

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 34 (1943)
Heft: 17

Artikel: Die Hilfsanlagen des unterirdischen Kraftwerkes Innertkirchen
Autor: Ludwig, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061756>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:

Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telefon 5 17 42
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXIV. Jahrgang

N^o 17

Mittwoch, 25. August 1943

Die Hilfsanlagen des unterirdischen Kraftwerkes Innertkirchen

Von H. Ludwig, Innertkirchen

621.311.18

Die zum Betrieb eines Kraftwerkes erforderlichen Hilfsanlagen treten neben den Hauptanlagen z. B. Turbinen, Generatoren und Transformatoren, weniger in Erscheinung. Im Hinblick auf die verschiedenen Kraftwerkprojekte dürfte es aber interessant sein, die Hilfsanlagen eines bestehenden Grosskraftwerkes zu behandeln. Die Probleme, die bei der Projektierung und beim Bau zu lösen waren, und die seither gesammelten Betriebserfahrungen werden besprochen. Im besonderen werden behandelt: die Transporteinrichtungen, die Werkstatt, der Wasserbelastungswiderstand, die Kühlwasserversorgung, die Eigenbedarfsanlage, die Stationsbatterien, die Beleuchtung, die lufttechnischen Einrichtungen und die CO₂-Brandschutzanlage.

Les installations auxiliaires indispensables à l'exploitation d'une grande usine hydroélectrique moderne se manifestent, à côté des installations principales comme les turbines, les générateurs et les transformateurs, que très peu. En considération des divers projets d'usines hydroélectriques, il est intéressant d'examiner de plus près les installations auxiliaires d'une grande usine hydroélectrique existante. Les problèmes qui étaient à résoudre pendant l'exécution du projet et pendant la construction, ainsi que les expériences d'exploitation, sont exposés. Dispositifs de transport, ateliers, résistance liquide de charge, eau de refroidissement, installations pour les besoins de l'usine, batteries, éclairage, aération et installation à CO₂ contre les incendies.

Die Disposition und Bemessung der Hilfsobjekte für das Kraftwerk Innertkirchen¹⁾ musste schon frühzeitig abgeklärt werden, da sie für die Grösse und Anordnung der auszusprengenden Felskaverne von massgebender Bedeutung waren. Es wurde dabei danach getrachtet, alle Nebenbetriebe möglichst zusammenzufassen und in dem auf der Eingangsseite liegenden Kopfende des Maschinenhauses unterzubringen, soweit dies mit Rücksicht auf die Erfordernisse des Betriebes möglich war. So entstand der sog. «Nordflügel» (Fig. 1), welcher eine Verlängerung der Felskaverne um 8,7 m erforderlich machte. Vom gesamten Ausbruch der Maschinenhauskaverne von ca. 38 000 m³ Inhalt (ohne Stollen und Schieberkammer) entfallen rund 90 % auf die Haupt- und rund 10 % auf die Nebenbetriebe. Dabei sind unter den Hauptbetrieben verstanden: max. 5 Turbinen zu 41 000 kW, 5 Generatoren zu 47 500 kVA und 5 Transformatoren zu 47 500 kVA Nennleistung, die 5 Maschinenschalttafeln, eine allgemeine Schalttafel und die 13-kV-Anlage, während die Nebenbetriebe im Nordflügel folgende Anlagen umfassen: 480-kW-Hausgruppe mit Transformator, Kühlwasserpumpen, Wasserbelastungswiderstand, Stationsbatterie, Magazin, Werkstätte, Bureau, Gaschutzraum, Kühlwasserreservoir, sanitäre Anlagen sowie Treppenhaus mit Lift.

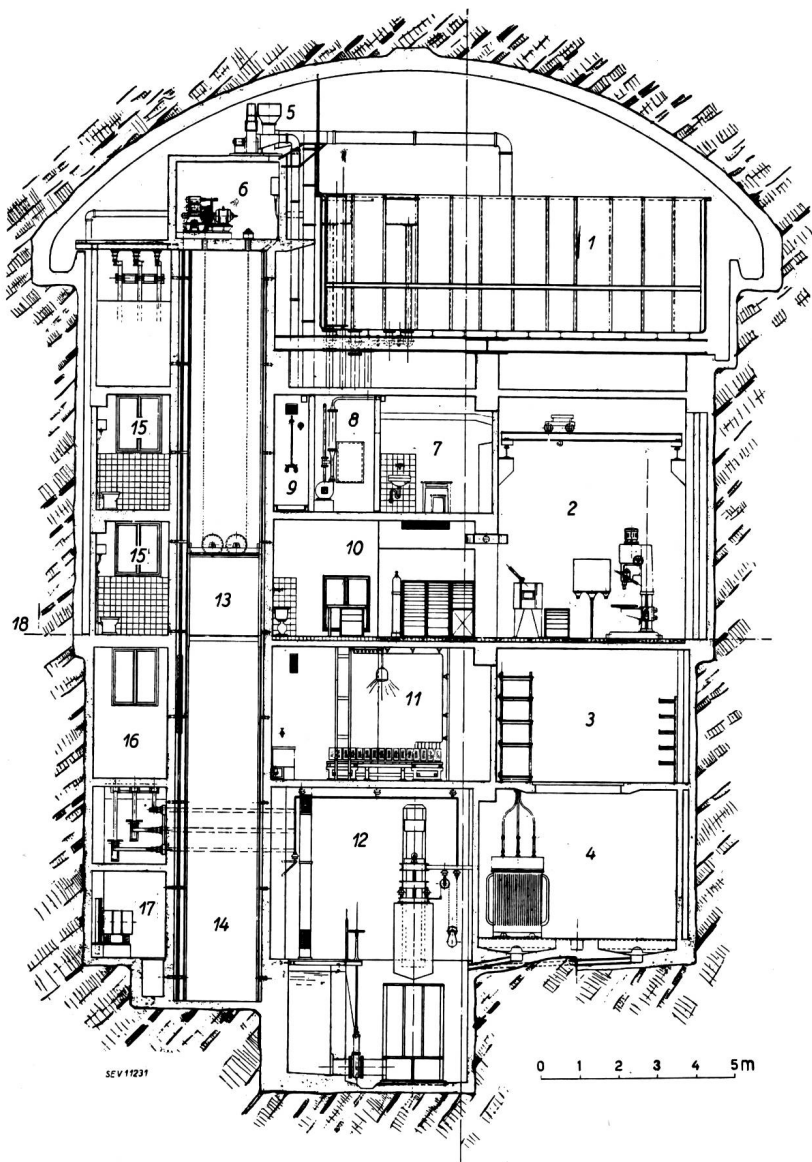
Die einzelnen Hilfsanlagen sollen nun näher beschrieben und erläutert werden.

Die Transporteinrichtungen

Um den direkten Bahntransport der Maschinen und Maschinenteile von den Werkstätten der Liefer-

firmen in das Maschinenhaus zu ermöglichen, wurde das bestehende 1-m-Spur-Verbindungsgeleise Meiringen—Innertkirchen der KWO bis in den Maschinensaal der unterirdischen Anlage verlängert. Der Transport der schweren Maschinenteile erfolgte auf Normalspur-Tiefgangwagen bis Interlaken, wo diese auf zwei Spezial-Rollschemel zu je 6 Achsen aufgefahren und auf dem Schmalspurgeleise der Brünigbahn nach Meiringen und von da auf dem Verbindungsgeleise nach Innertkirchen direkt in des Werk befördert wurden. Bei der grossen Länge des kombinierten Fahrzeuges von rund 23 m, über Puffer gemessen, war es nötig, in der dem Eingangstunnel gegenüberliegenden Wand eine Nische von 2,5 m Tiefe vorzusehen, um die Maschinenteile in ihrem Schwerpunkt am Kranhaken aufhängen und innerhalb des Maschinensaales abladen zu können (Fig. 2). Während das schwerste Transportstück (Rotor mit Welle, ohne Pole) mit Rücksicht auf den Bahntransport auf ein Ladegewicht von 73 t beschränkt werden musste, war der Maschinenhaus-Laufkran (Fig. 3) für eine Tragkraft von 120 t zu bemessen, entsprechend dem schwersten Montagestück (Rotor mit 14 Polen und Welle) im Gewichte von 116 t. Von der Aufstellung zweier Laufkrane, welche beim Transport von Schwerlasten zusammengekuppelt worden wären, wurde mit Rücksicht auf die erhöhten Kosten und die Komplikationen, die durch das Zusammenkuppeln der beiden Einzelkrane hätten in Kauf genommen werden müssen, abgesehen und nur ein einziger Laufkran für die obenerwähnte maximale Tragkraft von 120 t vorgesehen. Zum Heben der Lasten über 15 t Gewicht wurde eine Hubgeschwindigkeit von 1,0 m/min gewählt, welche bei Lasten unter 15 t

¹⁾ Der zweite Ausbau der Oberhasli-Kraftwerke, Bull. SEV 1942, Nr. 20, S. 529...542. Sonderdruck erhältlich.



