

# Gedanken zur Inbetriebnahme des Atomkraftwerkes Beznau I

Autor(en): **Junker, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **88 (1970)**

Heft 24: **Sonderheft zum 70. Geburtstag von Dr. C. Seippel**

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-84538>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

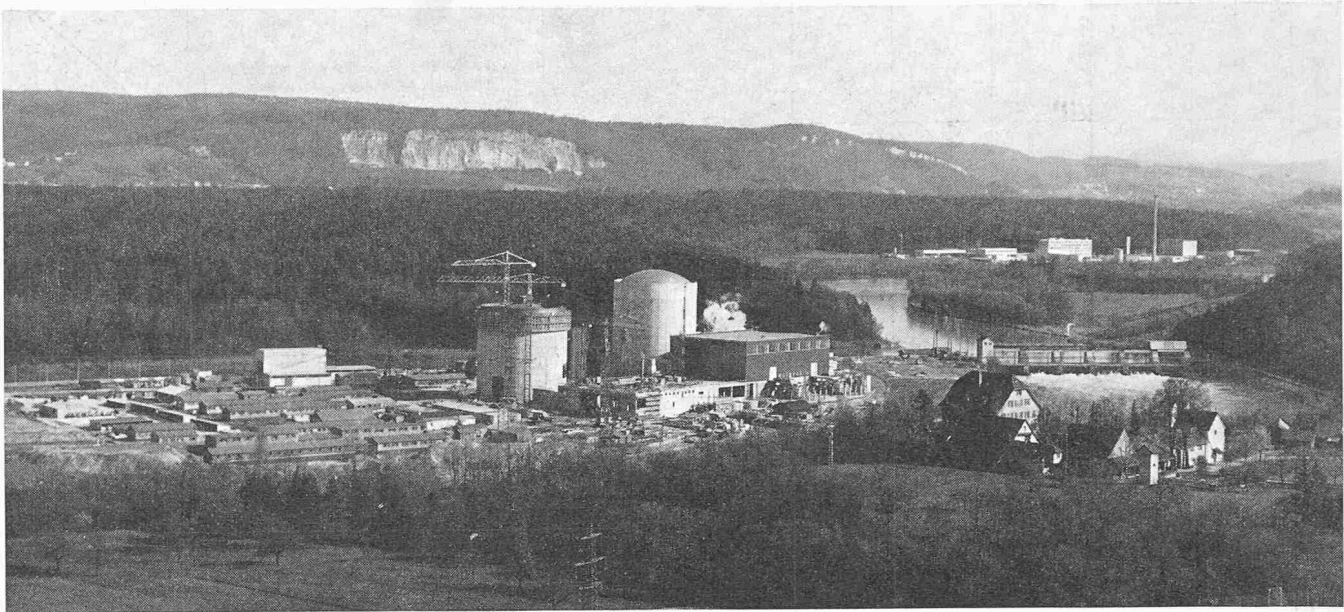


Bild 1. Gesamtansicht der beiden Anlagen Beznau I+II. Rechts im Hintergrund die Anlagen des Eidg. Instituts für Reaktorforschung

## Gedanken zur Inbetriebnahme des Atomkraftwerkes Beznau I

Von R. Junker, dipl. Ing., Zürich

DK 621.311.25:621.039:658.562

### 1. Einleitung

Schon in den fünfziger Jahren wurden einerseits theoretische Betrachtungen über die Optimalisierung von Dampfkreisprozessen im Zusammenspiel mit Atomreaktoren angestellt. Andererseits stehen wir heute vor der Tatsache, dass das erste Atomkraftwerk in der Schweiz seit Anfang September 1969 kontinuierlich Energie ins Netz liefert. Dies mag uns zeigen, wie schnell die Entwicklung in der Technik heute vorwärtsschreitet.

