

# Wasserkraft im Westen Kanadas

Autor(en): **Kroms, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins :  
gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen  
Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes  
Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **64 (1973)**

Heft 1

PDF erstellt am: **14.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915502>

## **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.

# Wasserkraft im Westen Kanadas

Von A. Kroms

Im Westen Kanadas liegt das mächtige Kordilleren (Rocky) Gebirge. Da die Winde vom Stillen Ozean Niederschläge längs der Küstenlinie bringen, sind in diesem Hochgebirgsland erhebliche Wasserkräfte vorhanden. Die industrielle Entwicklung des Gebiets – der Provinz British Columbia (B. C.) – stützt sich deshalb vorwiegend auf die Ausnutzung der Wasserenergie. Im Ausbau des Wasserkraftpotentials sind hier zurzeit zwei grosse Bauvorhaben von besonderer Bedeutung. Eins davon ist das Grosskraftwerk auf dem Peace Fluss, welches zu den grössten Wasserkraftanlagen Amerikas gehört; das andere umfasst den Ausbau des Oberlaufs des wasserreichen Columbia Flusses; dieses Projekt wird gemäss einem Abkommen mit den USA durchgeführt.

## 1. Die Energiequellen

Die Provinz British Columbia erstreckt sich über 1600 km längs der stark zerklüfteten Küste des Stillen Ozeans. Die Provinz, mit einer Oberfläche von 950 000 km<sup>2</sup>, stellt ein Bergland dar. Das Gebirge besteht aus zwei ungefähr parallel verlaufenden Bergketten – die Coast Mountains an der Küste und die Rocky Mountains im Osten der Provinz. Dazwischen liegt eine 1250 km lange Hochebene (Rocky Mountain Trench), welcher die wichtigsten Flüsse des Gebiets entspringen.

Klimatisch zerfällt das Gebiet in drei Zonen. An den westlichen, dem Ozean zugewandten Abhängen der westlichen Bergkette ist das Klima mild, mit reichlichen Niederschlägen, die im Norden 380 cm/a erreichen. Da die Berg-

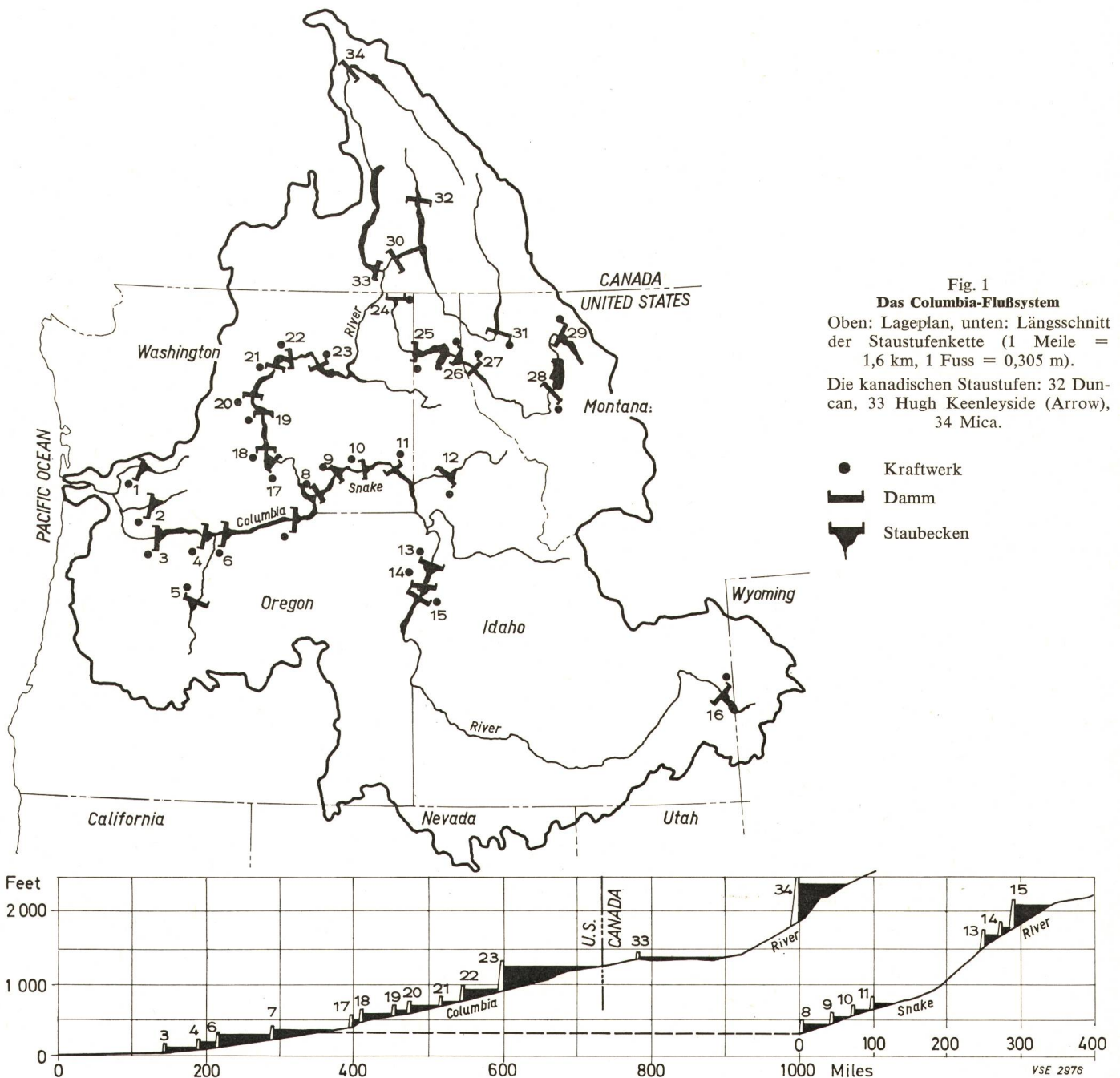


Fig. 1  
**Das Columbia-Flußsystem**  
 Oben: Lageplan, unten: Längsschnitt der Staustufenkette (1 Meile = 1,6 km, 1 Fuss = 0,305 m).  
 Die kanadischen Staustufen: 32 Duncan, 33 Hugh Keenleyside (Arrow), 34 Mica.

- Kraftwerk
- ▬ Damm
- ▬ Staubecken

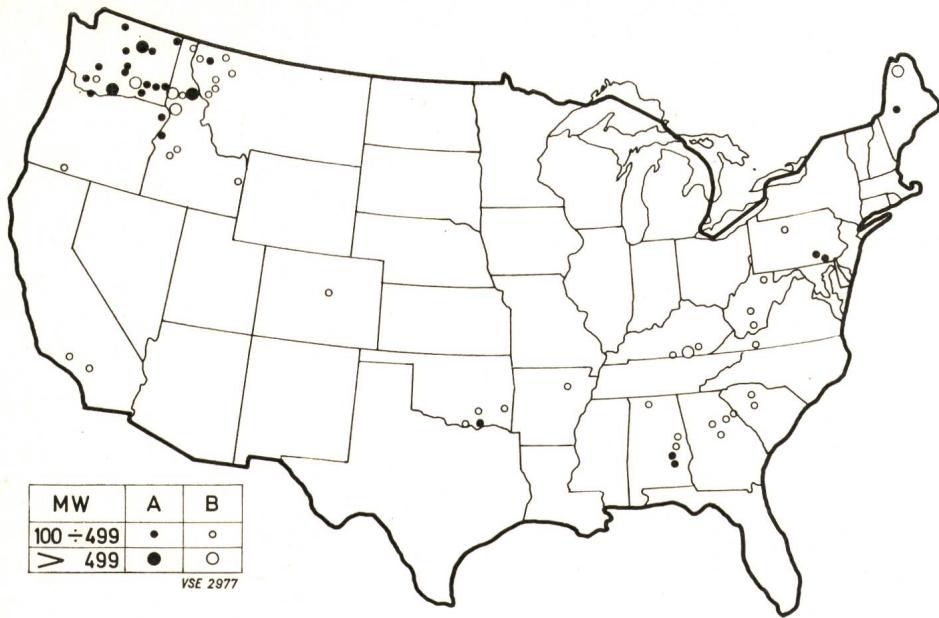


Fig. 2  
**Die geplanten Wasserkraftbauten der USA**  
 A Erweiterungen, B Neubauten.  
 Wasserkraftwerke für Leistungen unter 100 MW und Pumpspeicherwerke sind nicht angedeutet.  
 Die Wasserkraftbauten konzentrieren sich vorwiegend im Nordwesten, im Columbia-Flussgebiet.

kette die Feuchtigkeit der Ozeanwinde zurückhält, ist in der Hochebene die Luft trockener, mit einer Niederschlagsmenge von 38...100 cm/a; das Klima nimmt hier einen kontinentalen Charakter an, mit kalten Wintern und heißen Sommern. Noch mehr östlich, auf den östlichen Abhängen der Rocky Mountains, herrscht ein Prärienland-Klima, mit einer

Niederschlagsmenge von nur 35 cm/a und einem kalten Winter (bis -40 °C); die frostfreie Saison dauert hier nur 2...3 Monate.

