

Eigenart des schwedischen Kraftwerkbaues

Autor(en): **Gruner, Eduard**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **66 (1948)**

Heft 52

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-56852>

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.

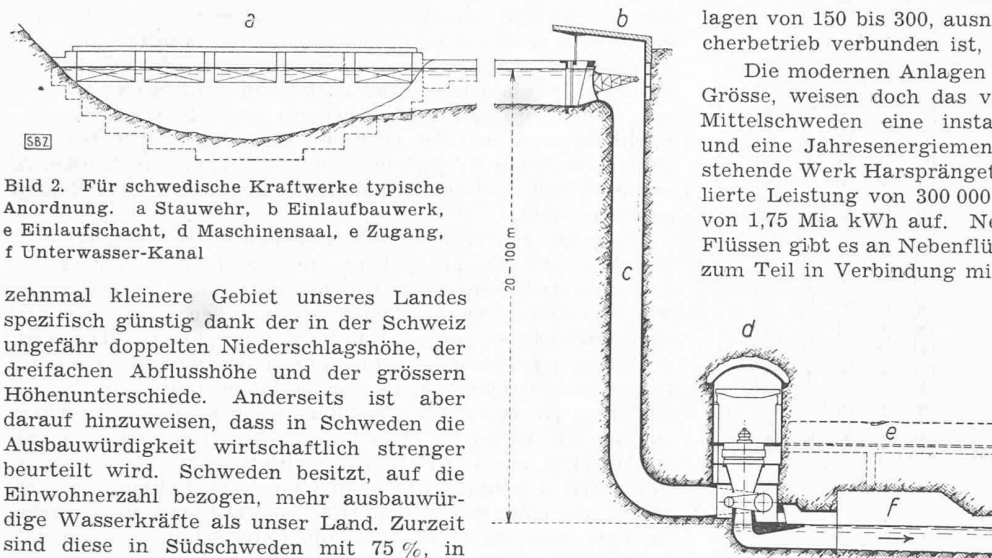


Bild 2. Für schwedische Kraftwerke typische Anordnung. a Staumauer, b Einlaufbauwerk, c Einlaufschacht, d Maschinensaal, e Zugang, f Unterwasser-Kanal

zehnmal kleinere Gebiet unseres Landes spezifisch günstig dank der in der Schweiz ungefähr doppelten Niederschlagshöhe, der dreifachen Abflusshöhe und der grösseren Höhenunterschiede. Andererseits ist aber darauf hinzuweisen, dass in Schweden die Ausbaumöglichkeit wirtschaftlich strenger beurteilt wird. Schweden besitzt, auf die Einwohnerzahl bezogen, mehr ausbaufähige Wasserkräfte als unser Land. Zurzeit sind diese in Südschweden mit 75 %, in Mittelschweden mit 30 % und in Nordschweden erst mit 10 % ausgebaut. Da sich die staatliche Verwaltung die Erzeugung in Nordschweden ganz reserviert hat, wird mit fortschreitendem Ausbau ihr Anteil an der Gesamterzeugung zunehmen. Diese Entwicklung kommt an den im Bau befindlichen Werken klar zum Ausdruck, deren Erzeugung zu rd. 75 % dem Staat zukommen wird.

Die Zusammenarbeit der staatlichen Verwaltung mit den acht grossen kommunalen und privaten Unternehmen war schon vor dem letzten Krieg gut entwickelt; sie wurde während des Krieges intensiviert und seit Kriegsende auf Grund eines freiwilligen Uebereinkommens weitergeführt. Das Land ist zu diesem Zweck in 13 Netzblöcke aufgeteilt, wovon fünf die Netze des Staates und acht die kommunalen und privaten Unternehmen umfassen. Die technische Leitung untersteht der zentralen Betriebsleitung und den 13 Block-Betriebsleitungen, während die finanziellen Verhältnisse zwischen den am Kraftaustausch beteiligten Unternehmen direkt erledigt werden.

Die weitgehende Zusammenarbeit der grossen Netze bedingt leistungsfähige Verbindungsleitungen, für die im Laufe der bisherigen Entwicklung Spannungen von 50, 70, 130 und 200 kV angewendet wurden. Die jetzigen fünf 200 kV-Leitungen, wovon drei dem Staate gehören, dienen der Uebertragung der grossen Energiemengen aus dem Norden nach Mittel- und Südschweden. Bei den grossen Entfernungen von 1300 km Luftlinie von Porjus im Norden bis Malmö im Süden genügt aber die Uebertragungsspannung von 200 kV nicht mehr, weshalb seit Jahren Studien und Versuche über hochgespannte Gleichstrom- und Wechselstromübertragung durchgeführt werden. Da aber diese Entwicklungsarbeit noch nicht abgeschlossen ist, hat die staatliche Verwaltung beschlossen, die seit 1946 alle neuen Leitungen für 200 kV und höhere Spannungen baut, für die zunächst erforderlichen Leitungen Wechselstrom von 350 kV anzuwenden. Die Uebertragungsleitungen werden vorherrschend als Einfachleitungen mit in der Horizontalen angeordneten Leitern erstellt. Die Tragwerke bestehen vielfach aus Holzgestängen mit eisernen Tragtraversen, eine Bauart, die über den Krieg auch bei uns an verschiedenen Orten Eingang gefunden hat.

Im gesamten besitzt Schweden 1400 Kraftwerke mit einer Leistung über 75 kW, die Schweiz deren 283 mit einer Leistung über 450 kW. Als Kraftwerktyp sind für Schweden Flusswerke nach Bild 2 charakteristisch, die bei Gefällen von 20 bis 100 m verhältnismässig grosse Wassermengen verarbeiten. Diese Werke lassen sich einigermaßen mit den Werken Lavey, Verbois, Mühleberg und Wettingen vergleichen, wobei aber dank der reichlichen Regulierungsmöglichkeiten der Seen am Oberlauf der Flüsse die Wasserführung viel ausgeglichener ist als in der Schweiz. Die Ausbaumengende ist denn auch in Schweden während jährlich mehr als neun Monaten vorhanden oder überschritten, gegenüber nur fünf Monaten bei unsern neueren Werken. Die Grösse der Flüsse entspricht ungefähr derjenigen von Rhone, Aare, Reuss und Limmat mit Ausbaumengenden bei den modernen An-

lagen von 150 bis 300, ausnahmsweise, wenn damit auch Speicherbetrieb verbunden ist, bis 500 m³/s.

