der Wärmetauscher ist somit ein zentraler Punkt im thermischen Kreislauf des Kraftwerks. Seine Effizienz und strukturelle Integrität sind entscheidend für die Energieausbeute und die Gesamtsicherheit der Anlage.

FÜLLSTANDSMESSER



Code: **HLEV**

Der Füllstandsmesser ist ein unerlässliches Gerät zur Kontrolle des Flüssigkeitsvolumens in Tanks, Behältern und Dampferzeugern einer Kernkraftanlage. Insbesondere muss der Wasserstand in Kühlsystemen und im Dampferzeuger kontinuierlich innerhalb präziser Betriebsgrenzen gehalten werden, um die Sicherheit und Effizienz der Anlage zu gewährleisten. Eine ungewöhnliche Abweichung kann auf ein Leck, eine Pumpenstörung, eine Verstopfung in den Leitungen oder einen Fehler in den Steuerungssystemen hinweisen.

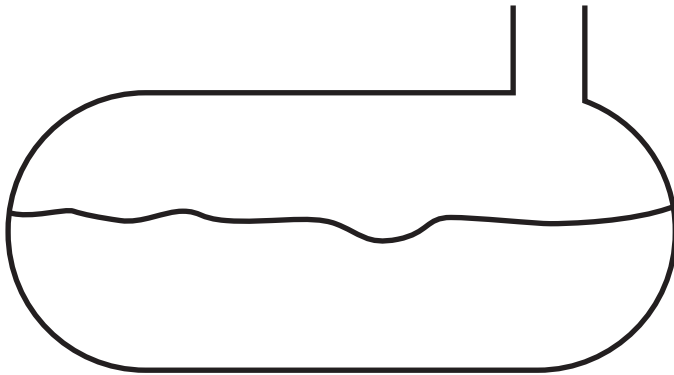
Im Dampferzeuger beispielsweise muss der Wasserstand hoch genug sein, um die Wärme aus dem Primärkreislauf aufzunehmen, darf aber nicht so hoch sein, dass die Dampfproduktion oder der Turbinenbetrieb beeinträchtigt wird. Ein zu niedriger

Stand könnte zu Überhitzung und Rohrleitungsschäden führen, während ein zu hoher Stand das Eindringen von flüssigem Wasser in die Turbine riskieren und deren Integrität gefährden könnte.

Füllstandsmesser können mit verschiedenen Technologien arbeiten. Zu den am weitesten verbreiteten Systemen gehören Differenzdrucktransmitter, die die Änderung des hydrostatischen Drucks der Flüssigkeit messen. Andere Geräte beruhen auf optischen, kapazitiven, ultraschall- oder radar-basierten Methoden, die berührungslose Messungen ermöglichen – ideal für Hochtemperatur- oder radioaktive Umgebungen. In einigen Fällen werden auch visuelle Schwimmeranzeigen verwendet, allerdings nur in Sekundärkreisläufen oder Servicebehältern. Die Sensoren sind mit den Überwachungs- und Steuerungssystemen verbunden und liefern Echtzeitmesswerte. Bei ungewöhnlichen Abweichungen kann das System Alarme auslösen, die Pumpendrehzahl anpassen oder die Ventilöffnung regulieren, um den korrekten Füllstand wiederherzustellen. Grenzwerte werden bereits während der Planung festgelegt und im Rahmen von Übungen und Wartungsarbeiten überprüft.

Ein entscheidender Aspekt ist die Redundanz: an kritischen Stellen wie den Dampferzeugern oder Borwasser-Vorratstanks sind mehrere unabhängige Sensoren installiert, um den Betrieb auch bei Ausfall eines Geräts sicherzustellen. Die Übereinstimmung der Sensorsignale wird kontinuierlich überprüft. Bei Abweichungen wird eine automatische Diagnose gestartet. Der Füllstandsmesser ist nicht nur ein Messinstrument, sondern ein integraler Bestandteil der Anlagesteuerung. Er liefert essentielle Daten, die direkte Auswirkungen auf automatische und manuelle Regelentscheidungen haben. Seine zuverlässige Funktion wird durch regelmäßige Wartung, präzise Kalibrierung und Funktionstests gemäß nuklearsicherheitsrelevanten Protokollen sichergestellt.

AKKUMULATOR



Code: **D**

Der Akkumulator ist ein Großbehälter, der in Kernkraftwerken zur sicheren und kontrollierten Lagerung von Flüssigkeiten verwendet wird. Die Tanks können Kühlwasser, Borsäurelösungen, Betriebsflüssigkeiten oder – in manchen Fällen – Kondensate aus dem Sekundärkreislauf enthalten. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, eine ständige Verfügbarkeit der für den Betrieb und die Sicherheit der Anlage notwendigen Flüssigkeiten zu gewährleisten – auch unter außergewöhnlichen oder Notfallbedingungen.

In einem Kernkraftwerk gibt es verschiedene Arten von Akkumulatoren: Einige sind drucklos (atmosphärisch), während andere unter Druck stehen, um die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Flüssigkeit zu erhalten. Der Borwasser-Speicher-

tank beispielsweise ist ein entscheidender Bestandteil des Notabschaltsystems des Reaktors. Im Falle einer Störung oder eines schnellen Abschaltbedarfs wird das boriierte Wasser in den Primärkreislauf eingespeist, um Neutronen zu absorbieren und die nukleare Kettenreaktion zu unterbrechen.

