

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 78 (1986)
Heft: 3-4

Artikel: Die Notkühlwasserversorgung in Kraftwerken
Autor: Meyer, Karl Heinrich
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940842>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Notkühlwasserversorgung in Kraftwerken

Karl Heinrich Meyer

Einleitung

Noch vor 20 Jahren war die Kühlwasserversorgung von Kraftwerken eine traditionelle Komponente im Rahmen der Erstellung einer neuen Anlage. Bei der Planung und beim Bau der Kernkraftwerke hat sich zusätzlich zum herkömmlichen technischen Denken bei der Projektierung ein Sicherheitsdenken entwickelt mit einer Abstufung nach Gefahrenklassen, das auch Auswirkungen auf die Kühlwasserkonzeption hat. Die Hauptkühlung kann mit Luft oder Wasser erfolgen. Die aus sicherheitstechnischen Überlegungen heraus für Kernkraftwerke entwickelte Konzeption der Notkühlung ist grundsätzlich auch für konventionelle thermische Kraftwerke anwendbar. Sie ist auch hier ein entscheidender Garant für einen kontinuierlichen Betrieb. Am Beispiel des Kernkraftwerkes Leibstadt, das Ende 1984 seinen kommerziellen Betrieb aufgenommen hat, werden die wesentlichen Komponenten, ihre Auslegung und das Betriebskonzept der Notkühlwasserversorgung vorgestellt. Zur Illustration der Bedeutung der Kühlwasserversorgung sei auf das Energieflussbild eines Kernkraftwerkes verwiesen (Bild 1).

Das Kühlkonzept im Kernkraftwerk Leibstadt

Die *Hauptkühlung* im Kernkraftwerk Leibstadt erfolgt über einen 144 m hohen Kühlturm mit Naturzug. Dieses System wurde gewählt, um, gemäss einer Verfügung des Bundesrates aus dem Jahr 1971, den Rhein vor einer thermischen Belastung durch grosse Mengen erwärmten Kühlwassers zu bewahren. Dabei wird lediglich Ergänzungswasser aus dem Rhein bezogen, das die Verluste infolge Verdunstung ersetzt. Bei einem Kraftwerk von 950 MW Leistung sind dies immerhin zwischen 0,6 und 1,4 m³/s (Bild 2).

Sollte der Kühlturm oder eine seiner Komponenten wie z. B. die Versorgung mit Ergänzungswasser ausfallen, wird die gesamte Kühlung nach Abstellen des Reaktors von 3 *Notkühltürmen* (A, B, C) übernommen, die redundant je paarweise ausgelegt sind (A + C, B + C, A + B). Ihre Versorgung mit Kühlwasser wird aus 3 Grundwasserbrunnen gewährleistet, die diesen Notkühltürmen zugeordnet sind (Bild 3).

Für den Fall, dass sowohl die Hauptkühlung als auch die Notkühltürme nicht betriebsfähig sind, wurde eine dritte Kühlmöglichkeit geschaffen, die ebenfalls redundant mit je 100% Leistung ausgelegt ist. Auch diese *Notstandsanlage* bezieht ihr Kühlwasser aus 2 redundant zugeordneten Grundwasserbrunnen.

Die Notkühlwasseranlagen

Auslegungskriterien

Für die Dimensionierung aller Kühlanlagen wird der ungünstigste Betriebsfall, die plötzliche Abschaltung des Kernkraftwerkes bei voller Leistung, zugrundegelegt. Kühlwasser aus dem Grundwasser wird nur im Notfall bezogen. Es ergibt sich hieraus somit keine generelle Belastung des Grundwasserträgers. Ausserdem ist der gleichzeitige Betrieb von Notkühlanlage und Notstandsanlage für den Dauerbetrieb ausgeschlossen.

