

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 91 (1973)  
**Heft:** 17: SIA-Heft, Nr. 4/1973

**Artikel:** 2300-MW-Kernkraftwerk mit Hochtemperaturreaktoren  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-71854>

### **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:** 02.04.2025

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

Karl Schmid in [7] ausführlich berichtet hat, sondern auch für das Geschichtsverständnis, um das es uns hier zu tun ist.

A. Ostertag

#### Literaturverzeichnis

- [1] Deutscher Verband technisch-wissenschaftlicher Vereine (DVT): Technikgeschichte, Voraussetzung für Forschung und Planung in der Industriegesellschaft, DVT-Schrift Nr. 2/1972. 4000 Düsseldorf 1, Graf-Recke-Strasse 84, Postfach 1139.
- [2] Dennis Meadow, Donella Meadow, Erich Zahn, Peter Milling: Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Stuttgart 1972, Deutsche Verlagsanstalt.
- [3] Jacob Burckhardt: Weltgeschichtliche Betrachtungen. 7. Auflage. Stuttgart 1949. Alfred Kröner Verlag.
- [4] Edgar Bonjour: Geschichte der Schweizerischen Neutralität, Vier Jahrhunderte Eidgenössische Aussenpolitik, sechs Bände, Basel und Stuttgart 1970, Helbing & Lichtenhahn.
- [5] Karl Schmid: Aufsätze und Reden (darin vor allem: Versuch über die schweizerische Nationalität). Zürich, 1957, Artemis Verlag.
- [6] Karl Schmid: Hochmut und Angst. Die bedrängte Seele des Europäers. Zürich 1958, Artemis Verlag.
- [7] Karl Schmid: Unbehagen im Kleinstaat. Zürich und Stuttgart 1963. Artemis Verlag.
- [8] Karl Schmid: Europa zwischen Ideologie und Verwirklichung. Psychologische Aspekte der europäischen Integration. Zürich und Stuttgart 1966, Artemis Verlag.
- [9] Karl Schmid: Zeitspuren. Aufsätze und Reden, zweiter Band. Zürich und Stuttgart 1967, Artemis Verlag.
- [10] Karl Schmid: Standortmeldungen über schweizerische Fragen. Zürich und München 1973, Artemis Verlag.
- [11] Jean Gebser: Dualismus und Polarität. Zürich 1971. Verlag der «Vereinigung für freies Unternehmertum».
- [12] Werner Heisenberg: Der Teil und das Ganze. München 1969, R. Piper & Co.
- [13] B.L. van der Waerden: Erwachende Wissenschaft, I. Band. Basel und Stuttgart 1956, Birkhäuser Verlag; Band II 1968. Vgl. hiezu die Würdigung von Herbert Gross zum siebzigsten Geburtstag in «Neue Zürcher Zeitung» vom 2.2.1973, Morgenausgabe Nr. 53, S. 25.

## 2300-MW-Kernkraftwerk mit Hochtemperaturreaktoren

DK 621.039

Im August 1971 gab die Philadelphia Electric Company in den USA ihren Entschluss bekannt, ein grosses Kernkraftwerk mit zwei gasgekühlten Hochtemperaturreaktoren und einer elektrischen Leistung von  $2 \times 1160$  MW zu bauen. Seit her sind die Projektierungsarbeiten soweit vorangetrieben worden, dass die Baubewilligung gegen Ende 1973, die Kernbeladung der ersten Einheit gegen Ende 1978 und der kommerzielle Betrieb im Mai 1979 erwartet werden können. Die zweite Einheit soll zwei Jahre später in Betrieb gehen.

Mit diesem Beschluss wird deutlich, dass sich der Hochtemperaturreaktor zur kommerziellen Reife entwickelt hat. Eine eingehende Beschreibung des nuklearen Dampferzeugungssystems, der Anordnung der Gesamtanlage und betrieblicher Gesichtspunkte findet sich in «Brennstoff – Wärme – Kraft» 24 (1972) Nr. 10, S. 363–368.

