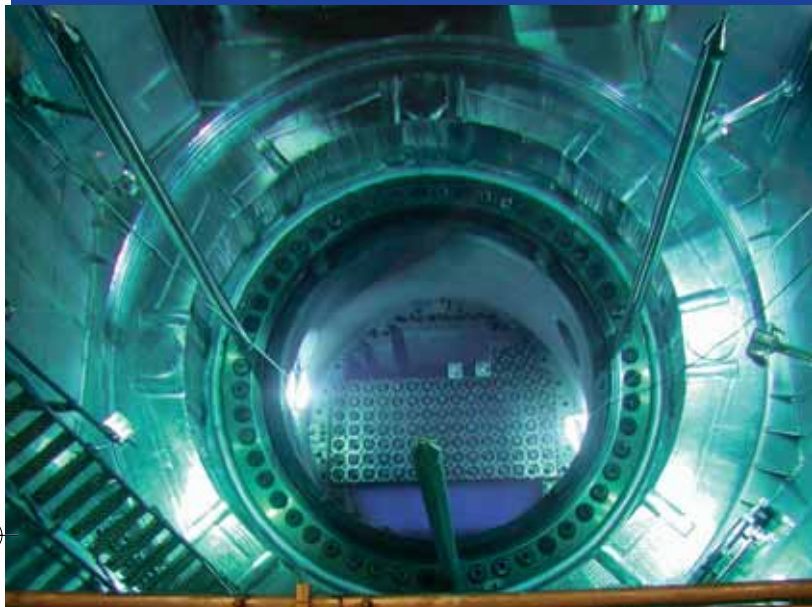


## Wir sind offen für Ihre Fragen.



Unsere Kernkraftwerke in Baden-Württemberg pflegen seit ihrer Errichtung vertrauensvolle Beziehungen zu ihren Nachbargemeinden.

Wir sind stolz auf die breite, jahrzehntelange Akzeptanz von KWO, GKN und KKP in ihren Regionen.

Wir wissen aber auch, dass der Betrieb der Kernkraftwerke immer wieder Fragen aufwirft und für Diskussionen sorgt. Dem stellen wir uns. Wenn Sie etwas wissen möchten über Stromerzeugung, über Sicherheit und Strahlenschutz oder über Entsorgung, dann sprechen Sie uns an. Wir informieren Sie gerne.



EnBW Kraftwerke AG  
Kernkraftwerk Philippsburg - KKP

Rheinschanzinsel  
76661 Philippsburg  
Telefon: 0 72 56 / 95-4599  
[infocenter-philippsburg@enbw.com](mailto:infocenter-philippsburg@enbw.com)



## Kernkraftwerk Philippsburg

Stromerzeugung KKP 1+2

**EnBW**

Energie  
braucht Impulse

# Inhalt

Standort	3
Lage	4
Stromerzeugung im Kernkraftwerk	4-5
Arbeitsweise SWR	6
Arbeitsweise DWR	8
Nuklearer Teil SWR	10
Nuklearer Teil DWR	12
Techn. Daten SWR	14
Techn. Daten DWR	16
Konventioneller Teil	18
Kühlkreislauf	20
Brennstoffkreislauf	22
Reaktorsicherheit	24
Strahleneinwirkung	26
Kernkraftwerk und Umwelt	28
Energieträger im Vergleich	30
InfoCenter	32



## Standort

Etwa 30 km nördlich Karlsruhe und ca. 10 km westlich der BAB Mannheim-Karlsruhe liegt die Stadt Philippsburg. Auf deren Gemarkung wurde das Kernkraftwerk Philippsburg errichtet.

Der Betreiber des Kernkraftwerks, die Energie Baden-Württemberg (EnBW) Kraftwerke AG, Kernkraftwerk Philippsburg, erwarb von der Stadt Philippsburg im Laufe der 1. Ausbaustufe auf der rechtsrheinischen Rheinschanzinsel ein etwa 60 ha großes Gelände. Die Rheinschanzinsel selbst entstand durch die Tulla'sche Rheinbegradigung und ist demzufolge von Rhein und Altrhein umflossen. Die Krone des Hochwasserdamms liegt auf 100,5 m über NN, das Kraftwerkgelände wurde auf 100,3 m über NN aufgefüllt und ist damit hochwasserfrei.

Die Rheinschanzinsel und damit das Kernkraftwerk besitzt gute Anschlussmöglichkeiten zu Straße und Wasserweg, eine direkte Anbindung an die Schiene erleichtert den An- und Abtransport von Schwerlasten.

Von 1970 bis 1979 wurde als erste Ausbaustufe ein 926 MW Siedewasserreaktor (KKP 1) erstellt.

Ein 1458 MW Druckwasserreaktor wurde als 2. Block in den Jahren 1977 bis 1984 gebaut. Bei der Planung dieser Kernkraftwerke standen folgende Gesichtspunkte im Vordergrund:

- > **größtmöglicher Schutz der Bevölkerung und des eigenen Personals**
- > **höchstes Maß an Qualitätssicherung bei der Fertigung und Montage**
- > **betriebs- und wartungsfreundliche Auslegung und Konstruktion**
- > **Möglichkeiten regelmäßiger Prüfungen und Inspektionen**
- > **Vermeidung von Bedienungsfehlern durch hohen Automatisierungsgrad**



## Bau und Inbetriebnahme KKP 1 KKP 2

Beide Kraftwerke wurden nach dem jeweils neuesten Stand von Wissenschaft und Technik von Siemens/KWU konzipiert und errichtet und speisen den erzeugten Strom in eine 500 m vom Kraftwerkstandort entfernte 380 kV-Schaltanlage ein. Diese Schaltanlage ist mit den Umspannanlagen der EnBW in Daxlanden, Heidelberg-Neurott und Pulverdingen verbunden und damit Teil des 380 kV-Verbundnetzes im südwestdeutschen Raum.

Der Bauantrag für den Siedewasserreaktor KKP 1 wurde im Oktober 1969 gestellt. Mit dem Bau konnte im Oktober 1970 begonnen werden, nachdem die 1. Teilerrichtungsge-nehmigung am 9.10.1970 erteilt war. Nach fast einjährigem Probebetrieb in verschiedenen Leistungsstufen wurde die Anlage am 18.2.1980 bei 100% Leistung übernommen.

Der Bauantrag für Block 2 wurde im Juni 1975 bei der Genehmigungsbehörde, dem Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr in Stuttgart, gestellt.

Der Baubeginn erfolgte im Juli 1977. Ende

1981 wurde der Rohbau fertiggestellt. Die Montagearbeiten der nuklearen und konventionellen Komponenten waren Ende 1983 abgeschlossen.

Im Oktober 1984 wurde der 4-wöchige Warmprobetrieb mit Brennelementen durchgeführt. Am 13.12.1984 fand die erste sich selbst erhaltende Kettenreaktion statt, am 17.12.1984 konnte der Generator mit dem Netz synchronisiert werden. Am 6.2.1985 lieferte KKP 2 erstmals die volle Leistung ins Netz.

Der vertragliche, 4-wöchige Probebetrieb bei voller Leistung endete am 13.4.1985 und die Übergabe vom Hersteller an den Betreiber erfolgte am 17.4.1985.



## 380/220-kV Transportnetz in Baden-Württemberg





## Lage

Bei der Auslegung und Anordnung der einzelnen Gebäude wurde die natürliche Umgebung so weit wie möglich geschont. Der umgebende Auwald blieb erhalten.

### Das Reaktorgebäude

Im Reaktorgebäude sind der Reaktordruckbehälter, in dem durch Kernspaltung Energie erzeugt wird, die Dampferzeugungsanlagen und die notwendigen Sicherheitssysteme untergebracht.

Das Hilfsanlagegebäude ist unmittelbar an das Reaktorgebäude angebaut und dient der Unterbringung der Hilfssysteme; dadurch entsteht ein geschlossener Bereich, der Kontrollbereich.

### Das Maschinenhaus

Neben dem Reaktorgebäude steht das Maschinenhaus. Beim Siedewasserreaktor ist es unmittelbar angebaut und gehört mit zum Kontrollbereich. Die Schaltanlagegebäude sind jeweils dem Reaktorgebäude vorgelagert.

Beide Kraftwerksblöcke sind für Frischwasserkühlung ausgelegt. Das Kühlwasser wird vom Rhein über die mechanischen Reinigungsanlagen den Pumpen zugeleitet und von diesen durch die Kondensatoren befördert. Über den Auslaufkanal fließt es wieder zum Rhein zurück.

### Die Kühltürme

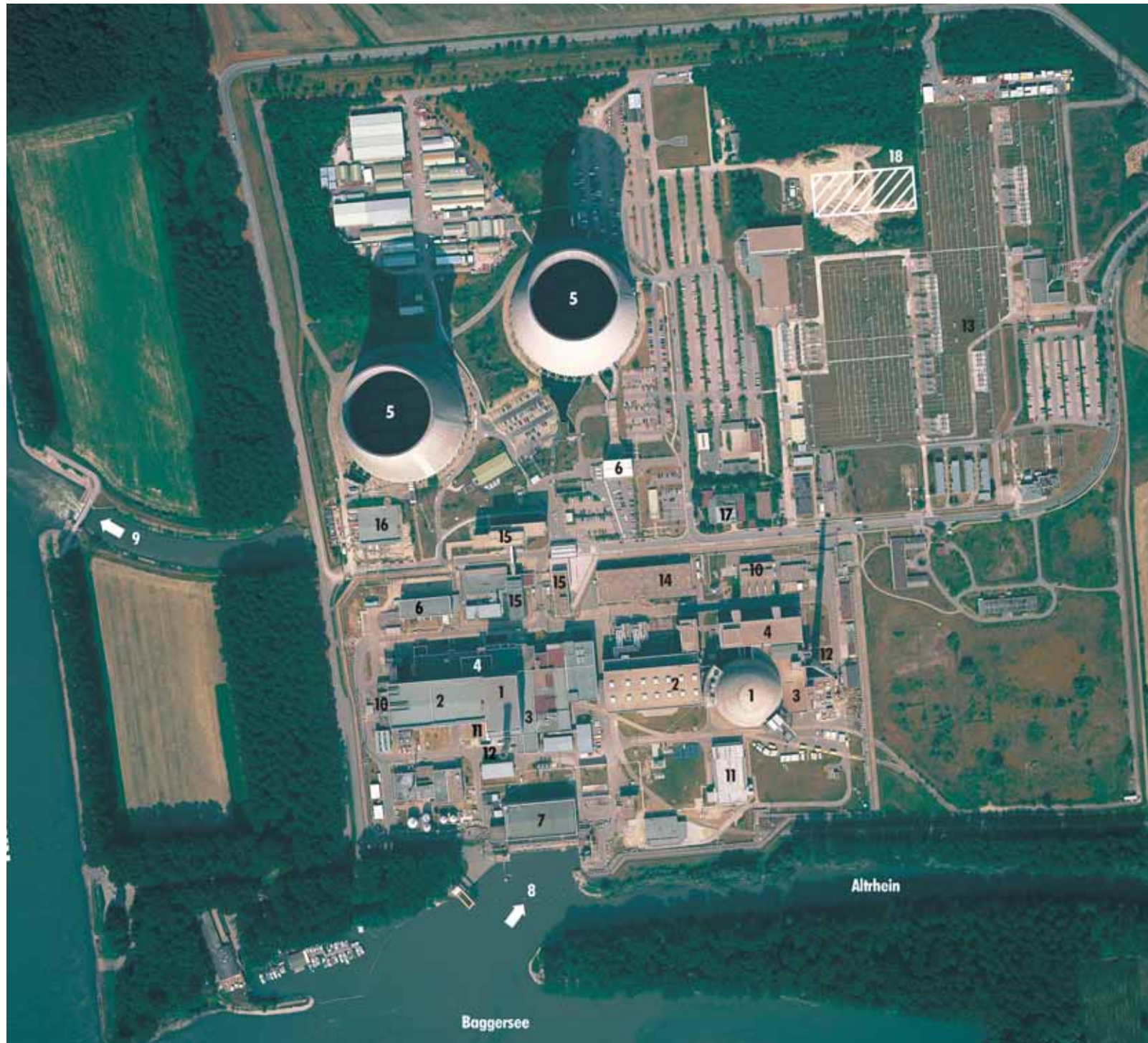
Beide Blöcke sind mit Kühltürmen ausgerüstet, um die Wärmeeinleitung in den Rhein in Zeiten hoher Flusswassertemperatur oder geringer Wasserführung zu reduzieren.