Im Jahre 1965, d. h. kurz nachdem sich die Möglichkeit bot, ohne staatliche Hilfe wirtschaftliche Atomkraftwerke zu bauen, bestellten die Nordostschweizerischen Kraftwerke (NOK) ein schlüsselfertiges Atomkraftwerk beim Lieferkonsortium «Westinghouse International Atomic Power Co. AG / Brown, Boveri & Cie.». Das Konsortium wurde somit verantwortlich für Projektierung, Erstellung, Inbetriebsetzung, Probetrieb und Übergabe der gesamten Anlage. Innerhalb dieser Partnerschaft wiederum zeichnete Brown, Boveri verantwortlich für die gesamte Sekundäranlage, welche aus folgenden Hauptteilen besteht:

- zwei komplette Turbogruppen zu je 182 MW mit Turbomat (elektronischer Dampfturbinenautomatik), mit Kondensation, fünfstufiger Vorwärmung und automatischem Dampfbypass
- drei Speisepumpengruppen
- eine Ausblasestation für die Dampferzeuger des Reaktors
- je eine vollautomatische Druckluftanlage für Steuerluft und Werkluft für die Versorgung des gesamten Kraftwerkes
- Haupt- und Hilfskühlwassersystem einschliesslich Hauptkühlwasserversorgung für den Reaktor und dessen Hilfsbetriebe
- eine komplette automatische Wasseraufbereitungsanlage für das gesamte Kraftwerk
- zwei komplette Notstromdieselgruppen
- eine Hilfskesselanlage
- die gesamte elektrische 6-kV- und 380-V-Schaltanlage
- die entsprechenden Transformatorenanlagen für Erregung und Eigenbedarf

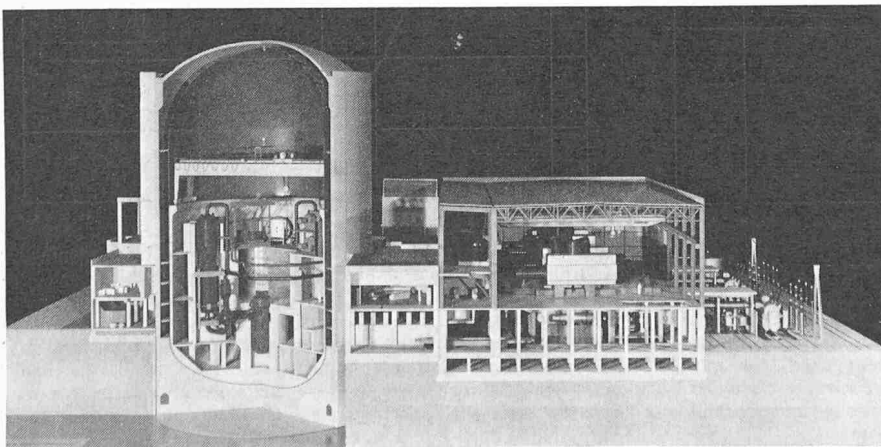


Bild 2. Modellansicht von Beznau I

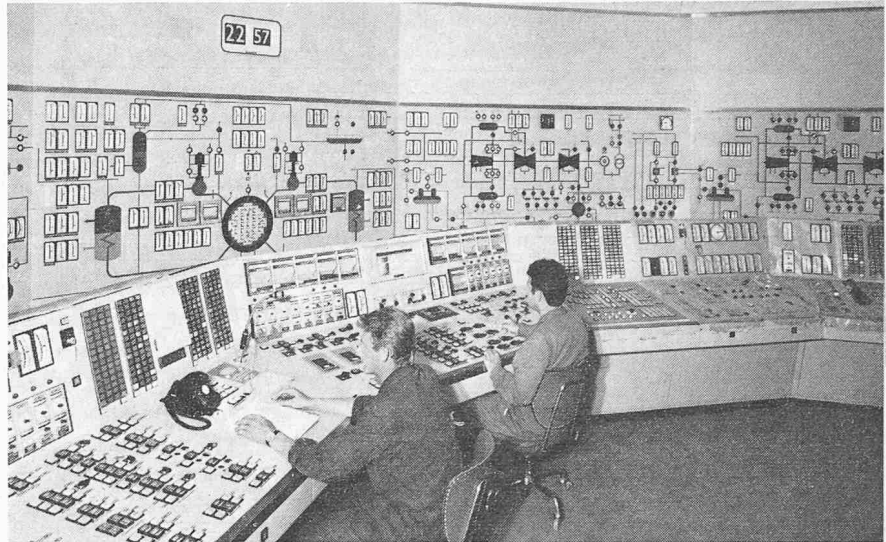
Links: Containment mit Reaktor-Druckgefäss, Reaktorhauptkühlpumpe und einem Dampferzeuger

Mitte: Zwischenbau mit Kommandoraum und Relaisräumen

Rechts: Maschinenhaus mit den beiden Turbogruppen.

Ganz rechts: Stromabgänge, Hilfs- und Hochspannungstransformatoren.

