

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 100 (1982)  
**Heft:** 45

**Artikel:** Projekte von Wasserkraftwerken in Entwicklungsländern  
**Autor:** Baumgartner, Jost  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-74890>

### **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:** 27.04.2026

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

# Projekte von Wasserkraftwerken in Entwicklungsländern

Von Jost Baumgartner, Schwerzenbach

Die Projektierung sogenannt schlüsselfertiger Wasserkraftwerke in Entwicklungsländern stellt etwas andere Anforderungen als die Planung gleicher Anlagen in Industrieländern, denn der Begriff «schlüsselfertig» muss für Projekte in Entwicklungsländern wörtlich aufgefasst werden. Die Gründe dafür sind die grösseren Schwierigkeiten finanzieller, technischer und anderer Natur, nach der Festlegung und dem Abschluss eines Projektes Änderungen, Ergänzungen und Anschaffungen zur Betriebsanpassung usw. durchführen zu können. Bei der Projektierung für Entwicklungsländer muss man also im voraus und daher rechtzeitig auch alle vermeidbaren Bedienungs- und Unterhaltsschwierigkeiten erkennen, um dem Ideal eines schlüsselfertigen Projektes näherzukommen. Im folgenden wird mittels einiger weniger unter einer sehr grossen Anzahl ausgewählter Beispiele auf einige solche vermeidbare Schwierigkeiten aufmerksam gemacht. Die Beispiele sind einzeln und isoliert betrachtet vielleicht nicht sehr bedeutungsvoll, anders jedoch kann die Akkumulierung vieler solcher Schwierigkeiten auf die Dauer auch finanziell stark ins Gewicht fallen, denn die Lebensdauer der Anlagen beträgt im Normalfall mehrere Jahrzehnte. Die angeführten Beispiele beziehen sich nicht auf ein einzelnes Projekt; die entsprechenden Fälle kommen in verschiedensten Anlagen vor.

## Dächer

Mit konventionellen, geneigten Dächern hat man auf längere Sicht in Ländern mit Regen weniger Schwierigkeiten als mit Flachdächern. Ohne zwingende Gründe sollte man also besonders in regenreichen Entwicklungsländern *keine Flachdächer* vorsehen. Ein zwingender technischer Grund ist z. B. die Notwendigkeit, aus Platzgründen eine Schaltanlage auf dem Dach eines Kraftwerkes bauen zu müssen, was in diesem Fall natürlich ein Flachdach bedingt. Keine zwingenden Gründe sind jedoch rein architektonische Wünsche. Die Bilder 1 bis 3 zeigen Aufnahmen

von Dächern, die von Beginn an undicht waren.

Theoretisch ist es zwar möglich, dichte Flachdächer zu konstruieren und zu bauen. In Entwicklungsländern müssen aber oft lokale Projektierungs- und Baufirmen mit der Projektierung und dem Bau von Gebäuden beauftragt werden, die nicht immer über die notwendigen Erfahrungen und über das zweckmässigste, beste Material verfügen. Bei der Bauausführung muss zudem auch meistens mit un ausgebildeten Hilfskräften gearbeitet werden. Die Wahrscheinlichkeit des Undichtwerdens von Flachdachkonstruktionen ist deshalb in Entwicklungsländern relativ gross. Im Laufe der jahrzehntelangen Lebens-

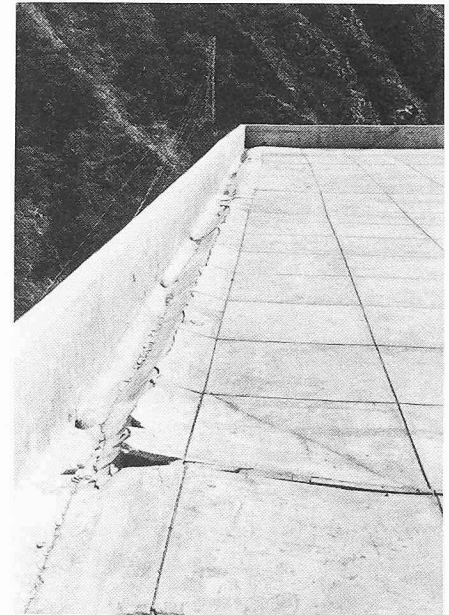


Bild 3. Schlechte, undichte Flachdachkonstruktion eines Kraftwerkgebäudes

dauer der Gebäude werden bei bewährten Dachkonstruktionen sicher weniger Probleme auftreten als bei noch so gut konstruierten Flachdächern.

## Fensterkonstruktionen

Undichte Türen und Fenster, durch die Regen und Staub eindringen, sind auf die Dauer fast ebenso ärgerlich wie undichte Dächer. Bei Projekten in Entwicklungsländern werden Fenster und Türen oft als Nebensache betrachtet und einheimischen Firmen oder Lieferanten überlassen, oder man lässt die Baufirma diese so nebenbei in ihrer

Bild 1. Gebäude einer Wasserfassung mit flachdachähnlicher Dachkonstruktion

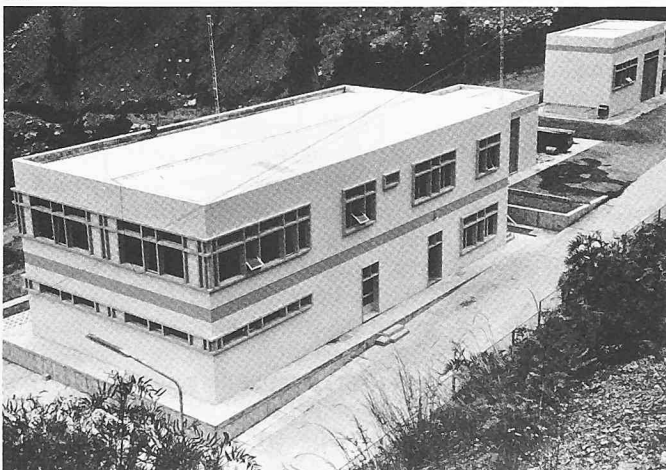


Bild 2. Decke im Innern des grössten Gebäudes aus Bild 1



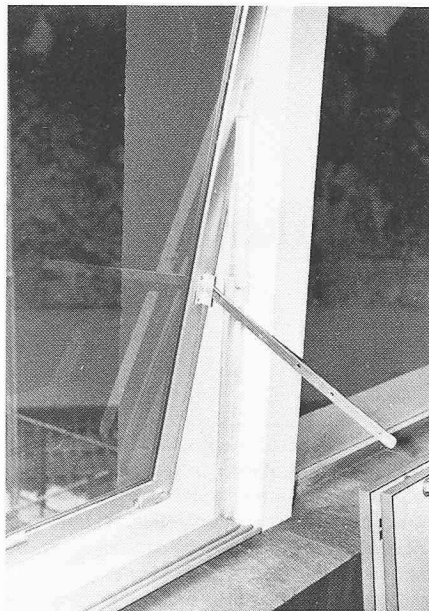
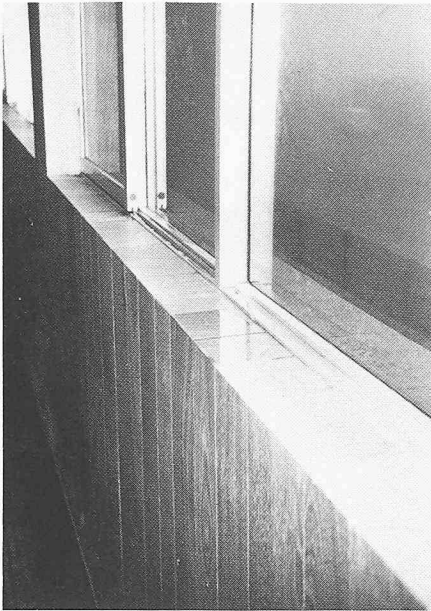


Bild 4 und Bild 5. Undichte, von der lokalen Industrie hergestellte Fenster aus Aluminiumprofilen

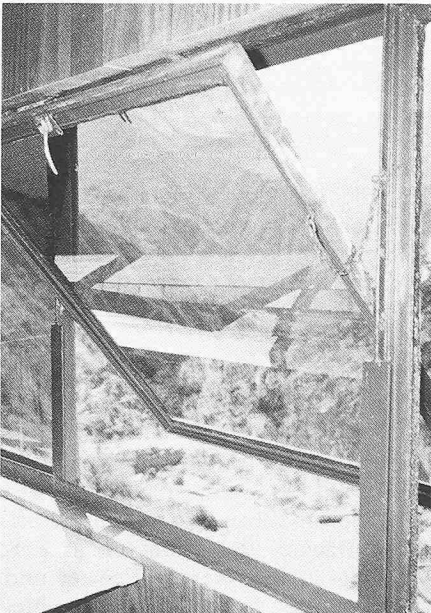


Bild 6 und Bild 7. Beide nicht vorbildlichen Fensterkonstruktionen wurden von einer Bauunternehmung aus vorhandenen Eisenprofilen angefertigt