Gewicht mittels eines Umschaltgetriebes auf 5,4 m/min erhöht werden kann. Die Kranfahrergeschwindigkeit wurde auf 12,0 m/min bei Lasten über 15 t Gewicht und auf 30 m/min bei Lasten unter 15 t Gewicht festgesetzt, während für das Katzfahren nur eine einzige Geschwindigkeit von 10,0 m/min gewählt wurde. Diese Haken-geschwindigkeiten haben sich bei den z. T. sehr subtilen Montagearbeiten gut bewährt.

Durch zweckmässige Unterteilung der Generatorenwelle, d. h. durch Anordnung eines Kupplungsflansches direkt über dem Rotor-körper (Fig. 4) war es möglich, die höchste Hakenstellung auf 7,9 m

Fig. 1.

Querschnitt durch den «Nordflügel» des Kraftwerkes Innertkirchen

- 1 Hochbehälter für Kühlwasser mit 200 m³ Inhalt.
- 2 Grosse Werkstatt.
- 3 Magazin.
- 4 Transformator für Eigenbedarf.
- 5 Ventilatoren.
- 6 Aufzugswinde.
- 7 Gasschutzraum.
- 8 Apparateraum.
- 9 Douchenraum.
- 10 Kleine Werkstatt.
- 11 Batterieraum.
- 12 Wasserbelastungswiderstand.
- 13 Liftkabine (1 t Tragkraft).
- 14 Liftschacht.
- 15 Aborte.
- 16 Abstellraum.
- 17 Oelraum.
- 18 Maschinsaalboden.

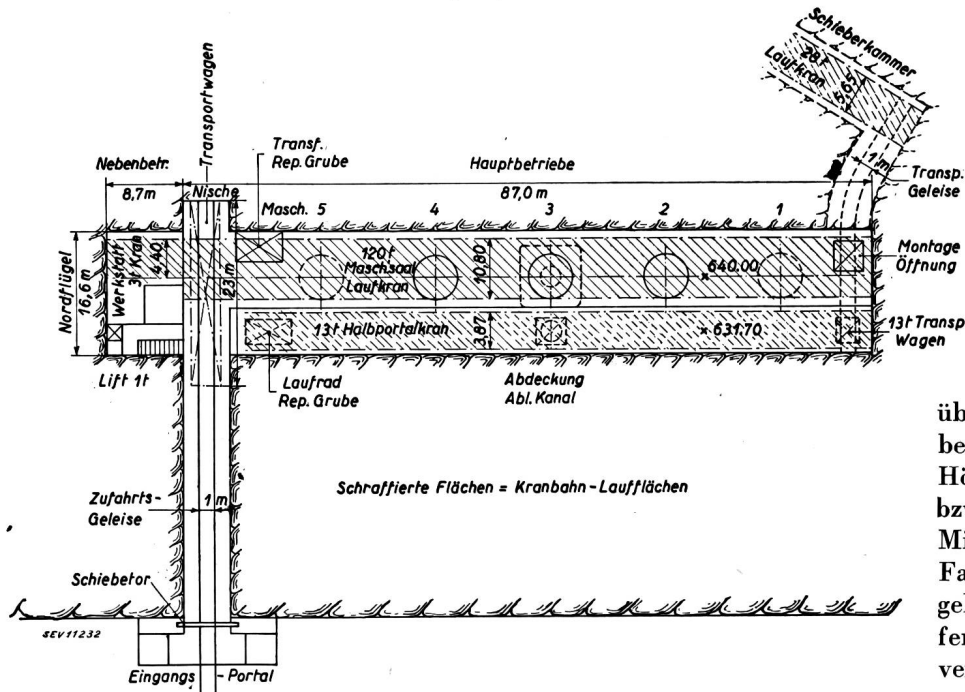


Fig. 2.

Disposition der Transporteinrichtungen der Maschinenanlage Innertkirchen

über Maschinsaalboden zu beschränken und damit die Höhe des Maschinsaaes bzw. des Felsgewölbes auf ein Minimum zu reduzieren. Die Fahrbahn wurde in Ermangelung von hochstegigen Differdingerträgern aus massiven, stark armierten Beton-

balken erstellt, welche je einen normalen I-Träger NP 26 mit aufgeschweisster Kranfahrtschiene aus Flachstahl enthalten. Die Stützweite des Krans beträgt 10,8 m. Die beiden Rollenkasten des Kranfahrwerkes sind zweigelenkig ausgebildet und ent-

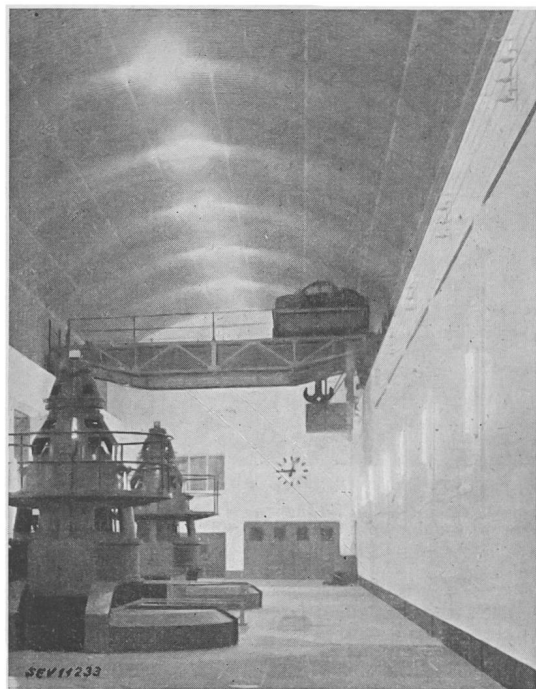


Fig. 3.
Maschinensaal mit 120-t-Laufkran und direkter Deckenbeleuchtung



Fig. 4.
Anheben des Rotors mit Welle mittels am Kupplungsflansch befestigter Aufhängevorrichtung
(Vgl. Bull. SEV 1942, Nr. 20, S. 535, Fig. 13.)

halten je drei Laufrollen aus Stahlguss, welche die Vertikalkräfte sowie die beim Anfahren und Bremsen auftretenden horizontalen Schubkräfte auf die Kranbahn übertragen.

Der 120-t-Kran dient in erster Linie zu Montage- und Revisionsarbeiten an den Generatoren und

Transformatoren. Ferner diente dieser Kran zum Transport der 25 t schweren Kugelschieber, wobei diese durch eine Montageöffnung am Südende des Maschinensaales auf einen 8,3 m tiefer gelegenen Transportwagen abgelassen und mittels diesem in die Schieberkammer verfahren wurden. Von diesem Wagen wurden sie mit einem 28-t-Laufkran abgehoben und direkt zur Montagestelle gebracht (Fig. 5). Der gleiche Transportwagen dient zur Beförderung der Turbinenlaufräder von der er-

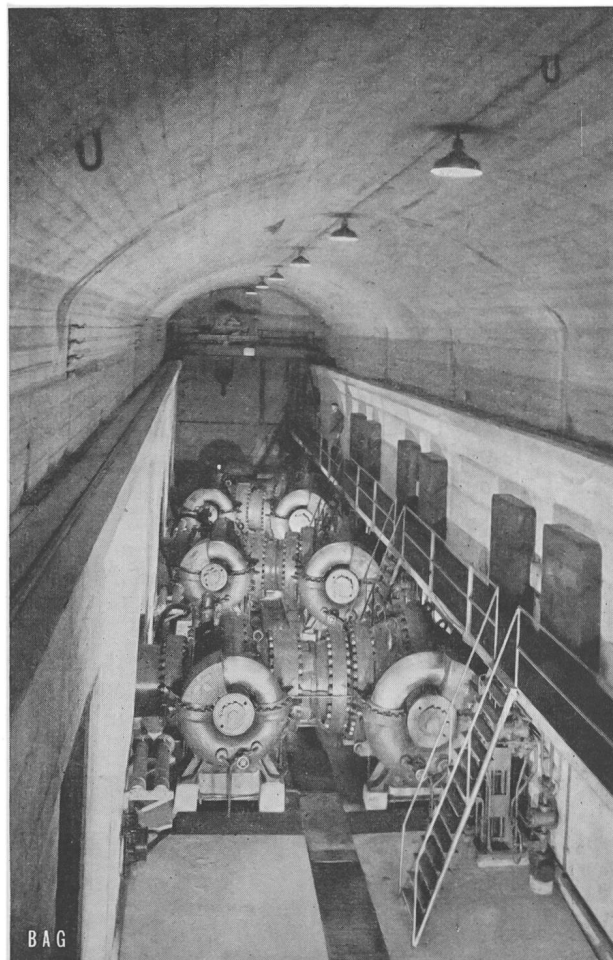


Fig. 5.
Schieberkammer mit 28-t-Laufkran (im Hintergrund) und direkter Deckenbeleuchtung

wähnten Montageöffnung in den Turbinenvorraum, wo ein 13-t-Halbportalkran den Weitertransport zu der betreffenden Turbine übernimmt (Fig. 6). Durch eine Oeffnung im Turbinenablaufkanal wird das Laufrad auf einen zweiten Transportwagen abgesetzt und in das Turbinengehäuse verfahren, wo es mittels Flaschenzügen hochgezogen und auf das konische Wellenende der Maschine aufgekeilt wird. Zur Vornahme von Reparaturarbeiten kann das revisionsbedürftige Laufrad auf dem gleichen Weg in den Turbinenvorraum befördert und mit dem 13-t-Kran in eine am Nordende dieses Raumes gelegene Reparaturgrube verbracht werden, wo das Rad hochgestellt und zwecks Bearbeitung auf zwei Hilfslagerböcken drehbar gelagert wird.

