Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 70 (1978)

Heft: 3-4

Artikel: Die Auswirkungen der Abwärmeeinleitung des Kernkraftwerks Beznau auf die hydrologischen Verhältnisse der Aare

Autor: Schmid, Werner / Véya, Raymond

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941064

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 07.01.2026

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

Die Auswirkungen der Abwärmeeinleitung des Kernkraftwerks Beznau auf die hydrologischen Verhältnisse der Aare

Werner Schmid und Raymond Véya

1. Einleitung

Rund 7 km unterhalb dem Zufluss von Reuss und Limmat in die Aare sowie etwa 8 km oberhalb der Mündung der Aare selbst in den Rhein liegt die Flussinsel Beznau, Standort des gleichnamigen Kernkraftwerks (Bild 1). Ersteller und Betreiber dieser Anlage ist die Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK).

Das nuklearthermische Kraftwerk Beznau ergab die erste grössere Wärmeeinleitung in ein schweizerisches Gewässer. Es war deshalb bald Gegenstand eines steten Interesses von verantwortlichen Behörden, der Wissenschafter und der weiteren Öffentlichkeit. Der Weg zu einer die vorgegebenen Randbedingungen erfüllenden Art der Abwärmeeinleitung in die Aare sowie die Auswirkungen der Abwärme selbst auf das Wasser der Aare seien nachstehend kurz beschrieben.

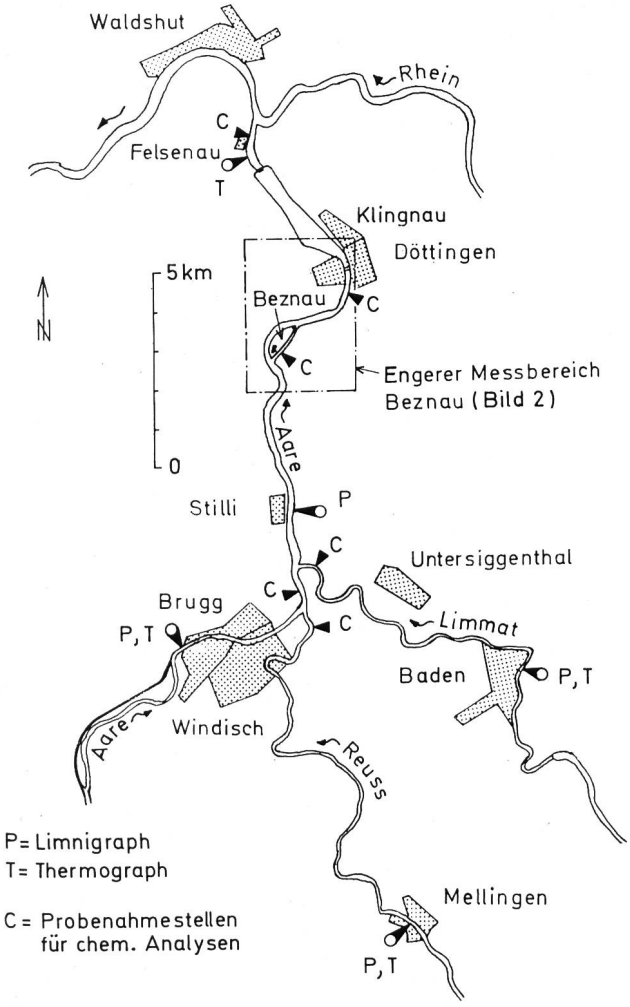


Bild 1. Lage des Gewässersystems im weitern Messgebiet Beznau. Mit Angabe der betreffenden Messstellen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft und der Koordinierten Gewässeruntersuchungen an Aare und Hochrhein.

2. Die Frage der Kühlwasserrückgabe

Die Randbedingungen

Die Gestaltung der Kühlwasseranlagen des Kernkraftwerks Beznau (KKB) hatte sowohl den öffentlich-rechtlichen wie den hydrologisch-technischen Bedingungen zu entsprechen. Unter den öffentlich-rechtlichen Gegebenheiten sind zu nennen:

— Die einschlägige Gesetzgebung des Bundes und des Kantons Aargau,

— die Bestimmungen und Auflagen der Kühlwasserkonzessionen des Kantons Aargau, und

— die Empfehlungen der Eidg. Kühlwasser-Kommission gemäss deren Bericht [1]. Unter der Voraussetzung, dass eine nur kleine bis mittlere Abwasserbelastung vorliegt, lauten diese Empfehlungen für Fliessgewässer:

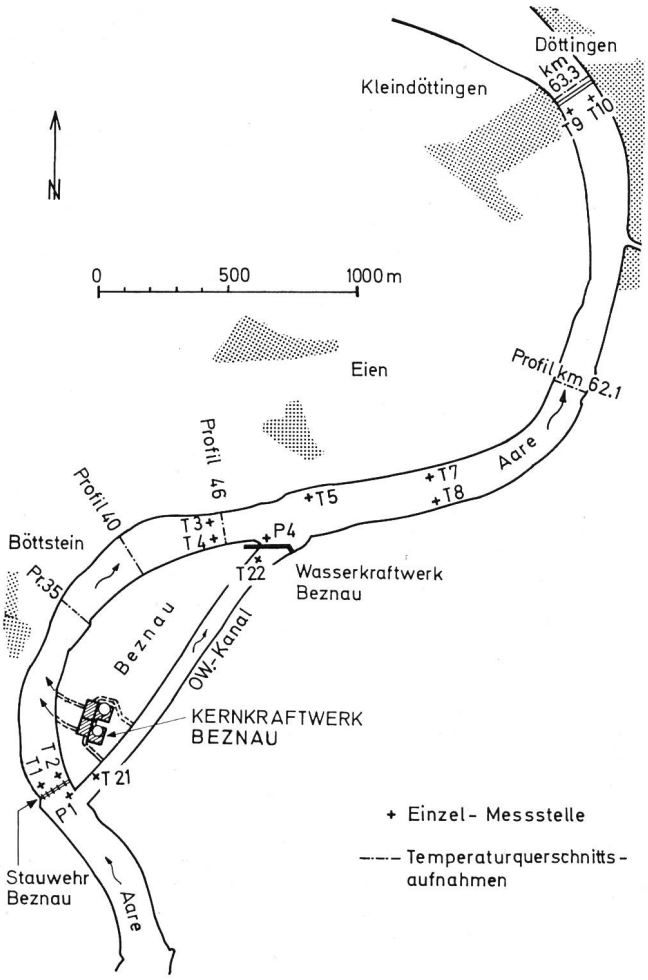


Bild 2. Lage des engern Messbereichs Beznau. Mit Angabe der das Aarewasser betreffenden Messstellen und -profile.