Bild 3. Kommandoraum  
 Links: Reaktor mit Hilfsbetrieben  
 Rechts: Turbogruppen mit Hilfsbetrieben



- Haupt- und Hilfskränen im Maschinenhaus
- die zugehörigen Bauarbeiten einschliesslich Heizung und Lüftung

Die Firma Westinghouse als federführender Konsortialpartner lieferte den Druckwasserreaktor samt den zugehörigen Hilfseinrichtungen und Bauarbeiten.

Schlüsselfertige Kraftwerke bringen für den Besteller grosse Vorteile und Vereinfachungen mit sich. Für den Erbauer jedoch stellt sich eine Vielzahl von Koordinations- und Planungsproblemen, wenn die vielen und recht verschiedenartigen Untersysteme termin- und funktionsgerecht zum Zusammenspiel kommen sollen. Aus diesem Grunde sollten die Inbetriebsetzungsingenieure schon sehr frühzeitig bei der Planung beigezogen werden.

## 2. Die Aufgaben des Inbetriebsetzungsingenieurs

Der Posten des Inbetriebsetzungsingenieurs stellt das letzte Glied in der langen Kette der mit der Auftragsabwicklung betrauten Stellen dar, d. h. er ist die letzte technische Kontrollinstanz. Er hat die Aufgabe, eine Vielzahl von kleinen und grossen, bekannten und unbekanntem Systemen termingerecht in einen zuverlässigen und ungefährlichen Betriebszustand zu bringen. Er ist verantwortlich für die Ausbildung des Kundenpersonals, für die Durchführung und Organisation von vielen Spezialversuchen bis zum Nachweis der Funktionstüchtigkeit und der Einhaltung des Wirkungsgrades der gesamten Anlage. Dabei sind die ent-

sprechenden Kontroll- und Abnahmebehörden zu konsultieren. Schliesslich hat er die gemachten guten und schlechten Erfahrungen an die Konstruktionsabteilungen weiterzuleiten.

Diese Bedingungen führen fast zwangsläufig zu einem mehr oder weniger «ketzerischen» Charakter des erfahrenen Inbetriebsetzers, denn er «glaubt» nichts mehr, sondern betrachtet alles äusserst kritisch und überzeugt sich selbst von der Vollständigkeit und Funktionstüchtigkeit seiner Anlagenteile. Deshalb muss er auch mit entsprechenden Kompetenzen ausgerüstet werden, um festgestellte Mängel sofort korrigieren zu können. Oft ist schon ein beträchtlicher Anteil der ursprünglich für die Inbetriebsetzung vorgesehenen Zeit infolge Änderungen und verspäteter oder unvollständiger Anlieferung und Montage nutzlos verstrichen, d. h. die Inbetriebsetzung muss entsprechend beschleunigt werden, um den Endtermin einhalten zu können.

## 3. Koordination der Inbetriebsetzungsarbeiten zwischen Primär- und Sekundärseite

Bis zum «heissen Funktionstest» haben grundsätzlich die primärseitigen wie die sekundärseitigen Inbetriebsetzungsequipen unabhängig voneinander gearbeitet. Die beiden Chefs haben sich frühzeitig über allfällige Kollisionspunkte gegenseitig orientiert und das gemeinsame Vorgehen besprochen. Hierbei hat sich jeweils die Sekundärseite den Wünschen der Primärseite angepasst. Diese Regelung ergab sich ganz einfach aus dem technischen Auf-

