**Zeitschrift:** Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
**Band:** 61 (1969)
**Heft:** 3-4

**Artikel:** Weltkraftkonferenz Moskau 1968
**Autor:** Etienne, E.H. / Töndury, G.A.
**Kapitel:** 4: Studienreise nach Sibirien
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-921566

**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:** 04.07.2025

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

# D. STUDIENREISE NACH SIBIRIEN

Direktor Dipl.-Ing. Dr. techn. Robert Fenz (Wien), Vorstandsmitglied der Oesterreichischen Donaukraftwerke AG

In der Zeit vom 20. bis 24. August 1968 fand in Moskau die 7. Weltenergiekonferenz statt; darüber ist vorgehend berichtet worden. Anschliessend an diese Konferenz fanden verschiedenste Studienreisen im weiten Gebiet der Sowjetunion statt, von denen einige auch in die besonders eindrucksvolle und interessante ostsibirische Region führten. Der Verfasser hatte Gelegenheit, an einer solchen Studienreise teilzunehmen, und es soll im folgenden insbesondere über die Eindrücke berichtet werden, die einen Wasserkraftbauer besonders interessieren (Studienreise 4).

In der ostsibirischen Industrieregion fand in den letzten Jahren ein ausserordentlicher wirtschaftlicher Erschliessungsprozess statt, der das besondere Interesse nicht nur der Energiewirtschafter, sondern auch im allgemeinen verdient. Es handelt sich um ein sehr dünn besiedeltes Gebiet, das viele Bodenschätze und Waldreichtum aufweist, vor allem aber durch seine extrem grossen Wasserkräfte ausgezeichnet ist. Kernpunkt des Gebietes in diesem Sinn ist der Baikalsee und dessen Abfluss, die Angara, die vom Baikalsee bis in ihre Mündung in den Jenissei ungefähr 1900 km lang ist. Es wird im folgenden das eine oder andere Mal versucht werden, Massstabvergleiche an Hand des im eigenen Arbeitsgebiet liegenden Donauraumes anzustellen. Hier sei vorweggenommen, dass die Länge der Angara etwa dem Donauabschnitt von Wien bis zur Mündung ins Schwarze Meer entspricht.

Der Baikalsee, der eigentlich den Charakter eines Binnenmeeres aufweist, hat eine Oberfläche von rund 38 000 km² (das ist etwa die Hälfte des österreichischen Staatsgebietes); sein Einzugsgebiet beträgt ca. 600 000 km², der Seespiegel liegt auf rund 450 m über Meer. Der See verdankt seine Entstehung einem grossräumigen, geologischen Bruch und weist Wassertiefen bis zu 1600 m auf. Seine Ufer, die grösstenteils hügelig bis bergig sind, und die von unermesslich scheinenden Wäldern bedeckt sind, haben eine Länge von über 2000 km. Im westlichen Teil verläuft am Ufer der Abschnitt der transsibirischen Bahnlinie, der Irkutsk und Wladiwostok verbindet. Der Baikalsee ist mit seinem Wasserinhalt von über 23 000 km³ das grösste Süsswasserbecken der Welt. Faszinierend ist die Reinheit und Klarheit des Wassers, das auch im Sommer keine höheren Oberflächentemperaturen als 15 bis 17 °C erreicht. Nahe dem Seeabfluss befindet sich ein interessantes limnologisches Institut der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, in dem sowohl die geologischen, hydrologischen und meteorologischen Verhältnisse des Baikalseegebietes dargestellt als auch ausserordentlich interessante Exponate der reichhaltigen Flora und Fauna des Sees zu besichtigen sind.

Der Erschliessung des Baikalseegebietes dienen die bereits erwähnte transsibirische Bahn, Uferstrassen — insbesondere in der Nähe der Angara — und ein reger Schiffsverkehr; letzterer auch als Personen- und Ausflugsverkehr mit Tragflügelbooten. Hauptort des Baikalseegebietes ist die Stadt Irkutsk, mit derzeit ca. 400 000 Einwohnern. Diese Stadt, die mehrere Hochschulen, wissenschaftliche Institute, Theater und Kunstsammlungen umfasst, hat insbesondere im letzten Jahrzehnt einen ausserordentlichen Aufschwung genommen. Neue moderne Stadtteile verändern das Bild der Stadt, das in noch reichlich vorhandenen Holzhäusern aus früherer Zeit einen interessanten Eindruck vermittelt. Irkutsk ist Zentrum des Fellhandels aus dem reichlichen Jagdgebiet der Taigawälder in der näheren und weiteren Umgebung.