Die modernen Anlagen sind durchwegs von imponierender Grösse, weisen doch das voll ausgebaute Werk Krangede in Mittelschweden eine installierte Leistung von 210 000 kW und eine Jahresenergiemenge von 1,5 Mia kWh, das im Bau stehende Werk Harspränget nördl. des Polarkreises eine installierte Leistung von 300 000 kW und eine Jahresenergiemenge von 1,75 Mia kWh auf. Neben den Werken an den grossen Flüssen gibt es an Nebenflüssen auch reine Spitzenkraftwerke, zum Teil in Verbindung mit Pumpenanlagen, von denen eines über das für Schweden grösste Gefälle von 106 m verfügt, gegenüber dem grössten schweizerischen Gefälle von rd. 1700 m beim Dixence-Werk im Wallis.

Die wirtschaftlichen Verhältnisse sind dank der für Flusswerke grossen Gefälle, der ausgeglichenen Wasserführung und des freiliegenden oder in geringer Tiefe erreichbaren Felsuntergrundes für die schwedischen Kraftwerkbauten aus-

serordentlich günstig. Wie aus der Betrachtung von Bild 2 uns schwer zu folgern ist, nimmt die Wirtschaftlichkeit mit steigendem Gefälle zu, weil die Anlagekosten durch die Verlängerung des Einlaufschachtes und Unterwasserstollens, sowie durch die Vergrösserung der Maschinenleistung in geringerem Verhältnis zunehmen als die Werkleistung.

Ein wesentlicher Grund für die geringeren Anlagekosten der schwedischen Kraftwerke liegt auch in der Grösse des Landes und der geringeren Siedlungsdichte. Der Kraftwerkbau verfügt so über mehr Raum und ist weniger mit Kosten für die Erwerbung und die Erhaltung von Kulturland, sowie mit Nebenanlagen zum Schutze der öffentlichen Interessen, wie Strassen, Brücken, Entwässerungen und Schifffahrt, belastet.

Nach der von den schwedischen Werken gemeinsam herausgegebenen Uebersicht und den auf der Studienreise erhaltenen Angaben sollen sich die durch den Krieg ungefähr um 50 % verteuerten Baukosten für die im mittleren Norden im Bau befindlichen Werke auf 400 bis 500 Kronen pro installiertes Kilowatt, also zum heutigen Kurs auf ungefähr 500 bis 600 Schweizerfranken stellen, während in der Schweiz bei einer Baukostenteuerung von rd. 100 % mit 2000 Fr. pro kW und mehr gerechnet werden muss. Durch die in Schweden grösseren Uebertragungsdistanzen wird allerdings der Vorteil der geringeren Produktionskosten ab Werk für die Abgabe beim Konsumenten etwas verkleinert, doch bleibt der Vorsprung Schwedens im wesentlichen erhalten. Die schwedische Volkswirtschaft verfügt deshalb aus den nach dem Krieg erstellten Anlagen im internationalen Konkurrenzkampf über weit niedrigere Energiekosten als die Schweiz.

Die auch in Schweden seit 1939 unter staatlicher Kontrolle stehenden Abgabepreise für die elektrische Energie liegen allerdings zurzeit noch auf ähnlicher Höhe wie in der Schweiz, doch werden infolge ungünstiger Baubedingungen und höherer Kriegsteuerung mit fortschreitendem Ausbau neuer Kraftwerke die Durchschnittskosten bei uns stärker anwachsen. Die Schweiz hat damit allen Grund, auch auf diesem Sektor im Interesse ihrer Konkurrenzfähigkeit auf dem Weltmarkt vorsichtig zu sein und vor allem die ihr zur Verfügung stehenden günstigsten Wasserkräfte auszubauen. Die schweizerischen Teilnehmer an der Studienreise, unter denen sich auch einige Auslandschweizer befanden, fühlen sich verpflichtet, Fachleute und Öffentlichkeit unseres Landes auf diese nicht neue Erkenntnis hinzuweisen und damit vor der oft gehörten Illusion zu warnen, es komme bei den Gesteuerungskosten der Energie aus neuen Kraftwerken auf einen Rappen mehr oder weniger pro Kilowattstunde nicht an.

Eigenart des schwedischen Kraftwerkbau

Von Dipl. Ing. EDUARD GRUNER, Basel

Entwicklung im Sperrnbau

Der Sperrnbau führte vom Erddamm über die Massivsperrre und die aufgelösten Sperren zurück zum Damm aus Felsschüttung. Mit Hilfe der Grossproduktion von Portlandzement, die nach dem ersten Weltkrieg einsetzte, konnten

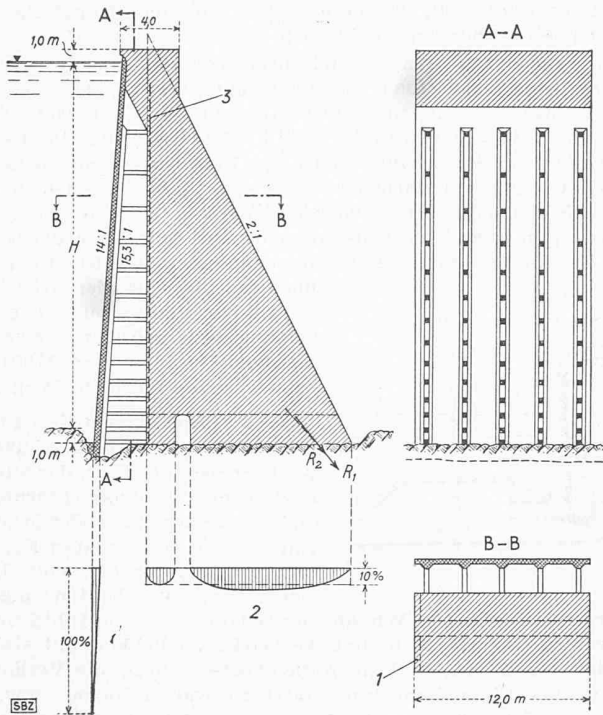


Bild 3. Staumauer mit Frontplatte, Masstab 1:500. R_1 max. Beanspruchung bei Hochwasser und Eisdruck (15 t/m), ergibt 25 kg/cm². R_2 max. Beanspruchung bei Wasseroberfläche 1 m über Hochwasser, ergibt 30 kg/cm². 1 Quergang jede 3. Fuge (alle 36 m), 2 Auftriebsdiagramm (voller Auftrieb = 100%), 3 Vertikale Hauptarmierung