### 1. Die Kraftwerke der Philadelphia Electric Company

Die Philadelphia Electric Company beliefert den südöstlichen Teil von Pennsylvania sowie ein Gebiet im nördlichen Teil von Maryland mit Strom. Sie verfügt über konventionell beheizte Dampfkraftwerke, Gasturbinenanlagen, Laufwasserkraftwerke, Pumpspeicherwerke und Dieselanlagen (installierte Leistung im Jahre 1971 5928 MW). Das erste Kernkraftwerk, Peach Bottom I, wurde im Mai 1967 in Betrieb genommen. Das nukleare Dampferzeugungssystem dieses Werks besteht aus einem gasgekühlten Hochtemperaturreaktor (High Temperature Gas-Cooled Reaktor, HTGR), die elektrische Leistung beträgt 40 MW. Die guten Erfahrungen, die seither mit dieser Anlage, die Helium als Kühlmittel verwendet, gesammelt werden konnten, waren für die Weiterentwicklung des angewendeten Systems für Grossanlagen grundlegend. Dabei wurde ein Reaktor mit Spannbetonbehälter und eine Abwärmeabgabe mittels Kühltürmen vorgesehen.

### 2. Der neue Hochtemperaturreaktor

Die beiden Einheiten des neuen Kernkraftwerkes sind gleich gebaut. Jeder der beiden Spannbetonbehälter enthält einen Reaktorkern und den zugehörigen Primärkreislauf (Helium). Diese Druckbehälter sorgen für die nötige biologische Abschirmung. Der Kern befindet sich im zylindrischen Hohlraum im Zentrum (Bild 1). In den dicken Betonwänden, die ihn umgeben, sind sechs Hohlräume angeordnet, welche die Heliumgebläse und die Dampferzeuger enthalten. In drei weiteren kleineren Hohlräumen werden die wichtigsten Teile des Hilfskühlsystems (Gebläse, Wärmeaustauscher) Platz finden. Die Hohlräume, Verbindungsleitungen und Durchführungen sind mit einer gasdichten Verkleidung aus Kohlenstoffstahl versehen, die das Entweichen von Primärkühlmitteln verhindert und als innere Schalung beim Betonieren dient. Die Vorspannung in Längsrichtung übernehmen Stahlkabel, die in Hüllrohren im Beton angeordnet sind; die radiale Vorspannung wird durch die Technik der Litzenwicklung in Umfangsrichtung erzielt. Mit diesen Massnahmen erreicht man, dass alle wichtigen Behälterteile bei allen möglichen Belastungen bis zum grössten Innendruck auf

