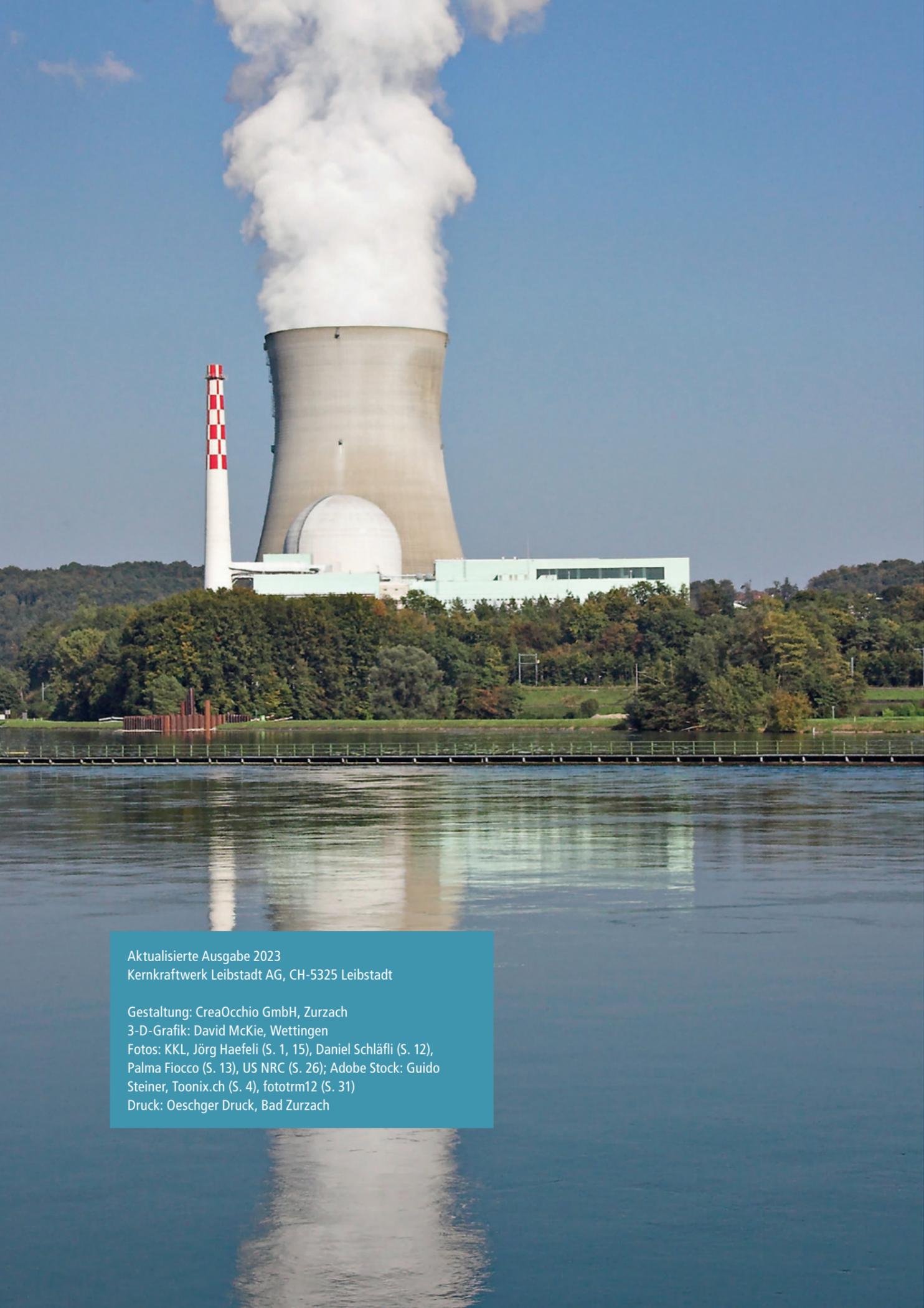


So funktioniert unser Kraftwerk





Inhaltsverzeichnis

Das KKL – ein Partnerwerk	4	Elektrische Anlagen	24
In der Region verankert			
Sicher, zuverlässig und wirtschaftlich			
Unser KKL – Ihr Strom	5		
Von der Bauzeit bis heute	6		
			
Das KKL auf einen Blick	8	Blocktransformator	24
So funktioniert das KKL	9	Eigenbedarf	24
Nuklearer Teil	10	Notstromversorgung	24
		Notsteuerstellen	25
Dampferzeugungssystem	10	Brennstoff	26
Reaktorregelung	10	Brennstoffbeschaffung	26
Reaktor	11	Brennstoffverbrauch	26
Schnellabschaltung	12	Abfall	27
Schutz für das Reaktordruckgefäss	13	Schwach- und mittelaktiver Abfall	27
Brennelemente	14	Hochaktiver Abfall	27
Hilfsanlagen	15	Transport- und Lagerbehälter	27
Luftbild der Anlage	16	Sicherheit	28
Konventioneller Teil	18		
Hauptwärmekreislauf	18	Schutz von Mensch, Umwelt und Anlage	28
Turbinengruppe	19	Gelebte Sicherheitskultur	29
Generator	21	Behördliche Kontrolle	29
Kühlsysteme	22	Umwelt	30
Hauptkühlwassersystem	22	Treibhausgase	30
Nebenkühlwassersystem	22	Emissionen in Luft und Wasser	30
Notkühlsysteme	23		

Aktualisierte Ausgabe 2023
 Kernkraftwerk Leibstadt AG, CH-5325 Leibstadt

Gestaltung: CreaOcchio GmbH, Zurzach
 3-D-Grafik: David McKie, Wettingen
 Fotos: KKL, Jörg Haefeli (S. 1, 15), Daniel Schläfli (S. 12),
 Palma Fiocco (S. 13), US NRC (S. 26); Adobe Stock: Guido
 Steiner, Toonix.ch (S. 4), fototrm12 (S. 31)
 Druck: Oeschger Druck, Bad Zurzach



Das KKL – ein Partnerwerk

Das Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) liegt am Schweizer Ufer des Hochrheins zwischen Koblenz und Laufenburg, unweit der Aaremündung. Es ist das jüngste und mit einer Bruttoleistung von 1285 Megawatt (MW) das leistungsstärkste Kernkraftwerk der Schweiz.

Das Kernkraftwerk Leibstadt ist eine Aktiengesellschaft und wird als Partnerwerk geführt. Insgesamt sind sechs Unternehmen aus der Strombranche an der Kernkraftwerk Leibstadt AG beteiligt: Über die Axpo Power AG (22,8%), die Axpo Solutions AG (16,3%) und die CKW AG (13,6%) besitzt der Axpo-Konzern mit insgesamt 52,7% die Mehrheit und stellt die Geschäftsleitung. Weitere Aktionäre sind die AEW Energie AG (5,4%), die Alpiq AG (27,4%) und die BKW Energie AG (14,5%).

In der Region verankert

Das KKL beschäftigt rund 500 Mitarbeitende aus der Schweiz und dem grenznahen Ausland. Gut ein Viertel der Belegschaft kommt aus Deutschland. Das Kraftwerk ist ein langfristig sicherer und attraktiver Arbeitgeber und Ausbildungsbetrieb in der Region. Darüber hinaus ist das Unternehmen für zahlreiche Lieferanten und Dienstleister ein wichtiger und solider wirtschaftlicher Partner.

Sicher, zuverlässig und wirtschaftlich

Sicher, zuverlässig und wirtschaftlich, so möchte das KKL auch weiterhin Strom produzieren, im Auftrag und nach Vorgabe der Eigentümer, mindestens bis zum Jahr 2045. Dabei ist der Schutz von Mensch und Umwelt vor Strahlung und konventionellen Gefahren immer oberstes Ziel.

Unser KKL – Ihr Strom

Strom für zwei Millionen Haushalte

Wasserkraft und Kernenergie bilden heute mit einem Anteil von rund 90% die wichtigsten Pfeiler der Schweizer Stromproduktion. Rund ein Drittel erzeugen die Schweizer Kernkraftwerke. Im Winter beträgt der Anteil der Kernkraft am Schweizer Strommix gegen 50%. Zu diesem wichtigen Versorgungsauftrag leistet das Kernkraftwerk Leibstadt einen beträchtlichen Beitrag. Es kann jährlich über 9,7 Millionen Megawattstunden (MWh) produzieren und deckt damit rund ein Siebtel des Schweizer Strombedarfs. Diese Stromversorgung ist stabil und zuverlässig, unabhängig von Jahres- und Tageszeit wie auch Wetter.

Sicherheit zuerst

Mehrfach vorhandene Sicherheitssysteme, eine hohe Sicherheitskultur sowie fachliche und soziale Kompetenz der Mitarbeitenden garantieren, dass das KKL mit Schweizer Zuverlässigkeit läuft. Dank kontinuierlicher Verbesserungen kann es sich weltweit mit den besten Anlagen messen. Die Prozesse werden regelmässig überprüft und das Zusammenspiel von Mensch und Maschine kontinuierlich optimiert. Bei Überschreiten bestimmter Betriebsgrenzwerte wird der Reaktor automatisch abgeschaltet.

Das KKL, Bund und Behörden stellen gemeinsam sicher, dass die geltenden gesetzlichen Anforderungen an den Schutz von Mensch und Umwelt jederzeit erfüllt werden. Die Sicherheit steht dabei immer an erster Stelle.

Wirtschaftlich wertvoll

Der vom KKL produzierte Strom wird zum Gestehungspreis an die Aktionäre abgegeben. Die Kraftwerkseigentümer sind grösstenteils im Besitz der öffentlichen Hand (Kantone und Gemeinden sowie deren Elektrizitätswerke). Die Gestehungskosten aus dem KKL liegen im längerfristigen Durchschnitt im Bereich von rund sechs Rappen pro Kilowattstunde. Darin bereits inbegriffen sind auch die vollständigen Kosten für die Stilllegung der Anlage und die Entsorgung der Abfälle. Dank dem geringen Anteil der Brennstoffkosten von fünf bis zehn Prozent haben Preisschwankungen beim Uran wenig Einfluss auf die Gestehungskosten. Kernkraftwerke gehören zusammen mit grösseren Wasserkraftwerken zu den kostengünstigsten Stromproduzenten und tragen damit zur internationalen Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Wirtschaft bei.

Dem Klima zuliebe

Das KKL leistet einen wichtigen Beitrag zu einer klimafreundlichen Stromversorgung. Kernkraftwerke gehören zu den Stromproduzenten, die am wenigsten Kohlenstoffdioxid (CO₂) und andere Treibhausgase erzeugen, und dies über den ganzen Lebenszyklus, vom Bau der Anlage über den Betrieb bis zur Stilllegung, von der Uranförderung bis zur Entsorgung der Abfälle im geologischen Tiefenlager.

Ein Stück Unabhängigkeit

Die heimischen Kern- und Wasserkraftwerke stellen sicher, dass die Schweizer Stromversorgung in hohem Mass vom Ausland unabhängig bleibt. Der in der Kernenergie verwendete Brennstoff Uran wird in vielen Ländern der Erde abgebaut und hat eine sehr hohe Energiedichte. So müssen nur vergleichsweise geringe Mengen beschafft und es können Reserven angelegt werden. Das KKL kann damit seine Versorgung langfristig und sicher planen.

Langzeitbetrieb unabdingbar für die Versorgungssicherheit

Das KKL setzt alles daran, um auch in den nächsten Jahrzehnten seinen wichtigen Beitrag zu einer zuverlässigen Stromversorgung zu leisten. Es investiert und modernisiert fortlaufend, betreibt ein fortschrittliches Alterungsmanagement und nutzt neu verfügbare Technik für die Erneuerung der Anlage. Alle zehn Jahre führt es eine Periodische Sicherheitsprüfung (PSÜ) durch. So werden die Anlagen auch im Langzeitbetrieb laufend auf dem aktuellsten Stand der Nachrüsttechnik gehalten.

Von der Bauzeit bis heute

Die Kernkraftwerk Leibstadt AG wurde am 26. November 1973 gegründet und der Partnervertrag mit ursprünglich 14 Firmen unterzeichnet.

Vor dem Bau wurde der Standort in der Gemeinde Leibstadt umfassend auf seine Eignung hin untersucht. Bodenbeschaffenheit, Zugänglichkeit für Schwertransporte und andere Faktoren waren zu berücksichtigen. Besonders wichtig war die Lage am Rhein, der jederzeit eine ausreichende Wasserversorgung der Kühlkreisläufe gewährleistet. Auch die geringe Wahrscheinlichkeit von Erdbeben sprach für den Standort Leibstadt. Sie ist im nördlichen Schweizer Mittelland geringer als beispielsweise im Alpenraum. Dies ist für die Sicherheit einer Anlage relevant, selbst wenn sie wie das KKL für sehr starke Erdbeben ausgelegt ist. Auch den hohen Anforderungen des Umweltschutzes wurde Rechnung getragen und anstelle der ursprünglich vorgesehenen Kühlung mit Flusswasser auf Kühlturbetrieb umgestellt.