die grossen Schwergewichtsmauern erstellt werden. Die Eigenart Skandinaviens, insbesondere seine weichen Wasser, zeitigten ein rasches Altern dieses Baustoffes. Diese Erfahrung führte einerseits zu Schutzmassnahmen und andererseits zur Anwendung besser geeigneter Konstruktionen. Auf Drainagen wird dort verzichtet, wo Gefahr besteht, dass durch die chemische und mechanische Wirkung des Porenwassers die Materialfestigkeit vermindert werden könnte. Ein hundertprozentiger Auftrieb in jedem Horizontalschnitt des Sperrkörpers wird in Rechnung gesetzt, weil die sich daraus ergebende Mehrkubatur die Lebensdauer begünstigt. An der 25 m hohen Sperre von Stadsforsen (Bild 3) verhindert eine Dichtungsschürze die Wasserzirkulation. Sie ist 0,30 bis 0,25 m stark und liegt 2,60 m vor der Mauer, auf die sie sich abstützt. Auftrieb und Auswaschung wirken darum nicht in der Betonmasse, die entsprechend schwächer dimensioniert und dosiert werden kann. Unterhaltskosten und Amortisation sind nach den vorläufigen Erfahrungen für die Sperre mit Schürze niedriger als für die einfache Schwergewichtssperre.

Da der Talweg schwedischer Flüsse oft im Fels liegt, sind Sperrstellen mit vorzüglichen geologischen Eigenschaften häufig. Dies begünstigt auch den Bau aufgelöster Sperren.

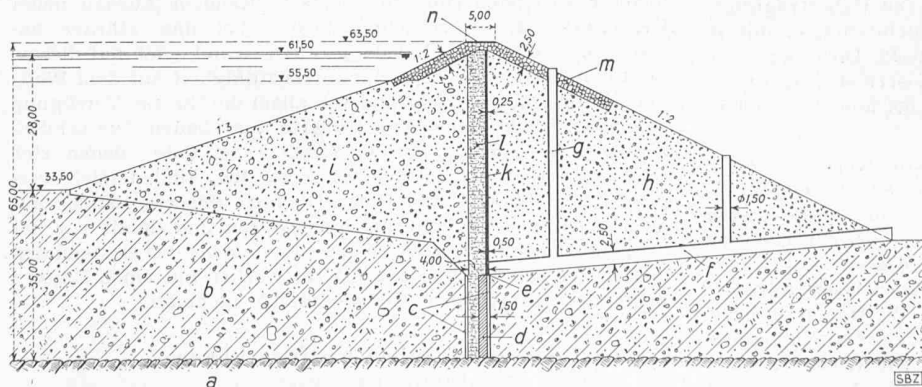


Bild 4. Erddamm, gebaut 1948, Masstab 1:1500. a Granit, b Alluvion, c Spundwand, d Beton, e Gelenk mit Bitumenzwischenlage, f Revisionsstollen, g Revisionsschacht, h Kies, i Kies und Steine, k Eisenbetonplatte, l Lehm und Sand, m Steinrollierung, n Strassenkoffer

c Seitenstrahl, d Bereich der Wirbel mit Lufteneinschluss, e Wasser ohne Lufteneinschluss, f unterwasserseitiger Wasserstand (auch zwischen den Lamellen), g kriegsbedingte Bresche, h armierte Betonplatte, i unarmierte Lamellen, k Drehsinn der seitlichen Wirbel

Für die geringe Kubatur kann eine Dosierung von 350 bis 400 kg/m³ eingebrachten Betons angewendet werden. Der Baustoff wird so trotz minimaler Masse dicht und frostbeständig. Wenn die Fundamente in Schürftiefe ausgeführt werden können, stehen ihre Baukosten zwischen denjenigen der Schwergewichtssperren und der Dämme. Ihre Unterhaltskosten sind mässig, worüber vierzigjährige Erfahrungen aus Norwegen vorliegen. Für spätere Erhöhungen eignen sich diese Bauten meistens nicht.

Besondere Aufmerksamkeit gebührt den geschütteten Dämmen. In Harspranget am Lule Fluss in Lappland sah z. B. das erste Projekt 1918 eine Bogenmauer in Beton vor. Der anstehende Diorit bietet vorzüglichen Baugrund und würde auch jeden aufgelösten Sperrrentyp zulassen. Den neuzeitlichen Erfahrungen entsprechend ist dagegen jetzt ein Damm aus Felsschüttung im Bau. Das Schüttgut von 1,6 Mio m³ wird dem Ausbruch der Krafthaus-Kaverne und der Stollen entnommen. Er ist bis 50 m hoch, 1350 m lang, mit Anzügen wasserseitig von 1:1,75 und luftseitig von 1:1,25. Der Dichtungskern in Damm-Mitte besteht aus einer Lehmkulisse von 4,00 m und einer Eisenbetonplatte von 0,80 bis 0,40 m Stärke. Im Fels wird sie durch eine Injektions-Schürze fortgesetzt. In der luftseitigen Halde sind Revisionsgänge und Schächte untergebracht, die aus vorfabrizierten Elementen zusammengefügt werden. In Hölleforsen wird von der staatlichen Wasserkraftdirektion ebenfalls ein Damm erstellt. Im Gegensatz zum oben beschriebenen ruht er auf Alluvion und das Schüttgut ist Kies, das bei der Lieferlegung des Talweges im Unterwasser gewonnen wird. Der Damm ist bis zu 40 m hoch, hat Anzüge wasserseitig von 1:3 und luftseitig von 1:2. Die Dichtung ist ähnlich wie in Harspranget. In ihrem Fundament wurde die Alluvion bis auf den undurchlässigen Untergrund aufgeschlitzt. Darin ist als Fuss ein abgetreppter Betonkörper von 1,50 m Stärke eingebracht, auf dem die Dichtungsplatte in Eisenbeton gelenkig gelagert ist. Sie ist 0,50 bis 0,25 m stark (Bild 4).

