

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 72 (1954)
Heft: 29

Artikel: Das Innkraftwerk Simbach-Braunau
Autor: Innwerk Aktiengesellschaft
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-61223>

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: 15.01.2026

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

ren für die Berechnung z. B. aerodynamischer Beiwerte an Profilgittern und dgl., so dass man schliesslich doch das Gefühl einer in breitem Strome vorbeifliessenden Menge fleissig erarbeiteter Forschungsergebnisse bekam.

Diese Breite schwoll gelegentlich so weit an, dass einzelne Diskussionsredner die Ufer nicht mehr sahen und durch heftige Vorwärts- und Rückwärtsmanöver die Orientierung wieder zu gewinnen suchten. Die Sitzungsleiter Prof. H. E. Dickmann, Dr. C. Keller, Prof. A. Betz und Prof. W. Traupel hatten deshalb weniger Mühe, die Diskussion in Fluss zu bringen, als sie immer wieder in die Nähe des Themas zu steuern, was erfreulicherweise auch immer wieder mit leichtem Steuerdruck gelang.

Unter den gezeigten Lichtbildern verdienen diejenigen des Aerodynamischen Institutes von Prof. J. Ackeret an der ETH wegen ihrer Klarheit ein Sonderlob. Bemerkenswerte Gedankengänge über die Sekundärströmungen in rotierenden Axialturbinen trug G. Wislicenus (Baltimore) vor. Eine gute Synthese von Theorie und Beobachtung der Turbulenz bot ferner der Vortrag von J. R. Weske (Maryland).

Da eine derartige Tagung nicht nur wissenschaftlich macht und Wissensdurst stillt, sondern auch in den Teilnehmern menschliche Gefühle hervorruft, von dem Wunsche angefangen, alte Freundschaften zu erneuern, bis zum ganz gewöhnlichen materiellen Durst, der mit Löwenbräu oder Johannisberg gestillt wird, sorgten gesellige Veranstaltungen

für einen freundlich-fröhlichen Rahmen. Zwar waren sowohl der Begrüssungsabend als auch der Gesellschaftsabend im Dolder bereits vor der Zürcher Polizeistunde zu Ende, verließen dafür in bester Harmonie. Eine Abendsfahrt mit der «Linth» führte die Teilnehmer samt Damen auf den See hinaus, wobei die Stimmung an Bord keinerlei Seekrankheit aufkommen liess. Auch bei den Besichtigungen der genannten Werke sorgten gastliche Aufnahme und ein guter Tropfen im Glas für gelöste Zungen, die sich schliesslich in wohlgesetzten Trinksprüchen verströmten.

Ein dickes Bündel Institutsberichte, von denen in den Fachsitzungen nur einige besprochen werden konnten, wurde den Teilnehmern samt Inhaltsangaben der Vorträge in einem Heft, das von Dr. G. Ruppel redigiert war, überreicht, so dass sich jeder orientieren kann, was alles an Sonderproblemen in Europa heutigentags bearbeitet wird.

Dass die Wahl der Stadt Zürich als Tagungsort sich besonders werbend auswirkte, lässt die hohe Besucherzahl vermuten. Es ist zugleich Verpflichtung für die Veranstalter, den Ruf der Stadt als einen der strömungsphysikalischen Schwerpunkte zu erhalten. Die kundgetane Absicht vermehrter Aktivität im kommenden Wintersemester seitens der Maschineningenieur-Gruppe des S. I. A., deren Leitung seit der Tagung Dr. C. Keller, Escher Wyss, übergeben wurde, ist allgemein beifällig aufgenommen worden.

Dr. O. Martin, c. o. Escher Wyss AG., Zürich

Das Innkraftwerk Simbach-Braunau

Mitgeteilt von der Innwerk Aktiengesellschaft, Töging am Inn, Bayern

d) Generatoren

DK 621.29

1. Hauptdaten und Abmessungen

Fortsetzung von Seite 409

Die vier unmittelbar mit den Turbinen gekuppelten Drehstromgeneratoren weisen folgende Hauptdaten auf:

Nennleistung bei $\cos \varphi = 0,75$ induktiv	32 000 kVA
Nennleistung bei $\cos \varphi = 0$ kapazitiv	24 000 kVA
Nennspannung	10,5 kV $\pm 10\%$
Nennfrequenz	50 Hz
Drehzahl	83 $\frac{1}{2}$ U/min
Durchgangsdrehzahl	224 U/min
Schwungmoment des Polrades	8000 tm ²

