Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 91 (1973)

Heft: 17: SIA-Heft, Nr. 4/1973

Artikel: Ausbau eines nordischen Flussystems: Kraftwerkkette auf dem Nelson-Fluss

Autor: Kroms, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-71855

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: 08.08.2025

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

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 Hochdruckturbinen 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 Flusssystems / 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 Wasserkraftpotential [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 km² beträgt. Das Flachland ist von zahlreichen Seen bedeckt; der grösste davon – der Winnipeg-See – hat eine Oberfläche von 24000 km². 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

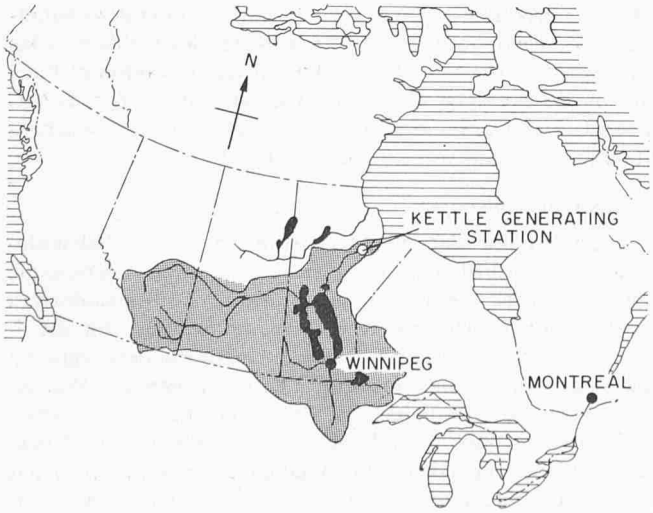
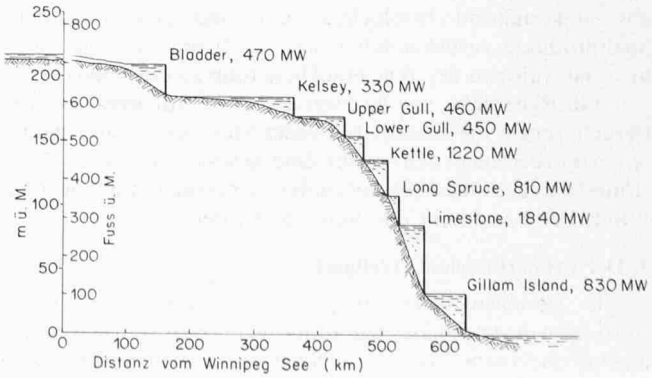


Bild 1 (links). Das Einzugsgebiet des Nelson Flusses. Eingezeichnet sind die Stadt Winnipeg und die Baustelle des Kettle Kraftwerkes

Bild 2. Die geplante Kraftwerkskette am Nelson Fluss



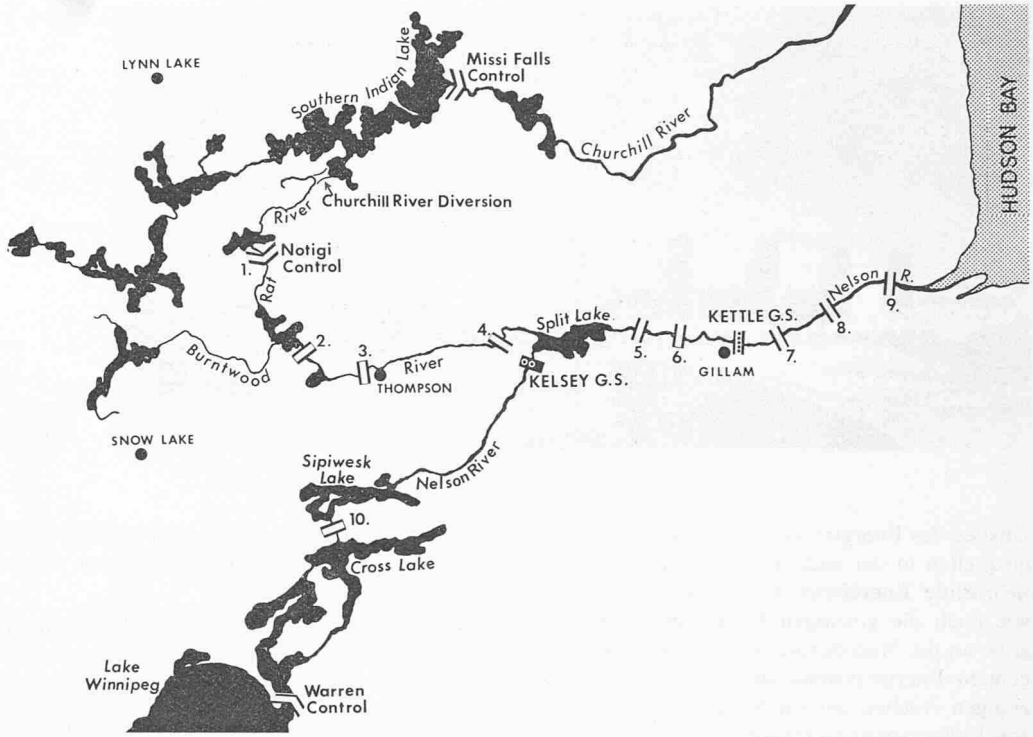


Bild 3. Das Gebiet des Nelson Flusses und des Churchill Flusses mit den vorgesehenen Staustufen (s. Tabelle 1). Die Anlagen Kelsey und Kettle stehen in Betrieb und sind daher nicht nummeriert

Tage dauert. Der grosse Abstand bis zu den besiedelten Zonen der Provinz (rund 900 km) und das herbe Klima haben die Erschliessung der beiden Flüsse bisher gehindert. Nun ist aber ihr Ausbau in Angriff genommen worden, weil der Energiebedarf rasch zunimmt und in den mittleren Provinzen Kanadas keine Brennstoffvorkommen vorhanden sind. Die Ausbaupläne konzentrieren sich auf den Nelson-Fluss mit einer möglichen Wasserzuführung aus dem Churchill-Flusssystem.

Bisher war auf dem Nelson-Fluss nur eine einziege Stufe ausgebaut worden: das Kelsey-Kraftwerk. Es wurde 1961 am Oberlauf des Flusses errichtet. Dessen Leistung, die derzeit 192 MW beträgt, soll später auf 330 MW erhöht werden. Der Unterlauf des Flusses, welcher das weitaus grösste Wasserkraftpotential des Systems enthält, lag bisher brach. Auf dieser Flussstrecke wird nun eine grosse Kraftwerkkette geplant, wobei die erste Staustufe für eine Leistung von 1,2 GW sich im Bau befindet und teilweise den Betrieb schon aufgenommen hat. Die Gesamtleistung der Kraftwerkkette wird 5 bis 6 GW betragen, wobei die grössten Kraftanlagen sich auf einer ziemlich kurzen Flussstrecke befinden werden (Bild 2).