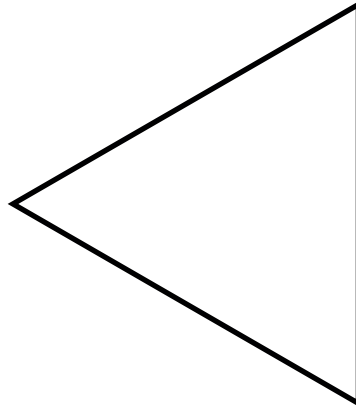
Die Struktur des Akkumulators besteht aus hochkorrosionsbeständigen Materialien wie Edelstahl oder Speziallegierungen, um Dichtheit und langfristige Haltbarkeit zu gewährleisten. Die Wände sind je nach enthaltenem Fluid und Einsatzbereich thermisch isoliert oder abgeschirmt. Der Tankboden ist geneigt oder mit Entleerungsleitungen ausgestattet, um eine vollständige Entleerung bei Wartung oder Reinigung zu ermöglichen.

Jeder Akkumulator ist mit Sensoren für Füllstand, Temperatur und Druck ausgestattet, die an das Überwachungssystem angeschlossen sind. Dadurch können die Bedingungen der Flüssigkeit in Echtzeit überwacht und die zugehörigen Pumpen oder Ventile automatisch aktiviert werden. Sicherheitsventile und Entlüftungen ermöglichen die Kontrolle von Überdruck oder thermischen Anomalien. Außerdem sind einige Behälter an Umwälzsysteme angeschlossen, um das Wasser kontinuierlich zu behandeln – durch Entsalzung, Filtration oder chemische Zusätze.

Aus sicherheitstechnischer Sicht gelten Akkumulatoren als kontrollierte Risikokomponenten. Daher unterliegen sie regelmäßigen Inspektionen, Prüfungen der strukturellen Integrität sowie zerstörungsfreien Prüfverfahren wie Ultraschall oder Radiographie. Etwaige Leckagen oder Fehlfunktionen müssen sofort gemeldet werden, und die Eingriffe erfolgen gemäß den im Notfallplan der Anlage festgelegten Protokollen.

Schließlich spielen Akkumulatoren auch eine wichtige Rolle in den Phasen des An- und Abfahrens des Reaktors, wenn große Flüssigkeitsmengen schrittweise und sicher gehandhabt werden müssen. Ihr ordnungsgemäßer Betrieb trägt zur Aufrechterhaltung des thermischen Gleichgewichts, zur Kontrolle der Reaktivität und zum Schutz der Umwelt vor potenziellen Kontaminationen bei.

TURBINE



Code: **HP**

Die Turbine ist eines der wichtigsten Elemente im System zur Umwandlung von thermischer in mechanische Energie innerhalb eines Kernkraftwerks. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, die Energie des im Dampferzeuger erzeugten Hochdruck- und Hochtemperaturdampfs in Rotationsenergie umzuwandeln, die anschließend zur Stromerzeugung durch den Generator genutzt wird. Die Turbine befindet sich im Sekundärkreislauf der Anlage, d.h. sie kommt niemals direkt mit den radioaktiven Flüssigkeiten des Primärkreislaufs in Kontakt, was eine höhere Betriebssicherheit und leichtere Wartung gewährleistet.

Kernkraftwerke verwenden in der Regel Dampfturbinen, die aus mehreren Abschnitten bestehen: Hochdruck-, Mitteldruck- und Niederdruckstufen. Der Dampf tritt zunächst in die Hochdruckstufe ein,

wo ein Teil seiner Energie in mechanische Energie umgewandelt wird. Danach durchläuft der Dampf die weiteren Stufen, wobei er Druck und Temperatur allmählich verliert, bis er schließlich im Kondensator ankommt. Dieses mehrstufige Schema ermöglicht es, die im Dampf enthaltene Energie optimal zu nutzen und den Gesamtwirkungsgrad der Maschine zu erhöhen.

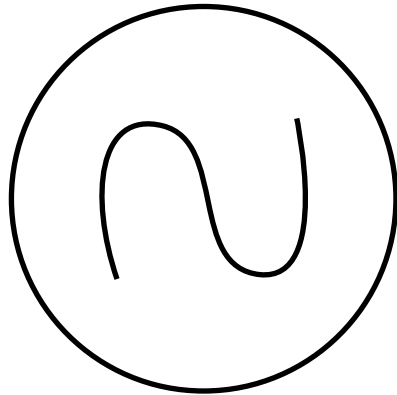
Turbinen bestehen aus einem Rotor, der sich mit hoher Geschwindigkeit in einem festen Gehäuse (Stator) dreht, und aus Schaufeln, die in Reihe angeordnet sind, um den Dampfstrom zu führen und zu beschleunigen. Jede Stufe der Turbine ist so konzipiert, dass der Druckunterschied zwischen Einlass und Auslass optimal genutzt wird. Die Steuerung der Turbine erfolgt über Regelventile, die die eingelassene Dampfmenge modulieren und so die Leistungsabgabe an die Betriebsbedingungen der Anlage anpassen.

Nukleare Dampfturbinen unterliegen sehr strengen Toleranzen – sowohl hinsichtlich der mechanischen Auswuchtung als auch hinsichtlich der Materialbeständigkeit gegen thermische und mechanische Belastungen. Die internen Bauteile arbeiten bei hohen Temperaturen und müssen wiederholten thermischen Zyklen, ständigen Vibrationen und erheblichen Zentrifugalkräften standhalten. Daher bestehen sie aus speziellen Metalllegierungen und werden regelmäßig gewartet und überprüft.