Das Gebirgsland wird von mehreren Flußströmen überquert. Die wichtigsten davon sind der Fraser und der Columbia Fluss im südlichen, der Peace und der Liard Fluss im

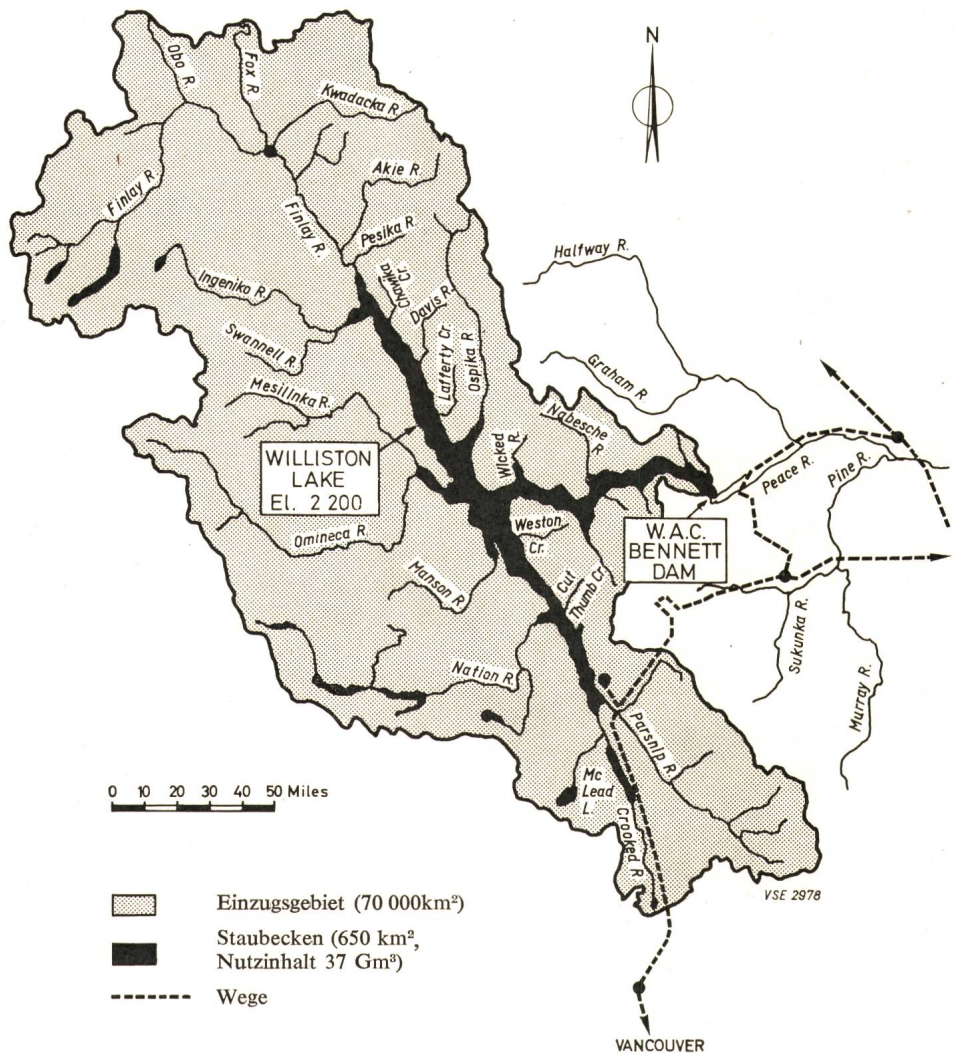
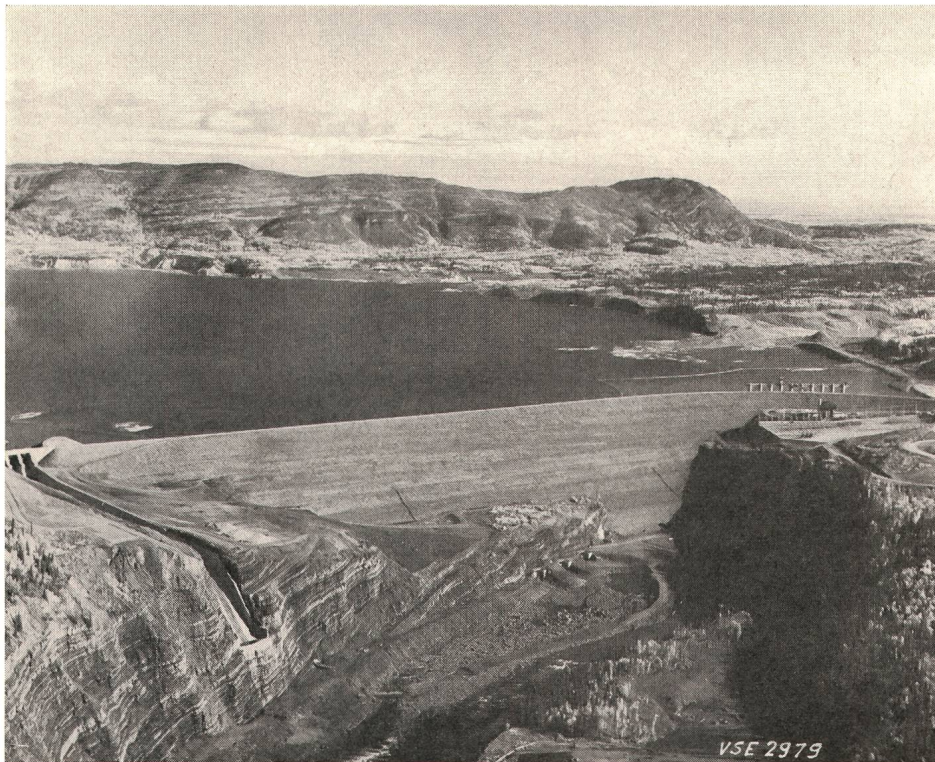


Fig. 3  
**Lageplan der W.A.C. Bennett Staustufe  
 auf dem Peace Fluss**

Fig. 4

**Der W.A.C. Bennett Staudamm**  
(Shrum-Kw)

Höhe: 183 m, Länge: 2040 m, Breite: 10 bis 700 m, Bauvolumen: 44 Mm<sup>3</sup>. Links: das Überfallwehr, rechts: das Einlaufbauwerk und die Schaltanlage; die Maschinenanlage befindet sich unterhalb des Dammkörpers



nördlichen Teil der Provinz. Bei der Überquerung von Bergketten bilden sie Stromschnellen, die zur Errichtung von Wasserkraftwerken geeignet sind.

Der wasserreiche Columbia Fluss ist die weitaus wichtigste Wasserquelle an der westlichen Küste Nordamerikas. In dem Gebirgsgebiet der B. C. befindet sich nur der Oberlauf des Flusses (Fig. 1) [1; 2]. Er beginnt in der Nähe der USA-Grenze, fließt nach Nordwesten, überquert eine Bergkette und ändert seine Richtung; danach fließt er nach Süden, überquert die USA-Grenze und mündet nach einem 1970 km langen Lauf in den Stillen Ozean. Das Einzugsgebiet des Flußsystems beträgt 670 000 km<sup>2</sup>, wovon 102 000 km<sup>2</sup> in British Columbia liegen; der kanadische Teil gibt aber fast 30 % des gesamten Jahresabflusses und beeinflusst die Jahreskurve des Wasserdargebots in beträchtlichem Masse.

Das Columbia Flussgebiet hat seit langem die Beachtung der Energiewirtschaftler auf sich gelenkt. Auf dem mittleren und unteren Flusslauf haben die USA eine Kraftwerkskette mit einer Leistung von rund 13 GW errichtet. Die obere Flußstrecke dagegen, in dem kanadischen Gebirgsland, lag bis vor kurzem brach. Da das Wasserdargebot dieses Gebiets sehr ungleichmässig ist, könnten Speicherräume am oberen Flusslauf zur Regelung der Wasserabgabe sowohl wie für die Energieerzeugung als auch zur Flutabwendung viel beitragen. Dieser Umstand führte zu langen Verhandlungen zwi-

schen Kanada und den USA, die 1964 mit einem Abkommen abgeschlossen wurden, laut welchem der obere Flusslauf ausgebaut und die dadurch entstandenen Speicher so betrieben werden sollen, dass sie Vorteile für beide Staaten bringen. Die betreffenden Bauten in der B. C. sind zum Teil errichtet worden, zum Teil befinden sie sich im Bau. Sie werden die energetischen Möglichkeiten der ganzen abwärts liegenden Kraftwerkskette verbessern, weshalb die Erweiterung zahlreicher Kraftwerke dieser Kette durchgeführt oder geplant wird (Fig. 2) [1]. Das Columbia Abkommen ist ein hervorragendes Beispiel einer zwischenstaatlichen Zusammenarbeit in der Verwertung der Naturschätze.

Der Peace Fluss entspringt dem nördlichen Teil der Hochebene, fließt nach Osten, überquert das Rocky Gebirge und mündet in das grosse Mackenzie Flußsystem, welches Wasser ins Nördliche Eismeer ableitet. Das Einzugsgebiet des Peace Flusses beträgt 128 000 km<sup>2</sup>; auf diesem Flusse wird zurzeit ein Grosskraftwerk (das G. Shrum Werk) errichtet.