Das Einzugsgebiet des Nelson-Flusses bedeckt eine Oberfläche von rund 1,1 Mio km²; es erstreckt sich vom Rocky-Gebirge bis zu den grossen Seen und ist eines der grössten Einzugsgebiete von Nordamerika. Es liegt aber in einer Zone, die an Niederschlägen ziemlich arm ist. Die jährliche Niederschlagsmenge beträgt 350 bis 450 mm, wobei die Abweichungen einzelner Jahre bis 50% erreichen. Ungefähr 70% der Niederschläge fallen auf die Sommersaison, mit Höchstwerten im Juli und August.

Die gesamte Fallhöhe des Nelson-Flusses beträgt 217 m. Man schätzt, dass davon ungefähr 200 m ausgenutzt werden können. Obwohl der Fluss dem grossen Winnipeg-See entspringt, so dass man eine ausgeglichene Wasserführung erwarten könnte, so weist doch der tatsächliche Abfluss beträchtliche Schwankungen auf. Bei einem Durchschnittswert von 1900 m³/s schwankt er zwischen 600 und 4000 m³/s, gelegentlich sogar noch mehr. Diese Schwankungen werden zum Teil von den Hindernissen beim Wasserauslauf aus dem See verursacht. Die Eisbildung im Winter kann den Querschnitt des Auslaufs beengen und die Abflussmenge herabsetzen. Man plant, die Wasserabgabe durch die Vertiefung des Auslaufs und durch die Errichtung regelbarer Wehre den Bedürfnissen der Energieversorgung anzupassen. Der grosse Winnipeg-See wird dann zu einem vortrefflichen Saison- und Jahresspeicher für die Kraftwerkkette werden. Derart vorteilhafte Umstände für die Durchflussregelung sind in der Natur nur selten vorhanden.

Vom energiewirtschaftlichen Standpunkt aus kann der Nelson-Fluss in zwei unterschiedliche Strecken eingeteilt werden (Bild 3). Die obere Strecke, vom Winnipeg- bis zum Split-See, weist ein geringes Gefälle (~ 0,12 m/km) auf und ist für die Energieerzeugung von nur geringer Bedeutung. Am Ende dieser Strecke, vor dem Split-See, liegt das erste Kraftwerk des Nelson-Flusses – das Kelsey-Werk (Fallhöhe 15 m, Leistung 192 MW). Eine andere ebenfalls günstige Baustelle auf dem oberen Flusslauf befindet sich kurz nach dem Auslauf aus dem Winnipeg-See, wo der Fluss durch ein System von kleineren Seen fliesst.

Auf der unteren Strecke, zwischen dem Split-See und der Mündung, hat der Fluss ein bedeutend grösseres Gefälle. Bei einer Länge von 250 km weist er eine Fallhöhe von 170 m auf, der ein durchschnittliches Gefälle von 0,68 m/km entspricht. Auf dem Wege zum Meere überquert der Fluss die Abhänge des Plateaus, wodurch eine Reihe von Stromschnellen entsteht. Da hier auch die Durchflussmenge bis auf einen Durchschnittswert von 2200 bis 2300 m³/h angewachsen ist, sind auf dieser ziemlich kurzen Strecke mehrere vorteilhafte Baustellen für grosse Wasserkraftwerke vorhanden. Diese Strecke bildet daher den Kern der Ausnutzung des Systems. Sie ist bisher nur deshalb unausgenutzt geblieben, weil sie im hohen Norden liegt. Man hat nun mit dem Ausbau begonnen, wobei die Errichtung des Kettle-Kraftwerks den ersten Schritt darstellt. Es sind mehrere weitere Kraftwerke grosser Leistung auf der unteren Flussstrecke geplant (Bild 2). Man schätzt, dass die Jahresarbeit dieser Kraftwerkkette 30 TWh betragen wird; die Zuleitung des Wassers aus dem Churchill-Fluss könnte die Jahresarbeit noch um 12 bis 15 TWh vergrössern.

2. Die geplante Kraftwerkkette

Für den Entschluss zum Ausbau der nördlichen Strecke des Nelson-Flusses waren zwei Gründe ausschlaggebend: der

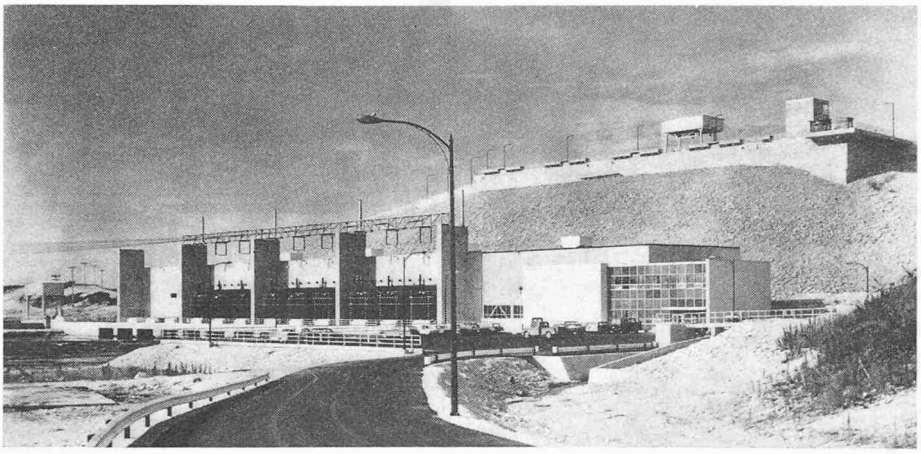


Bild 4. Das Flusskraftwerk Grand Rapids, Fallhöhe 37 m, installierte Leistung 460 MW

Anstieg des Energiebedarfs und der Mangel an anderen Energiequellen in der südlichen Zone der Provinz. Der rasch zunehmende Energiebedarf in der Umgebung von Winnipeg, wie auch die günstigen Voraussetzungen für die Energieabgabe an die Nachbarprovinz Ontario oder sogar an die anliegenden Energiesysteme der USA führten dazu, einen grosszügigen Ausbau der im Norden liegenden Strecken des Nelson-Flusssystems zu erwägen.

Die Flüsse im südlichen Teil Manitobas sind schon erschlossen; ihre Gesamtleistung beträgt 1320 MW. Eine dieser Kraftanlagen, das Kelsey-Kraftwerk, befindet sich auf der oberen Strecke des Nelson-Flusses; ein anderes grosses Wasserkraftwerk, das Grand-Rapids-Werk mit einer Leistung von 460 MW, liegt beim Einlauf des Saskatchewan-Flusses in den Winnipeg-See (Bild 4). Die thermischen Kraftwerke der Provinz weisen insgesamt eine Leistung von nur 470 MW auf; daher ist Manitoba vorwiegend auf Wasserenergie angewiesen.

Die Hauptdaten der auf dem Nelson-Fluss geplanten Kraftwerkkette sind aus Tabelle 1 und Bild 2 ersichtlich [8, 9, 10].