Wegweisend für die Wahl dieses Sperrrentyps sind vor allem die Bau- und Unterhaltskosten. Aus Vergleichsrechnungen stehen die erstgenannten für Massivstaumauer, Skelettsperre und Damm im Verhältnis von 4:3:2 bei 20 m Höhe; sie wachsen proportional mit zunehmender Höhe. Die Unterhaltskosten betragen dagegen jährlich 1,5 bzw. 1,3 bzw. 1,0% der Anlagekosten.

Weitere Vorteile liegen im langsamen Altern, im geringen Zementbedarf, sowie in der Möglichkeit, Reparaturen und spätere Erhöhungen leicht durchführen zu können.

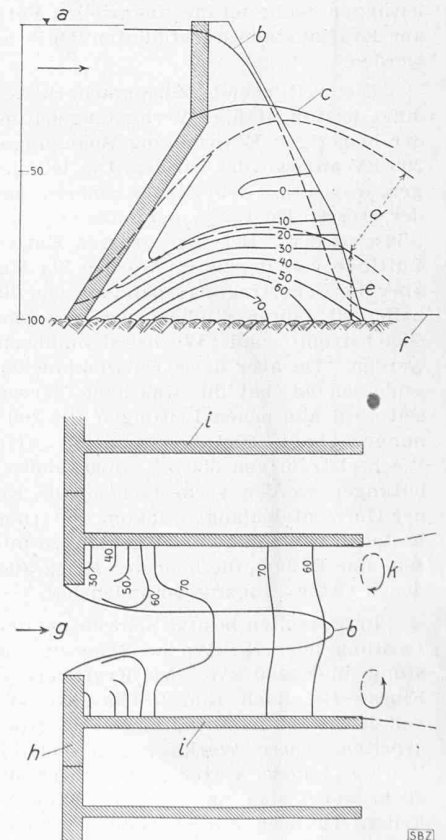


Bild 5. Ergebnisse eines Modellversuchs an einer Dammbresche. Hydraulische Isobaren in Prozenten der Stauhöhe. a Statische Druckhöhe, b Mittelstrahl, c Seitenstrahl, d Bereich der Wirbel mit Lufteneinschluss, e Wasser ohne Lufteneinschluss, f unterwasserseitiger Wasserstand (auch zwischen den Lamellen), g kriegsbedingte Bresche, h armierte Betonplatte, i unarmierte Lamellen, k Drehsinn der seitlichen Wirbel

nen. Schwierigkeiten bilden dagegen die Anschlüsse von Entlastungsorganen oder der Einbau von Kraftzentralen. In Hölleforsen wurden diese Schwierigkeiten in zweckmässiger Weise überwunden.

Erst der zweite Weltkrieg gab Veranlassung, Talsperren auch auf ihre Kriegstauglichkeit zu prüfen. Das schwedische Kongress-Komitee äussert sich dazu in verschiedenen Berichten. Seine Aufmerksamkeit gilt der Tarnung gegen Luftangriff und dem Widerstand gegen Sprengwirkung. Für die Tarnung ist der Erddamm im Vorteil, da er bestockt werden kann. Ueber die Sprengwirkung liegen eigentlich nur Erfahrungen an Gewichtsmauern vor. Prof. Hellström hat darum Modellversuche im Masstab 1:50 an Lamellensperren vorgenommen. Er mass hierzu den Seiten- und Bodendruck in Breschen während des Ausströmens von Wasser und stellte u. a. fest, dass der Seitendruck im Ausfluss auf $\frac{2}{3}$ der statischen Druckhöhe absinkt (Bild 5). Zerstörungen durch Explosionen können bei jedem Mauertyp entstehen. Massive Baukörper und aufgelöste mit direkter Lastabgabe lassen ein ähnliches Verhalten erwarten. Bei komplizierteren Typen, wie Vielfachbogensperren oder Lamellensperren über mehrere Stützpfiler, besteht die Gefahr von Nachbrüchen. In solchen Fällen müssen die Pfeiler entsprechend der mutmasslichen Beanspruchung im Kriegsfall verstärkt oder durch Spriessen zu Rahmen gepaart werden. Bei einem Damm ist Schaden zu gewärtigen, wenn der Dichtungskern verletzt wird. Ausströmendes Wasser wird diese Bresche weiterreissen. Als Kriegsschutz soll die Dammkrone eine Schüttung aus grossen Steinen tragen (Bild 4).

Entwicklung im Kraftwerksbau

Jede der besichtigten Kraftwerkanlagen verwirklicht neue Ideen und spricht damit für die Lebendigkeit in der Projektierung, was in erster Linie bei den Ingenieuren der staatlichen Wasserkraftdirektion der Fall ist. Kühn ist vor allem die Anlage Vargön, die 1933 in Betrieb kam (Bild 6). Eine grundlegend neue Idee in hydraulischer und bautechnischer Hinsicht wurde dabei im Masstab 1:1 geprüft. Nach einem solchen Entschluss soll man nicht das Ergebnis kritisieren, sondern vielmehr zum Mut gratulieren. Das Werk liegt im Süden des Landes an einem Ausfluss des Vännern. Es weist zwei vertikalachsige Kaplansturbinen von je 14 000 PS auf. Der Laufraddurchmesser beträgt 8 m, weshalb auf Rechen verzichtet wurde. Das Gefälle von 3,50 bis 4,50 m wird in einem Syphon ausgenutzt. Da die Einlaufschwelle auf Hochwasserspiegel liegt, erübrigen sich Schützen. Zur Inbetriebnahme wird die in der Turbine eingeschlossene Luft mit je einem Ejektor abgesogen und zum Abstellen ein Luftventil geöffnet. Das Saugrohr ist unverkleidet und durch sorgfältiges Ausbrechen des Felsens erstellt worden. Auf ein Maschinenhaus wurde verzichtet. Die Generatoren sind lediglich in Blechgehäuse eingekapselt. Ein Portalkran dient gleichzeitig der Maschinenmontage und dem Versetzen der Dammbalken.

In auffallendem Unterschied zu unserer Praxis steht die Planung der Mitteldruckanlagen. Zur Darstellung ihrer Entwicklung soll hier auf die Werke Hammarforsen (1925), Krangede (1936) und Stadsforsen (1940) am Indal-Flusse hingewiesen werden. Die Bauten sind geschickt der schwedischen Landschaft angepasst, in der, im Unterschiede zur unseren, allenthalben guter Fels ansteht, die Täler nur geringe Alluvialsohlen tragen und die Hänge mässige Aufwiesen aufweisen.