An weitem Hebezeugen sind vorhanden: ein 3-t-Kran in der Werkstatt, ein 4-t-Kran bei der Hausgruppe sowie diverse Unterflanschlaufkatzen zur Erleichterung der Montage und Demontagearbeiten an den Kühlwasserpumpen, Turbinenein-

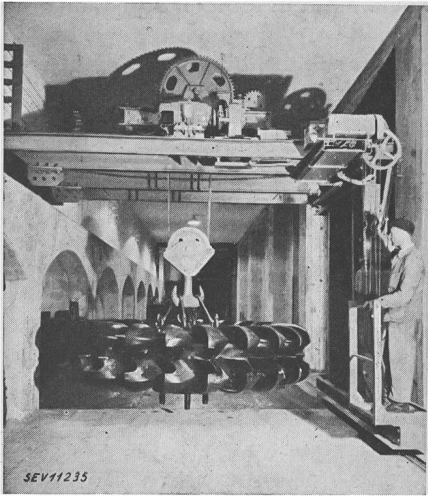


Fig. 6.
Turbinenvorraum mit 13-t-Halbportalkran zum Transport der Laufräder

läufen usw. Der eingangs erwähnte Aufzug dient zum Transport von Personen und Waren bis zu 1 t Gewicht und ist mit den neuesten Sicherheitseinrichtungen versehen.

Die Werkstatt

Zur Vornahme von Reparaturarbeiten aller Art dient eine im Nordflügel auf Höhe des Maschinensaalbodens angeordnete Werkstatt, welche mit den neuesten Werkzeugmaschinen zum Drehen, Bohren, Hobeln, Schleifen und Glühen aus-

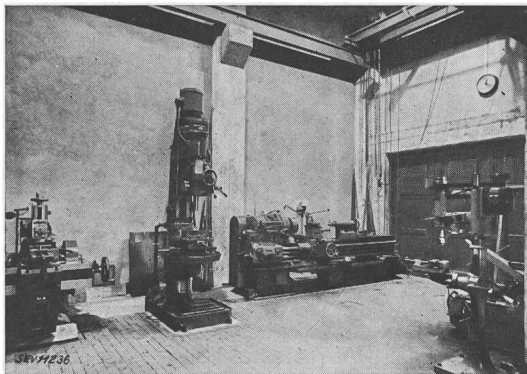


Fig. 7.
Teilansicht der Werkstätte mit 3-t-Laufkran
1 Hobelmaschine. 3 Drehbank.
2 Grosse Bohrmaschine. 4 Kleine Bohrmaschine.

gerüstet ist. Diese Einrichtungen haben während der Montage der elektro-mechanischen Anlagen wertvolle Dienste geleistet, und sie werden ermöglichen, die meisten im Betrieb vorkommenden Reparaturarbeiten an Ort und Stelle mit eigenem Personal auszuführen. Fig. 7 zeigt eine Teilansicht der Werkstatt mit Türe gegen den Maschinensaal.

Der Wasserbelastungswiderstand

Zur Vornahme von Zu- und Abschaltversuchen zur Turbinenregler-Einstellung und zur Durchführung von Garantiemessungen wurde ein Wasserbelastungswiderstand (Fig. 8) vorgesehen, der für

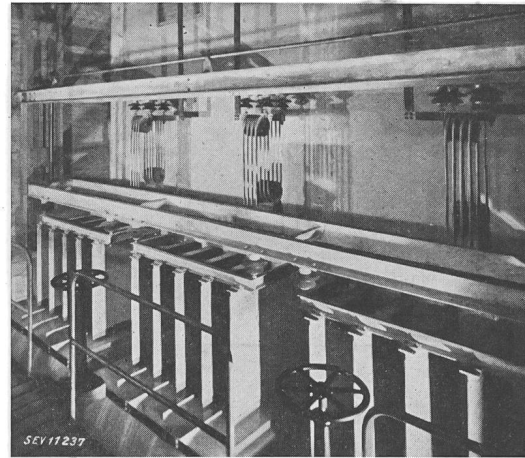


Fig. 8.
Wasserbelastungswiderstand für 42 000 kW und 13,5 kV zur Durchführung von Regulier- und Belastungsversuchen (Vgl. Bull. SEV 1942, Nr. 20, S. 538, Fig. 16.)

eine maximale Maschinenleistung von 42 000 kW bei 13,5 kV Betriebsspannung zu bemessen war. Da für die Vorausberechnung eines Belastungswiderstandes die Kenntnis des spezifischen Widerstandes des zur Verfügung stehenden Wassers nötig ist,

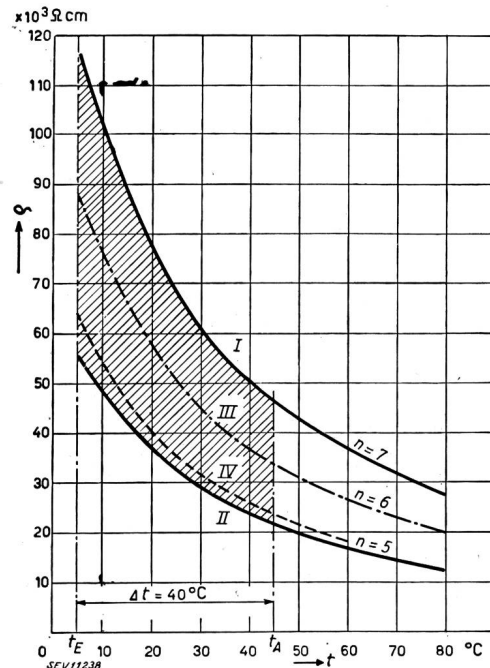


Fig. 9.
Spezifischer Widerstand des Betriebswassers als Grundlage für die Bemessung des Wasserbelastungswiderstandes

- s spezifischer Widerstand.
- n Anzahl der beweglichen Platten.
- t_E Wassertemperatur am Eintritt.
- t_A Wassertemperatur am Austritt.
- $\Delta t = t_A - t_E$ Temperaturzunahme.
- Kurven:**
 - I Handeck: Wasser aus der Aare (24. 4. 39).
 - II Handeck: Wasser aus dem Unterwasserkanal (24. 4. 39).
 - III Handeck: Mittelwert aus I und II.
 - IV Innertkirchen: Wasser aus dem Unterwasserkanal (20. 1. 43).

wurden schon im Jahre 1939 die Widerstandswerte von Wasserproben aus dem Unterwasserkanal des Kraftwerkes Handeck sowie aus der Aare bei verschiedenen Temperaturen bestimmt (Fig. 9). Wie schon aus früheren Messungen anlässlich der Berechnung des Wasserbelastungswiderstandes für die Anlage Handeck bekannt war, weist das aus dem Grimselsee stammende Gletscherwasser einen sehr hohen spezifischen Widerstand auf. Bei einer zu vernichtenden Leistung von 42 000 kW bei 13,5 kV verketteter Spannung ergaben sich für das in Fig. 9 schraffierte Widerstandsgebiet folgende Abmessungen der Elektrodenplatten:

Zahl der bewegl. Platten . . .	5	6	7
Zahl der festen Platten . . .	6	7	8
Elektroden-Abstand . . .	17,5	14,6	12,5 cm
max. Eintauchtiefe . . .	145	150	157 cm
aktive Elektrodenoberfläche .	14,5	18,0	22,0 m ² /Phase
spez. Spannungsgefälle i. Mitt.	430	515	600 V/cm
spez. Strombelastung „	0,0130	0,0103	0,0085 A/cm ²
spez. Leistungsaufnahme „	5,6	5,3	5,1 W/cm ³
Erforderl. Wassermenge für $\Delta t = 40^{\circ} \text{C}$:	ca. 270 l/s		