Bild 3. Modellversuch an der VAWE mit Aareabflussmenge von 460 m³/s.
Blau: Wehrdurchfluss 40 m³/s
Gelb: Kühlwasser des Kernkraftwerks Beznau 40 m³/s
Rot: Durchfluss durch das Wasserkraftwerk Beznau 380 m³/s

Maximale Temperaturerhöhung im Fluss nach voller Durchmischung	3 °C
Maximale Temperatur nach voller Durchmischung	25 °C
Maximale Rückgabetemperatur des Kühlwassers	30 °C

Für Grundwasser soll eine Höchsttemperatur von 15 °C nicht überschritten werden.

In hydrologischer Beziehung waren u. a. zu beachten:

— Die bisherige Minimalwasserführung der Aare von 138 m³/s,

— eine Infiltration von Wasser der Aare ins Grundwasser längs des linken Ufers zwischen dem Aareprofil 35 (Bild 2) und dem Stauwehr Klingnau.

Aus betriebstechnischen Gründen ist das KKB auf eine Nettoleistung von 2 x 350 = 700 MW ausgelegt worden. Mit dem bei der vorliegenden Druckwasserreaktoranlage erreichten Wirkungsgrade von 31,6 % ergibt dies eine theoretische Abwärmemenge von 1560 MW. In der Regel wird das KKB bei Vollast mit einer Kühlwassermenge von 39 m³/s und einer Aufwärmspanne von 9,5 °C betrieben.

Mögliche Varianten

Zunächst konnte dem Antrag der NOK, die nicht verwertbare Wärme des KKB mittels Durchlaufkühlung an die Aare abzugeben, aufgrund der verhältnismässig grossen mittleren Wasserführung der Aare von rund 550 m³/s entsprochen werden.

Dann stellte sich die Frage, ob das Kühlwasser mit Pumpen vom Oberwasserkanal des Wasserkraftwerks Beznau (WKB) durch die Kondensatoren und wieder in den Oberwasserkanal zurück zu befördern sei, oder ob das vorhandene Gefälle zwischen dem Oberwasserkanal und der Aare für die Durchlaufkühlung ausgenützt werden solle. Aus betrieblichen Gründen wurde die zweite Lösung vorgezogen.

In der Aarestrecke unterhalb des Wasserkraftwerks Beznau ermöglicht deren natürliche Wasserführung die Abwärme des KKB unter Einhaltung jeder der vorgegebenen Grenztemperaturen aufzunehmen.

Ein sehr unterschiedliches Abflussregime hingegen herrscht im rund 1000 m langen Aarelauf zwischen den Kühlwasserausläufen des KKB und dem Maschinenhaus des WKB (Aareknie). Hier blieb zunächst noch die Frage offen, ob im Hinblick auf den Schutz des linksufrigen Grundwasservorkommens eine Temperaturzonierung im Aareknie mit einer konzentrierten Kühlwasserabgabe vom rechten Ufer aus einer unmittelbaren Vermischung durch Verteilung des erwärmten Kühlwassers über die ganze Flussbreite vorzuziehen sei. Beide Varianten erforderten übrigens eine ständige Dotierung des Aareknies mit Aarewasser durch das Stauwehr, deren Ausmass noch zu bestimmen war.

Entscheid aufgrund eines Modellversuches

Für eine erste Überprüfung der Durchführbarkeit der beiden zuletzt beschriebenen Auslaufvarianten sind 1968 an der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH (VAWE) im Auftrage der NOK Versuche an einem hydraulischen Modell im Massstab 1:60 ausgeführt worden. Dabei wurden die drei Versuchsmethoden Einfärbungen und Farbfotos, fotometrische Konzentrationsmessungen sowie Temperaturmessungen verwendet. Diese eingehenden Versuche erwiesen bei allen charakteristischen Abflussmengen zumindest im Modell sowohl die Möglichkeit einer unmittelbaren Vermischung wie auch jene einer Temperaturzonierung (Bild 3, bei Niederwasser der Aare) im Aareknie [2].

In der Erwägung, dass durch eine Temperaturzonierung im Aareknie mit einem Streifen von Dotierwasser entlang dem linken Aareufer die dortige mittlere Temperatur tiefer gehalten werden könne als mit einer sofortigen Durchmischung entsprechend der 3 °C-Limite, entschied sich das Baudepartement des Kantons Aargau für die Zonierungsvariante, d. h. für eine Kühlwasserrückgabe am rechten Aareufer. Dieser Beschluss war mit der Auflage bzw. mit dem Vorbehalt verbunden, dass bei Betrieb des KKB das Aareknie ständig mit mindestens 40 m³/s Wasser aus dem Stauwehr beschickt werden müsse, und dass der Nachweis