Für die Bemessung der Nennleistung waren einerseits die grösste Turbinenleistung bei höchster Fallhöhe von 38 000 PS und andererseits die Blindleistungserfordernisse massgebend. Bei einem Generatorwirkungsgrad von 97 % ergibt sich eine abgegebene Höchstleistung von 27 200 kW. Die mittlere Turbinenleistung ist 32 700 PS, entsprechend 23 200 kW an den Generatorklemmen. Der Blindleistungsbedarf im Raume Simbach-Braunau ist infolge des dort befindlichen Aluminiumwerkes Ranshofen besonders hoch. Da die in diesem Raum erstellten Wasserkraftwerke beim Vollast-Sommerbetrieb in der Blindleistungserzeugung begrenzt sind und der Bezug der Blindleistung von entfernten Werken unwirtschaftlich ist, wurden die Generatoren des Kraftwerks Braunau für eine Gesamtblindleistungserzeugung von 85 000 kVA ausgelegt. Damit ergibt sich bei einer durchschnittlichen Gesamtwirkung von 96 000 kW eine Kraftwerkleistung von 128 000 kVA. Jeder der vier Generatoren wurde somit für 32 000 kVA ausgelegt.

Da die Generatoren im 100 kV-Verbundbetrieb arbeiten, die Netzspannung aber nicht immer konstant ist, ist zur Einstellung der Blindlastabgabe eine entsprechende Spannungsregelung nötig. Darüber hinaus ist der etwa 8 % betragende Spannungsabfall in den Blocktransformatoren bei Belastung mit $\cos \varphi = 0,75$ bei der Bemessung des Regelbereichs zu beachten. Um Reguliertransformatoren zu sparen, wurden die Generatoren daher für einen Spannungsregelbereich von 9420 bis 11 600 V bei gleichbleibender Leistung ausgelegt. Statorkupfer, Statoreisen und die Erregung sowie die Blocktransformatoren wurden entsprechend bemessen.

Das Schwungmoment des Polrades wurde nicht allein mit Rücksicht auf eine stabile Turbinenregelung gewählt. Bei Bemessung der Pole und des magnetisch erforderlichen Läuferjoches nach ausschliesslich elektrischen Belangen würde das Schwungmoment der vorliegenden Maschinen etwa 6000 tm² betragen. Aus regeltechnischen Gründen hätte sich ein Schwungmoment von etwa 7500 tm² ergeben. Es wurde auf

8000 tm² erhöht, um die gleichen Reguliervhältnisse zu erhalten, wie in den benachbarten parallelarbeitenden Wasserkraftwerken. Dieses Schwungmoment ergibt bei Nennleistung der Turbine von 32 700 PS eine Anlaufzeit der Maschine von rd. 6 s und eine vorübergehende Drehzahlsteigerung bei Vollentlastung von etwa 38 %.

Für die Bemessung des Generators waren damit also Leistung, Drehzahl und Schwungmoment gegeben. Ferner musste der Aussendurchmesser des Gehäuses so gross sein, dass sich eine genügend breite Auflagefläche auf dem Schachtring ergibt, dessen Lichtweite vom Durchmesser des Turbinendeckels abhängt. Der Minstdurchmesser des Polrades ergab sich daraus zu 8000 mm; es wurde aber mit Rücksicht auf die Wicklung ein Durchmesser von 8250 mm gewählt. Weiterhin war noch der Wirkungsgrad mit 97 % bei Vollast und $\cos \varphi = 0,75$ vorgeschrieben sowie eine Erwärmung der Statorwicklung um nur 60 ° C, obwohl letztere mit Isolationsklasse B vorgesehen wurde.

Der ausgeführte Generator hat folgende Abmessungen erhalten:

Bohrung	8250 mm
Eisenlänge	1500 mm
Luftspalt	8,5 mm
Nutenzahl	702 entspr. 3 $\frac{1}{4}$ Nuten je Pol u. Phase
Nutenquerschnitt	17 \times 110 mm
2 Parallelwicklungen mit 3 A/mm ² Stromdichte	

2. Konstruktion

Jeder Generator besteht im einzelnen aus dem Stator, dem Tragring, dem Hauptpolrad, dem Stator des Hilfsgenerators, dem Hilfspolrad und der oberen Tragbrücke (Bild 30). Der Ständer ruht auf Säulen am Schachtring, die mit Beton ausgegossen sind. Den oberen Abschluss bildet ein Tragstern mit neun Armen, in dem der Stator des Hilfsgenerators eingelassen ist.

Der Generator hat Umlaufkühlung. Die Luft wird von oben und unten angesaugt; oben tritt sie seitlich durch die neun Arme des Tragsternes ein, unten durch Öffnungen im Tragring. Den Abschluss nach dem Turbinenschacht bildet der Lagertragschirm, in dem die Labyrinthdichtung zur Abdichtung des Polradraumes gegen den Turbinenschacht eingebaut ist.