Die Schlagader der Wasserkrafterzeugung ist, wie schon erwähnt, die Angara, deren theoretisches Potential auf über 90 Milliarden kWh geschätzt wird. Auf ihrer Länge von rund 1900 km weist sie eine Fallhöhe von 380 m bis zur Mündung in den Jenissei auf, ihr Einzugsgebiet vergrössert sich von den 600 000 km² am Beginn (Baikalsee) auf nahezu 1 000 000 km². Das jährliche Mittelwasser beträgt am Beginn etwa 1900 m³/s und steigt auf nahezu 4000 m³/s. Der Ausbau der Angara zu einer geschlossenen Kraftwerkkette sieht sechs Stufen mit insgesamt rund 15 000 MW und einem jährlichen Arbeitsvermögen von über 70 Milliarden kWh vor. Die nachstehende Zusammenstellung zeigt die Hauptdaten der bereits errichteten bzw. geplanten Stufen.

Bild 73 Typisches russisches Holzhaus in der sibirischen Stadt Irkutsk.

Bild 74 Bildausschnitt des riesigen Baikalsees in Ostsibirien.

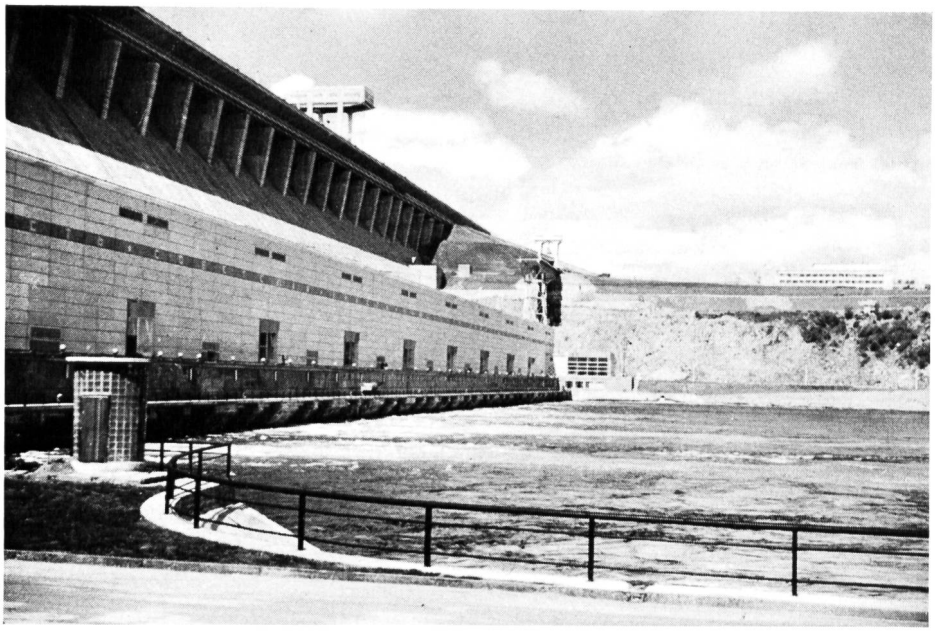


Bild 75
Zentrale Bratsk am Angarafluss mit Verwaltungsgebäude im Hintergrund rechts; es handelt sich um die zur Zeit grösste Wasserkraftanlage der Welt (inst. Leistung 4500 MW, mittlere jährliche Energieproduktion 22,9 Mrd. kWh).

| | MW | Fallhöhe m | GWh |
|---|---|---|---|
| Irkutsk | 660 | 31 | 4 500 |
| Sukhovskaya | 400 | 13 | 1 830 |
| Telminskaya | 400 | 12 | 1 900 |
| Bratsk | 4 500 | 106 | 22 900 |
| Ust-Ilim | 4 320 | 90 | 21 900 |
| Boguchanskaya | 4 000 | 76 | 19 800 |
| Zusammen | 14 280 | 328 | 72 830 |

Von diesen Kraftwerken sind die Werke Irkutsk und Bratsk fertiggestellt, Ust-Ilim ist derzeit im Bau. Die beiden «kleinen», zwischen Irkutsk und Bratsk gelegenen Zwischenstufen, obwohl auch sie über die Grössenordnung beispielsweise der grössten österreichischen Donaustufe Aschach hinausreichen, sollen erst errichtet werden, wenn durch einen geschlossenen Ausbau bis zum Jenissei und die geplanten, jedoch noch nicht begonnenen Schiffhebewerke bei den grossen Stufen eine durchgehende Schiffbarmachung der Angara Platz greifen soll.