Die längste Betriebsdauer im Notfall wurde auf 100 Tage festgelegt, wobei die zu erbringende Kühlleistung nach 10 Tagen auf rund die Hälfte der Anfangsleistung gesenkt werden kann. Diese Betriebsbedingungen bilden auch die

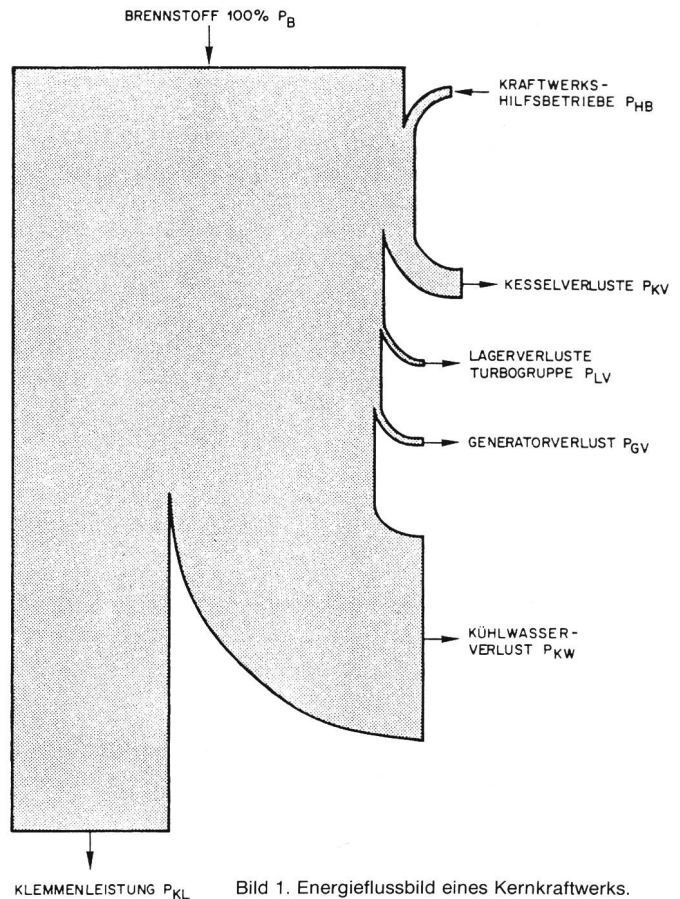


Bild 1. Energieflussbild eines Kernkraftwerkes.

Grundlage für die erteilten Konzessionen zur Entnahme von Grundwasser.

Als wesentlichste Belastung des Grundwasserträgers treten die monatlich wiederkehrenden Probeläufe der Förderpumpen auf, die aus Sicherheitsüberlegungen durchgeführt werden müssen.

Die Bemessung der Brunnen muss folgende Kriterien erfüllen:

- die bauliche Konzeption muss den Belastungen gewachsen sein, welche bei einem sog. «Sicherheitserdbeben» auftreten;

Tabelle 1. Chemische Voll- bzw. Teilanalyse des Grundwassers, typisches Beispiel, Datum der Probenahme 28./29. Juni 1978.

Untersuchte Parameter	Einheit	Messstelle	
		C5 (Voll-analyse)	C6 (Teil-analyse)
Temperatur Wasser	°C	12,1	10,95
Sinnenprüfung: Aussehen		klar	klar
Farbe		farblos	gelblich
Geruch		erdig	erdig
Leitfähigkeit	µS/cm	412	579
pH-Wert		7,6	7,2
Sauerstoff	mg/l	0,7	1,4
Sauerstoffsättigung	%	7	13
Permanganatverbrauch	mg KMnO ₄ /l	4,0	7,5
Gesamthärte	F°	21,7	32,2
Calciumhärte	F°	19,1	–
Karbonathärte	F°	18,9	27,0
Eisen	mg/l	0,07	0,33
Mangan	mg/l	0,18	0,45
Ammonium	mg N/l	0,04	0,72
Nitrit	mg N/l	0,002	–
Nitrat	mg N/l	0,38	0,52
o-Phosphat	mg P/l	0,005	–
Sulfat	mg SO ₄ /l	26,9	–
Chlorid	mg/l	9,9	9,9