In Hammarforsen besteht ein Gefälle von 19,50 m. Ein Wasserschloss fehlt. Eine kurze, geneigte Druckleitung aus Eisenbeton führt zu den Turbinen. Die Schalen der Saugrohre haben minimale Stärke; sie sind gegen Auftrieb durch 1 m tiefe Armierungen im Fels verankert. Spiralgehäuse und Generatorfundament bestehen ebenfalls aus Eisenbeton. Auf Massenbeton wurde verzichtet. Die Transformatoren stehen über den Druckrohren, wodurch der Maschinenraum günstig belichtet werden konnte. Das Werk wies im ersten Ausbau zwei Francisturbinen zu je 11 400 PS auf. Nach Seeregulierungen im Oberlauf des Indalflusses konnte die mittlere Wassermenge von rd. 220 m³/s auf 450 m³/s erhöht werden. Demzufolge werden nun noch zwei weitere Kaplansturbinen von je 21 700 PS hinzugefügt.

Das Werk Krangede am Indalfluss weist 57,7 m Gefälle auf (Bild 2). Die Schützen und ihre Antriebe wurden in Hochbauten untergebracht, um ihr einwandfreies Funktionieren auch im strengen nordischen Winter sicherzustellen. Das Wasser gelangt durch Schächte zu sechs Francisturbinen von

je 47 400 PS Leistung. Die Generatorlast wird durch acht Säulen aus gewalzten Stahlprofilen auf den Stützschaufelring übertragen. Das Unterwasser gelangt durch zwei unverkleidete Stollen von spitzparabolischem Profil zum Fluss zurück. Die Jahresproduktion beträgt 1,5 Mia kWh; sie wird über ein Netz von 220 000 V den sieben Gemeinden und Industrien, die Werkeigentümer sind, zugeführt.

Stadsforsen am Indalfluss gleicht mit 20 m Gefälle dem Werk Hammarforsen. Die Kaplansturbinen waren für 40 000 PS dimensioniert. Nach einer Gefällerrhöhung auf 23 bis 29 m leisten sie jetzt je 60 000 PS. Die mit der Leistungssteigerung aufgetretenen Fundamentvibrationen konnten behoben werden. Bemerkenswert sind die frei gelagerten Spiralgehäuse, die nach dem Entwurf der mechanischen Werkstätten in Karlstad gebaut wurden. Durch zehn Tragwände in Eisenbeton übermitteln sie die bei Lastabfall auftretenden Radialkräfte auf das Fundament. Als Saugrohr wurde statt des eckigen der runde Ellbogentyp gewählt. Die Schächte tragen Stahlblechverkleidung. In ihrer Sohle steht unverkleideter Fels an. Ein Portalkran der MAN für 220 t soll die Maschinenmontage beschleunigt haben. Für den Betrieb sind Brückenkrane jedoch zweckmässiger.

Harspranget (1950) am Lule-Fluss in Lappland ist mit 107 m Gefälle ähnlich wie Krangede geplant. Drei vertikalachsige Francisturbinen von je 118 000 PS Leistung sollen bis zu 1,75 Mia kWh pro Jahr produzieren können. Bei Baukosten von 100 Mio Kr. und 260 000 kW installierter Leistung ist der Gestehtungspreis von 385 Kr./kW ausserordentlich niedrig. Die

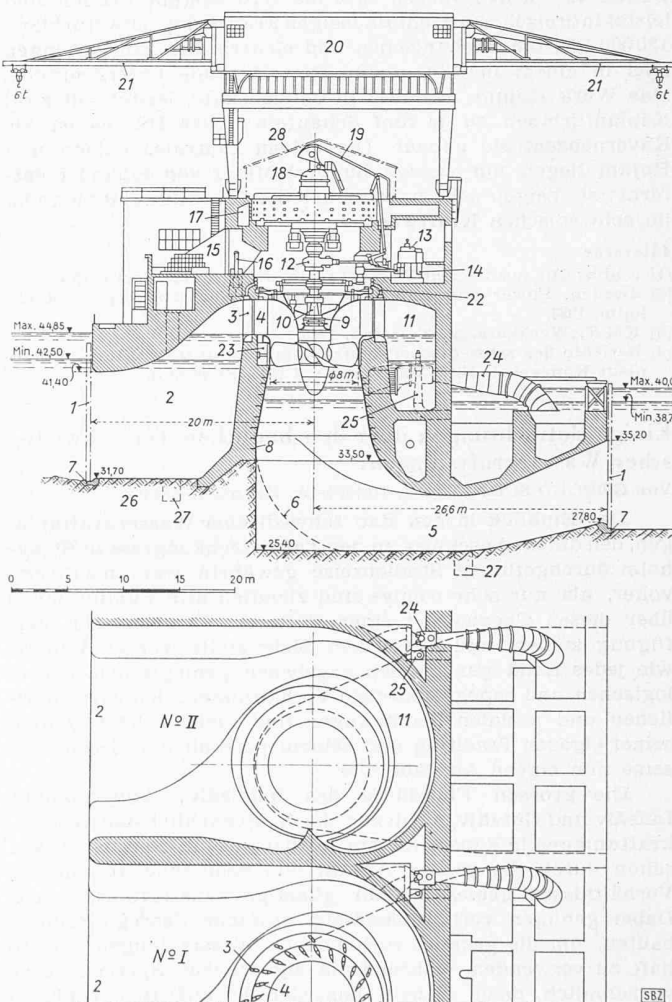


Bild 6. Kraftwerk Vargön, Masstab 3:2000.