Zudem nutzten die Planer den technischen Fortschritt und erhöhten die elektrische Leistung von ursprünglich 600 MW auf 960 MW. Die gesamten Baukosten betragen rund 4,8 Milliarden Franken – eine hohe, aber aufgrund der geplanten Betriebsdauer von mindestens 60 Jahren langfristig sichere und attraktive Investition.

Von 1998 bis 2003 wurde der Betrieb weiter optimiert, und die elektrische Leistung des Kraftwerks stieg auf 1220 MW. Weitere Erneuerungen und Modernisierungen mit dem Ersatz grosser Komponenten wie den Niederdruckturbinen, den Blocktransformatoren, dem Kondensator und dem Umwälzsystem verbesserten den Wirkungsgrad schrittweise weiter und erhöhten die elektrische Leistung bis 2022 auf 1285 MW. Für alle Verbesserungen wurden gegenüber der zuständigen Aufsichtsbehörde, dem Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), umfassende Sicherheitsnachweise erbracht.

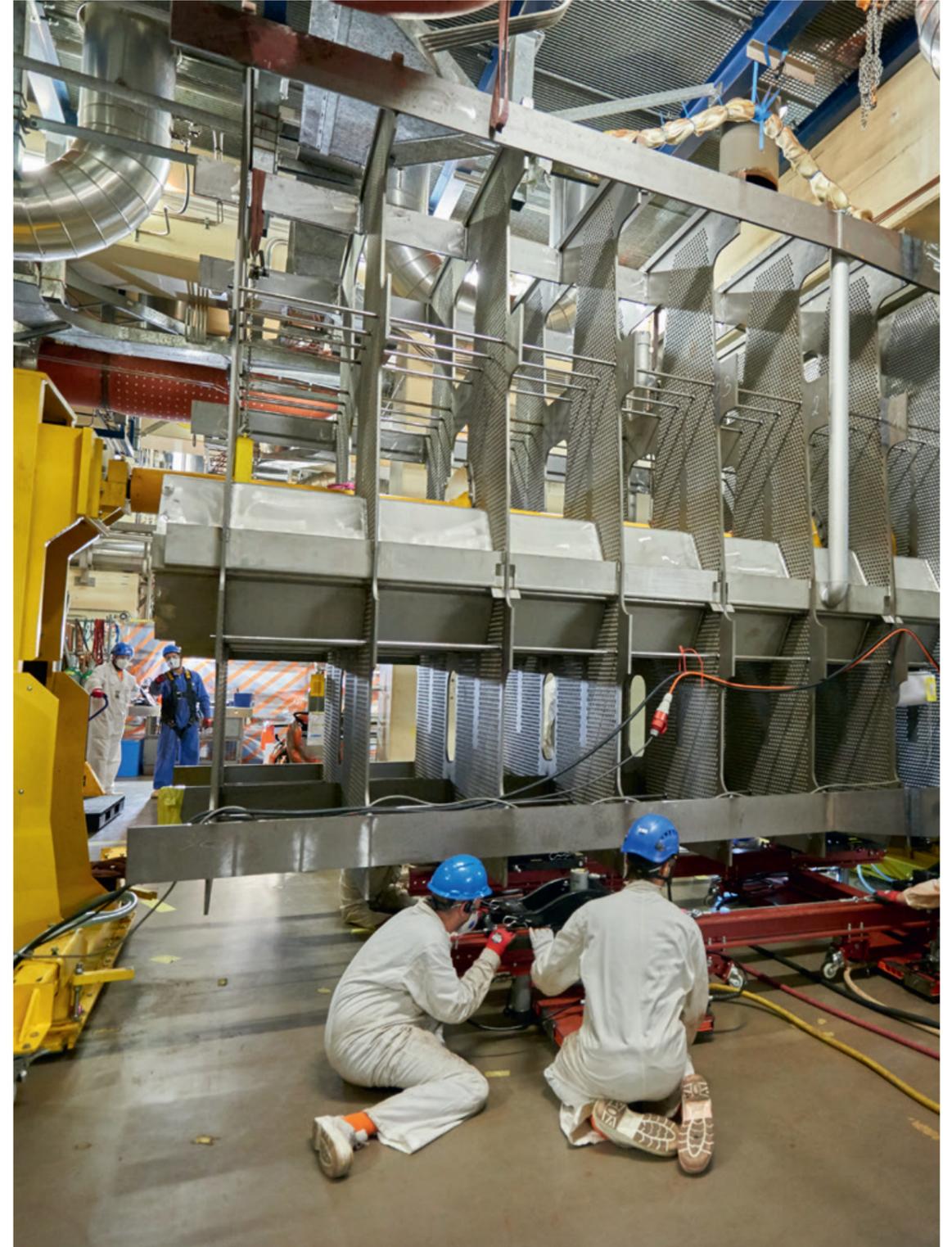
Seit der Inbetriebnahme 1984 hat das Kernkraftwerk Leibstadt über 1,5 Milliarden Franken in die Modernisierung der Anlage im Hinblick auf Sicherheit, Zuverlässigkeit und Effizienz investiert.



Der Bau des KKL dauerte rund zehn Jahre.



Teile der neuen Umwälzpumpe werden vor Ort gebracht.



Die Platzierung der neuen Kondensatormodule erfordert Präzisionsarbeit.

Das KKL auf einen Blick

Das KKL befindet sich in der Gemeinde Leibstadt am Schweizer Ufer des Hochrheins, unweit der Aaremündung bei Koblenz (Schweiz) und Waldshut (Deutschland). Das Gelände des Kraftwerks umfasst 24 Hektar. Um rund ein Siebtel des Schweizer Stroms zu erzeugen, braucht das KKL damit im Vergleich zu anderen Stromerzeugungssystemen sehr wenig Land.

Alle Anlagenteile sind in einem überwachten und eingezäunten Bereich von zwölf Hektar Grösse zusammengefasst. Zentrale Teile der Anlage sind äusserst robust gebaut und teilweise unterirdisch angelegt. Im Zentrum stehen (rot eingezeichnet) die wichtigsten Gebäude: das Reaktorgebäude, das Maschinenhaus und

das Brennelementlagergebäude. Teilweise daran angebaut sind die Nebengebäude wie Betriebsgebäude, Werkstätten und Lager sowie das Aufbereitungsgebäude, in dem Betriebsabfälle konditioniert werden.

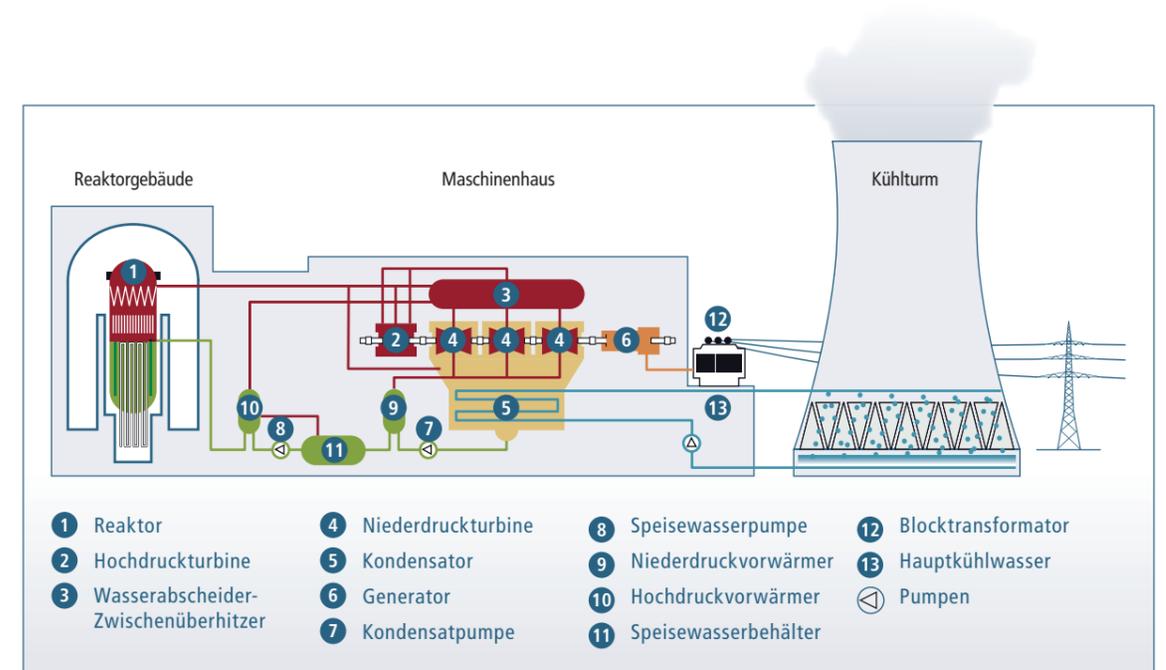
Östlich davon befinden sich weitere Lagerhallen, die Hauptkühlwasseranlage mit dem Pumpenhaus und der Kühlturm. Damit die Kraftwerksbauten nicht zu dominant wirken, wurden sie 8 m und der Kühlturm sogar 15 m unter das Geländeniveau abgesenkt.

Ausserhalb des eingezäunten Anlagenbereichs befinden sich das Infozentrum, ein Bürogebäude und das Parkhaus.



Die Kraftwerksanlage im Überblick.

So funktioniert das KKL



Beim Siedewasserreaktor wird der im Reaktor erzeugte Dampf direkt auf die Turbinen geleitet und im Kondensator in Wasser zurückverwandelt, das anschliessend mit Pumpen wieder in den Reaktor befördert wird. Das ist der primäre geschlossene Wasser-Dampf-Kreislauf. Dieser ist vollständig getrennt von der Kühlung des Kondensators über den Kühlturm.

Im Kernkraftwerk Leibstadt wird die seit Jahrzehnten bewährte Technologie der sogenannten Leichtwasserreaktoren genutzt. Die meisten der weltweit etwa 450 Kernkraftreaktoren funktionieren nach diesem Prinzip. «Leichtwasser» bezeichnet dabei das im Reaktor für Kühlung und Moderation verwendete normale Wasser (H₂O). Im Gegensatz dazu steht das in nur wenigen anderen Reaktortypen eingesetzte «Schwerwasser» (D₂O).

Bei den Leichtwasserreaktoren gibt es zwei Haupttypen: Druckwasser- und Siedewasserreaktoren. Im KKL ist ein Siedewasserreaktor eingesetzt. Beim Siedewasserreaktor wird der im Reaktor erzeugte Dampf direkt auf die Turbinen geleitet. Nach der Turbine wird der Nassdampf im Kondensator in Wasser zurückverwandelt und mit Pumpen wieder zum Reaktor befördert. Dies ist der primäre, geschlossene Wasser-Dampf-Kreislauf. Ein zweiter, vollständig getrennter Wasserkreislauf verbindet den Kondensator mit dem Kühlturm.

Bei der Spaltung von Uranatomkernen im Reaktor wird thermische Energie freigesetzt. Das Wasser im Reaktor erhitzt sich, Dampf entsteht und wird über vier Dampfleitungen zur Hochdruckturbine und anschliessend zu

den drei Niederdruckturbinen geleitet. Der Dampf treibt die Turbinen an, die wiederum über eine starre Kupplung den Generator drehen. So wird thermische zuerst in mechanische Energie und darauf im Generator in elektrische Energie umgewandelt. Diese fliesst über den Blocktransformator ins Hochspannungsnetz.

Das Kernkraftwerk wird vom Kommandoraum aus überwacht und gesteuert. Hier sind rund um die Uhr langjährig ausgebildete Operateure und Schichtchefs mit der Aufsicht über die Anlage betraut. Sie «fahren» den Reaktor, die Turbinen sowie den Generator und prüfen regelmässig die Funktionen sämtlicher Anlagekomponenten und -systeme. Die Operateure werden von der Aufsichtsbehörde ENSI geprüft und müssen alle zwei Jahre ihre Zulassung erneuern. Dazu trainieren sie am betriebseigenen Simulator regelmässig den Normalbetrieb und mögliche Störfallszenarien.