## KKP 1 Siedewasser- reaktor 926 MW

## KKP 2 Druckwasser- reaktor 1458 MW

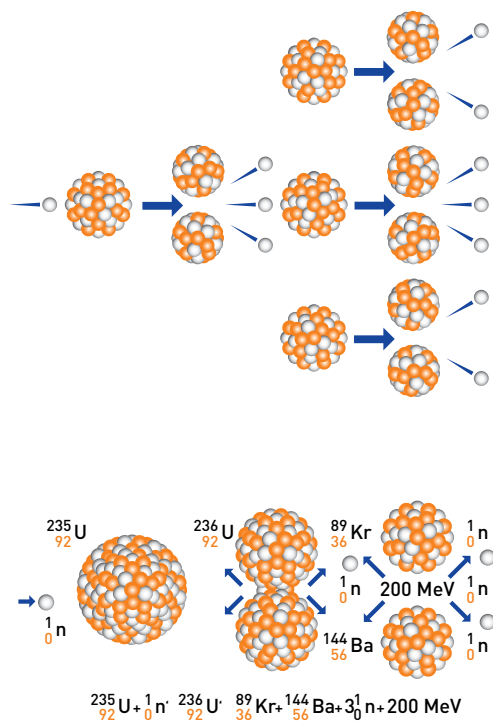
- 1 Reaktorgebäude
- 2 Maschinenhaus
- 3 Reaktorhilfsanlagegebäude
- 4 Betriebs-, Warten- und Schaltanlagegebäude
- 5 Kühlturm
- 6 Kühlturmpumpenhaus
- 7 Kühlwasserpumpenhaus
- 8 Kühlwassereinlauf
- 9 Kühlwasserauslauf
- 10 Dieselgebäude
- 11 Notspeisegebäude
- 12 Abluftkamin
- 13 380-kV-Schaltanlage
- 14 Lager
- 15 Verwaltungsgebäude
- 16 InfoCenter
- 17 Ausbildungszentrum





## Stromerzeugung im Kernkraftwerk

Kettenreaktion und Kernspaltung von Uran-235



### Kernspaltung

Der grundlegende physikalische Prozess zur Energiefreisetzung in Kernreaktoren ist die Spaltung von schweren Atomkernen durch Neutronen.

Die deutschen Chemiker Hahn und Straßmann entdeckten 1939, dass der Kern des Uran-235 durch den Beschuss mit langsamen (thermischen) Neutronen in zwei mittelschwere Trümmerkerne auseinanderfällt. Genauere Untersuchungen ergaben, dass dabei zwei bis drei weitere Neutronen und ein Teil der im Kern gespeicherten Energie frei werden.

Der wichtigste in der Natur vorkommende Kernbrennstoff ist Uran, das im Wesentlichen aus den Isotopen U-238 (99,3%) und U-235 (0,7%) besteht.

Zur Spaltung von Atomkernen sind Neutronen erforderlich, weil sie keine elektrische Ladung haben und von den positiv geladenen Kernen nicht abgestoßen werden.

Bei der Kernspaltung vereinigt sich ein Neutron mit dem Kern des U-235 zu einem Kern des Uranisotops U-236. Dieser Kern zerfällt nach kurzer Zeit wieder, wobei zwei neue Kerne entstehen, z. B. der eines Kryptonatoms und eines Bariumatoms.

Diese positiv geladenen Kernbruchstücke stoßen sich gegenseitig ab und fliegen mit großer Geschwindigkeit auseinander. Da jedoch das gesplattene Atom im Kristallgitter des Urans eingebettet ist, können Kernbruchstücke nicht frei wegfliegen, sondern

werden schnell abgebremst. Bei dieser Abbremsung in der umgebenden Materie wird die Bewegungsenergie in Wärme umgewandelt. Zusätzlich werden bei der Kernspaltung zwei bis drei Neutronen freigesetzt.

Die gesamte bei einer Kernspaltung frei werdende Energie von 200 Millionen Elektronenvolt (MeV) setzt sich aus 90% Bewegungsenergie der Spaltprodukte und der Neutronen sowie aus 10% Strahlungsenergie zusammen.

Bevor die frei werdenden Neutronen selber wieder Spaltungen auslösen können, müssen sie abgebremst (moderiert) werden. Dies lässt sich durch elastische Stöße mit leichteren Kernen erreichen (z. B. schweres oder leichtes Wasser oder Graphit), wobei die Neutronen Energie abgeben, bis sie mit der Umgebung im thermischen Gleichgewicht sind. Je Spaltprozess werden zwei bis drei Neutronen emittiert, und bei Vorhandensein von genügend Urankernen ergibt sich die Möglichkeit der Kettenreaktion. Die dabei frei werdende Energie erwärmt die Brennstäbe, die ihre Wärme an das vorbeiströmende Kühlmittel (Wasser) abgeben. Wasser dient daher sowohl als Kühlmittel als auch als Moderator zur Aufrechterhaltung der Kettenreaktion. Bei Wasserverlust wird die Kettenreaktion sofort gestoppt. Die Nachzerfallswärme muss trotzdem weiter abgeführt werden.



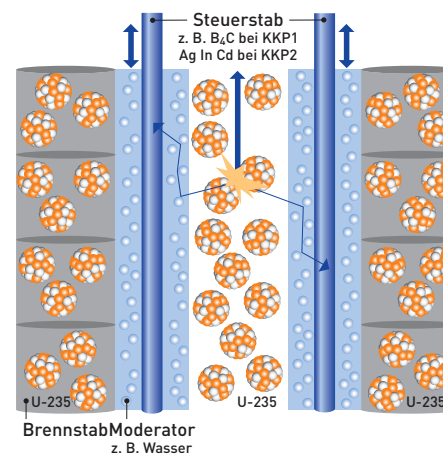
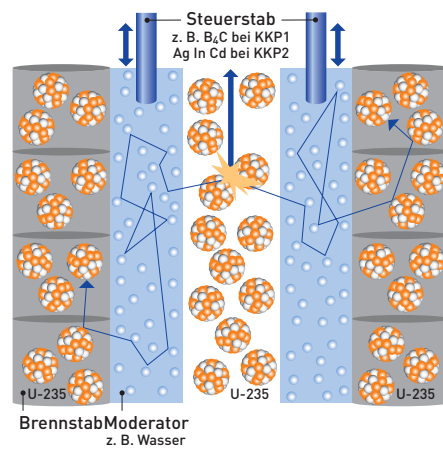
## Regelung der Kettenreaktion durch Absorption von Neutronen

Soll die Kettenreaktion aufrechterhalten bleiben, muss für jedes spaltende Neutron mindestens ein neues Neutron entstehen, das eine weitere Spaltung herbeiführt. Damit wäre gewährleistet, dass die Zahl der Kernspaltungen von einer Neutronengeneration zur nächsten konstant bleibt.

Da bei jeder Spaltung aber zwei bis drei Neutronen frei werden, muss sichergestellt sein, dass jeweils nur ein Neutron weitere Spaltungen herbeiführt, während die anderen absorbiert werden. Einige Neutronen werden von den Kernen des Uran-238 oder von Kernen der Spaltprodukte absorbiert oder sie entweichen in den Betonmantel, der den Reaktor zur Abschirmung der Strahlung umgibt. Zur zusätzlichen Absorptionsregelung werden Materialien mit hoher Neigung zur Neutronenabsorption verwendet, z. B. Legierungen, die Bor, Indium oder Cadmium enthalten. Zur Langzeitregelung dienen auch sogenannte Reaktorgifte, z. B. Gadolinium. Zur Regelung eines Reaktors werden die Steuerstäbe zur Absorption der Neutronen zwischen den Uranstäben verwendet oder Borsäure dem Kühlmittel zugemischt. Bei einer Kettenreaktion tritt die Neutronenvermehrung in Hundertmilliardstelsekunden auf.

Bei Störungen wäre also keine Regelung mit mechanischen Vorrichtungen möglich, wenn nicht der Ablauf des Spaltvorgangs selbst dem Menschen zu Hilfe käme. Etwa 0,7% der bei der Spaltung frei werdenden Neutronen

werden erst mit einer Verzögerung von bis zu 60 Sekunden durch die Spaltprodukte emittiert (Mittelwert ca. 10 Sek.). Stellt man den Reaktor so ein, dass die Neutronen sich von Generation zu Generation nur um etwa 1% vermehren, dann wird der Zuwachs allein durch diese verzögerten Neutronen ausgemacht. Diese Zeit reicht aus, um die Steuerstäbe zwischen den Uranstäben einzuführen. Das Einfahren der Steuerstäbe wird vom Reaktorschutzsystem ausgelöst. Selbst beim Ausbleiben dieser Reaktorschneellabschaltung ist eine nukleare Explosion in einem Kernkraftwerk physikalisch und technisch unmöglich. Durch die genau festgelegte Uranmenge, den geringen Gehalt an U-235 und die Abhängigkeit der Kettenreaktion von einer Neutronenmoderation durch Wasser wird bei Leistungs- bzw. Temperaturerhöhungen im Reaktorkern die Kettenreaktion von selbst beendet. Es stehen dann nicht mehr genügend thermische Neutronen für Spaltungen zur Verfügung.





## Siedewasserreaktor (SWR)

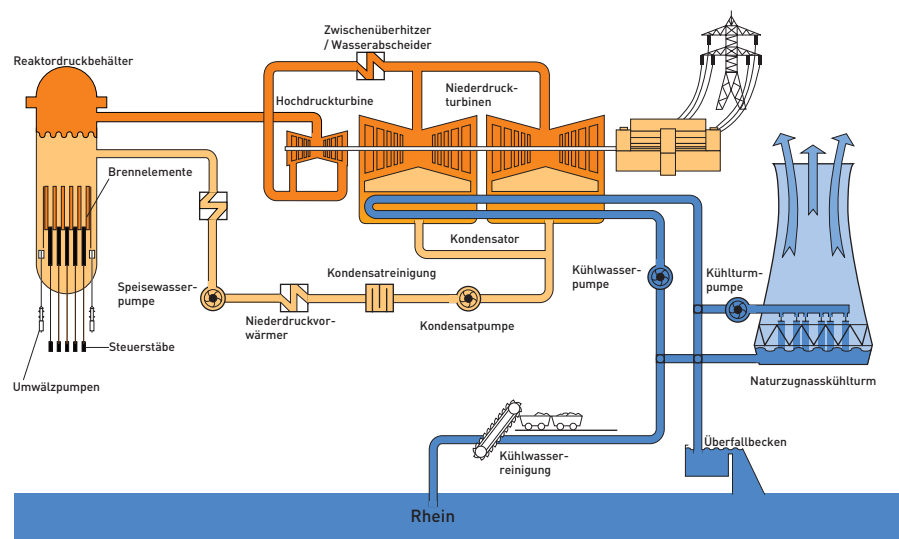
**Im Reaktordruckbehälter wird durch Kernspaltung Energie freigesetzt.**

Neun Zwangsumlaufpumpen fördern 37.300 t Kühlmittel pro Stunde an den heißen Brennelementen entlang. Dabei wird es auf Siedetemperatur erhitzt, ein Teil davon verdampft. Pro Stunde verlassen ca. 5.000 t gesättigter Dampf mit einer Temperatur von 287° C bei einem Druck von 69 bar den Reaktordruckbehälter und werden direkt der Hochdruck(HD)-Turbine zugeführt. Der Dampf tritt mit 11 bar und 185° C aus dem Hochdruckteil aus und wird über zwei Wasserabscheider und Zwischenüberhitzer gelei-

tet, wobei der Dampf mittels 400 t/h Anzapfdampf im Gegenstromprinzip getrocknet und dann um ca. 50° C überhitzt wird. Danach strömt dieser überhitzte Dampf auf die beiden Niederdruck(ND)-Turbinen. Die Turbine ist direkt mit dem Generator gekoppelt und erzeugt eine Leistung von 926 MW.

In den zwei Kondensatoren der Niederdruckturbinen wird der Restdampf durch Kühlung mit Rheinwasser niedergeschlagen. Die Kondensatpumpen fördern dieses Kondensat über eine Reinigungsanlage in die zwei Niederdruckvorwärmstränge mit je vier Vorwärmern. Von dort fördern die Reaktorspeisepumpen das Speisewasser in zwei Hochdruckvorwärmstränge mit je drei Vorwärmern. Hier wird es auf 215° C erwärmt und zum Reaktordruckbehälter zurückgepumpt. Damit ist der Kreislauf geschlossen. Der Druckwasserreaktor unterscheidet sich vom Siedewasserreaktor im Wesentlichen durch seine zwei voneinander getrennten Kühlkreisläufe, dem Reaktorkühlkreislauf (Primärkreislauf) und dem Speisewasserdampfkreislauf (Sekundärkreislauf).

### Kernkraftwerk Philippsburg Block 1 Siedewasserreaktor, 926 MW



## Druckwasserreaktor (DWR)

### Primärkreislauf

Beim Druckwasserreaktor wird auf gleiche Weise wie beim Siedewasserreaktor, durch Kernspaltung, Wärme erzeugt und im Reaktordruckbehälter an das umgebende Kühlmittel (gereinigtes, vollentsalztes Wasser) abgegeben. Vier parallel geschaltete Hauptkühlmittelpumpen fördern stündlich 68.000 t Wasser an den heißen Brennelementen im Reaktordruckbehälter entlang. Durch den hohen Druck von 158 bar in diesem Primärkreislauf werden Temperaturen von 326° C erreicht, ohne dass das Kühlmittel verdampft. Mit dieser Temperatur fließt es

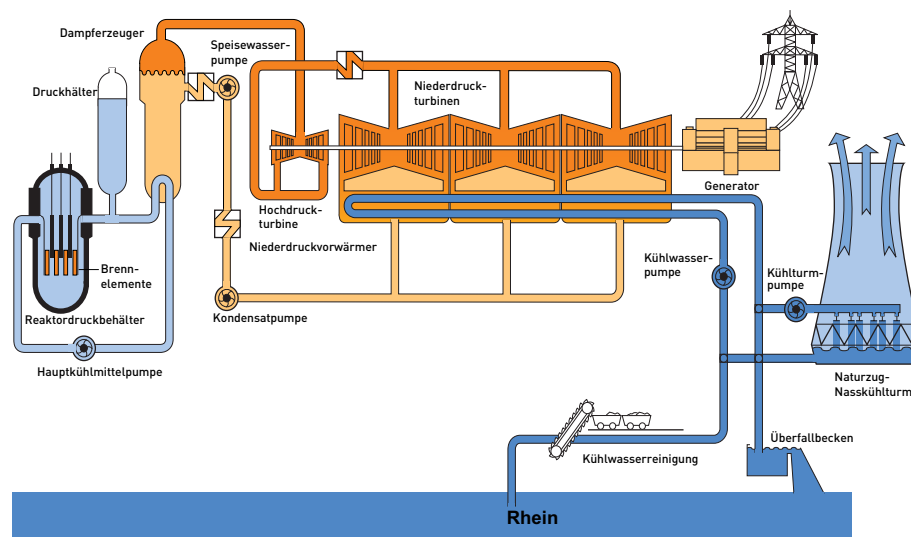
durch vier Hauptkühlmittelleitungen in die vier Dampferzeuger, durchströmt die Eintrittskammer und gibt die Wärme über je 4.000 U-Rohre an den Dampf- und Speisewasserkreislauf ab. Die U-Rohre trennen die beiden Kreisläufe druckdicht, so dass keine radioaktiven Stoffe aus dem Primär- in den Sekundärkreislauf gelangen.