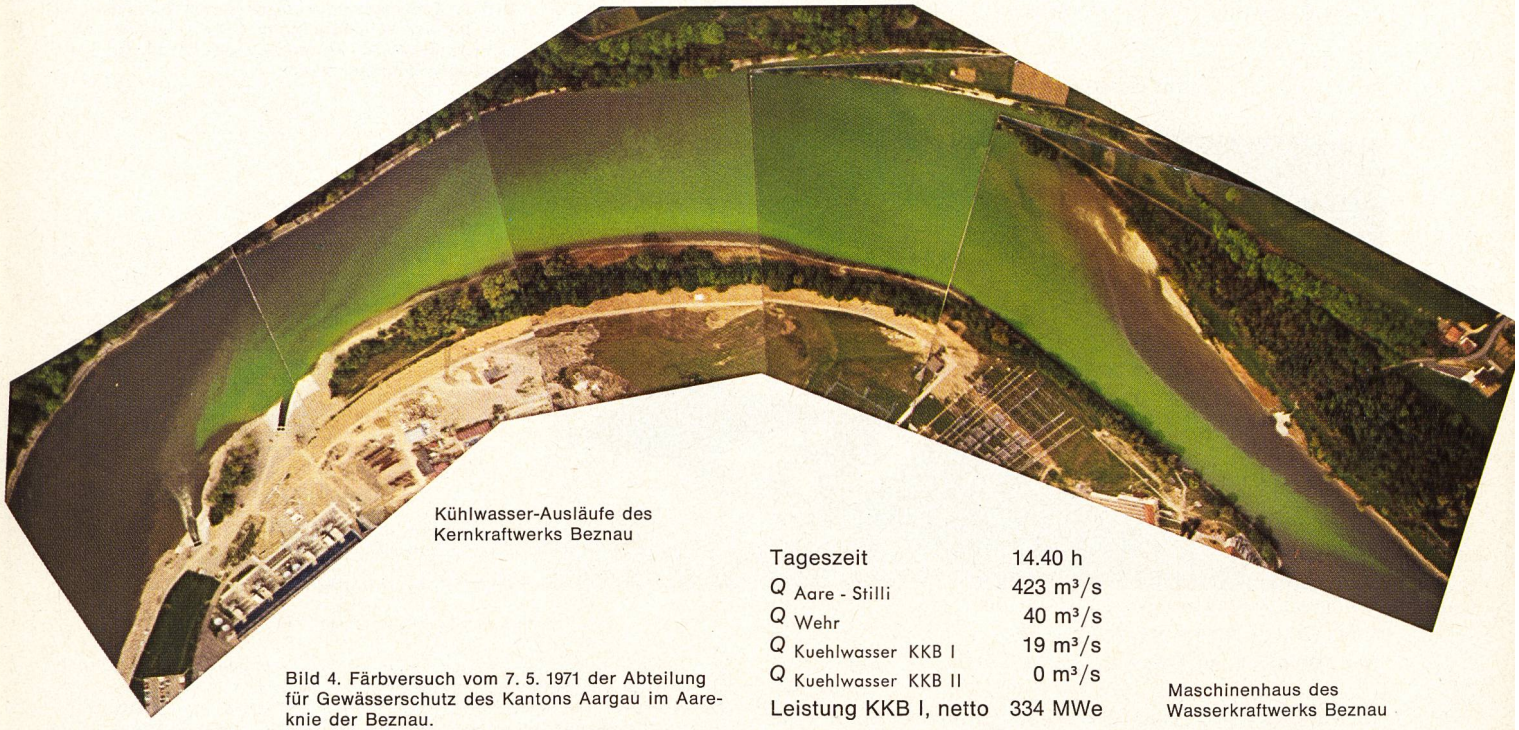


Bild 4. Färbversuch vom 7. 5. 1971 der Abteilung für Gewässerschutz des Kantons Aargau im Aareknie der Beznau.

des tatsächlichen Eintretens einer Temperaturzonierung im erstrebten Sinne in der Natur, d. h. im Aareknie selbst, erbracht werde.

Überprüfung in der Natur

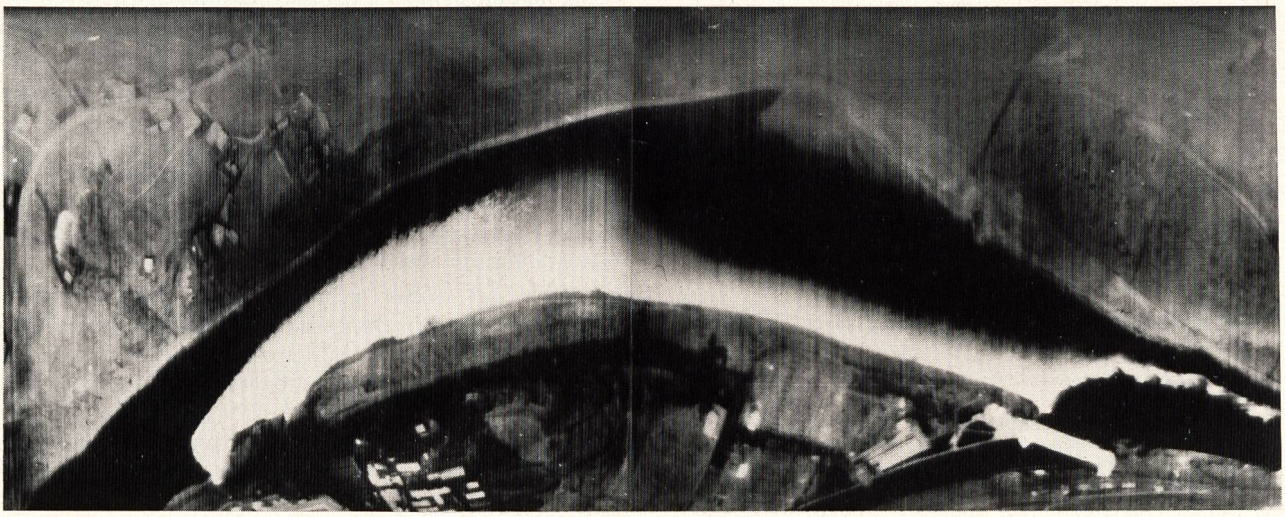
Das Eintreten einer hinreichenden Temperaturzonierung im Aareknie ist auf vier Arten bestätigt worden:

Zunächst sei der Färbversuch erwähnt, den die Abteilung für Gewässerschutz des Kantons Aargau (AGS) 1971 bei Niederwasser der Aare durchführte. Gefärbt wurde durch kontinuierliches Beigeben einer Fluoresceinlösung zum Kühlwasser im Auslauf I. Die dadurch erzielte Farbfahne im Aareknie ist mit Flugaufnahmen farbig festgehalten worden. Bild 4 ist zu entnehmen, dass in der für die Infiltration entscheidenden Aarestrecke von Profil 35 bis zum Maschinenhaus des WKB eine Zonierung erreicht ist.

Die im wesentlichen gleiche Temperaturzonierung und dieselbe Auflösung der erwärmten Zone nach dem Zusammenfluss mit dem Turbinenwasser des Wasserkraftwerks Beznau zeigten die 1971 ebenfalls bei Niederwasser der Aare gemachten IRLS-Flugaufnahmen (mit elektronischem Abtastverfahren im thermalen Infrarotbereich, Bild 5). Der Einwand, dass solche Aufnahmen nur Temperaturdifferenzen der Oberfläche eines Objekts aufzeigen, ist hier nicht stichhaltig, da — wie noch gezeigt wird — die Isothermen in dieser Flussstrecke nahezu senkrecht zur Wasseroberfläche stehen.

Hinweise im gleichen Sinne gaben die 14täglichen Temperaturmessungen an 9 Stellen der Aareufer zwischen dem Stauwehr Beznau und der Aarebrücke Döttingen (Tabelle 1). Diese Messungen werden eingehender in Abschnitt 3 beschrieben.

Bild 5. IRLS-Flugaufnahme des Aareknies bei einer Aarewasserführung von rund 275 m³/s, einem Wehrdurchfluss von 40 m³/s, einem Kühlwasserdurchsatz von 18 m³/s und einer Nettoleistung des Kernkraftwerks Beznau von 338 MW. Die hellere Gewässerfläche zeigt die erwärmte Zone im Aareknie und deren Auflösung durch das Turbinenwasser des Wasserkraftwerks Beznau (rechts unten). Reproduziert mit Genehmigung des Militärflugdienstes.