Nuklearer Teil

Dampferzeugungssystem

Der Reaktor ist das Herz eines jeden Kernkraftwerks. In Leibstadt wird der Dampf mit einem Siedewasserreaktor vom Typ BWR-6 der Firma General Electric erzeugt. Im Vergleich zur Gesamtanlage sind die Abmessungen des Reaktors verhältnismässig klein. Das Reaktordruckgefäss misst 6,1 m im Durchmesser und 21,7 m in der Höhe. Es besteht aus mindestens 15 cm dickem Stahl und schliesst die Brennelemente, die Steuerstäbe, den Wasserabscheider und den Dampftrockner ein.

Der Reaktorkern besteht aus 648 Brennelementen mit je 91 oder 96 Brennstäben. Die Brennstäbe sind mit angereicherterem Uranoxid in Form von Pellets gefüllt. Die Kernausslegung ermöglicht bei einer mittleren Leistungsdichte von 62,7 kW/dm³ eine thermische Reaktorleistung von 3600 MW.

Im Betrieb steht das Reaktordruckgefäss unter einem Druck von 71,8 bar. Der Siedepunkt des Wassers steigt dadurch auf 288 °C. Beim Durchströmen des heissen Reaktorkerns nimmt das Wasser Wärme auf und fliesst als Dampf-Wasser-Gemisch aus dem Kern nach oben.

Der Wasserabscheider trennt das Wasser vom Dampf. Das abgeschiedene Wasser wird zwischen Druckgefäss und Reaktorkern in den Umwälzkreislauf zurückgeführt und wieder in den Kern gepumpt. Der aus dem Wasserabscheider austretende Dampf wird im Dampftrockner getrocknet und über die Frischdampfleitungen den Turbinen zugeführt.

Der Frischdampf eines Siedewasserreaktors ist kurzzeitig radioaktiv. Deshalb ist der Turbinenbereich besonders abgeschirmt und während des Betriebs nicht zugänglich. Nach dem Abschalten des Reaktors geht die Strahlung jedoch innerhalb weniger Minuten stark zurück.

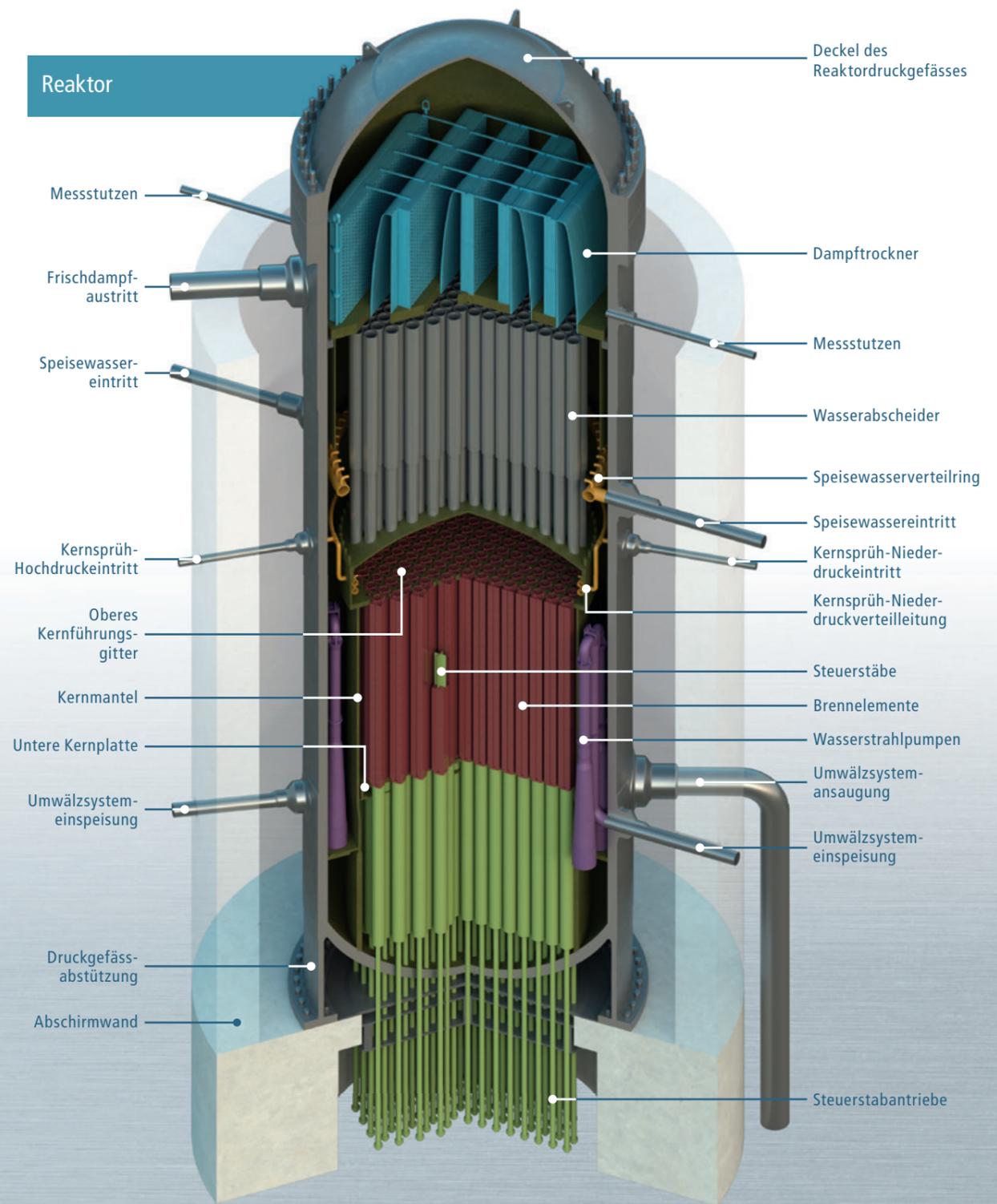
Reaktorregelung

Die Reaktorleistung lässt sich durch eine Veränderung der Reaktorwasserumwälzmenge und das Ein- und Ausfahren der 149 Steuerstäbe regeln. Die Steuerstäbe werden von unten hydraulisch in den Reaktorkern eingefahren und können nach einem festgelegten Fahrprogramm einzeln oder gruppenweise bewegt werden. Das Borcarbid in den Steuerstäben bindet thermische Neutronen. Je weiter die Stäbe in den Reaktorkern einfahren, umso mehr Neutronen werden absorbiert und umso weniger Kernspaltungen ausgelöst. Die Leistung

sinkt. Werden die Steuerstäbe hingegen aus dem Reaktorkern gezogen, können mehr Neutronen Spaltungen auslösen, und die Leistung steigt.

Charakteristisch für den im KKL genutzten Reaktortyp sind die zwei Umwälzpumpen ausserhalb des Reaktordruckgefässes. Sie treiben das Wasser über die 20 Strahlpumpen im Reaktorinneren durch den Reaktorkern. Bis zu 11 t Wasser werden so pro Sekunde umgewälzt. Bei geringer Umwälzung bilden sich vermehrt Dampfblasen, in denen keine Moderation stattfinden kann, da Dampf die Neutronen nicht abbremst. Bei hoher Umwälzung entstehen dagegen weniger Dampfblasen, und sie werden zudem rascher aus dem Reaktorkern ausgetragen. Es werden mehr Neutronen abgebremst, und die Leistung steigt.

Ein elektronischer Druckregler beeinflusst die Stellung der Turbineneinlassventile und sorgt für konstanten Reaktordruck. Sollte der Reaktor beim Anfahren der Turbine und Abstellen der Anlage mehr Dampf produzieren, als die Turbine aufnehmen kann, öffnet der Druckregler die Bypass-Ventile. Es fliesst weniger Frischdampf auf die Turbine. Dieser wird stattdessen direkt in den Kondensator geleitet. Dieser Bypass vermag kurzfristig 110% der normalen Frischdampfmenge aufzunehmen. So kann die Turbine bei Bedarf augenblicklich und ohne Schnellabschaltung des Reaktors entlastet werden (beispielsweise bei einem Netzausfall). Da der Reaktor in Betrieb bleibt, kann die Anlage danach schnell wieder ans Netz geschaltet werden.





Bei Revisionsarbeiten macht das aufblasbare Krokodil den Wasserspiegel des kristallklaren Reaktorwassers gut sichtbar – eine einfache und wirksame Sicherheitsmassnahme.



Mit einem Spezialkran wird bei der Jahreshauptrevision der Deckel des Reaktordruckgefässes abgehoben.

Kernspaltung als Wärmequelle

Durch die Spaltung von Atomkernen wird im Reaktor Energie freigesetzt. Trifft ein Neutron auf einen Kern des Uranisotops U-235, so kann dieser in zwei oder mehrere Teile gespalten werden und gibt dabei Wärme und ionisierende Strahlung ab. Bei jeder Kernspaltung werden zwei bis drei Neutronen aus dem Atomkern geschleudert, die weitere Spaltungen auslösen können. Folgt jeder Kernspaltung eine neue, so spricht man von einer sich selbst erhaltenden, «kritischen» Kettenreaktion. Das Wasser im Reaktor wirkt als sogenannter Moderator: Es bremst die bei der Kernspaltung freigesetzten, schnellen Neutronen von 20 000 km/s (in zwei Sekunden um die Erde) auf 3 km/s ab. Nur verlangsamte («thermische») Neutronen können weitere Kernspaltungen auslösen.

Schnellabschaltung

Ein automatisches System für die Schnellabschaltung des Reaktors schützt die Anlage vor unzulässiger Beanspruchung. Es begrenzt die Auswirkungen von Betriebsstörungen, verhindert Schäden an Komponenten und Reaktorkern und gewährleistet so die Sicherheit. Zahllose Instrumente überwachen die Anlage: Bei Erreichen vorgegebener Grenzwerte startet das System ein schnelles, vollautomatisches Abschalten des Reaktors (genannt: Scram). Eine Reaktorschnellabschaltung kann auch von Hand ausgelöst werden.

Bei einer Schnellabschaltung werden die Steuerstäbe innerhalb von gut zwei Sekunden in den Reaktorkern

eingeschossen, was die Kernspaltung sofort unterbricht. Jeder Stabantrieb wird dabei von einem Stickstoff-Druckspeicher angetrieben. Nach dem Scram werden die Turbinen abgeschaltet und der Generator vom Netz getrennt. Der Reaktor wird weiter gekühlt, um die Nachzerfallswärme abzuführen, welche die Spaltprodukte in den Brennstäben erzeugen. Er befindet sich so in einem sicheren Zustand.

Das Reaktorschutzsystem umfasst eine eigene Spannungsversorgung, die Messumformer und die Auslöselogik für das Schnelleinfahren der Steuerstäbe. Vier voneinander unabhängige Auslösekanäle stellen sicher,

dass der Reaktor stets sicher abgeschaltet werden kann, selbst bei Stromausfall.

Schutz für das Reaktordruckgefäss

Zur Vorbeugung gegen Spannungsrisskorrosion am Reaktordruckgefäss wird Wasserstoff in Verbindung mit dem Edelmetall Platin ins Reaktorwasser eingespeist. Vergleichbar mit einer Schutzimpfung, hilft dies, die Lebensdauer des Reaktordruckgefässes zu verlängern. Diese Massnahme trägt dazu bei, dass die gesamte Anlage über mindestens 60 Jahre sicher in Betrieb bleiben kann.

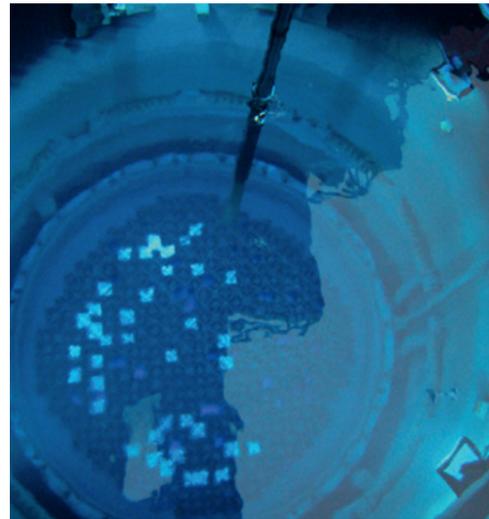
Brennelemente

Im Reaktor wird der Brennstoff Uran in Form von Uran-dioxid (UO_2) verwendet. Es wird in Brennstoff-tabletten, sogenannte Pellets, gepresst, gesintert und in lange Hüllrohre aus Zirkaloy gefüllt. Diese Zirkoniumlegierung ist auch bei hohen Temperaturen sehr formstabil und ermöglicht einen hohen Neutronenfluss. Jeweils 91 oder 96 Brennstäbe bilden als Bündel ein Brennelement. Der gesamte Reaktorkern des KKL enthält 648 Brennelemente. Jedes davon ist rund 4,5 m lang und 300 kg schwer.