1 Dammbalken, 2 Einlauf, 3 Tragstege, 4 Leitschaufeln, 5 Saugrohr, 6 Krümmernorm bei Turbine Nr. 2, 7 Wehrschwelle, 8 Stahlblech-Auskleidung, 9 Labyrinth-Stopfbüchse, 10 Führungslager, 11 Spiralgehäuse, 12 Antrieb von Erreger und Regler, 13 Regler, 14 Servomotor, 15 Frischluft-Zutritt, 16 Vakuumbrecher, 17 Kabelkanal, 18 Oelbehälter, 19 Steuergestänge zur Laufschaufelverstellung, 20 Kran für 200 t Tragkraft an zwei Haken und Hilfswinde von 10 t, 21 Ausleger mit Winde von 6 t, 22 Warmwasserleitung, 23 Kontrollgang, 24 Ejektor 800 mm, 25 Ejektor 250 mm, 26 Granit, 27 Sammel-schacht für Entleerungspumpen, 28 Schutzhaube

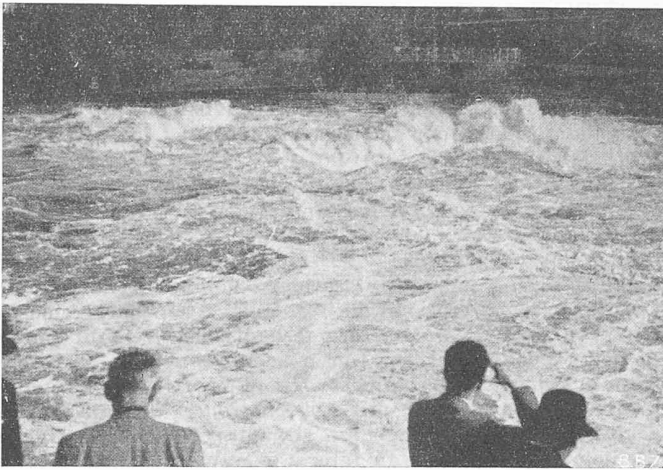


Bild 7. Nämforsen, dicht unterhalb des Wehres. Man beachte die Wasserbewegung in dem unverkleideten Tosbecken

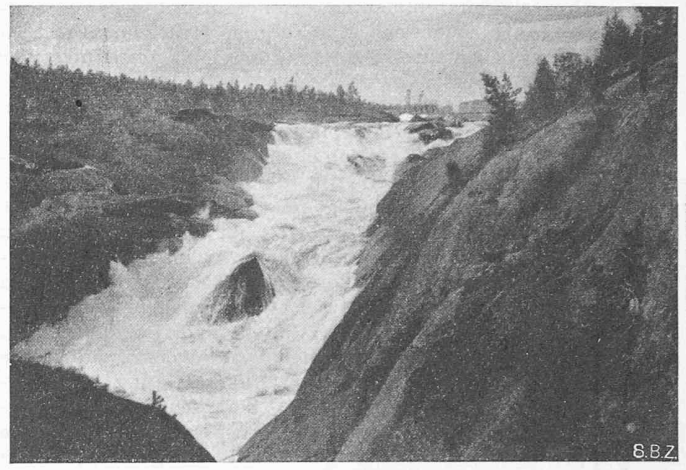


Bild 8. Am Lule älv. Charakteristische Flusslandschaft. Im Hintergrund Bauten des neuen Kraftwerkes

Anlage ist u. a. insofern bemerkenswert, als zum Schutz vor Zerstörung ausser den Kraftmaschinen und Transformatoren auch die Schaltstation in eine Kaverne verlegt ist.

Schliesslich soll noch das Zwillingswerk Olidan-Hojum am Göta-Fluss erwähnt werden. Das mittlere Gefälle misst hier 32 m und die Wassermengen 700 bzw. 500 m³/s. Das Werk Olidan ist in den Jahren 1910 bis 1920 erstellt worden und leistet in dreizehn horizontalachsigen Francisdoppelradturbinen 130 000 PS; die mechanischen und elektrischen Einrichtungen sind in einem massiv gemauerten Gebäude untergebracht. Das Werk Hojum, das 1943 in Betrieb kam, leistet mit zwei Kaplan-turbinen zu je fünf Schaufeln 138 000 PS; es ist als Kavernenzentrale gebaut. Die beiden Zentralen Olidan und Hojum liegen nur wenige hundert Meter von einander entfernt; sie zeigen sehr anschaulich die gewaltige Entwicklung im schwedischen Kraftwerkbau.

Literatur

- [1] Ludin: Die nordischen Wasserkräfte. J. Springer, Berlin 1930.
- [2] Sweden, Power and Industry. World Power Conference, Stockholm, 1933.
- [3] KMW, Werkkatalog, Karlstad, 1946.
- [4] Berichte des schwedischen Zentralkomitees für internationale Ingenieur-Kongresse, Nr. 1 1945 und Nr. 2 1945, Stockholm.

Einige Betrachtungen über den baulichen Teil schwedischer Wasserkraftanlagen

Von GEROLD SCHNITTER, Ingenieur, Küssnacht-Zürich

Der Einblick in den Bau schwedischer Wasserkraftanlagen, den die im Anschluss an den Talsperrenkongress in Stockholm durchgeführte Studienreise gewährte, war umso wertvoller, als nur sehr wenige und ziemlich alte Publikationen über diesen Gegenstand einer weiteren Fachwelt zur Verfügung stehen, und ausserdem festgestellt werden konnte, wie jedes Land gemäss den gegebenen geologischen, hydrologischen und topographischen Verhältnissen, den wirtschaftlichen und sozialen Bedingungen und nicht zuletzt gemäss seiner eigenen Tradition und seinem persönlichen Geschmack seine ihm eigene Aufgabe löst.

Die grossen Flussläufe des Indalsälv, Angermanälv, Luleälv und Götaälv, an denen die hauptsächlichsten Wasserkraftanlagen in konsequentem Ausbau erstellt werden, weisen schon durch die grosse Anzahl von Seen eine an unseren Verhältnissen gemessen sehr günstige Wasserführung auf. Dabei genügen verhältnismässig einfache Seeregulierungsbauten, um die grossen vorhandenen Wassermengen vorteilhaft zu verwenden, während die eigentlichen Sperrenbauten vornehmlich dazu dienen, das Gefälle auf topographisch günstig gelegene Stellen zu konzentrieren. So ergibt z. B. das Gebiet des Luleälv oberhalb Harspranget über 2,75 Mia m³ Wasser bei einem totalen Gefälle des Flusses bis zur Mündung ins Meer von 369 m. Dieses Gefälle soll in acht Stufen ausgebaut werden, wovon die erste, bei Porjus bereits während des ersten Weltkrieges erstellt wurde und die zweite mit 107,50 m sich im Bau befindet. Ähnlich liegen die Verhältnisse beim Indalsälv, bei dem im Oberlauf 5 Mia m³ Wasser auf Kote 268 zur Verfügung stehen; sie sollen im fertigen Ausbau in elf Zentralen ausgenützt werden.