Über die Austrittskammern der Dampferzeuger wird das jetzt noch 291° C warme Wasser in den Reaktordruckbehälter zurückgepumpt. Der Reaktorkühlkreislauf ist geschlossen.

### Sekundärkreislauf

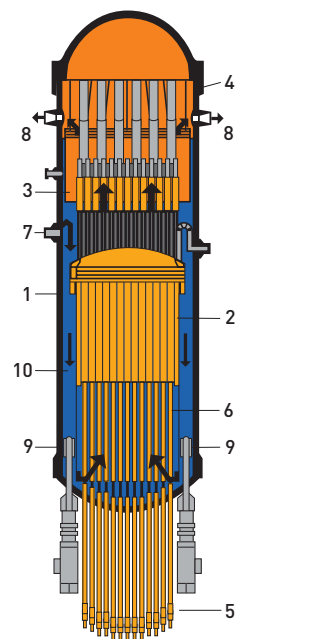
Durch die Wärme des Primärkreislaufs wird das Wasser des Sekundärkreislaufs verdampft. Dieser Dampf mit einem Druck von ca. 65 bar treibt den Turbogenerator mit 1.458 Megawatt Nennleistung an. In den drei Kondensatoren der Niederdruck(ND)-Turbinen wird der abgearbeitete Dampf durch Rheinwasserkühlung niedergeschlagen. Kondensatpumpen fördern dieses Kondensat über drei ND-Vorwärmanlagen in den Speisewasserbehälter (140° C). Die Speisewasserpumpen drücken das Speisewasser von dort über zwei HD-Vorwärmanlagen, in denen es auf 218° C erwärmt wird, in die Dampferzeuger zurück.

### Kernkraftwerk Philippsburg Block 2 Druckwasserreaktor, 1458 MW





## Nuklearer Teil (SWR)



- Reaktordruckbehälter**
- 1 Behälterwand
  - 2 Reaktorkern
  - 3 Dampf-/Wasserabscheider
  - 4 Dampftrockner
  - 5 Steuerstabantriebe
  - 6 Steuerstäbe
  - 7 Speisewassereintritt
  - 8 Frischdampfaustritt
  - 9 Zwangsumlaufpumpen
  - 10 Rückströmraum

Der Reaktordruckbehälter (RDB) besteht aus einem zylindrischen Mantel, einem gewölbten Boden und einem halbkugelförmigen Deckel. Der Boden, der die Stützen für die Zwangsumlaufpumpen, die Steuerstabantriebe und die Neutronenflussmessenrichtung enthält, und der zylindrische Teil wurden in drei transportfähigen Einheiten zur Baustelle gebracht und dort zusammengesweißt. Im unteren Teil des RDB sind Reaktorkern und Steuerstäbe, im oberen Teil Dampf/Wasser-Abscheider und Dampftrockner installiert.

Der Reaktorkern besteht aus 592 Brennelementen und hat eine thermische Leistung von 2.575 MW. Jedes Brennelement besteht aus 72 bzw. 96 Brennstäben und einem internen Wasserkanal. Die Brennstäbe sind in einem 9x9- bzw. 10x10-Gitter angeordnet und von einem Brennelementkasten aus Zircaloy-4 umhüllt. Die Brennstabhüllrohre aus Zircaloy-2 sind auf einer Länge von 3.660 mm mit Uranoxid-Tabletten mit einer mittleren U-235 Konzentration von 3,5 Gewichtsprozenten gefüllt.

Im RDB wird das Wasser von neun am Behälterboden angeflanschten Zwangsumlaufpumpen aus dem ringförmigen Rückströmraum zwischen Reaktorkern und Druckbehälterwand angesaugt und in den unteren Teil des Druckbehälters gedrückt. 37.300 t Kühlmittel pro Stunde durchströmen den Reaktorkern, nehmen dabei Wärme auf und treten als Dampf/Wasser-Gemisch aus dem

Kern aus. Dieses Gemisch wird anschließend im Dampf/Wasser-Abscheider in seine Phasen zerlegt. Der nach oben abgezogene Dampf passiert den Dampftrockner, wird dort getrocknet und strömt anschließend über die Frischdampfleitungen zur Turbine.

### Reaktorleistungsregelung

Die Reaktorleistung wird bestimmt von der Anzahl der thermischen Neutronen, die im Reaktor für Kernspaltungen zur Verfügung stehen. Die Regelprinzipien des SWR beruhen auf der Steuerstabregelung (Absorption von Neutronen) und der Umwälzregelung (Moderation von Neutronen).

Bei der Steuerstabregelung des Reaktors werden 145 kreuzförmige Steuerstäbe von unten in den Kern eingefahren. Die mit Bor-10 gefüllten Röhren innerhalb der kreuzförmigen Steuerstäbe absorbieren um so mehr thermische Neutronen, je tiefer die Steuerstäbe in den Reaktorkern eingefahren werden (Leistungsabsenkung).

Je mehr Dampfblasen das Kühlmittel im Reaktorkern enthält, um so weniger Neutronen werden auf thermische Energie abgebremst. Verlangsamt man durch die Umwälzregelung den Kühlmittelfluss im Reaktorkern, verweilen die vermehrt entstehenden Dampfblasen länger zwischen den Brennelementen und verhindern so in stärkerem Maße ein Abbremsen der Neutronen auf thermische Geschwindigkeiten.



## Nuklearer Teil (DWR)

Der Reaktordruckbehälter (RDB) ist aus mehreren nahtlosen Schmiederingen und ringförmigen Segmenten zusammengesetzt.

Der Reaktorkern enthält 193 Brennelemente mit 103 t Uran, die zusammen eine thermische Leistung von 3.950 Megawatt abgeben. Ein Brennelement besteht aus 236 Brennstäben und 20 Leerrohren zur Aufnahme der Steuerstäbe.

In MOX-Brennelementen (Uran-Plutonium-Mischoxid-Element) sind vier der Brennstäbe durch wassergefüllte Rohre ersetzt. Die Brennstabhüllrohre aus Zircaloy-4 haben einen äußeren Durchmesser von 10,75 mm und sind auf eine Länge von 3.900 mm mit Urandioxid-Tabletten gefüllt. Die gesamte Brennelementanordnung ist von einem Kernbehälter umschlossen. Der untere und obere Rost fixieren die Brennelemente und die Steuerstäbe mit ihren Führungsrohren. Der zylindrische Teil des Kernbehälters wirkt gleichzeitig als Neutronenreflektor. Das Hauptkühlmittel strömt durch die vier Kühlmittelaustrittsstutzen in den RDB, fließt durch den Ringraum zwischen Kernbehälter und Druckbehälterwand nach unten, wird um 180° umgelenkt und durchströmt den Reaktorkern von unten nach oben.

Über die vier Austrittsstutzen fließt das heiße Hauptkühlmittel in die vier Dampferzeuger. Die Dampferzeuger sind U-Rohr-Wärmetauscher in stehender Bauweise mit ca. 21 m Höhe. Sie trennen das Kühlmittel vom Spei-

sewasser-Dampf-Kreislauf. Im Dom der Dampferzeuger sind die Grob- und Feinabscheider zur Dampftrocknung angeordnet. Heizrohre aus Incoloy-800, einem besonders hitzebeständigen Material (Abmessungen: 22 mm x 1,2 mm), bilden die Heizflächen der Wärmetauscher.

Die Hauptkühlmittelpumpen sind vertikale Kreiselpumpen. Ihre Förderleistung beträgt jeweils 17.000 t/h bei einer Förderhöhe von etwa 88 m Wassersäule.

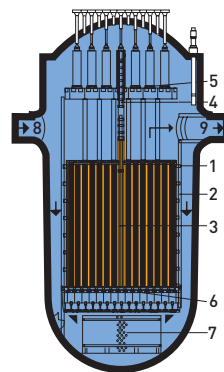
Der an das Reaktorkühlsystem angeschlossene Druckhalter sorgt für stets gleichbleibenden Druck und verhindert ein Sieden im gesamten Reaktorkühlkreislauf.

Er ist zur Hälfte mit Wasser gefüllt; darüber befindet sich ein Dampfpolster. Die Regelung des Drucks erfolgt durch elektrische Heizstäbe bzw. Sprühdüsen, über die Wasser zur Dampfkondensation eingespritzt wird.

### Reaktorleistungsregelung

Zur Regelung sind 61 Steuerstäbe vorgesehen. Sie bestehen aus Bündeln von 20 Fingern aus neutronenabsorbierendem Material (Silber/Indium/Cadmium) und tauchen in entsprechende Leerpositionen der Brennelemente ein.

Eine Leistungserhöhung des Reaktors wird durch Herausziehen der Steuerstäbe erreicht. Dadurch erhöht sich die Anzahl der für die Spaltung zur Verfügung stehenden Neutronen; es werden mehr Kerne gespalten und mehr Energie freigesetzt.



### Reaktordruckbehälter

- 1 Behälterwand
- 2 Kernbehälter mit thermischem Schild
- 3 Brennelement
- 4 Steuerstab
- 5 oberer Rost
- 6 unterer Rost
- 7 Siebtonne
- 8 Kühlmittelaustritt
- 9 Kühlmittelaustritt

Während des Leistungsbetriebs entstehen im Reaktorkern Spaltprodukte, die selber auch Neutronen absorbieren. Diese Vorgänge entwickeln sich jedoch so langsam, dass sie durch Änderung der Borkonzentration im Kühlmittel ausgeglichen werden können.



## Kernkraftwerk Philippsburg 1 926 MW-SWR

Thermische Reaktorleistung	2.575 MW
<b>Frischwasserbetrieb</b>	
Generatorklemmenleistung	926 MW
Netzeinspeisung	890 MW
Bruttowirkungsgrad	36,0%
Nettowirkungsgrad	34,5%

<b>Ablaufbetrieb</b>	
Generatorklemmenleistung	926 MW
Netzeinspeisung	884 MW
Bruttowirkungsgrad	36,0%
Nettowirkungsgrad	34,3%
Alle Werte bei 10° C	
Kühlwasser-Temperatur	

<b>Reaktordruckbehälter</b>	
Innendurchmesser	5.850 mm
Lichte Höhe	21.000 mm
Wandstärke des zylindrischen Teils	146 mm
Auslegungsdruck	87,3 bar
Werkstoff	22 NiMoCr 37
Gesamtgewicht	580 t

<b>Reaktorkern</b>	
Aktive Kernhöhe	3.660 mm
Mittlere Leistungsdichte	51,1 kW/l
Mittlere Brennstoffleistung	25,2 kW/kgU
Brennelementgeometrie (9x9)	9 x 9 - 9Q
Brennelementgeometrie (10x10)	10 x 10 - 9Q
Brennstäbe je Element (9x9)	72
Brennstäbe je Element (10x10)	91
Brennstabaußen-	
durchmesser (9x9)	11,0 mm

Brennstabaußen-	
durchmesser (10x10)	10,05 mm
Mittl. Heizflächenbelastung (9x9)	45,9 W/cm <sup>2</sup>
Mittl. Heizflächenbelastung (10x10)	39,7 W/cm <sup>2</sup>
Mittl. Anreicherung (9x9)	3,27 Gew.-% U-235
Mittl. Anreicherung (10x10)	3,8 Gew.-% U-235
Anzahl der Brennelemente	592
Brennstoff	UO <sub>2</sub>
Gesamtlänge des Brennelements	4.470 mm
Gesamtgewicht des Urans im Kern	102 t
Abbrand des Gleichgewichtskerns	50.000 MWd/t U

<b>Nukleares Dampferzeugungssystem</b>	
Druck am Druckbehälteraustritt	69 bar
Sattdampf Temperatur am	
Druckbehälteraustritt	287° C
Dampfmenge am	
Druckbehälteraustritt	1.390 kg/s
Dampfeuchte am	
Druckbehälteraustritt	0,25%
Speisewassereintrittstemperatur	215° C
Kühlmitteldurchsatz	37.300 t/h

<b>Zwangsumlaufpumpen</b>	
Interne Axialpumpen	9
Umwälzmenge je Pumpe	1.589 kg/s
Nennrehzahl	1.551 U/min
Nennleistung je Pumpe	650 kW

<b>Steuerstäbe</b>	
Anzahl der Steuerstäbe	145
Absorberlänge	3.638 mm
Absorbermaterial	B4 C od. Hafnium