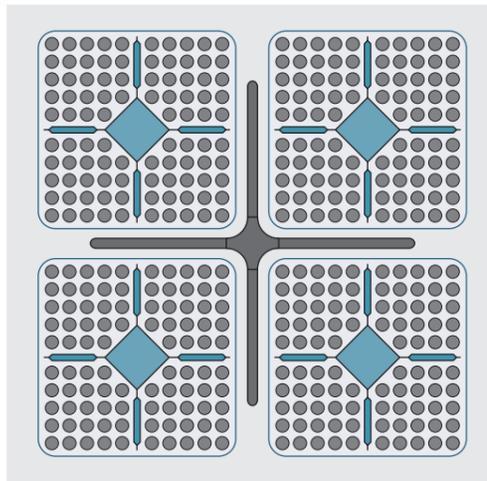
Neue Brennelemente strahlen kaum und können vergleichsweise einfach transportiert und gelagert werden. Im Sommer, wenn die Stromnachfrage am tiefsten ist, findet der Brennelementwechsel statt. Dazu wird der Reaktor abgeschaltet. Im Rahmen der vier bis fünf Wochen dauernden Jahreshauptrevision wird etwa ein Fünftel der 648 Brennelemente durch neue ersetzt. Die restlichen Brennelemente werden für eine optimale Nutzung des spaltbaren Materials gezielt umplatziert. Gleichzeitig wird eine Vielzahl von Instandhaltungsarbeiten, Inspektionen und Erneuerungen an der gesamten Anlage durchgeführt.

Vor dem Brennelementwechsel demontieren Spezialisten den Deckel des Reaktordruckgefäßes. Dampftrockner und Wasserabscheider werden ausgebaut und unter Wasser gelagert. Mit fernbedienten Teleskop-

greifern werden die abgebrannten Brennelemente aus dem Reaktor gezogen und unter Wasser ins Brennelement-Lagerbecken transferiert. Dort lagern die Brennelemente über mehrere Jahre. Wenn sich die Nachzerfallswärme genügend reduziert hat, werden sie in speziellen Transport- und Lagerbehältern ins nahegelegene Zwischenlager (ZWILAG) nach Würenlingen transportiert.



Beim Blick in den geöffneten Reaktor sind die glänzenden neuen Brennelemente gut sichtbar.



Die kreuzförmigen Steuerstäbe werden zwischen jeweils vier Brennelemente eingeschoben. Das Reaktorwasser fließt durch die rhombenförmigen Wasserkanäle und auch zwischen den Brennelementen und Brennstäben.



Die 648 Brennelemente bündeln jeweils bis zu 96 Brennstäbe.

Hilfsanlagen

Der nukleare Teil der Anlage wird durch verschiedene Hilfseinrichtungen ergänzt. Im Reaktorhilfsgebäude sind Einrichtungen zur Aufrechterhaltung des Kühlbetriebs bei abgeschaltetem Reaktor untergebracht. Dazu gehören auch drei voneinander unabhängige Notsteuerstellen.

Im Brennelementlagergebäude befindet sich das Abklingbecken, in dem die abgebrannten Brennelemente bis zu ihrem Abtransport unter Wasser lagern. Eine spezielle Anlage sorgt für die Kühlung und Reinigung des Wassers. Ebenfalls im Abklingbecken befinden sich die verbrauchten Steuerstäbe. Nach der Abklingzeit werden sie unter Wasser mechanisch zerlegt, in endlagerfähige Gebinde verpackt und wie die Brennelemente ins ZWILAG transportiert.

Ein spezielles Transportsystem für Brennelemente, das sogenannte Transferrohr, verbindet das Brennelementbecken und das Containment (Sicherheitsbehälter). Damit werden die Brennelemente aus dem Reaktorkern ins Abklingbecken transportiert.

Im Aufbereitungsgebäude befindet sich die Anlage zur Aufarbeitung und Konditionierung fester und flüssiger radioaktiver Stoffe. Hier werden schwach- und mittelaktive Abfälle aus dem Betrieb für die fachgerechte Entsorgung vorbereitet und in Fässern gelagert. Dazu stehen neben der Verpressungs- auch eine Verfestigungsanlage zur Verfügung. Eine Wasserreinigungsanlage filtert zudem Wasser mit geringem Gehalt an radioaktiven Feststoffen, damit es nach der Laborprüfung in der Anlage wiederverwendet werden kann. Im Aufbereitungsgebäude befinden sich auch die Umkleidegarderobe und die Zugangskontrolle für Reaktor und Maschinenhaus sowie deren Zu- und Abluftanlagen.

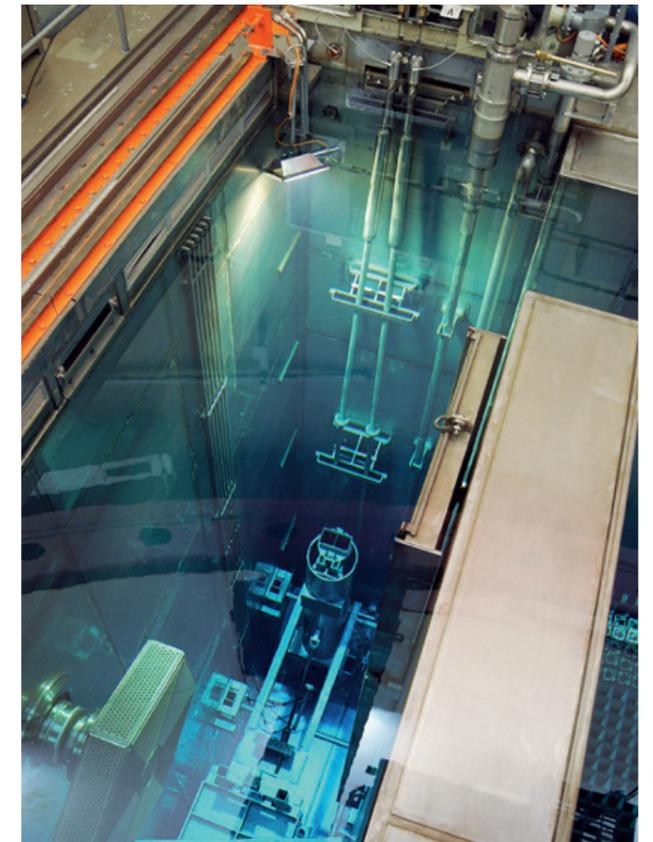
Arbeitsmaterial, Geräte und kleinere Komponenten werden in der Dekontaminationsanlage von radioaktiven Partikeln gereinigt. Eine Aktivwerkstatt dient zur Pflege oder Reparatur leicht radioaktiver Teile.

Im Mock-up-Gebäude wird die Arbeit an Anlagekomponenten vorbereitet und trainiert. So lässt sich die Aufenthaltszeit in der sogenannten kontrollierten Zone deutlich reduzieren und die Strahlenbelastung bei den effektiven Arbeiten so gering wie möglich halten.

Eine Vollentsalzungsanlage stellt sogenanntes Deionat her, Reinstwasser für das Zusatzwasser der Reaktor-

und Turbinenanlage sowie deren Hilfssysteme, aber auch für die Wäscherei. Die Reinigungsanlage für Reaktorwasser filtert und entsalzt laufend das Reinstwasser im Primärkreislauf und entfernt aktivierte Korrosionsprodukte sowie Abriebpartikel. Diese würden sich sonst auf den Brennelementen ablagern und – einem verkalkten Wasserkocher gleich – den Wärmeübergang zum Wasser verschlechtern.

Die Wäscherei reinigt im Normalbetrieb täglich an die 250 kg Schutzbekleidung und Schuhe der Mitarbeitenden in der kontrollierten Zone. In der Jahreshauptrevision sind es bis zu 2,7 t pro Tag. Mit dem Kleiderwechsel wird sichergestellt, dass keine radioaktiven Stoffe aus der kontrollierten Zone herausgetragen werden. Das Waschwasser wird gereinigt, im Labor geprüft und erst dann für die Abgabe in den Rhein freigegeben. Kontaminierte Rückstände werden als schwach radioaktiver Abfall fachgerecht entsorgt.

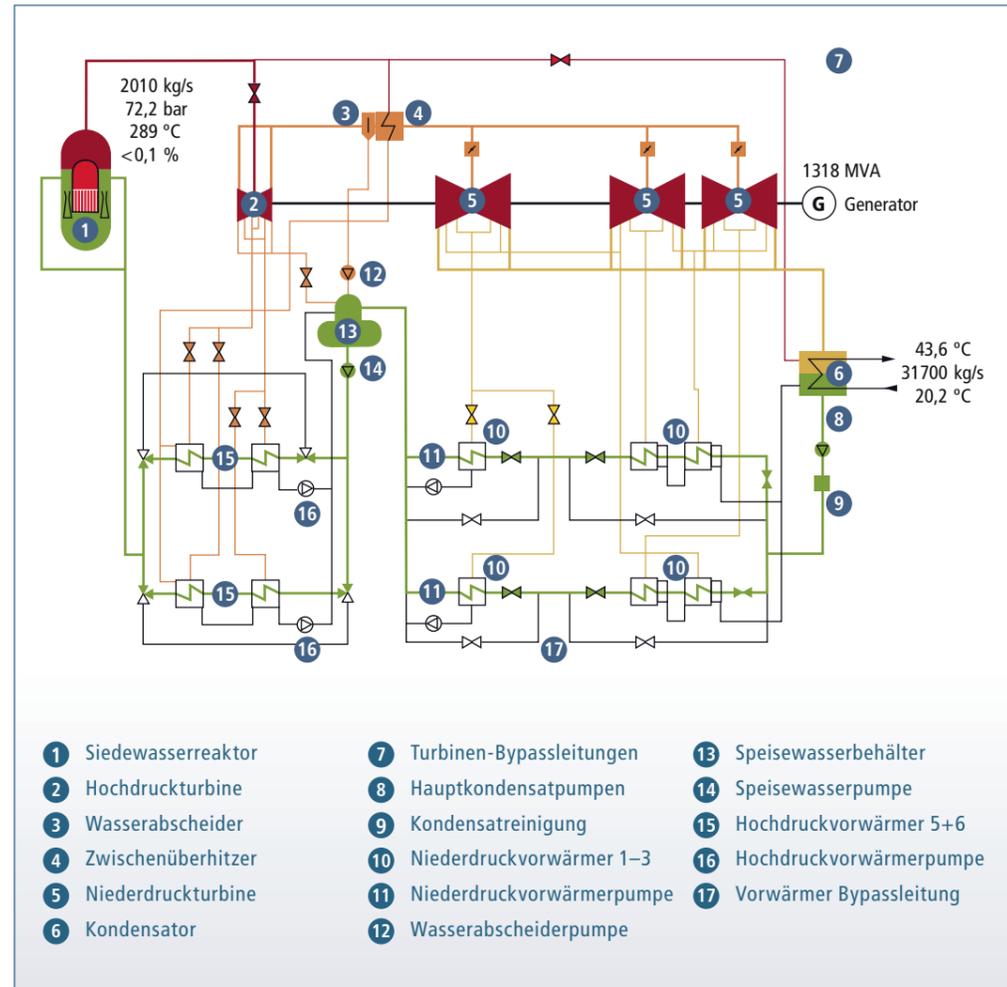


Unter Wasser werden die verbrauchten Brennelemente über ein Transferrohr in das Abklingbecken ausserhalb des Containments gebracht.



- 1 Reaktorgebäude
- 2 Maschinenhaus
- 3 Kühlturm
- 4 Werkstatt
- 5 Betriebsgebäude
- 6 Aufbereitungsgebäude
- 7 Abluftkamin
- 8 Kühlturmwasseraufbereitung
- 9 Blocktransformator
- 10 110-kV-Schaltanlage
- 11 380-kV-Schaltanlage
- 12 Fasslager
- 13 Mock-up-Gebäude
- 14 Infrastrukturgebäude
- 15 Werkstatt, Lager
- 16 Lagerhallen
- 17 Notstromdieselgenerator, Notkühlwasser
- 18 Werkstatt
- 19 Ausbildungs-/Infozentrum

Konventioneller Teil



Das Wärmeschaltbild zeigt den Weg des Frischdampfs über den Kondensator und zurück in den Reaktor. Von der Turbine wird Dampf entnommen, um die Speisewasservorwärmer zu heizen.

Hauptwärmekreislauf

Der Frischdampf tritt mit einer Temperatur von 286 °C aus dem Reaktor aus. Vier Frischdampfleitungen führen 2000 kg Dampf pro Sekunde vom Reaktor zur Hochdruckturbine. Vor der Turbine befinden sich beidseitig je zwei kombinierte Abschluss- und Regelventile.