Der Betrieb der Turbine wird kontinuierlich über Sensoren für Vibration, Temperatur, Druck und Drehzahl überwacht, die mit den Steuerungssystemen der Anlage verbunden sind. Jede ungewöhnliche Abweichung der Betriebsparameter kann auf ein mechanisches Problem oder eine Veränderung des Dampfstroms hinweisen und erfordert ein sofortiges Eingreifen oder einen kontrollierten Stopp der Maschine.

Schließlich ist die Turbine fest mit dem Generator gekoppelt, mit dem sie die Antriebsachse des Stromerzeugungssystems bildet. Die gesamte Turbinen-Generator-Einheit befindet sich in einem speziellen Raum, der mit Schallschutzsystemen, Brandschutzvorrichtungen und Sicherheitseinrichtungen zum Schutz des Personals und der Anlage ausgestattet ist.

GENERATOR/ ALTERNATOR



Code: **G**

Der Generator, auch als Alternator bekannt, ist das Bauteil, das für die Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie innerhalb eines Kernkraftwerks verantwortlich ist. Er ist mechanisch mit der Welle der Turbine gekoppelt und nutzt das Prinzip der elektromagnetischen Induktion: Wenn ein Leiter sich in einem Magnetfeld bewegt, wird elektrischer Strom erzeugt. In einem Kernkraftwerk erfolgt dieser Prozess im großen Maßstab und mit sehr hoher Effizienz.

Der Alternator besteht hauptsächlich aus zwei Teilen: dem Rotor und dem Stator. Der Rotor ist das bewegliche Element, das sich zusammen mit der Turbine dreht, und er ist mit Elektromagneten oder Gleichstromwicklungen ausgestattet. Wenn sich der Rotor dreht, erzeugt er ein rotierendes Magnetfeld.

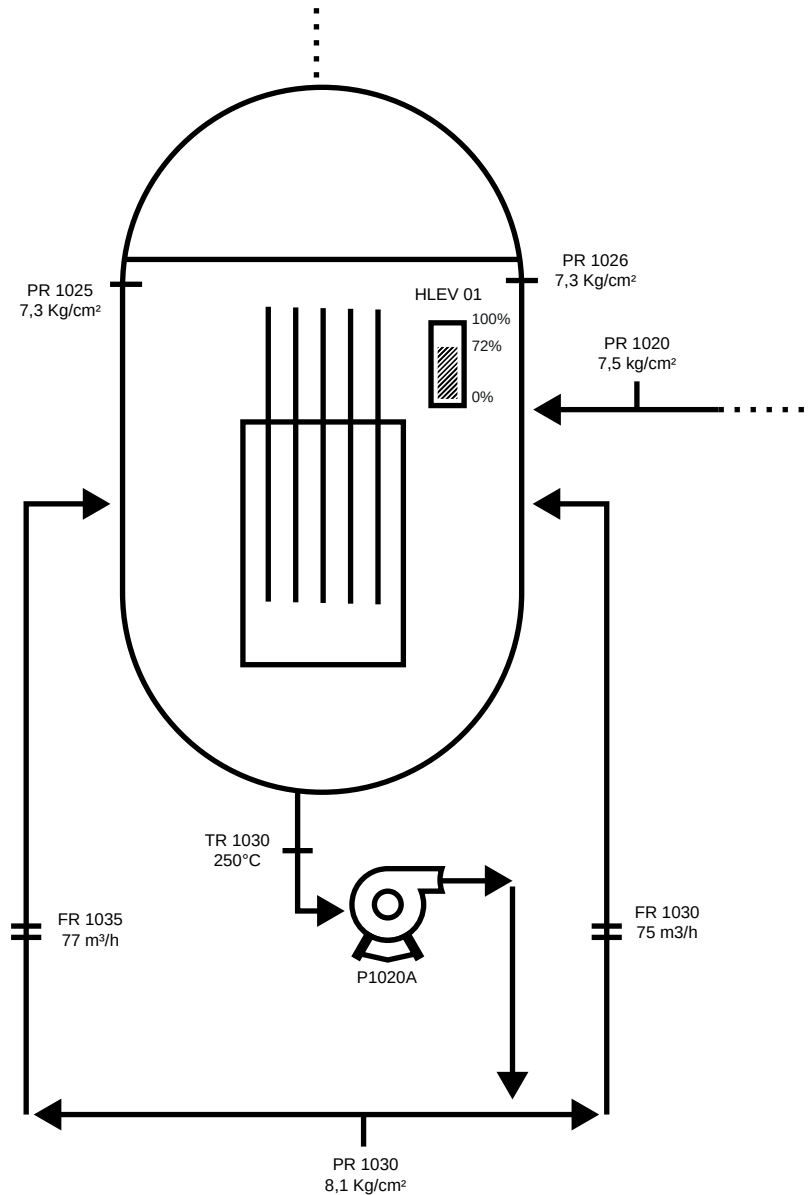
Der Stator, der feste Teil des Generators, besteht aus Kupferwicklungen, die so angeordnet sind, dass sie dieses Magnetfeld erfassen und eine hochspannende, dreiphasige Wechselspannung induzieren.

Der Generator ist für den Betrieb mit extrem hohen Leistungen ausgelegt – mit Ausgangsspannungen von über 20.000 Volt und Leistungen von mehreren tausend Megawatt. Daher ist die mechanische und thermische Stabilität des Systems von entscheidender Bedeutung. Der Generator verfügt über Kühlsysteme – meist mit Wasserstoff oder Zwangsbelüftung –, um die während des Dauerbetriebs entstehende Wärme abzuleiten. In einigen Fällen wird auch Flüssigkeitskühlung für den Stator eingesetzt.