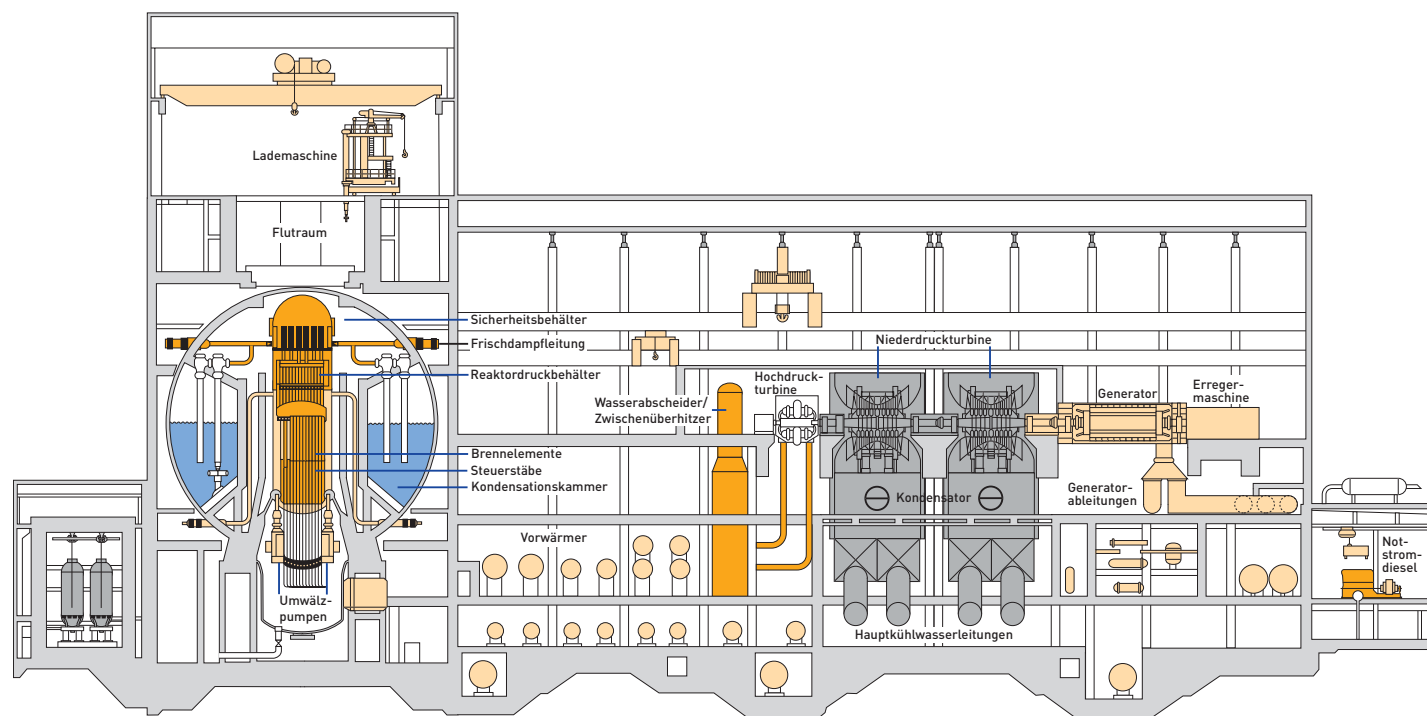
Mittlere Stabgeschwindigkeit	3 cm/s	Nennleistung	926 MW
Einfahrzeit	ca. 120 s	Leistung	1.060 MVA
Schnellabschaltzeit	2,6 s	Leistungsfaktor (cos. phi)	0,91
		Spannung	27 kV ± 5%
		Frequenz	50 Hz
<b>Sicherheitsbehälter</b>		Kühlung des Rotors	Wasser
Innendurchmesser	27.000 mm	Kühlung des Ständers	Wasser und Wasserstoff
Wandstärke	16 - 30 mm		
Auslegungsdruck	3,8 bar		

<b>Turbine</b>	
Sattdampf-kondensationsturbine	
Hochdruckteil	1 (doppelflutig)
Niederdruckteil	2 (doppelflutig)
Drehzahl	1.500 U/min
Endstufenschaufelllänge	1.396 mm
Kondensatordruck	0,04 bar

<b>Generator</b>	
Vierpoliger Drehstromsynchron-generator	1
Drehzahl	1.500 U/min

<b>Dampf- und Speisewasserkreislauf</b>	
Dampfmenge am Turbineneintritt	1.384 kg/s
Dampfdruck am Turbineneintritt	63,5 bar
Dampfeuchte am Turbineneintritt	0,25%
Zwischenüberhitzung auf	240° C
Druck nach Zwischenüberhitzung	10,3 bar
Zahl der Anzapfungen	6
Anzahl der Vorwärmstränge	2 ND / 2 HD
Anzahl der Speisewasserpumpen	3 x 60%
Nennleistung je Pumpe	7,6 MW
Anzahl der Kondensatpumpen	3 x 50%
Nennleistung je Pumpe	3,0 MW

<b>Kühlwasserkreislauf</b>	
Anzahl der Kühlwasserpumpen	4
Nennleistung je Pumpe	2,1 MW
Kühlwassermenge je Pumpe	10 m³/s
max. Kühlwasseraufwärmung	10° C
<b>Kühlturm</b>	
Naturzug-Nasskühlturm	1
Höhe	152 m
Durchmesser unten	124 m
Durchmesser oben	78 m
Anzahl der Kühlturmpumpen	4
Nennleistung je Pumpe	2,1 MW
Wasserdurchsatz	40 m³/s
Wasserverdunstung	max. 750 kg/s
Blocktrafo	1
Leistung	1.020 MVA
Übersetzungsverhältnis	27/415 kV ±
	12,1%
Frequenz	50 Hz

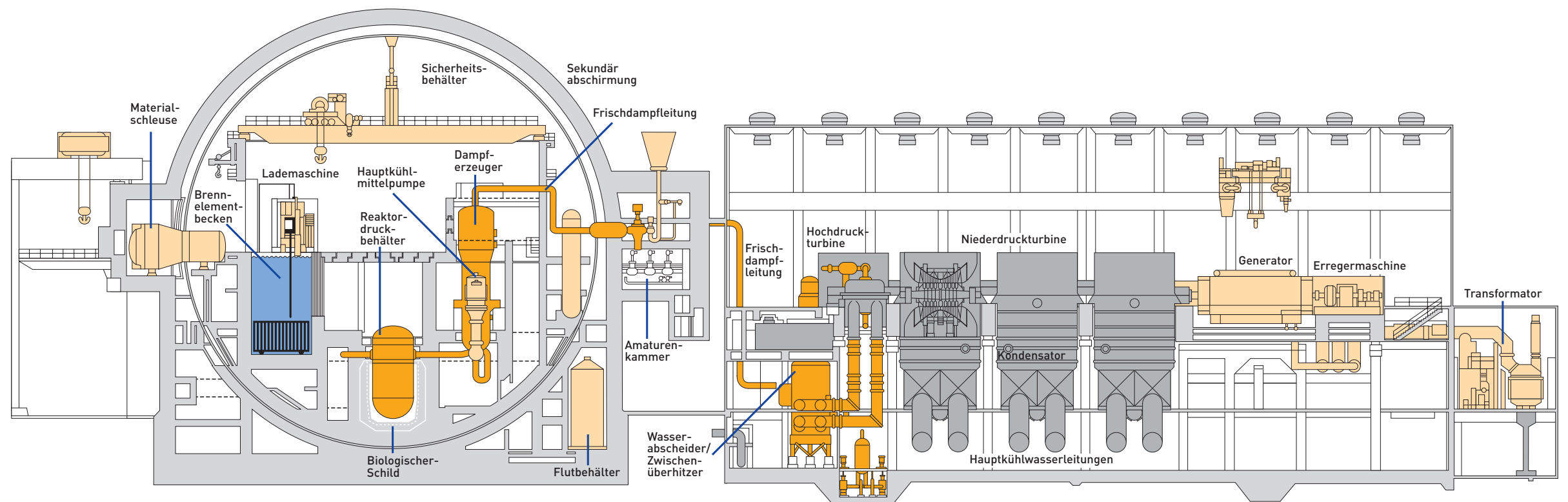


## Kernkraftwerk Philippsburg 2 1.458 MW-DWR

Thermische Reaktorleistung	3.950 MW
<b>Frischwasserbetrieb</b>	
Generatorklemmenleistung	1.458 MW
Netzeinspeisung	1.392 MW
Bruttowirkungsgrad	37,0%
Nettowirkungsgrad	35,3%
<b>Ablaufbetrieb</b>	
Generatorklemmenleistung	1.458 MW
Netzeinspeisung	1.384 MW
Bruttowirkungsgrad	37,0%
Nettowirkungsgrad	35,1%
<b>Reaktordruckbehälter</b>	
Innendurchmesser	5.000 mm
Lichte Höhe	11.628 mm
Wandstärke des zylindr. Teils	250 mm
Auslegungsdruck	175 bar
Werkstoff	22 NiMoCr 37
Gesamtgewicht	500 t

<b>Reaktorkern</b>	
Aktive Kernhöhe	3.900 mm
Mittlere Leistungsdichte	93 kW/l
Mittlere Brennstoffleistung	38,3 kW/kgU
Mittlere Heizflächenbelastung	63,2 W/cm <sup>2</sup>
Anzahl der Brennelemente	193
Brennstoff	UO <sub>2</sub> u. MOX
Mittlere Anreicherung	4,0 Gew.-% U-235
Brennstabgeometrie	16 x 16
Brennstäbe je Element	236/232 bei MOX
Brennstabaußendurchmesser	10,75 mm
Gesamtlänge des Brennelements	4.827 mm
Gesamtgewicht des Urans im Kern	103 t
Abbrand des Gleichgewichtskerns	51.000 MWd/t U

<b>Dampferzeuger</b>	
Anzahl	4
Gewicht je Dampferzeuger	416 t
Dampferzeugung je Einheit	527 kg/s
Dampfdruck am Austritt	65 bar
Sattdampfentemperatur am Austritt	280° C
max. Dampfuchte	0,25 Gew.-%
Speisewassereintrittstemperatur	218° C
<b>Reaktorkühlsystem</b>	
Anzahl Hauptkühlmittelpumpen	4
Nennleistung je Pumpe	5.450 kW
Förderleistung je Pumpe	4.700 kg/s
Betriebsdruck am Austritt	158 bar
Kühlmitteleintrittstemperatur	326° C
Kühlmitteleintrittstemperatur	291° C
Kühlmitteldurchsatz	68.000 t/h





**Steuerstäbe**

Anzahl der Steuerstäbe	61
Absorberlänge	3.720 mm
Absorbermaterial	Ag 80 In 15 Cd 5
Mittlere Stabgeschwindigkeit	1 cm/s
Einfahrzeit	ca. 375 s
Schnellabschaltzeit	1,7 s

**Sicherheitsbehälter**

Innendurchmesser	56.000 mm
Wandstärke	38 - 80 mm
Auslegungsdruck	5,3 bar

**Turbine**

Sattdampfkondensationsturbine	
Hochdruckteil	1 (doppelflutig)
Niederdruckteil	3 (doppelflutig)
Drehzahl	1.500 U/min
Endstufenschaufellänge	1.396 mm
Kondensatorzahl	3
Kondensatordruck	0,04 bar

**Generator**

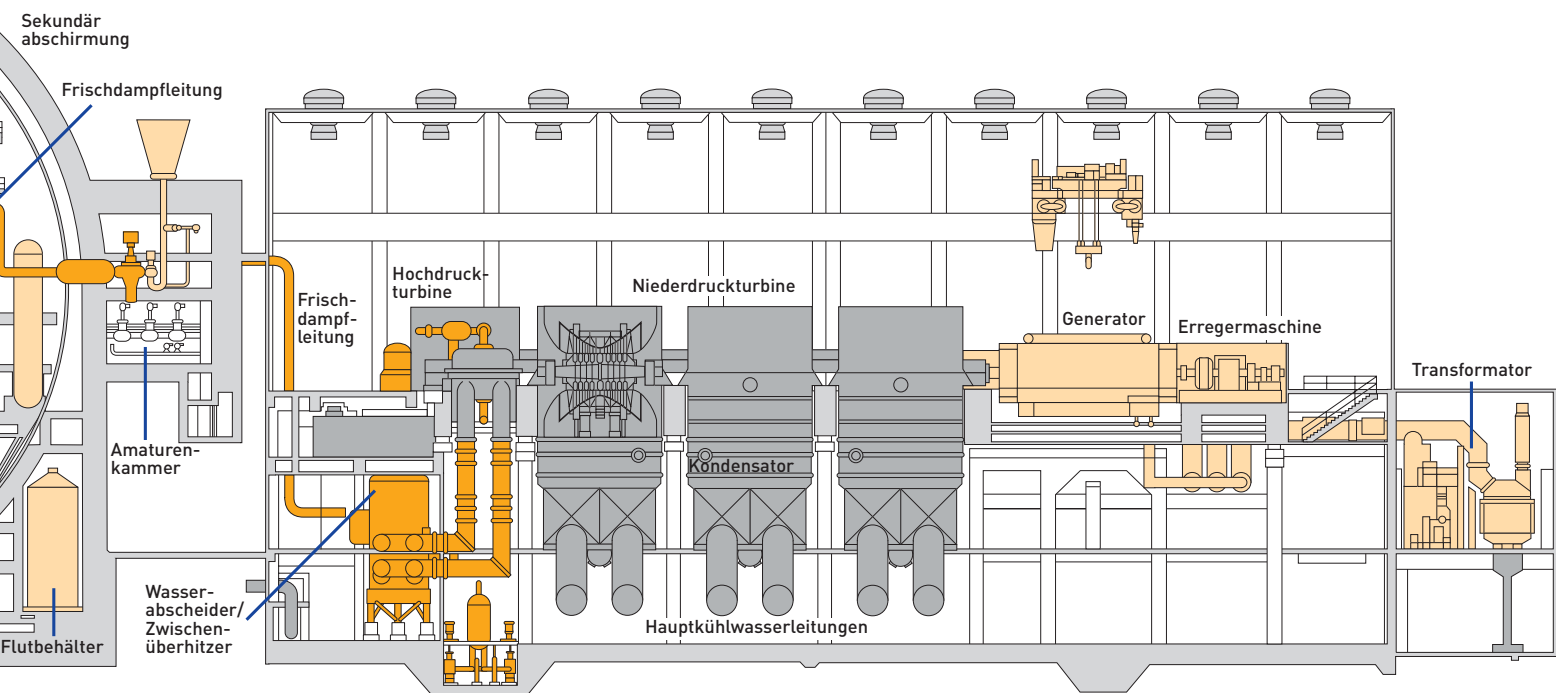
Vierpoliger Drehstromsynchrongenerator	1
Drehzahl	1.500 U/min
Nennleistung	1.458 MW
Leistung	1.560 MVA
Leistungsfaktor (cos. phi)	0,81
Spannung	27 kV ± 5%
Frequenz	50 Hz
Kühlung des Rotors	Wasser
Kühlung des Ständers	Wasser und Wasserstoff