Zur Unterbringung der grossen Elektrodenoberflächen wurden drei Blechkasten zu 1,40 m Breite, 1,75 m Länge und 2,60 m Höhe gewählt, in welche die festen Elektrodenplatten eingebaut sind. Die beweglichen Elektrodenplatten sind an einer gemeinschaftlichen Traverse isoliert aufgehängt und können mittels zwei gegenläufigen Schraubenspindeln zwischen den festen Platten eingetaucht werden. Die Elektrodenplatten bestehen aus 4 mm dicken, spritzverzinkten Eisenblechtafeln. Die Stromzuführung erfolgt über je 4 parallele, flexible Kupferkabel von total 680 mm² Querschnitt pro Phase, wobei die spezifische Belastung bei 1870 A Vollaststrom 2,75 A/mm² beträgt. Alle festen Platten sind unter sich und mit den Elektrodengefässen mittels zwei paralleler Kupferschienen, welche den Nullpunkt des Systems bilden, verbunden und an die Kraftwerk-Betriebserdung angeschlossen. Das Heben und Senken der beweglichen Elektrodenplatten erfolgt durch einen Drehstrommotor mit Reduktionsgetriebe, welcher ausserhalb der Wasserwiderstandskammer angeordnet ist. Die Steuerung geschieht von einer Schalttafel im Maschinensaal aus, wo gleichzeitig die jeweilige Eintauchtiefe an einem Fernzeigeelement abgelesen werden kann. Das erforderliche Kühlwasser wird mittels einer 22-kW-Schachtpumpe für 300 l/s Fördermenge (Fig. 12) dem Unterwasserkanal entnommen und den drei Elektrodengefässen von unten zugeführt. Das erwärmte Wasser tritt am oberen Rand der Gefässe aus und wird durch eine Sammelleitung wieder dem Unterwasserkanal zugeführt. Nach der ersten Inbetriebsetzung des Kraftwerkes wies das Unterwasserwasser infolge von Verunreinigungen eine stark erhöhte Leitfähigkeit auf, die jedoch nach einiger Zeit auf den normalen Wert zurückging. Auf Grund des durch Nachmessung festgestellten spezifischen Widerstandes (s. Kurve IV in Fig. 9) wurden die Belastungsversuche mit 5 beweglichen Elektrodenplatten durchgeführt und Abschaltversuche bis 45 000 kW vorgenommen, wobei der in Fig. 10 abgebildete 13-kV-Druckluftschalter für 2500 A

Nennstrom verwendet wurde. Der Wasserbelastungswiderstand hat die an ihn gestellten Anforderungen erfüllt und sich bei den Inbetriebsetzungsarbeiten der grossen Maschinengruppen als unentbehrlich erwiesen.

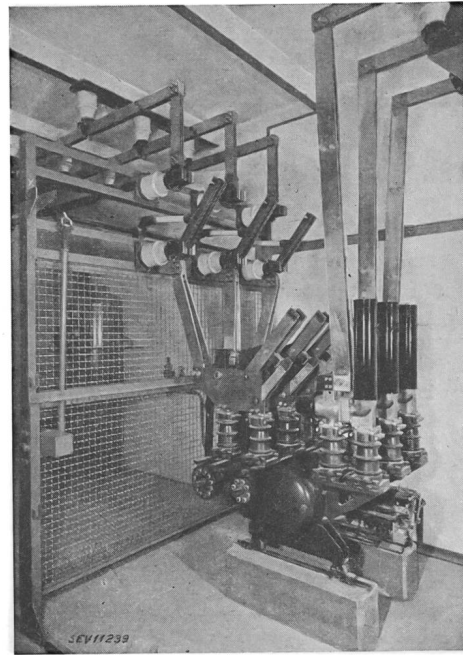


Fig. 10.

Druckluftschalter zum Wasserbelastungswiderstand (s. Fig. 8)

Betriebsspannung: 13 kV
Nennstrom: 2500 A
Abschaltleistung: 500 MVA

Die Kühlwasserversorgung

Bei den grossen Maschineneinheiten, die in der Anlage Innertkirchen zur Aufstellung kamen, war die Bereitstellung und betriebssichere Zuführung der nötigen Wassermengen zur Kühlung der Lager, des Transformatoröles und der Generatoren-Umluft von grösster Wichtigkeit. Zuerst musste der Kühlwasserbedarf ermittelt werden, welcher sich für den Vollausbau mit 5 Einheiten folgendermassen zusammensetzt:

Transformatoren (je 2 × 3 Kühler)	max. 5 × 6,5 =	32,5 l/s
Spurlager (je 1 Kühler)	max. 5 × 3 =	15 l/s
Turbinenregler (je 1 Kühler)	max. 5 × 0,5 =	2,5 l/s
Generatoren (je 7 Kühler)	max. 5 × 65 =	325 l/s
Hausgruppen (je 1 Kühler)	max. 2 × 2,5 =	5 l/s
Wasserbelastungswiderstand	max.	300 l/s
	Total	680 l/s

Bei dem grossen Wasserverbrauch der Generatorenkühler wurde von vorneherein davon abgesehen, diese Wassermenge von einer Zentralstelle zu beschaffen. Es wurde deshalb jedem Generator eine eigene Pumpengruppe zugeordnet, welche das Kühlwasser direkt der zugehörigen Turbinenwanne entnimmt und auf dem kürzesten Wege durch die Kühlradiatoren presst, von welchen es wieder in die Turbinenwanne zurückfliesst. Ferner wurde für den Wasserbelastungswiderstand eine eigene Pumpengruppe vorgesehen, wie bereits erwähnt. Alle übrigen Kühlwasserverbraucher mit einem maxima-

len Bedarf von 55 l/s wurden zu einem einheitlichen Leitungssystem zusammengefasst, das aus einem Hochreservoir von 200 m³ Inhalt unter nahezu konstantem Druck gespeist wird. Zur Füllung dieses Reservoirs dienen 1 bis max. 4 Schachtpumpen,

terbruch der Energiezufuhr während einiger Zeit gesichert ist. Schliesslich ist noch ein Druckreduzierventil vorgesehen, durch welches im Notfalle Wasser aus dem Druckschacht bezogen werden kann. Die schematische Anordnung der Kühlwasser-

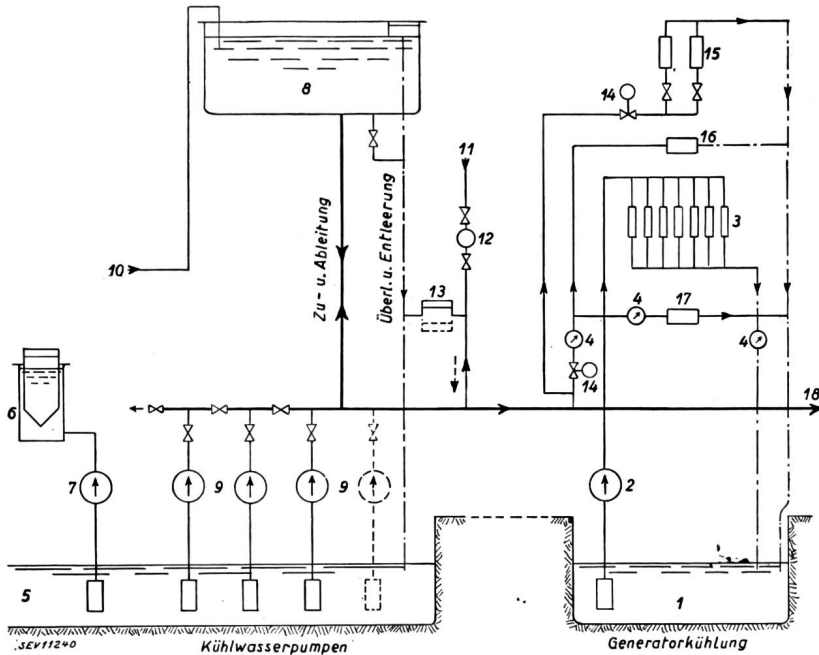


Fig. 11.

Schema der Kühlwasseranlage

- 1 Turbinenwanne.
- 2 Kühlwasserpumpe eines Generators (65 l/s, 11 kW).
- 3 Kühler eines Generators.
- 4 Strömungsanzeiger.
- 5 Unterwasserkanal.
- 6 Wasserbelastungswiderstand.
- 7 Pumpe zum Wasserbelastungswiderstand (300 l/s, 22 kW).
- 8 Hochreservoir für Kühlwasser (200 m³).
- 9 Kühlwasserpumpe für allgemeine Zwecke (4·12 kW).
- 10 Zuleitung von Quellwasser.
- 11 Anschluss an Druckleitung.
- 12 Reduzierventil.
- 13 Kühler des Hausgenerators.
- 14 Schieber mit Motorantrieb.
- 15 Kühler eines Transformators (6,5 l/s).
- 16 Kühler zum Spurlager eines Generators (3 l/s).
- 17 Kühler eines Turbinenlagers (0,5 l/s).
- 18 Zu den andern Generatoren.

welche das Kühlwasser von 3...6° C Temperatur dem Unterwasserkanal entnehmen und in den Hochbehälter fördern. Die Pumpenmotoren (mit Kurzschlussanker) werden durch Schwimmer ferngesteuert, und der jeweilige Wasserstand wird im

anlage geht aus Fig. 11 hervor, während Fig. 12 die Kühlwasserpumpen und Fig. 13 das Hochreservoir zeigen. Die Anlage hat sich bis jetzt in allen Teilen bewährt und zu keinen Störungen Anlass gegeben.

