Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 93 (1975)
Heft: 27

Artikel: Die nordischen Wasserkräfte, insbesondere Kanadas
Autor: Kroms, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72777

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: 12.07.2025

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

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, 8021 ZÜRICH, POSTFACH 630

Die nordischen Wasserkräfte, insbesondere Kanadas

Von **A. Kroms**, Boston, USA

DK 621.221

Probleme der Wasserkraftnutzung

Obwohl die Wasserenergiequellen seit dem Anfang unseres Jahrhunderts ausgebaut worden sind, sind doch bisher weniger als 50% der ausbauwürdigen Wasserkräfte der Welt erschlossen worden [1, 2, 3]. Dieser Lage liegen mehrere technische und wirtschaftliche Umstände zugrunde, welche eine schnellere Erschliessung der unversiegenden Energiequellen hindern.

Die Verwertung der Wasserenergie wird von den örtlichen Verhältnissen in einem weit höheren Masse als die thermische Energieerzeugung beeinflusst. Hierher gehören: der Standort der Wasserkräfte, die verfügbare Wasserleistung und ihre Schwankungen, die topographischen und geologischen Verhältnisse, die Möglichkeiten der Wasserspeicherung usw. Von diesem Standpunkt aus werden die Wasserkräfte als «ausbauwürdig» und «nicht ausbauwürdig» bewertet.

Die Ausbauwürdigkeit ist kein fester Kennwert, weil sie nicht nur von den Eigenschaften der Wasserenergiequelle, sondern auch von Faktoren, welche ausserhalb der Wasserkräfte liegen, beeinflusst wird. Hierzu gehören das Vorhandensein anderer Energiequellen, ihre Kosten, die Lastverhältnisse, die Verfügbarkeit an Baukapital usw. Die Ausbauwürdigkeit ist ein wirtschaftlicher Kennwert, der durch den Vergleich der Wasserkraft mit den anderen vorhandenen Möglichkeiten der Energieerzeugung festgelegt wird. Da viele Faktoren zeitbedingten Veränderungen unterliegen, muss die Ausbauwürdigkeit der Wasserenergiequellen von Zeit zu Zeit neu geprüft und bewertet werden. Die Wasserkraftnutzung wird von ihrer Energiequelle wie folgt beeinflusst:

Die Wasserenergie ist standortgebunden, weshalb sie an ihren Quellen in eine andere, transportable Energieform umgesetzt werden muss. Daher konnte die Ausnutzung der Wasserenergiequellen in grossem Ausmass nur nach der technischen Entwicklung des elektrischen Energietransports verwirklicht werden. Diese Entwicklung, die nach dem Ersten Weltkrieg begann, hat im Laufe von einigen Jahrzehnten die Wasserkraft zu einer der wichtigsten Energiequellen der elektrischen Energiewirtschaft gemacht. Zur Zeit werden 20 bis 25% der elektrischen Energieausbeute der Welt mit Wasserenergie erzeugt. In vergangenen Jahren stand Wasserenergie grösstenteils mit der Kohle im Wettbewerb; in Zukunft wird sie in zunehmendem Masse mit Kernenergie wetteifern müssen. Dies wird die Ausbaumöglichkeiten und die Betriebsverhältnisse der Wasserkraftanlagen erheblich verändern.

Die Natur setzt Grenzen sowohl bezüglich der Mengen der Wasserenergie als auch ihrer Ausbaumöglichkeiten. Der Anteil der Wasserkraft an der Erzeugung elektrischer Energie hat den Höhepunkt bereits überschritten, so dass in den kommenden Jahren ihre Rolle sich allmählich vermindern wird. Da die meisten wichtigsten Wasserenergiequellen bald ausgebaut sein werden, nähert sich die Ära des Wasserkraftbaus, wenigstens in ihrer bisherigen Form, ihrem Ende. Wenn auch neue Wasserkraftanlagen fortwährend errichtet werden, kann doch der Wasserkraftbau mit dem Anstieg des Energiebedarfs nicht Schritt halten, weshalb die Zunahme des Energieverbrauchs in erster Linie von den thermischen Anlagen aufgenommen werden soll. Man schätzt, dass bis Ende des Jahrhunderts die Rolle der Wasserenergie in der elektrischen Energieversorgung von den heutigen 25% auf etwa 10 bis 15% zurückgehen wird. Danach wird ihr Anteil weiter herabsteigen [4].

Um Wasserenergie einer Flussstrecke zu verwerten, muss ihr Gefälle an einer günstigen Stelle mittels eines Staudamms konzentriert werden. Dadurch wird nicht nur eine ausnutzbare Fallhöhe erzeugt, sondern im Aufstauraum auch ein Wasservorrat aufgespeichert, der die Schwankungen des Wasserdargebots überbrückt und dadurch zur Leistungsregelung der Anlage dient. Da der spezifische Energiegehalt des Wassers gering ist, müssen in solchen Anlagen grosse Mengen des Energieträgers durchgesetzt werden, wodurch die Ausmasse der Bauten und ihre Errichtungskosten sich entsprechend erhöhen; dies kommt besonders bei Anlagen mit niedrigen Fallhöhen zum Ausdruck. Der grosse Kapitalaufwand ist der wichtigste Faktor, der einen schnelleren Einsatz der Wasserenergie in die Energiewirtschaft gehindert hat.

Die Kosten der Wasserbauten werden von örtlichen Faktoren topographischer, geologischer und hydraulischer Natur erheblich beeinflusst. Dabei üben die Grösse der Anlage und die Höhe des ausnutzbaren Gefälles einen besonderen Einfluss auf die spezifischen Baukosten aus. Auch der Bedarf nach immer grösseren Energieerzeugungsanlagen hat den Ausbau zahlreicher kleiner Wasserkräfte fraglich gemacht.

Ein charakteristisches Merkmal der Wasserenergiequellen ist ihre Ungleichmässigkeit. Zur Überbrückung der Unterschiede zwischen der schwankenden Wasserleistung und den Lastbedürfnissen sind daher grosse Speicherräume nötig, die bei den Flachlandflüssen zu erheblichen Überflutungen des Flusstals führen. Wenn die Regelung der Wasserleistung in benötigtem Ausmass nicht erreicht werden kann, dann muss im Energiesystem eine besondere Ausgleichsreserve bereitgehalten werden, welche die zeitweiligen Leistungsmängel ersetzt [5, 6]. Die von dieser Reserveleistung verursachten Kosten müssen bei der wirtschaftlichen Beurteilung der Wasserkraftwerke berücksichtigt werden. Die Wasserkraftwerke dagegen, welche genügende Speicher besitzen, sind sehr elastische Energieerzeuger, die sich den raschen Lastschwankungen günstig anpassen können und zur Deckung der Spitzenlast vortrefflich geeignet sind.