Um den verfügbaren Jahresabfluss vollständig ausnutzen und die Kraftwerke an den jeweiligen Leistungsbedarf anpassen zu können, müssen die Abflussverhältnisse im Flusssystem verbessert werden. Dazu kommen zwei Massnahmen in Frage [8]:

1. die Regelung der Wasserentnahme aus dem Winnipeg-See
2. die Zuleitung des Wassers aus dem Churchill-Fluss

Zu 1: Im natürlichen Zustand schwankt der Wasserspiegel des Winnipeg-Sees, je nach jahreszeitlichem Wasserzufluss, um ungefähr 2,6 m. Der grösste Zufluss erfolgt im Frühling, während der Schneeschmelze, weshalb im Sommer der See gefüllt ist. Im Winter dagegen nimmt der Zufluss ab, der Wasserspiegel sinkt, und die Wasserabgabe an den Fluss geht zurück. Der Wasserabfluss kann im Winter durch Eisbildung im schmalen Auslasskanal besonders stark vermindert werden. Zur Beseitigung der Hindernisse sind mehrere Bauvarianten erwogen worden, die grundsätzlich alle die Vertiefung der rund 100 km langen Auslassstrecke und den Einbau von Regulierschleusen vorsehen. Die Regelung der Wasserabgabe wird es ermöglichen, nicht nur die verfügbaren Wassermengen vollständiger auszunutzen, sondern auch die Kraftwerkkette zur Deckung der Lastspitzen einzusetzen, wozu eine genügend grosse Maschinenleistung in den Kraftwerken installiert werden muss. Man plant, die Regelung der Wasserabgabe so durchzuführen, dass die bisherigen Grenzen der Spiegelschwankungen nicht überschritten, sondern sogar eingeengt werden, wobei aber der Wasserablass gemäss den Forderungen der Energieversorgung erfolgen wird. Im Herbst soll der Wasserspiegel auf den Höchststand gebracht werden, um den Wintervorrat zu schaffen, der in den wasserarmen Monaten der Wintersaison verarbeitet werden wird. Einer Änderung des Wasserspiegels im Winnipeg-See um 1,3 m entspricht eine Wassermenge von 27 Gm^3. Die Durchflussregelung wird es rechtfertigen, in der Kraftwerkkette des Nelson-Flusses eine Leistung von mehr als 6,0 GW zu installieren.

Zu 2: Der Wasserfluss im Unterlauf des Nelson-Flusses kann durch den Bezug von Wasser aus dem Churchill-Flusssystem vergrössert werden. Diese Lösung wird dadurch begünstigt, dass: 1. eine Seegruppe des Churchill-Systems rund 70 m höher als der Split-See des Nelson liegt und 2. die beiden Systeme sich nicht weit voneinander befinden. Laut Planung soll eine Querverbindung das Wasser über die Rat- und Burntwood-Flüsse dem Nelson-Fluss zuleiten, wobei der Höhenunterschied von 70 m zur Energieerzeugung in den Kraftwerken auf dieser Verbindung ausgenutzt werden kann (Tabelle 1). Man plant, den Wasserspiegel einer Seegruppe am Mittellauf des Churchill-Flusses mit einer Oberfläche von 3000 km^2 (Southern Indian Lake) mittels Regulierwehren zu erhöhen und einen regelbaren Nutzinhalt von rund 10 Gm^3 dem Nelson-System zur Verfügung zu stellen. Der Seengruppe fliesst ein durchschnittlicher Wasserstrom von 960 m^3/s aus

Tabelle 1. Die Kraftwerkkette des Nelson-Systems

Kraftwerk	Fallhöhe m	Leistung MW	Zustand
Oberlauf des Nelson-Flusses:			
Bladder (1)[1]	22	470	geplant
Kelsey	15	330	im Betrieb
	37	800	
Unterlauf des Nelson-Flusses:			
Upper Gull (5)	14	460	geplant
Lower Gull (6)	13	450	geplant
Kettle	30	1220	im Bau
Long Spruce (7)	24	810	geplant
Limestone (8)	52	1840	geplant
Gillam Island (9)	24	830	geplant
	157	5610	
Nelson-Fluss (insgesamt)[2]	194	6410	
Überleitung aus dem Churchill-Fluss[3]			
Notigi (1)	10	150	geplant
Wuskwatim (2)	28	270	geplant
Manansan (3)	16	160	geplant
First Rapids (4)	17	150	geplant
	71	730	
Total	265	7140	

[1]) Die Ziffern in Klammern entsprechen Bild 3

[2]) teilweise im Betrieb

[3]) noch nicht beschlossen

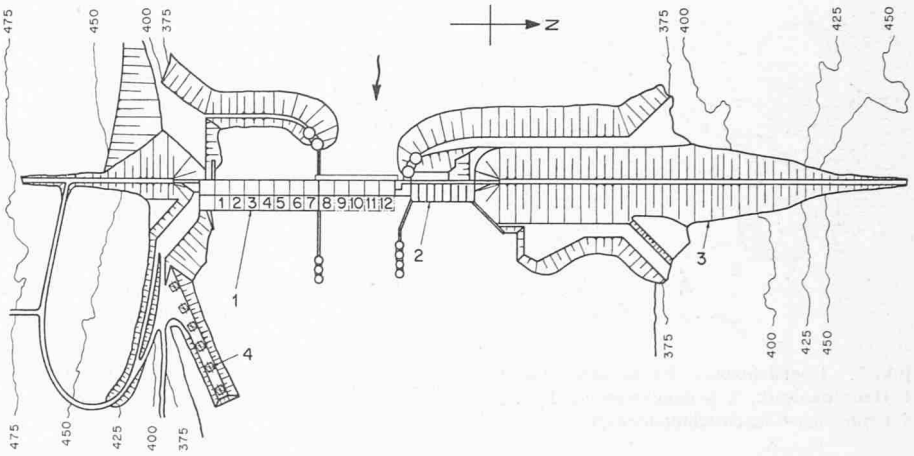


Bild 5. Lageplan des Kettle Kraftwerkes (Höhenangabe bei allen Bildern in Fuss)

1 Maschinenhaus
2 Überfallwehr
3 Erddamm
4 Tragmaste

einem Einzugsgebiet von 240000 km² zu. Man schätzt, dass 800 bis 850 m³/s davon ins Nelson-System hineingeleitet werden können, wodurch die durchschnittliche Wasserführung im Unterlauf dieses Flusses auf über 3000 m³/s erhöht würde. Mit dieser Wasserzugabe wird es möglich sein, die Jahresarbeit der Nelsonkette um 10 bis 12 TWh zu erhöhen. Die Kraftwerke auf der Zuführungsstrecke mit einer Leistung von 700 MW könnten zusätzlich eine Jahresarbeit von 5 TWh abgeben, so dass der Wasserbezug die Energieausbeute des Kraftwerksystems um 12 + 5 = 17 TWh erhöhen könnte.

Die Verwirklichung der Wasserüberleitung könnte noch behindert werden, weil die Veränderungen des Wasserspiegels im Churchill-Seesystem aus Kreisen des Umweltschutzes Einwände ausgelöst haben.