Das geschweisste dreiteilige Statorgehäuse enthält den aktiven Blechkörper, bestehend aus 1,7 Watt-Blechen von 0,5 Millimeter Stärke. Der Blechkörper ist der Höhe nach in 23 Pakete unterteilt, die gegeneinander durch T-Stege distan-

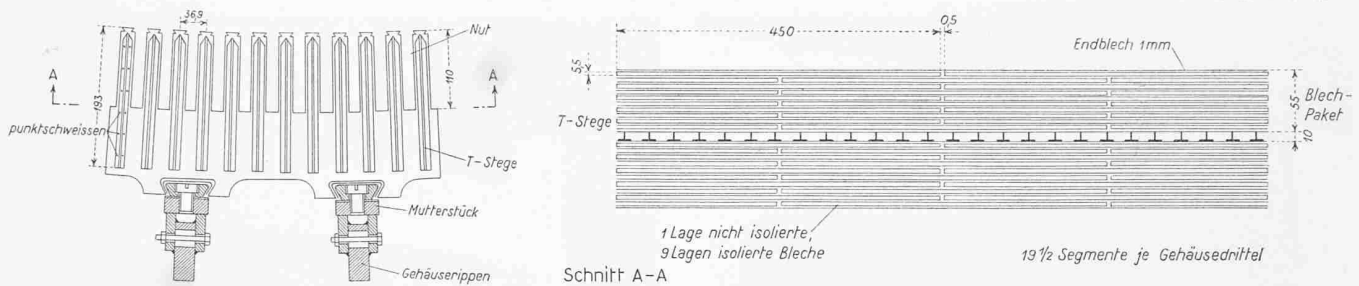


Bild 46. Blechpaket des Generatorständers, Masstab 1:10

ziert sind. Die T-Stege selbst sind durch Punktschweissung an den 1 mm starken Endblechen jedes Paketes befestigt. Jedes Paket ist horizontal von Gehäusefuge zu Gehäusefuge in $19\frac{1}{2}$ Segmente unterteilt, die überlappt im Verband geschichtet sind, wobei jedes Segment etwa 5,5 mm hoch ist. An den Stosstellen der einzelnen Segmente verbleibt ein horizontaler Zwischenraum von etwa 0,5 mm, um Wärmeausdehnungen aufzunehmen (Bild 46).

Der gesamte Blechkörper ruht unten auf unmagnetischen Druckfingern, von denen mehrere auf einer starken Platte aufgeschweisst sind. Die gleichen Druckplatten sind auch oben angeordnet; durchgehende Schrauben hinter dem Blechpaket pressen das Paket fest zusammen. Die einzelnen etwa 450 mm langen Blechsegmente werden im Statorgehäuse in zwei schwalbenschwanzförmigen Prismen aufgehängt. Da im Lieferwerk keine Karusseldrehbank zur Verfügung stand, um die im Statorgehäuse eingeschweissten Stege zur Befestigung der Schwalbenschwänze auszdrehen, wurden diese mit Hilfe einer besonderen Vorrichtung ausgerichtet, bis eine Genauigkeit von 0,2 mm erreicht wurde. Zu diesem Zweck wurden die Schwalbenschwanz-Prismen mit versenkten Schrauben an den eingeschweissten Leisten befestigt. Durch Unterlegen von Blechen zwischen den Prismen und der Leiste konnte diese hohe Genauigkeit erzielt werden.

In den 702 Nuten ist eine Zweischicht-Schleifenwicklung mit zwei Stäben je Nut und mit Wicklungsschritt 8 eingebaut. Zur Unterdrückung der Verluste in den Stäben ist der gesamte Kupferquerschnitt in Teilleiter von $4,5 \times 2$ mm unterteilt. Die Einzelleiter sind gegeneinander mit Glimmereinlagen isoliert und in dem im Eisen liegenden Teil gegeneinander verdrillt, so dass jeder Teilleiter jede Lage in der Nut einnimmt. Das Teilleiterpaket wurde vor dem Umpressen mit Mikanit mit einer Spezialfüllmasse ausgekittet, mit einem Speziallack gestrichen und dann unter hohem Druck regelrecht zusammengebacken, so dass jeder Lufteinschluss ausgeschlossen ist. Nach diesem Prozess wurden die Stäbe mit Glimmer, der mit Speziallack gebunden ist, umwickelt und mit starken, elektrisch geheizten Pressen zu einem kompakten Körper geformt. Zur Vermeidung von Glimmerscheinungen wurden die fertig isolierten Stäbe auf Blechpaketlänge mit einem leitenden Lack gestrichen. Zum Ausgleichen von Unterschieden in den Abmessungen von Nut und Stab wurde Graphitpapier eingelegt, welches längs- und querleitend ist. Am Nutenaustritt wurde die Leitfähigkeit des Belages stufenweise herabgesetzt.