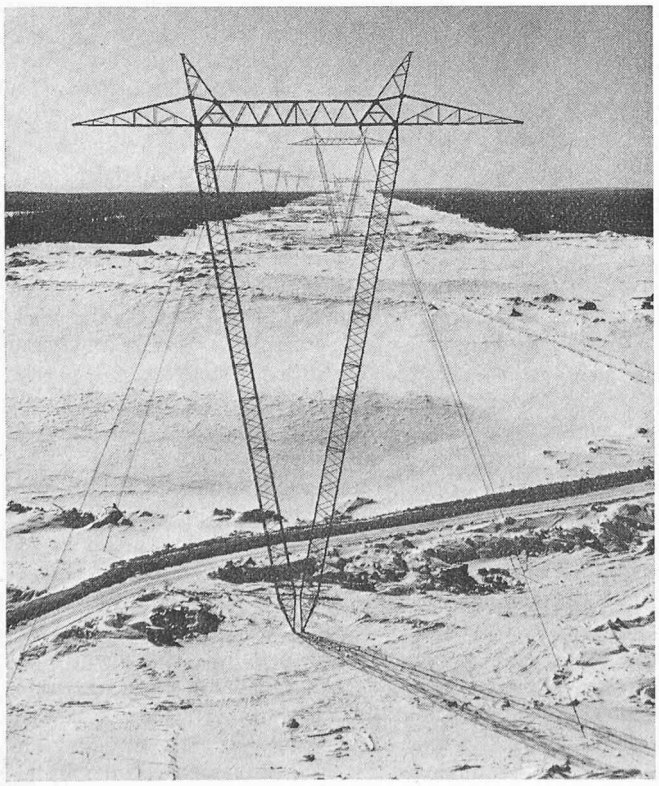
Der rasche Ausbau der thermischen Anlagen und die Ausdehnung der Verbundnetze verändern die Betriebszustände und die Aufgaben der Wasserkraftanlagen. Während in der ersten Entwicklungsperiode der Wasserkraftwerke ihre Hauptaufgabe in der Lieferung billiger Grundlastenergie bestand, werden sie in der letzten Zeit zunehmend zur Aufnahme der Lastspitzen ausgelegt. Das Schwergewicht der energetischen Aufgaben der hydraulischen Anlagen hat sich damit von der Energiebilanz auf die Leistungsbilanz verlagert [7, 8]. Die neu zu erstellenden Wasserkraftwerke werden dieser Umstellung angepasst. Da die umfangreichen Wasserbauten von der instal-

lierten Maschinenleistung nur geringfügig beeinflusst werden, bringt die Leistungserhöhung nur mässige zusätzliche Kosten mit sich [9, 10]. Zur Spitzendeckung werden letzthin Pumpspeicherwerke in zunehmendem Masse errichtet; in den Industrieländern, wo die meisten primären Wasserenergiequellen schon erschlossen sind, werden die Pumpspeicherwerke die führende Rolle in dem hydraulischen Kraftwerkbau übernehmen [4, 11, 12].

Da die wichtigsten Wasserkräfte Westeuropas und der USA ausgebaut worden sind, wird hier der Bau von neuen primären Wasserkraftwerken bald zum Schluss kommen; nur die Erweiterung der bestehenden Anlagen und die Errichtung von Pumpspeicherwerken wird fortgesetzt werden. In den wirtschaftlich rückständigen Gebieten dagegen sind noch ergiebige unausgenutzte Wasserenergiequellen vorhanden, deren Ausbau von dem Kapitalmangel, dem ungenügenden örtlichen Energiebedarf oder von technischen Schwierigkeiten des Energietransports verzögert worden ist. Da die meisten nicht erschlossenen Wasserkräfte weit entfernt von den Schwerpunkten des Energiebedarfs liegen, ist ihre Ausnutzung nur mit Hilfe der elektrischen Fernübertragung möglich. Die Beherrschung der Betriebsspannungen von über 400 kV hat die Erschliessung dieser Wasserkräfte gefördert, wenn auch der Ferntransport der Energie erhebliche zusätzliche Kapitalinvestitionen verursacht.

Die noch nicht ausgebauten Wasserkräfte befinden sich vorwiegend in zwei Klimazonen der Erde – in den tropischen Gebieten (Afrika, Südamerika, Asien) und im *hohen Norden* (Kanada, Alaska, Sibirien, Skandinavien), wo ihr Ausbau von den ungünstigen klimatischen Umständen und dem Mangel an nahe liegenden Grossverbrauchern verzögert worden ist. Die Erschliessung dieser bisher vernachlässigten Wasserkräfte ist zur Zeit im Gang, weil sie die letzten grossen Wasserenergiereserven der Welt darstellen. Im folgenden wird der Ausbau der in den spärlich besiedelten nördlichen Gebieten befindlichen Wasserenergiequellen erörtert.

Bild 1. 735-kV-Fernleitung. Die Linie überträgt Energie vom Churchill Falls-Wasserkraftwerk im Norden von Labrador bis nach Montreal



Die Wasserkräfte im Norden

Die nordischen Länder werden von zahlreichen Flüssen durchquert, welche grosse Wassermengen tragen. Sie enthalten ein erhebliches Wasserkraftpotential, welches vor kurzem in einem nur bescheidenen Masse erschlossen war, weil weder die technischen noch die wirtschaftlichen Umstände zu einer grosstechnischen Verwertung dieser ergiebigen, aber weit abseits liegenden Energiequellen reif waren. Die Zustände haben sich aber in den letzten Jahrzehnten geändert, was auf zwei Gründe zurückzuführen ist:

1. der rasche Anstieg des Energiebedarfs und eine allmähliche Erschöpfung der verbrauchsnahen Energiequellen haben die Energiewirtschaft gezwungen, neue Energiequellen zu suchen;
2. mit der Entwicklung der elektrischen Fernübertragung liegen die technischen Möglichkeiten einer erfolgreichen Ausnutzung der nordischen Wasserkräfte auf der Hand.

Die wichtigsten Einflussfaktoren beim Ausbau der nordischen Wasserenergiequellen sind folgende:

Die hemmenden Faktoren

Das grösste Hindernis in der Erschliessung der nordischen Wasserkräfte ist ihre geographisch ungünstige Lage. Vor einigen Jahrzehnten, als die höchste Übertragungsspannung bei ~220 kV lag, war es praktisch unmöglich, grosse Leistungen auf die hierbei in Frage kommenden Entfernungen zu übertragen. Die Steigerung der Betriebsspannungen, die zur Zeit rund 750 kV erreicht haben und voraussichtlich bald die 1000-kV-Grenze überschreiten werden, hat es ermöglicht, grosse Energiemengen auf Entfernungen von einigen 1000 km zu transportieren, Bild 1 [13, 14]. Zum Ferntransport der Energie erwirbt auch der Hochspannungs-Gleichstrom eine immer grössere Bedeutung.