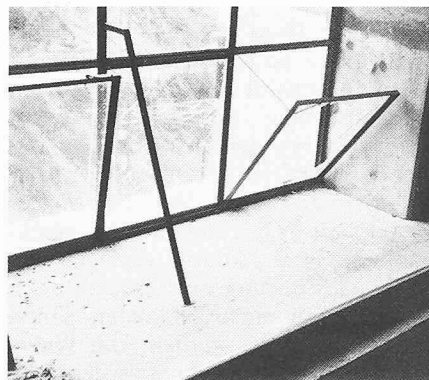
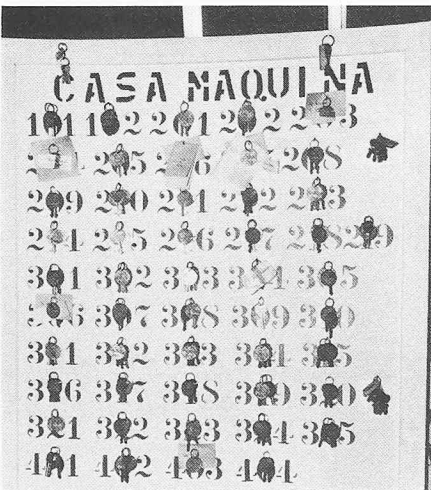


Bild 8. Ein einzelnes der zahlreichen Schlüsselbretter eines Kraftwerks ohne Schlüsselsystem



viele Türen zu Räumen, Zugängen, Schaltschränken usw. Es erleichtert sehr Betrieb und Unterhalt, wenn für alle Türen ein auf die Betriebsorganisation abgestimmtes Schliesssystem besteht. Bei einem solchen Schliesssystem hat jede mit Unterhalts- und Kontrollarbeiten beauftragte Person mit einem einzigen, vielleicht auch zwei ihr fest zugeteilten Hauptschlüsseln («Passepartout») Zugang zu allen in ihrem Kompetenzbereich liegenden Arbeitsstellen. Die Grundbedingung für die Einführung eines solchen Schliesssystems ist natürlich die Festlegung auf ein einheitliches, bewährtes Fabrikat und einen einheitlichen Typ für die Schlösser aller in Frage kommenden Türen, was bereits in der Projektierungsphase zu geschehen hat.

Leider wird die Einführung eines Schliesssystems oft als belanglose Nebensache betrachtet oder einfach vergessen; es resultiert dann eine Unzahl verschiedenartiger Schlüssel, die alle zentral verwaltet werden müssen. Geht es gut, dann werden wenigstens alle Schlüssel gekennzeichnet und auf übersichtlichen Schlüsselbrettern angeordnet. Jedermann muss sich zum voraus mit entsprechenden Schlüsseln eindecken, bevor er sich auf den Weg zu Kontrollen und Arbeiten macht. Noch lästiger wird es, wenn bestimmte Schlüssel vergessen worden sind, wenn man bereits bei weiter entfernten Anlageteilen ist, oder wenn jemand anders einen benötigten Schlüssel bereits mitgenommen oder nicht zurückgegeben hat. In Störungsfällen können solche Schlüsselprobleme besonders lästig werden (Bild 8).

## Druckleitungen

Druckleitungen sind Anlageteile, die regelmässige Kontrollen und Unterhalt erfordern. Bei der Projektierung und bei der Bauausführung muss man darauf achten, dass diese Kontrollen und Unterhaltsarbeiten nicht unnötig erschwert oder gar verunmöglicht werden und dass die dazu notwendigen Hilfsmittel von Beginn an vorhanden sind.

Für die Kontrollen im Druckleitungssystem und für eventuelle Ausbesserungsarbeiten am Innenanstrich müsste ein Minimum an Hilfsmitteln zur Verfügung stehen, wie Seile, Strickleitern und anderes Sicherheitsmaterial für das Personal. Für Druckleitungen grösseren Durchmessers muss auch ein demontierbarer Wagen vorhanden sein, der auseinandergenommen durch die Mannlöcher ins Druckleitungssystem gebracht werden kann, und eine entsprechende Seilwinde mit Seil, Umlenk-

Werkstätte aus vorhandenem Material herstellen.

Die Bilder 4 bis 7 zeigen in einem Entwicklungsland konstruierte undichte Fenster. Sind in den Entwicklungsländern auf dem Markt keine vernünftigen Fenstertypen und Türen vorhanden, dann müssen bewährte Konstruktionen importiert werden, womit dann wenigstens auch Musterbeispiele und Vorbilder zweckmässiger Konstruktionen vorhanden sind.

## Schliesssysteme

In jedem grösseren Wasserkraftwerk mit seinen weitläufigen Anlagen gibt es



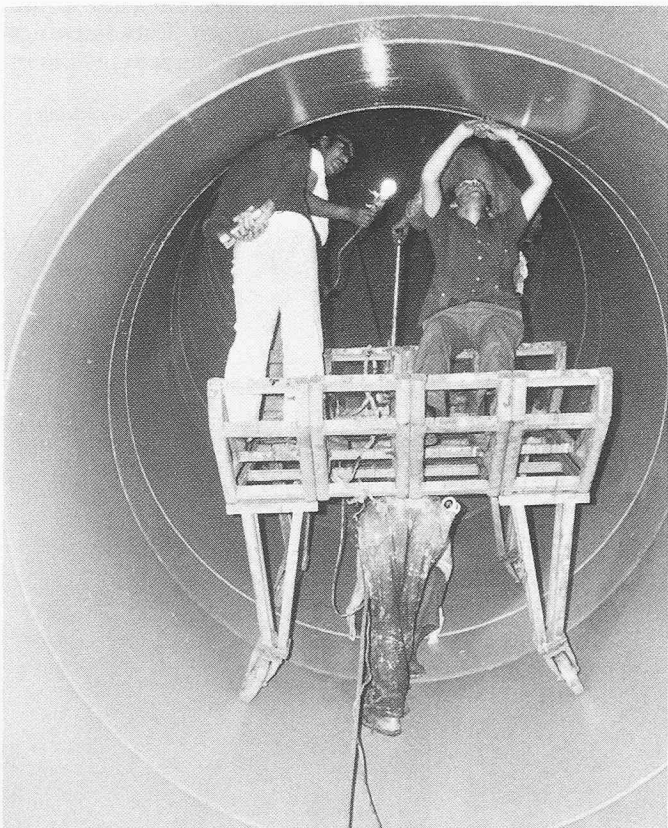
Bild 9. Auf diesem stark geneigten Druckleitungsstrasse fehlt ein horizontaler Zugang zum Mannloch und zur Expansion der Druckleitung, was durch ein Minimum an Koordination in der Projektierung und Bauausführung hätte erreicht werden können



Bild 10. Das Ein- und Aussteigen durch dieses ohnehin zu enge Mannloch ist hier besonders schwierig. Ein gefahrloses Arbeiten an der Druckleitungsexpansion (z. B. Nachziehen der Schrauben über den ganzen Umfang oder Auswechseln der Dichtungsschnüre) ist unmöglich

Bild 11. Dieser demontierbare Wagen war in diesem Projekt nicht vorgesehen worden und er hatte nachträglich konstruiert werden müssen, was lange nicht in allen Ländern möglich gewesen wäre. Es wird hier eine 220 Volt-Handlampe als Beleuchtung verwendet, was im Innern dieser Druckleitung unzulässig ist (vgl. Abschnitt «Beleuchtungsprobleme»)

Bild 12. Improvisierte, nicht ungefährliche Fortbewegung des Wagens aus Bild 11, da eine Winde mit dem notwendigen Zubehör fehlt