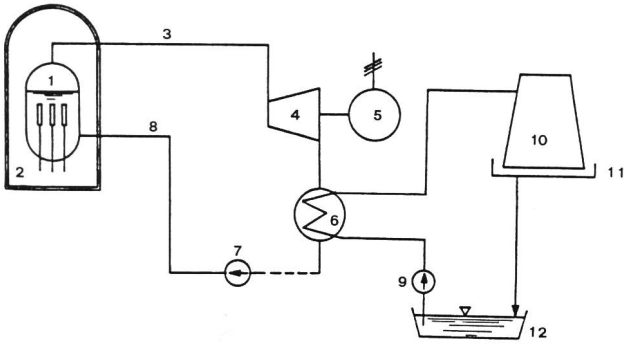


Bild 2. Hauptkühlsystem mit Ergänzungswasser aus dem Rhein. 1 Reaktor, 2 Steuerstäbe, 3 Dampf zur Turbine, 4 Turbine, 5 Generator, 6 Kondensator, 7 Speisepumpe, 8 Speisewassereintritt in den Reaktor, 9 Kühlwasserpumpe, 10 feuchter Kühlturm, 11 Sammelbecken, 12 Fluss.

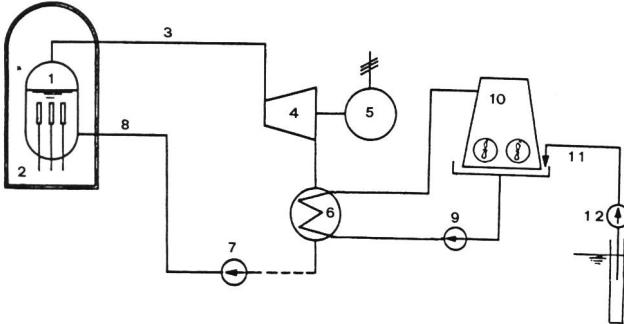


Bild 3. Notkühlsystem mit Ergänzungswasser aus dem Grundwasser. 1 Reaktor, 2 Steuerstäbe, 3 Dampf zur Turbine, 4 Turbine, 5 Generator, 6 Kondensator, 7 Speisepumpe, 8 Speisewassereintritt in den Reaktor, 9 Kühlwasserpumpe, 10 feuchter Kühlturm, 11 Sammelbecken, 12 Zusatzkühlwasserpumpe.

- die Ausrüstung ist konstruktiv so zu gestalten, dass auch nach einem «Sicherheitserdbeben» der Betrieb störungslos weitergehen kann;
- die vorgesehenen Entnahmemengen müssen auch nach einem «Sicherheitserdbeben» und abgesenktem Rheinstauspiegel noch gefördert werden können.