Die umfangreichen Bauarbeiten auf den nördlichen Flüssen werden von der Winterkälte erschwert, wodurch die Bauzeiten sich verlängern und die Kosten steigen. Ausserdem ist es nötig, lange Zugangswege und ausgedehnte Arbeiterwohnstätten an der Baustelle zu errichten (Bild 2). Bei der Bauausführung müssen besondere Massnahmen getroffen werden, um die Betonierung während der langen Kälteperiode fortsetzen zu können; dazu müssen die Arbeitsstellen bedeckt und beheizt werden, was infolge der grossen Ausmasse der Arbeitsstätten nicht leicht durchführbar ist. So wurden bei der Errichtung des Kettle-Kraftwerks auf dem kanadischen Nelson-Fluss die Baustellen im Winter mit zerlegbaren Stahl- und Plastik-Umhüllungen bedeckt, die nach der Vollendung der Betonierung über einer anderer Stelle zusammengestellt werden konnten [15]. Unter den beheizten Bedeckungen war es möglich, die Betonierung bei äusseren Temperaturen bis —40 °C durchzuführen.

Da in den Kavernen die Bauarbeiten das ganze Jahr hindurch verrichtet werden können, wird den Untergrund-Maschinenanlagen, wo möglich, der Vorrang gegeben; man verkürzt dadurch nicht nur die Bauzeit, sondern später wird auch der Kraftwerkbetrieb von den harschen klimatischen Einflüssen entlastet. Der lange, schneereiche Winter hindert ausserdem die Errichtung und den Betrieb der Hochspannungslinien, die nicht selten über schwer zugängliche Gegenden führen.

Die klimatischen Umstände erschweren den Kraftwerkbetrieb; im Winter wegen der dicken Eisdecke; im Frühling ist es der schwere Eisgang, der mit der hohen Wasserführung der Schneeschmelze zusammenfällt. Grosse Eisblöcke müssen ohne Verstopfung und ohne Beschädigung der Kraftwerkausrüstung über das Wehr abgeleitet werden. Die Massnahmen für eine sichere Eisableitung müssen sowohl bei der Gestaltung als auch beim Betrieb der Wasserbauten getroffen

werden; so hält man beispielsweise das Eis im Staubecken solange zurück, bis es durch die Frühlingssonne geschwächt ist und ohne Gefahr abgeleitet werden kann.

Eine grosse Anzahl Wasserkraftwerke, die in den dichtbesiedelten Gebieten der mittleren klimatischen Zonen liegen, sind als Mehrzweckanlagen ausgelegt: sie dienen nicht bloss zur Energieerzeugung, sondern auch für andere Wasserwirtschaftszweige, wie Schiffahrt, Bewässerung, Hochwasserschutz usw. [16], so dass ihre Ausgaben von mehreren Wirtschaftssektoren aufgenommen werden. Dadurch wird die Rentabilität der Anlagen erhöht. Die Aufgaben des Flussausbaus in nördlichen Gebieten sind dagegen fast ausschliesslich auf die Energieerzeugung beschränkt, weil die anderen Zweige der Wasserwirtschaft hier nur wenig Bedeutung haben.

Die fördernden Faktoren

Trotz der erwähnten Schwierigkeiten werden die nordischen Wasserkräfte in der letzten Zeit rasch ausgebaut. Diese Entwicklung wird von mehreren Umständen gefördert [14, 17]: In den südlichen Zonen der betreffenden Länder nimmt der Energiebedarf ständig zu. Da die verbrauchsnahen Wasserenergiequellen zum grössten Teil schon erschlossen worden sind, ist der Zeitpunkt gekommen, da man die brachliegenden nordischen Wasserkräfte ausnutzen muss. In einigen Ländern stellen die im hohen Norden liegenden Wasserkräfte die letzten noch nicht erschlossenen unversiegenden Energiequellen dar. Der ansteigende Energiebedarf, die Schwierigkeiten in der Ausbeutung anderer Energiequellen und die neuen Möglichkeiten des Energie-Ferntransports haben den unverzüglichen Ausbau der abseits liegenden Wasserkräfte bewirkt.

Die nordischen Flüsse sind wasserreich; Überflutungen, die von hohen Aufstauungen verursacht werden, sind in diesen spärlich besiedelten Gegenden zulässig. Es ist daher möglich, das Gefälle der Flussläufe an wenigen, topographisch günstigen Stellen zu konzentrieren; dadurch wird die Anzahl der Baustellen vermindert, die Leistung der Werke erhöht und die spezifischen Baukosten werden entsprechend herabgesetzt. Auf den nordischen Flüssen entstehen grosse Wasserkraftwerke mit Leistungen zwischen 4 und 6 GW, die die meisten Wasserkraftanlagen anderer klimatischer Zonen übertreffen.

Da der Ferntransport der elektrischen Energie zufriedenstellend gelöst worden ist, bestehen zur Zeit fast gar keine Beschränkungen sowohl bezüglich der zu übertragenden Leistungen als auch der Entfernungen. Dadurch ist das wichtigste Hindernis für die Ausbeutung der nordischen Wasserenergiequellen beseitigt worden. Da aber die Wasserkraftwerke und die langen Hochspannungslinien kostspielig sind, müssen sie aus wirtschaftlichen Gründen möglichst vollständig ausgelastet werden. Daher werden die nordischen Wasserkraftanlagen vorwiegend zur Deckung der Grundlast ausgelegt.

Die nordischen Wasserkräfte Kanadas

Die Energiegrundlage

Die reichlichen Wasserkräfte, die sich in den nordischen Gebieten Kanadas befinden, sind bisher nur teilweise erschlossen worden [18, 19, 20, 21]. Die wichtigsten Wasserenergiequellen befinden sich im gebirgigen Westen (British Columbia), im Osten (Quebec) wie auch in einem Flusssystem der mittleren Provinzen (Manitoba). Die sechsmonatige Leistung der noch nicht ausgebauten Wasserkräfte wird auf 60 bis 80 GW geschätzt; ein erheblicher Teil davon liegt im Norden und ist nicht genügend erforscht worden. Da der Energiebedarf rasch zunimmt, müssen die ausbauwürdigen Wasserkräfte bald zur Energieerzeugung herangezogen werden, weil sonst grosse thermische Anlagen errichtet werden müssen. Die günstigen Betriebsergebnisse der kanadischen schwerwassermoderierten Kernkraftanlagen des Typs *Candu*, welche Natururan ausnutzen, können dazu führen, dass ziemlich bald der weitere Ausbau der abseits liegenden Wasserkräfte sich nicht mehr rechtfertigt. Diese Wasserkräfte müssen innerhalb der kommenden 15 bis 20 Jahre erschlossen werden. Die Entwicklung der kanadischen Kraftwerkleistung ist in Tabelle 1 dargestellt [18].