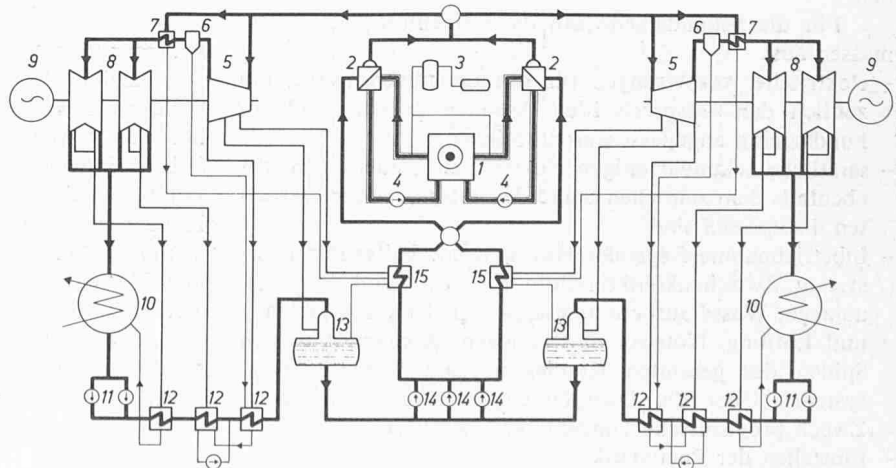


Bild 4. Vereinfachtes Wärmeschaltbild der Gesamtanlage

- |                       |                                     |
|-----------------------|-------------------------------------|
| 1 Reaktor             | 9 Generator                         |
| 2 Dampfzeuger         | 10 Kondensator                      |
| 3 Druckhalter-System  | 11 Kondensatpumpen                  |
| 4 Reaktor-Hauptpumpen | 12 ND-Vorwärmer                     |
| 5 Hochdruckturbine    | 13 Speiswasserbehälter mit Entgaser |
| 6 Wasserabscheider    | 14 Speiswasserpumpen                |
| 7 Überhitzer          | 15 HD-Vorwärmer                     |
| 8 Niederdruckturbine  |                                     |

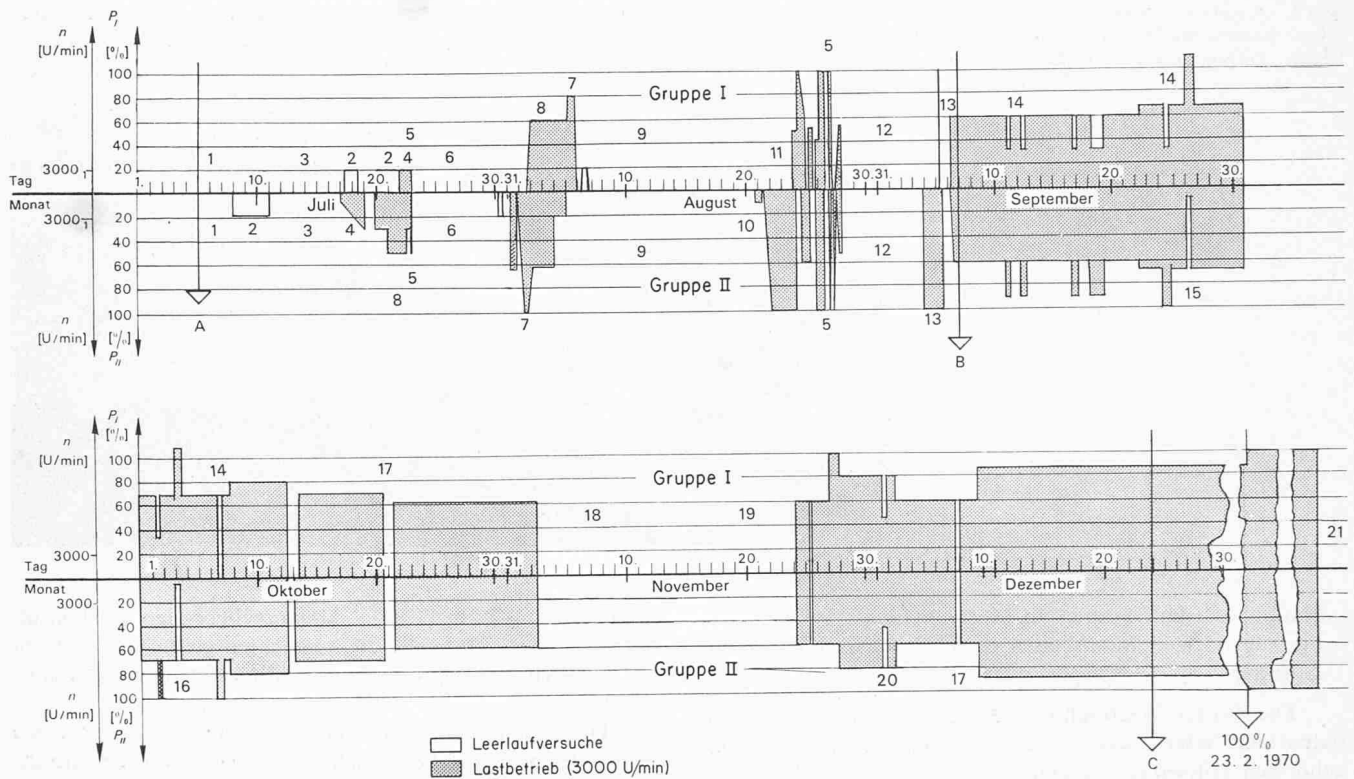


Bild 5. Belastungsdiagramm der beiden Turbogruppen während der Inbetriebsetzung. A Erster nuklearer Dampf, B Beginn des industriellen Probebetriebes, C Übergabe an NOK