**Dampf- und Speisewasserkreislauf**

Dampfmenge am Turbineneintritt	2.107 kg/s
Dampfdruck am Turbineneintritt	62,5 bar
Dampfeuchte am Turbineneintritt	0,25%
Zwischenüberhitzung auf	235° C
Druck nach Zwischenüberhitzung	11 bar
Anzahl der Vorwärmstränge	3 ND / 2 HD
Anzahl der Speisewasserpumpen	3 x 55%
Nennleistung je Pumpe	12,5 MW
Anzahl der Kondensatpumpen	3 x 55%/1,0 MW

**Kühlwasserkreislauf**

Anzahl der Kühlwasserpumpen	6
Nennleistung je Pumpe	1,5 MW
Kühlwassermenge je Pumpe	10 m³/s
max. Kühlwasseraufwärmung	10° C
Blocktrafo	2
Leistung je Trafo	870 MVA
Übersetzungsverhältnis	27/420 kV ± 11%
Frequenz	50 Hz



## Konventioneller Teil

Zur Stromerzeugung dient eine 1.500-tourige Einwellen-Sattdampf-Kondensationsturbine mit direkt gekoppeltem Drehstromsynchron-generator.

Von den Dampferzeugern (DWR) bzw. aus dem Reaktordruckbehälter (SWR) strömt der Sattdampf über vier Hauptdampfleitungen und den kombinierten vier Schnellschluss-Regelventilen zum Hochdruckteil der Turbine. Zwischen dem doppelflutigen Hochdruckteil und den drei doppelflutigen Niederdruckteilen beim Druckwasserreaktor (zwei Niederdruckteile beim SWR) sind zur Verringerung der Dampfefeuchte Wasserabscheider-Zwischenüberhitzer eingebaut. Nach den ND-Teilen wird der Restdampf in den Kondensatoren zu Wasser zurückgekühlt. Das dazu benötigte Kühlwasser wird dem Rhein entnommen, mechanisch mit Rechen und Sieben gereinigt und durch die Turbinenkondensatoren gepumpt. Dabei wird das Rheinwasser um ca. 10° C (bei Volllastbetrieb) erwärmt und anschließend über Ablaufkanäle und ein Überfallwehr (Sauerstoffanreicherung) in den Rhein zurückgeleitet.

Das Speisewasser wird in einer sechsstufigen Vorwärmanlage vorgewärmt. Die Kondensatpumpen und die Speisewasserpumpen sind beim DWR jeweils für 3x55%, beim SWR für 3x50%/3x60% ausgelegt. 2x50% notstromversorgte An- und Abfahrpumpen stellen bei Ausfall der normalen Eigenbedarfsversorgung die Nachzerfallwärme in der ersten Nachkühlphase sicher. Das Zusatzwasser für das gesamte Kernkraftwerk wird in einer Vollentsalzungsanlage aufbereitet und in Deionatbehältern gespeichert. Die mit einer Spannung von

27 kV im Generator erzeugte Energie wird über Maschinentransformatoren von 2x870 MVA beim DWR (1x1.020 MVA beim SWR) in das 380 kV-Netz gespeist. Beim An- und Abfahren sowie bei Stillstand wird der Generator auf der 27 kV-Seite durch Leistungsschalter vom Netz getrennt, so dass der Eigenbedarf über die Maschinentransformatoren bezogen werden kann. Für den unwahrscheinlichen Fall des gleichzeitigen Ausfalls von Kernkraftwerk und Hochspannungsnetz steht eine unabhängige, von Dieselgeneratoren gespeiste Notstromversorgung zur Verfügung, mit der die Anlage ordnungsgemäß abgefahren werden kann.

Bei Ausfall der Eigenbedarfsspannung vergehen etwa 10 Sekunden, bis die gestarteten Notstromdiesel belastbar sind. Bestimmte Verbrauchergruppen wie z. B. das Reaktorschutzsystem müssen aber ständig betriebsbereit sein. Sie werden deshalb direkt von 220 V- bzw. 24 V-Gleichstrombatterien oder von Umformern versorgt, die wiederum aus den 220 V-Batterien gespeist werden.

Zur zentralen Überwachung und Steuerung der wesentlichen Funktionen des Kraftwerksblocks sind Meldungen, Anzeigen und Betätigungsorgane in der Kraftwerkswarte zusammengefasst, die immer mit mehreren Personen besetzt ist.

Die Prozessrechneranlage dient der technischen und wirtschaftlichen Verbesserung des Betriebs als übergeordnetes Hilfsmittel der Betriebsführung, zum Beispiel bei der Blockführung, Protokollierung des Prozessgeschehens, Berechnung nuklearer Kenndaten und Betriebsüberwachung.



## Kühlkreislauf

Um den Abdampf der Turbine wieder in Wasser zurückzuverwandeln, muss diesem die Kondensationswärme entzogen werden. Dazu wird durch die Kondensatorrohre ständig Kühlwasser gepumpt. Zur Anpassung des Kraftwerksbetriebs an alle auftretenden klimatischen Verhältnisse, z. B. niedriger Rheinwasserstand oder hohe Gewässertemperaturen, sind verschiedene Kühlmöglichkeiten vorgesehen.

Beim Volllastbetrieb beider Kraftwerke wird eine thermische Leistung von 6.525 MW erzeugt; dabei fallen aus physikalischen Gründen ca. zwei Drittel der erzeugten Energie als Abwärme an.

Beim **Frischwasserbetrieb** (Entnahme ca. 60 m<sup>3</sup>/s beim DWR, 40 m<sup>3</sup>/s beim SWR) wird das Kühlwasser von den Kühlwasserpumpen in die Kondensatoren im Maschinenhaus gefördert und strömt über das Kraftschlussbecken und den Ablaufkanal in den Rhein zurück.

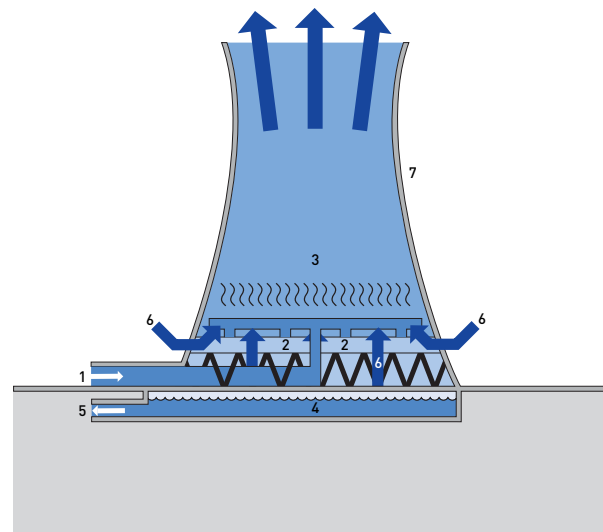
Jeder Kraftwerksblock ist mit einem Naturzug-Nasskühlturm ausgestattet, der sowohl im Ablauf- als auch im Rückkühlbetrieb eingesetzt werden kann. Jeder Kühlturm hat eine Höhe von 152 m und einen Basisdurchmesser von 124 m.

Beim **Ablaufbetrieb** wird das Wasser vor Rückgabe in den Fluss mittels vier Kühlturmpumpen mit je 2,1 MW beim DWR und 2 MW beim SWR über den Kühlturm geleitet und dabei in Abhängigkeit vom jeweiligen Zustand der Atmosphäre abgekühlt. Bei dieser Betriebsart wird das Rheinwasser intensiv mit Sauerstoff angereichert.

Beim **Mischkühlbetrieb** wird die Wärmeabgabe in den Fluss wesentlich reduziert, da hierbei das über den Kühlturm geführte Wasser aus der Kühlturmtasse größtenteils in den Kühlwasserkreislauf zurückgeleitet wird. Die Verdunstungsverluste betragen ca. 1 m<sup>3</sup>/s für jeden Kühlturm.

Die Wärmeeinleitung in den Rhein bei Flusswasserkühlung entspricht den Bestimmungen, die durch die Behörden erteilt und regelmäßig überwacht werden. Die Aufwärmung des Rheins nach erfolgter Durchmischung liegt unter 1° C, beträgt also nur einen Bruchteil der natürlichen Temperaturschwankungen.

- Kühlturm**
- 1 Kühlwasserzulauf
  - 2 Kühlwasserverteilung
  - 3 Tropfenabscheider
  - 4 Kühlturmbecken
  - 5 Kühlwasserablauf
  - 6 Luftstrom
  - 7 Kühlturmschlot





## Brennstoffkreislauf

Der im Reaktor eines Kernkraftwerks zur Wärmeerzeugung eingesetzte Brennstoff Uran kann nur zum Teil ausgenutzt werden. Es bleibt Brennstoff zurück, der durch Wiederaufarbeitung zum weiteren Einsatz in Reaktoren zurückgewonnen wird.

### Uranerzgewinnung

Das Ausgangsmaterial des Brennstoffkreislaufs, das Uran, wird als Erz in den Bergwerken gewonnen. In ca. 30 Ländern der Erde wird Uranerz abgebaut. Bedeutende Lagerstätten befinden sich in den USA, Kanada, Südafrika und Australien. Der Urangehalt der wirtschaftlich abbauwürdigen Erze beträgt 0,2 bis 20%. Das Natururan besteht zu 99,3% aus nicht spaltbarem Uran-238 und zu 0,7% aus spaltbarem Uran-235.

### Erzaufbereitung

Noch am Ort des Abbaus erfolgt ein chemisches Konzentrationsverfahren. Durch Mahlen des Erzes und Herauslösen des Urans mit Säure erhält man ein pulverförmiges gelbes Urankonzentrat in Form von Uranoxid (yellow cake).

### Konversion

Die chemische Umwandlung von Uranoxid in Uranhexafluorid (UF<sub>6</sub>) nennt man Konversion. Dieses UF<sub>6</sub> ist dann das Ausgangsprodukt für die Anreicherung. Uranhexafluorid ist eine feste, farblose Substanz, die schon bei 56° C gasförmig wird (was in den Transportbehältern durch leichten Überdruck verhindert wird).

### Anreicherung

Das Uran wird in gasförmigen Zustand überführt, und der Anteil des Uran-235 von 0,7% auf ca. 5% erhöht. Diese Konzentration ist nötig, um im Leichtwasserreaktor eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion herbeizuführen.

### Brennelementfertigung

Das angereicherte gasförmige Uran wird in pulverförmiges Urandioxid umgewandelt, zu Tabletten gepresst und in Hüllrohren gasdicht eingeschweißt. 236 solcher Hüllrohre bilden, quadratisch angeordnet, ein Druckwasserreaktor-Brennelement; ein Siedewasserreaktor-Brennelement besteht aus bis zu 96 Hüllrohren.

### Brennelementeinsatz

In Philippsburg sind im Siedewasserreaktor 592 Brennelemente mit 101 Tonnen Uran und im Druckwasserreaktor 193 Brennelemente mit 103 Tonnen Uran zur Energiegewinnung im Einsatz.

### Brennelementwechsel

Nach Ablauf eines Betriebsjahres wird während einer Abschaltzeit des Kraftwerks ein Teil der Brennelemente aus dem Reaktorkern entfernt (ca. 1/5 beim Siedewasserreaktor, ca. 1/4 beim Druckwasserreaktor) und durch neue ersetzt. Die im Kern verbleibenden Brennelemente werden so umgesetzt, dass der Brennstoff optimal ausgenutzt wird.

### Brennelementlager

Die abgebrannten Brennelemente werden im Brennelementabklingbecken des Kraftwerks gelagert und gekühlt. Dort stehen sie so lange, bis die Radioaktivität der Spaltprodukte unter einen festgelegten Wert gesunken ist. Auch die mit dem Zerfall der Spaltprodukte verbundene Wärmeentwicklung klingt während dieser Lagerung ab. Das Wasser im Lagerbecken wird gekühlt und ständig von Korrosions- und Spaltprodukten gereinigt. In jedem Kraftwerk besteht die Möglichkeit, Brennelemente einige Jahre zu lagern.