Das Kraftwerk Irkutsk wurde als eines der ersten grösseren Werke in diesem Raum im Jahr 1950 begonnen. Es ist etwa 60 km vom Baikalsee entfernt und staut die Angara mit einer Höhendifferenz von 31 m auf den Wasserspiegel des Baikalsees. Dadurch ist der Stauraum von Irkutsk praktisch zu einem Teil des Baikalsees geworden, was auch die durchgehende Befahrung mit Personen- und Güterschiffen vom Werke Irkutsk bis in den See ermöglicht. Das Kraftwerk mit seinen acht Maschinensätzen wurde 1958 vollendet und weist bei einer installierten Maschinenleistung von 660 MW die angegebenen über 4000 Mio kWh Jahreserzeugung auf. Die Ausbauwassermenge der einzelnen Maschinensätze beträgt 410 m³/s. Der Stau der Angara wird durch einen über 2 km langen Erddamm gebildet, dessen Dichtung insofern interessant ist, als ein Lehmkern im aufgehenden Teil seine Fortsetzung in einer zweireihigen Spundwanddichtung mit dazwischen eingebrachter Zementeinpressung findet. Unterhalb dieser an sich aufwendig erscheinenden Dichtungsmassnahme ist noch ein Untergrund-Injektionsschirm vorgesehen. Eine eigentliche Wehr- oder Entlastungsanlage ist nicht vorhanden, vielmehr sind im Krafthaus selbst zusätzliche Leerschüsse eingebaut, die neben den einzelnen Turbinen angeordnet sind. Diese 16 Entlastungskanäle ermöglichen die Abgabe von 4000 m³/s. Sie werden praktisch nur in den allerseltensten Fällen herangezogen und werden ihre Bedeutung nach Errichtung der Zwischenstufen verlieren, da eine Hebung des Oberwasserspiegels selbst durch Hochwasser infolge der enormen Oberfläche des Stauraumes einschliesslich des Baikalsees kaum auftritt und praktisch bedeutungslos ist. Zur Kennzeichnung der Verhältnisse, unter denen der Kraftwerkbetrieb, aber auch die allgemeinen Lebensverhältnisse in diesem Raum stehen, möge erwähnt werden, dass die Tiefsttemperaturen bis — 50 °C erreichen; die jährliche Mitteltemperatur beträgt — 1,3 °C und die durchschnittliche Dauer der Perioden mit Temperaturen über 0 °C beträgt nur 94 Tage.

Das Kraftwerk Bratsk ist eines der imponierendsten Werke des Kraftwerkbaues überhaupt, es ist bezüglich seiner Jahreserzeugung derzeit das grösste Werk der Welt. Die Anlage wurde im Jahr 1955 begonnen, in einer weder erschlossenen noch von grösseren Siedlungen bewohnten Urlandschaft, und zwar an einer Stelle, an der die Angara im Durchbruch durch das Diabasmassiv die Stromschnellen von Pardun aufweist. In diesem Stromabschnitt weist die Angara bei einer Breite von 700 bis 900 m bis zu 80 m hohe Steilufer auf, die zum Teil stark verwitterte Felsen zeigen. Nach umfangreichen Erschliessungsarbeiten und der Ermöglichung der Unterbringung des sehr umfangreichen Baupersonals konnte 1957 die erste Baugrube in Angriff genommen werden.

Im Kraftwerk Bratsk wird die Angara rund 100 m gestaut; sie bildet dadurch einen fast 600 km langen Stausee von über 5000 km², das ist etwa die zehnfache Oberfläche des Bodensees. Durch den Aufstau wurden 70 kleinere Ortschaften unter Wasser gesetzt, deren Bevölkerung umgesiedelt, fast 1000 km Strassen und über 120 km Eisenbahnstrecken umgelegt. Nach den bei der Besichtigung gemachten Angaben war es nicht möglich, den überstauten Wald restlos zu schlagen, doch wurde immerhin ein Holzanfall von 40 Mio m³ vor Stauerrichtung gewonnen.