- 1 Vakuumversuche
- 2 Leerlaufversuche mechanischer und elektrischer Art
- 3 Arbeiten an Reaktor und Ausblasstation
- 4 Erstes Parallelschalten, Belastungsversuche und Schnellumschaltversuche für die Hilfsbetriebe
- 5 Abschaltversuche
- 6 Änderungsarbeiten an Einlassorganen und Rohrleitungssystemen
- 7 Erster Vollastbetrieb der einzelnen Turbogruppen
- 8 Inbetriebnahme der Zwischenüberhitzer
- 9 Nachspannen der HD-Zylinderflansche infolge Leckagen, Lagerkontrollen, Einbau von Schalldämmvorrichtungen in den Bypassventilen, Änderungen an Rohrleitungen wegen Entwässerungsschwierigkeiten
- 10 Ausprüfen der automatischen Umschaltung auf Eigenbedarf

- 11 Nachbalancieren der Turbogruppe 1
- 12 Änderung der Entwässerung an den Hochdruckvorwärmern
- 13 Stabfalltest (Reaktortest)
- 14 Kühlrohrbrüche im Kondensator der Turbogruppe 1
- 15 Reparatur an der Speiswasserleitung der Turbogruppe 2 (Flanschleckagen)
- 16 Reparatur an Hochdruckschieber in Speiswasserleitung der Turbogruppe 2
- 17 Reaktor-Abschaltversuche
- 18 Unterbrechung des Probebetriebes zwecks Behebung von Reaktorschwierigkeiten, Nacharbeiten der Hochdruckzylinderflansche, Aufpanzern der Flansche an Einlass- und Zwischenüberhitzerventilen sowie Änderung an den Speisepumpenmotorlagern
- 19 Ab 17.11.69 ist die gesamte Sekundäranlage anfahrbereit
- 20 Spezialmessungen am Reaktor
- 21 Stillstand 17.4.70 zum definitiven Einbau der Instrumentierung für den abschliessenden Abnahmeversuch

bau der Anlage: Die Sekundärseite muss die Primärseite mit sehr vielen Hilfsgrössen beliefern, nicht aber umgekehrt (demineralisiertes und entgastes Wasser, Baustrom, elektrische Energie für alle Anlagenteile, Steuerluft, Werkluft, Heizdampf, Kühlwasser). Dementsprechend ergab sich auch die chronologische Reihenfolge, nach welcher alle Systeme und Hilfssysteme durchgeprüft und in Betrieb gesetzt wurden.

Für die Sekundärseite sah die Reihenfolge folgendermassen aus:

- elektrische Anspeisungen für das Gesamtkraftwerk, die zeitlich den entsprechenden Arbeiten primär- und sekundärseitig angepasst werden müssen
- sämtliche sekundärseitigen elektrischen Steuerungen, die ebenfalls dem zeitlichen Stand der entsprechenden Arbeiten anzupassen sind
- Inbetriebnahme folgender Hilfsanlagen: Hilfskühlwassersystem, Zwischenkühlkreisläufe, Steuerluft und Werkluftanlagen, Wasseraufbereitungsanlage, Hilfskessel, Heizung und Lüftung, Notstromdieselanlagen, Kondensatpumpen
- Spülen des gesamten Kondensat- und Dampfleitungssystems. Über die Dampferzeuger wurden zu diesem Zweck provisorische Umgehungen montiert
- Einstellen der Pneumatik

- Einstellung und Inbetriebnahme der drei Speisepumpengruppen
- Inbetriebnahme des Hauptkühlwassersystems; Einfahren der Kondensatoren zwecks Schutzschichtbildung auf den Kühlrohren
- Einstellen der Ausblasstation und der Sicherheitsventile
- Einstellen der Turbinenhydraulik und Durchsimulieren aller möglichen Regelvorgänge
- Durchsimulieren der gesamten elektronischen Dampfturbinenautomatik (Turbomat).