Die topographischen sowie die im allgemeinen äusserst günstigen Untergrundverhältnisse haben die schwedischen Projektverfasser dazu geführt, die Triebwasserzuleitung auf ein Minimum zu reduzieren und dem in nächster Nähe des Wehres oder des Staudammes gelegenen Maschinenhaus einen längeren Unterwasserkanal folgen zu lassen, der mit Vorliebe als grosser Unterwasserstollen ausgebildet ist (Bild 2). In der Anordnung finden wir eine solche Lösung in kleinerem Massstab beim Kraftwerk Wethingen. Diese Stollen nehmen beträchtliche Dimensionen an, so beträgt z. B. in Hjäлта die Stollenlänge 7600 m und der Querschnitt 135 m². Dabei wird dieser Stollen als Freispiegelstollen (Kranjede) oder als Druckstollen (Harspranget) mit Anordnung eines Wasserschlosses gebaut.

Bei diesen Bauten kommen die günstigen Untergrundverhältnisse zur Geltung. Fast überall steht guter Granit an. So brauchen sich die schwedischen Ingenieure nicht zu scheuen, ihre grossen Unterwasserstollen praktisch ohne Holzeinbau in vollem Profile vorzutreiben und unverkleidet zu lassen. Dank dem anstehenden guten und dichten Fels werden die Maschinenhäuser meist in das Berginnere verlegt, wobei oft auf eine Verkleidung der nichttragenden Partien verzichtet wird. Unseres Wissens ist die Zentrale Porjus eine der ersten, wenn nicht die erste Kavernenzentrale grösseren Umfanges.

Aus dem selben Grunde werden Hochwasser über einzelne dafür vorgesehene Wehröffnungen geleitet ohne Bedenken wegen Auskolkungen am unterwasserseitigen Wehrfundament. Die Wehre tragen im allgemeinen weder an den Pfeilern noch auf der Schwelle Steinverkleidungen; die Flüsse weisen dank der vielen Seen (etwa 90 000 in ganz Schweden) geringe Geschiebemengen auf. Dafür besitzen alle Wehre eine Flossgasse zum Abführen der unzähligen Baumstämme (bis zu 15 000 Stämme pro Stunde), die auf dem Wasser ihre Reise bis zum Bestimmungsort (im allgemeinen eine Zellulosefabrik in der Nähe der Flussmündung) vollbringen. Fischtreppen haben wir bei den von uns besichtigten Anlagen hingegen keine beobachtet und dies trotz der bedeutenden Lachsvorkommen.

Die Lichtweiten der Wehröffnungen betragen wie bei uns 15 bis 25 m; ihre Höhe ist aber meist grösser als bei uns, wobei dann der untere Teil als festes Wehr, meist in Form eines Hohlkörpers, und nur der obere Teil mit etwa 10 m Höhe beweglich ausgeführt ist. Dieser bewegliche Teil ist fast ausnahmslos als Sektorschütze ausgebildet, wobei die Stiele schief zum Stromstrich gerichtet sind, was für die Stauwand günstigere, aber für die Auflagerung ungünstigere Verhältnisse ergibt. Auch die Einlaufschützen werden als Sektorschützen ausgebildet. Ihnen folgen die als Schächte ausgeführten Zuleitungen. Je nach den örtlichen Verhältnissen sind sie als Eisenbetonzylinder gebaut oder im anstehenden Fels ausgehauen. Solche Druckschächte erreichen Höhen bis zu 100 m bei einem Durchmesser von 5,60 m, wobei oft nur der untere Teil gepanzert wird. Die Maschinenhäuser werden wie bereits erwähnt, mit Vorliebe in das Berginnere verlegt, mit oder ohne Trafo-Anlage, ja selbst mit Schaltanlage ebenfalls untertags. Personenschächte und Transportschächte mit Lift, Leitungs- und Lüftungsschächte sorgen für die notwendige Verbindung mit der Aussenwelt.



Bild 9. Arbeitersiedlung nördlich des Polarkreises

Im Sperrnbau steht z. Zt. der geschüttete Erd- oder Steindamm im Vordergrund des Interesses. Nach der Ansicht unserer schwedischen Kollegen biete er bei gleicher, oft sogar erhöhter Sicherheit gegenüber einer Betonsperre wirtschaftliche Vorteile. Zwei solche im Bau begriffene Dämme konnten besichtigt werden. Bei beiden besteht die Dichtung aus einer in der Dammaxe gelegenen elastischen, hocharmierten Betonwand, oberwasserseitig ergänzt durch einen Lehmschlag (Bild 4). Die schwachen Stellen dieser Dämme bilden die Anschlüsse an die notwendigerweise aus Beton erstellten Bauwerke für die Wasserentnahme und die Hochwasserüberläufe. Die besichtigten Dammabstellungen konnten den Verfasser nicht restlos von der Zweckmässigkeit der getroffenen Anordnungen überzeugen. Es ist ja allerdings bekannt, dass auch in den USA dieser Dammtyp sehr verbreitet ist, jedoch sind dort meist die schlechten Untergrundverhältnisse eine der Hauptursachen für ihre Anwendung.

Die Baumethoden weichen von unsern nicht stark ab. Der Geräteeinsatz ist eher geringer mit Ausnahme des Stollenbaues, den die Schweden vorzüglich entwickelt haben. Man hat das auch bei uns an den in den letzten Jahren eingeführten schwedischen Stollenbaugeräten und Stollenbaumethoden feststellen können.

Bei Wehr und Maschinenhaus sind allgemein die schönen Sichtflächen des schalungsroh gelassenen Betons aufgefallen. Dies dürfte herrühren einestells von den verhältnismässig hohen Zementdosierungen (300 und 350 kg P. Z. pro m³), andererseits von der besonderen und sehr sorgfältigen Art der Schalung. Die Schalbretter sind entsprechend der geringen Stärke der Baumstämmen nur etwa 10 cm breit. Sie werden gehobelt und zu relativ kleinen Schalbefeln zusammengefasst. Diese Tafeln werden nun sehr sorgfältig so gestellt, dass bei Sichtflächen die einzelnen Schalbretter in ihrer Richtung die massgebende Richtung des zu schalenden Baukörpers betonen. So werden z. B. bei den Säulen und den Wänden die Bretter vertikal gestellt; bei Rundungen, Kehlen, Wölbungen usw. wird das selbe Prinzip verfolgt. Dabei wird dann allerdings der Beton nicht vibriert und somit die Schalung einer viel geringeren Beanspruchung ausgesetzt als bei unserem stark vibrierten Beton.