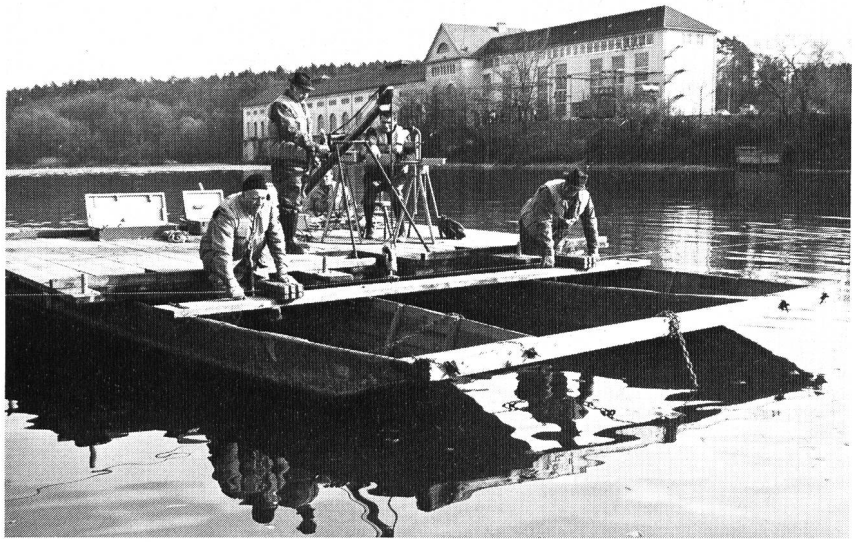


Bild 6. Bootsfloss mit Personal und Einrichtung bei der Aufnahme eines Temperaturquerschnitts im Aareknie. Im Hintergrund die hydraulische Zentrale Beznau.

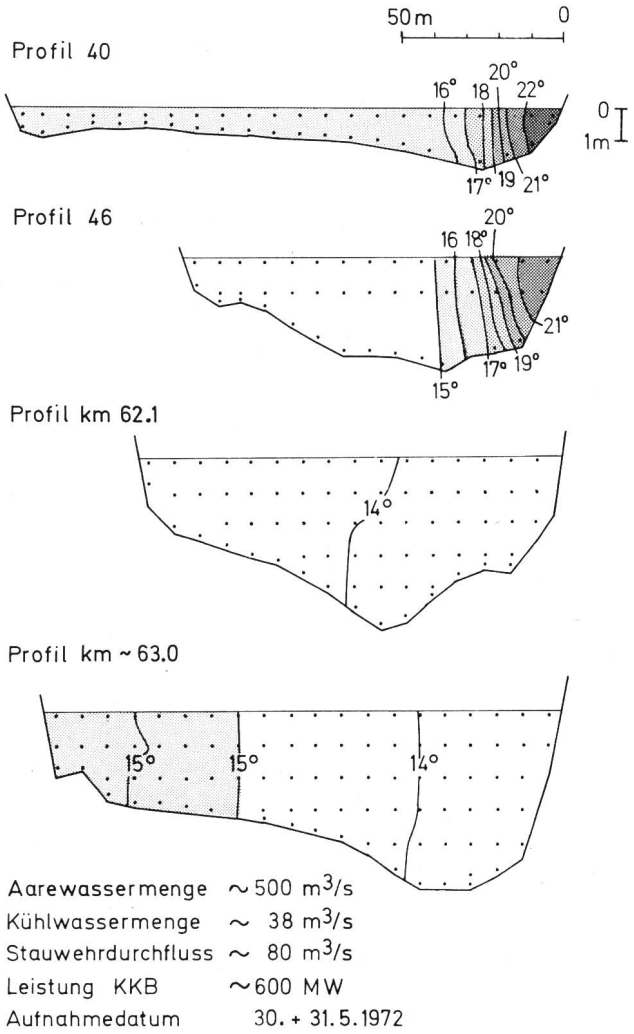


Bild 7. Temperaturquerschnitt durch die Aare im Messbereich Beznau bei mittlerer Wasserführung. Die zwei obern Temperaturquerschnitte zeigen den zonierten Abfluss im Aareknie, die beiden unteren Querschnitte den nahezu homothermen Abfluss unterhalb des Wasserkraftwerks Beznau.

Den wesentlichsten Beitrag zur Abklärung der temperaturmässigen Zonierung der Aare im Nahbereich Beznau leisteten jedoch die 1968—1974 aufgenommenen Temperaturquerschnitte. Solche Querschnitte wurden in den Profilen 35, 40, 46, km 62.1 sowie km 63.3 bei verschiedenen Abflussmengen der Aare und Leistungen des KKB aufgenommen (Bild 2).

Zur Aufnahme einer dieser Temperaturquerschnitte ist jeweils im gleichen Profil innert möglichst kurzer Zeit an 40 bis über 100 nahezu gleichmässig verteilten Punkten die Temperatur gemessen worden. Diese Erhebungen erfolgten durch Personal der NOK mit einer elektrischen Widerstandssonde von einem Bootsfloss aus (Bild 6). Entgegen der Erwartung verlaufen die Isothermen dieser Aufnahmen nahezu senkrecht. Wie Bild 7 zeigt, weisen die beiden Querschnitte des Aareknies die verlangte Zonierung auf, während die zwei Querschnitte unterhalb des Wasserkraftwerks Beznau annähernd homotherme Verteilungen zeigen.

Aufgrund eines Vergleichs der Messungen in der Natur mit den Ergebnissen der Modellversuche an der VAWE kann festgestellt werden, dass Versuche mit hydraulischen Modellen für die Behandlung entsprechender Fragen mit gutem Erfolg verwendbar sind.

Es ist naheliegend, dass bei Niederwasser der Aare die Zonierung im Aareknie nicht so ausgeprägt ist wie bei mittleren Wasserführungen. Anderseits kann festgestellt werden, dass Niederwasser überwiegend in kühleren Jahreszeiten auftreten und in diesen Perioden die Infiltrationsmengen gering sind. Als Niederwasser werden hier diejenigen Wassermengen der Aare bezeichnet, bei denen der Stauwehrdurchfluss nicht mehr als die vorgeschriebene Dotierwassermenge beträgt, d. h. bei Vollast des KKB Aarewasserführungen von 460 bis 410 m³/s oder weniger.

Aufgrund der bisher aufgenommenen Temperaturquerschnitte und der Ergebnisse der Temperaturmessungen im Grundwasser der möglichen Entnahmegebiete bei Kleindöttingen wurde der minimale Stauwehrdurchfluss ab 1974 versuchsweise auf 20 m³/s angesetzt. 1977 z. B. wurde dieser Wehrabfluss während 75 % der Zeit überschritten. Entsprechenderweise betrug im gleichen Jahr das Mittel des Stauwehrdurchflusses 270 m³/s.