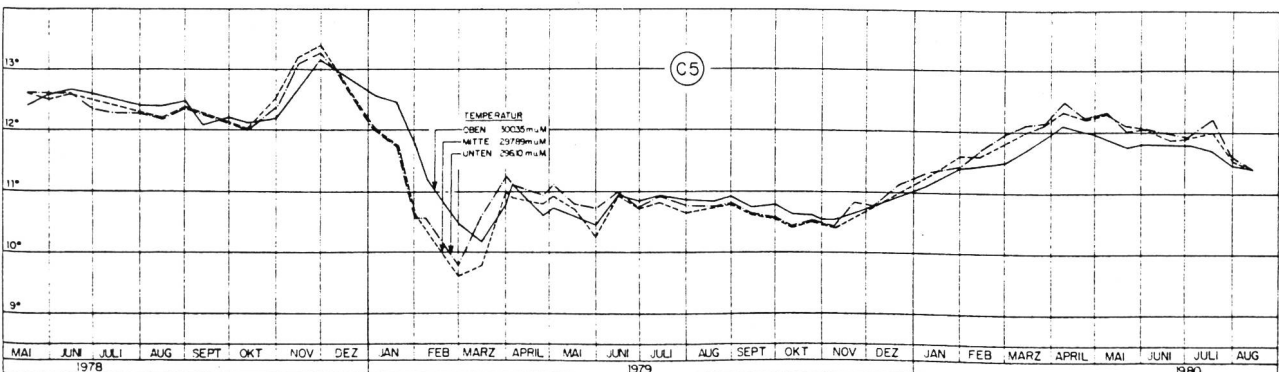
Versuchsbrunnen

Obwohl die geologischen Verhältnisse des Untergrundes im Bereich des Kernkraftwerkes gut erkundet waren, hat man sich zur Erstellung eines Versuchsbrunnens auf dem Areal entschlossen. An ihm wurde die Feldergiebigkeit überprüft und die Eignung des Filtertyps getestet. Zusätzlich konnten Erkenntnisse bezüglich der Restsandführung gewonnen werden, die beim Bau der definitiven Brunnen mit berücksichtigt wurden.

Brunnen für die Notkühltürme A, B und C

Alle Brunnen wurden jeweils in unmittelbarer Nähe der zu versorgenden Kühltürme abgeteuft. Die Bohrtiefe beträgt rund 40 m bis auf die Molasse. Brunnen A und B wurden mit 1450/1300/1150 mm teleskopiert gebohrt und mit Filter-

Bild 4. Temperaturschwankungen des Grundwassers im Piezometer C5.



rohren mit einem Durchmesser von 640 mm verbohrt. Brunnen C in einer Bohrung 900/700 mm enthält ein Filterrohr von 400 mm Durchmesser. Die Schlitzbrückenfilter wurden aus rostfreiem Stahl gefertigt. Als Filterkies für die Hinterfüllung wurde eine Körnung 3/8 mm als geeignet bestimmt. Die Brunnen A und B wurden einzeln und simultan bei 4000 l/min Entnahmemenge getestet. Aus dem Brunnen C wurden 500 l/min gepumpt. Diese Fördermengen liegen um mehr als 100% über der Anforderung für den ungünstigsten Betriebsfall.

Brunnen für die Notstandsanlage

Zwei identisch ausgebildete Brunnen mit einem Bohrdurchmesser von 1300 mm bis auf die Molasse wurden unter der Sohle der Notstandsanlage angeordnet. Auch sie wurden mit Schlitzbrückenfiltern aus rostfreiem Stahl verbohrt, allerdings mit einem Durchmesser von 800 mm. Sie haben gleichen Filterkies wie die oben beschriebenen Notkühlbrunnen.

Beide Brunnen wurden nach ihrer Entsandung stufenweise bis zu einer maximalen Entnahmemenge von 13500 l/min getestet. Ein Simultanbetrieb musste hier nicht überprüft werden, da sie ausschliesslich redundant eingesetzt werden.

Chemismus

Das insgesamt in seiner chemischen Beschaffenheit stark vom Rhein beeinflusste Grundwasser mit wenig gelöstem Sauerstoff, kleiner mittlerer Härte und leicht erhöhtem Ammoniakgehalt eignet sich für Kühlzwecke, nicht aber zur Verwendung als Trinkwasser. Bei längerer Entnahmedauer verstärkt sich diese ungünstige Zusammensetzung noch etwas, da die verstärkte Infiltration vom Rhein her die Wasserqualität ungünstig beeinflusst. Da es sich nur um Brauchwasserfassungen handelt, mussten keine Schutz-zonen ausgeschieden werden.

Betrieb

Vor Beginn des kommerziellen Betriebes wurden sämtliche Anlagen einer eingehenden Funktionskontrolle unterzogen, die dem Ernstfall entsprach. Erst nach deren Abschluss wurden die Testläufe mit der Gesamtanlage gefahren. Das Kernkraftwerk Leibstadt und mit ihm auch die Kühlsysteme stehen in Betrieb. Die Hilfs- und Notkühlanlagen werden periodisch anlässlich der allmonatlichen Probeläufe für kurze Zeit in Betrieb genommen.

Übertragung der Erkenntnisse auf thermische Kraftwerke

Aus sicherheitstechnischen Überlegungen musste für Kernkraftwerke zur Abführung der Nachzerfallswärme ein

Kühlsystem entwickelt werden, das allen Kriterien für ein sicheres Abfahren der Anlage beim Auftreten einer ernsthaften Störung genügt.