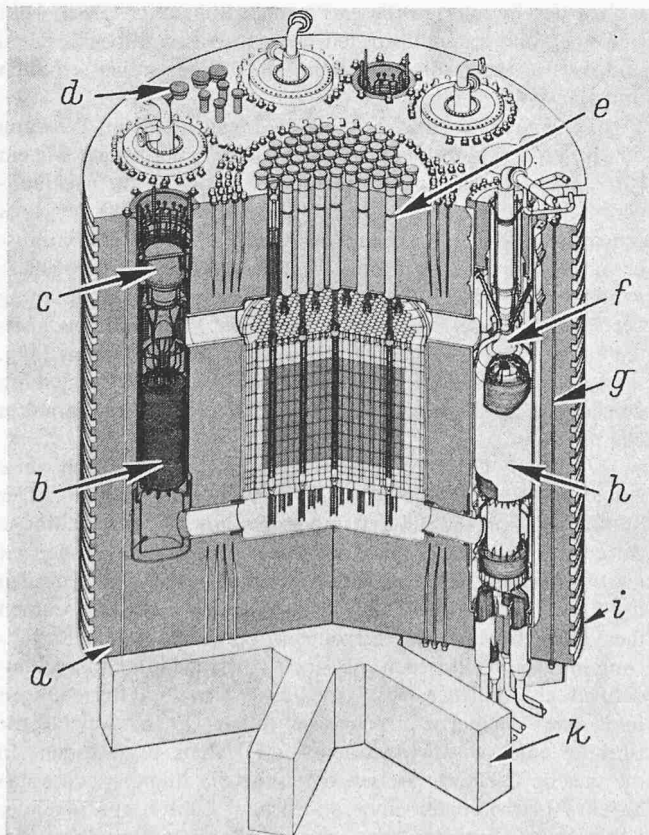
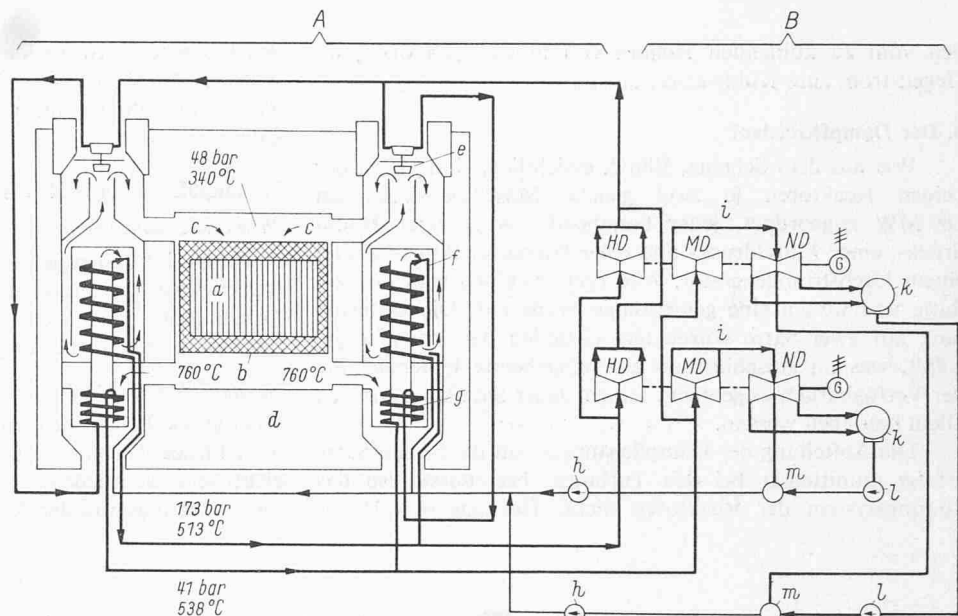


Bild 1. Schnitt durch den Spannbetonbehälter des Hochtemperaturreaktors der Philadelphia Electric Company mit Einbauten

- |                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| a Spannbetonbehälter      | f Hauptgebläse             |
| b Hilfswärmeaustauscher   | g senkrechte Vorspannkabel |
| c Hilfsgebläse            | h Dampferzeuger            |
| d Helium-Reinigungsanlage | i Wickelvorspannung        |
| e Beladerohre             | k Tragkonstruktion         |

Bild 2. Schema der Helium- und Dampf/Wasserkreisläufe

- A Reaktoranlage
- B Turbinenanlage
- a Reaktorkern
- b Reflektor
- c Helium
- d Spannbetonbehälter
- e Heliumgebläse
- f HD-Bündel des Dampferzeugers
- g Zwischenüberhitzer
- h Speisewasserpumpen
- i HD, MD, ND-Turbine
- k Kondensator
- l Kondensatpumpen
- m Speisewasservorwärmer



Druck beansprucht werden. Eine Wärmeisolierung auf der inneren, dem Helium zugewandten Seite der Stahlauskleidung sowie ein System von Kühlrohren auf dessen Aussenseite schützt den Beton vor zu hohen Temperaturen.

Im oberen Deckel des Spannbetonbehälters sind über dem Kern mehrere zylindrische Durchführungen für die Regelstabantriebe und für das Auswechseln von Brennstoffstäben vorgesehen. In weiteren Schächten sind die Anlagen für die Heliumreinigung sowie für die neutronen-physikalische Instrumentierung untergebracht; weitere Schächte dienen der Lagerung von Regelstäben und zur Abschirmung des Druckentlastungssystems.