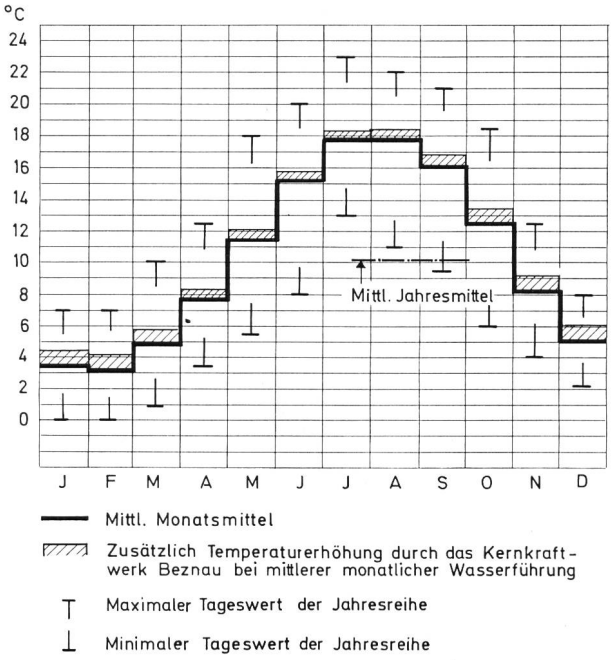


Bild 8. Monatsmittel und Tagesextrema 1950 bis 1969 der natürlichen Aarewassertemperaturen bei der Beznau. Schraffiert die Monatsmittel der Temperaturerhöhungen in der Aare infolge der Abwärme des Kernkraftwerks Beznau bei Vollast, nach voller Durchmischung und bei einer Wasserführung der Aare entsprechend dem langjährigen Monatsmittel.

3. Temperaturverhältnisse

Natürliche Temperaturen der Aare

Für die Bestimmung der Auslegungstemperatur der Turbinen/Kondensator-Gruppen konnte auf tägliche Messungen der Wassertemperatur im Oberwasserkanal des Wasserkraftwerks Beznau bei T22 (Bild 2) ab 1950 zurückgegriffen werden. Als mehrjährige Ergebnisse dieser Messungen wären zu nennen:

Mittel 1950/1976	10,4 °C
Maximales Tagesmittel 1950/1976	23,6 °C
Minimales Tagesmittel 1950/1976	0,0 °C
Maximale Jahresschwankung 1950/1976	22,5 °C

Die Monatsmittel und die extremen Tageswerte jedes Monats über die Jahresreihe 1950/69 sind in Bild 8 dargestellt.

Zur Feststellung allfälliger örtlicher Unterschiede der natürlichen Aaretemperatur in der Flussstrecke Stauwehr Beznau bis Brücke Döttingen sind ab 1966 14tägliche Messungen an 11 Stellen durchgeführt worden (Bild 2). Dazu wurden Widerstandssonden mit Widerstandsmeter verwendet. Einige Resultate dieses Messprogramms sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die örtlichen Temperaturdifferenzen bei Messungen am gleichen Tag (so z. B. im Aareknie bei Profil 46 bis zu 4,2 °C) sind auf die Einflüsse kurzzeitiger Temperaturfluktuationen, der Tagesschwankungen (Bild 9), der verschiedenen Wassertiefen und Fliessgeschwindigkeiten zurückzuführen.

Temperatur der Aare bei Betrieb des Kernkraftwerks Beznau

Die Temperaturerhöhung des Aarewassers durch die Abwärme des Kernkraftwerks kann für die unterliegenden Flussstrecken mit vollständiger thermischer Durchmischung auf einfachste Weise berechnet werden. Sie beträgt z.B. bei Vollast des KKB:

Bei minimaler Wassermenge der Aare (138 m³/s)	2,7 °C
Beim langjährigen Jahresmittel der Aarewasserführung von 550 m³/s	0,68 °C
Bei einem Hochwasser von 1000 bis 2000 m³/s	0,37 °C bis 0,19 °C

Die mittleren monatlichen Temperaturerhöhungen im Aarewasser zufolge des KKB, bzw. die erhöhten Temperatur-Monatsmittel selbst sind in Bild 8 dargestellt.

Die Messungen haben gezeigt, dass die Voraussetzung der vollständigen Durchmischung bei Niederwasser nach dem Kraftwerk Klingnau, bei Hochwasser aber bereits nach dem Wasserkraftwerk Beznau als erfüllt angenommen werden kann.

Für die temperaturmässig zonierte Zwischenstrecke bis hinauf zu den Kühlwasserausläufen können für die Abklärung der Temperaturverhältnisse die 14täglichen Temperaturmessungen an den auf Bild 2 angegebenen Messstellen verwendet werden. Die grössten Temperaturerhöhungen sind erwartungsgemäss am rechten Ufer des Aareknies bei T4 gemessen worden (Tabelle 1). Kleinere Differenzen wurden in T3, T5, T7, T9 bei Niederwasser festgestellt, während ausser den Messstellen T1, T2, T21 und T22 auch die Punkte T8 und T10 am rechten Aareufer von der Wärmeabgabe des Kernkraftwerks stets unbeeinflusst blieben. Eine eingehende Darstellung der Temperaturverhältnisse der Aare im engeren Messgebiet Beznau gibt der durch das Baudepartement des Kantons Aargau für die Bereiche Hydrologie und Geo-

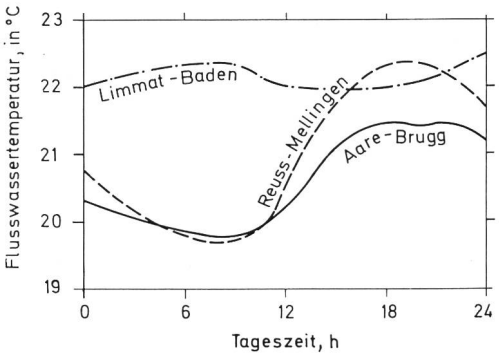


Bild 9. Tagesgang der Wassertemperatur vom 10. 8. 1972 der Aare in Brugg, der Reuss in Mellingen und der Limmat in Baden.

Unterschiede der Wassertemperaturen an 4 Aareuferstellen unterhalb des Stauwehrs Beznau zu den etwa gleichzeitigen, unbeeinflussten Wassertemperaturen im Oberwasserkanal Beznau. Vor und nach der Betriebsaufnahme des Kernkraftwerks Beznau (KKB). Tabelle 1

	Vor der Inbetriebnahme des KKB (1968)				Nach der Inbetriebnahme des KKB (1975)			
	T3—T21 °C	T4—T21 °C	T9—T21 °C	T10—T21 °C	T3—T22 °C	T4—T22 °C	T9—T22 °C	T10—T22 °C
Maxima	1,40	0,95	1,25	1,25	5,05	8,70	3,30	0,50
Jahresmittel	—0,06	—0,03	0,31	0,21	1,32	7,10	1,22	0,03
Minima	—1,85	—1,60	—0,80	—0,90	—0,80	3,15	—0,60	—0,35

Die Lage der Messstellen T3 bis T22 ist aus Bild 2 ersichtlich.