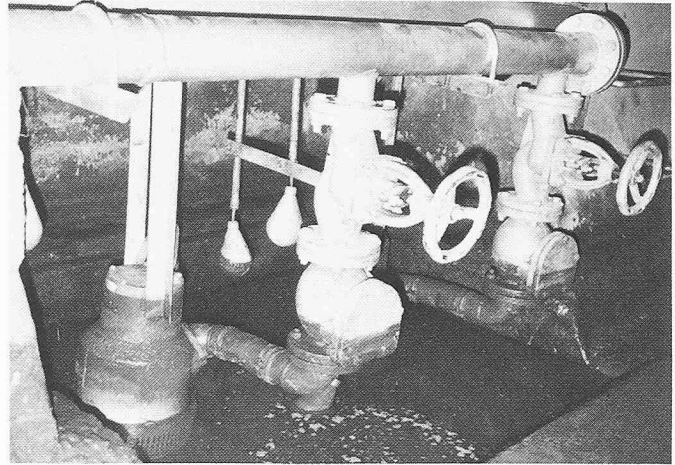
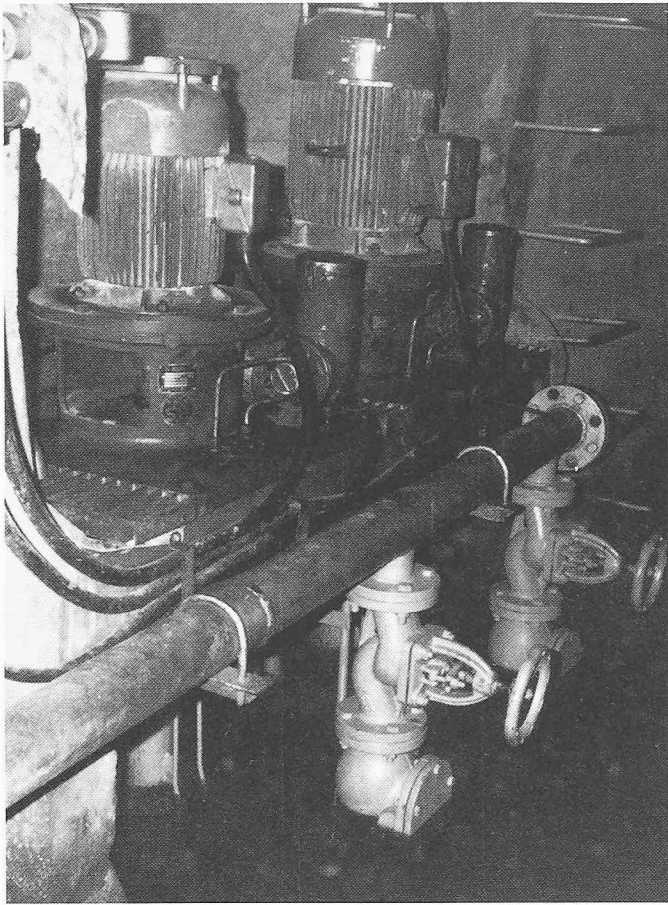


Bild 14. Beide Pumpen aus Bild 13 wurden nachträglich durch diese Tauchpumpen ersetzt

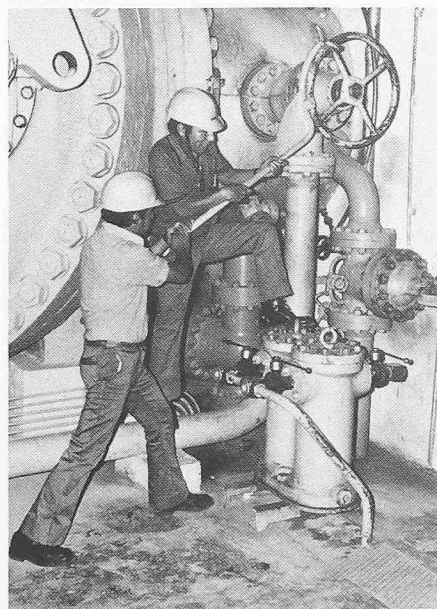
Bild 13(links). Diese beiden Entwässerungspumpen im untersten Teil einer Staumauer waren nicht mit überflutbaren Motoren ausgerüstet worden. Bei Unterbrüchen in der Energieversorgung waren diese Pumpenmotoren unter Wasser geraten und ausgefallen, wobei Notsituationen entstanden

rollen und allem nötigen Zubehör, um mit diesem Wagen das Innere von stärker geneigten Druckleitungen gefahrlos befahren zu können (Bilder 9–12).

### Entwässerungspumpen

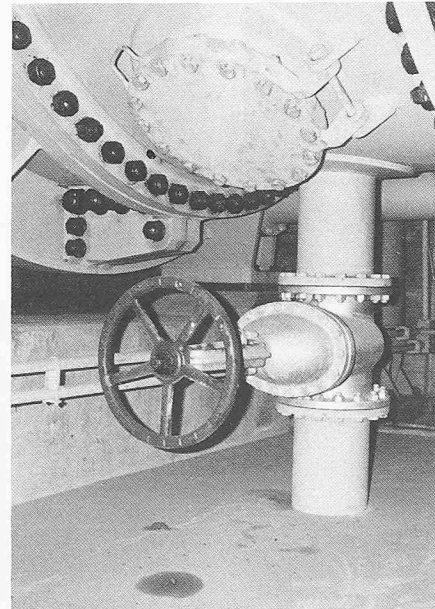
Entwässerungspumpen im untersten Teil einer Staumauer oder eines Was-

Bild 15. Unzulässiger Betätigungshebel eines Schiebers, der angefertigt worden war, weil ein Drehen des Handrades mit normalen Kräften unmöglich war. Vielleicht hatte man hier ein Übersetzungsgetriebe für diesen Schieberantrieb einsparen wollen



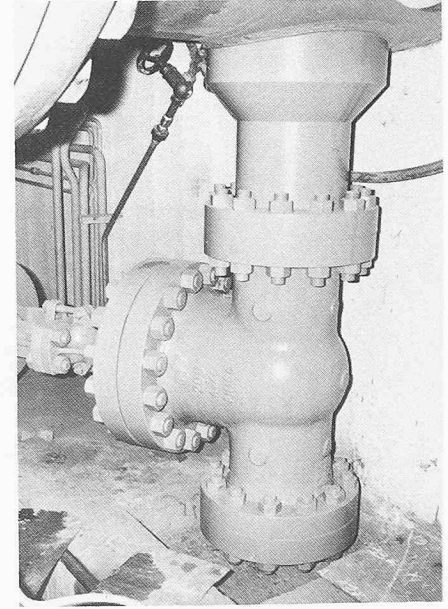
serkraftwerkes sollten stets als *Tauchpumpen* ausgeführt sein, d. h., sie müssen mit überflutbaren Motoren ausgerüstet sein. Der Grund ist folgender: Man muss immer mit der Möglichkeit eines längeren Unterbruches in der Energieversorgung oder mit einem übermässig grossen Wasseranfall rechnen. Das Wasserniveau kann dabei auch höher angeordnete Pumpenmotoren errei-

Bild 16. Entleerungsschieber zwischen Drosselklappen



chen, und die Entwässerung funktioniert dann überhaupt nicht mehr, wenn diese Motoren nicht überflutbar konstruiert sind. Es können sehr gefährliche Überflutungen entstehen, falls nicht rechtzeitig transportable Tauchpumpen herbeigeschafft und eingesetzt werden können. Man muss also konsequent alle wichtigen Entwässerungspumpen als Tauchpumpen ausführen.

Bild 17. Entleerungsschieber einer Druckleitung



Weiterhin müssen ganz allgemein für Unterhaltsarbeiten und Notfälle von Beginn an stets transportable Tauchpumpen mit allem Zubehör (Schläuche, Kupplungen, Kabel usw.) zur Verfügung stehen (Bilder 13-14).

## Schieber

Schieber sollte man mit normalen Kräften und Mitteln öffnen und schliessen können, sie sollten für Revisionen und Reparaturen auch aus- und eingebaut werden können (Bilder 15-18).

Die Schieber auf den Bildern 16 und 17 kann man für Revisionen vielleicht noch ausbauen, aber ihr Wiedereinbau ohne Beschädigung der Flanschdichtungen wird kaum mehr möglich sein. Die untere Anschlussleitung war nach der Schiebermontage leider vollständig einbetoniert worden. Es fehlt ein Ausbaufansch oder ein genügend langes, nicht starr fixiertes Stück der Anschlussleitung für die Aus- und Einbaumöglichkeit.

## Schalttafeln, Beschriftungen

Die Instrumentierung von Schalttafeln und Schaltpulten muss übersichtlich und klar sein. Man muss mit dem ersten Blick erfassen können, auf welchen Anlagenteil sich ein Instrument bezieht. Diese Forderung lässt sich am besten durch die Anordnung der Instrumente oder, wenn dies nicht möglich ist, durch Anschriften erfüllen.

Es gibt leider Anlagen, wo die Instrumente eher nach irgendwelchen geometrischen, vielleicht auch vermeintlich ästhetischen Richtlinien angeordnet zu sein scheinen und wo nicht einmal Anschriften vorhanden sind. Auf Bild 19 sind unter den Instrumenten eines Dreiwicklungstransformators solche, bei denen man nicht sofort weiss, ob sie Werte auf der 220-kV-, 60-kV- oder 10-kV-Seite des Transformators anzeigen. Man muss diese Zugehörigkeit zuerst durch eine Überschlagsrechnung herausfinden!