Tabelle 1. Die Entwicklung der Kraftwerkleistung Kanadas von 1940 bis 1973

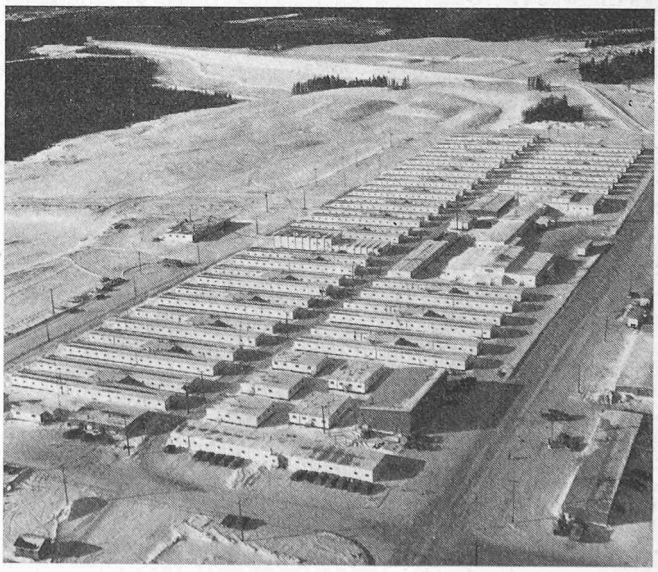
Jahr	Hydraulisch GW	%	Thermisch GW	%	Insgesamt GW
1940	6,2	92	0,5	8	6,7
1950	8,9	91	0,9	9	9,8
1960	18,7	81	4,4	19	23,1
1970	28,3	66	14,5	34	42,8
1973	34,3	63	20,0	37	54,3

Tabelle 2. Aufteilung der Wasserkraftleistung der kanadischen Provinzen Ende 1973

Provinz	Wasserkraftleistung MW	%
British Columbia	4800	14,0
Manitoba	2170	6,3
Ontario	7010	20,5
Quebec	13800	40,3
Die Atlantischen Provinzen	5100	15,0
Die restlichen Provinzen	1350	3,9
Insgesamt	34230	100,0

Obwohl die Rolle der thermischen Anlagen rasch zunimmt, so dass ihr Anteil in der Leistungsbilanz bereits ein Drittel übersteigt, wird doch die Wasserkraft ihren wichtigen Einfluss auf die Leistungs- und Energiebilanz der kanadischen Elektrizitätsversorgung noch auf eine lange Zeit beibehalten. Die Aufteilung der Wasserkraftleistung auf die einzelnen Provinzen Kanadas ist in Tabelle 2 angeführt. Vier Gebiete – British Columbia (B.C.), Ontario, Quebec und die Atlantischen Provinzen – verfügen über etwa 90% der hydraulischen Kraftwerkleistung. Die Bautätigkeit wird meistens in den nördlichen Zonen dieser Gebiete fortgesetzt.

Bild 2. Eine Arbeiterstätte für 2500 Arbeiter im Norden. Sie wurde für den Bau des Kettle-Kraftwerks auf dem Nelson-Fluss im Norden Kanadas errichtet



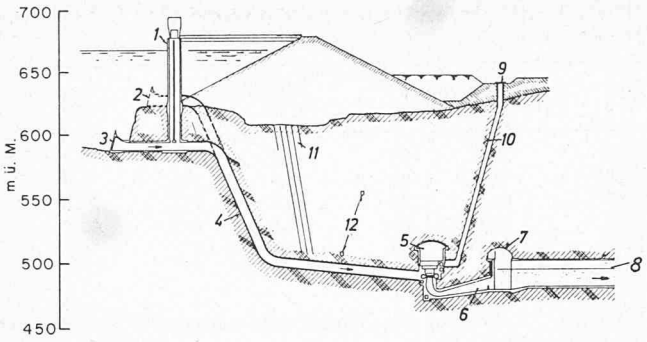


Bild 3. Längsschnitt der Kraftanlage G. M. Shrun. 1 Einlaufkontrolle, 2 und 3 Einlauf, 4 Druckrohre, 5 Maschinenhaus, 6 Auslass, 7 und 8 Ausgleichskammer und Ablasstunnel, 9 Umspannstation, 10 Kabelschacht, 11 Abschirmung, 12 Entwässerungstunnel

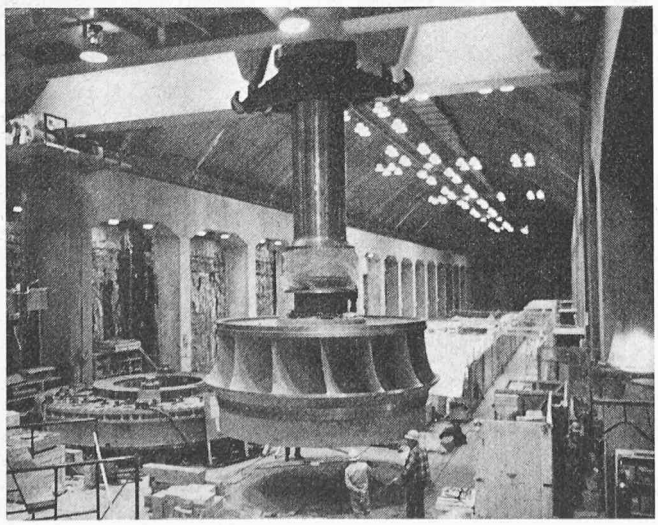
Tabelle 3. Die Kraftwerkkette des Nelson-Flusssystems

Staustufe	Fallhöhe m	Leistung MW	Zustand (1973)
Oberlauf:			
Bladder	22	470	geplant
Kelsey	15	330	im Betrieb
Unterlauf:			
Upper Gull	14	460	geplant
Lower Gull	13	450	geplant
Kettle	30	1220	im Betrieb
Long Spruce	24	980	im Bau
Limestone	52	1840	geplant
Gillam Island	24	830	geplant
Insgesamt	194	6580	

British Columbia

Die Energieerzeugung an der Westküste Kanadas beruht vorwiegend auf den Wasserkräften der gebirgigen Provinz British Columbia [22, 23]. Die ersten Wasserkraftwerke sind hier von der Aluminiumindustrie an der Ozeanküste errichtet worden. Später wurde die Energieerzeugung von der staatlichen Energiebehörde *B. C. Hydro and Power Authority* übernommen, welche den Ausbau der mehr nördlich liegenden Flüsse in Angriff genommen hat. Ein Grosskraftwerk (G. M. Shrum) von 2,4 GW geht seiner Vollendung entgegen. Das Werk befindet sich in der Mitte der Provinz, auf dem Peace-Fluss, einem Zubringer des nördlich fliessenden mächtigen MacKenzie-Flusses. Das Untergrund-Maschinenhaus wird 10 Turbosätze von je 275 bis 300 MW enthalten (Bilder 3 und 4) [22], welche jährlich rund 10 TWh Energie liefern sollen. Zur Leistungsregelung wird ein Staubecken mit einem Nutzinhalt von 37 Gm^3 dienen. Die Energie wird nach Süden mittels einer 950 km langen 500-kV-Fernleitung über ein schwieriges Gebirgsgelände abgeleitet.