3. Das Kettle-Wasserkraftwerk

Das erste Kraftwerk am Unterlauf des Nelson-Flusses wird bei den Kettle-Stromschnellen, ungefähr in der Mitte der Flussstrecke, errichtet. Dieser Ort wurde deshalb ausgewählt, weil hier die Hudson-Bay-Eisenbahnlinie den Fluss überquert und das Herbeischaffen der Baumaterialien zu dieser abseits liegenden Baustelle erleichtert. Die Entfernung (Fluglinie) bis zur Stadt Winnipeg, dem Schwerpunkt der elektrischen Last, beträgt rund 700 km.

Die Bauarbeiten wurden im Jahre 1967 begonnen; der erste Maschinensatz nahm den Betrieb Ende 1970 auf. Der Einbau von weiteren Einheiten wird fortgesetzt, so dass sich bis Ende 1972 sechs Turbosätze im Betrieb befinden werden. Die Fertigstellung des Kraftwerks wurde für das Jahr 1975 geplant, doch wird das Werk voraussichtlich früher den Vollbetrieb aufnehmen können. Es nutzt eine Fallhöhe von 30 m aus und wird im Endausbau 12 Aggregate für eine Leistung von 12 × 102 = 1224 MW enthalten.

Die Anordnung des Kraftwerks ist auf den Bildern 5 und 6 ersichtlich [12, 13]. Gemäss der typischen Bauweise der Kraftwerke mit niedrigen Fallhöhen ist das Maschinenhaus mit dem Einlaufbauwerk in den Staudamm eingegliedert worden. Die Errichtung des Überfallwehrs in der Mitte des Flusses erleichtert die Eisabfuhr. Der Rest des Flussbettes ist mittels eines Erddamms abgesperrt worden. Das Hauptbauwerk mit einer Länge von 1,6 km erhebt sich um 45 bis 50 m über den Flussboden.

Die Aufstauung bildet im Flusstal ein Staubecken mit einer Oberfläche von 320 km² (Bild 7). Längs des südlichen Ufers, wo es einige niedrige Stellen auf der Landoberfläche gibt, sind Seitendämme mit einer gesamten Länge von 9 km errichtet worden; ihre Höhe beträgt im Durchschnitt 5 m und erreicht an einigen Stellen 15 m.

Der Bau des Kraftwerks wurde durch mehrere Umstände erschwert:

a) Die Baustelle befindet sich weit von besiedelten Ortschaften entfernt

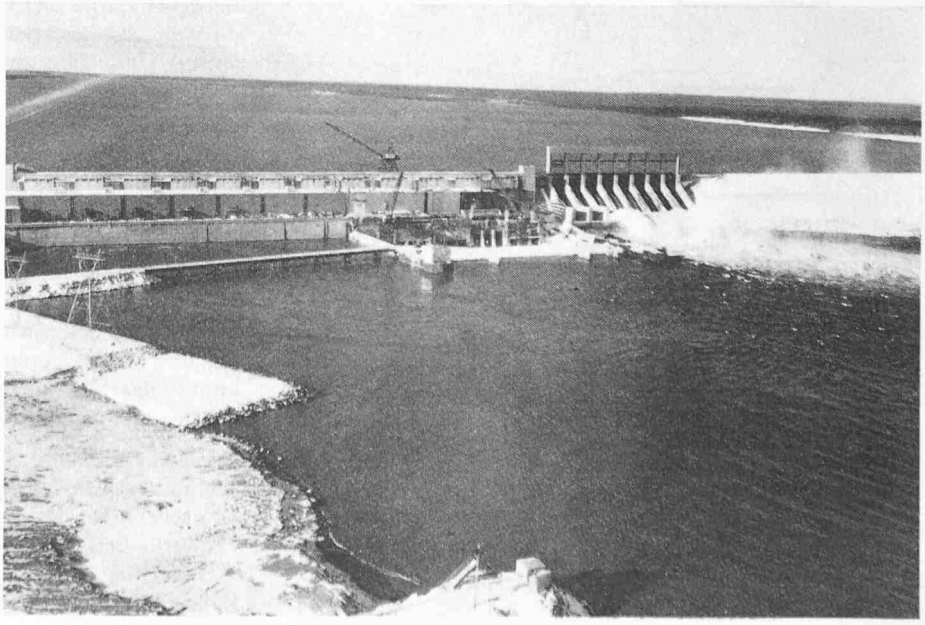


Bild 6. Kettle Kraftwerk. In der Baugrube wird das Maschinenhaus für die Einheiten 8 bis 11 fertiggestellt

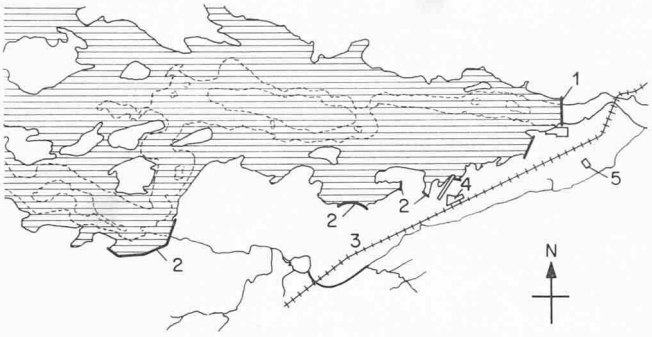


Bild 7. Übersichtsplan der Baustelle für das Kettle Kraftwerk
1 Hauptbauwerk, 2 Seitendämme, 3 Eisenbahn, 4 Siedlung Gallam, 5 Umformer-(Gleichrichter-)Anlage

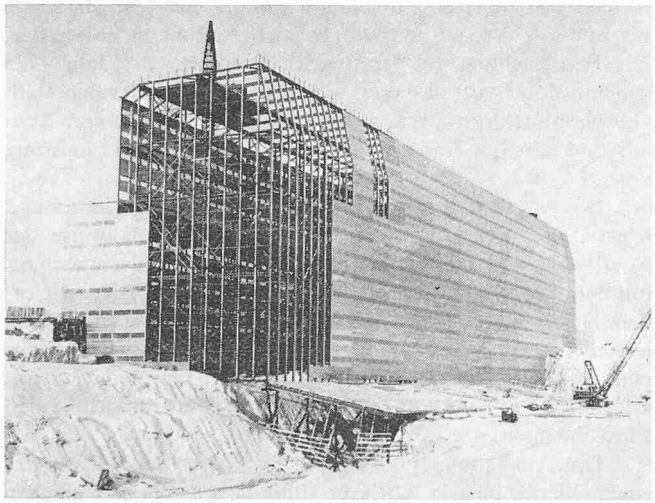


Bild 8. Einkleidung für die abschnittsweise Betonierung der Staumauer, bestehend aus einem zerlegbaren Stahlgerüst mit Plastiküberzug, Länge 190 m, Höhe 40 m