Der Reaktorkern besteht aus senkrechten Säulen von aufeinanderstehenden, sechseckigen Brennstoff-Moderatorelementen und Reflektorblöcken aus Graphit, die auf einer Tragkonstruktion aus Graphit ruhen. Die zylindrische Anordnung des Kerns ist in Brennstoffregionen unterteilt, von denen jede in der Regel aus einer zentralen, die Regelstäbe enthaltenden Säule sowie den sechs angrenzenden Brennelementsäulen besteht. Der Brennstoff besteht aus angereichertem Uran (Spaltstoff) und Thorium (Brutstoff) in Form von Karbid oder Oxyd. Anfänglich wird als Spaltstoff nur Uran mit einer Anreicherung von 93% U-235 eingefüllt. Später kann bei Nachladungen im Brennstoffzyklus zurückgewonnenes U-233 eingeführt und so ein Teil des U-235 ersetzt werden. Die Uran- und Thoriumpartikel sind mit Schichten aus pyrolytischem Kohlenstoff umgeben; sie werden mit einem Bindemittel zu kurzen Stäben verarbeitet und dann in die sechseckigen Graphitblöcke eingesetzt. Die Beschichtungen der Brennstoffteilchen bilden die Hauptbarriere für die Zurückhaltung gasförmiger Spaltprodukte. Die den Spaltstoff U-235 enthaltenden Brennstoffteilchen sind auch mit Silikonkarbid beschichtet, um zusätzlich metallische Spaltprodukte zurückzuhalten und die Trennung vom Brutmaterial während der Wiederaufbereitung zu erleichtern.

146 Regelstäbe, die paarweise von 73 Antrieben betätigt werden, regeln die Reaktivität. Jeder Stab besteht aus mehreren Absorberteilen und ist für eine gewisse Flexibilität konstruiert. Die Stäbe werden mittels elektrisch angetriebener Winden und Stahlseile ein- und ausgefahren.

### 3. Der Primärkreislauf (Helium)

Es bestehen sechs Hauptkühlkreisläufe mit je einem einstufigen Axialgebläse, das durch je eine einstufige Dampfturbine angetrieben ist. Hierzu dient der Abdampf der Hoch-

druckstufen der Hauptturbinen. Jedes Gebläse weist wassergeschmierte Lager und ein Helium-Sperrgassystem auf, das den Austritt von Helium aus dem Primärkreislauf verhindert.

Regelbare Drosselventile verteilen den Kühlgasstrom am Eintritt zu den 73 Brennstoffregionen derart, dass sich am Austritt gleiche mittlere Gastemperaturen ergeben. Diese Ventile können während des Betriebs verstellt werden.

### 4. Der Dampferzeuger (Bild 2)

Der Hochdruckteil eines jeden Dampferzeugers wird von einem einzigen Rohrbündel aus spiralförmig gebogenen Rohren gebildet, das in einem Ringraum ausserhalb des zentralen Gasführungsrohres angeordnet ist. Unter jedem Hochdruck-Rohrbündel befindet sich ein zweites, ähnlich gebautes für die Zwischenüberhitzung. Das heisse Helium verlässt mit 760 °C den Sammelraum unterhalb des Reaktorkerns, strömt durch radiale Rohre in die Dampferzeuger, wo es zwischen Hochdruck- und Zwischenüberhitzungsbündel eintritt; es durchströmt das letztgenannte von oben nach unten, um dann durch das zentrale Gasführungsrohr zum oberen Ende des Dampferzeugers zu gelangen. Von dort umspült es von oben nach unten das Hochdruckbündel, das als Überhitzer, Verdampfer und Speisewasservorwärmer wirkt. Diese Gasführung ermöglicht eine Verdampfung in Aufwärtsrichtung, wodurch sich eine gute Stabilität bei kleiner Last ergibt. Nach dem Verlassen des Hochdruckbündels strömt das auf 340 °C abgekühlte Helium am äusseren Umfang des Dampferzeugers nach oben in den Saugstutzen des Gebläses. Das Speisewasser tritt mit etwa 190 °C in das Hochdruckbündel ein, an dessen Ende überhitzter Dampf von 173 bar, 513 °C austritt. Der Dampf tritt mit etwa 330 °C in den Zwischenüberhitzer ein und verlässt diesen mit 540 °C.