Bild 10. Flugaufnahme der Beznau-Insel, Blick gegen Nordosten. In der rechten unteren Ecke des Bildes trennt sich der Oberwasserkanal vom Aarelauf, er schneidet die Flussschleife ab. Die Wehraufbauten des Aarewehres sind gerade noch zu erkennen. Die Aareschleife wird vom Schloss Böttstein, am linken Bildrand, dominiert. Auf der Insel steht das Kernkraftwerk Beznau und die Freiluftschaltanlage. Dahinter schliesst das Maschinenhaus des Flusskraftwerkes Beznau den Oberwasserkanal ab. Im Hintergrund das Rheintal und die Höhen des Schwarzwaldes.

logie zugezogene Experte, *H. Jäckli,* Zürich, in seinem diesbezüglichen Bericht [4].

Im wesentlichen bestätigten die Ergebnisse dieses Messprogramms, dass die in Abschnitt 2 aufgeführten Temperaturgrenzen eingehalten worden sind.

Temperaturverhältnisse des Kühlwassers

Das Kernkraftwerk Beznau arbeitet mit Frischwasserkühlung. Die benötigte Kühlwassermenge (9,8 m³/s und Kondensator) wird dem Oberwasserkanal des hydraulischen Kraftwerks entnommen, anschliessend mechanisch gereinigt und dann durch je einen unterirdischen Kühlwasserkanal den 4 Kondensatoren zugeleitet, wo es die Abwärme der betreffenden Turbinengruppe übernimmt und dabei bei Vollast um rund 9,5°C erwärmt wird. Anschliessend fliesst das Kühlwasser durch kurze Ablaufkanäle in den Aarelauf zurück. Die Rückgabestellen des Kühlwassers befinden sich rund 300 m unterhalb des Stauwehrs Beznau (Bild 2). Die Kühlwassertemperatur wird in Intervallen von 64 Sekunden in jedem der vier Kanäle vor und nach dem Kondensator mittels elektrischer Messsonden erhoben. Ferner werden die Durchflussmengen in den Kühlwasserkanälen fortlaufend gemessen. Sämtliche Messwerte werden in den Datenverarbeitungsanlagen des KKB gespeichert und zu gegebener Zeit ausgewertet. Monatsweise werden die Tages- und Monatswerte ausgedruckt. Die Monatstabellen dienen als Buchführung über die Temperaturverhältnisse des Kühlwassers, des Kühlwasserbezuges sowie der Abwärmemenge, und werden jährlich dem Eidg. Amt für Umweltschutz und der Abteilung für Gewässerschutz des Kantons Aargau eingereicht.

Als weitere Belege stehen die fortlaufenden Aufzeichnungen eines Registriergerätes der Temperaturerhöhung, der Auslauftemperatur und der Durchflussmenge des Kühlwassers in jedem der vier Kanäle zur Verfügung.

Vergleich der aus der Abwärme berechneten mit den in der Aare gemessenen Temperaturerhöhungen

Etwa 7 km unterhalb der Beznau befindet sich die amtliche Temperatur-Messstation Aare-Felsenau (Bild 1). Es ist naheliegend, zu fragen, wie die Abwärme des KKB sich auf die Messwerte dieses Thermographen ausgewirkt hat. Um diese Frage zu beantworten und den Einfluss der Temperaturschwankungen von Jahr zu Jahr auszuschalten, werden die Unterschiede zu den Temperaturwerten der nächstoberen unbeeinflussten Bestimmungsstelle Aare-Untersig-

Vergleich der zwischen Stilli und Felsenau von 1969 bis 1976 gemessenen Aarewassererwärmung mit der aus der Abwärme des Kernkraftwerks Beznau berechneten Temperaturerhöhung. Tabelle 2

Jahr	$\overline{T}_{Stilli}$ °C	$\overline{T}_{Felsenau}$ °C	$\overline{T}_F - \overline{T}_S$ °C	$\overline{\Delta T}_{KKB}$ °C	$\overline{Q}_{Aare}$ m³/s
	1)	1)		2)	1)
1969	10,4	11,2	0,8	0,11	533
1970	10,0	10,4	0,4	0,17	735
1971	11,1	11,9	0,8	0,38	381
1972	10,8	11,7	0,9	0,53	425
1973	10,9	11,7	0,8	0,58	507
1974	11,2	12,0	0,8	0,61	539
1975	11,1	11,9	0,8	0,57	625
1976	12,0	12,8	0,8	0,87	378
Mittel	10,94	11,70	0,76	0,48	515

1) Durch das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft bestimmte Jahresmittel.
2) Durch Mischrechnung aus der gemessenen Abwärme des KKB bestimmte Jahresmittel.

genthal/Stilli betrachtet [3]. Dieser Vergleich zeigt, dass die Jahresmittel der Aaretemperatur in Felsenau von 1969 bis 1976 nahezu konstant um 0,8 °C höher waren als diejenigen in Untersiggenthal/Stilli (Tabelle 2). Die in diesem Zeitraum erfolgte Inbetriebnahme mit Vollast des Kernkraftwerks Beznau ist somit aus den Temperaturwerten der Messstation Felsenau nicht feststellbar.

Unter den möglichen Gründen für dieses etwas unerwartete Ergebnis wären zu nennen:

— Der Einfluss der beiden dazwischenliegenden Stauflächen Beznau und Klingnau,

— der Umstand, dass Temperaturen nur an je einer einzelnen Stelle gemessen werden (genauere Erhebungen würden gleichzeitige Messung von Temperatur und Fliessgeschwindigkeit des Wassers an mehreren, nach Breite und Tiefe verteilten Stellen des betreffenden Flussprofils bedingen),

— die zufälligen Fehler der beteiligten Messgeräte, die trotz bestem Warten und Prüfen zurzeit kaum unter je ± 0,1 °C gesenkt werden können, sowie möglicherweise

— die Schwierigkeit der rechnerischen Ermittlung der Mischtemperatur der Aare in Untersiggenthal/Stilli aus den Werten der drei Zuflüsse Aare—Brugg, Reuss und Limmat (Bild 1) zufolge unterschiedlicher Laufzeiten und Tagesschwankungen (Bild 9).

Es ist verständlich, dass mittlere Temperaturerhöhungen in Flüssen von rund 0,6 °C, wie dies durch das KKB in der Aare unterhalb der Beznau bewirkt wird, durch übliche Messverfahren mit Messfehlerkombinationen der ähnlichen Grössenordnung nicht oder nur sehr ungenau festgestellt werden können. Noch schwieriger ist naturgemäss der Nachweis des Abbaus solcher Temperaturerhöhungen durch Ausgleich mit der Atmosphäre.