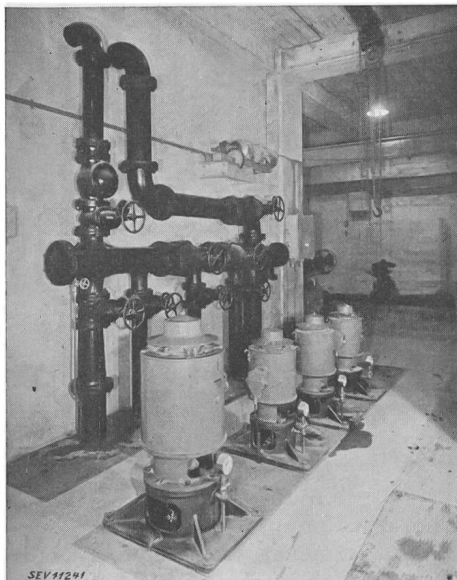


Fig. 12.

Kühlwasser-Schachtpumpen für Wasserbelastungswiderstand (300 l/s) und allgemeine Kühlwasserversorgung (3·30 l/s)

Maschinensaal laufend registriert. Ausserdem wird eine Quelle aus einem Baufenster des Druckschachtes in das Reservoir eingeleitet, so dass die Kühlwasserzufuhr auch bei einem allfälligen Un-

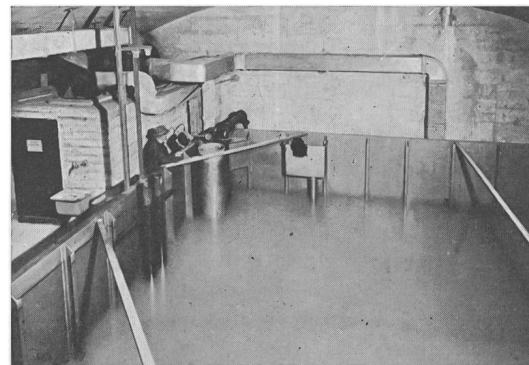


Fig. 13.

Kühlwasserreservoir mit 200 m³ Inhalt und Schwimmersteuerung
Ventilationsanlage mit Eternit-Luftkanälen

Die Hausgruppe

Die Speisung sämtlicher Hilfsbetriebe des Kraftwerkes Innertkirchen erfolgt durch eine besondere, horizontalachsige Hausgruppe, bestehend aus Turbine und Generator (Fig. 14). Sie ist somit vom Betrieb der Hauptgeneratoren vollständig unabhängig. Die eindüsige Pelton-Turbine ist über eine Zuleitung von 300 mm \varnothing mit den nötigen Absperrorganen direkt an die Verteilung des Druckschachtes (67 kg/cm²) angeschlossen. Sie leistet normal 480 kW bei 1500 U/min. Sie ist

mit einem wassergekühlten Drehstromgenerator von 600 kVA Nennleistung und 220/380 V Betriebsspannung direkt gekuppelt. Zwischen den Kuppelungshälften befindet sich ein Scheibenschwungrad mit einem GD^2 von 180 kg m², welches zur Milderung von Belastungsschößen, speziell von den Kran-

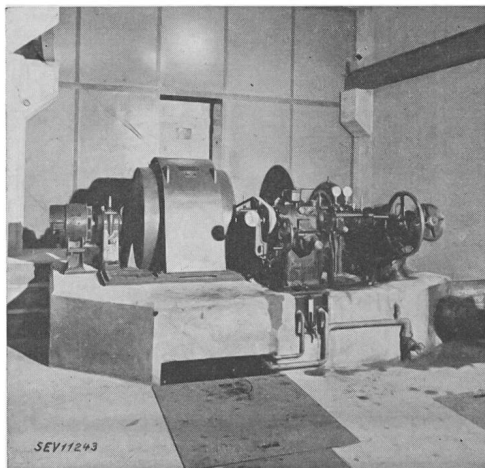


Fig. 14.

Hausgruppe mit 480 kW/600 kVA Nennleistung zur Speisung der Hilfsbetriebe mit 220/380 V Wechselstrom

motoren herrührend, beiträgt. Der Generator kann über einen 600-kVA-Transformator mit dem 16-kV-Netz verbunden werden und über dieses mit den Hausgruppen des Kraftwerkes Handeck parallel arbeiten. Bei Störung oder Reparatur der Hausgruppe Innertkirchen wird die nötige Energie über den erwähnten Transformator aus dem 16-kV-Netz bezogen, so dass die Speisung der Hilfsbetriebe der Anlage Innertkirchen jederzeit sichergestellt ist. Bei späterem Bedarf kann eine zweite Hausgruppe gleicher Leistung, für welche der Platz bereits vorgesehen ist, aufgestellt werden.

Die Stationsbatterien

Trotz der Möglichkeit, bei Ausbleiben der Energieversorgung durch die Hausgruppe von aussen her Aushilfsenergie zu beziehen, könnte der Fall

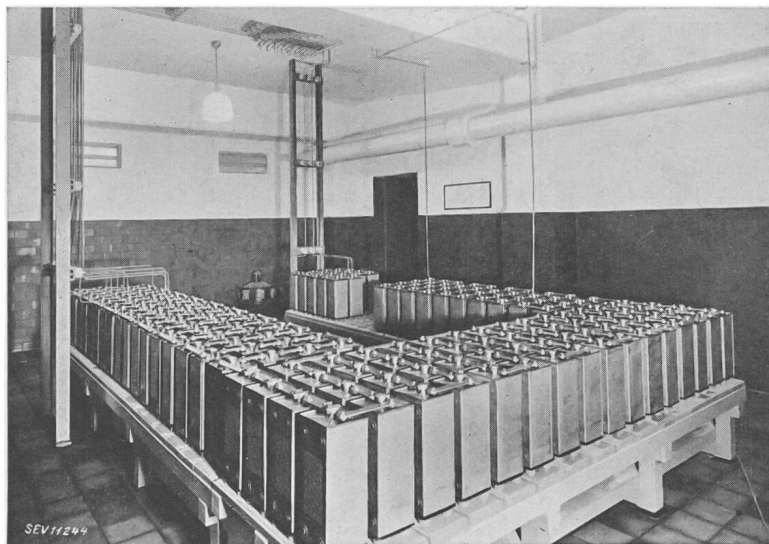


Fig. 15.

Akkumulatorenraum mit 2 Stationsbatterien zu 310 Ah Kapazität zur Speisung der Hilfsbetriebe mit 220 und 24 V Gleichstrom

eintreten, dass die Beleuchtung, wenn auch nur kurzzeitig, aussetzt, was bei einer unterirdischen Anlage unter allen Umständen vermieden werden muss. Aus diesem Grunde wurde eine 220-V-Akkumulatorenbatterie aufgestellt, welche bei Ausbleiben der Spannung im 220-V-Wechselstromnetz sofort die Speisung des Beleuchtungsnetzes sowie des Aufzuges (Gleichstrom-Notschaltung) automatisch übernimmt. Mit Rücksicht auf möglichst günstige Raumaussnutzung, kleine Bodenbelastung und geringe Gasentwicklung wurde eine alkalische Cadmium-Nickel-Batterie für 310 Ah Kapazität bei 5stündiger Entladung gewählt. Eine zweite Batterie gleichen Typs und gleicher Kapazität, jedoch für 24-V-Netzspannung, dient zum Betrieb der verschiedenen Signal-, Steuer- und Relaiskreise. Beide Batterien, welche elektrisch getrennte Stromkreise besitzen, werden mittels Trockengleichrichtern dauernd geladen. Alle drei Monate wird ausserdem jede Batterie durch eine rotierende Umformer-Gruppe mit Normalstromstärke hochgeladen. Der Batterieraum (Fig. 15) ist mit Klinkerplatten ausgelegt, gut beleuchtet und ventiliert.

Die Beleuchtung

In Anbetracht der unterirdischen Anordnung des Kraftwerkes wurde der Beleuchtung, insbesondere für die Maschinenhalle, besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Zu diesem Zwecke wurde zuerst die zweckmässigste Lichtart durch Vorversuche bestimmt, wobei ein im Maßstab 1 : 1 hergestelltes Teilstück des künftigen Eternitgewölbes am Kranhaken des Maschinenhauses Handeck hochgezogen und abwechslungsweise mit verschiedenen Lampentypen ausgerüstet wurde. Dabei kam sogenanntes Mischlicht, d. h. eine Mischung von Quecksilberdampflicht mit gewöhnlichem Glühllicht im Verhältnis von ungefähr 1 : 1, als auch reines Glühllicht (Glühlampen mit normaler und erhöhter Lebensdauer) zur Anwendung. Mit Rücksicht auf eine möglichst kleine Lampenzahl, auf eine warme und angenehme Lichtfarbe, auf die Vermeidung von stroboskopischen Erscheinungen, auf die Möglichkeit einer Umschaltung auf das Gleichstromnetz (Notbeleuchtung), und nicht zuletzt auf die jährlichen Kosten für den Lampenersatz wurde von der Verwendung von Mischlicht abgesehen und reines Glühllicht gewählt. Als weitere Frage war die Beleuchtungsart abzuklären, wobei zwischen direkter und indirekter Beleuchtung zu entscheiden war. Untersuchungen sowohl konstruktiver als auch wirtschaftlicher Art (Tabelle I) führten zur Anwendung der direkten Beleuchtung durch 12 in das Deckenge-

Vergleich von drei verschiedenen Beleuchtungsarten der Maschinenhalle Innerkirchen für praktisch gleiche Bodenbeleuchtungsstärken

Tabelle 1.