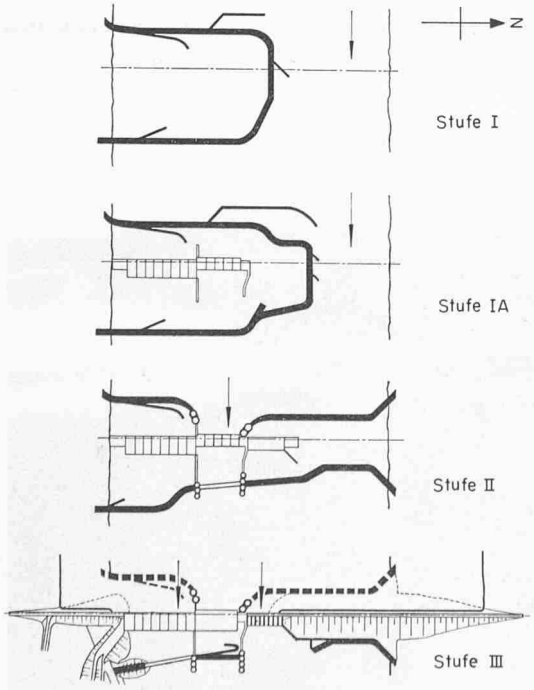


Bild 9. Reihenfolge der Bauarbeiten am Hauptbauwerk. Erläuterung im Text

b) Der lange, kalte Winter hindert die Erd- und die Betonierungsarbeiten
c) Die Bauten mussten auf dem permanent gefrorenen Boden errichtet werden
d) Wegen der schweren Eisdecke waren bei den Bauarbeiten auf dem Flussbett besondere Schutzmassnahmen erforderlich.

Da bezüglich der Bauarbeiten unter den erwähnten Umständen genügende Erfahrungen fehlten, musste man neue Methoden erproben. So wurden zum Beispiel zur Betonierung im Winter die Baustellen mit Umhüllkonstruktionen versehen (Bild 8), die nachher zerlegt und über anderen Stellen zusammengestellt werden konnten. Unter den geheizten Bedeckungen konnte die Betonierung bei äusseren Temperaturen bis —40 °C erfolgreich und in verhältnismässig kurzer Zeit durchgeführt werden.

Besondere Probleme entstanden bei der Errichtung der Seitendämme auf dem gefrorenen Boden, wobei die Tiefe der gefrorenen Erdschichten je nach dem Bodencharakter 5 bis 15 m beträgt. Es war zu erwarten, dass nach der Füllung des Speichers die Erdschichten unter der Dammsohle durch den Wärmeinhalt des Wassers aufgetaut werden, was zu Senkungen und Beschädigungen der Dämme führen könnte. Die Vorbereitung der Fundamente wurde daher vorsichtig vorgenommen, wobei man grundsätzlich einem allgemeinen Verfahren folgte: die gefrorenen oberen Bodenschichten wurden vollständig oder teilweise weggeräumt, die Dämme mit einer breiten Sohle und mit langen, schwach geneigten Böschungen ausgeführt (Bild 10). Die Dammsohlen sind beiderseitig mittels Sandschichten isoliert, und unter der Sohle sind sandgefüllte Entwässerungsschächte errichtet worden. An den Stellen, wo man mit einem gewissen Sinken der Fundamente rechnen musste, wurde die Dammkrone entsprechend erhöht. Die Materialien wurden so ausgewählt, dass die Deformation der Fundamente eine minimale Beschädigung des Dammkörpers verursachen würde; dazu ist Sand das geeignetste Material. Die Wassersickerung wird durch die grosse Breite der Dämme niedrig gehalten.

Die Reihenfolge der Bauarbeiten am Hauptbauwerk ist in Bild 9 angegeben [12]. Probleme wurden hierbei von der grossen Wasserführung, der starken Eisbildung und durch unvorgesehene durchlässige Stellen in der geologischen Struktur des Flussbodens verursacht. Die drei Phasen in der Errichtung des Hauptbauwerks waren:

1. Erstellen der Baugrube für das Maschinenhaus (Stufe I). Eine spätere Verlängerung umfasst auch die Baustelle des Überfallwehrs (Stufe IA). Zur Ablenkung des mächtigen Flusses dienten besondere Fangwände aus Steinschüttungen, die man vor der Umschliessungswand errichtete. In der so geschaffenen Baugrube konnten das Maschinenhaus für sieben Aggregate und das Einlaufbauwerk für die restlichen fünf Aggregate fertiggestellt werden.

2. Die erste Baugrube wurde gekürzt und eine zweite zur Errichtung des Hauptdamms und des Überfallwehrs vorbereitet (Stufe II). Das Wasser floss durch die Einlauföffnungen der Aggregate 8 bis 12. Nun konnten der Erddamm und das Überfallwehr fertiggestellt werden.

3. Das Staubecken wurde gefüllt und das überschüssige Wasser über das Überfallwehr abgeleitet (Stufe III). Zugleich konnte das Maschinenhaus für die Maschinensätze 8 bis 12 fertiggestellt werden.

Um die Baugruben gegen den Einbruch von Eis zu schützen, mussten die Umschliessungen beträchtlich über den Wasserspiegel hinaus erhöht werden. Die Querschnitte des Hauptbauwerks sind in den Bildern 11, 12 und 13 wiedergegeben.

Der Staudamm ist ein 1050 m langer Erddamm, dessen Krone 45 bis 50 m über dem Flussboden steht. Besondere Be-

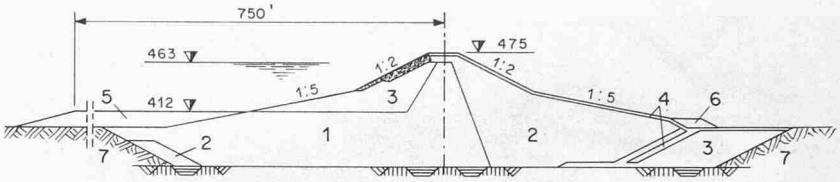
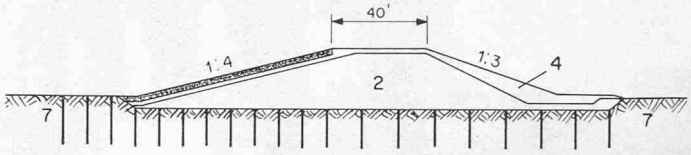


Bild 10. Querschnitt durch die Seitendämme, oben für grosse Dammhöhe, unten für niedrige Dammhöhe

1 undurchlässiger Kern
2 teilweise durchlässiger Stützkörper
3 durchlässige Aufschüttung
4 Filtermaterial
5 verschiedenes Material (aus Aushub)
6 Bruchschutt
7 permanent gefrorener Boden



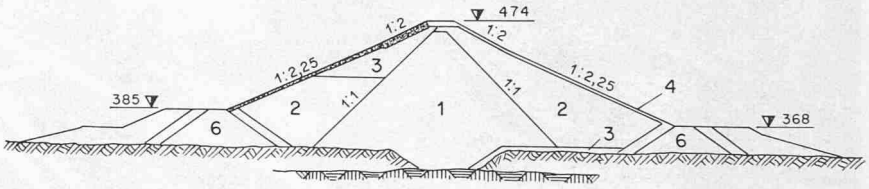


Bild 11. Querschnitt durch den Hauptdamm, Bezeichnungen wie im Bild 10

achtung ist den Verbindungen des Damms mit den gefrorenen Flussufern gewidmet worden. Die gefrorenen Erdschichten wurden entfernt und der Dammkern mit den tieferen Gesteinsschichten vereint. Zur Verminderung der Wassersickerung ist der Flussboden oberhalb des Dammes mit einer Schicht undurchlässigen Materials bedeckt worden, welches einfach ins Wasser geschüttet wurde. Die rund 150 m breite Dammsohle ist beiderseits von Fangdämmen umschlossen.