4. Chemische Verhältnisse

Aarewasser

Im Rahmen der koordinierten Gewässeruntersuchungen an Aare und Hochrhein sind von 1969 bis 1977 in 6- bzw. 12tägigen Intervallen aus der Aare bei Lauffohr, Beznau, Döttingen und Felsenau, aus der Reuss bei Gebenstorf sowie aus der Limmat bei Vogelsang Wasserproben entnommen und analysiert worden auf Sauerstoffgehalt sowie drei andere Gehaltswerte. Die entsprechenden Ergebnisse wurden durch das Eidg. Amt für Umweltschutz ausgewertet.

Innerhalb eines anderen Untersuchungsprogrammes sind im engeren Messbereich Beznau seit 1966 durch Laboratorien des Kantons Aargau jährlich 1- bis 4mal an 6 Stellen der Aare Wasserproben untersucht worden. Es wurden dabei je 12 bis 20 Kennwerte bestimmt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen legt der hydrologische Experte *H. Jäckli,* Zürich, in seinem betreffenden Bericht dar [4]. U. a. zeigt er, dass der Betrieb des Kernkraftwerks Beznau den Chemismus des Aarewassers nicht messbar verändert. Der Gehalt des Aarewassers an chemischen Stoffen verläuft überwiegend invers zur Wasserführung der Aare.

Zur Erfassung des Tagesgangs des Chemismus im Aarewasser führten *W. Schmassmann* bzw. dessen Mitarbeiter 1967 und 1971 24stündige Untersuchungen durch. Beide Tagesganguntersuchungen zeigten eine tägliche Periodizität des Sauerstoffgehalts im Aarewasser. Die rund 1,5 mg/l betragenden täglichen Amplituden der Sauerstoffkonzentration machen deutlich, dass ein Vergleich von an verschiedenen Tagen und zu verschiedenen Tageszeiten gemessenen Einzelwerten keine direkte Aussage erlaubt. Die Ergebnisse der beiden Analysenserien sind in den Berichten [6] und [8] niedergelegt. Die Autoren von letzterem stellten ferner statistisch gesichert fest, dass der Durchfluss beim Stauwehr Beznau eine Sauerstoffanreicherung bewirkt, die von regionaler Bedeutung ist und im ganzen restlichen Aarelauf nachgewiesen werden kann.

Die Sauerstoffsättigung im Aarewasser des unteren Aaretals kann als gut bezeichnet werden. So betrug im Oberwasser des Stauwehrs Beznau im Mittel der Jahre 1969 bis 1971 die Sättigung an Sauerstoff 91,6 %. Im Aarelauf vom Stauwehr Beznau bis zur Mündung in den Rhein ist die Sauerstoffsättigung infolge des Sauerstoffeintrags bei den Stauwehren Beznau und Klingnau entsprechend höher.

Kühlwasser

Das zu Kühlzwecken im Kernkraftwerk herangezogene Aarewasser wird während seines Durchflusses durch die Kühlwasseranlagen hinsichtlich seines Gehalts an gelösten Stoffen mit einer Ausnahme nicht verändert. Die Ausnahme bilden die im Wasser gelösten Gase, deren Gleichgewichts-Sättigungswerte ja temperatur- und druckabhängig sind. Unter diesen Gasen ist vor allem der Sauerstoff wesentlich für die ökologischen Verhältnisse eines offenen Gewässers. Das Untersuchungsprogramm hinsichtlich des Chemismus des Kühlwassers konnte sich somit auf die Bestimmung des O_2-Gehalts beschränken.

Die Kühlwasserführung im Kernkraftwerk Beznau ist in Abschnitt 3 generell beschrieben. Hier sei noch beigefügt, dass das Kühlwasser die Abwärme des Kraftwerks im Kondensator innert 5 Sekunden aufnimmt, und sich nach etwa weiteren 50 Sekunden in das Aareknie ergiesst. Ferner wurde festgestellt, dass zufolge der Heberwirkung bei vollem Durchfluss in der Kondensatorachse ein mittlerer Unterdruck von 4,5 m Wassersäule herrscht. Die Fliesszeit durch den gesamten Unterdruckbereich beträgt rund 12 Sekunden. Der Aufwärmbereich liegt innerhalb des Unterdruckbereiches.

Zur Bestimmung der O_2-Veränderungen im Kühlwasser ist 1970/1971 über einen vollen Jahreszyklus in der Regel monatlich und bei Vollast der O_2-Gehalt des Kühlwassers vor dessen Einlauf und im Auslauf von Kraftwerkblock I bestimmt worden.

Betrachtet man die entsprechenden Messresultate im betreffenden Bericht [10] bzw. Tabelle 3, so ist festzustellen, dass von 11 vergleichenden O_2-Bestimmungen an Kühlwasserproben deren 8 vor der Rückgabe einen etwas geringeren Sauerstoffgehalt ergeben, während 3 Proben kleine Zunahmen zeigen. Die Veränderungen halten sich somit in sehr engen Grenzen. In den meisten Fällen wird überdies der geringe O_2-Verlust des Kühlwassers mehr als kompensiert durch die Sauerstoffaufnahme des Aarewassers im

Sauerstoffgehalt im Kühlwasser des Kernkraftwerks Beznau I vor und nach der Erwärmung. Tabelle 3

Datum	Vor den Kondensatoren		Nach den Kondensatoren		Unterschied
	Gehalt mg/l	Sättigung %	Gehalt mg/l	Sättigung %	Gehalt mg/l
4. 3. 70	11,2	93	11,5	117	+0,3
5. 3. 70	11,8	96	11,7	118	—0,1
17. 4. 70	12,1	106	10,7	113	—1,4
19. 5. 70	11,8	110	10,1	113	—1,7
16. 6. 70	9,4	104	9,5	117	+0,1
20. 8. 70	9,35	103	9,0	104	—0,4
9. 9. 70	8,5	94	8,2	100	—0,3
14. 10. 70 m	8,5	86	8,6	101	+0,1
14. 10. 70 n	8,8	89	8,5	100	—0,3
28. 1. 71	10,7	86	9,6	98	—1,1
2. 3. 71	11,0	83	10,2	95	—0,8

m: 6.30 Uhr
n: 16.30 Uhr

Tosbecken des Stauwehrs Beznau. Es ist in diesem Zusammenhang auch zu beachten, dass der Sauerstoffverlust des Kühlwassers ein ausgesprochen lokales Phänomen ist, und dass die gesamte mittlere Kühlwassermenge von 39 m³/s bloss 7 % des langjährigen Jahresmittels der gesamten Aarewassermenge bei der Beznau von rund 550 m³/s ausmacht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass diese Messreihe im Kernkraftwerk Beznau die bei ausländischen Untersuchungen [11] festgestellte lange Reaktionszeit, die zur Erreichung des einem erhöhten Temperaturniveau entsprechenden chemisch-physikalischen Gleichgewichtszustandes nötig ist, bestätigt hat. Dank dieser langen Reaktionszeit sind bei Kühlwasserführungen mit kurzen Rückgabekanälen kaum erhebliche Sauerstoffverluste im Kühlwasser vor der Rückgabe in den Vorfluter zu befürchten.