In manchen Anlagen sind die Instrumente auch völlig grundlos zu hoch angeordnet, so dass man sie nicht mehr ablesen kann, ohne auf einen Schemel zu steigen (Bild 20). Ähnliches gilt von Anschriften, die nicht so hoch angeordnet oder so klein geschrieben sein dürfen, dass man sie vom Boden aus nicht mehr lesen kann (Bild 21).

Es gibt kaum ein Projekt, bei dem vor und nach der Inbetriebsetzung nicht noch Anschriften zu vervollständigen

oder zu ersetzen sind (Bild 22). Man muss sich dann fern von der Herstellerfirma oft mit angeklebten provisorischen Anschriften zufriedengeben. Bei grösseren und umfangreicheren Projekten wäre es sicher kein Luxus, wenn im Projekt auch die Lieferung einer *Graviermaschine* eingeschlossen würde mit genügend Schildern für nachträgliche Beschriftungen. Vollständige, klare und korrekte Anschriften helfen Fehlschaltungen, Störungen und Unfälle verhüten; oft wird dies nicht verstanden, und ein entsprechendes Insistieren wird von betriebsfremden Leuten nicht selten als übertriebene Pedanterie ausgelegt.

Gefährlich sind auch Unklarheiten in der Ausführung von Blindschemata. In Bild 23 hatte das Kraftwerkpersonal nachträglich zusätzlich Anschriften «a» oder «b» bei den Steuerquittierschaltern von Sammelschienenentren-

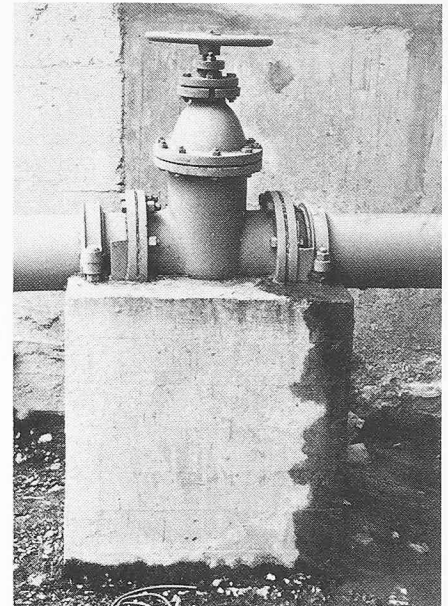


Bild 18. Ein Kommentar zu diesem Schieber einer Entwässerung ist wohl überflüssig

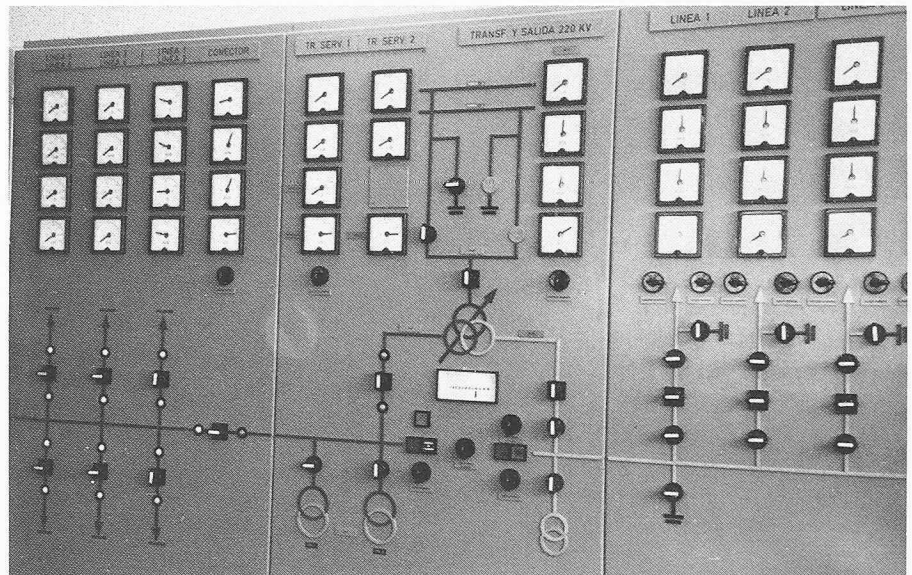
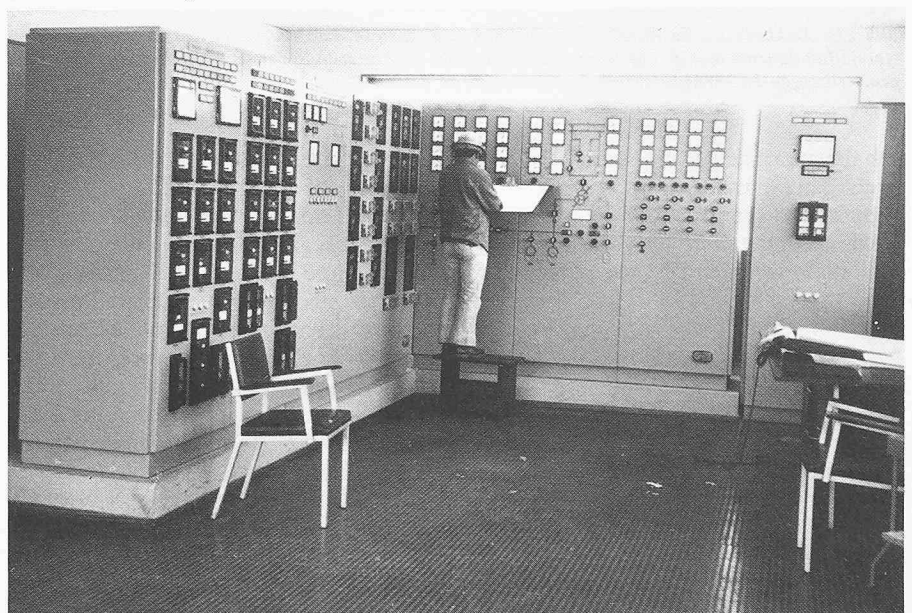


Bild 19. Unklar angeschriebene Instrumententafel

Bild 20. Zu hoch angeordnete Instrumente



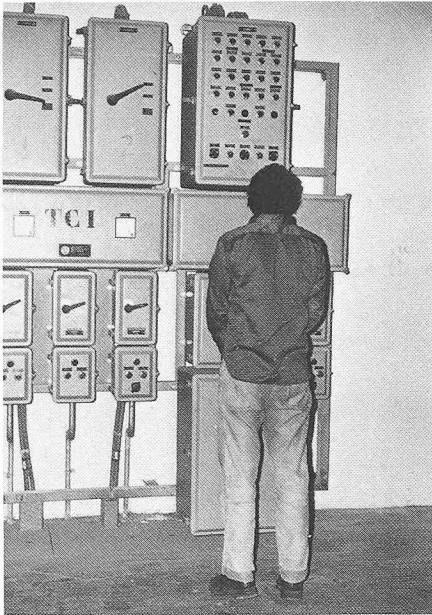


Bild 21. Die obersten Anschriften sind in diesem Beispiel nicht mehr lesbar. Links oben fehlte bei den Schaltkasten eine Anschrift, ob es sich um Pumpe «1» oder «2» handelt. Diese Anschrift wurde dann mit Bleistift (!) ausgeführt

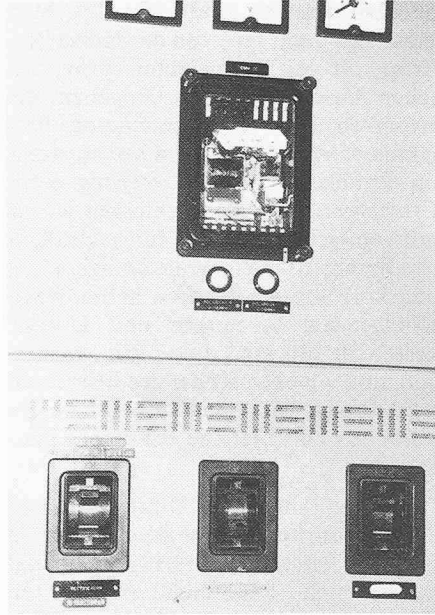


Bild 22. Fehlerhafte und unvollständige Anschriften dieser Gleichstromverteilung hatten zu einer Fehlschaltung und einem daraus folgenden Totalausfall dieses grösseren Kraftwerks geführt