Das Hauptbauwerk mit einer Länge von 5,2 km wird aus dem 1,5 km langen Mittelteil, der als Gewichtsmauer errichtet wurde, gebildet, an den sich rechts und links teilweise gespülte, teilweise geschüttete Dämme anschliessen. Die Schüttmassen wurden aus dem Geschiebe der Angara unterhalb der Staustelle gewonnen. Beide Dämme erhielten

Bild 76
Luftseitige Ansicht der Staumauer Bratsk, in der auch die riesige Zentrale untergebracht ist; auf der Staumauerkrone Bahnlinie, darunter Werkstrasse.

zentrale Lehmkerne und sind durch Steinwürfe und teilweise wasserseitige Stahlbetonplatten befestigt.

Der Mittelteil besteht durchgehend aus einer klassischen Gewichtsmauer mit einer Maximalhöhe vom Felsbett bis zur Krone von 126 m bei rund 22 m Fugenabstand; mit Ausnahme des Bereiches, dem unterwasserseits der Krafthausteil vorgelagert ist, sind die Blockfugen als begehbare, bis zu 7 m breite Hohlräume ausgebildet. Der linksufrige Hauptbau umfasst den Krafthausbereich in einer Länge von über 500 m, wobei die Einläufe zu den Maschinensätzen als Panzerrohre im aufgehenden Betonteil angeordnet sind. Einlauf und zugehörige Verschlüsse der Turbinen werden von der Krone aus durch Schützen bzw. Krane bedient. Die Zuläufe selbst weisen einen Durchmesser von 7,0 m auf und leiten zu den Francisturbinen mit einem Laufraddurchmesser von 5,5 m. Es handelt sich dabei um die grössten derartigen Maschinensätze, und zwar sind von den insgesamt 20 Aggregaten 16 auf 225 MW und 4 auf 250 MW ausgelegt. Der Umbau der erstgenannten auf die höhere Leistung ist geplant und teilweise in Arbeit. Die Totalleistung der Anlage beträgt somit rund 4500 bis 5000 MW, die Jahreserzeugung erreicht 23 bis 24 Milliarden kWh, somit im Sinne des Vergleiches mehr als das gesamte derzeitige, jährliche Elektrizitätsaufkommen von Oesterreich oder nahezu die letztjährige hydroelektrische Erzeugung der Schweiz. An den Krafthausteil schliesst der eigentliche Sperrmauerteil an. In diesem Bereich sind auch unter der Krone 10 Hochwasserüberfälle von 18 m Breite und 6 m Verschlusshöhe angeordnet, die durch Segmentschützen verschlossen sind. Eigene Antriebe dieser Verschlüsse sind nicht vorgesehen, die Betätigung erfolgt durch die beiden auf der Krone fahrenden Portalkrane, da eine Feinregulierung praktisch überhaupt nicht in Frage kommt, und, wie bei der Besichtigung mitgeteilt wurde, auch eine Heranziehung bei Hochwassern infolge der Grösse des Stauraumes und der Anzahl der Maschinensätze praktisch nicht vorkommt. Die erzeugte Energie wird teils mit 220kV-, grossteils jedoch mit 500 kV-Leitungen abgeführt, wobei jeweils zwei Maschi-