Der Liard Fluss fängt im Norden, im Yukon Territorium an, durchquert den nördlichen Teil der B. C. und mündet ebenfalls in den Mackenzie. Sein Einzugsgebiet innerhalb der B. C. erreicht 142 000 km<sup>2</sup>. Da der Fluss durch unbesiedelte Gegenden fließt, ist sein Wasserkraftpotential nicht erforscht worden; man schätzt, dass hier Stellen zur Errichtung von Wasserkraftanlagen für  $\geq 2,0$  GW vorhanden sind.

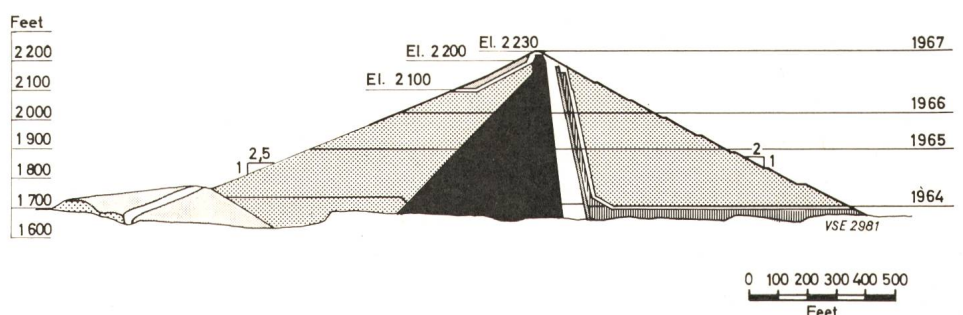


Fig. 5

**Querschnitt des Damms**

Links: die Höhen oberhalb des Meeresspiegels (in Fuss); rechts: die Baujahre. Schwarz: der undurchlässige Kern; unten: der Abdichtungsschirm

B. C. nimmt bezüglich der Wasserkraftvorräte den zweiten Platz zwischen den kanadischen Provinzen ein; nur Quebec, im Osten des Landes, verfügt über grössere Wasserenergie-reserven [3;4]. Laut der Energiebehörde Kanadas betragen die unausgenutzten Wasserkräfte der B. C. in 1969:

bei 6monatlicher Wasserführung	16,0 GW
bei durchschnittlicher Wasserführung	24,0 GW.

Die installierte Leistung der in B. C. betriebenen Kraftwerke war Ende 1970 [5]:

in Wasserkraftwerken	3950 MW oder 73 %
in Wärmekraftwerken	1460 MW oder 27 %

Die Provinz B. C. ist also noch ein Wasserkraftland. Wenn auch hier zurzeit grosse Wasserkraftanlagen auf dem Peace und Columbia Fluss errichtet werden, wird doch die Rolle der thermischen Leistung allmählich zunehmen. Da die Anzahl der günstigen, noch nicht erschlossenen Wasserenergiequellen sich vermindert, wird der Wasserkraftbau bald nicht mehr imstande sein, mit dem raschen Anstieg des Leistungsbedarfs Schritt zu halten.

Die ersten Wasserkraftwerke der Provinz wurden von der Aluminiumindustrie längs der Ozeanküste errichtet; das grösste davon ist das Kemano Kraftwerk mit einer Leistung von 812 MW. Die Provinzverwaltung gründete 1962 die

«British Columbia Hydro and Power Authority (B. C. Hydro)», welche eine systematische Ausbeutung der Wasserkräfte aufnahm; die grössten Bauvorhaben der Wasserkraftnutzung befinden sich in den Händen der «B. C. Hydro». Die Frage, in welchem Masse die noch brach liegenden Wasserkräfte in den kommenden Jahren tatsächlich ausgebaut werden, kann nicht beantwortet werden. Es ist möglich, dass der Einsatz von Kernkraftwerken den Ausbau von kleineren, oder im Norden liegenden Wasserkraften beenden wird. Die Struktur der Primärenergiegrundlage unterzieht sich in jedem Lande erheblichen Wandlungen, wobei die Rolle der thermischen Energieerzeugung im Ansteigen ist. Dies verändert die Aufgaben und dementsprechend die Auslegung der Wasserkraftwerke [6;7].

## 2. Der Ausbau des Peace Flusses

Die Errichtung des Gordon M. Shrum Kraftwerks auf dem Peace Fluss gehört zu den wichtigsten Bauvorhaben der «B. C. Hydro». Die Baustätte liegt rund 1000 km nördlich der Stadt Vancouver. Der Fluss hat hier beim Durchbruch durch eine Moräne der Eiszeit eine 25 km lange Schleife mit Stromschnellen geformt, wobei eine tiefe Schlucht (canyon) in den Schichten des Sandsteins und des Schiefers entstanden ist. Dadurch sind günstige Voraussetzungen zur Verwertung des Stroms für die Energieerzeugung gebildet worden.

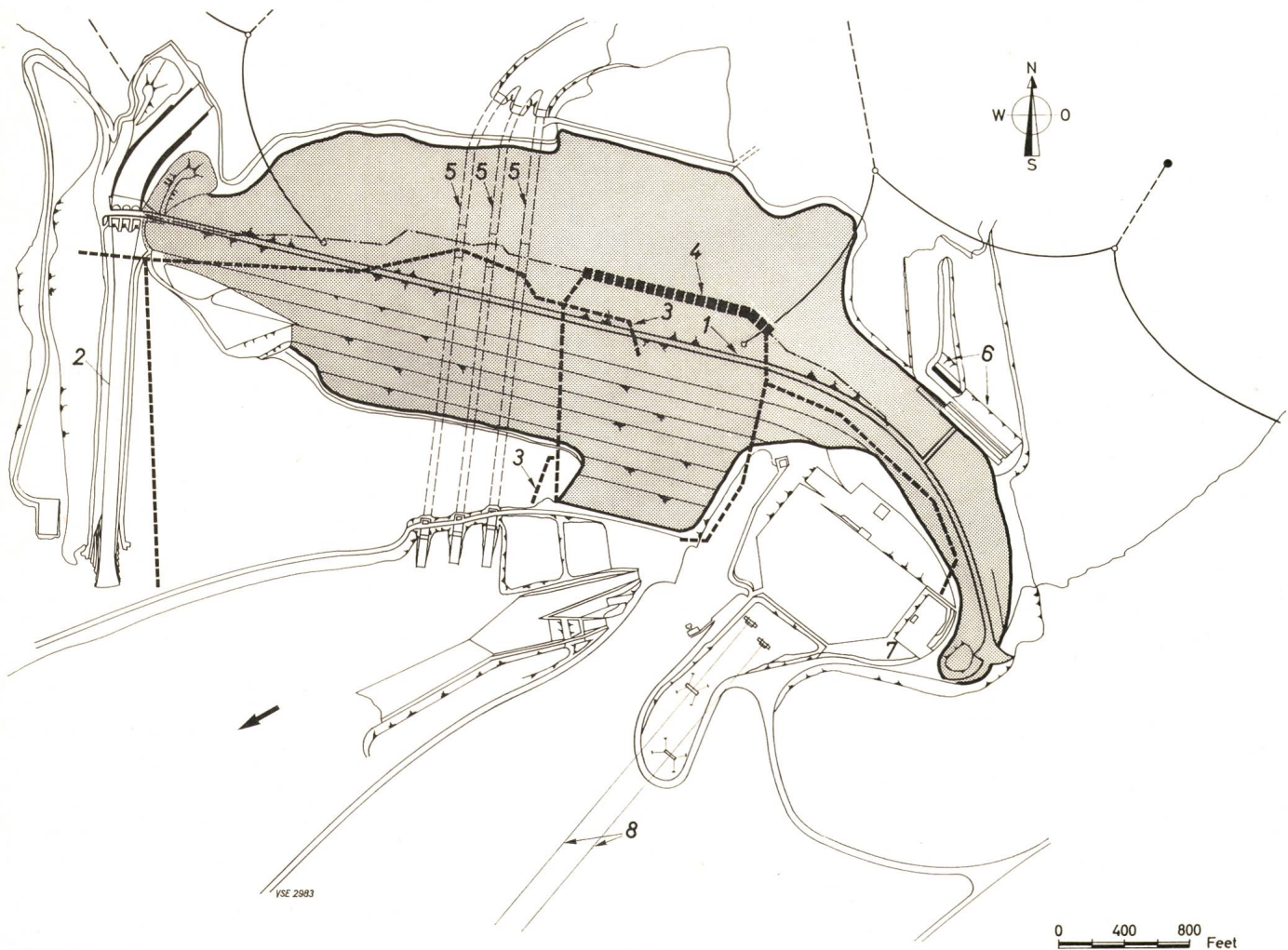


Fig. 6  
Lageplan des Damms

1 Dammkrone, 2 Überfallrinne, 3 Drainagetunnel, 4 Zementabdichtung, 5 Grundablass, 6 Einlaufbauwerk, 7 Schaltanlage, 8 Fernleitungen