Der Dampf gelangt mit 64 bar Druck auf die Hochdruckturbine, in der er auf 11,6 bar expandiert wird und auf 186 °C abkühlt. Danach strömt er in die beiden Wasserabscheider-Zwischenüberhitzer. Dort wird er getrocknet und wieder auf eine Temperatur von 263 °C gebracht. Dafür werden 8,5% des Frischdampfs aus dem Reaktor verwendet. Der überhitzte Dampf wird

dann auf die drei Niederdruckturbinen geleitet, entspannt dort auf 0,07 bis 0,2 bar und schlägt sich anschliessend im Kondensator nieder. Sowohl das in den Wasserabscheidern ausgeschiedene Wasser als auch das in den Zwischenüberhitzern ausgeschiedene Kondensat werden in das Reaktorspeisewasser eingeleitet, um die noch enthaltene Restwärme auszunutzen.

Der Kondensator liegt quer zur Turbinenachse. Er wird vom Hauptkühlwasser durchströmt. Seine vier getrennten Wasserkammern ermöglichen es, eventuell auftretende Leckagen zu lokalisieren, den entsprechenden Kondensatorteil zu isolieren und die Turbinen mit reduzierter Leistung weiter zu betreiben.

Der Druck von 0,07 bis 0,2 bar im Kondensator liegt 0,8 bis 0,93 bar unter dem Umgebungsdruck. Dadurch verbessert sich der Wirkungsgrad der Anlage. Im Fall einer Kondensatorleckage kann dank diesem Unterdruck zudem keine Radioaktivität aus dem Primärkreislauf in das Kühlwasser gelangen.

Zwei Hauptkondensatpumpen – eine dritte steht als Reserve bereit – fördern das kondensierte Wasser durch eine Reinigungsanlage. Sie entfernt Verunreinigungen wie Chloride und Korrosionsrückstände und sorgt so für die erforderliche hohe Reinheit des Kondensats. Dann wird dieses durch zwei dreistufige Niederdruckvorwärmer in den Speisewasserbehälter weitergepumpt. Das anfallende Heizkondensat der ersten beiden Vorwärmerstufen wird in den Kondensator zurückgeführt, jenes aus der dritten Stufe in den Speisewasserbehälter gepumpt. Der Speisewasserbehälter besitzt weitere

Mischvorwärmer-Entgaser. Dann fördern die Speisewasserpumpen das Speisewasser durch zwei zweistufige Hochdruckvorwärmer in das Reaktorgefäss. Bei Normalbetrieb laufen zwei Speisewasserpumpen, die je 50% fördern, während die dritte in Reserve bleibt.

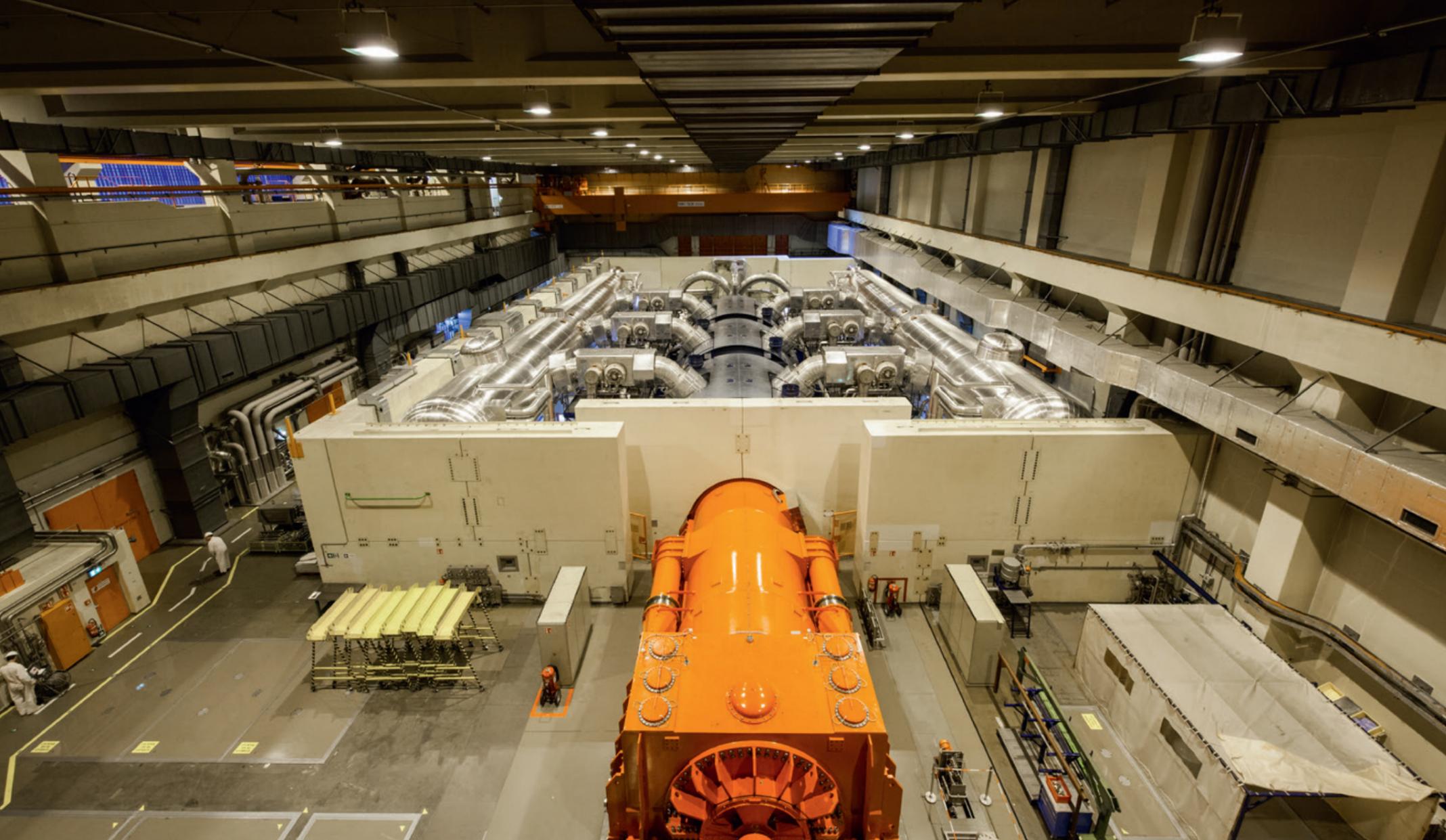
Die nicht-kondensierbaren Gase, die sich während des Betriebs im Reaktor bilden und im Kondensator ansammeln, werden mit Dampfstrahlaugern in die Abgasreinigungsanlage geführt.

Turbinengruppe

Die Turbinengruppe besteht aus einer Hochdruck- und drei Niederdruckturbinen des französischen Herstellers Alstom. Die Hochdruckturbine erzeugt 40% der Gesamtleistung des KKL, die drei Niederdruckturbinen liefern zusammen weitere 60% der Gesamtleistung.



Die Turbine muss höchste Präzisions- und Qualitätsanforderungen erfüllen.



Die Hoch- und Niederdruckturbinen liegen mit dem Generator auf einer Achse, rechts und links die Wasserabscheider-Zwischenüberhitzer.

Die Turbinengruppe ist doppelflütig ausgelegt. Der Hochdruckteil weist neun Stufen auf, jede Niederdruckturbinen je sechs Stufen. Das Axiallager zwischen der Hochdruck- und der ersten Niederdruckturbinen fixiert die 33 m lange Turbinenwelle in horizontaler Richtung. Insgesamt sieben Radiallager stützen die Welle, die als gesamte Einheit einschliesslich des Generatorrotors 52 m lang ist.

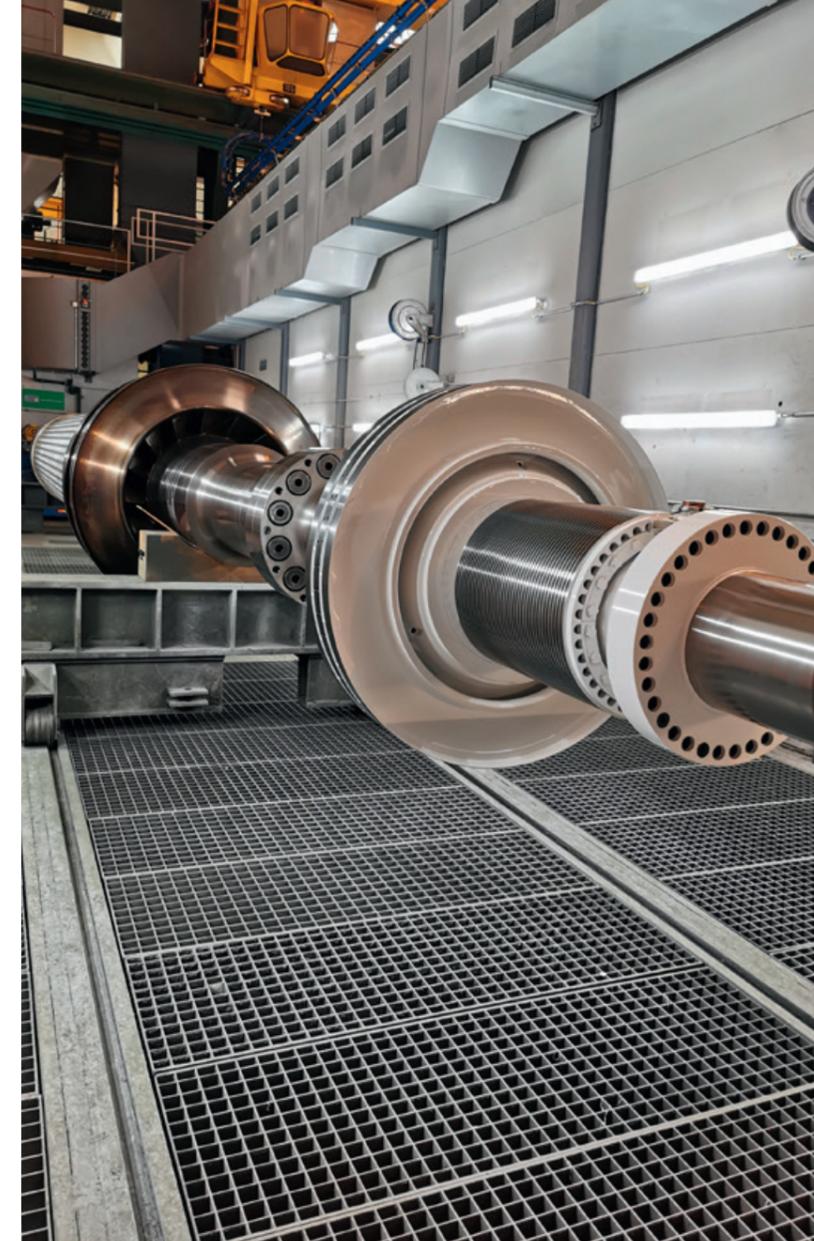
Unter Vollast dehnt sich der Turbinenrotor um maximal 38 mm aus. Inaktiver Sperrdampf aus separaten Dampfumformern dichtet den Rotor gegen das Turbinengehäuse ab. Dieses Sperrdampfsystem verhindert,

dass radioaktiver Dampf an Rotordichtungen oder Ventilspindeln ins Maschinenhaus austreten kann.

An verschiedenen Stellen der Turbinengehäuse wird Dampf zur Heizung der Speisewasservorwärmer abgezapft. Ein Bypass-System erlaubt, die gesamte Dampfmenge kurzzeitig vom Reaktor direkt in den Kondensator zu leiten.

Generator

Der zweipolige Generator ist starr an den Niederdruckteil der Turbinen gekoppelt. Die mechanische Leistung der KKL-Turbinen von 1,7 Mio. PS ist gigantisch. Sie wird durch Drehung der Turbinenwelle auf die Generatorwelle übertragen, die mit 50 Umdrehungen pro Sekunde rotiert. Der sich drehende Rotor wiegt 95 t, der ihn umgebende 8 m lange Stator 520 t. Das Generatorgehäuse ist 4 m hoch und 10 m lang. Bei einer Klemmenspannung von 27 kV erbringt der Generator eine Nennscheinleistung von 1318 Megavoltampere (MVA).



Der Rotor ist 20 Meter lang und 95 Tonnen schwer. Das KKL verfügt über zwei Rotoren, von denen einer als Ersatzrotor bereitsteht.