Das Brennelementlagerbecken von Block 1 ist für eine Lagerkapazität von 160%, das von Block 2 für 400% ausgelegt. Verschiedene Einrichtungen im Lagerbecken ermöglichen es, die Brennelemente auf Schäden zu untersuchen.

Bis Mitte 2005 wurden die verbrauchten Brennelemente nach ihrer Abklingzeit in diesen Becken, in dickwandigen Stahlbehältern zu den Wiederaufbereitungsanlagen La Hague, Frankreich oder Sellafield, England abtransportiert. Darüber hinaus wurden Brennelemente in Transport- und Lagerbehältern vom Typ CASTOR in den Zwischenlagern Gorleben und Ahaus, mit dem Ziel der späteren direkten Endlagerung eingelagert.

Durch den Atomkonsens der Energiewirtschaft mit der Bundesregierung aus dem Jahr 2000 wurde eine Verfahrensänderung notwendig. Die Transporte zur Wiederaufbereitung und der Transport zu den Zwischenlagern in Gorleben und Ahaus wurden

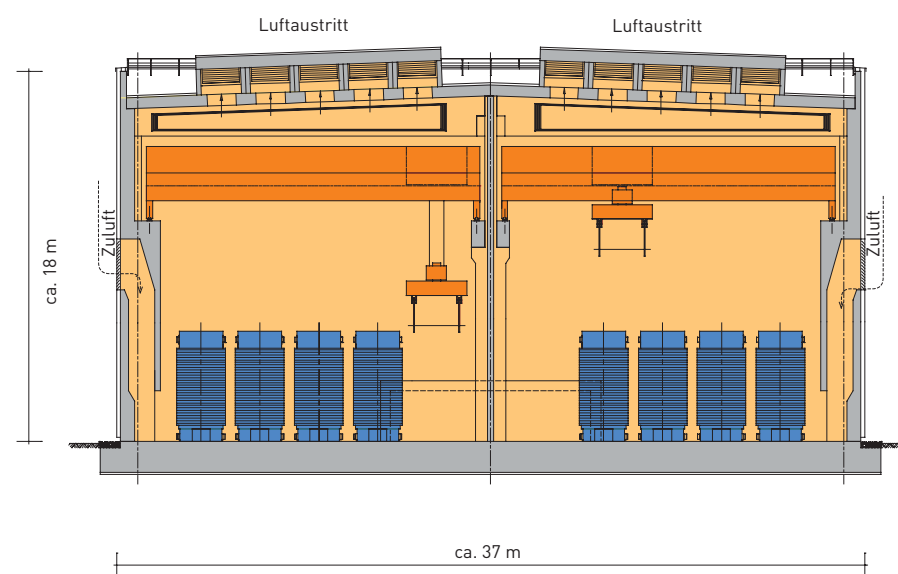
mit Wirkung zum 1. Juli 2005 untersagt. Brennelemente sollen nun bis zum Transport in ein noch festzulegendes Endlager, in geeigneten Transport- und Lagerbehältern, in Standortzwischenlagern aufbewahrt werden. Bis zur Inbetriebnahme des Philippsburger Standortzwischenlagers im Herbst 2006 ist die Nutzung eines so genannten Interimslagers notwendig.

Die Bauart des Zwischenlagers ist identisch mit den bereits bestehenden Zwischenlagern in Ahaus, Gorleben und Greifswald. Die Halle wird 92 m lang, 37 m breit und 18 m hoch sein. Sie ist in einen Verladebereich und zwei Lagerhallen unterteilt und bietet Stellplätze für insgesamt 152 Castorbehälter. Jährlich werden etwa vier bis fünf Behälter von den Reaktorgebäuden zum Zwischenlager gebracht und dort gelagert werden. Die Betonumhausungen des Interimslagers und die Halle des Zwischenlagers dienen in erster Linie als Witterungsschutz und zusätzliche Strahlungsabschirmung für die Behälter. Die Castoren selbst sind gegen alle anzunehmenden extremen äußeren Einwirkungen ausgelegt. Ihre Strahlenschutzfunktion haben sie bei diversen Crashtests, Brand- und Explosionstests nicht eingebüßt. In Verbindung mit den baulichen Abschirmungen der Lagerhalle, gewährleisten sie auch bei voller Beladung die Einhaltung der zulässigen Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung und unterliegen dazu einer ständigen Dichtheitsüberwachung.

Das Standortzwischenlager kann und soll kein Endlager sein. Die Bundesregierung ist

gesetzlich verpflichtet, ein Endlager zur Verfügung zu stellen. Nachdem die Brennstäbe den größten Teil ihrer Nachzerfallswärme abgegeben haben, werden sie in spezielle Behälter umgeladen und dann beispielsweise im Salzstock Gorleben eingelagert. Zwischen Politik, Wirtschaft und Wissenschaft besteht in Deutschland Konsens darüber, dass radioaktive Abfälle nur in tiefen geologischen Formationen, z.B. Salzgestein, endgelagert und hermetisch von der Biosphäre abgeschlossen werden können.

Brennelementelager





## Reaktorsicherheit

Eine der wichtigsten Bedingungen, die beim Betrieb von Kernkraftwerken zu erfüllen sind, ist ein Höchstmaß an Sicherheit. Unter Sicherheit ist in diesem Zusammenhang vor allem der Schutz der in der Umgebung lebenden Menschen sowie der in einem Kernkraftwerk Beschäftigten vor schädigenden Einflüssen – sowohl beim normalen Betrieb der Anlage als auch bei Störfällen – zu verstehen. Bei der Wärmeerzeugung durch Kernspaltung entstehen radioaktive Nuklide (im Wesentlichen Spaltprodukte). Sie erfordern Sicherheitsmaßnahmen in einem Umfang, wie sie sonst in der Technik nicht üblich sind. Diese Maßnahmen haben alle das Ziel, ein Entweichen radioaktiver Stoffe in die Umgebung zu verhindern. Durch den Aufbau hintereinander gestaffelter Sicherheitsbarrieren wird eine Gefährdung

von Bevölkerung und Personal bei technischen Störungen im Kernkraftwerk ausgeschlossen.

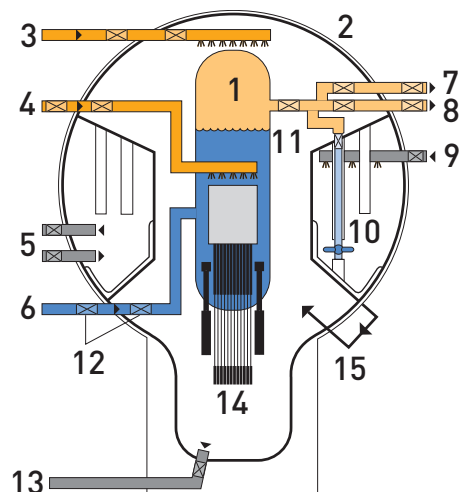
Nach der Strahlenschutzverordnung muss innerhalb des Kraftwerks ein Kontrollbereich eingerichtet werden. Dieser Bereich umfasst das Reaktorgebäude und das Reaktorhilfsanlagengebäude beim Druckwasserreaktor, beim Siedewasserreaktor auch das Maschinenhaus. Schleusentechnik, Unterdruckhaltung, eine sorgfältige Zugangskontrolle sowie die Auslegung der baulichen Strukturen verhindern, dass aus dem Kontrollbereich radioaktive Luft unkontrolliert austritt, Aktivität in fester Form verschleppt oder durch direkte Strahlung ein erhöhter Strahlenpegel hervorgerufen wird. Für den Kontrollbereich selbst ist durch Abschirmwände, Ortsdosisüberwachung und Beschränkung der Zugänglichkeit von Räumen mit höherem Strahlenpegel sichergestellt, dass die vom Betriebspersonal aufgenommene Strahlendosis unterhalb des zulässigen Werts bleibt.

Um zu verhindern, dass sich radioaktive Gase oder Dämpfe im ganzen Reaktorgebäude verbreiten, ist dieses in Raumgruppen – die Anlagen- und Betriebsräume – aufgeteilt, die getrennt belüftet werden. Die Forderung nach weitgehender Aktivitätsfreiheit der Betriebsräume wird durch einen leichten Unterdruck in den Anlagenräumen erfüllt. Hierzu zieht man Luft aus den Anlagenräumen ab und leitet sie kontrolliert über Aerosol- und Aktivkohlefilter über den Abluftkamin in die Atmosphäre.

Treten Störungen auf, die zu einer Gefährdung oder Beschädigung der Anlage führen könnten, wird der Reaktor durch das Reak-

### Sicherheitstechnik im SWR

- 1 Reaktordruckbehälter
- 2 Sicherheitsbehälter
- 3 Sicherheitsbehältersprühsystem
- 4 Kernsprühsystem
- 5 Kondensationskammerkühlung
- 6 Speisewasserleitung (Einspeise-, Nachkühlsystem)
- 7 Dampfleitung zur Notkondensationsturbine
- 8 Frischdampfleitung
- 9 Kondensationskammersprühsystem
- 10 Entlastungssystem
- 11 Durchflussbegrenzer
- 12 Durchdringungsventile
- 13 Sumpfrückfördersystem
- 14 Steuerstäbe
- 15 Ringspaltabsaugung



torschutzsystem innerhalb von zwei Sekunden abgeschaltet. Dieses System, das allen Schalthandlungen übergeordnet ist, führt auch bei Bedienungsfehlern zur automatischen Schnellabschaltung.

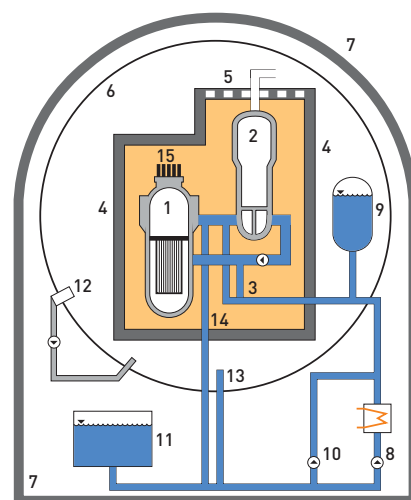
Die Zuverlässigkeit des Schutzes ist durch eine Mehrfachauslegung gewährleistet.

Die stählernen Sicherheitsbehälter (DWR Ø 56 m, SWR Ø 27 m) umschließen das nukleare Dampferzeugungssystem und beim Siedewasserreaktor auch das Druckabbau-system. Durch ständige Qualitätskontrollen bei der Herstellung und durch Wiederholungsprüfungen ist gewährleistet, dass die Behälter bei allen Betriebszuständen dicht bleiben.

Da mögliche Leckagen praktisch nur an Schleusen sowie Rohr- und Kabeldurchführungen auftreten können, sind diese Stellen mit besonderen Kammern versehen, die an ein Absaugsystem angeschlossen sind. Auf diese Weise besteht die Möglichkeit, die gegebenenfalls aus dem Sicherheitsbehälter austretenden Leckagen abzusaugen und in den Behälter zurückzupumpen. Darüber hinaus erlaubt dieses System, die angeschlossenen Durchführungen jederzeit bei vollem Auslegungsdruck auf Dichtheit zu überprüfen.

Die an Schleusen und anderen Durchführungen möglicherweise auftretenden Restleckagen werden durch ständiges Absaugen der Luft erfasst und gefiltert über den Abluftkamin abgeführt. Damit wird ein unkontrolliertes Austreten von radioaktiven Aerosolen ausgeschlossen.

Alle stromabhängigen Sicherheitssysteme werden vom Notstromnetz versorgt und sind somit vom elektrischen Eigenbedarfsnetz unabhängig. Bei Netzausfall werden automatisch die Notstromdiesel angeregt. Zusätzlich sind noch Batteriesätze vorhanden, die den Reaktorschutz und die Rechner unterbrechungsfrei mit Strom versorgen.



#### Sicherheitstechnik im DWR

- 1 Reaktorbehälter
- 2 Dampferzeuger
- 3 Hauptkühlmittelpumpe
- 4 Primärabschirmung
- 5 Überströmdecken
- 6 Sicherheitsbehälter
- 7 Betonhülle gegen Einwirkungen von außen
- 8 Nachkühler und Nachkühlpumpen
- 9 Druckspeicher
- 10 Sicherheitseinspeisepumpe
- 11 Borwasserflutbehälter
- 12 Örtliche Absaugung (Schleusen, Leitungen)
- 13 Gebäudesumpf
- 14 Nachkühlleitung
- 15 Steuerstäbe

## Strahleneinwirkung

### Natürliche Strahleneinwirkung

Alle Lebewesen sind einer ionisierenden Strahlung ausgesetzt. Diese Einwirkung wird sowohl durch Bestrahlung von außen als auch durch die in den Lebewesen selbst vorhandenen Radionuklide verursacht.

### Kosmische Strahlung

Die kosmische Strahlung setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: der solaren (Ursprung in unserer Sonne) und der galaktischen (Ursprung in den Sternensystemen). Die kosmische Strahlung besteht vorwiegend aus Protonen und Alphateilchen, die in den oberen Luftschichten mit Kernen der Sauerstoff- und Stickstoffatome zusammenstoßen. Bei diesen Wechselwirkungen entstehen neue Kerne, bzw. es werden Kernteil-

chen frei, z. B. radioaktiver Wasserstoff (H-3) und radioaktiver Kohlenstoff (C-14). In unserer Lufthülle entsteht auf Grund dieser vielfältigen Sekundärprozesse eine Strahlung, die sich im Wesentlichen aus Protonen, Neutronen, Elektronen und Gamma-Quanten zusammensetzt. Die kosmische Strahlung wird in der Atmosphäre z. T. absorbiert. Das bedeutet, dass ihre Intensität mit steigender Höhe über dem Meeresspiegel zunimmt.