In konventionellen thermischen Kraftwerken treten Überlegungen bezüglich Verfügbarkeit in den Vordergrund. Eine Auslegung mit zwei zueinander redundanten Kühlsystemen reicht in der Regel aus, um Ausfälle eines Systems abzudecken. Eine Abschaltung kann kurzfristig eingeleitet werden, da die latente Wärme rasch abgeführt werden kann. Aus der Planung der Kühlsysteme von Kernkraftwerken ergeben sich für konventionelle thermische Kraftwerke und deren Kühlsysteme als wesentliche Erkenntnis:

- eine einfache Redundanz genügt für die Anforderungen an die betriebliche Verfügbarkeit;
- die für sicherheitstechnische Belange ausgelegten Kühlsysteme in Kernkraftwerken gehen bei konventionellen thermischen Anlagen über in Anlagen, welche in erster Linie eine höhere Sicherheit in bezug auf die betriebliche Verfügbarkeit der gesamten Anlage bringen.

Unter diesen beiden Aspekten können alle Entscheide über den Nutzen von Mehrinvestitionen für redundante Anlage teile eindeutig gefällt werden.

Adresse des Verfassers: Karl Heinrich Meyer, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Postfach, CH-8022 Zürich.

Gewässerschutzstatistik der Schweiz

Regula Schmalz und Ernst U. Trüeb

Mit der Schriftenreihe Nummer 20 des Bundesamtes für Umweltschutz von 1983: «Abwasserreinigung und Gewässerszustand» wurden Angaben über die Stammdaten der einzelnen Kläranlagen und ein Überblick über den Zustand der Fliessgewässer unseres Landes veröffentlicht. Zwischenzeitlich konnten auch Daten über Betriebsergebnisse in der Abwasserreinigung und der Schlammbehandlung, über Gewässerschutzmassnahmen in der Landwirtschaft, über den Stand der Sanierung unserer Seen sowie Aspekte der Wasserversorgung, die mit dem Gewässerschutz gekoppelt sind, erarbeitet werden. Dieses für die Praxis der Siedlungswasserwirtschaft ausserordentlich interessante Datenmaterial wird mit der Schriftenreihe Nummer 46 des Bundesamtes für Umweltschutz mit dem Titel: «Gewässerschutzstatistik» vom November 1985 der Öffentlichkeit vorgestellt. Der zweihundertseitige Bericht kann zum Preis von 35 Franken bezogen werden beim Dokumentationsdienst des BUS, 3003 Bern. Seine Gliederung ist die folgende:

- Betriebsaufwand und Betriebsergebnisse von Gewässerschutzanlagen wie Betriebskosten, Personalaufwand, Abwasseranfall, Abflussqualität, Reinigungsleistung usw.
- Gewässerschutz in der Landwirtschaft, insbesondere Anfall und Verwertung von Hofdünger und Klärschlamm
- Spezielle Gewässerschutzmassnahmen, wie Sanierung von Seen, ölhaltige Abwässer und wassergefährdende Flüssigkeiten
- Energieverbrauch und Energieanfall bei der Abwasserreinigung sowie Wärmenutzung aus Wasser und Boden
- Gewässerschutztechnische Aspekte der Wasserversorgung in quantitativer Hinsicht, wie Wassergewinnung und Wasserverbrauch, sowie solche in qualitativer Hinsicht, wie Aufbereitung, Nitratprobleme usw.
- Stand der kommunalen Abwasserreinigung mit Angaben über zentrale ARA, solche mit weitergehender Reinigung oder besonderen Merkmalen sowie über die Investitionen,