Die Isolation der Spulenköpfe besteht aus mehreren Lagen Glimmerlackband, auf das zum Schutz gegen mechanische Beschädigungen noch einige Lagen Lackseidenband aufgegeben wurden. Der Stab wird durch einen Verschlusskeil aus Hartpapier fest in der Nut verkeilt, wobei Verschiedenheiten in der Höhe des Stabes durch Presspanbeilagen ausgeglichen wurden. Die Verschlusskeile sind an den Luftschlitzen des Blechpaketes ausgespart, um die Kühlluft möglichst nahe am Stab vorbeizuführen. Die Wicklung ist oben und unten durch einen Ring aus unmagnetischem Material abgestützt, indem die Wickelköpfe mit Schnurbandagen fest mit diesem Ring verbunden werden. Isolierkeile aus Hartpapier, die zwischen den Lagen mit Kordeln eingebunden sind, verhindern Deformationen bei Kurzschlüssen.

Das Polrad besteht aus einer 1150 mm hohen und 200 mm starken Stahlgussnabe mit einem unteren und einem oberen 85 mm starken Ring, an dem 16 Arme angeschraubt sind, ferner aus der Blechkette und den 72 Polen.

Die Arme mit I-Profil sind aus 30 mm starkem Grobblech zusammengeschweisst und nach dem Schweissen span-

nungsfrei gegläht. Die Uebertragung des Drehmomentes von der Nabe auf die Arme erfolgt über die bereits erwähnten geschmiedeten Ringe, von denen der untere mit der Nabe durch Passbolzen verschraubt ist, während der obere nur mit Rundstiften an der Nabe sitzt. Die Arme sind oben und unten durch 8 Passbolzen mit den Ringen verbunden. Jeder Arm hat eine Nut von 52×13 mm zur Aufnahme der Keile für die Verbindung mit der Blechkette. Nabe, Ringe und Arme wurden in der Werkstatt zusammengebaut und mittels einer Drehvorrichtung auf einem Vertikal-Bohr- und Fräswerk bearbeitet. Von der Kette selbst wurde im Lieferwerk nur eine Lage ausgelegt, um das genaue Mass der Hilfskeile für das Schichten zu erhalten. Die Blechkette ist viermal unterteilt und hat eine Gesamthöhe von etwa 1700 mm und eine radiale Stärke von etwa 300 mm. Zwischen den vier einzelnen Teilblechketten sind Blechstege von etwa 40 mm Höhe angeordnet, die als Lüfterflügel ausgebildet sind und bewirken, dass auch in der Mitte des Blechpaketes genügend Kühlluft durch den Stator geblasen wird. Die Blechkette selbst ist aus 2 mm starken Stahlblechen St. 50 zusammengebaut, die in einem Komplettschnitt gestanzt wurden, um die Abweichungen in den Löchern für die Schraubenbolzen so klein als möglich zu halten. Die Bleche werden durch viele starke Bolzen fest zusammengepresst (Bild 47).

3. Montage

Die Blechkette wurde erst im Montageaum des Kraftwerks zusammengebaut. Bild 47 zeigt den Montagezustand nach dem Schichten der ersten Lage vor dem Zusammenpressen. Zuerst wurde der Armstern zusammengebaut und statisch gewuchtet, sodann hat man die Hilfskeile zwischen der Blechkette und den Armen eingelegt. Die Bleche sind mit einer Hilfsleiste nach den Schwalbenschwänzen zur Befestigung der Pole ausgerichtet worden, die mit Schrauben gegen die Schwalbenschwänze gedrückt werden. Auf dem Bild sind die Hilfsbolzen mit Muttern zu sehen, mit denen jedes Paket vorgepresst wird. Um die genaue Höhe jedes Paketes zu sichern — die einzelnen Bleche sind ja in ihrer Stärke etwas verschieden — wird jedes Blechpaket durch dünnere Bleche ausgeglichen. Dies erfordert natürlich eine sehr sorgfältige und genaue Ueberwachung des Schichtens.