Lichtart	Mischlicht	Glühlicht	Glühlicht
Beleuchtung	direkt	direkt	indirekt
Technische Daten:			
Lampen, Anzahl	Var. I	Var. II	Var. III
Lichtstrom der Lampe Dlm	12 à (1+3)	12	152
Lichtstrom total Dlm	500 + (3×200)	1250	300
Anschlusswert p. Lampe W	625	805	235
Anschlusswert total W	7 500	9 660	35 700
Lichtausbeute lm/W	17,6	15,5	12,9
Leistungsaufwand Dlm/m ²	16,5	18,8	57,5
Leistungsaufwand W/m ²	9,4	12,1	44,7
Leistungsaufwand W/lx	180	230	850
Jährl. Energieverbr. kWh	65 700	84 700	312 000
Jährl. Lampenverbr. Anz.	42 + 126	42	532
Anschaffungskosten (1940):			
Armaturen (ohne Inst.) Fr.	890.—	790.—	5 930.—
Betriebskosten:			
Verz. u. Amort. 10 % Fr.	89.—	79.—	593.—
Lampenersatz p. Jahr Fr.	1 860.—	672.—	2 793.—
Energiekosten p. Jahr Fr.	1 314.—	1 694.—	6 240.—
Total pro Jahr Fr.	3 263.—	2 445.—	9 626.—

wölbe einglassene Tiefstrahler (Hauptbeleuchtung) und 22 röhrenförmige, an den Kranfeilern befestigte Wandleuchten (Zusatz- bzw. Notbeleuchtung). Die Lichtwirkung der Deckenlampen auf Decke, Wände und Boden wurde zuerst an einem Raummodell (Maßstab 1 : 20) mit eingebauten kleinen Beleuchtungskörpern ausprobiert. Die Anordnung und Lichtwirkung der Beleuchtungskörper im fertigen Maschinensaal geht aus Fig. 3 hervor.

In der ca. 85 m langen, ca. 10 m breiten und ca. 12,5 m hohen Maschinenhalle sind zur Zeit installiert:

12 Deckenlampen	mit total 15 000 Dlm bzw. 9 660 W
22 Wandlampen	mit total 4 752 Dlm bzw. 6 600 W
zusammen	19 752 Dlm bzw. 16 260 W

Die vorausgerechneten und an Ort und Stelle gemessenen Beleuchtungsstärken sind in Fig. 16a (Querschnitt) und Fig. 16b (Grundriss) eingetragen. Diese Beleuchtungsstärken, welche nach den «Schweizerischen allgemeinen Leitsätzen für elektrische Beleuchtung»²⁾ ungefähr dem für «grobe Arbeiten» bei reiner Allgemeinbeleuchtung empfohlenen Wert entsprechen, haben sich für die vorgesehene Zweckbestimmung (Betriebsüberwachung) als ausreichend erwiesen. Die Wände und der Fussboden sind vollkommen gleichmässig beleuchtet und irgendwelche Blendwirkung ist nirgends vorhanden. Während der Maschinensaal (Fig. 3), die Schieberkammer (Fig. 5) und der Turbinenvorraum (Fig. 17) mit direkter Beleuchtung ausgerüstet sind, wird der ca. 80 m lange 13-kV-Raum (Fig. 18) vollkommen indirekt beleuchtet. Für die übrigen Betriebsräume wurden je nach den örtlichen und betrieblichen Verhältnissen geeignete, neuzeitliche Armaturen gewählt, wobei auf möglichste Blendungsfreiheit grösstes Gewicht gelegt wurde.

²⁾ Bull. SEV 1939, Nr. 15, S. 421...428, und Publ. Nr. 144 des SEV.

Bei der unterirdischen Anordnung der Anlage musste dem Umstande Rechnung getragen werden, dass die Beleuchtung in den meisten Betriebsräumen dauernd, d. h. während 8760 h im Jahr eingeschaltet bleiben muss. Es wurden deshalb für sämtliche Brennstellen Lampen mit einer garantierten Brenndauer von 2500 h verwendet, um die Auswechslungsarbeiten und die Lampenersatzkosten auf ein erträgliches Mass zu reduzieren. Zur Erhö-

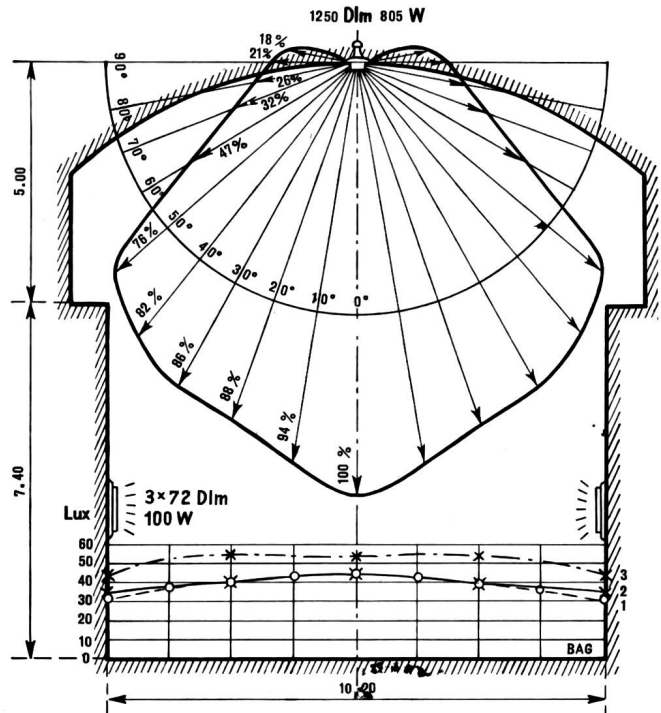


Fig. 16a.

Querschnitt des Maschinensaales mit Lichtverteilungs- und Beleuchtungskurven

Kurve 1: ohne Wandbeleuchtung gerechnet.
 Kurve 2: ohne Wandbeleuchtung gemessen.
 Kurve 3: mit Wandbeleuchtung gemessen.

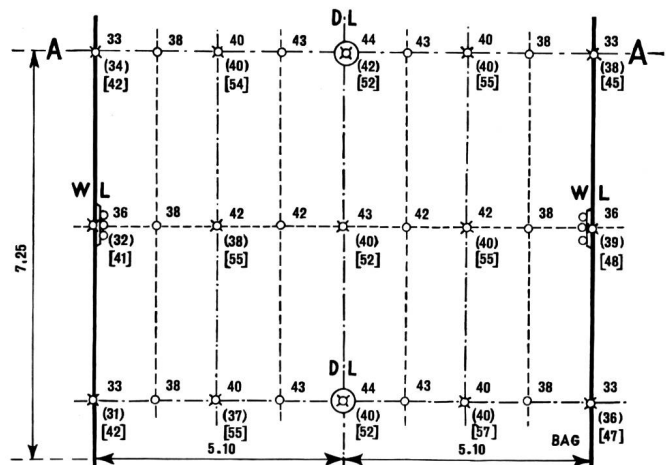


Fig. 16b.

Grundriss (Ausschnitt) des Maschinensaales mit eingetragenen Beleuchtungsstärken in Lux

DL Deckenlampe. WL Wandlampe.
 Werte ohne Klammer: ohne Wandbeleuchtung gerechnet.
 Werte in runder Klammer: ohne Wandbeleuchtung gemessen.
 Werte in eckiger Klammer: mit Wandbeleuchtung gemessen.

hung der Verkehrssicherheit wurden alle bei wichtigen Verkehrspunkten, wie Treppen, Türen, Notausgängen usw. vorhandenen Lampen ohne Schal-

ter direkt an die Sicherungskasten angeschlossen, um ein versehentliches Ausschalten zu verhüten. Alle diese Dauerlampen sind ausserdem an das Wechselstrom-Gleichstromnetz angeschlossen, d. h.



Fig. 17.
Turbinenvorraum mit direkter Deckenbeleuchtung
(Siehe auch Fig. 6.)