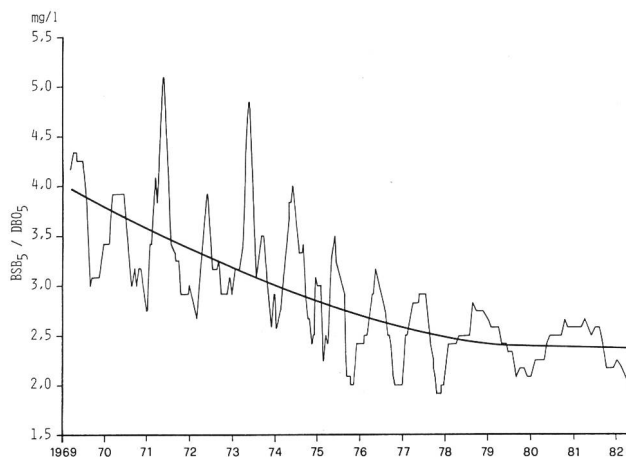


Bild 1. Abnahme des Sauerstoffbedarfs (BSB₅) infolge der Abwassersanierung. Aare bei Felsenau (Koblenz AG), bei der Mündung in den Rhein (Seite 30).

Baukosten, Bundesbeiträge und über den Anschlussgrad der Gemeinden.

Die Gewässerschutzstatistik wird mit drei mehrfarbigen Karten bereichert. Davon vermittelt Blatt I den Anschlussgrad der einzelnen Gemeinden. Blatt II stellt einen Versuch dar, den aufsummierten Anschlussgrad für die einzelnen hydrologischen Einzugsgebiete unterteilt in «angeschlossen», «in den nächsten Jahren angeschlossen» und «noch ohne zentrale ARA» darzustellen. Blatt III vermittelt den Stand der Bearbeitung der Karten der Gewässerschutzbereiche und Schutzzonen im Massstab 1:25 000.

Was die einzelnen Abschnitte anbelangt, soll der folgende stichwortartige Überblick genügen:

Betriebsaufwand und Betriebsergebnisse: Vorwiegend in Diagrammform sind die generellen und die spezifischen Betriebskosten in Funktion der Anlagegrösse für zwei- und dreistufige Kläranlagen mit den Bezugsgrössen Fr./EGW und Rp./m³ sowie der Unterteilung in Personal-, Strom-, Chemikalien- und Kosten für Schlammabeseitigung, Unterhalt usw. dargestellt. Dann folgen Angaben über den Personalaufwand der kantonalen Fachstellen für Gewässerschutz, Abfallbewirtschaftung und Wasserversorgung so-

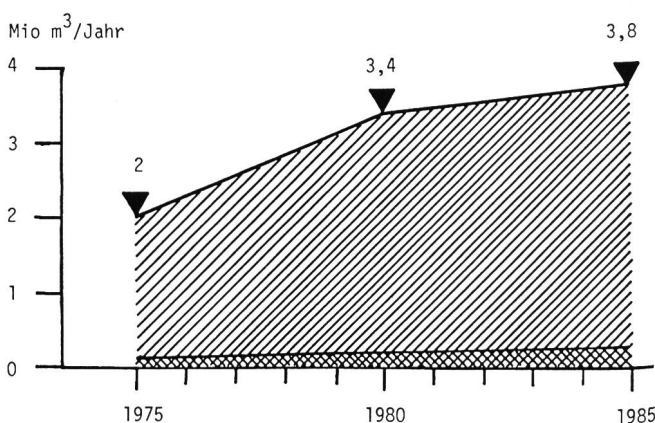


Bild 2. Klärschlamm anfall 1975 bis 1985. Die Zunahme der Schlammmenge (TS) und der angeschlossenen Einwohnergleichwerte (EGW) stimmen nicht überein. Die Gründe dafür sind die Einführung der Phosphatfällung, die Zunahme der spezifischen Schmutzfrachten und die Verbesserung des Wirkungsgrades der ARA (Seite 45).

Zeitpunkt	1975	1980	1985
Angeschlossene EGW (Mio)	6	9	11
			(EGW biol.)
Angeschlossene Einwohner	55%	70%	83%
Trockensubstanz (TS)	90 000 t	170 000 t	230 000 t
TS in Prozent von	4,5%	5%	6%