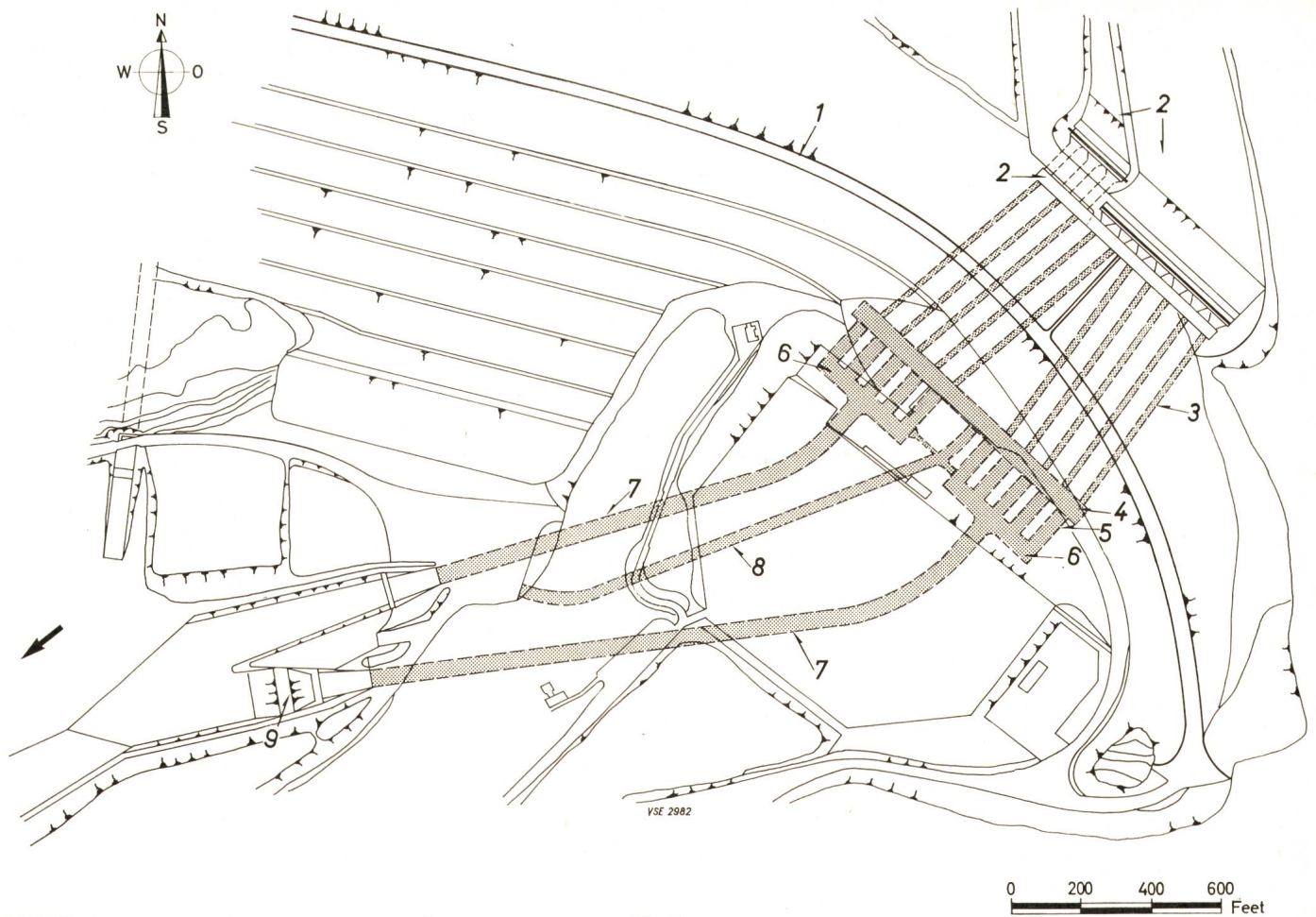


Fig. 7  
Lageplan der Kraftanlage

1 Dammkrone, 2 Einlaufbauwerk, 3 Druckstollen (5,5 m  $\phi$   $\times$  210 und 240 m), 4 Maschinenhaus (270  $\times$  20  $\times$  47 m), 5 Turbinenauslass, 6 Sammelkammer, 7 Ablassstunnel (14,6  $\times$  20 m, 290 und 490 m), 8 Zugangstunnel, 9 Fangdamm

Der Staudamm des Kraftwerks ist am Anfang der Schlucht erstellt worden; eine andere Baustelle für die zukünftige Entwicklung ist rund 20 km abwärts, am Ende der Flußschleife, vorhanden. Da der Fluss oberhalb der Staustelle ein breites Tal bildet, ist im Aufstauraum ein ausgedehnter Wasserspeicher mit einem Nutzinhalt von 37 Gm<sup>3</sup> entstanden (Fig. 3) [8]. Dieser Wasservorrat ist von besonderer Wichtigkeit, da die jahreszeitliche Wasserführung des Flusses sehr ungleichmässig ist. Das Wasserdargebot geht während des Winters stark zurück, wogegen im Frühsommer die Schnee- und Eisschmelze eine Abflussspitze verursachen, so dass das Verhältnis zwischen dem Sommer- und Winterdargebot 20 bis 30 erreicht; ausserdem schwanken die Wassermengen einzelner Jahre innerhalb weiter Grenzen. Der Wasserspeicher wird es ermöglichen, die Schwankungen des Wasserdargebots zu überbrücken und das Kraftwerk das ganze Jahr hindurch ungefähr gleichmässig auszulasten.

Auf Grund der Erforschungen der Baustätte wurde im Jahre 1961 beschlossen, vor der Flußschleife ein Kraftwerk für eine Leistung von  $10 \times 227 = 2270$  MW zu errichten. Die ersten Aggregate wurden 1968 in Betrieb genommen. Ende 1972 sollen voraussichtlich 8 Aggregate im Betrieb stehen. Die restlichen Maschinensätze werden später zur Deckung von Lastspitzen eingebaut werden. Zur Übertragung der Energie bis zum südlich gelegenen Vancouver-Gebiet ist eine 950 km lange 500 kV-Doppelleitung über das gebirgige

Land errichtet worden. Das Shrum Kraftwerk wird im Endbau die zweitgrösste Wasserkraftanlage (nach dem Churchill Falls Kraftwerk in Labrador) Kanadas sein. In späteren Jahren wird es von einigen Kraftanlagen des Columbia Flussgebiets übertroffen werden.

Die Ansicht des Damms ist in Fig. 4, der Querschnitt und der Grundriss des Dammkörpers in Fig. 5 und 6 gezeigt. Der Damm wurde 1963...67 erstellt; danach begann man die angeschlossene Kraftanlage zu errichten, wobei der Einbau von Maschinensätzen zurzeit noch erfolgt. Der Zeitpunkt, da das Kraftwerk mit allen 10 vorgesehenen Aggregaten im Betrieb sein wird, ist noch nicht festgelegt worden.

In dem Damm sind 44 Mm<sup>3</sup> von Baumaterial eingebaut worden, wobei geeignetes Füllmaterial – Sand und Kies – an der Baustätte reichlich zur Verfügung stand. Der Überfall ist für eine Wassermenge von 10 000 m<sup>3</sup>/s bemessen. Der Erdamm besteht aus einem undurchlässigen Kern, der beiderseits vom Filter- und Füllmaterial gestützt wird. Eine Zementschicht unter dem Kern und ein injizierter Abdichtungsschirm, der rund 100 m tief in den Boden reicht, sperren die Wassersickerung unter der Dammsohle ab. Zur Entwässerung der aus dem Sandstein bestehenden Bodenschichten dient ein Drainagesystem mit Entspannungsbrunnen (Fig. 6).

Die Anordnung des unterirdischen Kraftwerks ist in Fig. 7 und 8 dargestellt. Die Maschinenanlage besteht aus zwei Sektionen, zwischen denen ein Bedienungsraum liegt. In je-

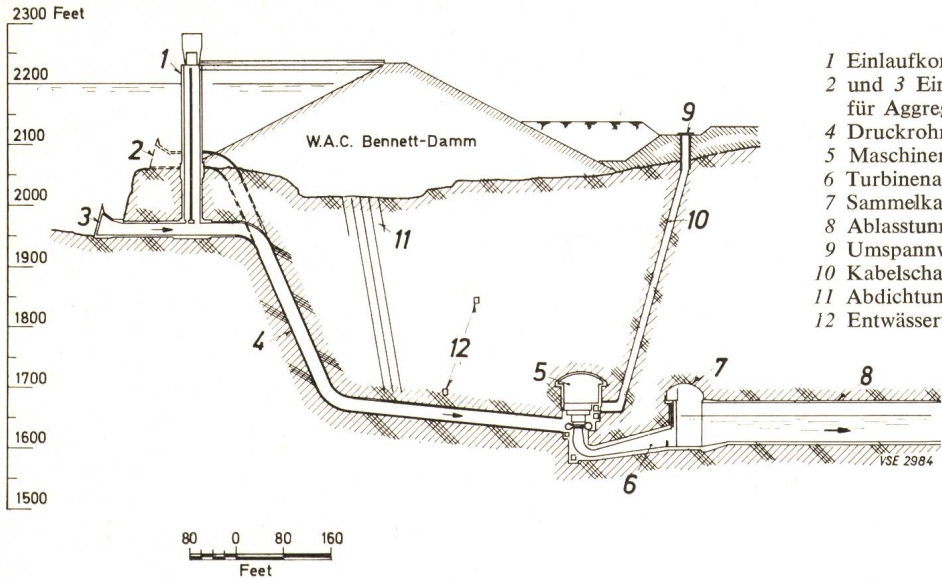


Fig. 8  
Längsschnitt der Kraftanlage

- 1 Einlaufkontrolle
- 2 und 3 Einlauf (oben: für Aggregate 4 bis 10, unten: für Aggregate 1 bis 3)
- 4 Druckrohr
- 5 Maschinenhaus, Kaverne
- 6 Turbinenauslass
- 7 Sammelkammer
- 8 Ablasstunnel
- 9 Umspannwerk
- 10 Kabelschacht
- 11 Abdichtungsschirm
- 12 Entwässerungstunnel

der Sektion sind Plätze für fünf 227-MW-Turboaggregate vorhanden, wobei jede Turbine von einem besonderen Druckrohr gespeist wird. Zwei Abwassertunnels leiten das Wasser ins Flussbett zurück. Die Francis-Turbinen sind für eine Fallhöhe von 150 m und eine Leistung von 227...260 MW ausgelegt worden (Fig. 9). Die Laufräder der elektrischen Generatoren, bei einem Durchmesser von 10,9 m, haben ein Gewicht von 44 t; zu ihrem Einbau müssen die beiden 310-t-Brückenkrane benutzt werden.