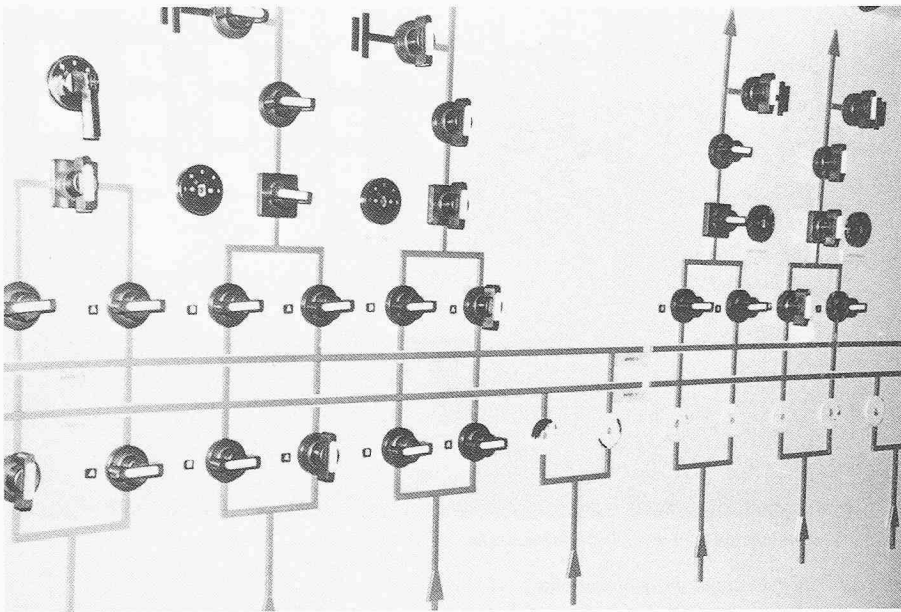


Bild 23. Unklarheiten im Blindschema. Die Signalglühlampen dieser Steuerquittierschalter brennen im Normalfall dauernd und sie blinken im Diskrepanzfall. Bereits nach dem ersten Betriebsjahr fehlten Lampen, weil wegen des Verschleisses alle Reservelampen aufgebraucht waren

schaltern anbringen müssen, weil sonst nicht ganz klar ist, zu welcher Sammelschiene die Trennschalter gehören. Die Verbindungsstellen im Blindschema sind nicht genügend deutlich markiert.

## Beleuchtungsprobleme

Mit den Anforderungen an die normale Beleuchtung und an die Notbeleuchtung wird oft etwas übertrieben, während es dafür nicht selten an mobilen Beleuchtungseinrichtungen fehlt, z.B. an Scheinwerfern mit Stativ, Handlam-

pen, Kabeln, aufladbaren Batterielampen usw.

Sehr oft fehlt es leider auch an mobilen Beleuchtungseinrichtungen für Kleinspannung, d.h. für eine Spannung von weniger als 50 Volt. Diese Beleuchtungseinrichtungen sind unbedingt notwendig für alle Arbeiten im Innern von Druckleitungen und Turbinen, wenn dort Batterielampen nicht genügen. Fehlen diese mobilen Einrichtungen mit Kleinspannung, zu denen selbstverständlich entsprechende Transformatoren gehören, so wird notgedrungen mit Beleuchtungseinrichtungen normaler Netzspannung gearbeitet. Isolationsfehler führen dann im Innern jener me-

tallischen, feuchten Anlageteile leicht zu tödlichen Unfällen (Bilder 24 und 25).

In Entwicklungsländern wird aus Mangel an Material und Ausbildung oft mit allzu improvisierten Beleuchtungseinrichtungen vorliebgenommen, und die daraus entstehende Unfallgefahr ist darum dort besonders gross. In diesem Zusammenhang sei an die einschlägigen Vorschriften des «Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins» SEV 23210 und 41263 verwiesen, die auf die Kleinspannung eingehen.

Manchmal ist die Beleuchtung auch gar nicht den tatsächlichen Bedürfnissen angepasst. Es gibt Beleuchtungen, die ziemlich unnötig sind, und Stellen, wo eine dringend notwendige Beleuchtung fehlt, was die Bilder 26 und 27 zeigen.

## Bleibatterien

Die Betriebssicherheit eines Kraftwerks oder einer Unterstation hängt stark vom guten Zustand der Batterien ab, die deren Steuerung und Überwachung speisen. Bei den meist üblichen Bleibatterien muss der Säurestand regelmässig überprüft werden, denn durch Verdunstung und Gasbildung entweicht laufend ein Teil des Wassers der Schwefelsäure, der durch Nachfüllen mit chemisch reinem Wasser ersetzt werden muss. Die Lebensdauer und der Zustand dieser Batterien werden von der Qualität, d.h. der Reinheit des Nachfüllwassers stark beeinflusst.

Die Beschaffung *chemisch reinen Wassers* ist in Entwicklungsländern meist problematisch; man hat dort ohne laufende Analysen gar keine Gewähr für dessen Qualität. In Projekten schlüsselfertiger Anlagen in Entwicklungsländern muss also unbedingt auch das Notwendige für die laufende Beschaffung dieses Wassers eingeschlossen werden. Es stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Regenwasser. Die Verwendung von Regenwasser ist nicht sehr zu empfehlen, denn dieses kann durch organische Substanzen, eiserne Zuleitungsrohre, Holz usw. verunreinigt sein.
- Aufbereitung des Wassers durch sog. Entionisierungsapparate. Diese Lösung ist auch nicht sehr empfehlenswert, denn hier ist man von der Beschaffung und richtigen Verwendung der notwendigen Chemikalien abhängig, und es können Betriebspannen vorkommen, die wie bei der Verwendung von Regenwasser ohne laufende und aufwendige Analysen nicht rechtzeitig erkannt werden können.

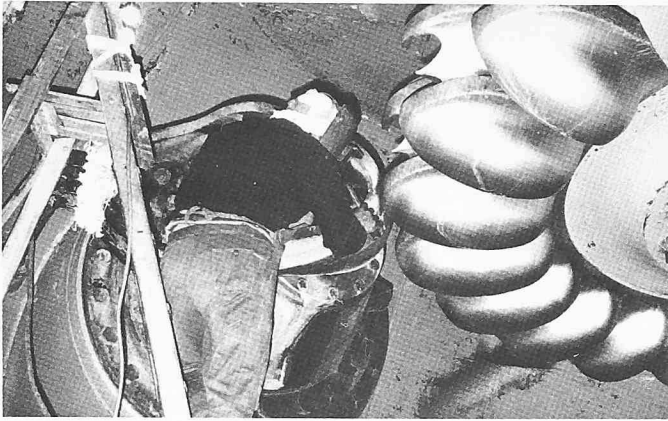


Bild 24. Arbeiten im Innern einer Pelton-turbine mit unzulässigen, improvisierten Beleuchtungseinrichtungen von 220 Volt; Einrichtungen für Kleinspannung fehlen hier



Bild 25. Arbeiten im Innern einer Francisturbine mit unzulässigen mobilen Beleuchtungseinrichtungen von 220 Volt; Einrichtungen mit Kleinspannung fehlen hier

- Destillation von Wasser durch einen in der pharmazeutischen Industrie üblichen, bewährten Destillierapparat. Diese Lösung ist am ehesten zu empfehlen, weil sie auch ohne Wasseranalysen die notwendige Qualität liefert.

In Projekten von Anlagen mit Bleibatterien muss also die Lieferung eines geeigneten, bewährten *Destillierapparates* eingeschlossen werden.

### Normierung von Klein- und Verbrauchsmaterial

Man muss wenn möglich zum voraus abklären, ob im entsprechenden Entwicklungsland geeignetes Verbrauchsmaterial guter Qualität bereits eingeführt und vorhanden ist. Wenn ja, dann muss man dieses Material einheitlich für das ganze Projekt vorschreiben, weil man dann später weniger Beschaffungsschwierigkeiten hat. Dies betrifft Mineralöle, Schmierfette, Sicherungen (falls angewendet), Signallampen, Lampen usw.

Die Schmiermittel müssen zum voraus auf wenige Typen beschränkt und normalisiert werden, sonst verlangt jeder einzelne Lieferant für seinen Anlage- teil ein anderes Schmiermittel, was stets zu unhaltbaren und unüberblickbaren Verhältnissen führt.

Bei *Sicherungen* kann es vorkommen, dass ohne Vorschriften und ohne Normierung in derselben Anlage Sicherungen verschiedenster Konstruktion und aus verschiedensten Ländern eingebaut werden, wie dies zum Beispiel in Bild 28 zu sehen ist, wo in derselben Anlage verschiedene Sicherungstypen aus vier verschiedenen Ländern existieren.