Die erzeugte Spannung wird an einen Leistungstransformator weitergeleitet, der sie für die Übertragung über das nationale Stromnetz weiter erhöht. Vor diesem Schritt wird der Generator kontinuierlich durch Sensoren überwacht, die kritische Parameter wie Wicklungstemperatur, Wellenvibrationen, Druck des Kühlgases und elektrische Isolation erfassen. Hinsichtlich Sicherheit und Zuverlässigkeit ist der Generator durch automatische Abschaltssysteme geschützt, die bei Überlastung, Kurzschluss oder mechanischem Defekt eingreifen. In kritischen Situationen kann er über eine Sicherheitskupplung von der Turbine getrennt oder durch ein spezielles Bremssystem im Notfall gestoppt werden.

Die Turbinen-Generator-Einheit unterliegt einer planmäßigen Wartung, die zerstörungsfreie Prüfungen der Wicklungen, Isolationsprüfungen und die Überprüfung der dynamischen Auswuchtung umfasst. Aufgrund seiner strategischen Bedeutung für den Betrieb des Kraftwerks gehört der Generator zu den am stärksten überwachten und geschützten Komponenten der gesamten Anlage.

REAKTOR



Code: **α** (alpha)

Ventile:

Sensoren:

FR1030, FR1035, FR1040, PR1030, PR1025, PR1026,
HLEV01, PR1020, TR1020, TR1030, FR1030

Pumpen:

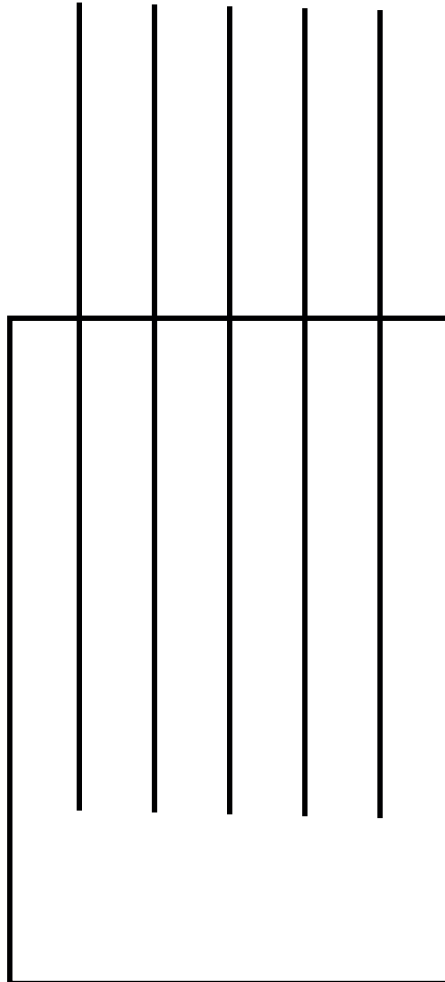
P1020A

Reaktor:

NR1001

Der Reaktor ist das Herzstück des Kernkraftwerks. In diesem Bereich wird Wärmeenergie durch die kontrollierte Spaltung des Kernbrennstoffs erzeugt. Der Reaktor erhält Dampf aus der Rückgewinnungsanlage, der zur Speisung seines internen Kreislaufs verwendet wird. Dort erhöht die durch den nuklearen Prozess erzeugte Wärme die Temperatur des Fluids weiter, das in hochenergetischen Dampf umgewandelt wird. Dieser überhitzte Dampf wird kanalisiert und zur Turbine geleitet, wo er in mechanische Energie umgewandelt wird. Der interne Kreislauf des Reaktors ist so ausgelegt, dass maximale Isolierung, Reaktivitätskontrolle und Prozesssicherheit gewährleistet sind.

STEUERSTÄBE

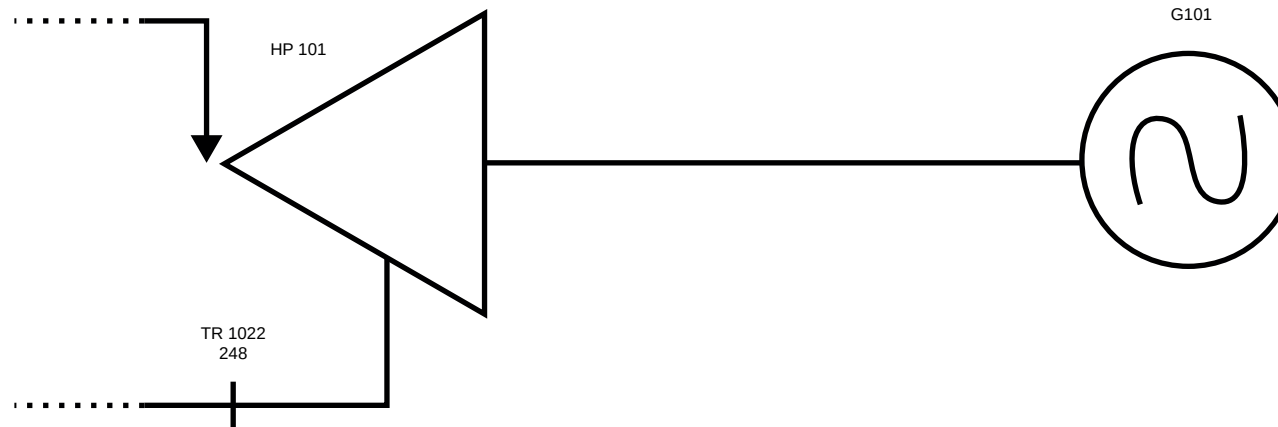


Code: ω (omega)