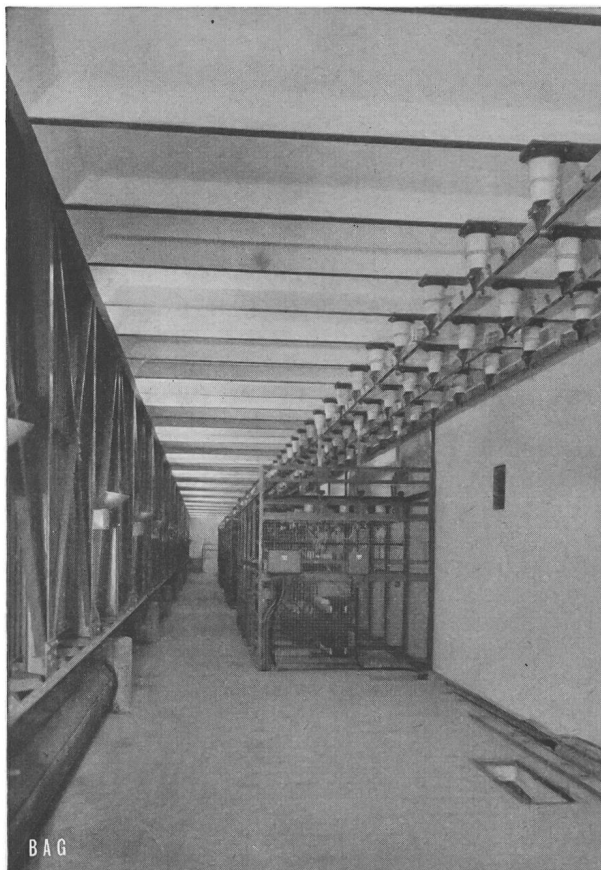


Fig. 18.
13-kV-Raum mit indirekter Beleuchtung

sie werden beim Ausbleiben der Spannung im Wechselstromnetz automatisch auf das Batterie-Gleichstromnetz umgeschaltet. Im ganzen sind in der Anlage Innertkirchen ca. 300 Beleuchtungskörper

mit einem Total-Anschlusswert von ca. 50 kW installiert.

Die lufttechnischen Einrichtungen

Bei der Projektierung der lufttechnischen Einrichtungen waren folgende grundsätzliche Ventilationsprobleme zu lösen:

1. Regulierung der Lufttemperatur im Maschinensaal bei Betrieb mit 1...5 Generatoren.
2. Erneuerung der Luft im Maschinensaal durch Frischluftzufuhr.
3. Ventilierung sämtlicher Nebenräume.
4. Ventilation bei vergaster Aussenluft.

ad. 1. Um für das Bedienungspersonal günstige Aufenthaltsbedingungen zu schaffen, musste die Möglichkeit sowohl einer Erwärmung, als auch einer Abkühlung der Raumluft im Maschinensaal vorgesehen werden. Bei der tief im kompakten Fels ausgesprengten Kaverne war von vorneherein zu erwarten, dass erstens die Temperatur im Innern der gegen den Felsen durch Luftzwischenräume isolierten Maschinenhalle im Laufe des Jahres nur geringen Schwankungen unterworfen sein wird und dass zweitens ein kleiner Teil der Generatoren-Warmluft genügen werde, um die gewünschte Raumtemperatur von 18...20° C aufrecht zu erhalten. Ferner musste damit gerechnet werden, dass im Laufe der Betriebszeit die angrenzenden Felspartien nicht mehr genügend Wärme abzuführen vermögen, so dass die Raumtemperatur eher zu hoch als zu niedrig und somit eine Kühlung der Raumluft nötig sein werde. Bei früheren Messungen in einem Versuchsstollen in der Handeck wurde experimentell festgestellt, dass der Granitfels pro 1° Temperaturdifferenz, 1 m² Felsoberfläche und 1 h Zeitdauer eine Wärmemenge von ca. 2,8 kcal abzuführen vermag. Obwohl dieser Wert nicht ohne weiteres auf die Verhältnisse in Innertkirchen übertragbar war, gab er doch Anhaltspunkte über die Grössenordnung der zu erwartenden Verlustwärme. Unter Zugrundelegung einer aktiven Felsoberfläche von 3000 m², einer Temperaturdifferenz von 10° C zwischen Fels (10° C) und angrenzender Luft (20° C) ergibt sich mit obigem Faktor rechnerisch ein Wärmeableitvermögen durch den Fels von

$$3000 \cdot 10 \cdot 2,8 \text{ kcal/h} = 84\,000 \text{ kcal/h}$$

Trotz des sehr hohen Wirkungsgrades der Generatoren sind bei Vollast und $\cos \varphi = 0,8$ übererr. pro Maschine ca. 1200 kW, entsprechend einer Wärmemenge von rund 10⁶ kcal/h durch das Kühlwasser abzuführen. Zu diesem Zwecke sind am Umfang des 8eckigen Statorgehäuses 7 Röhrenkühler angebaut, welche von der warmen Generatorenluft durchströmt werden. Anstelle eines achten Kühlers ist eine regulierbare Klappe vorhanden, welche gestattet, bei voller Oeffnung dem Generator eine Heizluftmenge von ca. 9 m³/s und ca. 40° Wärme bei einem Ueberdruck von 40 mm Wassersäule zu entnehmen, was bei einer mittleren Maschinensaal-Raumtemperatur von 20° C einer Wärmeleistung für Heizzwecke von

$$9 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3600 \cdot (40^\circ - 20^\circ) \cdot 0,3 \text{ kcal/m}^3 = \\ = 195\,000 \text{ kcal/h}$$

pro Generator entspricht, d. h. bedeutend mehr, als der Fels abzuführen vermag. Da ausserdem die in den Maschinensaal ragenden Teile der Generatoren sowie die in den offenen Zellen stehenden Transformatoren eine gewisse Wärmemenge an die Raumluft abgeben, ist ersichtlich, dass nur ein Bruchteil der Verlustwärme eines im Betrieb befindlichen Generators genügt, um die Maschinensaal-Raumtemperatur in der Höhe von 18...20° C zu halten. Tatsächlich konnte diese Temperatur bei dem bisherigen Betrieb (1. Januar bis 20. Mai 1943) ohne Inanspruchnahme von Generatorluft eingehalten werden. Sofern bei abnormal tiefer Aussentempe-

Luftmenge, d. h. 12 500 m³/h, von 25° C und 50 % Sättigung auf 10° C abgekühlt werden. Die Kühlleistung beträgt dabei einschliesslich Wasserausscheidung ca. 69 000 kcal/h bei einem Kühlwasserverbrauch von 3,2 l/s. Im weitem wurde die Möglichkeit geschaffen, Frischluft aus dem Unterwasserkanal anzusaugen und diese direkt oder mit warmer Aussenluft vermischt in das Kraftwerk zu fördern. Die aus dem Unterwasserkanal stammende Frischluft weist eine Temperatur von 4...6° C und einen relativen Feuchtigkeitsgehalt von 100 % auf, der schon bei einer Erwärmung um 5° C auf 73 % und bei 10° C auf 54 % sinkt, so dass bei dieser

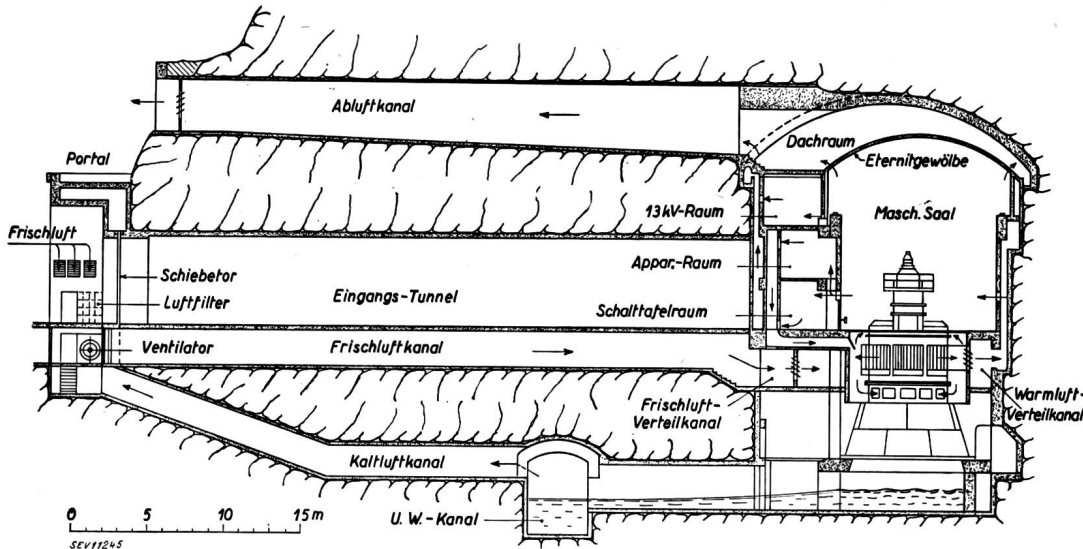


Fig. 19.
Disposition der
lufttechnischen
Anlagen
(Die einzelnen
Stollen liegen in
verschiedenen
Ebenen, wurden
jedoch der Ueber-
sicht halber alle
in die Zeichen-
ebene gelegt.)

ratur eine Heizung mit Generatorluft nötig werden sollte, wird die Heizluft durch die erwähnten Klappen in einen bergseits gelegenen Längskanal geleitet und von da durch spezielle Düsenfächer in den Maschinensaal ausgestossen. Diese Anordnung erlaubt eine gleichmässige Warmluftverteilung auf der ganzen Länge des Maschinensaaes, auch wenn nur eine Maschine im Betrieb ist. Auf der gegenüberliegenden Längswand sind über jeder Maschinenschalttafel Schlitze angeordnet, durch welche die Zirkulationsluft austreten und über einen talseits gelegenen Längskanal dem betreffenden Generator wieder zugeführt werden kann (Fig. 19).