Während des Betriebs muss der Generator gekühlt werden. Dazu wird eine für Grossgeneratoren übliche, gemischte Kühlung angewendet: Rotorwicklung, Luftspalt und Statorblechpaket werden mit Wasserstoff gekühlt, Statorwicklung und Ableitungen mit Wasser. Zur Erregung und Regelung des Generators dient ein statisches System mit Halbleiterbauelementen, Thyristoren genannt. Die Erregerleistung wird über einen Anpasstransformator direkt an den Generatorableitungen abgenommen. Drei luftgekühlte Stromleitungen transportieren den Strom vom Generator zum Blocktransformator.

Kühlsysteme

Hauptkühlwassersystem

Der 144 m hohe Kühlturm ist der auffälligste Teil des sekundären Wasserkreislaufs, welcher der Kühlung des Kondensators dient. Vier Hauptkühlwasserpumpen (vier Mal 25 % Leistungsanteil) saugen das Kühlwasser ($32 \text{ m}^3/\text{s}$) aus dem Kühlturmbecken an. Sie fördern es durch unterirdische Rohrleitungen zum Kondensator im Maschinenhaus, wo es sich auf gut 45°C erwärmt. Von dort fließt das Wasser zurück in den Kühlturm. Es wird über ein fein verteiltes Kanalsystem auf die Rieselplatten verteilt und regnet ab. Der starke aufsteigende Luftstrom kühlt es dabei auf rund 30°C ab. Er nimmt zudem einen Teil des Wassers auf und bildet eine Wolke aus reinem Wasserdunst über dem Turm. Form und Größe dieser Wolke sind von den jeweiligen Wetterbedingungen abhängig. Ein solcher Naturzug-Kühlturm kommt ohne Ventilatoren oder andere technische Mittel aus. Die Kühlleistung beträgt etwa 2350 MW.

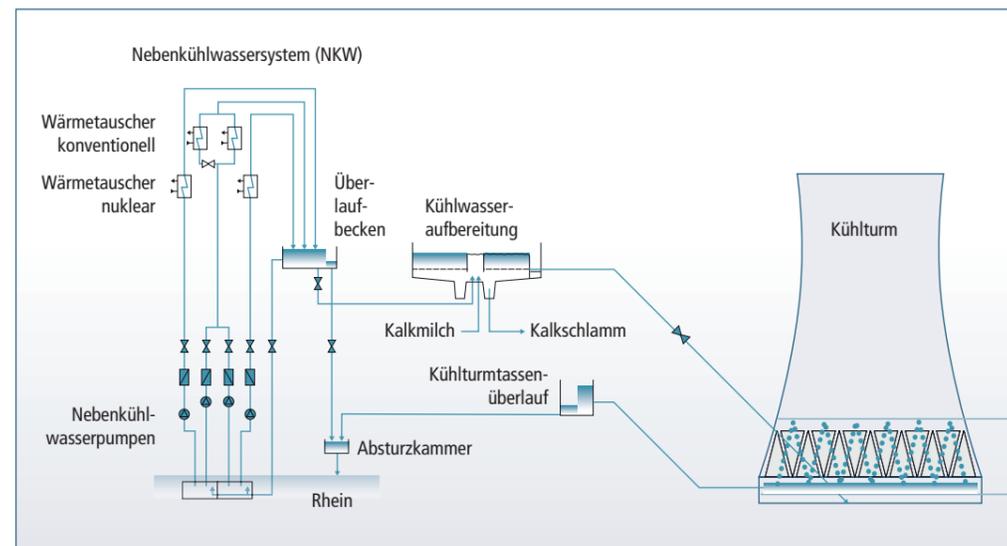
Die Verdunstungsverluste im Kühlturm betragen im Mittel 720 kg/s . Dieses Wasser muss ersetzt werden. Das Rheinwasser muss dafür aufbereitet werden, damit es als Kühlwasser den Kondensator nicht verschmutzt.

Bei der Aufbereitung des Rheinwassers werden die Schwebstoffe ausgeschieden und das Wasser entkarbonisiert. Der ausgeschiedene Kalkschlamm – nach

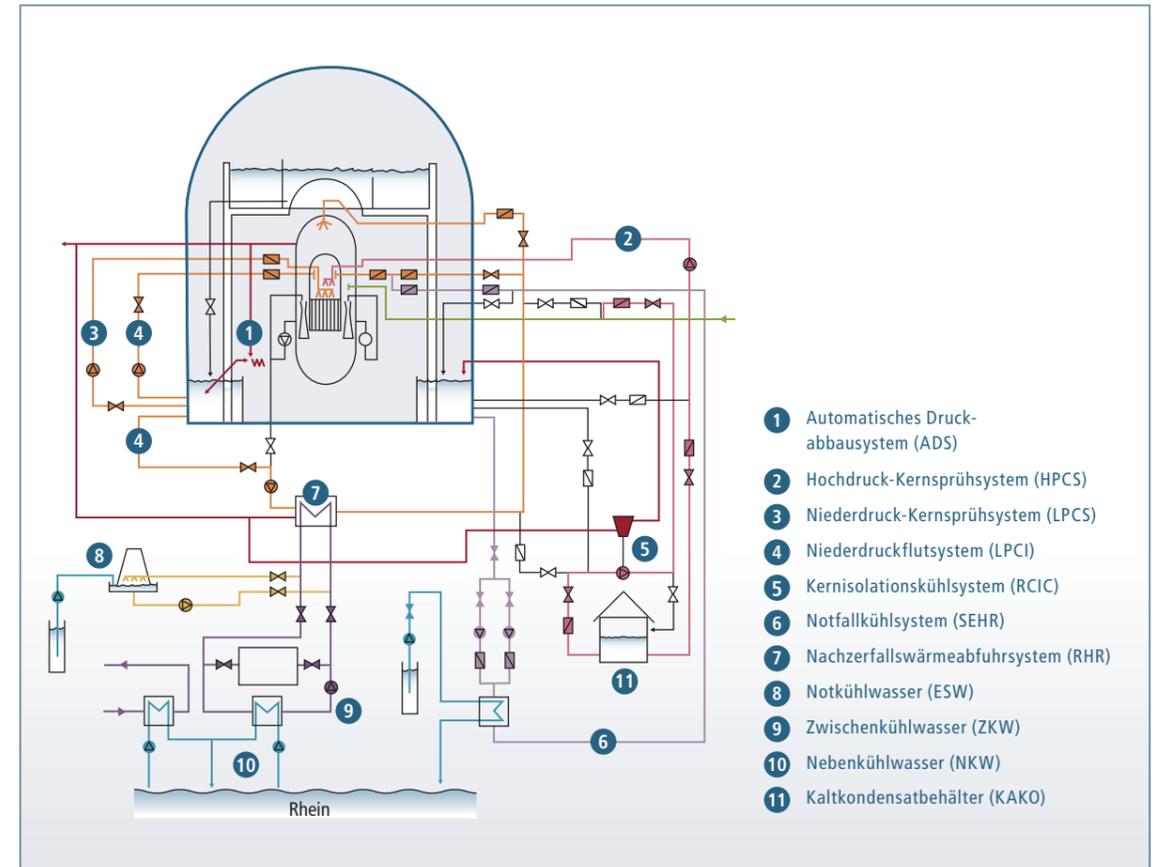
Trocknung etwa 30 t pro Tag – wird zur Verbesserung der Bodenchemie von regionalen Bauern auf den Feldern ausgebracht sowie als hochwertiger Rohstoff zur Zementproduktion verwendet.

Nebenkühlwassersystem

Der weitere Bedarf an Kühlwasser für den Kraftwerksbetrieb deckt das KKL mit dem Nebenkühlwassersystem. Dieses versorgt die beiden Zwischenkühlsysteme im Reaktorhilfsgebäude und im Maschinenhaus. Über die geschlossenen Zwischenkreisläufe werden u. a. die Wärme der Raumkühlung, der Generatorkühlung und diverser Pumpen, des Brennelementbeckens sowie die Nachwärme des Reaktors in abgestelltem Zustand abgeführt (Residual Heat Removal System, RHR). Die Kühlleistung des Nebenkühlwassersystems beträgt im Leistungsbetrieb etwa 50 MW. Dafür werden rund $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ Rheinwasser verwendet. Ein Teil des erwärmten Rücklaufs wird vom gemeinsamen Überlaufbecken als Zusatzwasser zur Kühlturmwasseraufbereitung geleitet. Der Rest fließt über eine Absturzkammer in den Rhein zurück. Die Rückgabetemperatur soll 30°C möglichst nicht überschreiten.



Zur Kühlung der Zwischenkühlkreisläufe der Anlage und zur Ergänzung des verdunsteten Wassers im Kühlturm wird Rheinwasser verwendet. Dies sind durchschnittlich $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Zum Vergleich: Der Rhein führt im Mittel $850 \text{ m}^3/\text{s}$ Wasser.



- 1 Automatisches Druckabbausystem (ADS)
- 2 Hochdruck-Kernsprühsystem (HPCS)
- 3 Niederdruck-Kernsprühsystem (LPCS)
- 4 Niederdruckflutsystem (LPCI)
- 5 Kernisolationenkühlsystem (RCIC)
- 6 Notfallkühlsystem (SEHR)
- 7 Nachzerfallwärmeabfuhrsystem (RHR)
- 8 Notkühlwasser (ESW)
- 9 Zwischenkühlwasser (ZKW)
- 10 Nebenkühlwasser (NKW)
- 11 Kaltkondensatbehälter (KAKO)

Mehrfach redundante (mehrere zusätzlich einsetzbare) Systeme stellen sicher, dass der Reaktorkern auch in Notsituationen gekühlt werden kann.

Notkühlsysteme

Kann nicht auf Rheinwasser zugegriffen werden, weil beispielsweise kein Strom für die Pumpen verfügbar ist, übernehmen drei Notkühltürme die Funktion des Nebenkühlwassersystems und führen die Nachwärme aus dem Reaktor ab. Die Wasserleitungen zu den kühlenden Aggregaten sowie die elektrischen Steuerleitungen sind entsprechend sicher verlegt und geschützt. Das Wasser wird dem Grundwasser entnommen und mit Pumpen gefördert, deren Stromversorgung fünf voneinander unabhängige, schnell startende Notstromdieselmotoren sicherstellen.

Für den Fall eines Kühlmittelverlusts im primären Wasser-Dampf-Kreislauf stehen mehrere voneinander unabhängige Systeme bereit, die automatisch in Aktion treten, um den Reaktorkern mit Wasser zu versorgen und zu kühlen: das Hochdruck-Kernsprühsystem

(HPCS), das Niederdruck-Kernsprühsystem (LPCS) und das dreifach redundante Niederdruck-Kernflutsystem (LPCI). Die Notkühlsysteme verfügen über unabhängige, erdbeben- und überflutungssichere Stromversorgungssysteme und eine Rückkühlung durch die Notkühltürme. Das Kühlwasser für die Niederdruck-Notkühlsysteme wird der Wasserkammer des Druckabbausystems entnommen.

Als weiteres Notstandskühlsystem dient das SEHR-System (Special Emergency Heat Removal). Es besteht aus zwei redundanten Systemketten und geht im Anforderungsfall automatisch in Betrieb. Das SEHR-System gewährleistet, dass sich der Reaktor ohne Eingriff des Betriebspersonals während mindestens zehn Stunden sicher kühlen lässt. Es ist in einem unterirdischen Bunker gegen Einwirkungen von aussen geschützt und verfügt über eigene Stromquellen.



Alle drei 20-Zylinder-Motoren der Notstromdieselgeneratoren verfügen jeweils über 6250 PS.



Drei Transformatoren bilden den Blocktransformator.

Elektrische Anlagen

Blocktransformator

Der vom Generator erzeugte Strom wird über den Generatorschalter zum Blocktransformator geleitet. Jeder der drei rund 320t schweren einphasigen Transformatoren hat eine Nennleistung von 500 MVA und transformiert die Spannung von 27 kV auf 380 kV. Ein vierter Transformator dient als Reserve. Von den Transformatoren wird der Strom zur Freiluftschaltanlage geführt. Über diese Anlage ist das KKL durch je eine Freileitung mit der Schaltanlage der nahegelegenen europäischen Netzleitstelle Laufenburg, dem Herzstück der Schweizer Stromversorgung, sowie mit der Schaltanlage in Beznau an das 380-kV-Höchstspannungsnetz angeschlossen.