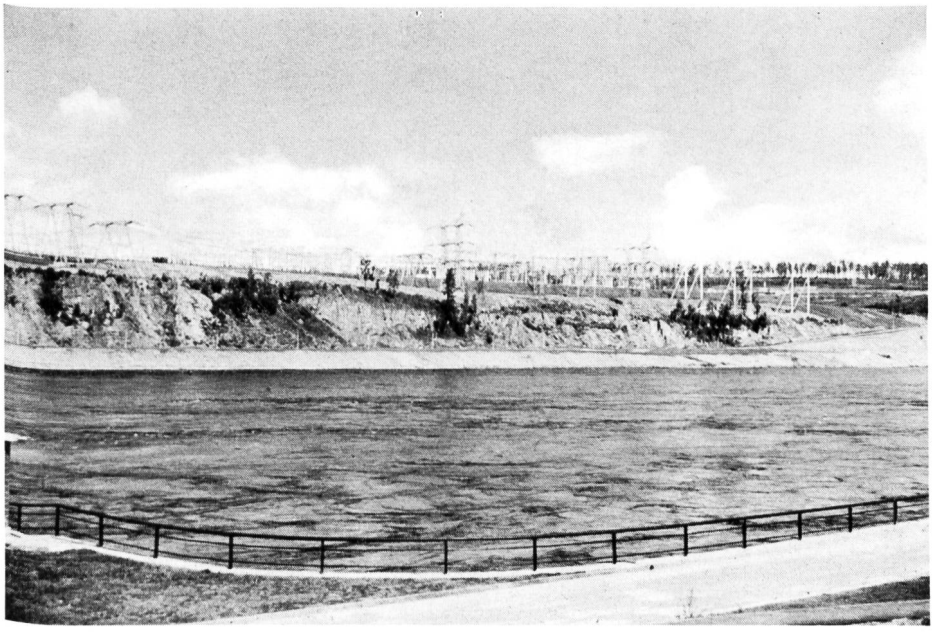


Bild 77
Die grosse Schaltanlage von Bratsk.

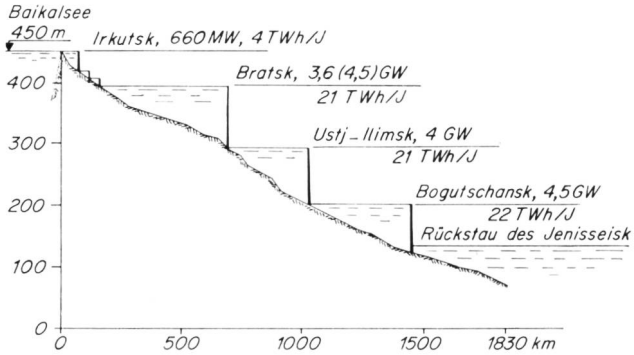
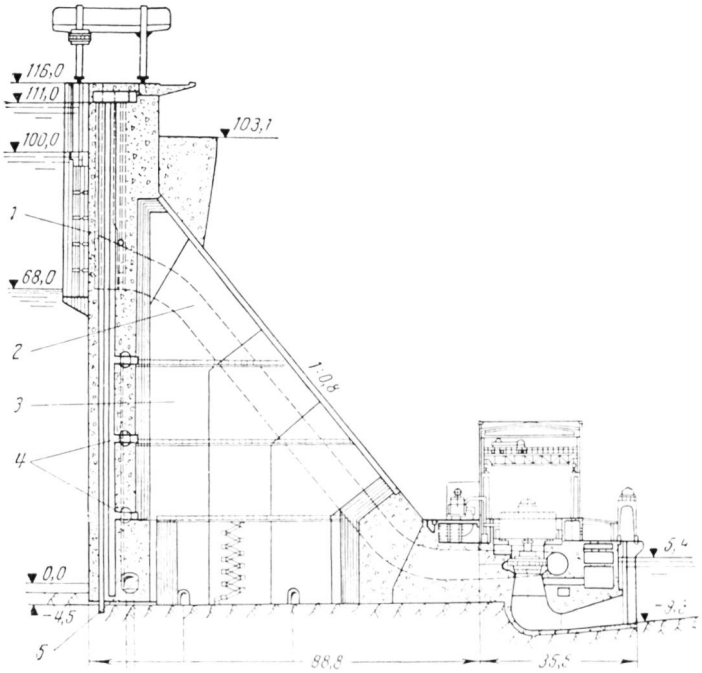