Bild 4. Die Maschinenanlage des Kraftwerks G. M. Shrum; Einbau einer 275-MW-Turbine



Man untersucht in der Provinz weitere Möglichkeiten des Wasserkraftbaus; die Studien umfassen eine mögliche Leistung von 28 GW mit einer Jahresarbeit von rund 17 TWh [23]. Einige dieser Bauplätze mit einer geschätzten Leistung von 14 GW und einem Energiepotential von 10 TWh befinden sich im Norden, auf den Nebenflüssen des MacKenzie-Stroms. Ob diese Projekte tatsächlich verwirklicht werden, wird in grossem Masse von den Erfolgen in der Entwicklung des Kernkraftwerkbaus abhängen.

Im Süden der Provinz, auf dem Oberlauf des Columbia-Flusses, werden Staudämme errichtet, die zur Energieerzeugung wie auch zur Leistungsregelung der USA-Kraftwerkkette auf dem Columbia-Fluss dienen werden [22, 12]. Die Leistung der angeschlossenen Kraftwerke soll 5,0 bis 5,5 GW betragen. Das grösste Kraftwerk, mit einer Maschinenleistung von $6 \times 435 = 2610$ MW, wird in der Mica-Schlucht erstellt, wobei der Staudamm einen Wasserspeicher von 8,6 Gm^3 Nutzinhalt bilden wird.

Die mittleren Provinzen

Die wichtigsten Wasserenergiequellen der Prärienprovinzen befinden sich im Norden, in den Nelson- und Churchill-Flusssystemen, deren Leistungspotential auf 6 bis 7 GW geschätzt wird [15, 24, 25]. Das Nelson-Flusssystem enthält eine der grössten noch nicht erschlossenen Wasserenergiequellen Nordamerikas; nun unterliegt sie einer umfassenden Bauplanung, die von der Staatsbehörde *Manitoba Hydro* durchgeführt wird.

Der Nelson-Fluss entspringt dem grossen Winnipeg-See und mündet in den Hudson-Golf. Sein Unterlauf in der kalten klimatischen Zone führt über eine Kette von Stromschnellen, wo günstige Stellen zur Errichtung von Wasserkraftwerken vorhanden sind. Nördlich des Nelson-Flusses liegt der Churchill-Fluss, der gleichfalls in den Hudson-Golf mündet. Es ist möglich, das Wasser aus dem Churchill-System in den niedriger liegenden Nelson-Fluss einzuleiten und dadurch die Energieausbeute zu vergrössern.

Die grosse Entfernung bis zu den besiedelten Zonen (rund 1000 km) und das herbe Klima haben die Erschliessung dieser Flüsse behindert. Im Laufe der letzten 10 Jahre ist aber ihr Ausbau eingeleitet worden, weil der Energiebedarf der mittleren Provinzen rasch zunimmt, wobei hier keine örtlichen Brennstoffvorkommen vorhanden sind. Da der Nelson-Fluss ein ziemlich flaches Gebiet durchquert, muss dessen Energie mittels einer Kraftwerkkette, bestehend aus mehreren nacheinander folgenden Staustufen, ausgenutzt werden, Tabelle 3 [15].

Falls der Wasserbezug aus dem Churchill-Fluss verwirklicht würde, könnten in den Überleitungen Kraftwerke von über 700 MW erstellt werden, so dass die Leistung des ganzen Komplexes 7,0 GW überschreiten würde. Auf dem Unterlauf des Nelson-Flusses ist die erste Staustufe – das Kettle-Werk – mit einer Kraftanlage von $12 \times 102 = 1224$ MW ausgebaut worden. Der Fluss ist mittels Erddamm aufgestaut, wobei das Maschinenhaus samt der Wehranlage im Flussbett liegt. Besondere Probleme entstanden hier dadurch, dass lange Seitendämme des Speicherbeckens auf dem ständig gefrorenen Boden errichtet werden mussten. Die Dämme sind mit einer breiten Sohle und mit schwach geneigten Böschungen ausgeführt worden; die Dammsohlen sind beidseitig mittels Sandschichten isoliert und mit sandgefüllten Entwässerungsschächten versehen.

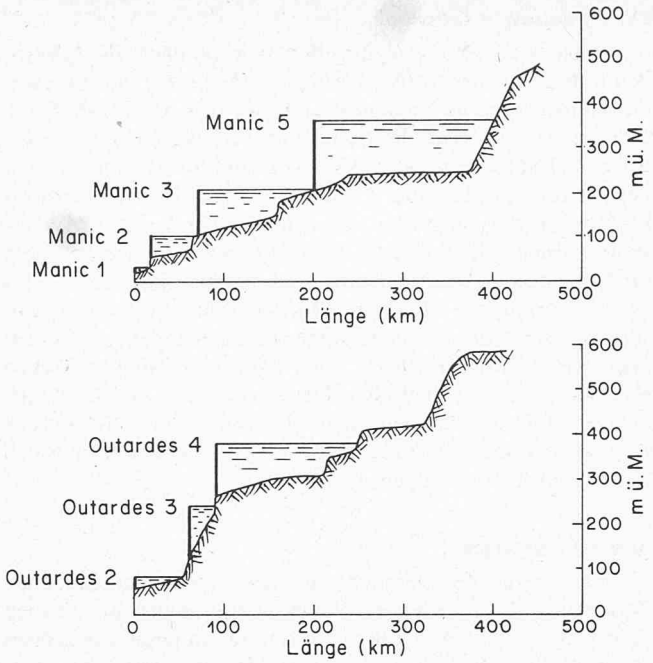


Bild 5. Die Staustufenketten der Manicouagan- und Outardes-Flüsse

Tabelle 4. Die Kraftwerkgruppe Manicouagan-Outardes

Kraftwerk	Fallhöhe m	Leistung MW	Zustand
Manic 1	35	3 × 62 = 186	im Betrieb
Manic 2	80	8 × 127 = 1016	im Betrieb
Manic 3	94	6 × 196 = 1176	im Bau
Manic 5	155	8 × 162 = 1296	im Betrieb
Manicouagan-Gruppe	364	3674	
Outardes 1		464	geplant[1])
Outardes 2	145	4 × 189 = 756	im Betrieb
Outardes	123	4 × 158 = 632	im Betrieb
Outardes-Gruppe		1852	

[1]) Der Bau dieser Stufe wurde zeitweilig zurückgelegt.