Eigenbedarf

Rund 52 MW seiner elektrischen Leistung braucht das KKL im Betrieb für die eigene Energieversorgung – 32 MW allein für die Pumpen der Speisewasser-, Kondensat- und Hauptkühlwassersysteme. Dieser Eigenbedarf wird mit zwei voneinander unabhängigen Systemen, sogenannten Divisionen, gedeckt. Jede wird über einen eigenen Dreiphasentransformator (27 kV auf 10 kV) gespeist. Steht der Generator still, wird der Eigenbedarf durch Fremdeinspeisung aus dem 380-kV-Netz gedeckt. Sollte die 380-kV-Schaltanlage für Instandhaltungsarbeiten abgeschaltet sein oder Netzstörungen auftreten, stellen zwei voneinander unabhängige Leitungen (bisher 50 kV, neu 110 kV) mit eigenen Transformatoren die Eigenversorgung sicher. Die eine Leitung führt direkt in die Schaltanlage des Wasserkraftwerks Klingnau, die andere in das Unterwerk des Kernkraftwerks Beznau.

Notstromversorgung

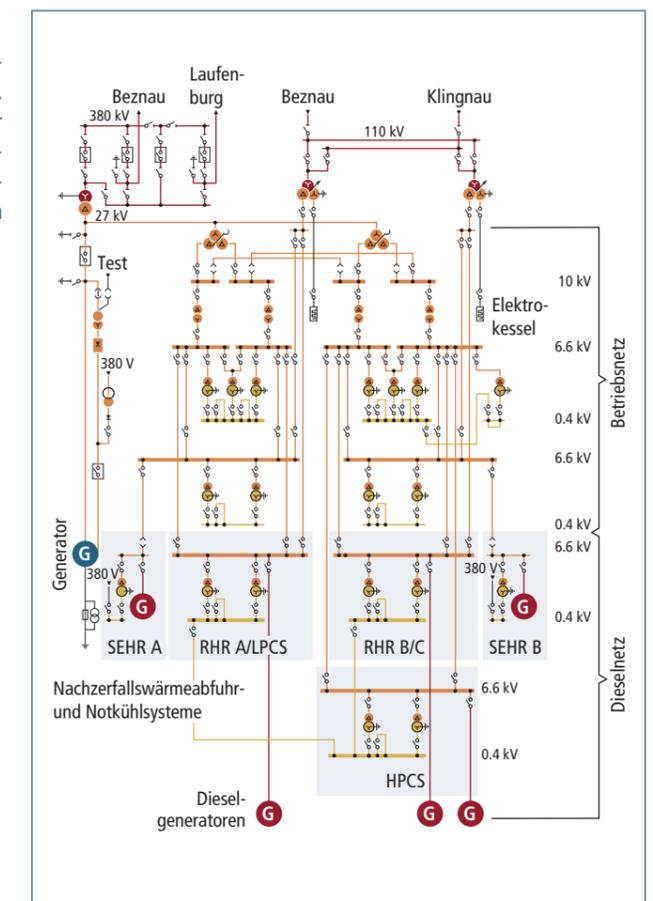
Bei einem Ausfall der externen Stromversorgung kommen voneinander unabhängige Notstromanlagen zum Einsatz. Drei grosse turbogeladene V20-Zylinder-Dieselgeneratoren erlauben jederzeit das sichere Abfahren und Nachkühlen des Reaktors. Jeder hat eine Dauerleistung von 4595 kW (6250 PS). Zusätzlich stehen zwei kleinere V12-Zylinder-Notstromdieselgeneratoren des gebunkerten SEHR-Systems zur Verfügung. Diese haben je eine Leistung von 2100 kW (2850 PS).

Alle Notstromdieselgeneratoren sind ständig vorgewärmt und benötigen nur wenige Sekunden vom Start bis zur Vollast. Sie werden monatlich auf ihre Funktionstüchtigkeit getestet.

Wichtige Gleichstromverbraucher wie beispielsweise die Steuerelektronik, Messinstrumentierung, spezielle Pumpenantriebe, Schieber und die Notbeleuchtung müssen auch bei Netzausfall unterbrochungslos weiter gespeist werden. Sie sind deshalb an fünf unabhängige 220-V-Batteriesysteme angeschlossen. Die leittechnischen Einrichtungen beziehen ihre Energie aus sieben getrennten 24-V-Batterieanlagen.

Notsteuerstellen

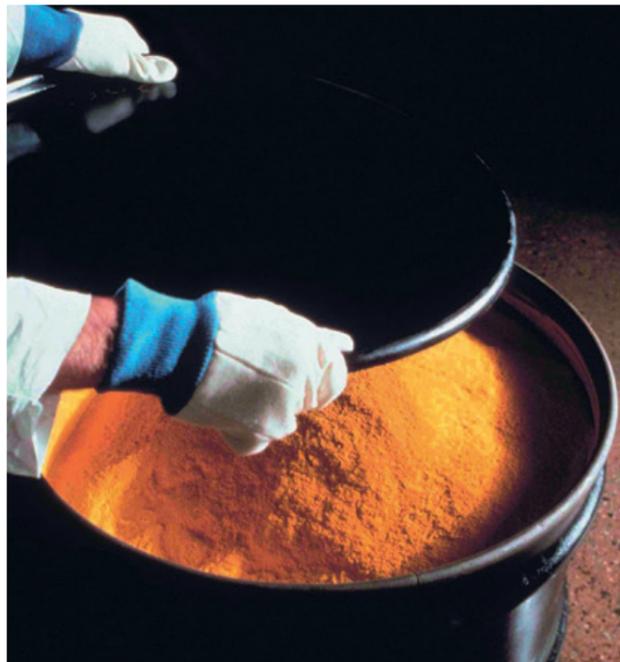
Vom Kommandoraum aus werden alle wichtigen Anlagenparameter überwacht und die Systeme gesteuert. Falls der Kommandoraum ausfallen sollte, kann der Reaktor von den drei Notsteuerstellen im Reaktorhilfsgebäude aus sicher abgeschaltet und zuverlässig nachgekühlt werden. Das Notstandssystem SEHR hat noch mal zwei eigene Steuerstellen.



Das Schema stellt die Eigenbedarfsversorgung des KKL und den Anschluss an das Hochspannungsnetz (380 kV) dar.

Brennstoff

Nur ein kleiner Teil des Urans ist spaltbar. Das Schwermetall Uran kommt in der Natur in drei Arten vor, sogenannten Isotopen. Sie unterscheiden sich durch die Anzahl Neutronen im Atomkern: Uran-234 (92 Protonen + 142 Neutronen = 234 Kernteilchen), Uran-235 (143 Neutronen). Natururan enthält nur Spuren von Uran-234 und rund 0,7% Uran-235. Der grösste Teil besteht aus Uran-238 (rund 99,3%). Lediglich Uran-235 ist leicht spaltbar.



Uran wird als gelbes oder auch schwarzes Pulver (U_3O_8) gehandelt.

Brennstoffbeschaffung

Der Kernbrennstoff des KKL wird von Axpo beschafft. Die Brennstoffversorgung ist auf Jahre hinaus vertraglich gesichert. Das KKL erwartet von Lieferanten und Auftragnehmern gleich grosse Anstrengungen bezüglich der nuklearen Sicherheit wie von sich selbst. So wird darauf geachtet, dass in der Brennstoffbeschaffung alle Partner unter behördlicher Aufsicht stehen. Ausserdem wird gefordert, dass die Produzenten eine fortschrittliche Umweltpolitik pflegen (ISO 14001 oder äquivalent), internationale Standards in Arbeitssicherheit einhalten (OHSAS 18001 oder äquivalent) sowie sich zu internationalen Menschenrechtsnormen (UN, ILO) verpflichten.

Brennstoffverbrauch

Um das Uran im Reaktor des KKL verwenden zu können, muss der natürliche Massenanteil des Uranisotops U-235 von 0,72% auf durchschnittlich 4,25% erhöht werden. Dieses sogenannte angereicherte Uran wird als Urandioxid (UO_2) in den Brennelementen eingesetzt. Das KKL verbraucht jährlich rund 128 Brennelemente, wovon jedes rund 205kg des angereicherten Urandioxids enthält. Dieser Jahresverbrauch von insgesamt gut 26t Urandioxid wird aus rund 190t Natururan gewonnen und entspricht 980kg des spaltbaren U-235. Uran ist sehr schwer und energiedicht. Der KKL-Jahresbedarf an Urandioxid von 26t hat ein Volumen von nur rund 2,5m³. Aus dieser kleinen Menge Brennstoff produziert das KKL jedes Jahr Strom für mehr als zwei Millionen Haushalte. Ein modernes Gaskombikraftwerk derselben Leistung braucht dafür rund 1,5 Mio. t Erdgas.

Abfall



Die gelben Fässer sind für schwach- und mittelaktive Betriebsabfälle.



In extrem soliden Behältern werden verbrauchte Brennelemente ins ZWILAG transportiert. Sie lagern dort bis zur Entsorgung im geologischen Tiefenlager.

Schwach- und mittelaktiver Abfall

Betriebsabfälle wie Putzlappen, Folien, Zonenbekleidung, Abdeckungen, Verpackungen und anderes Instandhaltungsmaterial gehören zu den schwach- und mittelradioaktiven Abfällen. Ein Teil dieser Abfälle wird im KKL komprimiert und in 200-l-Fässer abgefüllt. Nach dem Transport ins Zwischenlager (ZWILAG) nach Würenlingen werden diese Abfälle im dortigen Plasmaofen verschmolzen und in Fässern einzementiert. Andere Prozessabfälle wie Harze, Konzentrate, Schlämme und Abluftfilter werden direkt im KKL in Fässer einbetoniert. Schwach- und mittelaktive Abfälle entwickeln keine bis unbedeutende Wärme.

Die schwach- und mittelradioaktiven Abfälle halbierten sich im Lauf der Jahre durch Anlageoptimierungen, Schulungen und Minimierungskonzepte. So fallen heute pro Jahr nur noch rund 30m³ schwach- und mittelradioaktive Abfälle für die Endlagerung an.

Hochaktiver Abfall

Die verbrauchten Brennelemente sind hochradioaktiv. Sie weisen eine bedeutende Wärmeentwicklung auf und müssen daher vor dem Transport ins ZWILAG für einige Jahre im KKL im Abklingbecken auskühlen.

Heute entsorgt das KKL jährlich 12m³ verbrauchte Brennelemente. Im Verhältnis zur produzierten Menge Strom ist dies ein Drittel weniger als zu Betriebsbeginn. Denn die Effizienz des Kernbrennstoffs und damit auch des Kraftwerks wurde durch technische Entwicklungen bedeutend gesteigert. Die Lebensdauer jedes Brennelements konnte um ein Drittel erhöht werden, und obwohl die Reaktorleistung um 15% stieg, reduzierte sich der Materialverbrauch bei den Brennelementen (Uran, Zirkonium). So kann aus noch weniger Uran noch mehr Strom gewonnen werden.

Transport- und Lagerbehälter

Um verbrauchte Brennelemente ins ZWILAG transportieren zu können, müssen sie in spezielle Transport- und Lagerbehälter verpackt werden. Jeder Behälter fasst 69 Brennelemente und misst gut 6m in der Länge und rund 3m im Durchmesser. Diese komplexen, extrem dickwandigen und soliden Behälter garantieren eine ausreichende passive Nachzerfallwärmeabfuhr, bieten besten Schutz gegen Strahlung und widerstehen hohen Stürzen, Feuer und selbst dem Aufprall eines Militärjets. Beim Transport der Behälter ins ZWILAG ist das Personal einer kleineren Strahlendosis ausgesetzt als der Pilot eines Transatlantikflugs.

Der Betrieb von Kernkraftwerken erfordert ein Höchstmass an Reaktorsicherheit und Strahlenschutz. Ziel der nuklearen Sicherheitstechnik sind deshalb zuverlässige und störfallsichere Einrichtungen und Anlagen, die einen sicheren Betrieb gewährleisten. Eine permanente Überwachung und vorbeugende Instandhaltung der Anlage ist dafür grundlegend. Im Vordergrund der Sicherheitsmassnahmen steht der Schutz der Bevölkerung und der im Kernkraftwerk arbeitenden Menschen vor ionisierender Strahlung. Der hohe Sicherheitsstandard des KKL gründet auf fest eingebauten passiven sowie mehrfach redundanten, aktiven technischen Sicherheitsbarrieren, die durch eine gelebte Sicherheitskultur ergänzt werden.