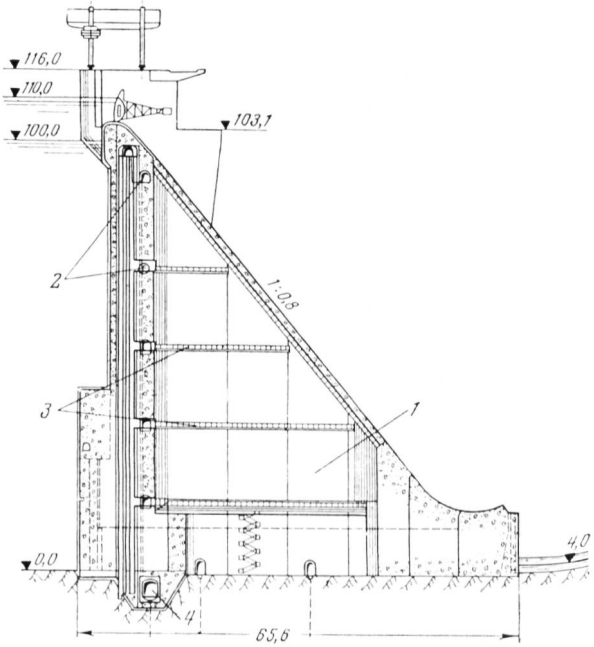

Bild 78 Schematisches Längenprofil der Kraftwerkkette an der Angara vom Baikalsee bis zur Mündung in den Jenissei (aus SBZ 1968 H. 12 S. 188).

Bild 81 Innenansicht der riesiglangen Zentrale Bratsk mit 20 Maschineneinheiten von je 250 MW (aus BWK 1969 Nr. 2 S. 77).

nensätze einem Trafo zugeordnet sind und ausserdem Regeltransformatoren 220/500 kV für insgesamt 750 MVA Leistung vorhanden sind. Auf der Mauerkrone wurde eine zweigleisige Bahntrasse, auf Konsolen unterhalb eine Fernverkehrsstrasse angeordnet.

Im Zuge der Baudurchführung waren 5 Mio m³ Beton und über 27 Mio m³ Aushub zu leisten; die Einbauleistungen an Beton betrugen maximal 150 000 m³ je Monat. Eine Beschreibung der Baustellen-Einrichtung würde weit über den Rahmen dieses Berichtes hinausgehen, es sei lediglich erwähnt, dass Betoneinbringung und Montage im wesentlichen durch Hammerkopfkrane erfolgten, die bei einer Auslegerlänge von 2 x 50 m eine Tragkraft von 22 t aufwiesen. Diese Krane waren auf einer in der Bauwerkachse errichteten gewaltigen Stahlkonstruktion fahrbar. Die Investitionskosten der gesamten Anlage wurden mit 720 Mio Rubel angegeben. Die Errichtung des Kraftwerkes Bratsk muss als einmalige Pionierleistung betrachtet werden, insbesondere wenn man bedenkt, dass die Witterungsverhältnisse extrem ungünstig sind und die Abgelegenheit der Baustelle ganz besondere Bedingungen geschaffen hat. Unter anderem mussten sämtliche Bedürfnisse für die 30 000 bis 40 000 Beschäftigten aus dem europäischen Teil der UdSSR herangeschafft werden, angeblich war auch der Zement für die Betonierung aus dem Uralgebiet auf nahezu 4000 km Entfernung zu transportieren. Die Turbinen und Generatoren wurden in den beiden Grossanlagen in Leningrad gebaut und teilweise auf dem Schiffsweg über das Nordmeer und den Jenissei nach Sibirien gebracht.




Bilder 79 und 80 Querschnitte der grossen Staumauer und Zentrale Bratsk in Sibirien (aus Prospekt der UdSSR).

Nach der Inbetriebnahme von Bratsk wurde mit dem Ausbau der Stufe Ust-Ilim begonnen. Sie liegt etwa 300 km stromab und weist ähnliche Anlageverhältnisse auf. Die Bauzeit wird mit 5 Jahren angegeben. Sie soll im Gegensatz zu Bratsk nur mit 9 Maschineneinheiten von je 500 MW Leistung ausgestattet werden. Die Fertigstellung bzw. der Beginn der Energieerzeugung soll 1970 erfolgen.

An diese Stufe schliesst unterhalb das geplante Werk Boguchanskaya an, dessen Unterwasser bereits der Stau einer Stufe am Jenissei bilden wird.