### 5. Das Hilfskühlsystem

Zur Abfuhr der Nachzerfallswärme ist ein Hilfskühlsystem angeordnet, das drei gleiche unabhängige Kreisläufe aufweist, jeder bestehend aus einem Wärmeaustauscher, einem Heliumgebläse und einer Rückschlagklappe. Ein Kühlwassersystem ausserhalb des Spannbetonbehälters versorgt die Wärmeaustauscher mit unter Druck stehendem Wasser. Die zugehörigen Radialgebläse werden elektrisch angetrieben und arbeiten mit veränderlichen Drehzahlen. Die Rückschlagklappen befinden sich in deren Saugstutzen. Die aus Spiralrohrbündeln aufgebauten Hilfswärmeaustauscher wer-

den vom zu kühlenden Helium von unten nach oben, im Gegenstrom zum Kühlwasser, umspült.

### 6. Der Dampfkreislauf

Wie aus dem Schema, Bild 2, ersichtlich, sind jedem der beiden Reaktoren je zwei gleiche Maschinensätze von 580 MW zugeordnet, jeder bestehend aus je einer Hochdruck-, einer Mitteldruck- und einer Niederdruckturbine und einem Drehstromgenerator. Alle drei Turbinen sind doppel­flutig und weisen eine gemeinsame Welle auf. Die Unterteilung auf zwei Sätze wurde aus Gründen der Vorsicht gewählt, was im Anschluss an eine eingehende Untersuchung der Verfügbarkeit angebracht schien. Jeder Satz kann für sich allein betrieben werden.

Die Aufteilung der Dampfleistungen auf die beiden Sätze erfolgt unmittelbar bei den Turbinen, beeinflusst also das Leitungssystem der Reaktoren nicht. Der aus den Hoch-

druckturbinen austretende Dampf durchströmt zunächst die Antriebs-Turbinen der Heliumgebläse, anschliessend die Zwischenüberhitzer, um dann den Mitteldruckturbinen zugeleitet zu werden.

### 7. Hauptdaten der beiden Kreisläufe

#### Primärkreislauf (Helium)

Reaktor-Eintrittstemperatur	340 °C
Reaktor-Austrittstemperatur	760 °C
Druck am Gebläseaustritt	48 bar
thermische Reaktorleistung	3000 MW

#### Sekundärkreislauf (Wasser/Dampf)

Hochdruck-Turbineneintritt	167 bar, 510 °C
Mitteldruck-Turbineneintritt	38 bar, 538 °C
elektrische Nettoleistung	1160 MW
Nettowirkungsgrad der Anlage	38,6%

## Ausbau eines nordischen Flusssystemes / Kraftwerk­kette auf dem Nelson-Fluss

Von A. Kroms, Boston, USA

DK 627.4:627.8

In den spärlich besiedelten Gebieten der wirtschaftlich unentwickelten tropischen Länder wie auch in nördlichen Zonen einiger Industrieländer sind noch ergiebige, unausgenutzte Wasserkräfte vorhanden. Die Fernübertragung der elektrischen Energie hat die Voraussetzungen für die Verwertung dieser bisher brachliegenden Energiequellen geschaffen. Eine besondere Bedeutung haben dabei die Wasserkräfte der nordischen Flüsse erlangt, so zum Beispiel jene in Skandinavien, Russland und Kanada [1, 2, 3, 4, 5 und 6]. Auf den nordischen Flusssystemen dieser Länder werden Wasserkraftkomplexe geplant und erstellt, die zu den bemerkenswertesten Bauvorhaben der Flussausnutzung der Welt gehören.