Die Materialbeschaffung kann in Entwicklungsländern sehr schwierig sein, besonders wenn für Importe zuerst Bedarfsnachweise erbracht werden müs-

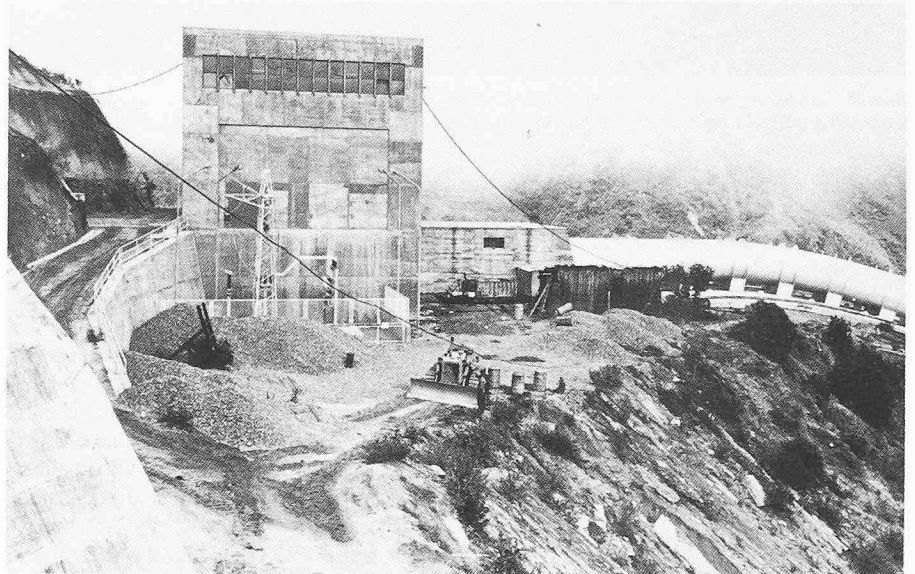


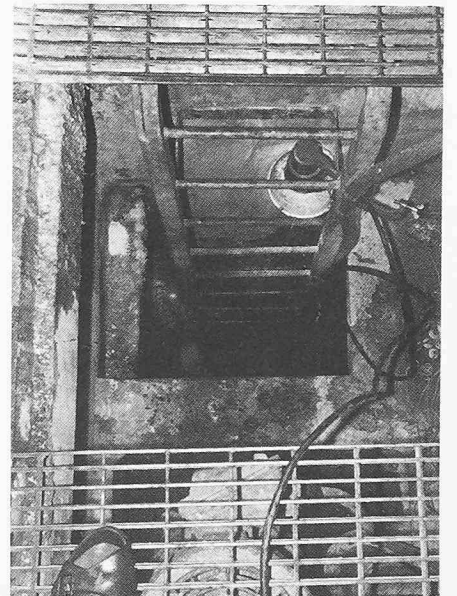
Bild 26. Bei dieser kleinen, unbedienten Transformatorstation einer Apparatekammer wurde unnötigerweise eine Einrichtung mit vier hohen Beleuchtungsmasten installiert. Man hätte hier eine weniger kostspielige Lösung finden oder überhaupt auf die Beleuchtung verzichten können

sen, Devisen knapp sind usw. Diese Schwierigkeiten vervielfachen sich, wenn das Material aus verschiedenen Ländern beschafft werden muss.

Ewähnenswert ist besonders die leider oft missachtete Vorschrift des «Verbandes Deutscher Elektrotechniker» VDE 0113, Abschnitt 5.5.2, die das Sicherungsproblem ganz klar sieht und besagt: «Beim Einsatz von Sicherungen sollen solche gewählt werden, welche in dem Lande erhältlich sind, in dem die Maschine betrieben werden soll».

Ähnliche Überlegungen gelten für *Signallampen*, wo ebenfalls eine Normierung bezüglich Typ und Spannung zu erstreben ist. Bei Signallampen muss man noch vorschreiben, dass im Normalfall keine Signallampen brennen sollen, sondern nur im Störfall oder bei Steuerquittierschaltern bloss im Diskrepanzfall (Diskrepanz bedeutet hier die Nichtübereinstimmung der Position des Leistungs- oder Trenn-

Bild 27. Bei diesem täglich mehrmals zu kontrollierenden Entwässerungsschacht fehlte eine Beleuchtung. Nachträglich musste eine Beleuchtung improvisiert werden



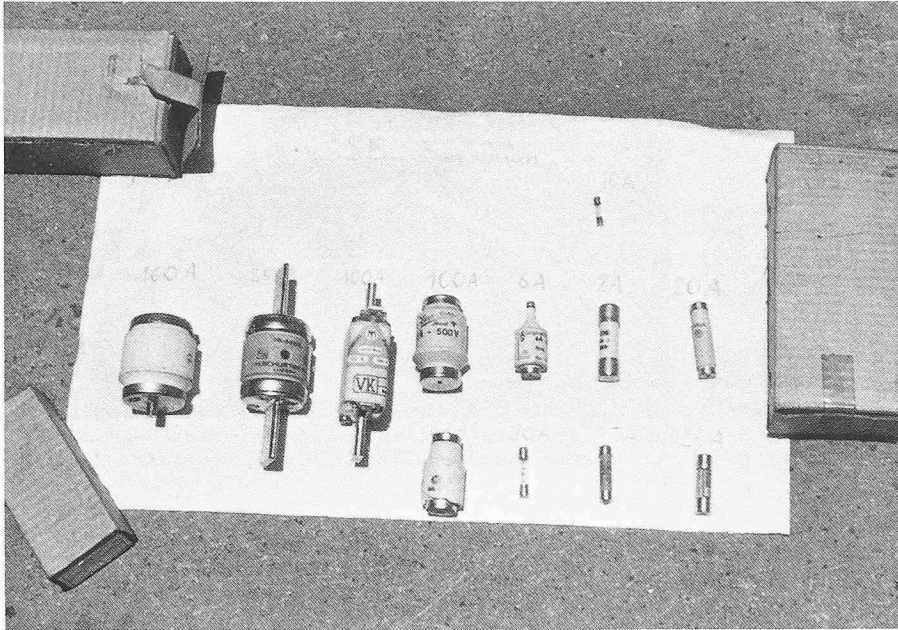


Bild 28. Sicherungen verschiedenster Herkunft in ein und derselben Anlage.  
Oben: 10 A Mittlere Reihe: 160 A, 250 A, 100 A, 100 A, 6 A, 2 A, 20 A Untere Reihe: 63 A, 20 A, 25 A, 25 A

schalters «ein» oder «aus» mit der Position des zugehörigen Steuerquittierschalters). Der Grund ist die beschränkte Lebensdauer von Glühlampen, deren Verschleiss bei im Normalfall brennenden Lampen hoch ist, was im Falle von Beschaffungsschwierigkeiten sehr ungünstig ist (Bild 28).

### Instrumente, Werkzeuge und anderes

Das projektierte Instrumentarium für den Unterhalt und den Betrieb von Kraftwerken entspricht nicht immer den tatsächlichen Bedürfnissen. Oft

fehlen die notwendigsten und einfachsten Instrumente und Apparate für häufig vorkommende Arbeiten und Kontrollen, während statt dessen kaum je benötigte Präzisionsinstrumente und Einrichtungen für relativ ausgefallene Messungen vorhanden sind. Bei der Aufstellung einer Liste notwendiger Instrumente darf man bei begrenzten Mitteln auch nicht zu sehr auf Wünsche der Leute in den Entwicklungsländern eingehen, wenn diese aus Mangel an Erfahrung zu stark das Schwergewicht auf die Theorie legen und manchmal am liebsten ein Labor einrichten möchten. Die Unterhaltsarbeiten und die Kontrollen im elektrischen Teil von Kraftwerken bestehen zum grossen Teil

aus dem Lokalisieren und dem Beheben von Störungen und von Fehlern und aus den Kontrollen während und nach den Erweiterungs- oder Änderungsarbeiten.

Das Instrumentarium muss diesen primären Bedürfnissen angepasst sein.