Tabelle 5. Die geplante La Grande-Kraftwerkkette

Kraftwerk	Fallhöhe m	Leistung MW	Jahresarbeit TWh	Geplante Fertigstellung
LG 1	28	10 × 118 = 1180	7,3	1984–85
LG 2	144	16 × 333 = 5328	35,3	1980–82
LG 3	80	10 × 176 = 1760	12,1	1982–83
LG 4	122	8 × 259 = 2072	14,3	1983
Insgesamt	374	10340	69,0	

Zur Energieübertragung von dem Kettle-Kraftwerk bis zur 900 km südlich liegenden Stadt Winnipeg ist eine 460-kV-Gleichstromlinie errichtet worden. Die Bauarbeiten an der nächsten Stufe der geplanten Kraftwerkkette, bei Long Spruce, sind eingeleitet worden.

Die Provinz Quebec

Quebec, im Osten des Landes, verfügt über die ergiebigsten Wasserkraftreserven Kanadas. In den Wasserkraftanlagen von Quebec sind 13,8 GW oder 40% der kanadischen Wasserkraftleistung installiert. Der Wasserkraftbau wird von der *Quebec Hydro Electric Commission (Quebec Hydro)* durchgeführt. Auch hier sind die südlichen Wasserkräfte schon ausgebaut worden, wogegen im Norden, am Hudson-Golf, noch erhebliche Wasserenergiequellen brachliegen. Daher bewegt sich die Bautätigkeit nach Norden. Von besonderem Interesse kann hier eine grosse Kraftwerkgruppe sein, die auf zwei Zubringern des St.-Lawrence-Stroms – den Outardes- und Manicouagan-Flüssen – liegt. Der Bau dieser Gruppe nähert sich seiner Vollendung. Die wichtigsten Angaben sind in Tabelle 4 und Bild 5, die Beispiele der Ausführungen in den Bildern 10 und 11 angeführt [13, 18, 26].

Dieser Kraftwerkkomplex mit einer Gesamtleistung von rund 5,5 GW wird jährlich etwa 30 TWh erzeugen, die mittels 735-kV-Fernleitungen über eine Entfernung von 700 km der Stadt Montreal zugeleitet werden [27]. Bemerkenswert in

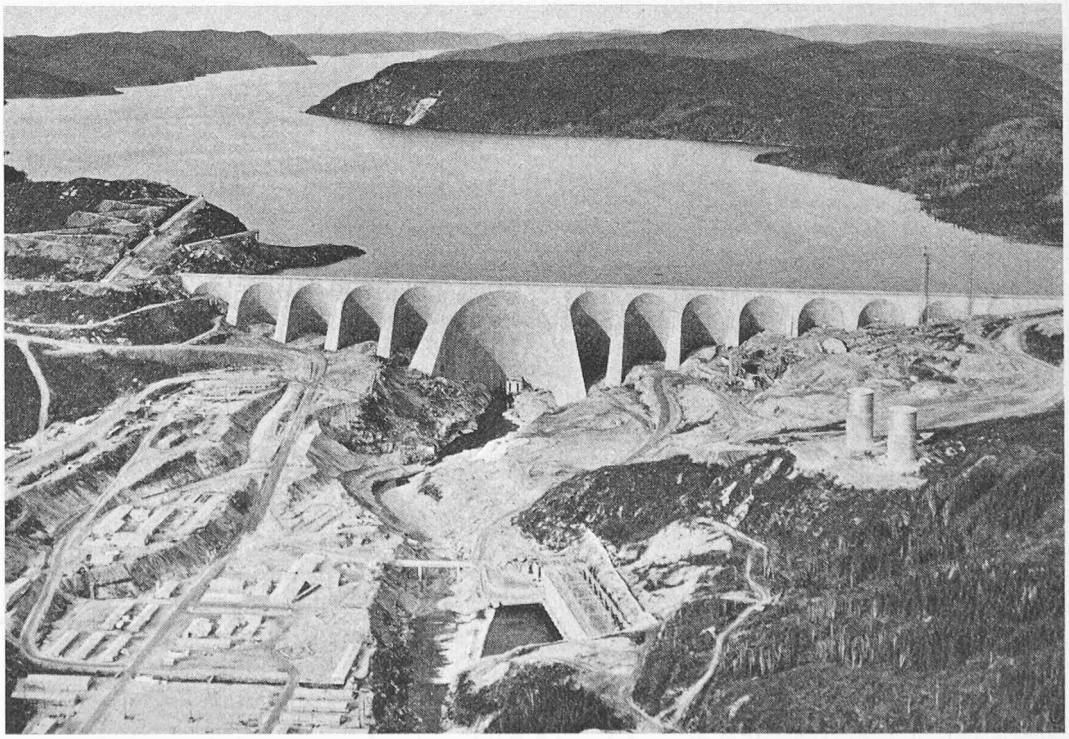


Bild 6. Die mehrfach gewölbte Staumauer des Kraftwerks Manic 5. Das Kraftwerkhaus liegt im Vordergrund

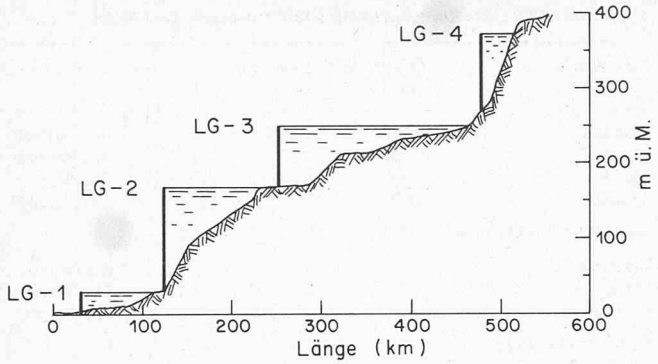


Bild 7. Die geplante Staustufenkette des La Grande-Flusses

seiner technischen Ausführung ist der mehrfach gewölbte Damm der oberen Staustufe der Manic-Gruppe, Manic 5 (Bild 6). Die Kronenlänge des Dammes beträgt 1300 m, die Höhe 215 m; im Stauraum ist ein Becken mit einem Nutzinhalt von 37 Gm^3 entstanden, das zur Leistungsregelung der ganzen Manicouagan-Kraftwerkgruppe dienen wird.

Die nächsten Bauvorhaben konzentrieren sich auf die mehr nördlich liegenden Flusssysteme Labradors. Dabei wurden die Bauarbeiten auf dem La Grande-Fluss, der in den James-Golf mündet, schon in Angriff genommen. Hier ist eine Kraftwerkkette geplant worden, die aus vier Anlagen besteht und ein Gefälle von 380 m ausnutzen wird (Bild 7). Die Gesamtleistung der Kette wird 10,3 GW betragen; sie soll jährlich 69 TWh in das Netz abgeben, Tabelle 5 [28].