Das Überfallwehr weist 8 Öffnungen (12 × 15 m) mit vertikalen Verschlüssen auf. Es kann eine Wassermenge von 9500 m³/s ableiten. Die Abflussrinnen sind so gekrümmt, dass der Wasserstrahl weit entfernt von den Fundamenten des Wehrs gehalten wird; eine tiefe Wasserschicht abwärts des Wehrs vernichtet die Energie des Wasserstrahls und verhindert die Beschädigung der Fundamente.

Das 370 m lange Maschinenhaus bildet mit dem Einlaufbauwerk ein gemeinsames starres Konstruktionselement (Bild 14). Wegen der tiefliegenden Turbinenabflussrohren musste das Flussbett bis zu 15 m ausgegraben werden, weil die Durchflussmengen der Turbinen sehr gross sind und daher grosser Abflussquerschnitte bedürfen. Die Propellerturbinen sind für eine Fallhöhe von 28 bis 30 m und eine Schluckfähigkeit von 380 bis 400 m³/s bemessen. Der Durchmesser der Läufer beträgt 9 m. Man wählte einfache Propellerturbinen mit festen Laufschaufeln anstatt Kaplanturbinen, weil die grosse Anzahl der Aggregate es ermöglicht, sich den Lastbedürfnissen durch die Änderung der Zahl der betriebenen Einheiten anzupassen. Es sei bemerkt, dass die Propellerturbinen in Amerika stärker verbreitet sind als in Europa. Die elektrischen Generatoren sind für 120 MVA, 13,8 kV, 90 U/min gebaut. Die Dreiphasen-Transformatoren für 75/100/125 MVA, 13,8/138 kV befinden sich auf der Decke der Turbinenabflussrohre.

Die wichtigsten technischen Angaben sowie das Volumen der Bauarbeiten sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Die Baukosten sind auf rund 400 Mio $ oder 330 $/kW veranschlagt worden. Für die Bauarbeiter, deren Anzahl in den Sommersaisons 2500 erreichte, hat man in der Nähe der Baustelle eine moderne Siedlung errichtet.

4. Energieübertragung

Das Kettle-Kraftwerk befindet sich im nördlichen Gebiet, wo keine nennenswerte Energieabnehmer vorhanden sind. Die ganze Energieausbeute muss daher nach Süden bis zur Stadt

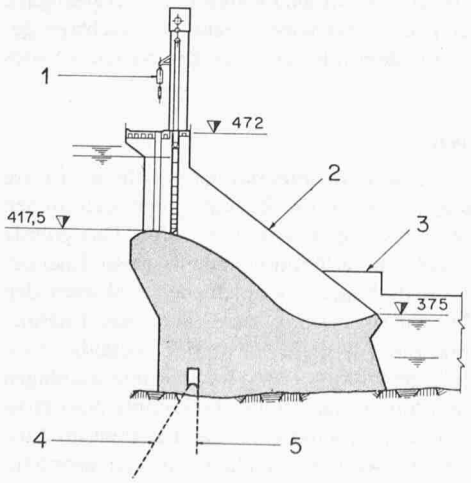


Bild 12. Das Überfallwehr. 1 Hebezeug, 2 Zwischenwand, 3 Endwand, 4 Grundabdichtung, 5 Sandfilter