Nicht an allen Turbinen treten Verschleiss und andere Schäden auf. Es gibt Kraftwerke, deren Turbinen seit Jahrzehnten in Betrieb stehen, ohne dass davon nennenswerte Spuren zu sehen sind, obschon sie nie revidiert wurden. Andererseits existieren aber auch Kraftwerke, deren Turbinenausrüstungen wegen Verschleisses und anderer Schäden alljährlich mit grossem Aufwand repariert werden müssen. In vielen Fällen kann aufgrund der Wasserbeschaffenheit vorausgesehen werden, ob mit Verschleiss zu rechnen ist oder nicht. Sind Schäden zu erwarten, dann muss natürlich zum voraus alles Notwendige an zusätzlichem Reservematerial und an Mitteln zur Durchführung von Reparaturen geplant werden. Diese Planung soll auch das Material und die Detailkonstruktion der Turbinen umfassen, deren Verschleisssteile auswechselbar sein müssen, was auch nicht unnötig umständlich und zeitraubend sein darf. Es muss auch an den Transport der Verschleisssteile gedacht werden; für die Turbinenräder ist vielleicht auch eine Aufbockvorrichtung notwendig, um überhaupt daran arbeiten zu können, bei Peltonrädern eventuell kombiniert mit dem notwendigen Zubehör, um statisch ausbalancieren zu können. Für die Radreparaturen genügt es dann auch nicht, eine Schweissmaschine und übliche Schleifmaschinen von 100–200 Watt vorzusehen. Es

Bild 29. Aus Bauholzabfällen gefertigte Leiter in einem holzarmen Entwicklungsland. Im schlüsselfertigen Projekt war keine Leiter vorgesehen



Bild 30. Die Person, die diesen CO<sub>2</sub> Brandschutz für geschlossene Räume dieses Kraftwerks anwendet, muss im CO<sub>2</sub> ersticken, weil Sauerstoffatmegeräte fehlen

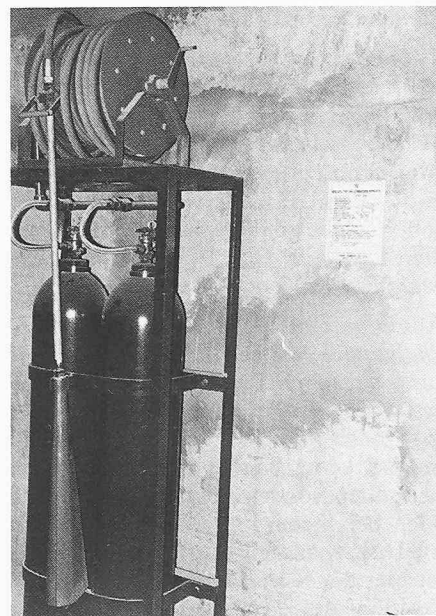


Bild 31. Gefährlich angeordneter Prüfmanometeranschluss



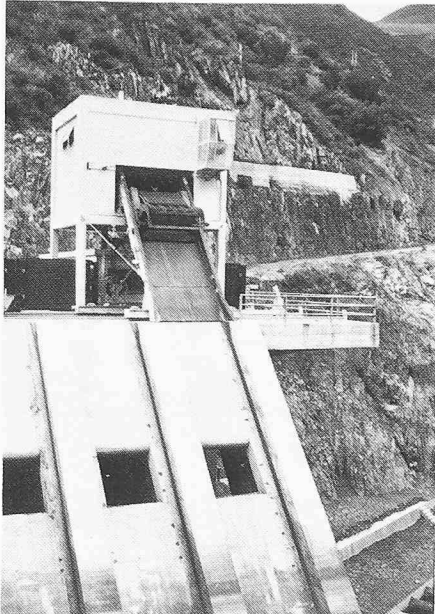


Bild 32. Rechenreinigungsmaschine, von vorne gesehen

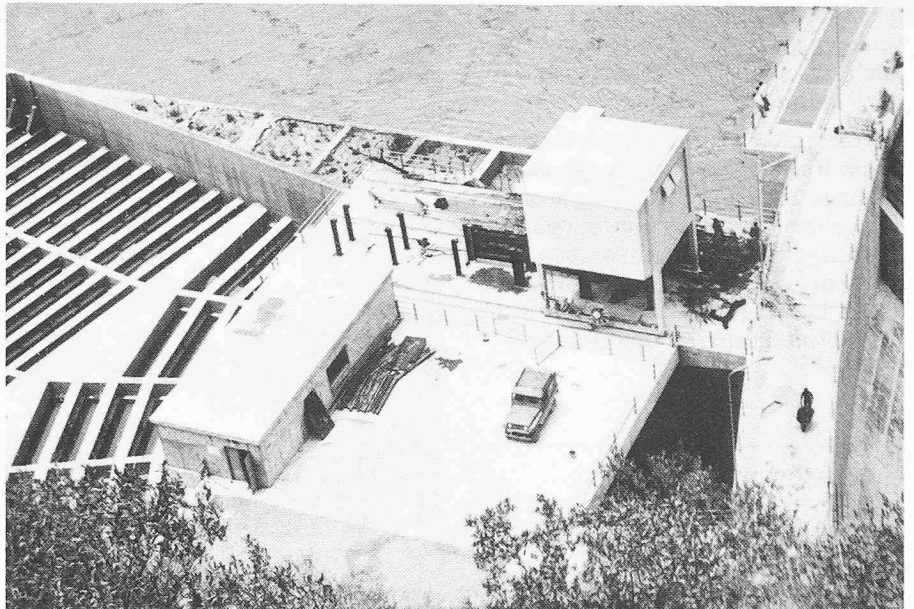


Bild 33. Ansicht von hinten und von oben. Der Abtransport des umfangreichen Rechengutes muss mühselig mit Schubkarren durchgeführt werden

sind dann leistungsfähigere Schleifmaschinen (Druckluftantrieb, Hochfrequenz usw.) zu beschaffen, ebenso Prüfeinrichtungen für Risse, Poren usw. Nach grösseren Radreparaturen muss vielleicht auch ein Glühofen zur Verfügung stehen. Dies ist noch keine vollständige Liste zu beschaffender Einrichtungen, sondern bloss ein Hinweis, dass im Falle grösseren Turbinenverschleisses Einrichtungen notwendig werden, die weit über den üblichen Rahmen der Werkstatteinrichtungen eines Kraftwerkes hinausgehen.

Die Planung von voll ausgerüsteten *Werkstätten* und *Magazinen* für Kraftwerke in Entwicklungsländern ist ausserordentlich wichtig, denn es darf auch nicht an Kleinigkeiten fehlen. Bild 29 zeigt eine der Leitern, die in einem holzarmen Entwicklungsland aus Bauholzabfällen angefertigt werden mussten, weil keine einzige Leiter im Projekt vorgesehen worden war, ob- schon es sich um eine grosse Anlage handelte.

### Sicherheitsmassnahmen

In Entwicklungsländern bestehen oft keine Sicherheitsvorschriften, und aus diesem Grund muss bei schlüsselfertigen Projekten diesem Punkt um so mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Es werden im folgenden einige solche Punkte erwähnt, die in manchen Projekten völlig übergangen werden.

*Instruktionen für die Massnahmen bei Unfällen in elektrischen Anlagen.* Bestehen keine solche Anweisungen, dann müssen entsprechende und passende

Instruktionen eines andern Landes übernommen, in die Landessprache übersetzt und überall zugänglich angeschlagen werden.

*Erdungs- und Kurzschlussvorrichtungen.* Für jede Spannungsebene müssen mindesten zwei bis drei transportable Erdungs- und Kurzschlussvorrichtungen spätestens vor den Inbetriebsetzungsversuchen vorhanden sein.

*Brandschutzanlagen.* Sind Kohlendioxid-Brandschutzanlagen vorhanden, so muss das Personal auch über *Sauerstoffatemgeräte* verfügen, die aber oft vergessen werden (Bild 30).

*Beleuchtungseinrichtungen mit Klein- spannung* für Arbeiten und Kontrollen im Innern von Turbinen, Druckleitungen usw. (vgl. Bemerkungen im Abschnitt «Beleuchtungsprobleme»).

*Anschriften und Bezeichnungen.* In vielen Projekten sind die Anschriften und Bezeichnungen nicht vollständig, was zu Fehlschaltungen und Unfällen führen kann. Die Bezeichnungen müssen auch so vollständig sein, dass eindeutige schriftliche Schaltprogramme aufgestellt werden können (siehe Bemerkungen im Abschnitt «Schalttafeln, Beschriftungen»).

*Rettungsmaterial zur Verhütung von Unfällen durch Ertrinken.* Das Rettungsmaterial muss bei Wasserfassungen, Staumauern, Unterwasserkanälen usw. ständig bereitstehen.