ad. 2. Zwecks Zuführung von Frischluft in den Maschinensaal und die angrenzenden Räume wurde im nördlichen Flügel des Hauptportals eine Ventilationsanlage eingebaut. Die Frischluft wird durch einen regulierbaren Propellerventilator von max. 5 kW Leistungsbedarf an geschützter Stelle des Portalgewölbes angesaugt und durch einen Lamellenkühler je nach Bedarf abgekühlt und durch den Frischluftkanal (Niederspannungskabelkanal) zum Generatorboden gefördert, wo sie der Generator-Umluft beigemischt oder direkt in den Warmluftverteilkanal und von da durch die erwähnten Düsenfächer in den Maschinensaal ausgestossen werden kann. Die geförderte Luftmenge beträgt bei voller Drehzahl des Ventilators 25 000 m³/h, was einem ca. 2,3fachen Luftwechsel pro h entspricht. Mit dem vorhandenen Luftkühler kann die halbe

Betriebsweise auch im Hochsommer stets genügend kalte und trockene Luft zur Verfügung steht, um den klimatischen Anforderungen innerhalb des Kraftwerkes entsprechen zu können.

Die von aussen in den Maschinensaal gedrückte Frischluft wird zum Teil zur Belüftung der Nebenräume (s. ad. 3) benützt und tritt durch den Firststollen «Nord» ins Freie. Der übrige Teil der Frischluft passiert die Transformatorzellen und gelangt durch die talseitige Hohlwand in den Dachraum zwischen Eternit- und Felsgewölbe, während der restliche Teil durch die Undichtheiten der Eternitdecke über dem Maschinensaal direkt in den Dachraum entweicht und mit der Abluft aus den Transformatorzellen und dem 13-kV-Raum durch den Firststollen «Süd» wieder ins Freie ausgestossen wird (Fig. 19).

ad. 3. Sämtliche Nebenräume des Nordflügels werden durch zwei getrennte Ventilationssysteme belüftet, von denen das eine den Batterieraum und das andere alle übrigen Nebenräume erfasst. Die Ventilatoren der beiden Systeme sitzen auf der Kammer der Aufzugswinde und stossen die aus den Nebenräumen durch Eternit-Kanäle (Fig. 13) angesaugte Luft in den Firststollen «Nord» aus. Das Bureau des Kraftwerkchefs und der Essraum der Maschinisten sind mit besondern, geräuschlos laufenden Zusatzventilatoren ausgerüstet.

ad. 4. In Anbetracht der Schwierigkeit, die verschiedenen Stollen, insbesondere den Eingangstun-

nel und den Unterwasserkanal, gasdicht abzuschliessen, hat man sich darauf beschränkt, für den Fall von vergaster Aussenluft einen besondern Raum als Gasschutzraum für max. 20 Personen Fassungsvermögen auszubilden. Die aus dem Maschinensaal angesaugte Luft wird durch ein Kampfgasfilter entgast und mittels eines besondern Ventilators in den Gasschutzraum gedrückt. Die Abluft entweicht durch ein Lüftungsventil in den Schleusen- und Douchenraum und hernach über ein Ueberdruckventil in den Hohlraum der Kaverne. Ueberdruck und Luftmenge können reguliert und an Messinstrumenten jederzeit abgelesen werden. Das ausserhalb der Gasschutzkammer beschäftigte Betriebspersonal muss, solange Gasgefahr besteht, mit Gasmasken versehen sein.

Mit Ausnahme der Lüftungsanlagen im Bureau, Essraum und Gasschutzraum sind alle Ventilatoren und Klappen mit Motorantrieb von einem Zentraltableau aus bedienbar, das auch eine Fern-Temperaturanzeigevorrichtung für die in den verschiedenen Räumen angebrachten Thermometer enthält.

Die bisherigen Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass die Einhaltung der gewünschten Raumtemperatur und -feuchtigkeit in der unterirdischen Anlage mit verhältnismässig einfachen Mitteln und Manipulationen zu erreichen ist, da die klimatischen Verhältnisse im Innern der Felskaverne sehr konstant sind und von dem äussern atmosphärischen Geschehen nur wenig beeinflusst werden.

Die CO₂-Brandschutzanlage

Obwohl bei den nach den neuesten isolationstechnischen Erkenntnissen und Arbeitsmethoden gebauten Generatoren und Transformatoren ein Wicklungs- oder Ölbrand kaum je zu erwarten ist, wurde in Anbetracht des hohen Kapitalwertes dieser Anlagen und des grossen direkten und indirekten Schadens, der durch einen Brandausbruch verursacht werden könnte, von Anfang an eine automatisch wirkende Brandschutzeinrichtung eingebaut. Als Löschmittel wird flüssige Kohlensäure verwendet, welche in Stahlflaschen aufbewahrt und durch nahtlos gezogene Leitungsrohre der gefährdeten Generatorenkammer oder Transformatorzelle unter hohem Druck zugeführt wird. Während in der Anlage Handeck jedem einzelnen Generator eine CO₂-Batterie von je 6 Stahlbehältern zugeordnet ist, wurde in der Anlage Innertkirchen nur eine Haupt- und eine Reservebatterie von je 10 Stahlflaschen aufgestellt, welche über einen Zentralverteiler in das Brandobjekt entleert werden können (Fig. 20). Die Auslösung erfolgt entweder automatisch durch Protoktostaten, welche in der Nähe der Generatorenwicklung bzw. des Transformators angeordnet sind und bei einer Temperatur von 100° C ansprechen, oder aber von Hand durch Betätigung eines im Maschinentableau eingebauten, mit einem Sicherheitsglas versehenen Druckknopf-

schalters. Ferner wird der Brandschutz auch beim Ansprechen des Generatordifferentialschutzrelais zur Auslösung gebracht. Die zur Betätigung der CO₂-Ventile erforderlichen Stossmagnete sind an das 220-V-Gleichstromnetz des Kraftwerks angeschlossen. Durch periodische Wägung der einzelnen Stahlflaschen wird deren Füllung und damit die Löschbereitschaft der CO₂-Batterien kontrolliert.

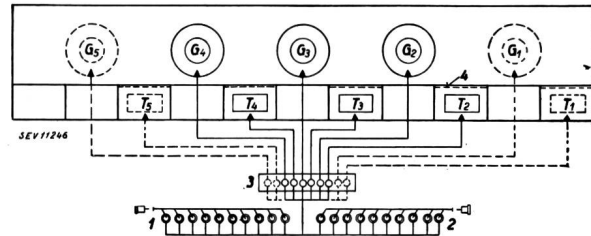


Fig. 20.

Schema der CO₂-Brandschutzeinrichtung

- G₁...G₅ Generatoren.
 T₁...T₅ Transformatoren in Zellen.
 1 Stahlflaschen: Haupt-Batterie (Stossmagnet 1000 W).
 2 Stahlflaschen: Reserve-Batterie.
 3 CO₂-Verteiler (Stossmagnete 600 W mit Ventilen).
 4 Rolladen.

Da die Generatoren Umluft-Kühlung besitzen, sind die Bedingungen für eine rasche und wirksame Löschwirkung sehr günstig. Bei den Transformatoren ist der Löschvorgang so vorgesehen, dass zuerst der normalerweise hochgezogene Panzerrolladen durch elektrische Auslösung (automatisch oder mittels Druckknopfbetätigung) der Sperrklinke herabgelassen wird — was innert 5...6 s der Fall ist —, worauf die Einspritzung der Kohlensäure in die allseitig abgeschlossene Transformatorzelle erfolgt. Ausserdem ist neben jeder Zelle ein Druckwasserhydrant zum Anschluss einer Schaumlösch-einrichtung vorhanden. Ferner besteht die Möglichkeit, den gefährdeten Transformator mittels eines Ölablass-Schiebers mit verlängerter Spindel innerhalb kürzester Zeit zu entleeren und den gesamten Ölinhalt von ca. 30 m³ in einem auf dem Turbinenboden aufgestellten eisernen Tank aufzufangen.

Wie aus vorstehenden Ausführungen hervorgeht, wurden den verschiedenen Hilfsanlagen, insbesondere den Sicherheitseinrichtungen zur Verhütung von Rauch- und Brandschäden, welche in einer unterirdischen Anlage schwerwiegende Folgen nach sich ziehen könnten, ganz besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Bei dem geringen Personalbestand von nur zwei Maschinisten pro Schicht war es ferner nicht nur nötig, dass jedes Versagen eines der Hilfsbetriebe durch Gefahrmelder optisch und akustisch angezeigt, sondern in besondern Fällen die sofortige Abstellung der gefährdeten Anlageteile selbsttätig veranlasst wird. Auf diese fernmelde-technischen Einrichtungen soll jedoch an dieser Stelle nicht näher eingetreten werden.