Ventile:
V1001

Steuerstäbe sind grundlegende Vorrichtungen zur Steuerung der nuklearen Reaktion im Reaktor. Sie bestehen aus Materialien, die freie Neutronen absorbieren können, wie Bor, Silber, Cadmium oder spezielle Legierungen. Durch das Einführen in den Reaktorkern verringern die Stäbe die Anzahl der für die Spaltung verfügbaren Neutronen und verlangsamen oder stoppen so die Kettenreaktion. Beim Herausziehen wird mehr Raum für Neutronen geschaffen, was die Reaktivität erhöht. Ihre vertikale Bewegung wird mit höchster Präzision durch automatische oder manuelle Systeme gesteuert und ist in jeder Phase entscheidend: Inbetriebnahme, Betrieb, Lastwechsel und Notabschaltung. Unter abnormalen Bedingungen ermöglicht ein vollständiges und schnelles Einführen der Stäbe das sofortige Abschalten des Reaktors (SCRAM) und gewährleistet so die Sicherheit der Anlage.

STROMERZEUGUNGSBEREICH



Code: β (beta)

Ventile:

Sensoren:

R1021, TR1022

Turbine:

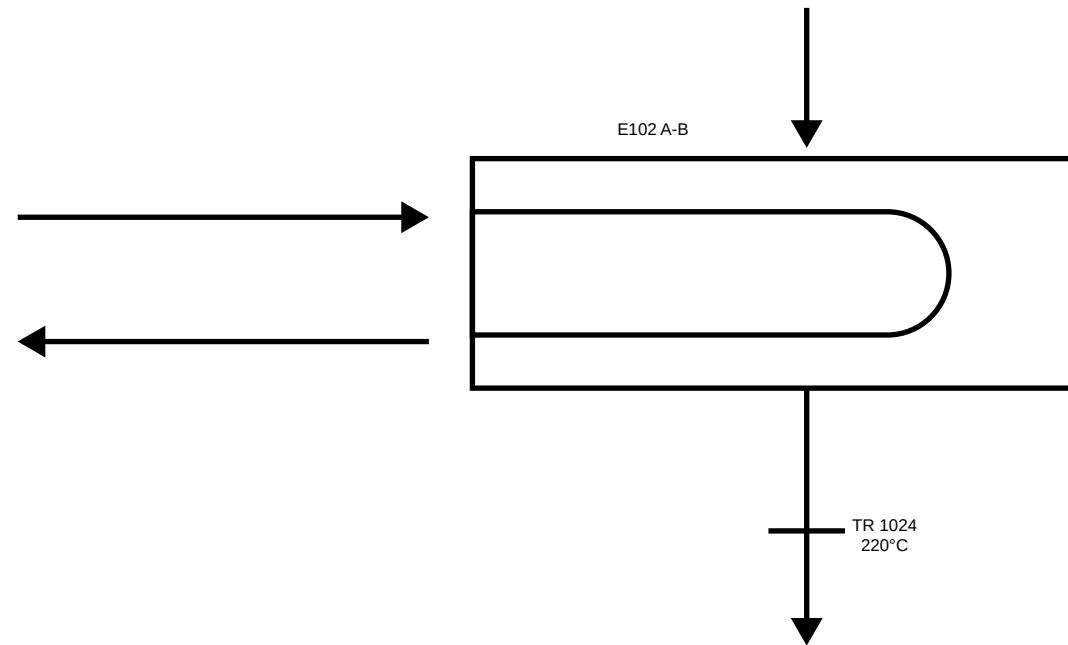
HP101

Generator:

G101

Der Stromerzeugungsbereich ist der Ort, an dem Wärmeenergie in elektrische Energie umgewandelt wird. Der etwa 250°C heiße Dampf aus dem Reaktor tritt in die Turbine ein und bringt deren Schaufeln zum Drehen, wodurch die Energie des Dampfes in mechanische Energie umgewandelt wird. Die Turbine ist fest mit einem Generator gekoppelt, der nach dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion Strom erzeugt. Nachdem der Dampf die Turbine durchlaufen hat, ist er immer noch sehr heiß (etwa 248°C) und wird in den Kreislauf der Umlaufwasserpumpe geleitet, wo ein neuer Zyklus der Energieübertragung und -rückgewinnung beginnt. Die Effizienz des Systems hängt vom richtigen Gleichgewicht zwischen Dampfdruck, -temperatur und -durchfluss ab.

WÄRMERÜCKGEWINNUNGSANLAGE



Code: **Y** (gamma)

Ventile:

Sensoren:

TR1025 , TR1023, FR1020, TR1020

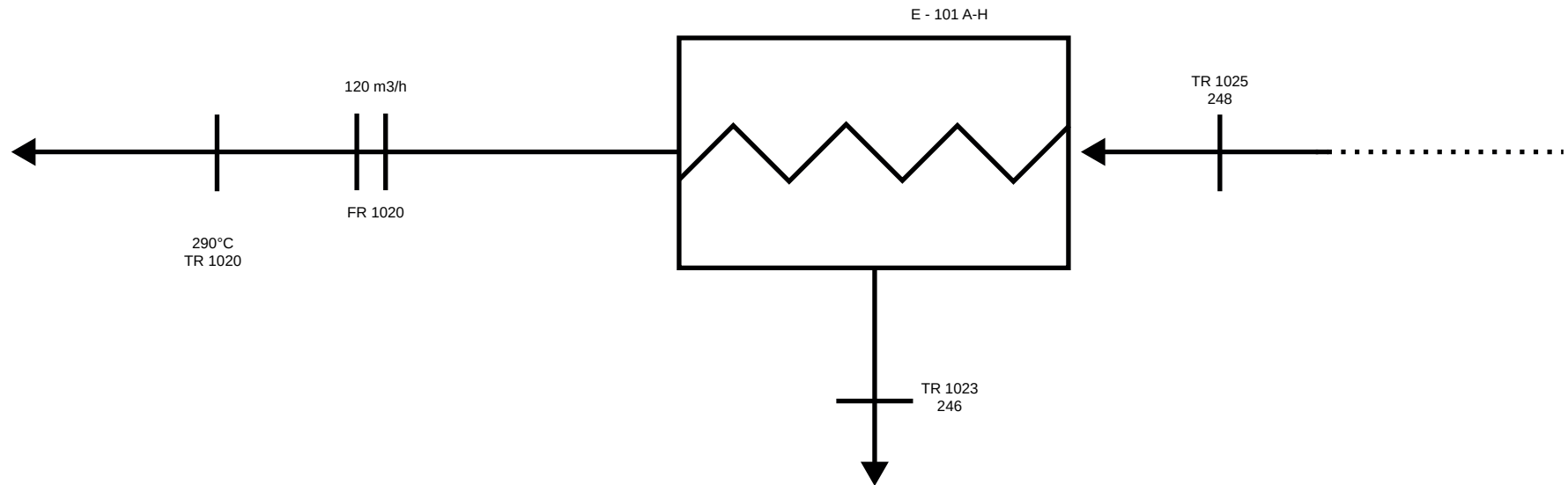
Pumpen:

Anlagen:

E101

Die Wärmerückgewinnungsanlage hat die Aufgabe, die Nutzung der verbleibenden thermischen Energie des aus der Turbine austretenden Dampfs zu optimieren. Sie nimmt den Dampf bei etwa 248°C auf und trennt ihn je nach Temperatur. Der heißeste Teil, der nahe bei 248°C bleibt, wird direkt wieder in den Reaktor eingespeist, um dessen internen Kreislauf zu versorgen. So wird die Temperatur des Reaktorkerns aufrechterhalten und der anfängliche Energiebedarf gesenkt. Dampf, der unter 246°C fällt, wird dagegen zur Kondensationsanlage umgeleitet, wo der Kühl- und Umwandlungsprozess in Wasser beginnt. Dieses System ermöglicht eine effiziente Rückgewinnung der Restwärme und eine dynamische Steuerung der Betriebsbedingungen des Reaktors.

KONDENSATIONSANLAGE



Code: **ε** (epsilon)

Ventile:

V111, V112

Sensoren:

TR1025, TR1023, FR1020, TR1020

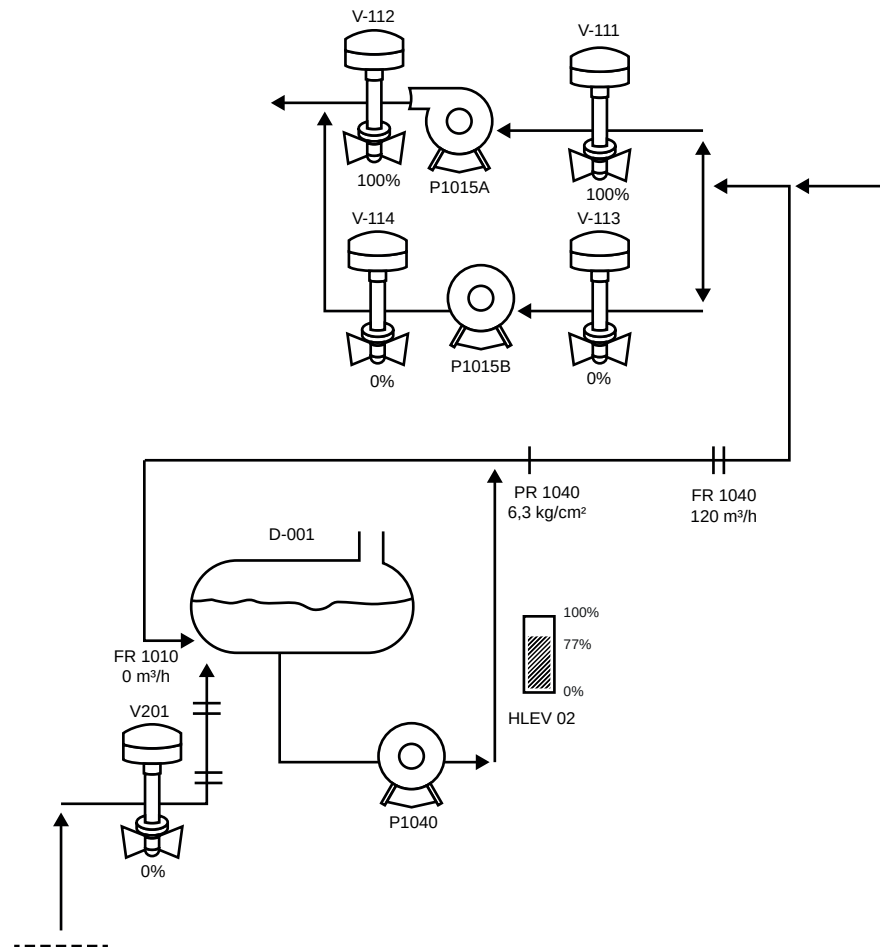
Pumpen:

Anlagen:

E101

Die Kondensationsanlage hat die Aufgabe, den Restdampf aus dem Wärmerückgewinnungssystem abzukühlen, wobei seine Temperatur so weit gesenkt wird, bis er vollständig in den flüssigen Zustand übergeht. Dampf mit einer Temperatur unter 246°C wird in Wärmetauscher oder Oberflächenkondensatoren geleitet, wo er Wärme an ein kälteres Medium abgibt – häufig technisches Wasser oder Wasser aus Kühltürmen. Der Dampf kondensiert und kehrt in den flüssigen Zustand zurück, bereit zur Wiederaufzuführung in den Kreislauf über das Pumpsystem. Der Kondensationsprozess ist entscheidend für den Erhalt des geschlossenen Kreislaufs, die Energieeinsparung und die Verringerung von Wärmeverlusten. Die Kontrolle von Temperatur und Druck in dieser Phase ist wesentlich für die Stabilität der gesamten Anlage.