Die 13,8 kV-Generatorspannung wird im oberirdischen Umspannwerk zum Zweck der Fernleitung auf 500 kV erhöht. Das Kontrollgebäude mit der Umspannanlage befindet sich gleich hinter der Dammkrone, oberhalb des Maschinenhauses (Fig. 10 und 11). Von hier aus wird Energie mittels zweier 500-kV-Fernleitungen über ein schwieriges Gebirgs- gelände bis zur 950 km weit entfernten Vancouver-Umgebung übertragen.

Das G. M. Shrum Kraftwerk ist das bisher grösste Wasserkraftwerk im Westen Kanadas. Seine Maschinensätze werden leistungsmässig nur von den 475-MW-Aggregaten des Churchill Falls Kraftwerks übertroffen [22]. In den kommenden Jahren werden auch in B. C., in der Mica-Kraftanlage auf dem Oberlauf des Columbia-Flusses, Aggregate für eine grössere Einheitsleistung – 435 MW – eingebaut werden.

Das Shrum-Kraftwerk wird bis zur Mitte der 70er Jahre der wichtigste Energielieferer der B. C. sein; später wird es von Kraftanlagen auf dem Columbia-Fluss, wie auch von thermischen Anlagen, ergänzt werden. Ob eine niedriger liegende Energiequelle auf dem Peace-Fluss wie auch das Kraftpotential des nördlichen Liard-Flusses zur Energiequelle herangezogen werden, ist nicht beschlossen worden. Da die Energieversorgung sich in einer Periode der strukturellen Umwandlung befindet, kann man über das Schicksal

Fig. 9  
Innenansicht des Maschinenhauses  
Ein Turbinenläufer vor dem Einbau  
(5,5 m  $\phi$ ; 72 t; für eine Fallhöhe von  
152 m; Umdrehungszahl 150 Min;  
Schluckfähigkeit 170 m<sup>3</sup>/s)

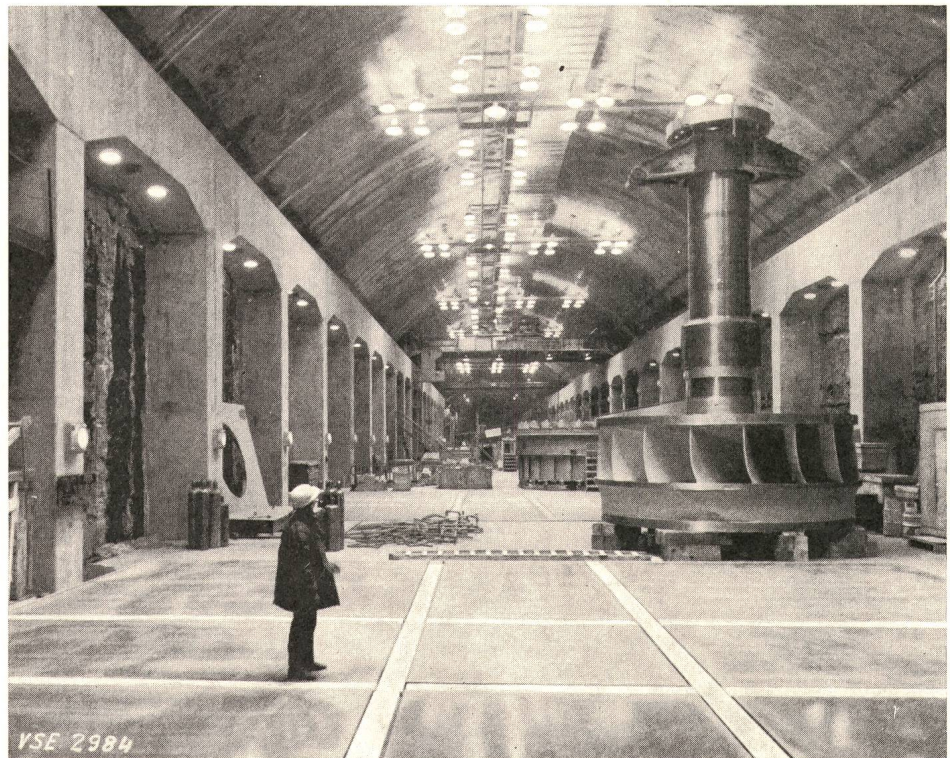
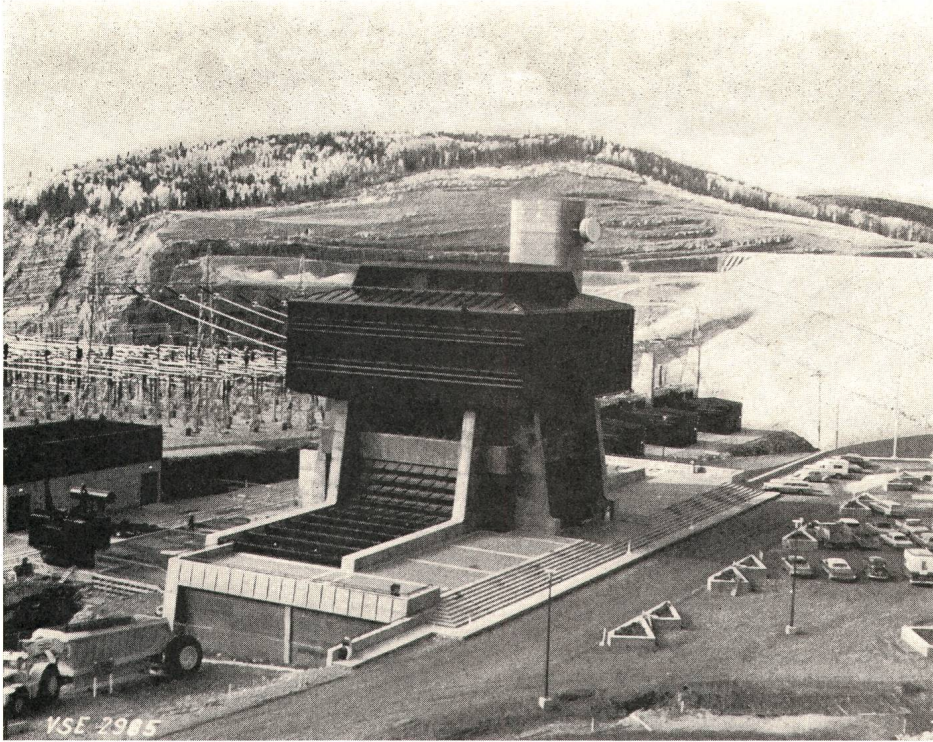


Fig. 10  
Kontrollgebäude



mehrerer, noch nicht erschlossener Wasserenergiequellen nicht urteilen. Seit der Entwicklung der Kernenergieanlagen ist die Wasserkraft sogar in typischen Wasserkraftländern nicht mehr die einzige praktisch vorzuziehende Energiequelle. Da der Energiebedarf beständig zunimmt, werden im südlichen Teil von B. C. auch thermische Kraftwerke geplant und errichtet. Wenn es dabei dazu kommen wird, dass hier die ersten Kernkraftwerke erstellt werden, dann werden die Bau- und Betriebsverhältnisse der Wasserkraftwerke sich beträchtlich verändern, wobei die Wasserkraftanlagen mehr zur Deckung der Lastspitzen angewiesen werden [9].