Diese Kraftwerkgruppe wird voraussichtlich der grösste hydroelektrische Komplex Nordamerikas sein. Die Flussufer sind ziemlich niedrig, so dass die Aufstauungen grosse Landflächen überfluten (Bild 8). Zur Begrenzung des Wassers müssen lange Seitendämme mit einer Gesamtlänge von rund 125 km errichtet werden. Die aufgespeicherten Wasservorräte werden es ermöglichen, die Leistung der Kraftwerkkette so zu regeln, dass die Wasserkraftwerke imstande sein werden, im Grundlastbetrieb mit einer Ausnutzungsstundenzahl von 6000 bis 7000 h/a zu fahren.

Die Atlantischen Provinzen

Eine wichtige Ergänzung der hydraulischen Energieausbeute der östlichen Provinzen ist durch die Errichtung eines Grosskraftwerks in Newfoundland, auf dem Churchill-Fluss, erreicht worden [14]. Die Baustelle befindet sich im Nordosten Labradors, an der kalten Labrador-Meerenge. Auf den Stromschnellen des Churchill-Flusses ist eine Wasserkraftanlage mit einer Leistung von $11 \times 475 = 5225$ MW erstellt worden. Die grossen Turbosätze befinden sich in einem unterirdischen Maschinenhaus; sie werden jährlich 30 bis 35 TWh erzeugen, die über 733-kV-Fernleitungen ins Hochspannungsnetz der Manic-Gruppe eingespeist und nach Süden abgeleitet werden (Bild 9). Das Kraftwerk steht mit allen elf Aggregaten im Betrieb. Man erwägt eine andere Kraftanlage auf der abwärts liegenden Strecke des Churchill-Flusses zu errichten, die schätzungsweise imstande sein wird, jährlich rund 15 TWh zu erzeugen.

Schlussfolgerungen

Der steigende Energiebedarf der besiedelten südlichen Zonen und die reichlichen Wasserenergiequellen im Norden haben sowohl in Kanada als auch in anderen nördlichen Ländern günstige Voraussetzungen zur Verwertung der nordischen Wasserkräfte geschaffen. Aus diesem Grunde werden leistungsfähige Komplexe der Wasserkraftanlagen in den bisher vernachlässigten nördlichen Zonen erstellt.

Die Wasserkraft ist nicht imstande, den ganzen Bedarfszuwachs der Energie allein zu decken, weshalb der weitere Lastanstieg vorwiegend von thermischen Kraftanlagen aufgenommen werden muss. Da hierbei die Wasserkraft im scharfen Wettbewerb mit Kernenergie steht, werden zukünftig für die Ausbauwürdigkeit der Wasserenergiequellen engere Grenzen als zuvor gezogen, so dass es sich nicht mehr rechtfertigen wird, die kleineren, abseits liegenden Wasserkräfte auszubauen. Anderseits hat aber die Energietechnik die Möglichkeiten geschaffen, solche ungünstig liegende Wasserenergiequellen erfolgreich auszunutzen. Der Wasserkraftbau wird fortgesetzt, vor allem im Norden wie auch in tropischen Gebieten, wo noch beträchtliche Energiequellen brachliegen.

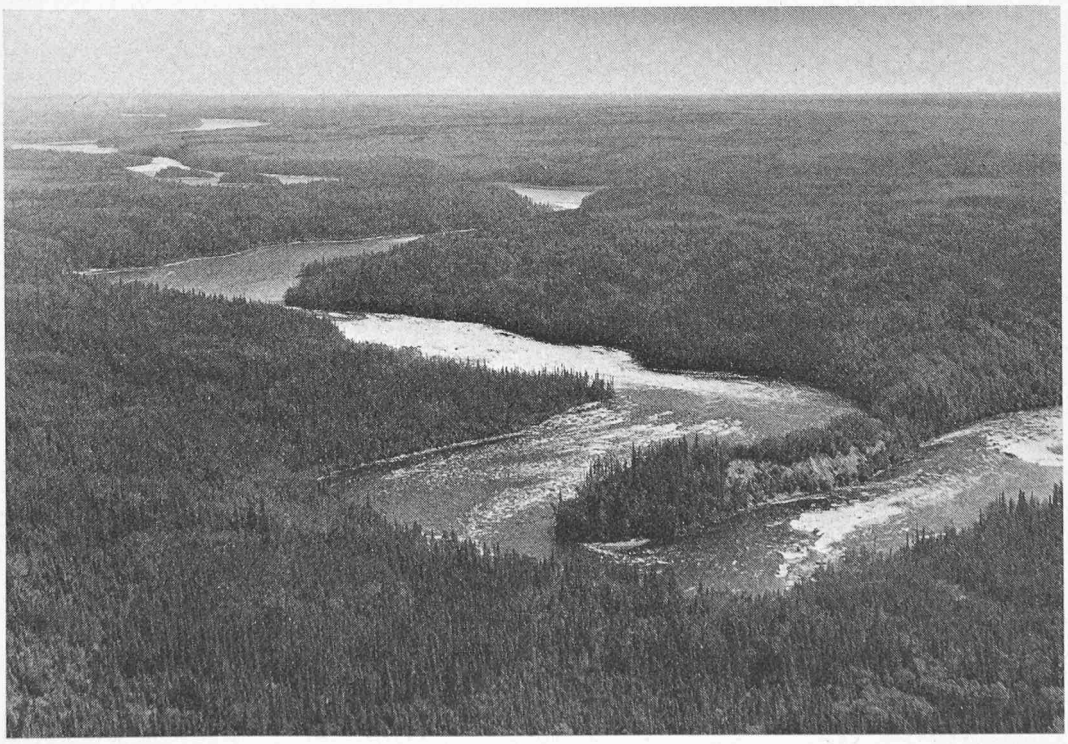


Bild 8. Luftaufnahme des La Grande-Flusses. Der Fluss führt durch die Wildnis der nördlichen, schwach besiedelten Gebiete