UMWÄLZPUMPENKREISLAUF



Code: ζ (zeta)

Ventile:

V111, V112, v114, v115, XV107, V201

Sensoren:

FR1030, FR1040, PR1030, HLEV02

Pumpen:

P1040, P1015A, P1015B

Akkumulator:

D001

Der Umwälzpumpenkreislauf hat die Aufgabe, die kontinuierliche Bewegung des Wärmeträgerfluids innerhalb der Anlage sicherzustellen. In einem Kernkraftwerk ist dieser Kreislauf entscheidend für den Wärmetransport vom Reaktor zum Rückgewinnungssystem und stellt sicher, dass das Fluid kontinuierlich durch den Reaktorkern, die Dampferzeuger und andere Wärmetauscher fließt. Die eingesetzten Pumpen müssen unter Druck einen hohen Durchfluss aufrechterhalten und auch bei wechselnden Temperaturen und Lastbedingungen zuverlässig arbeiten. Das System ist redundant ausgelegt, mit Sensoren überwacht und mit Sicherheitseinrichtungen ausgestattet, um die thermohydraulische Stabilität der Anlage zu gewährleisten.

TEMPERATURSENSOREN

- TR1020

Misst die Temperatur des Dampfs, der vom Pumpenkreislauf in den Reaktorkreislauf eintritt.

- Betriebstemperatur: 230°C
- 235°C: Der Reaktor erzeugt zu viel Wärme – untersuchen.
- <220°C: Betriebstemperatur zu niedrig – untersuchen.

- TR1030

Misst die Eintrittstemperatur des Dampfs in den Reaktorkern.

- Betriebstemperatur: 250°C
- 255°C: Der Reaktor erzeugt zu viel Wärme – Steuerstäbe eingreifen.
- <245°C: Temperatur zu niedrig – Steuerstäbe eingreifen.

- TR1021

Misst die Temperatur des Dampfs am Austritt aus dem Reaktor zur Turbine.

- Betriebstemperatur: 250°C
- 255°C: Der Reaktor erzeugt zu viel Wärme – Steuerstäbe eingreifen.
- <245°C: Temperatur zu niedrig – Steuerstäbe eingreifen.

- TR1022

Misst die Temperatur des Dampfs am Austritt aus der Turbine.

- Betriebstemperatur: 248°C

suchen.

- 250°C: Der Reaktor erzeugt zu viel Wärme – untersuchen.
- <245°C: Betriebstemperatur zu niedrig – untersuchen.

- TR1023

Misst die Temperatur des Dampfs am Austritt aus dem Wärmerückgewinnungssystem.

- Betriebstemperatur: 246°C
- 248°C: Der Reaktor erzeugt zu viel Wärme oder das Rückgewinnungssystem leitet den Dampf falsch – untersuchen.
- <240°C: Betriebstemperatur zu niedrig – untersuchen.

- TR1024

Misst die Temperatur des Wassers am Ausgang des Kondensationssystems.

- Betriebstemperatur: 220°C
- 248°C: Der Reaktor erzeugt zu viel Wärme oder das Rückgewinnungssystem leitet den Dampf falsch – untersuchen.
- <240°C: Betriebstemperatur zu niedrig – untersuchen.

- TR1025

Misst die Temperatur des Dampfs am Austritt des Pumpkreises zum Wärmerückgewinnungssystem.

- Betriebstemperatur: 210°C
- 248°C: Der Reaktor erzeugt zu viel Wärme oder das Rückgewinnungssystem leitet den Dampf falsch – untersuchen.
- <240°C: Betriebstemperatur zu niedrig – untersuchen.

DRUCKSENSOREN

- PR1030

Misst den Druck im internen Reaktorkreislauf. Bei abweichenden Messwerten auch PR1025 und PR1026 prüfen. Wenn diese keine Abweichung zeigen, wahrscheinlich Sensordefekt. Vor Ort prüfen.

- Betriebsdruck: 8,1kg/cm²
- 9,5kg/cm²
- <7,5kg/cm²

- PR1025

Misst den Druck an der Reaktorkernwand.

- Betriebsdruck: 7,3kg/cm²
- 9,0kg/cm²: Auch PR1026 prüfen. Stimmen beide Werte überein, überhitzt der Reaktor oder kann den erzeugten Dampf nicht ableiten – überprüfen, ob V1021 geöffnet ist.
- <6,5kg/cm²: Der Reaktor ist zu kalt – Steuerstäbe eingreifen.

- PR1026

Misst den Druck an der Reaktorkernwand.

- Betriebsdruck: 7,3kg/cm²
- 9,0kg/cm²: Auch PR1025 prüfen. Stimmen beide Werte überein, überhitzt der Reaktor oder kann den erzeugten Dampf nicht ableiten – überprüfen, ob V1021 geöffnet ist.
- <6,5kg/cm²: Der Reaktor ist zu kalt – Steuerstäbe eingreifen.

- PR1040

Misst den Druck am Ausgang des Speichers.