Es war naheliegend, die gewaltigen Investitionen, die für die Erschliessung und Durchführung des Bauvorhabens Bratsk geleistet werden mussten, auch einer bleibenden, sinnvollen Nutzung zuzuführen. So ist in einigen Kilometern von der Staustelle entfernt die Stadt Bratsk entstanden, die derzeit ungefähr 200 000 Einwohner besitzt und für 400 000 bis 500 000 Einwohner geplant ist. Sie zeigt alle Merkmale einer modernen Siedlung und wird zum Grossteil von Industriearbeitern bewohnt. Die neu geschaffenen und teilweise aus der Energieerzeugung Nutzen ziehenden Industrien, wie ein grosses Aluminiumwerk, ein Buntmetall-Hüttenwerk, eine Zellulosefabrik, sowie verschiedene Holzindustrien nützen einerseits das Energiedargebot, andererseits den enormen Waldreichtum und die Erzvorkommen aus. Interessant ist in diesem Zusammenhang eine Vergleichsziffer insofern, als die Waldregion von Sibirien etwa 45 ha Wald je derzeitigen Einwohner in Sibirien umfasst, während sonst der Durchschnittswert in der gesamten Welt bei 1,5 ha liegt. Bei Ust-Ilim sind Eisenerzvorkommen mit einer geplanten Jahresproduktion von rund 12 Mio Tonnen erwähnt worden.

Ein weit verzweigtes Hochspannungsnetz verbindet einerseits die Anlagen Irkutsk — Bratsk mit dem Raum Krasnojarsk und Novosibirsk, weist aber andererseits auch Verbindungen in das Uralgebiet und von dort in den europäischen Raum der UdSSR auf.

Zum Abschluss dieses Kurzberichtes über eine ausserordentlich interessante, weiträumige Besichtigungsreise seien einige kurze Vergleichswerte über den Wasserkraftreichtum der Länder UdSSR, USA und Oesterreich angegeben.

Die UdSSR umfasst ein Gebiet von 22 Mio km², das entspricht etwa 2,5 mal USA oder 250 mal Oesterreich. Die Vergleichsziffern der Einwohnerzahlen betragen 240 Mio UdSSR, 200 Mio USA und 7 Mio Oesterreich. Es ergibt sich somit eine Bevölkerungsdichte von rund 10 Menschen je km² in der UdSSR, 25 Menschen je km² in den USA oder 80 Menschen je km² in Oesterreich. Die hydraulischen Ausbaumöglichkeiten werden — bezogen auf die Fläche — in einem Bericht, welcher der Weltenergiekonferenz vorgelegen hat, angegeben mit:

UdSSR $\frac{2100 \text{ Milliarden kWh}^{*}}{22 \text{ Millionen km}^2} = 1 \text{ kWh je } 10 \text{ m}^2$

USA $\frac{700 \text{ Milliarden kWh}}{9{,}3 \text{ Millionen km}^2} = 1 \text{ kWh je } 14 \text{ m}^2$

Oesterreich $\frac{38 \text{ Milliarden kWh}}{83\,000 \text{ km}^2} = 1 \text{ kWh je } 2 \text{ m}^2$

Zum Vergleich:

Schweiz $\frac{33 \text{ Milliarden kWh}}{41\,295 \text{ km}^2} = 1 \text{ kWh je } 1{,}2 \text{ m}^2$

Es ist selbstverständlich, dass es sich dabei nur um Vergleichsziffern über die gesamten jeweiligen Räume handelt und dass die «kWh-Dichte» räumlich ausserordentlich wechselt. Sie gibt aber andererseits doch einen gewissen Vergleichsmassstab an.

Zuletzt sei festgestellt, dass sich besonders die Angara in geradezu idealer Weise für einen geschlossenen Ausbau eines Flussystems eignet und dass sich natürlich durch die Weite des Raumes und die relativ dünne Besiedlung rein topographisch Möglichkeiten für Grossanlagen ergeben, die mit mitteleuropäischen Massstäben nicht ohne weiteres verglichen werden können. Andererseits aber erfordert die Lösung der Einzelprobleme im kleineren Raum mindestens gleiche, wenn nicht in mancher Beziehung erschwerte Mühe und Aufwendungen, so dass auch nach den grossen Eindrücken, welche die besichtigten Anlagen vermittelt haben, ein durchaus begründetes Selbstvertrauen der Reiseteilnehmer festgestellt werden konnte. An der im Vorstehenden erwähnten Studienreise haben Vertreter vieler europäischer Staaten, aber auch solche aus Uebersee und dem Orient teilgenommen.

* In andern Publikationen wird die Ausbaumöglichkeit der Wasserkräfte der UdSSR allerdings nur mit 1200 Mrd. kWh angegeben, wodurch sich 1 kWh je 5,5 m² ergeben würde (Red.)

Bild 82
Blumenanlage und Promenade in Pandun am Angara-Stausee Bratsk, der zweimal so lang ist wie die Schweiz!