*Unfallverhütung.* Die Anlagen und Apparate müssen auf Unfallgefahr geprüft werden. Als kleines Beispiel ist in Bild 31 ein gefährlich angeordneter Prüfmanometeranschluss gezeigt. Öffnet eine vor dem Manometer stehende Person versehentlich die Luftzufuhr zum Prüf-

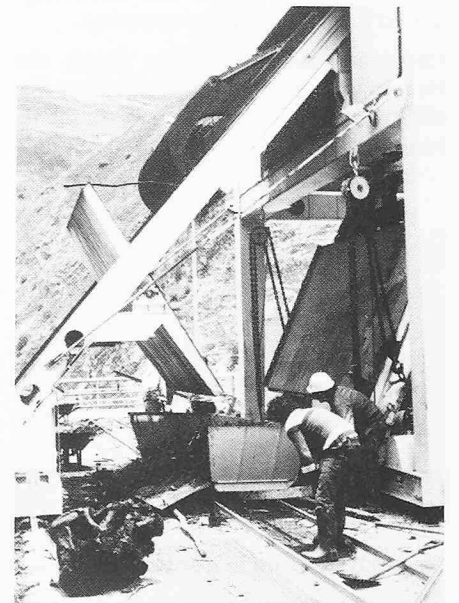


Bild 34. Entladung des Rechengutes in zu kleine Rollwagen. Die Geleise führen nirgendwohin

manometeranschluss, so kann sie durch die gegen ihr Gesicht ausströmende Druckluft von 60 bar Überdruck das Augenlicht verlieren.

### Koordination der Anlageteile

In den Bildern 32 bis 35 sieht man eine automatisch arbeitende Rechenreinigungsmaschine eines Einlaufrechens, bei dem aber das geförderte Rechengut nur mit grossem Personalaufwand mühselig entfernt werden kann. Es fehlte eine Koordination zwischen dem maschinellen und dem baulichen Teil des Projektes, und niemand schien sich

den vollständigen Vorgang der Rechenreinigung vorgestellt zu haben (vgl. auch Abschnitt «Druckleitungen», Bilder 9 und 10).

Bei dieser Rechenreinigungsanlage sollte das Rechengut entweder mit dem allerdings zu kleinen Rollwagen direkt und ohne Umladen zum endgültigen Abfallagerort gefahren werden können, oder das Rechengut sollte direkt in einen Lastwagen gekippt und mit diesem abtransportiert werden können.

### Schlussbemerkung

Es gibt keine Wasserkraftwerke ohne Probleme, jedes Kraftwerk ist verschieden vom andern, und man kann nicht immer alle Erfahrungen mit ausgeführten Anlagen in neuen Projekten und in andern Ländern anwenden. Es lassen sich auch nicht immer alle Schwierigkeiten und Probleme voraussehen.

Immerhin lässt sich aber durch ein Hineindenken in die tatsächlichen Bedürfnisse und in die grossen Beschaffungsschwierigkeiten in Entwicklungs-

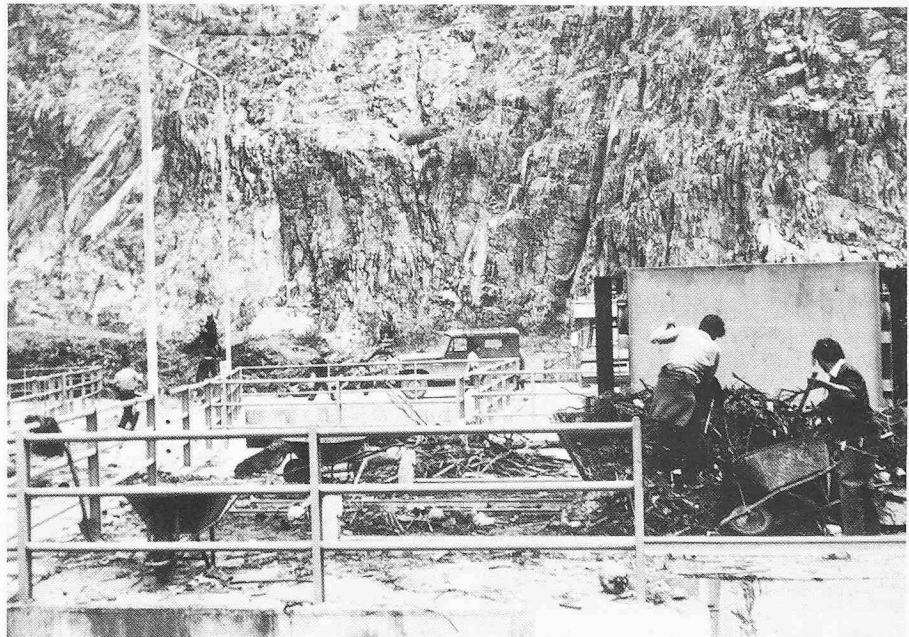


Bild 35. Umladen des Rechengutes vom Rollwagen in Handkarren, Transport von Hand bis zur Stelle im Hintergrund, wo das Rechengut verbrannt wird

ländern ein sehr grosser Teil von Schwierigkeiten voraussehen und vermeiden, sicher bei den angeführten einfachen Beispielen, die beliebig vermehrt werden könnten. Es ist aber zu

hoffen, dass die gezeigten wenigen Beispiele als Hinweis genügen.

Adresse des Verfassers: J. Baumgartner-Tan, dipl. El.-Ing. ETH, In der Halden 6, 8603 Schwerzenbach.

## Umschau

### Neue Dimension in der Röntgenstrukturanalyse

(mpg). Erfreuliche Kunde für alle *Biochemiker* und *Werkstoffwissenschaftler* kommt aus dem *Max-Planck-Institut für Festkörperforschung* in *Stuttgart*: Nicht länger müssen sie bei der Röntgen-Strukturanalyse, einer ihrer wichtigsten Untersuchungstechniken, auf eine wesentliche Information verzichten, die *Phasenlage des abgebeugten Röntgenlichts*. Der chinesische Gastwissenschaftler Prof. *Shih-Lin Chang* konnte ein seit Jahrzehnten gesuchtes Verfahren entwickeln, bei dem sich in dem vom Röntgenlicht durchleuchteten Kristall mehrere Strahlenbündel ausbilden, sich überlagern und dabei interferieren, sich also wechselseitig schwächen oder verstärken und so über das übliche Laue-Diagramm hinaus Auskunft über ihre Phasenlage geben. Das Ergebnis ist eine wesentlich *verfeinerte und schnellere Strukturbestimmung* mit dem Ausblick, einmal neue Fragestellungen der Strukturanalyse aufgreifen zu können.

*Max von Laue* wurde zum Wegbereiter der heutigen Festkörperforschung, als er vor ziemlich genau 70 Jahren vorschlug, Röntgenlicht am dreidimensionalen Gitter eines

regelmässigen Kristalls zu beugen, um so Aussagen über die Struktur dieses Kristalls zu bekommen. Er begründete damit eine Methode der Strukturbestimmung, die heute nicht nur für die Untersuchung *kristalliner Festkörper* wichtig ist, sondern auch bei der Analyse *biologischer Gross-Moleküle* weltweit angewendet wird. Als Ergebnis der einzelnen Analyse erhält man auf einem im Halbkreis um den Kristall angeordneten Röntgenfilm ein charakteristisches Muster von Punkten und Strichen – ein *Laue-Diagramm*. Aus der Lage und Intensität der Punkte und Striche lässt sich dann in recht komplizierter Weise – durch ständiges Probieren und rechnerisches Verfeinern – die Anordnung der Atome in der betreffenden Kristallstruktur bestimmen.

#### *Berg oder Tal am Atom*

In dem Bemühen, dieses Verfahren prinzipiell zu verbessern, stellten *Max von Laue* und *Gerhard Borrmann* schon Anfang der 50er Jahre in Berlin, im heutigen Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft, Überlegungen an, wie sich bei einer solchen Strukturanalyse zusätzliche Informationen

über die Phasenlage der Röntgenstrahlung beim Durchgang durch den Kristall gewinnen lassen sollten. Wie jede elektromagnetische Strahlung breitet sich auch das Röntgenlicht in der Form von Wellen aus. Die Länge dieser Wellen entspricht dem Abstand der Atome in dem zu untersuchenden Kristall. Darum macht es für die Strukturbestimmung einen wesentlichen Unterschied, ob das Röntgenlicht im Kristall mit einem Wellenberg oder einem Wellental die Positionen der Atome erreicht, ob also das Licht in Phase mit dem Kristallgitter ist oder nicht. Nur: Wie lässt sich diese Phase bestimmen? Man müsste ein Verfahren entwickeln, so erkannten schon von Laue und Borrmann, bei dem die zu vermessenden Wellen mit anderen Wellen im Gitter der Atome so überlagert werden, dass sich dabei die Phasenlage erkennen lässt.

*Max von Laue* und *Gerhard Borrmann* fanden keine Lösung, und vielen anderen Forschern nach ihnen erging es ähnlich. Neuen Auftrieb erhielten diese Bemühungen, als vor einigen Jahren zwei bekannte amerikanische Fachleute ein Verfahren vorschlugen, das sich dann aber doch als praktisch nicht