- Betriebsdruck: 6,3kg/cm²
- 8,0kg/cm²: Auch FR1040 prüfen.
 - Wenn abweichend: Leistung von P1040 senken.
 - Wenn normal: Vor-Ort-Prüfung.
- Wenn Feldmessung abweichend: Leistung von P1040 senken.
- <5,5kg/cm²: Füllstand im Speicher könnte niedrig sein – HLEV02 vor Ort prüfen.
- Wenn unter 60%: V201 öffnen.

DURCHFLUSSENSENSOREN

- FR1030

Misst den Wasserdurchfluss im internen Reaktorkreislauf. Bei abweichenden Messwerten auch PR1035 prüfen. Wenn dieser keine Abweichung zeigt, wahrscheinlich Sensordefekt.

- Betriebsdurchfluss: 75m³/h
- 80m³/h: Auch PR1035 prüfen.
 - Wenn ähnlich: Leistung von P1030 reduzieren.
 - Wenn normal: Vor-Ort-Prüfung.

- Wenn Feldmessung abweichend: Leistung von P1030 reduzieren.
 - <5,5m³/h: Risiko der Kernüberhitzung – Leistung von P1020A erhöhen.

- FR1035

Wie FR1030: misst den Wasserdurchfluss im internen Reaktorkreislauf.

- Betriebsdurchfluss: 75m³/h
- 80m³/h: Auch PR1030 prüfen.
 - Wenn ähnlich: Leistung von P1030 reduzieren.
 - Wenn normal: Vor-Ort-Prüfung.

- Wenn Feldmessung abweichend: Leistung von P1030 reduzieren.
 - <5,5m³/h: Risiko der Kernüberhitzung – Leistung von P1020A erhöhen.

- FR1020

Misst den Wasserdurchfluss am Ausgang des Wärmerückgewinnungssystems.

- Betriebsdurchfluss: 120m³/h
- 135m³/h: Auch TR1030 prüfen.
 - Wenn abweichend: Leistung von P1015A reduzieren.

en.

- Wenn normal: Vor-Ort-Prüfung.
 - Wenn Feldmessung abweichend: Leistung von P1015A reduzieren.
 - <110m³/h: Möglicher Defekt an P1015A. Prüfen und ggf. Hilfskreis P1015B aktivieren sowie V114 und V115 öffnen.

- FR1010

Misst den Zufluss von Frischwasser zum Speichersystem. Wasserzufuhr erfolgt nur im Notfall bei Leckagen. Im Normalbetrieb muss der Durchfluss 0,0m³/h betragen.

- Betriebsdurchfluss: 0,0m³/h
- 0m³/h: Vor Ort prüfen, ob V201 geschlossen ist.
 - Wenn offen: sofort schließen.
 - Wenn geschlossen: Abweichung ignorieren.

- FR1040

Misst den Wasserdurchfluss im Kreislauf der Umwälzpumpe.

- Betriebsdurchfluss: 120m³/h
- 130m³/h: Auch PR1040 prüfen.
 - Wenn abweichend: Leistung von P1040 senken.
 - Wenn normal: Vor-Ort-Prüfung.

- Wenn Feldmessung abweichend: Leistung von P1040 senken.
 - <100m³/h: Speicherfüllstand könnte niedrig sein – HLEV02 prüfen.
 - Wenn unter 60%: V201 öffnen.

FÜLLSTANDSANZEIGEN

- HLEV01

Misst den Wasserstand im Reaktorkern.

- Betriebsstand: 73%
- 75%: Zu viel Flüssigkeit - möglicher Druckanstieg im Reaktorgefäß - untersuchen.
- <65%: Zu wenig Flüssigkeit - mögliches Leck - untersuchen.

- HLEV02

Misst den Wasserstand im Speicher.

- Betriebsstand: 71%
- 77%: Zu viel Flüssigkeit - Leistung von P1040 erhöhen.
- <60%: Zu wenig Flüssigkeit - Leistung von P1040 verringern.

PUMPEN

- P1020A

Hauptpumpe des internen Reaktorkreislaufs. Hält den konstanten Durchfluss im Kern aufrecht.

- Betriebszustand: 70%

- P1020B

Hilfspumpe von 1020A. Unterstützt den Durchfluss im Reaktorkreislauf.

- Betriebszustand: 0%

- P1015A

Hauptpumpe des Umwälzkreislaufs.

- Einlassventil: V-111
- Auslassventil: V-112
- Betriebszustand: 70%

- P1015B

Hilfspumpe des Umwälzkreislaufs.

- Einlassventil: V-113
- Auslassventil: V-114
- Betriebszustand: 70%

- P1040

Umwälzpumpe am Ausgang des Speichers.

- Betriebszustand: 70%

VENTILE

- **V-111**

Einlassventil des Hauptumwälzkreislaufs. Bei Deaktivierung von P1015A zusammen mit V-112 öffnen.

- Betriebszustand: 100%

- **V-112**

Auslassventil des Hauptumwälzkreislaufs. Bei Deaktivierung von P1015A zusammen mit V-111 öffnen.

- Betriebszustand: 100%

- **V-113**

Einlassventil des Hilfsumwälzkreislaufs. Bei Aktivierung von P1015B zusammen mit V-114 öffnen.

- Betriebszustand: 0%

- **V-114**

Auslassventil des Hilfsumwälzkreislaufs. Bei Aktivierung von P1015B zusammen mit V-113 öffnen.

- Betriebszustand: 0%

- **V-201**

Frischwassereinlassventil. Öffnen, wenn der Speicherfüllstand durch ein Leck sinkt.

- Betriebszustand: 0%