Im vorliegenden Beitrag wird der Ausbau eines der nördlichen Flüsse Kanadas – des Nelson-Flusses in der Provinz Manitoba – beschrieben. Dieses Flusssystem ist die grösste noch nicht erschlossene Wasserenergiequelle Nordamerikas. Da die ausnutzbare Flussstrecke sich im hohen Norden, in der Zone des ständig gefrorenen Bodens – «Permafrost» –, befindet, hat ihr Ausbau besondere bauliche Probleme gestellt.

### 1. Die Energiequelle

Die ergiebigsten Wasserkräfte Kanadas befinden sich im Osten (Quebec) und im gebirgigen Westen (British Columbia). Das mittlere Flachland verfügt über ein nur mässiges Wasser-

kraftpotential [7]. Doch befindet sich auch hier ein wichtiger Träger der Wasserenergie, das Nelson-Flusssystem, welches bisher nicht ausgebaut worden war, nun aber einer umfassenden Bauplanung unterliegt. Dieses liegt in der Provinz Manitoba (Bild 1); seine Erschliessung wird von der Staatsbehörde «Manitoba Hydro» durchgeführt [8, 9, 10 und 11].

Manitoba ist eine der Prärieprovinzen Kanadas, deren Oberfläche 670000 km<sup>2</sup> beträgt. Das Flachland ist von zahlreichen Seen bedeckt; der grösste davon – der Winnipeg-See – hat eine Oberfläche von 24000 km<sup>2</sup>. Diesem See entspringt der Nelson-Fluss; er leitet das Wasser nordwärts und mündet nach einem 660 km langen Lauf in den Hudson-Golf. Der Fluss führt in seinem Unterlauf über eine Reihe von Stromschnellen, wo grosse Wasserkraftwerke erstellt werden können.

Nördlich des Nelson-Flusses liegt der andere grosse Strom dieses Gebiets – der Churchill-Fluss –, der gleichfalls in den Hudson-Golf mündet. Infolge des geringen Abstandes zwischen den beiden Flüssen ist es möglich, das Wasser aus dem Churchill-System in den niedriger liegenden Nelson-Fluss hineinzuleiten. Diese Möglichkeit wird bei der Planung des Flussausbaus erwogen.

Der Unterlauf der beiden Flüsse führt durch nördliche Gebiete, wo der Boden während des kurzen Sommers nicht auftauen kann, weil die frostfreie Saison nur ungefähr 100

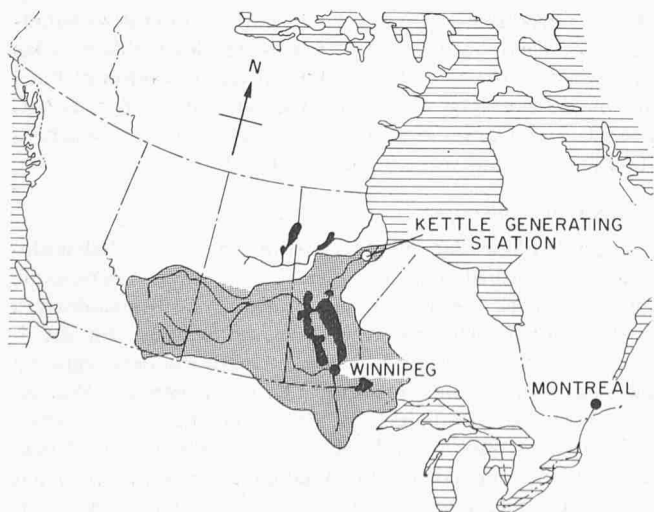


Bild 1 (links). Das Einzugsgebiet des Nelson Flusses. Eingezeichnet sind die Stadt Winnipeg und die Baustelle des Kettle Kraftwerkes

Bild 2. Die geplante Kraftwerk­kette am Nelson Fluss