Analog dazu wurden auf der Primärseite die entsprechenden Inbetriebsetzungsarbeiten durchgeführt. Hiefür hat man soweit wie möglich Kundenpersonal beigezogen. Sobald irgendeine Anlagenkomponente betriebs sicher gefahren werden konnte, wurde sie den Operateuren des Kunden zur Bedienung übergeben, jedoch unter der vollen Verantwortung und Aufsicht des Konsortiums. Dies schliesst den Vorteil in sich, die Operateure frühzeitig mit dem Verhalten der einzelnen Anlagenteile vertraut zu machen.

In diesem Zustand wurde der sogenannte Hot Functional Test durchgeführt: Mit Hilfe der Reaktorhauptpumpen ( $2 \times 2650$  kW) und der Heizung im Druckhalter wird der Primärkreis langsam auf Betriebsdruck und -temperatur gebracht (rund 150 bar,  $280^\circ\text{C}$ ). Der Reaktor ist dabei

noch nicht mit Brennstoff geladen. Der Zweck dieses Tests ist die reelle Prüfung möglichst aller Reaktorkomponenten auf mechanische, thermische und elektrische Funktionstüchtigkeit. Viele Regelungen und Steuerungen können dabei unter Betriebsbedingungen erstmals auf ihr Verhalten geprüft werden.

In den Dampferzeugern kann hierbei, entsprechend der im Primärkreislauf zugefügten Energie, eine kleine Dampfmenge erzeugt werden, welche ebenfalls normale Betriebszustände erreicht (rund 64 bar, 280 °C Sattedampf). Diese Gelegenheit wurde benützt zum Prüfen der Ausblasestation (Regelstabilität bei sehr kleinen Ausblasmengen) sowie zur scharfen Prüfung und Abnahme der Sicherheitsventile durch den Schweiz. Verein von Dampfkessel-Besitzern (SVDB). Ferner konnte das ganze Vakuumsystem einer Turbogruppe ausprobiert und auf Dichtheit geprüft werden.

Nach der erfolgreichen Durchführung des Hot Functional Test wurde der Reaktor mit Brennstoff geladen, und es erfolgten eine Reihe von Versuchen, welche zur Eichung der Nuklearinstrumentierung und Bestimmung wichtiger Reaktorcharakteristiken dienten. Diese Versuche wiederum wurden zuerst bei kaltem und anschliessend bei warmem Primärkreislauf durchgeführt.

Am 30. Juni 1969 konnte der Reaktor zum ersten Mal kritisch gemacht werden, d. h. seine Kettenreaktion wurde selbsterhaltend. Die anschliessenden physikalischen Versuche bei kleiner Leistung dienten wiederum zur Verifizierung von wichtigen Reaktorparametern.

Am 5. Juli waren alle Vorversuche und behördlich vorgeschriebenen Nachweise so weit erbracht, dass die Reaktorleistung erstmals auf 5 % der thermischen Maximal-

leistung von 1130 MW erhöht werden durfte. Die dabei erzeugte Dampfmenge genügte, um das Bypass-System zum Kondensator der ersten Turbogruppe in Betrieb zu nehmen und um die erste Turbogruppe auf Normaldrehzahl zu bringen sowie die Leerlaufversuche durchzuführen. Am 17. Juli konnte zum ersten Mal «Atomstrom» ins Schweizer Nest geliefert werden; ein historischer Tag!

Aus der nachfolgenden Zusammenstellung ist der weitere Ablauf der Inbetriebsetzung bis zur Übergabe ersichtlich:

	geplant	ausgeführt
Hot Functional Test	15. 10. 68	25. 4. 69
Erste Kritikalität		30. 6. 69
Erster nuklear erzeugter Dampf	1. 2. 69	5. 7. 69
Turbogruppe 2 auf Drehzahl		9. 7. 69
Turbogruppe 1 auf Drehzahl		17. 7. 69
Turbogruppe 2 am Netz		17. 7. 69
Turbogruppe 1 am Netz		22. 7. 69
Turbogruppe 2 Vollast 182 MW einzeln		2. 8. 69
Turbogruppe 1 Vollast 182 MW einzeln		5. 8. 69
Beginn Probebetrieb (12 Wochen)	1. 8. 69	6. 9. 69
Provisorische Übergabe	1. 11. 69	24. 12. 69

Die total erzeugte elektrische Energiemenge beträgt:  
 Bis zur Übergabe (24. 12. 69) rund 500 000 MWh  
 Bis Mitte April 1970 rund 1 500 000 MWh

Diese Daten belegen deutlich, dass das erste Atomkraftwerk der Schweiz als voller Erfolg zu werten ist. Bezüglich Terminhaltung und Energieproduktion steht die Anlage Beznau I eindeutig an der Spitze aller bis heute gebauten Atomkraftwerke. Dieser Erfolg war weitgehend dank der vorbildlichen Zusammenarbeit aller Beteiligten erzielt worden.