Ueber die Maschinen zur Aufbereitung und zur Betonherstellung ist nichts Besonderes zu sagen. Wiederum dank des guten Untergrundes sind die Betonkubaturen klein, verglichen mit jenen, die wir z. B. bei Maschinenhäusern, Stollen usw. gewohnt sind. Der verwendete Kies-Sand muss fast immer gebrochen werden, nur selten steht Flusskies oder gar natürlicher Sand zur Verfügung. In der neuesten Zeit wurde mit der Beimischung von aus Amerika eingeführten air-entraining-Mitteln begonnen; dabei wird meist Darex verwendet.

Die Aushubarbeiten bestehen im allgemeinen aus Felsarbeiten. Umso interessanter war die Besichtigung einer grossen Baggerarbeit an einem Unterwasserkanal (Hölleforren), wo 2,5 Mio m³ Flusskies gebaggert und in Dämmen angeschüttet werden müssen. Dabei wird ein 600 t schwerer, sich selbst fortbewegender amerikanischer Bagger, Typ Marion, mit einem Schleppkübel von rd. 6,5 m³ Inhalt an einem Ausleger von 60 m Länge verwendet und das Bagger-

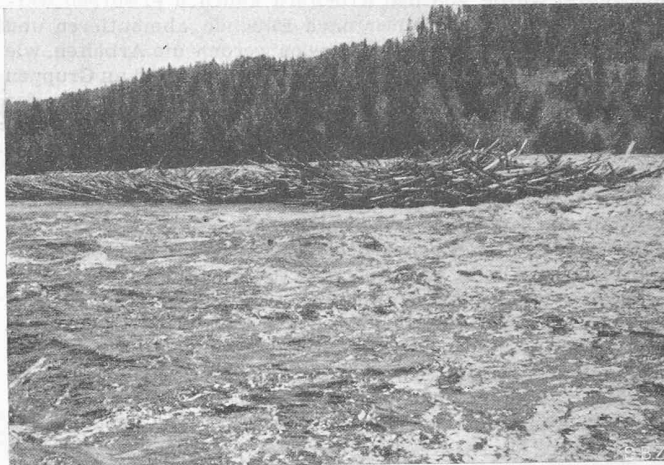


Bild 10. Nämforsen, unterhalb des Wehres. Die Baumstämmen drängen sich nach ihrer Durchfahrt durch die Flossgasse zusammen

gut gleislos mit Pneufahrzeugen abtransportiert oder vom Bagger direkt in die Dämme geschüttet. Der Anblick eines solchen Ungetüms während seiner Arbeit erweckte wohl bei den meisten Beschauern neben der Anerkennung der darin enthaltenen technischen Leistung ein beträchtliches Gefühl des Unbehagens ob der menschlichen Masslosigkeit. Es stellte sich auch die Frage, ob bei der gegebenen Aushubkubatur nicht kleinere Einheiten vorteilhafter eingesetzt würden, verlangen doch solch abnormale Geräte entsprechend grosse Transportgefässe, teure Ersatzteillager und hohe Amortisationen, da ihre Wiederverwendung weniger gesichert ist.

Selbstredend wird bei den Baumethoden auch den langen und kalten Wintern Rechnung getragen. In Harspranget, nördlich des Polarkreises, herrscht während sechs Winterwochen nur eine halbe Stunde lang Tageslicht, das Thermometer sinkt bis — 30° und darunter. Trotzdem wird die Arbeit nur kurze Zeit gänzlich eingestellt. Diese Verhältnisse werden mit ein Grund dafür sein, dass Steindämme den Betondämmen vorgezogen und Kavernenzentralen erstellt werden. Bei einem oberirdischen Maschinenhaus wurden zuerst die Aussenmauern, die Kranbahn und das Dach erstellt, in deren Schutz dann sämtliche Arbeiten für die Spirale und das Saugrohr durchgeführt werden konnten.

Allgemein aufgefallen ist die Freude, Bau und Maschinen mit lebhaften Farben dem Beschauer darzubieten. Mit viel Geschmack wird dabei die Tradition der Bemalung der schwedischen Siedlungen auf das moderne Gebiet des Krafthausbaues übertragen.

Im Stollenbau wurden den Besuchern zwei ganz grosse Ausführungen gezeigt mit Abbaquerschnitten von bis 190 m². Gebohrt wird dabei vom Jumbo aus mit den leichten (rd. 23 kg) schwedischen Bohrhämmern unter Verwendung von Bohrstangen mit Coromantkronen. Im Schichtenbetrieb werden täglich Abschnitte von 5 bis 6 m erreicht. Gesprengt wird mit elektrischer Zündung, geladen mit grossen bis 2 1/2 m³ fassenden Löffelbaggern. Bei der einen Ausführung wird mit Rücksicht auf die bei Baubeginn herrschenden Schwierigkeiten in der Beschaffung gleisloser Fahrzeuge in 30 t fassende Normalspurwagen geladen, die durch einen mehr als 100 m hohen Schacht per Lift das Stollenausbruchmaterial in die Deponie führen. Bei der anderen, überzeugenderen Ausführung laden die Bagger in grosse pneubereifte Fahrzeuge, die durch extra dafür angelegte Zufahrtsrampenstollen das Ausbruchmaterial dem Ablagerungsort zuführen. Der totale Ausbruch für Stollen und Kaverne beträgt in diesem Beispiel rd. 1 Mio m³. Die durch diese Methoden erzielten Leistungen und insbesondere die damit erreichten niederen Kosten sind imponierend und tragen dazu bei, die Gesteungskosten der Werke niedrig zu gestalten.

Zum Stolz der schwedischen Ingenieure sind sämtliche Angestellte und Arbeiter fast durchwegs Schweden; die Ausnahme bilden einige wenige Norweger. Die sozialen Verhältnisse sind entsprechend der hohen sozialen Auffassung der Schweden sehr gut. Unterkunft und Verpflegung bieten ein Beispiel dafür. Wie fast allgemein in Mittel- und Nordschweden sind die Häuser aus Holz. Die für die Arbeiter bestimmten Wohnhäuser sind teils zerlegbar und können, wie