### Terrestrische Strahlung

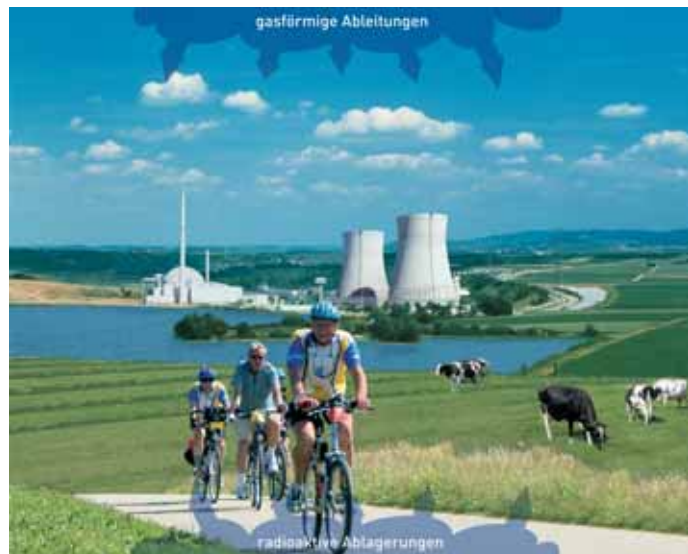
Die terrestrische Strahlung wird durch die in der Umgebung des Menschen (Erdrinde, Baumaterialien, Luft usw.) vorhandenen natürlichen Radionuklide hervorgerufen. Dabei handelt es sich vor allem um radioaktive Stoffe, deren Halbwertszeit etwa dem geolo-

gischen Alter der Erde entspricht (mehrere Milliarden Jahre), bzw. deren Folgeprodukte mit kürzeren Halbwertszeiten.

### Eigenstrahlung des Körpers

Die Eigenstrahlung des menschlichen Körpers wird durch die beim Stoffwechsel aufgenommenen Radionuklide hervorgerufen. Das Trinkwasser, die pflanzliche und tierische Nahrung sowie die Luft enthalten radioaktive Substanzen, die nach der Aufnahme in den menschlichen Körper dort eingebaut werden und als Strahlenquelle wirken.

In der Luft befinden sich außer dem schon erwähnten radioaktiven Wasserstoff (H-3) und dem radioaktiven Kohlenstoff (C-14) in erster Linie die radioaktiven Edelgase Radon-222 und Radon-220, die der Erde ent-





strömen oder mit dem Quellwasser an die Erdoberfläche gelangen.

Bei der Strahleneinwirkung auf den Menschen muss zwischen der natürlichen und der zivilisatorisch bedingten Einwirkung unterschieden werden.

Die durch die kosmische Strahlung hervorgerufene Dosisleistung ist von der Höhe abhängig. Sie beträgt in Deutschland im Mittel 0,3 Millisievert/Jahr (mSv/a). Die terrestrische Strahlung erhöht die Dosis im Mittel um weitere 0,5 mSv/a; die Eigenstrahlung des Menschen wird mit 0,3 mSv/a angegeben. Durch Inhalation von Radon in unseren Wohnungen erhöht sich die natürliche Strahlenbelastung um weitere 1,4 mSv/a.

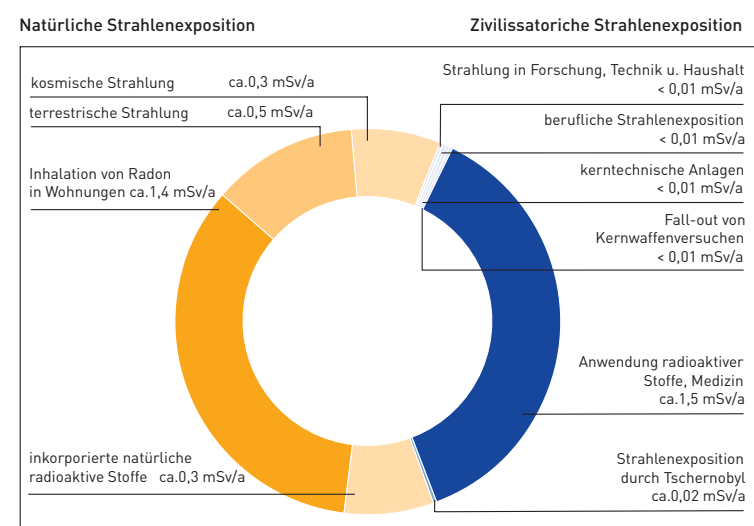
**Strahleneinwirkung aus einem Kernkraftwerk auf die Umgebung**

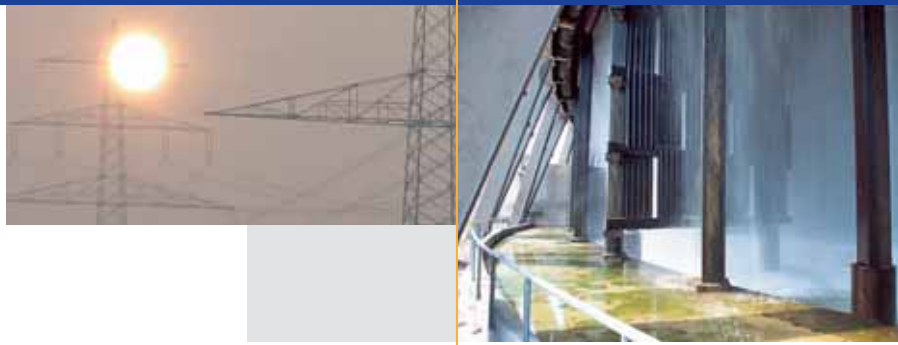
Über die Abluft und über das Abwasser gelangt Radioaktivität in die unmittelbare Umgebung. Die Abluft entsteht aus Be- und Entlüftungen von Reaktor- und Hilfsanlagegebäude. Diese Abluft wird vor der Abgabe intensiv gefiltert; trotzdem können sich noch radioaktive Gase oder Partikel darin befinden und die Filter passieren. Die Abluft wird von drei voneinander unabhängigen Messinstrumenten im Abluftkamin gemessen. Das aus verschiedenen Reinigungssystemen anfallende Abwasser wird in der Abwasserreinigungsanlage von Radioaktivität und Schmutz gereinigt. Da es technisch nicht möglich ist, einen 100%igen Reinigungsprozess durchzuführen, gelangen geringe Aktivitätsmengen mit dem Abwasser in die Umge-

bung. Alle abgegebenen Abwässer werden – wie bei der Abluft – mehrmals kontrolliert. Die Werte aus Abluft und Abwasser liegen weit unter den von der Genehmigungsbehörde gesetzlich festgelegten minimalen Abgabewerten.

Nach der geltenden Strahlenschutzverordnung sind für Personen in der unmittelbaren Umgebung einer kerntechnischen Anlage jährlich 0,3 mSv/a zusätzliche Strahleneinwirkung zulässig. Dieser Wert entspricht etwa 10% der in Deutschland vorhandenen natürlichen Strahleneinwirkung. Beim Betrieb eines Kernkraftwerks beträgt die Strahleneinwirkung am Zaun des Kernkraftwerks zwischen 0,001 und 0,01 mSv/a, also rund 1‰ der natürlichen Strahlung, und nimmt mit wachsendem Abstand vom Kernkraftwerk weiter ab.

**Jährliche mittlere Strahlendosis in der Bundesrepublik Deutschland bei Ganzkörpereinwirkung**





## Kernkraft und Umwelt

Ein Kernkraftwerk hat vier Berührungspunkte mit der Umwelt:

### Abwärme (1)

Von der in einem Kernkraftwerk erzeugten Wärme fallen zwei Drittel als Abwärme an, was auf Grund physikalischer Gesetze nicht zu umgehen ist. Diese Abwärme wird über das Kühlwasser in den Fluss oder bei Einsatz des Kühlturms an die Umgebung abgegeben.

### Abluft (2)

Auch die Raumluft des nuklearen Bereichs kann radioaktive Stoffe enthalten, die über

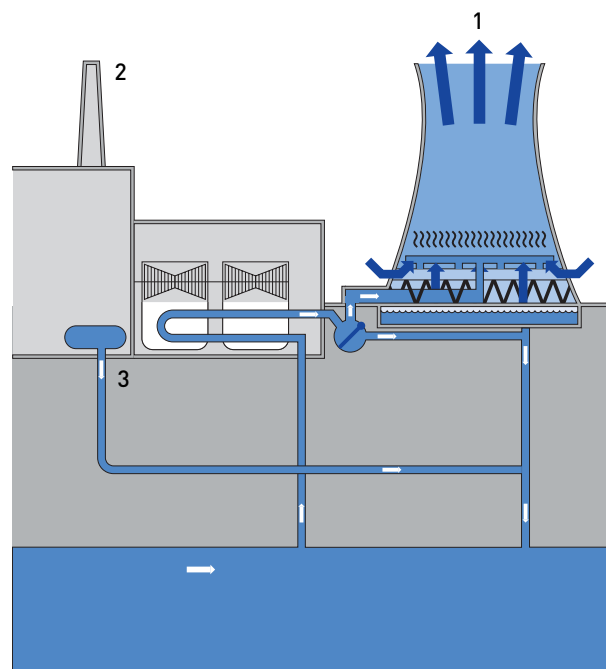
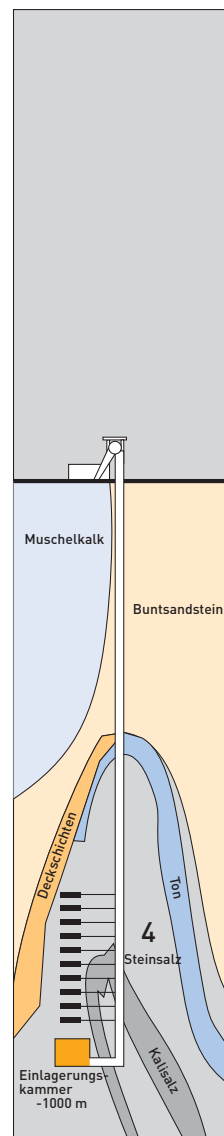
Undichtheiten oder bei Wartungsarbeiten aus aktivitätsführenden Systemen entweichen sind. Die Lüftungstechnischen Einrichtungen der Anlage sind zur Entfernung dieser Stoffe mit mechanischen und Aktivkohlefiltern ausgerüstet.

### Abwasser (3)

Eine wichtige Aufgabe der Reinigungs- und Filteranlagen im Hilfsanlagengebäude ist, radioaktive Stoffe aus dem Kühlmittel und den Abwässern zu entfernen. Zur Behandlung radioaktiver Abwässer aus dem Reaktorkühlsystem, den Labors, den Dekontaminationsanlagen und Waschräumen gibt es unterschiedliche Aufbereitungsverfahren: Aufbereitung durch Zentrifugenanlage, Ionenaustausch, Eindampfen und chemische Fällung.

Das gereinigte Abwasser wird in Kontrollbehälter geleitet und erst dann in den Fluss abgegeben, wenn eine genügend niedrige Konzentration an radioaktiven Stoffen erreicht ist. Wird der vorgeschriebene Grenzwert im Kontrollbehälter nicht unterschritten, wird das Abwasser in die Aufbereitung zurückgeführt und der Reinigungsprozess wiederholt. Das in den Rhein eingeleitete Abwasser muss vom Aktivitätsgehalt her Trinkwasserqualität haben.

Bei Planung und Betrieb von Kernkraftwerken gilt als oberstes Prinzip, die Abgabe aller anfallenden radioaktiven Stoffe an die Umgebung so gering wie möglich zu halten. Je nach Art der Stoffe werden diese von verschiedenen Rückhaltesystemen erfasst.



#### Kühlwasseraustritt mit Messhaus am Rhein



#### Entsorgung radioaktiver Abfälle (4)

Die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus deutschen Leichtwasserreaktoren wurde in Frankreich (La Hague) und England (Sellafield) durchgeführt. Der dabei entstehende radioaktive Abfall muss jedoch in konditionierter Form in Deutschland endgelagert werden. Dafür sind für schwach- und mittelaktiven Abfall die Schachanlage Konrad sowie für hochaktiven Abfall der Salzstock Gorleben vorgesehen. Für den Einlagerungsbetrieb im Salzstock Morsleben wurde 1993 ein Vertrag zwischen dem Bundesumweltministerium und den EVU abgeschlossen. Gegenstand des Vertrags ist die Annahme und Endlagerung von mindestens 25.000 m<sup>3</sup> radioaktiven Abfällen aus deutschen Kernkraftwerken; 2.590 m<sup>3</sup> davon stammen aus dem KKP. Bis zum Einlagerungsstopp im Jahr 1998 wurden von KKP etwa 2.000 m<sup>3</sup> 200-l-Fässer leichtaktiver Betriebsabfall eingelagert.

Für die Schachanlage Konrad wurden die Eignungsuntersuchungen mit positivem Ergebnis abgeschlossen. Die erteilte Betriebsgenehmigung wird jedoch nochmals juristisch geprüft. Mit dem Beginn der Einlagerung nicht wärmeentwickelnder Abfälle wird nach Abschluss der juristischen Prüfung gerechnet.

Im Salzstock Gorleben werden noch Untersuchungen durchgeführt, die die Eignung des Salzstocks als Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle bestätigen sollen.