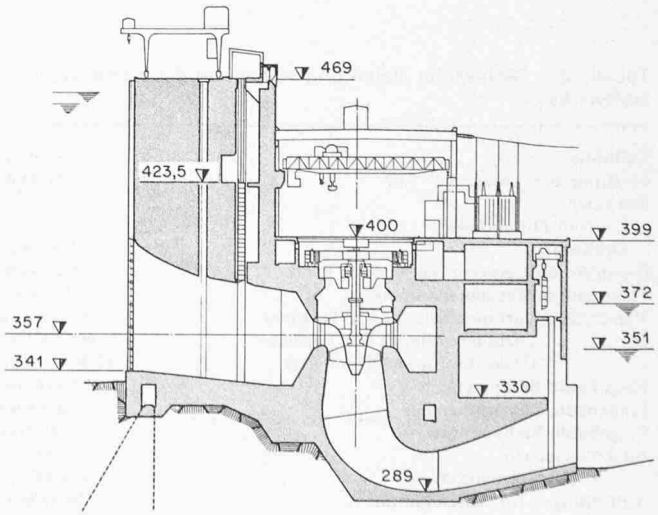


Bild 13. Das Maschinenhaus des Kettle Kraftwerkes

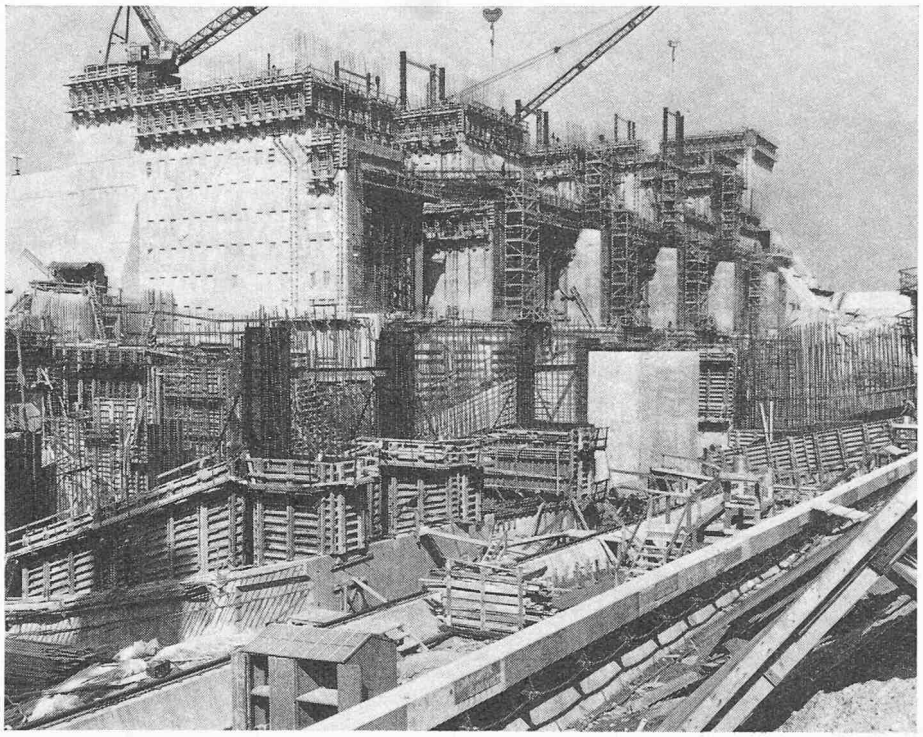


Bild 14. Betonieren des Maschinenhauses für die Einheiten 8 bis 12

Winnipeg übertragen werden. Es handelt sich hier um die Fernübertragung einer Leistung von ≥ 1,0 GW über eine Entfernung von 900 km. Dazu konnten entweder Dreh- oder Gleichstromübertragungen in Frage kommen. Da Kanada über beträchtliche Wasserkräfte in nördlichen Gebieten verfügt, sind hier einige Drehstromlinien für Betriebsspannungen von ≥ 500 kV im Betrieb. Davon sei die 735-kV-Fernleitung von der Manicougan-Outardes-Kraftwerkgruppe und vom Churchill-Falls-Kraftwerk bis Montreal erwähnt [14, 15, 16]; im Westen ist eine 500-kV-Linie für die Energielieferung von dem G.-Shrum-Wasserkraftwerk am Peace-Fluss zur Stadt Vancouver erstellt worden.

Bei der Entscheidung über die Art der Kettle-Fernleitung wurden die Dreh- und Gleichstromsysteme von technischen und wirtschaftlichen Standpunkten aus eingehend verglichen. Die Auswahl fiel auf die Gleichstromübertragung. Man beschloss eine Doppellinie für eine Betriebsspannung von 450 kV zu errichten. Zwei Umstände haben hier zugunsten des Gleichstroms gewirkt:

Tabelle 2. Technische Daten und Kubaturen des Kettle-Wasserkraftwerks

Fallhöhe	30 m
Leistung der Anlage 12 × 102 =	1224 MW
Turbinen	
Laufrad-Durchmesser	9 m
Drehzahl	90 U/min
Generatoren-Leistung (bei cosφ = 0,85)	102 MW
Generatoren-Betriebsspannung	13,8 kV
Verschlüsse Turbineneinlauf (3 je Turbine)	6 × 13,5 m
Turbinenauslauf (3 je Turbine)	6,5 × 8,5 m
Überfallwehr (8 Öffnungen)	11,5 × 14,5 m
Eingebaute Betonmengen	750000 m³
Eingebaute Zementmengen	210000 t
Eingebaute Stahlmengen	40000 t
Aushub Gestein	290000 m³
Lockermaterial	3000000 m³
Auffüllungen für Seitendämme	360000m³
Auffüllungen für Hauptdamm	2500000 m³
Länge der Seitendämme	9 km

a) Die Energie muss auf eine grosse Entfernung übertragen werden

b) Der ganze Energiefluss strömt bis zum Ende der Linie. Es gibt keine Abzweigungen, welche teure Umformungsanlagen benötigen würden.

Das Einspeisungs-Umformerwerk befindet sich bei Gillam, einige km vom Kraftwerk entfernt; das Abgabewerk ist in der Umgebung der Stadt Winnipeg erstellt worden. Die Linie führt westlich des Winnipeg-Sees, wobei im nördlichen Teil die Tragmaste auf dem gefrorenen Boden errichtet werden mussten. Die teure Fernleitung ist von der kanadischen Regierung gebaut worden. Die Manitoba-Hydro wird die Errichtungskosten innerhalb einer Zeitspanne von 50 Jahren bezahlen und die Fernleitung in ihren Besitz übernehmen.

Da nach der Inbetriebnahme des Kettle-Kraftwerks Manitoba zeitweilig einen Überschuss an Energie haben wird, ist ein Abkommen über die Energieabgabe an die Provinz Ontario abgeschlossen worden. Energielieferung über die US-Grenze wird ebenfalls erwogen. Die Möglichkeiten der Energieabgabe können sich später noch vergrössern, wenn die nächsten geplanten Staustufen auf dem unteren Lauf des Nelson-Flusses ausgebaut werden.

5. Schlussfolgerungen

Das reichliche Wasserkraftpotential der nördlichen Flüsse lag lange Zeit brach, weil seine Erschliessung von technischen und wirtschaftlichen Umständen behindert wurde. Das grösste Hindernis bestand dabei in der Unmöglichkeit, grosse Energiemengen von den abseits liegenden nördlichen Gebieten den Schwerpunkten des Energiebedarfs zuzuleiten; die Energieübertragungstechnik war für diese schwierige Aufgabe noch nicht reif. Mit der Entwicklung von Hochspannungsanlagen ist dieses Hindernis während der letzten Jahrzehnte zum grossen Teil beseitigt worden. Dies hat eine rege Tätigkeit im Ausbau der nordischen Wasserenergiequellen mit sich gebracht. Grosse Wasserkraftwerke werden in mehreren Ländern an nordischen Flüssen errichtet. Kanada gehört zur Gruppe dieser Länder und hat bemerkenswerte Erfolge in der Erschlies-

sung der nordischen Wasserkräfte erzielt. Das Kettle-Kraftwerk stellt ein Beispiel dieser Tätigkeit dar.

Literaturverzeichnis

[1] *Kroms, A.:* Die Wasserkraftausnutzung in Finnland. SBZ, *84* (1966) H. 7, S. 134–139.

[2] *Kroms, A.:* Die Ausnutzung der kanadischen Wasserkräfte. SBZ, *86* (1968) H. 35, S. 621–629.

[3] *Kroms, A.:* Die Wasserkräfte Sibiriens. SBZ, *86* (1968) H. 12, S.185–191.

[4] *Borowoi, A.:* Perspektiven in der Entwicklung der Wasserkraftwirtschaft Sibiriens. ÖZE, *22* (1969) H. 12, S. 617–627.

[5] *Kroms, A.:* Ein Grosskraftwerk im hohen Norden. ÖZE, *24* (1971) H. 12, S. 489–502.

[6] *Kroms, A.:* Die Erschliessung der nordischen Wasserkräfte. «Elektrizitätswirtschaft». *68* (1969) H. 21, S. 716–720.

[7] *Charbonnier, R. P.; Baltzer, C. E.; Simpson, R. A.:* The Comparative Position of the Main Fuels in Canada. World Power Conference, Tokyo, 1966, Paper 106–IIB.

[8] *Bateman, L. A.:* Manitobas Power Resources. World Power Conference, Moscow, 1968, Paper C2–217.

[9] New Plan Envisions 6000 MW on Nelson River. "Electrical World", *174* (1970) H. 11, S. 71–73.

[10] The Manitoba Hydro-Electrical Board 20th Annual Report. Winnipeg, 1971.