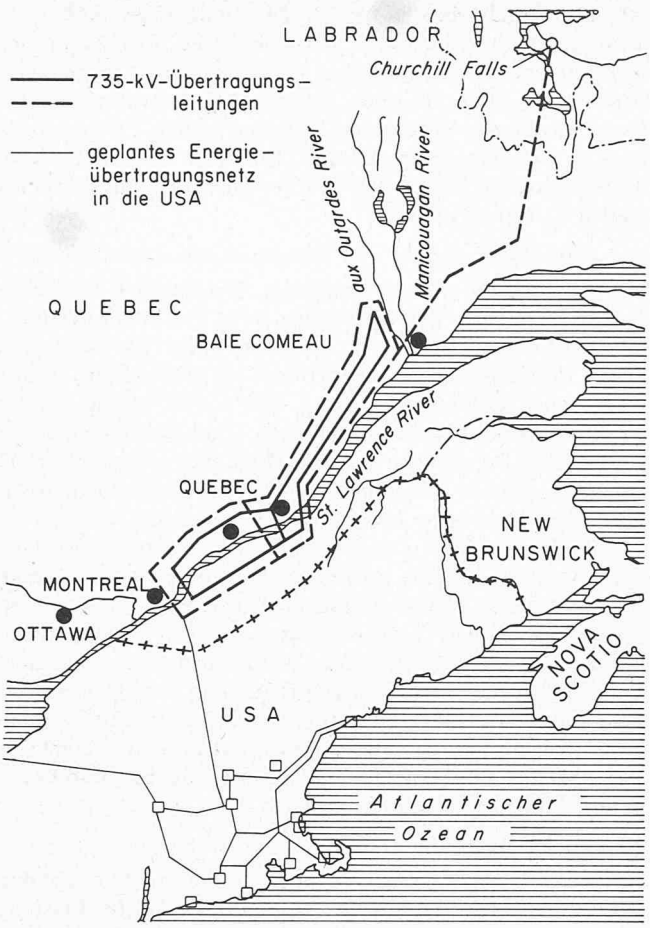


Bild 9. Die 735-kV-Fernübertragungen von den nordischen Kraftwerkgruppen (Outardes, Manicouagan, Churchill Falls) bis Montreal

Dabei wird die Wasserenergieerzeugung aus reinen Kostengründen in möglichst grossen Anlagen konzentriert. Dies hat letzthin zu bemerkenswerten Wasserkraftbauten in nordischen Zonen einiger Länder geführt.

Literaturverzeichnis

[1] World Power Data. 1969. U.S. Federal Power Commission.

[2] *Kroms, A.:* Die Weltproduktion der elektrischen Energie. «Technische Rundschau» *63* (1971), 52.

[3] *Kroms, A.:* Tendenzen der Stromversorgung der Welt. «Energie» *26* (1974), 5.

[4] The 1970 National Power Survey. Part I. U.S. Federal Power Commission.

[5] *Kroms, A.:* Leistungs- und Energiebilanz der Verbundsysteme. «ÖZE» *11* (1958), 6 und 8.

[6] *Kroms, A.:* Leistungsausgleich in Energiesystemen. «E und M» *83* (1966) 3.

[7] *Kroms, A.:* Wasserkraftwerke in Energiesystemen verschiedener Leistungsstruktur. «ÖZE» *18* (1966), 10.

[8] *Kroms, A.:* Das Zusammenwirken der Kraftwerke. «Die Technik» *8* (1953), 6.

[9] *Kroms, A.:* Über die Ausbauleistung der Wasserkraftwerke. «ÖZE» (1955), 2.

[10] *Kroms, A.:* Vergleich der Errichtungskosten von Kraftwerken. «ÖZE» *16* (1963), 4.

[11] *Kroms, A.:* Pumpspeicherung in den USA. «Elektrizitätswirtschaft» *72* (1973), 6.

[12] *Kroms, A.:* Erschliessung der Wasserkräfte der USA. «Bulletin des VSE» *65* (1974), 12.

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

[14] *Kroms, A.:* Ein Grosskraftwerk im hohen Norden. «ÖZE» *24* (1971), 12.

[15] *Kroms, A.:* Ausbau eines nordischen Flusssystems. «Schweiz. Bauzeitung» *91* (1973), 17.

[16] *Kroms, A.:* Der Mehrzweck-Flussausbau. «Technische Rundschau» *58* (1966), 25.

[17] *Kroms, A.:* Die Erschliessung der nordischen Wasserkräfte. «Elektrizitätswirtschaft» *68* (1969), 21.

[18] Electric Power in Canada. 1973. Department of Energy, Mines and Resources.

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

[20] *Winter, C.R.; MacNabb, G.M.:* Energy Supply and Demand in Canada, 1970–2000. 9th World Energy Conference, 1974. Paper 1.3–3.

[21] *Kroms, A.:* Die Elektrizitätsversorgung in Kanada. «Technische Rundschau» *64* (1972), 42.

[22] *Kroms, A.:* Wasserkraft im Westen Kanadas. «Bulletin des SEV» *64* (1973), 1.

[23] *Sexton, J.K.:* The Power Study of British Columbia, 1972. 9th World Energy Conference, 1974. Paper 1.2–3.

[24] *Bateman, L.A.:* Manitoba's Power Resources. World Power Conference, 1968, Moscow. Paper 217–C2.

[25] New Plan Envisions 6000 MW on Nelson River. «Electrical World» *174* (1970), 11.

[26] *Kroms, A.:* Ausnutzung der kanadischen Wasserkräfte. «Schweiz. Bauzeitung» *86* (1968), 35.

[27] *Krutt, W.:* Manicouagan – Montreal. Die erste 735-kV-Drehstromübertragung der Welt. «ÖZE» *19* (1966), 2.

[28] Complexe La Grande (1974). Société d'énergie de la Baie James.

Adresse des Verfassers: *A. Kroms*, dipl. Ing., 30 Rockland Avenue, Malden, Massachusetts, 02148, USA.

100 Jahre Appenzeller-Bahn

DK 656.2

Die Appenzeller-Bahn (AB), die unter der Direktion von Josef Herdegger steht, feiert dieses Jahr, wie übrigens noch andere Bergbahnen, ihr 100jähriges Bestehen. Es war in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts, als heftige Auseinandersetzungen zwischen zwei eisenbahnfreundlichen Gruppen entbrannten. Man sprach von einer Verbindung vom Appenzellerland nach Gossau einerseits und einer Verbindung nach Winkeln anderseits. Dann wurde an einer Abstimmung zugunsten letzterer Variante entschieden.

Im Jahre 1874 nahm die «Gesellschaft für Lokalbahnen» als eigentliche Trägerin des bevorzugten Projekts den Bau der Linie Winkeln–Urnäsch in Angriff. Da jedoch die finanziellen Mittel eher knapp waren, stellten die Herisauer Geld zur Verfügung, allerdings nur unter der Bedingung, dass die Linie über Herisau geführt würde. Die massgebliche Kollaudation erfolgte schliesslich am 19. März 1875, und die offizielle Einweihung der Strecke nach Herisau erfolgte am 20. September 1875.

Bei der Appenzeller-Bahn gelangten in der Pionierzeit Nassdampflokomotiven vom Typ G 3/3, G 3/4 und G 4/5 zum Einsatz. Die Bevölkerung des Innerrhoder Hauptortes Appenzell mussten sich allerdings noch elf Jahre gedulden, ehe am 28. Oktober 1876 der erste fahrplanmässige Zug in Appenzell einfuhr. Grosses tat sich in Herisau im Zusammenhang mit der Bodensee–Toggenburg-Linie. So entstand in drei Etappen der neue Gemeinschaftsbahnhof. Im Jahre 1911 konnte der alte Kopfbahnhof abgebrochen werden. Ab 1. Oktober 1913 wurde die Linie von Winkeln nach