## Betrachtungen über die Wirtschaftlichkeit

DK 330.13:62

Von G. Baumann, dipl. Ing., Untersiggenthal, und Dr. G. Oplatka, dipl. Ing., Zürich

### 1. Einleitung

Wenn der Ingenieur in seiner ureigenen Aufgabe tätig ist, muss er vielartige Umsicht walten lassen. Er soll die Naturgesetze kennen und sie sinnvoll anwenden, die Eigenschaften der Materie erfassen und sie richtig berücksichtigen und nicht zuletzt die Gesetze der Wirtschaft abschätzen, um seine Produkte, Systeme, Prozesse erfolgreich zu gestalten. Das Mitbeziehen der Wirtschaftlichkeit in seine Betrachtungen gibt letztlich das sinnvolle Mass für eine ausgewogene technische Lösung. Dabei ist die Wirtschaftlichkeit ganz allgemein zu fassen, indem die Ergebnisse im Verhältnis zu den Aufwendungen abzuwägen sind. Aufwendungen können Arbeitszeiten, Investitionen, Versuchskosten, Risikoprämien, Materialkosten usw. sein. Weil die verschiedenen Aufwendungen und die Ergebnisse gewertet werden müssen, rechnet man bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen am einfachsten mit Geldeinheiten. Sobald das technische Schaffen in die Wirtschaft hineingestellt ist, ist die Wirtschaftlichkeit nicht nur «massgebend», sondern wird zur Notwendigkeit.

Bei technischen Problemen bieten sich meistens mehrere Lösungsmöglichkeiten, die alle, vom rein technischen Standpunkt aus gesehen, an und für sich einwandfrei sind. Anders ausgedrückt, es gibt für die Lösung mehr Freiheitsgrade als Bedingungen. Dabei werden die fehlenden Bedingungen eben durch die Wirtschaftlichkeitskriterien geliefert, und durch Berücksichtigung dieser wird die Lösung des Problems – im Prinzip zumindest – mathematisch eindeutig.

Ohne Beachtung dieser Verknüpfung von Technik und Wirtschaft lässt sich die zeitgemässe Ingenieurertätigkeit kaum

mehr denken. Im Folgenden sollen einige Gedanken, die sich bei unserer Arbeitsweise in den letzten Zeiten auskristallisiert haben, wiedergegeben werden.

### 2. Grundsätzliches

Wenn immer im Zusammenhang mit einer industriellen oder kaufmännischen Tätigkeit das Wort «Wirtschaftlichkeit» fällt, wird dabei meistens ein Gewinn gemeint, womöglich der grösste. So einfach diese These zu sein scheint, so ist sie es bei näherer Betrachtung doch nicht. Das Kriterium der «Wirtschaftlichkeit» lässt sich logisch nicht herleiten und muss deshalb definiert werden. Mehrere Definitionen scheinen sinnvoll zu sein, und es ist eine Ermessensfrage, welche jeweils zu wählen ist.

Einige der meist erwogenen Möglichkeiten sind: grösstmögliche Rentabilität, das heisst Gewinn bezogen auf investiertes Kapital; grösstmöglicher absoluter Gewinn; kleinster Erzeugungspreis einer Ware usw. Diese Bedingungen sind grundsätzlich voneinander verschieden, können jedoch unter Umständen ineinander übergehen.

Es hat sich als fruchtbar erwiesen, für technisch-wirtschaftliche Betrachtungen über Wärmekraftanlagen den maximalen absoluten Gewinn als Kriterium zu wählen. Diese Wahl hat den Vorteil, dass keine zusätzlichen Definitionen nötig sind. Meistens – und bei Wärmekraftanlagen sicherlich – entfällt zudem die Notwendigkeit, über die Einnahmen Aussagen machen zu müssen, denn sie hängen nicht von Massnahmen ab, die auf Grund der technisch-wirtschaftlichen Be-