### 3. Das Columbia-Fluss Abkommen

Das Abkommen zwischen Kanada und den USA bezüglich einer koordinierten Ausnutzung des Columbia-Flußsystems stellt ein hervorragendes Beispiel der zwischenstaatlichen Verwertung von Naturschätzen dar. Eine zweckmässige Zusammenarbeit mehrerer Länder kann die maximale Ausbeutung der natürlichen Gegebenheiten ermöglichen und dadurch Vorteile für alle Beteiligten mit sich bringen. Dies wird immer wichtiger, weil unter dem Druck des ständig zunehmenden Bedarfs an Gütern die Ausbeutung der beschränkt vorhandenen Naturschätze, einschliesslich der Energiequel-

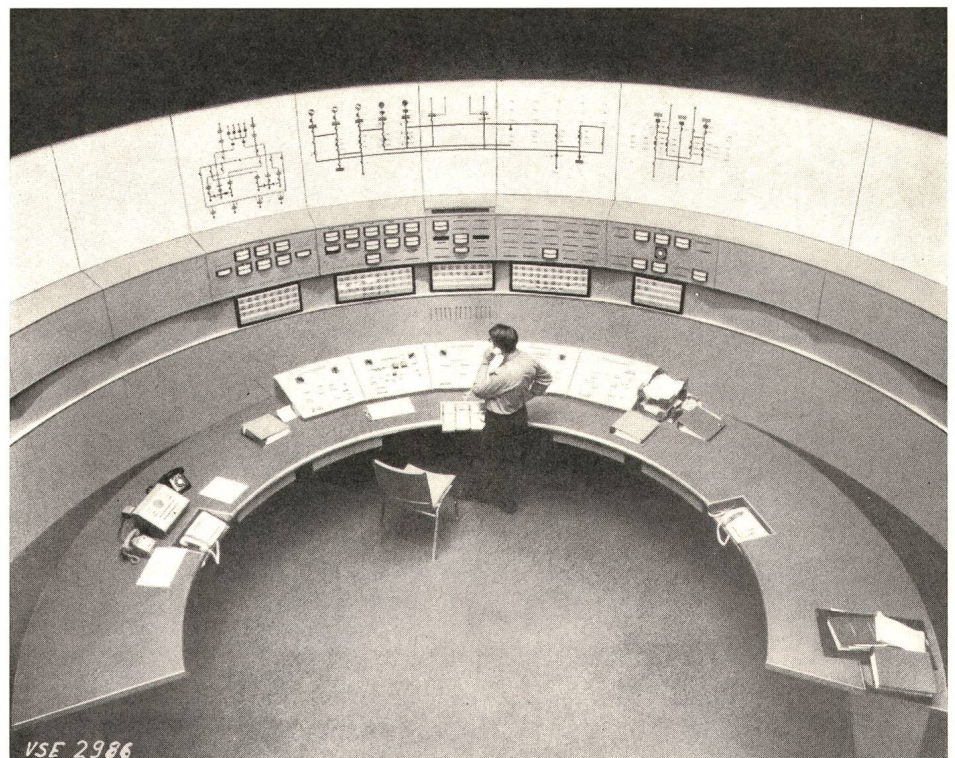


Fig. 11  
Kommandoraum



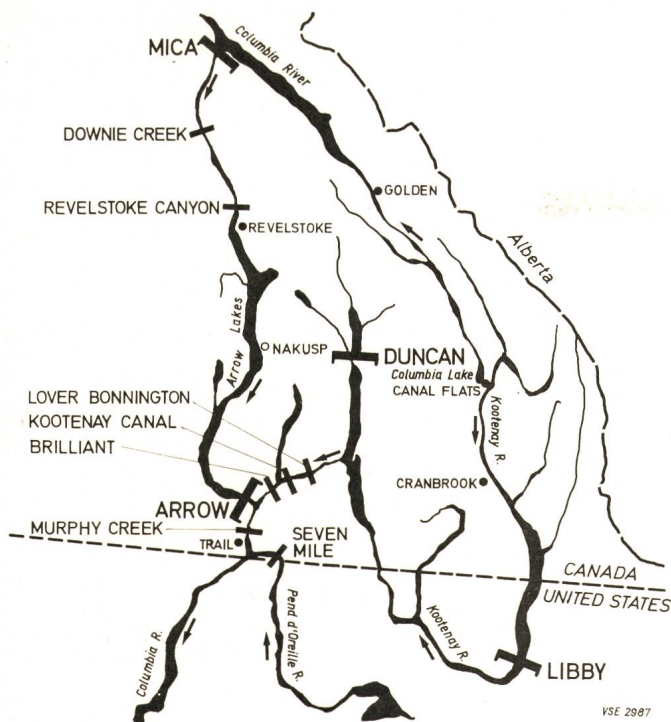


Fig. 12  
Ausbau des Columbia-Oberlaufs

— Dämme laut dem Abkommen mit den USA  
- - - die anderen geplanten Staustufen

len, immer intensiver vorgenommen werden muss. Es bezieht sich in vollem Masse auf den Ausbau der grossen Grenzflüsse, welche entweder die Staatsgrenzen bilden oder die Grenzen überqueren; der Columbia-Fluss gehört zu den letzteren (Fig. 1).

Der Columbia-Fluss entspringt der kanadischen Hochebene, 810 m über dem Meeresspiegel. Er fliesst nach Norden, macht eine 180°-Schleife, fliesst dann nach Süden und überquert nach einem 770 km langen Lauf und einer 410-m-Fallhöhe die USA-Grenze. Der grösste Zubringer am Oberlauf ist der Kootenay-Fluss (Fig. 12) [10]. Er beginnt ebenfalls in Kanada, überquert die USA-Grenze, kehrt nach Kanada zurück und mündet nahe an der USA-Grenze in den Columbia-Fluss.

Die Gesamtlänge des Columbia-Flusses ist 1970 km, sein Einzugsgebiet 670 000 km<sup>2</sup>, wovon 102 000 km<sup>2</sup> oder 15 % in Kanada liegen. Von dem durchschnittlichen Wasserdargebot, welches rund 225 Gm<sup>3</sup>/a beträgt, stammen 62 Gm<sup>3</sup>/a oder 28 % aus dem kanadischen Gebirgsland. Die Wasserführung des Flusses ist sehr ungleichmässig, wobei fast 90 % des Jahresabflusses auf die Frühlings- und Sommersaison entfallen. Die Hochwasserspitze, im Mai oder Juni, wird von der Schneeschmelze in den Gebirgsgebieten verursacht, so dass 35...40 % des Flutwassers aus dem kanadischen Teil des Einzugsgebiets kommen. Dieser Umstand hat den Bau von Auffangspeichern am Oberlauf des Flusses gefördert, um die Hochwasserschäden abzuwenden und den Jahresabfluss für die Energieerzeugung und Bewässerung zweckmässig einzusetzen.

Der Columbia-Fluss ist der grösste Träger der hydraulischen Energie in Nordamerika (s. Fig. 2). Der überwiegende Teil seines Kraftpotentials befindet sich auf dem mittleren

und unteren Flusslauf, in den USA, wo eine mächtige Kraftwerkskette mit einer Leistung von 13,0 GW errichtet worden ist; nach den geplanten Erweiterungen wird die Leistung dieses Wasserkraftsystems auf mehr als 20,0 GW gebracht werden (Tabelle I) [11].

Der Nutzinhalt der Staubecken an der bestehenden Kraftwerkskette beträgt 16,4 Gm<sup>3</sup>; dieser Vorrat ist zur Regelung des ganzen Kraftwerkssystems unzureichend, weshalb zusätzliche Speicherräume auf dem Oberlauf von grosser Bedeutung zur Flussaussnutzung sind.

Die Tabelle 1 gibt Einsicht in den Umfang der Wasserenergieverwertung im Columbia-Flussgebiet; die reichliche Wasserführung kombiniert sich hier mit einem erheblichen Gefälle und günstigen Ausbauehältnissen. Nur wenige andere Flüsse der Welt, zum Beispiel die Flüsse Sibiriens, die Wolga u.a. [13; 14; 15], können ein Potential an hydraulischer Energie dieser Grössenordnung aufweisen.

Die ersten Staustufen auf dem Columbia-Fluss – Bonneville und Grand Coulee – wurden 1938...1941 errichtet; dabei standen die Forderungen der Bewässerung und der Schifffahrt im Vordergrund. Da während des Krieges der Energiebedarf rasch anstieg, musste der Ausbauplan revidiert und das Schwergewicht auf die Energieerzeugung gelegt werden. Die wirtschaftliche Entwicklung des Gebiets verstärkte auch die Forderungen nach einer wirksamen Flutkontrolle. Dieses Problem konnte nur durch die Errichtung grosser Speicherräume am Oberlauf des Flusses gelöst werden. Es führte zu langen Verhandlungen zwischen Kanada und den USA über eine koordinierte Ausnutzung dieses ergiebigen Flußsystems. Als Endresultat wurde 1964 ein Abkommen bezüglich des Ausbaus und des Betriebs von Wasserspeichern auf dem kanadischen Territorium abgeschlossen. Die zwei wichtigsten Grundlagen dieses komplizierten Abkommens sind in Kürze wie folgt [16]:

1. Zur Regelung des Jahresabflusses für die Zwecke der Energieversorgung soll Kanada drei Wasserspeicher mit einem Nutzinhalt von rund 19 Gm<sup>3</sup> erstellen.

Kraftwerkskette des Columbia Flußsystems

Tabelle I

Kraftwerk	Leistung, MW:	
	installiert <sup>1)</sup>	geplant <sup>2)</sup>
Grand Coulee	1940	5540 <sup>3)</sup>
Chief Joseph	1020	1730
Rocky Reach	710	1120
Wanapum	830	1330
Priest Rapids	790	1260
Mc Nary	980	1400
John Day	2160	2700
The Dalles	1120	1740
Bonneville	520	890
15 andere Werke	2600	3740
Insgesamt:	12670	21450

<sup>1)</sup> Da die Kraftwerkskette fortwährend erweitert wird, sind die Zahlen allmählichen Änderungen unterworfen.