Schutz von Mensch, Umwelt und Anlage

Mehrere Barrieren – aufgebaut nach einem Zwiebel-schalenprinzip – schützen die Umwelt vor der Strahlung im nuklearen Dampferzeugungssystem des KKL. Der Brennstoff in Form der Uranpellets ist gesintert, d. h. in harte Keramikgitter gebrannt. Feste Stoffe können so nicht entweichen. Die Pellets wiederum sind in Brennstabhüllrohre verschweisst, die gasförmige Spaltprodukte zurückhalten. Die Brennelemente sind eingeschlossen im Reaktor-druckgefäss, das mit seinen mindestens 15 cm dicken Stahlwänden rund 600t wiegt. Das Reaktor-druckgefäss ist vom Drywell umgeben, einer 1,5m dicken armierten Betonmauer. Das Drywell ist wiederum ganz vom Containment umfasst, einem

3,8 cm dicken Stahlmantel. Dieses ist durch die Aussen-mauer des Reaktorgebäudes aus 1,2 m dickem Stahlbeton geschützt.

Das Containment bietet optimale Sicherheit gegen den Austritt von radioaktiven Stoffen – sowohl im Normalbetrieb als auch bei einem sehr unwahrscheinlichen Störfall. Im Raum zwischen dem Reaktorgebäude und dem Stahlcontainment herrscht Unterdruck. Dies ermöglicht eine sichere Überwachung und verhindert, dass Luft ins Freie entweicht, die radioaktive Stoffe mittragen könnte. Automatisch schliessende Absperrventile gewährleisten im Anforderungsfall die vollständige Trennung des Containments vom übrigen Teil der Anlage. Für den Fall eines übermässigen Druckanstiegs im Containment gibt es zusätzlich ein gefiltertes Druckentlastungssystem.

Um sich vor Einwirkungen von aussen zu schützen, ist das KKL äusserst solide gebaut. So besteht beispielsweise die Mauer des Reaktorgebäudes aus einem Spezialbeton mit besonders hohem Zementanteil.

Den Berechnungen der Gebäudestrukturen liegen die bei Kernkraftwerken üblichen hohen Sicherheitskriterien zugrunde. Die vom Standort abhängigen Faktoren wie Erdbeben, Überflutung und Flugzeugabsturz wurden in der Auslegung des Werks berücksichtigt. Beim Absturz eines modernen grossen Verkehrsflugzeugs

würde die äussere Gebäudehülle des Reaktorgebäudes nur leicht beschädigt. Auf das Containment und seine Schutzfunktion hätte dies keine Auswirkungen.

Gelebte Sicherheitskultur

Durch die Optimierung des Zusammenspiels zwischen Mensch und Maschine wird die Sicherheit stetig verbessert. Um voneinander zu lernen, tauschen sich die Kernkraftwerke dazu weltweit aus. Sicherheit heisst zudem, dass die Anlage laufend erneuert und an den Stand der Nachrüsttechnik angepasst wird. Das KKL ist eine moderne Anlage, die von gut geschultem und geprüfem Personal betrieben wird. So müssen beispielsweise Reaktoroperateure mehrmals jährlich am Simulator verschiedene Betriebssituationen und Störfälle trainieren und, Flugzeugpiloten ähnlich, alle zwei Jahre ihre Zulassung erneuern. Ein technisches Qualitätsmanagementsystem unterstützt Arbeitsprozesse und das eigene Sicherheitscontrolling. Periodische

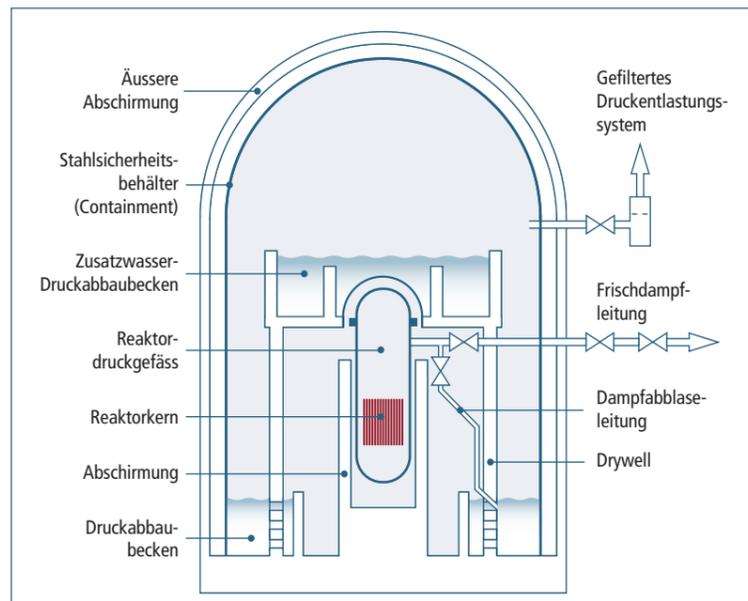
Sicherheitsüberprüfungen durch die Aufsichtsbehörde sowie regelmässige brancheneigene Peer Reviews fördern die ständige Weiterentwicklung der Sicherheit.

Behördliche Kontrolle

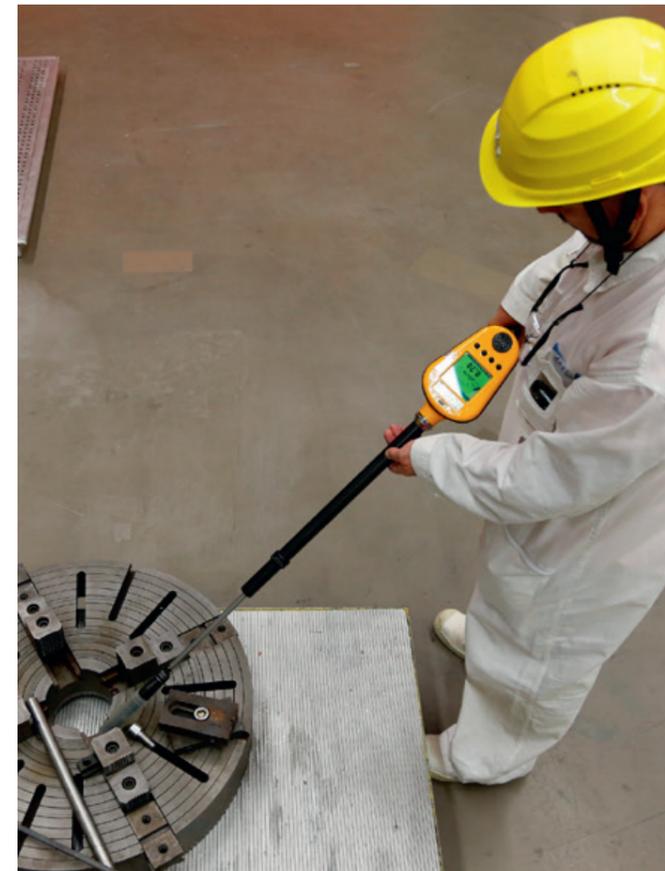
Zusätzlich stellen verschiedene Gesetze und Vorschriften den Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung sicher. Die darin festgesetzten Grenzwerte werden vom KKL nicht nur eingehalten, sondern um das 10- bis 1000-Fache unterschritten. Der Beitrag des KKL entspricht wenigen Tausendstel der natürlichen Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung. So ist in der Gemeinde Leibstadt keine erhöhte Strahlung messbar.

Dank detaillierter Planung von Arbeiten und umfangreichen Strahlenschutzmassnahmen liegt die mittlere Jahresstrahlungsdosis pro Mitarbeitenden bei nur rund 0,5 Millisievert (mSv). Die höchste Einzeldosis liegt in der Regel halb so hoch wie der gesetzliche Grenzwert von 20 mSv, der zum Beispiel der natürlichen Strahlung im Schwarzwald (Kurort Menzenschwand) entspricht.

Ein Netzwerk von Messstationen in der nahen und weiteren Umgebung der Anlage, einschliesslich des deutschen Grenzgebiets, überwacht laufend die Emissionen in Luft, Wasser und Boden sowie die Direktstrahlung. Kontrolliert werden diese Messwerte vom KKL selbst, über das MADUK-Netz der nationalen Aufsichtsbehörde ENSI (aktuelle Messwerte unter www.ensi.ch) und die NADAM-Sonden der Nationalen Alarmzentrale (NAZ, www.naz.ch). Auch die Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag) und die Sektion Überwachung der Radioaktivität des Bundesamts für Gesundheit (www.radenviro.ch) führen Messstationen. In Deutschland publiziert das Bundesamt für Strahlenschutz seine Messresultate (odlinfo.bfs.de).



Der Schnitt durch das Reaktorgebäude zeigt das solide bauliche Barriersystem. Es schützt den Reaktor vor äusseren Einwirkungen und die Umwelt vor Strahlung.



Ein Strahlenschützer misst mit einem ausziehbaren Teleskoprohr die Strahlung eines Anlagenteils.

Mit der nuklearen Sicherheitscharta unterstreicht das KKL seine Selbstverpflichtung, beim Betrieb der Anlage und beim Strahlenschutz eigenverantwortlich Massnahmen zu treffen, um die Sicherheit kontinuierlich zu verbessern. Ausgangspunkt ist die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen. Die Charta ist die Basis für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des KKL bei der Erfüllung ihrer täglichen Aufgaben.



Ein markantes Bauwerk

Dank der Umplanung von Flusswasserkühlung auf einen Naturzugkühlturm beeinflusst das KKL die Temperatur und das biologische Gleichgewicht des Rheins kaum. Das aus dem Kühlturm aufsteigende verdunstete Wasser hat keine Auswirkungen auf das lokale Klima.

Umwelt

Treibhausgase

Da im Kernkraftwerk Leibstadt keine fossilen Energieträger verbrannt werden, entstehen bei der Stromproduktion im Gegensatz zu anderen thermischen Kraftwerken direkt weder CO₂ noch andere Treibhausgase. Auch mit allen vor- und nachgelagerten Prozessen und Energieflüssen vom Uranabbau bis zur Entsorgung der Abfälle ist die Treibhausgasbilanz des KKL immer noch ausgezeichnet: Pro erzeugter Kilowattstunde (kWh) Strom fallen nur 8 g CO₂-Äquivalent an. Im Vergleich dazu geben Braunkohlekraftwerke 900 g bis 1000 g CO₂-Äquivalent/kWh ab. Reine Gaskraftwerke liegen bei 450 g bis 650 g CO₂-Äquivalent/kWh, und selbst ein Gas-Kombikraftwerk schlägt noch mit rund 400 g CO₂-Äquivalent/kWh zu Buche.

Der Schweizer Strommix ist bezüglich Treibhausgasen praktisch unschlagbar: einem Mix von gut 30 % Kernenergie, gegen 60 % ebenso klimafreundlicher Wasserkraft und knapp 7 % aus weiteren erneuerbaren Ressourcen verursacht die Stromproduktion nur 2,3 % der gesamten Schweizer Treibhausgasemissionen.

Emissionen in Luft und Wasser

Insgesamt weist das KKL kaum Emissionen in die Atmosphäre auf. Die Abluft aus der Anlage wird gefiltert, und radioaktive Partikel (Aerosole) werden aufgefangen. Radioaktive Gase werden in einer Abgasreinigungsanlage behandelt, wo sie rund 50 Tage verweilen, bis ihre Radioaktivität weitgehend abgeklungen ist. Nur eine sehr geringe Menge von Edelgasen (Krypton und Xenon) wird mit der gefilterten Abluft aus der

Anlage über den Abluftkamin abgegeben. Radioaktive Abwässer entstehen aus der Apparate- und Bodenentwässerung, in der betriebseigenen Wäscherei und den Labors. Das gesamte Wasser aus der kontrollierten Zone wird in Zentrifugen gereinigt. Was als fester Stoff zurückbleibt, wird verfestigt und in Fässern gelagert. Das gereinigte Wasser wird geprüft, registriert und dann an den Rhein abgegeben.

Alle radioaktiven Abgaben in Luft und Wasser betragen einen Bruchteil der behördlich genehmigten, tiefen Grenzwerte.

Ökobilanzen sprechen für Kernenergie

Das Paul Scherrer Institut (PSI) erstellt Ökobilanzen der verschiedenen Stromerzeugungssysteme über den ganzen Lebenszyklus. Die Wissenschaftler erfassen dazu sämtliche Energie- und Stoffflüsse in den Lebensphasen Herstellung, Betrieb und Entsorgung und bewerten ihre Auswirkungen auf Mensch und Umwelt im Verhältnis zur produzierten Strommenge. Wenn alle Belastungen für Klima, Umwelt und Gesundheit, die Landnutzung sowie der Ressourcenverbrauch betrachtet werden, schneidet die Kernenergie sehr gut ab.



Dank der Kühlung über einen Kühlturm sind die Wasserentnahme aus dem Rhein und der Wärmeeintrag praktisch nicht spürbar.

Kernkraftwerk Leibstadt AG
CH-5325 Leibstadt
Tel. +41 56 267 71 11
www.kkl.ch