5. Biologische Verhältnisse

Zunächst ist festzuhalten, dass vor der Erstellung des KKB das Aareknie während rund 120 Tagen pro Jahr ein Bekken nahezu stagnierenden Wassers bildete. Seit Inbetriebnahme des KKB hingegen wird das Aareknie ständig mindestens von 40 m³/s Aarewasser mit hoher Sauerstoffsättigung durchströmt.

Flora

Von 1966 bis 1971, d. h. vor und nach Inbetriebnahme des KKB, wurde durch *W. Schmassmann* und dessen Mitarbeiter im Aareknie und bis etwa 1km unterhalb des hydraulischen Kraftwerks Beznau der Bestand an Wasserpflanzen aufgenommen und kartiert. Dabei ist nur die aquatile Makroflora berücksichtigt worden, nicht aber die Mikroflora. Erhoben worden sind die vorhandenen Arten, deren Häufigkeit, Deckungswert und Verbreitung. Die Ergebnisse dieser Vegetationsaufnahmen sind niedergelegt in den Berichten [6], [8] und [9]. Es scheint, dass in der betrachteten Flussstrecke die Hochwasser von überwiegenderem Einfluss sind auf den Bestand an aquatiler Flora als die Temperaturerhöhung.

Fauna

Untersuchungen über die Makrofauna der Flusssohle sind 1966 bis 1969 und 1971 durch *W. Schmassmann* und Mitarbeiter durchgeführt worden. Die betreffende Untersuchungstechnik und die Ergebnisse sind in ihren Berichten [6], [8] und [9] beschrieben.

Weitere bodenfaunistische Untersuchungen in der Aare im Messgebiet Beznau sind 1969 bis 1973 durch die EAWAG im Rahmen der koordinierten Gewässeruntersuchungen an Aare und Hochrhein gemacht worden. Ueber deren Methodik und Resultate orientieren der entsprechende Bericht [5] sowie der Beitrag von *J. Bloesch* im vorliegenden Heft.

Fischereiliche Verhältnisse

Aufgrund der betreffenden Fangmeldungen hat *W. Schmassmann* die gesamten Fangerträge in den Fischenz-Revieren der Aare bei der Beznau für die 7 Jahre 1960 bis und mit 1966 einzeln und gesamthaft nach Fanggewichten von 13 Fischsorten statistisch ausgewertet. Die Ergebnisse sind niedergelegt in seinem Bericht [6]. Dass in diesen Revieren verhältnismässig selten Forellen, hingegen überwiegend karpfenartige Fische gefangen wurden, ist — wie auch andernorts festgestellt wurde — dem Einfluss der Stauhaltungen zuzuschreiben.

Anschliessend ist im Jahre 1968 beim Fischpass des Stauwehrs Beznau unter der Leitung von *W. Schmassmann* eine Zählung der aufsteigenden Fische durchgeführt worden. Die betreffenden Zählergebnisse sind in Bericht [7] aufgeführt und das Auftreten der Fische gesamthaft und nach Arten geordnet darin in Beziehung gesetzt zur Wassertemperatur und zur Abflussmenge der Aare. Weitere Fischaufstiegszählungen erfolgten in den Jahren 1969, 1970 und 1976. Ferner ist 1974 durch *W. Geiger,* EAWAG, ein Gutachten ausgearbeitet worden über die räumliche und zeitliche Begrenzung eines Fischereiverbots bei den Kühlwasserausläufen. Diese Expertise war erforderlich geworden zufolge der Fischansammlungen in der Warmwasserzone des Aareknies und des dortigen übermässigen Fischfangs.

Über den Einfluss der Abwärme des Kernkraftwerks Beznau auf die fischereilichen Verhältnisse der Aare in dessen Umgebung kann derzeit kein abschliessender Befund gegeben werden. Es ist vorgesehen, die betreffenden Untersuchungen fortzusetzen.

Literatur

[1] Eidg. Departement des Innern: Gewässerschutztechnische Gesichtspunkte im Zusammenhang mit der Kühlwasserentnahme und -rückgabe bei konventionell- und nuklearthermischen Kraftwerken (Bern, 1968)

[2] Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau, VAWE, Zürich: Bericht über die Durchmischungsversuche von kaltem und erwärmtem Wasser am Modell der Aare beim Atomkraftwerk Beznau (Im Auftrage der NOK, 1968)

[3] Eidg. Amt für Wasserwirtschaft: Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz (Bern, 1969—1975)

[4] Jäckli H.: Die Grundwasserverhältnisse im Aaretal zwischen dem Unterwald Würenlingen und Leuggern (Im Auftrage des Baudepartements des Kantons Aargau, 1977)

[5] Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, EAWAG, Dübendorf: Bericht über die biologischen Untersuchungen (Bodenfauna) der Aare beim Kernkraftwerk Beznau im Hinblick auf die Flusserwärmung infolge der Kühlwassernutzung (Im Auftrage des Baudepartements des Kantons Aargau, 1975)

[6] Schmassmann W.: Die ökologischen und fischereilichen Verhältnisse in der Aare bei der Beznau vor Inbetriebnahme des Atomkraftwerks Beznau (Im Auftrage der NOK, 1967)

[7] Schmassmann W.: Bericht über die Fischaufstiegskontrollen 1968 im Fischpass des Stauwehrs des Kraftwerks Beznau (Im Auftrage der NOK, 1969)

[8] Schmassmann W., Schmassmann H., Streit B. und Müller HJ.: Bericht über ergänzende Untersuchungen der ökologischen Verhältnisse in der Aare beim Kraftwerk Beznau vor der Inbetriebnahme des Atomkraftwerks Beznau (Im Auftrage der NOK, 1972)

[9] Schmassmann W., Schmassmann H., Streit B. und Müller HJ.: Die ökologischen Verhältnisse in der Aare bei Beznau seit Beginn der Flusserwärmung im Jahre 1969 bis Ende 1971 (Im Auftrage der NOK, 1972)

[10] Véya R. und Samuel T.: Untersuchungen über die Veränderung des Sauerstoffgehaltes im Kühlwasser des Atomkraftwerks Beznau I (Interner Bericht der NOK, 1971)

[11] Krolewski H. und Resch G.: Untersuchungen über die Aenderungen des Sauerstoffgehaltes im Kühlwasser von Dampfkraftwerken. «Die Wasserwirtschaft», H. 2 (1965).

Adresse der Verfasser: Werner Schmid, dipl. Ing. ETH, und Raymond Véya, dipl. Ing. ETH, Vizedirektor, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, NOK, 5401 Baden.