#### Umgebungsüberwachung

Die Überwachung möglicher Auswirkungen des Kernkraftwerks auf seine Umgebung ist eingebettet in die allgemeine Überwachung der Umweltradioaktivität im gesamten Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Diese Umgebungsüberwachung kontrolliert das Auftreten künstlicher radioaktiver Stoffe und die von ihnen ausgehende äußere und innere Strahleneinwirkung der in der näheren Umgebung des Kernkraftwerks lebenden Bevölkerung. In der Umgebung des Kernkraftwerks Philippsburg ist ein umfangreiches Messnetz installiert, durch das Daten der Meteorologie, Hydrologie und Radiologie erfasst werden. Dazu wurden sieben Messhäuser eingerichtet: fünf auf der Rheinschanzinsel und jeweils ein Messhaus bei Speyer und Rheinsheim.

Je ein Messhaus am Kühlwassereintritt und Kühlwasseraustritt dienen der kontinuierlichen Messung des Rheinwassers und des ausfließenden Kühlwassers. In vier Messhäusern, die im Umkreis von ca. 5 km um

das Kraftwerk verteilt sind, werden die Niederschlagsmengen, die Ortsdosisleistung und die Gammastrahlung gemessen und aufgezeichnet. Im fünften Messhaus, das ca. 500 m vom Abluftkamin in der Hauptwindrichtung steht, werden zusätzlich meteorologische Daten erfasst, die an einem 115 m hohen Mast gemessen werden. An diesem Mast sind Messgeräte für die Bestimmung von Luftfeuchte, Temperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit installiert. Alle Messwerte werden direkt an die Warte des Kraftwerks und den Rechner des Umweltmesslabors übermittelt. Dort werden sämtliche Daten ausgewertet und gespeichert.

Die Abgabewerte für radioaktive Stoffe durch das Kernkraftwerk Philippsburg werden täglich an die Aufsichtsbehörde, das Umweltministerium in Stuttgart, übermittelt. Das Bundesgesundheitsamt und die Landesanstalt für Umweltschutz sowie der TÜV Südwest e.V. überprüfen Messprogramm und Messergebnisse.

## Energieträger für die Stromerzeugung im Vergleich

	Wasser	Wind	Sonne	Kernenergie
<b>Technischer Prozess</b>	Stromerzeugung durch Antrieb von Wasserturbinen in Laufwasserkraftwerken und Pumpspeicherkraftwerken. Verschiedene Wasserführungen der Flüsse bedingten unterschiedliche Energieangebote. Im Winter kein Zufluss zu den Stauseen der Alpen und meist geringe Wasserführung der Flüsse.	Windturbinen treiben elektrische Generatoren an. Exponentielle Abhängigkeit der Leistung von der Windgeschwindigkeit. Übliche Größen 1-2 MW je Anlage; Bauhöhen bis ca. 100 m, Rotordurchmesser ca. 100 m.	1. Photovoltaische Stromerzeugung: Direktumwandlung in Strom mit Photozellen, relativ geringer Wirkungsgrad (10 - 12%) 2. In Gebieten mit hoher direkter Einstrahlung, z. B. Wüstengebieten, Kalifornien: Solarthermische Stromerzeugung: Wärmesammlung über Spiegel oder Kollektoren, Dampferzeugung und Antrieb einer Dampfturbine mit angekoppeltem elektrischen Generator.	Wärmeerzeugung durch Kernspaltung oder in Zukunft möglicherweise auch durch Kernfusion. Dampferzeugung direkt im Reaktor oder über Wärmetauscher in einem Dampferzeuger; Antrieb einer Dampfturbine mit angekoppeltem elektrischen Generator.
<b>Energieangebot</b>	Energieangebot hängt von Wassermenge und Fallhöhe des Wassers ab. In Deutschland wirtschaftliche Produktionskapazitäten praktisch voll ausgebaut.	Windreiche Gebiete an Küsten und in Höhenlagen. Angebot stark schwankend; an windstillen Tagen keine Energieversorgung.	Energieangebot schwankt abhängig von Jahreszeit, Tageszeit und Wetterbedingungen. In unseren Breiten werden nur ca. 1.000 Volllastbetriebsstunden pro Jahr von insgesamt 8.760 Jahresstunden erreicht.	Uran und Thorium sind relativ häufig vorkommende Elemente der Erdkruste; Vorkommen in vielen Ländern der Erde; größtes Reservoir im Meerwasser.
<b>Bedarf an Energieträgern</b>	Erzeugte Energie als Produkt von Wassermenge, Erdbeschleunigung und Fallhöhe bzw. Tidenhub. Beispiel: Neckar mit 24 Staukraftwerken = 80 MW.	Eine 1-MW-Anlage kann an guten Küstenstandorten bei 2.500 Volllaststunden 2,5 Mio. kWh Strom/a erzeugen. Binnenland: 1.000 - 2.000 Volllaststunden.	Für eine Leistung von 1 kW sind ca. 10 m <sup>2</sup> Solarmodule notwendig. Für ein 1.000 MW-Kraftwerk wäre eine Landfläche von ca. 80 km <sup>2</sup> notwendig.	Mit 1 kg Natururan kann man ca. 100.000 kWh Strom erzeugen – den Jahresbedarf einer Gemeinde mit mehreren hundert Einwohnern.
<b>Ökologische Bewertung</b>	Flusskraftwerke verändern durch Kanalisierung die natürlichen Lebensbedingungen im Wasser und im Flusstal; große Stauseen können das Kleinklima verändern.	Veränderung des Landschaftsbilds, hoher Landschaftsverbrauch.	Große Spiegelflächen bedeuten großen Landschaftsbedarf und Veränderung des Kleinklimas. Hohe Turmbauten. Bei solarthermischer Stromerzeugung Kühl(turm)-Probleme in der Wüste. Hoher Energiebedarf bei Bau, Transport und Abriss der Anlage.	Praktisch keine Belastung der Biosphäre; Abfälle in Brennelementen eingeschlossen; Entsorgung in sicher verpacktem Zustand in unterirdischen Lagern; abklingende Strahlung der Abfälle; Abwärme.
<b>Sicherheitsaspekte</b>	Gefährdung von Menschen, Tieren, Pflanzen und Landschaft durch Staudammbruch nicht auszuschließen.	Bauhöhe und dynamische Beanspruchung stellen Gefährdungsmoment dar.	Bei Solarturmkraftwerken Gefährdung durch Strahlung (gebündeltes Licht mit großer Energiedichte) nicht auszuschließen.	Strahlungseinwirkung im Normalfall vernachlässigbar gering. Gefährdungspotenzial (Freisetzung radioaktiver Strahlen oder Teilchen) wird in deutschen Kernkraftwerken durch gestaffelte Sicherheitssysteme sehr stark eingeschränkt und damit auch für den Störfall die Strahlungsgefahr gemindert.
<b>Wirtschaftliche Bedeutung</b>	Bei langer Funktionsfähigkeit der Erzeugungsanlage preiswerte Stromerzeugung.	Nur in windreichen Gebieten wirtschaftliche Stromerzeugung möglich bei Vergütung des Stroms gemäß Erneuerbare Energien Gesetz (EEG).	Hohe Stromgestehungskosten; hoher Materialverbrauch; geringer Erntefaktor (Aufwand an Energie zur Erstellung der Anlage groß und Energiegewinn klein).	Geringe Stromgestehungskosten. Uran ist ein kostengünstiger Primärenergieträger bei Rationalisierung der Entsorgung.

## Gas

Wärme- und Dampferzeugung durch Verbrennung; Antrieb einer Dampf- oder Gasturbine mit angekoppeltem elektrischen Generator. Oft große Transportwege in Tankern oder Pipelines. Guter Wirkungsgrad.

Vorräte (in Deutschland hoher Importanteil) erschöpfen sich in den nächsten Jahrzehnten und verteuern sich; Teils- substitution ggf. durch Kohlegas, erzeugt z. B. mit Hilfe von Kernenergie.

Mit 1 m<sup>3</sup> Gas kann man 3,5 kWh Strom erzeugen (1 Waschmaschine Kochwäsche).

Anfall großer Mengen von Abgasen (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>). Hoher Sauerstoffverbrauch; sauberste Verbrennung eines fossilen Energieträgers; Abwärme.

Begrenztes Gefährdungspotenzial durch Explosionsgefahr bei Transport und Anwendung. Umweltauswirkungen durch Abgase.

Kosten steigen längerfristig durch Verknappung der Vorkommen.

## Öl

Wärme- und Dampferzeugung durch Verbrennung; Antrieb einer Dampf- oder Gasturbine mit angekoppeltem elektrischen Generator. Oft große Transportwege; aufwändige Umweltschutzmaßnahmen; guter Wirkungsgrad.

Vorräte (Deutschland mehr als 95% Import) erschöpfen sich in den nächsten Jahrzehnten und unterliegen einer ständigen Verteuerung. Vorkommen verteilt auf wenige Länder.

Mit 1 kg Öl kann man 4 kWh Strom erzeugen (2 Stunden Heizlüfterbetrieb).

Anfall großer Mengen von Abgasen (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>). Hoher Sauerstoffverbrauch; Abwärme; langfristige Klimabeeinflussung möglich.

Begrenztes Gefährdungspotenzial durch Bohrinsel- und Tankerunglücke, zugleich Gefährdung von Meeres- und Strandregionen sowie von Tieren und Pflanzen. Gefährdungspotenzial durch Abgase kann durch aufwändige Maßnahmen stark eingeschränkt werden.

Hohe Energiekosten, zunehmend auch zusätzliche Entschwefelungskosten.

## Braunkohle

Wärme- und Dampferzeugung durch Verbrennung; Antrieb einer Dampfturbine mit angekoppeltem elektrischen Generator. Nur wirtschaftlich in der Nähe der Fördergebiete; begrenzter Wirkungsgrad wegen hohem Ballaststoff- und Wassergehalt der Kohle.

Fördermengen können in Deutschland nicht erhöht werden. Wegen hohen Ballast- und Wassergehalts ist der Import von Braunkohle wirtschaftlich kaum möglich.

Mit 1 kg Braunkohle kann man 1 kWh Strom erzeugen (1 Stunde bügeln).

Anfall großer Mengen von Abgasen (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>). Hoher Sauerstoffverbrauch; Abwärme; langfristige Klimabeeinflussung möglich.

Gefährdungspotenzial bei Abbau, Transport, Betrieb; Gefährdungspotenzial durch Abgase wird durch aufwändige Maßnahmen stark eingeschränkt.

Kostengünstige Stromerzeugung bei günstigen Tagebauverhältnissen und sofortiger Verstromung. Entschwefelungs- und Abfallbeseitigungskosten (Rekultivierung).

## Steinkohle

Wärme- und Dampferzeugung durch Verbrennung; Antrieb einer Dampfturbine mit angekoppeltem elektrischen Generator. In Deutschland aufwändige Gewinnung im Untertagebau. Aufwändige Entschwefelungs- und Entstickungsanlagen; guter Wirkungsgrad.

In Deutschland Förderung ca. eines Fünftels des derzeitigen Primärenergiebedarfs; Steigerung im kommenden Jahrzehnt um 10 - 15% möglich. Aufwändiger Transport; Import auf enger werdenden Märkten langfristig teuer.

Mit 1 kg Steinkohle kann man 3 kWh Strom erzeugen (1 Stunde kochen).

Anfall großer Mengen von Abgasen (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>). Hoher Sauerstoffverbrauch; Abwärme; langfristige Klimabeeinflussung möglich.

Gefährdungspotenzial im Kohlebergbau; Gesundheitsrisiko Staublungen. Gefährdungspotenzial durch Abgase wird durch aufwändige Maßnahmen stark eingeschränkt.

Wirtschaftlich bei Tage- und Bergbau. Transport-, Aufbereitungs-, Entschwefelungs-, Entstickungs- und Abfallbeseitigungskosten.

## Müll

**Wärme- und Dampferzeugung durch Verbrennung. Antrieb einer Dampfturbine mit angekoppeltem elektrischen Generator. Aufwändige Anlage zur Rauchgasreinigung.**

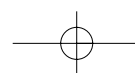
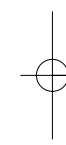
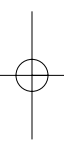
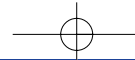
**Das Ziel der Müllverbrennung ist die Erzeugung eines ökologisch unbedenklich deponierbaren Endprodukts. Dabei fällt Wärme an, die zur Stromerzeugung verwendet werden kann.**

**Aus 1 kg Müll kann man 0,35 kWh Strom erzeugen.**

**Ziel der Müllverbrennung ist die Minderung von Schadstoffen, die deponiert werden müssen. Die Stromerzeugung ist nur Koppelprodukt. Insgesamt wird durch Müllverbrennung eine Entlastung der Umwelt erreicht.**

**Gefährdungspotenzial bei der Müllverbrennung: Entstehung einer Vielzahl verschiedener Schadstoffe. Diesem Gefährdungspotenzial wird durch aufwändige Anlagen zur Rauchgasreinigung Rechnung getragen.**

**Stromerzeugung allein nicht wirtschaftlich. Nutzung der zwangsläufig anfallenden Wärme, wodurch die hohen Kosten der Müllentsorgung etwas gemildert werden.**



### **Impressum:**

**Herausgeber:**  
EnBW Kraftwerke AG  
Kernkraftwerk Philippsburg

**Redaktionelle Bearbeitung:**  
Michael Maurer

**Gestaltung:**  
Bernd Striffler

**Druck:**