<sup>2)</sup> Einige mögliche Baustellen, besonders auf den Zubringern, sind in diesen Zahlen nicht einbezogen worden, weil ihr Ausbau noch nicht bestimmt ist.

<sup>3)</sup> Die Endleistung des Grand Coulee Werks kann 9,2 GW erreichen 12.

auf dem Columbia – bei Mica Creek – für 8,6 Gm<sup>3</sup>  
 auf dem Columbia – beim Arrow-See – für 8,8 Gm<sup>3</sup>  
 auf einem Zubringer – beim Duncan-See – für 1,7 Gm<sup>3</sup>

Die zusätzliche Energie, die in der Kraftwerkskette der USA durch die Abflussregelung mittels dieser Speichervorräte erzielt werden kann, wird im Verhältnis 1:1 den beiden Staaten zugeteilt werden. Die Energiemengen, welche Kanada zustehen, müssen entweder ins kanadische Netz eingeleitet werden, oder sie können an USA verkauft werden.

2. Ein Speichereinhalt von 10,4 Gm<sup>3</sup> soll zur Abwendung von Hochwasserschäden bereitgehalten und je nach den Bedürfnissen der Flutkontrolle genutzt werden. Zum teilweisen Begleichen der Vorzüge, welche aus der Flutkontrolle entstehen werden, haben die USA einen Betrag von 70 Mio. \$ als eine Vorzahlung zur Errichtung von Speicherräumen an Kanada erteilt.

Eine Reihe anderer Vereinbarungen regelt die zahlreichen technischen, betrieblichen und finanziellen Probleme dieses verwickelten Abkommens.

Da zum Zeitpunkt des Abkommens Kanada den Bau des G. Shrum-Grosskraftwerks aufgenommen hatte, wogegen die USA im Westen neue Energieerzeuger benötigte, wurde vereinbart, dass Kanada seinen Anteil der zusätzlichen Wasserenergie während der kommenden 30 Jahre an die USA verkaufen wird. Dafür erhielt Kanada eine Vorzahlung von 270 Mio \$, welche es zur Errichtung von Speichern und Kraftwerksausrüstung einsetzen konnte.

Die zusätzlich verfügbare Wasserenergie im Nordwesten der USA hat die Gestaltung des USA-Netzsystems an der Westküste beeinflusst. Da der grösste Energiebedarf hier in Süd-Kalifornien besteht, wurden zur Übertragung der zeitweilig überschüssigen Wasserenergie Fernleitungen für 500-kV-Dreh- und 750-kV-Gleichstrom errichtet [17; 2; 12].

#### 4. Ausbau des Columbia-Oberlaufs

Die Richtlinien des Ausbaus sind grundsätzlich schon durch das Abkommen bestimmt worden. Die dabei festgelegten Staustufen bilden das Rückgrat des Bauprogramms, welches die ganze Bauplanung in diesem Flussgebiet gefördert hat. Ohne das Abkommen würde die Bautätigkeit den jetzt vorgesehenen Umfang nicht erreichen können. Die wichtigsten der geplanten Bauten sind in Tabelle II angegeben (Fig. 12) [18].

Die Tabelle gibt ungefähre Zahlenwerte der Rahmenplanung an, die bei der praktischen Ausführung gewissermassen verändert werden. Dies bezieht sich vor allem auf die Kraftwerksleistung, deren Grösse nach den energiewirtschaftlichen Überlegungen in den späteren Planungsstufen bestimmt wird. Auffallend ist, dass bei zwei Staustufen – Arrow und Duncan – die laut dem Abkommen mit den USA erstellt wurden, keine Kraftanlagen errichtet worden sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in der Zeitperiode, da diese Staustufen errichtet wurden, in Kanada kein Mangel an Kraftwerksleistung bestand, wogegen eine Knappheit an Baukapital herrschte, so dass die Kraftanlagen weggelassen wurden. Auf lange Sicht kann aber diese Entscheidung nicht als zweckmässig angesehen werden. Der elektrische Energiebedarf nimmt überall rasch zu, so dass jede Möglichkeit der Energieerzeugung ausgenutzt werden muss. Da ausserdem bei den Wasserkraftanlagen der Staudamm die gröss-

#### Bauplanungen auf dem Columbia-Oberlauf

Tabelle II

Staufufe	Nutzinhalt des Staubeckens, Gm <sup>3</sup>	Leistung der Kraftanlage, MW
Mica <sup>1)</sup>	14,8	2600
Downie	0,6	1000
Revelstoke	0,3	630
Arrow <sup>1) 2)</sup>	8,7	–
Murphy Creek	–	300
Duncan <sup>1)</sup>	1,7	–
Kootenay Canal	1,0	500
Seven Mile	–	350
Insgesamt	27,1	5380

<sup>1)</sup> Die Staustufen gemäss dem Abkommen mit den USA.  
<sup>2)</sup> Später auf «Keenleyside» umbenannt.

#### Dämme des Columbia-Abkommens

Tabelle III

			Duncan	Keenleyside	Mica
Damm-	Höhe	m	40	62	200
	Länge	m	800	870	800
	Volumen	Mm <sup>3</sup>	4,9	7,4	32,0
Staubecken-	Länge	km	45	230	130
	Nutzinhalt	Gm <sup>3</sup>	1,7	8,7	14,8
Fertigstellung			1967	1968	1973

ten Ausgaben verursacht, ist die Angliederung der Kraftanlage mit relativ mässigen zusätzlichen Baukosten verknüpft [19; 20].

Die späteren Bestrebungen der B. C., eine grössere Wasserkraftleistung zu erhalten, äussern sich darin, dass die anfangs geplanten Leistungsbeträge an einigen Staustufen später erhöht worden sind; so ist die Leistung an dem Mica-Staudamm von den zuerst geplanten 2000 MW auf 2600 MW und die Leistung des Kootenay-Canal-Werks von 270 MW auf 500 MW vergrössert worden. Ob Kraftanlagen nachträglich auch an den Arrow- und Duncan-Dämmen erstellt werden, kann man nicht voraussagen. Eine spätere Hinzufügung der Maschinenanlage muss aber bezweifelt werden, weil die Errichtung von Kraftanlagen an Staudämmen, welche von Anfang an für Energieerzeugung nicht ausgelegt worden sind, kostspielig und umständlich ist.

Die technischen Angaben der drei im Abkommen vorgesehenen Dämme sind in Tabelle III angeführt [21].

Der Duncan-Damm befindet sich auf dem Auslauf des Duncan-Sees, welcher den Speicherraum bildet. Der Damm steht auf weichem Boden, so dass man ein gewisses Setzen des Damms voraussah, was tatsächlich auch erfolgte. Dieser Vorgang wurde mittels eines Instrumentsystems überwacht. Der Damm erhöhte den Wasserspiegel im Duncan-See, wodurch seine Oberfläche sich von 30 km<sup>2</sup> auf 74 km<sup>2</sup> vergrösserte und einen Nutzinhalt von 1,7 Gm<sup>3</sup> ergab.

Der Hugh-Keenleyside-Damm befindet sich auf dem Columbia-Fluss, am Auslauf des Arrow-Sees; er liegt 50 km nördlich von der USA-Grenze. Der Damm besteht aus einer 500 m langen Erddamm-Sektion und einem Beton-Überfallwehr, zwischen denen eine 15 × 90 m-Schiffsschleuse liegt (Fig. 13). Die Betonbauten sind auf festem Gesteinfunda-

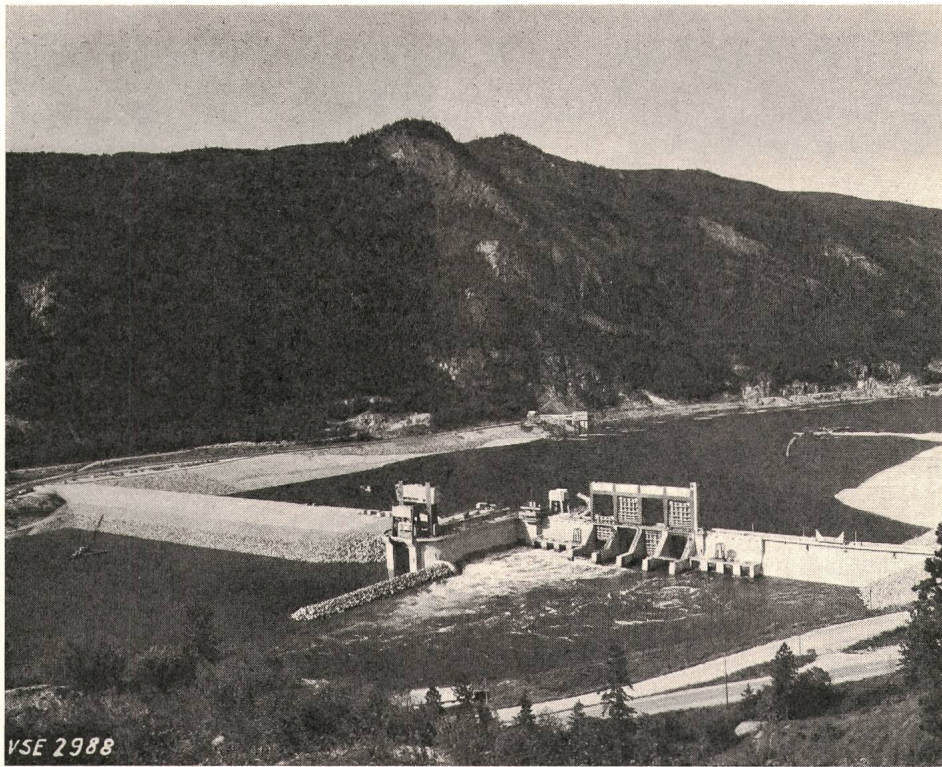


Fig. 13  
Der Hugh Keenleyside (Arrow) Damm

ment errichtet worden. Der Erddamm dagegen, der den eigentlichen Flussquerschnitt absperrt, liegt auf einer Schicht der Sand- und Gesteinablagerungen, welche die Flußsohle bilden. Da die grosse Tiefe des Flußstroms (bis 35 m) und das weiche Fundament die Errichtung einer Baugrube sehr erschweren würden, wurde der Erddamm einfach durch das Entladen des Baumaterials aus den Barken ins Wasser errichtet.