[11] Electric Power in Canada, 1970. Department of Energy, Mines and Resources. Ottawa, Canada.

[12] *Knight, A. W.; Macpherson, J. G.:* Kettle Generating Station. Presented to the Canadian Electrical Association, Montreal, 1969.

[13] Kettle Project. Manitoba Hydro, Winnipeg.

[14] *Krautt, W.:* Manicouagan–Montreal. Die erste 735-kV-Drehstromübertragung der Welt. ÖZE, *19* (1966) H. 2, S. 98–108.

[15] *Beier, H.; Kaps, J.:* 735-kV-Drehstromübertragung in Kanada. «Energietechnik», *19* (1969) H. 8, S. 353–356.

[16] *Cahill, L.:* La première transmission d'énergie électrique à 735 kV: Manicouagan–Montreal. «Bull. des SEV», *55* (1964) H.11, S.519–528.

Adresse des Verfassers: Dipl.-Ing. *A. Kroms*, 30 Rockland Avenue, Malden, Mass. 02148, USA.

Schulanlage und Wohnüberbauung im Gebiet Furttal in Zürich-Affoltern

DK 72

Der Stadtrat von Zürich hat 12 Architekten zu diesem Projektwettbewerb eingeladen. Es wurden 11 Entwürfe beurteilt.

Projektierungsaufgabe

Die rege Bautätigkeit im Gebiet südlich der Wehntalerstrasse bedingt den Bau des in der Schulhausplanung enthaltenen Primarschulhauses Furttal. Das reservierte Schulhausareal steht mit weiteren städtischen Grundstücken in Zusammenhang, die für kommunalen Wohnungsbau in Aussicht genommen sind. Ausserdem beabsichtigt die Siedlungs- und Baugenossenschaft Waidmatt, ihre benachbarte Einfamilienhaussiedlung an der Furttalstrasse gelegentlich durch eine Neuüberbauung mit mehr Wohnraum zu ersetzen, um dadurch die zulässige Ausnützung voll auszuschöpfen.

Durch die Koordination dieser drei Bauvorhaben bietet sich die Gelegenheit einer städtebaulich vorteilhaften Gesamtüberbauung. Dank der Grösse des Wettbewerbsareals können die Bestimmungen der Bauordnung für Arealüberbauung angewendet werden, wonach die Geschosszahl frei ist. Die Projektierung erstreckt sich über ein Gebiet von insgesamt 79600 m², wovon 66100 m² der Stadt Zürich und 13500 m² der Siedlungs- und Baugenossenschaft Waidmatt gehören. Der in die Wohnzone D (Ausnützungsziffer 0,75) eingezonte Arealteil umfasst 38700 m², während 40900 m² in der Freihaltezone liegen und – soweit es die Geländeneigung zulässt – für die Aussenanlagen des Schulhauses verwendet werden können. Das Wettbewerbsareal am Nordabhang des Hönggerberges wird durch die Furttal- und die Hungerbergstrasse sowie den Waldrand begrenzt. Den Anweisungen für den Wettbewerb entsprechend ist die Schulanlage – einschliesslich Kindergarten und Tageshort – derart zu konzipieren, dass sie unabhängig von den Wohnbauten sofort erstellt werden kann.

Aus dem Raumprogramm

Schulanlage

Schulhaus: 13 Klassenzimmer, 2 Mädchenhandarbeitszimmer, Singsaal mit Bühne, Raum für Werkunterricht, Mehrzweckraum, Freihandbibliothek, Raum für musikalische Elementarerziehung, Lehrer-, Hausvorstands-, Besprechungs-, Sammlungs- und Materialzimmer, Heizanlage, Werkstatt für den Hauswart, Abstell- und Nebenräume, Luftschutzräume, Hauswartwohnung. *Turnhallen:* 2 Turnhallen, Geräteräume, Garderoben, Duschenräume, Turnlehrerzimmer und Nebenräume. *Aussenanlagen:* Pausen-, Turn- und Geräteplätze zusammen etwa 3000 m², Spielwiese, offene Pausenhalle, 13 Parkplätze, Velostand.

Doppelkindergarten

Zwei Kindergartenlokale, Innen- und Aussengeräteräume, Garderobe mit Nebenräumen, Spielplatz im Freien und Rasenplatz.

Tageshort

Aufenthaltsraum, Essraum, Küche, Büro, Garderobe mit Nebenräumen, Spielplatz im Freien.

Magazinräume

Mannschafts-, Wärter- und Geräteräume für das Gartenbauamt und das Tiefbauamt.

Wohnungsbau Stadt Zürich

Kommunaler Wohnungsbau. Wohnungen zu 1½-Zimmer (rd. 20%), 2½-Zimmer (rd. 40%) und 4½-Zimmer (rd. 40%).

Studentenzimmer. 32 Einerzimmer mit Lavabo in Gruppen zu etwa 8 Zimmern, pro Gruppe Küche mit Essplatz und sanitäre Nebenräume, 8 Zweizimmerwohnungen mit Kleinküche oder Kochnische, 2 Waschküchen, Trockenräume, Kellerabteile und Bastelwerkstatt.

Parkplätze und Garagen

240 Parkplätze, davon etwa ¾ in unterirdischen Sammelgaragen.

Räume für die Kirchgemeinde

Begegnungsraum zur Benützung durch die reformierte Kirchgemeinde Zürich-Affoltern und die Bewohner der Überbauung in der Grösse einer 2- bis 3-Zimmer-Wohnung, Büro für Sozialhelfer.

Wohnungsbau Siedlungs- und Baugenossenschaft Waidmatt

Wohnungen zu 1½-Zimmer (rd. 10%), 2½-Zimmer im Alterswohnungsbau (rd. 15%), 2½-Zimmer (rd. 10%), 3½-Zimmer (rd. 20%) und 4½-Zimmer (rd. 45%); 130 Parkplätze, davon etwa ¾ in unterirdischen Sammelgaragen.

Fachpreisrichter waren: Stadtbaumeister A. Wasserfallen, Zürich, G. Cocchi, Lausanne, H. Graf, St. Gallen, P. Stutz, Winterthur. Ersatzfachpreisrichter: P. Leemann, Zürich, H. Mätzener, Stadtbaumeister-Stellvertreter, Zürich.

Ergebnis

1. Preis (5000 Fr. mit Antrag zur Weiterbearbeitung) Claude Schelling, Zürich
2. Preis (2900 Fr.) Wolfgang Stäger, Zürich; Mitarbeiter Robert Wunderli
3. Preis (2700 Fr.) Gaudenz Risch, Zürich; Mitarbeiter P. Risch, K. Fischli, J. Schaufelberger
4. Preis (2600 Fr.) Prof. Dolf Schnebli, Agno
5. Preis (2000 Fr.) Heinz Kohler, Zürich; Mitarbeiter C. Zuppinger, V. Würgler; Gartengestaltung: Ernst Cramer, Rüschlikon; Mitarbeiter K. Papa

Die feste Entschädigung betrug je 3800 Fr.