Der Damm hat den Wasserspiegel des Arrow-Sees um 12 m erhöht und einen Speicher mit einem regelbaren Wasservorrat von  $8,7 \text{ Gm}^3$  geschaffen. Das aufgespeicherte Wasser wird gemäss dem Betriebsplan der Kraftwerkskette des Flus-

ses und den Forderungen des Hochwasserschutzes abgelassen werden. An dem Damm ist keine Kraftanlage errichtet worden; die Ursachen dieser merkwürdigen Tatsache sind früher erwähnt worden.

Das grösste Bauvorhaben des Abkommens ist der Mica-Staudamm, der sich zurzeit im Bau befindet (Fig. 14). Er befindet sich 380 km nördlich des Arrow-Damms an der Schleife des Columbia-Flusses, wo der Strom das Gebirge überquert. Die hohen, steilen Ufer begünstigen hier die Errichtung einer hohen Stausperre. Sie wird hier ebenfalls ein Erd-Stein-Bauwerk sein. Der 240 m hohe Damm wird zur Gruppe der höchsten Erddämme der Welt gehören. Der



Fig. 14  
Der Mica Staudamm im Bauzustand  
Über die Höhe des fertiggestellten Damms kann man aus der Lage des Überfallwehrs (rechts) urteilen

Nutzzinhalt des im Aufstauraum entstandenen Wasserspeichers wird einen Wasservorrat von  $14,8 \text{ Gm}^3$  enthalten. Man plant den Damm 1973 fertigzustellen.

An dem Mica-Damm wird eine Grossleistungs-Kraftanlage errichtet, welche die hohe Aufstauung zur Energieerzeugung ausnutzen wird. Die Aggregate werden in einem Untergrund-Maschinenhaus untergebracht werden. Die zuerst geplante Leistung von 2000 MW wurde gemäss der allgemeinen Tendenz im Wasserkraftbau später auf 2600 MW erhöht, um mit Hilfe der vorhandenen Wasserbauten einen grösseren Leistungsbedarf decken zu können. Infolge der hohen nutzbaren Fallhöhe kann die Leistung hier in wenigen Grossaggregaten installiert werden. Die Anlage wird 6 Maschinensätze für je 435 MW enthalten; sie werden die zweitgrössten Wasserkrafteinheiten Kanadas sein [22]. Die ersten zwei Aggregate sollen planmässig 1976 den Betrieb aufnehmen.

Bauarbeiten sind auch auf dem Kootenay-Kanal zur Errichtung eines Wasserkraftwerks für  $4 \times 125 = 500 \text{ MW}$  aufgenommen worden; die ersten zwei Einheiten sollen den Betrieb 1975, die restlichen 1976 aufnehmen. Der rasche Lastanstieg erfordert es, den Ausbau der geplanten Wasserkraftwerke zu beschleunigen. Da aber die Wasserkraft allein den Anstieg des Energiebedarfs nicht decken kann, werden in den kommenden Jahren auch in diesem Wasserkraftland thermische Anlagen in zunehmendem Masse gebaut werden.

### 5. Schlussfolgerungen

Ungefähr 75 % der elektrischen Energie werden in Kanada hydraulisch erzeugt. Um dem Anstieg des Leistungsbedarfs folgen zu können, ist der Wasserkraftbau während der letzten Jahrzehnte eifrig vorangetrieben worden, wodurch auf den kanadischen Flüssen bemerkenswerte Grosskraftanlagen entstanden sind. Da die meisten südlich gelegenen Wasserenergiequellen schon erschlossen sind, muss man zum Ausbau der nördlichen, abseits liegenden Wasserkräfte antreten. Dabei kann der Einsatz der Kernenergie in naher Zukunft die wirtschaftliche Ausbauwürdigkeit der Wasserkräfte und die energetischen Aufgaben der Wasserkraftanlagen beträchtlich verändern.

Die westliche Zone Kanadas ist ein Gebirgsland mit bedeutenden Wasserenergiequellen, zu deren Ausnutzung umfangreiche Wasserbauten erstellt werden. Durch das Abkommen zwischen Kanada und den USA bezüglich des Columbia-Flußsystems ist hier ein hervorragendes Beispiel des zwischenstaatlichen Zusammenwirkens in der Ausnutzung der ausgedehnten Flußsysteme gegeben.

Die erstellten und die im Bau befindlichen Wasserkraftanlagen werden imstande sein, die meisten Energiebedürfnisse von British Columbia während dieses Jahrzehnts zu decken. Danach werden die hydraulischen Anlagen allmählich von thermischen Kraftanlagen, vor allem von Kernkraftwerken, ergänzt werden müssen [23]. Diese Umwandlung muss bei dem weiteren Ausbau der Wasserenergiequellen im Auge behalten werden. Dabei werden die Wasserkraftanlagen, welche über genügende Wasserreserven verfügen, in zunehmendem Masse zur Deckung der veränderlichen Tageslastzonen eingesetzt werden. Zur Erfüllung der Aufgabe der Spitzendeckung ist auch die in den Wasserkraftwerken der B. C. einzubauende Maschinenleistung gegenüber den früheren Planungen erhöht worden. Dies stimmt mit der führenden Tendenz des Wasserkraftbaus überein.

### Literatur

- [1] The 1970 National Power Survey. Part I. Federal Power Commission. U.S. Government Printing Office, Washington, 1971.
- [2] A. Kroms: Wasserkraft in der Energieversorgung der USA. ÖZE, 19(1966)2, S. 85...98.
- [3] R. P. Charbonnier; C. E. Baltzer; R. A. Simpson: The Comparative Position of the Main Fuel in Canada. World Power Conference, Tokyo, 1966. Paper IIB - 106.
- [4] A. Kroms: Die Ausnutzung der kanadischen Wasserkräfte. Schweizerische Bauzeitung, 86(1968)35, S. 621...629.
- [5] Electric Power in Canada, 1970. Department of Energy, Mines and Resources. Ottawa, Canada.
- [6] A. Kroms: Wasserkraftwerke in Energiesystemen verschiedener Leistungsstruktur. ÖZE, 18(1965)10, S. 385...396.
- [7] A. Kroms: Zur Erweiterung eines Energiesystems. Elektrizitätswirtschaft, 70(1971)20, S. 591...600.
- [8] Peace River Project. Review of Construction. B. C. Hydro and Power Authority, Vancouver, B. C. 1969.
- [9] Hydroelectric Power Evaluation. Federal Power Commission. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C.
- [10] Columbia River Development. B. C. Hydro and Power Authority, Vancouver, B. C. 1967.
- [11] J. H. S'eede; H. K. Pratt: Electric Power as a Stimulus to Economic Development. World Power Conference, Moscow, 1968. Paper C<sub>2</sub> - 159.
- [12] A. Kroms: Zur Erweiterung des Grand Coulee Kraftwerks. ÖZE, 21(1968)30, S. 118...123.
- [13] A. Kroms: Die Wasserkräfte Sibiriens. Schweizerische Bauzeitung, 86(1968)12, S. 185...191.
- [14] A. Borowoi: Perspektiven der Entwicklung der Wasserkraftwirtschaft Sibiriens. ÖZE, 22(1969)12, S. 617...627.
- [15] A. Kroms: Die Kraftwerkskette auf der Wolga. ÖZE, 21(1968)12, S. 855...865.
- [16] G. H. Fernald: Columbia River Treaty Implementation. World Power Conference, Tokyo, 1966. Paper IC - 81.
- [17] The 1970 National Power Survey. Part III. Federal Power Commission. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C.
- [18] B. C. Hydro News Release. Vancouver, B. C., 1972.
- [19] A. Kroms: Vergleich der Errichtungskosten von Kraftwerken. ÖZE, 16(1963)4, S. 289...301.
- [20] A. Kroms: Über die Ausbauleistung der Wasserkraftwerke. ÖZE, 8(1955)2, S. 48...62.
- [21] Seventh Annual Report of B. C. Hydro and Power Authority. Vancouver, B. C. Canada, 1969.
- [22] A. Kroms: Ein Grosskraftwerk im Hohen Norden. ÖZE, 24(1971)12, S. 489...502.
- [23] Forecast of Growth of Nuclear Power, 1971. U. S. Atomic Energy Commission. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C.

### Adresse des Autors:

A. Kroms, Boston (USA)