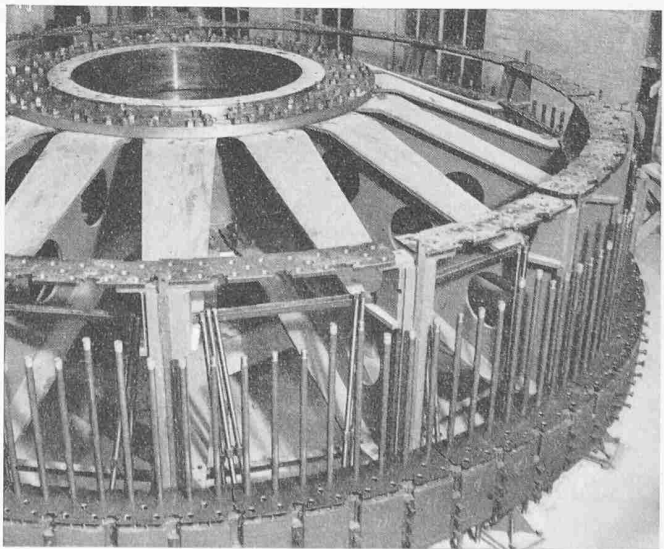


Bild 47. Schichten des Läufer-Blechpaketes

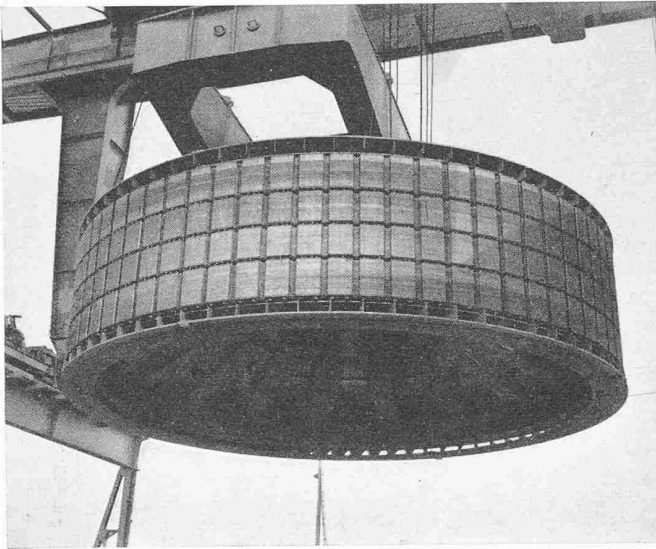


Bild 48. Läufer ohne Pole, am Kran hängend

Nach dem Zusammenbau der Blechkette wurden die Hilfskeile zwischen den Armen und der Kette entfernt und dann die Blechkette mehrere Stunden mit etwa 120 kW elektrisch induktiv aufgewärmt. Nach dem Erwärmen wurden die endgültigen Keile, die auf Mass gehobelt waren, eingesetzt. Beim Abkühlen schrumpft die Blechkette auf die Arme auf. Die Pressung auf die Arme ist so gross, dass erst bei einer Ueberdrehzahl von etwa 40 % infolge der Fliehkraft eine Lösung der Kette von den Armen eintritt. Durch das Schrumpfen wird die Kette und die Nabe 16-eckig, da ja nur 16 Auflagepunkte vorhanden sind. Die Nabe wurde daher erst nach dem Schrumpfen auf das richtige Innenmass gedreht. Die Arbeit wurde so genau durchgeführt, dass bei einem Aussendurchmesser von 7500 mm die grösste Abweichung vom Soll-Durchmesser weniger als $\frac{2}{10}$ mm beträgt, während die Bohrung vollkommen rund wird. Vor dem Aufsetzen auf die Welle wurde das Polrad auf einer Kugel austariert. Dabei hat sich an allen vier Polrädern gezeigt, dass Trierergewichte von nur etwa 20 kg (zum Ausgleich der Erregerleitung) eingeschweisst werden mussten. Um einen möglichst satten Sitz zu erreichen, wurde die Bohrung der Nabe etwa $\frac{2}{10}$ mm enger ausgedreht als der Durchmesser des Servomotorzylinders der Turbine.

Das Aufsetzen des Polrades auf die Welle ging folgendermassen vor sich: Das Polrad wurde im Montageraum um etwa 20 ° C, die Nabe um etwa 30 ° C über Aussentemperatur erwärmt. Der Servomotorzylinder wurde mit Quecksilbersalbe geschmiert und zunächst nur ein Führungskeil zwischen Nabe und Servomotorzylinder eingelegt. Das angewärmte Polrad wurde an einer Lasttraverse hängend eingefahren, wobei an die Arbeitsgenauigkeit der beiden Krane grosse Anforderungen gestellt werden mussten (Bild 48). Die beiden Krane können nur das Polradgewicht ohne Pole tragen, die Pole mussten daher erst nach dem Aufsetzen des Polrades eingebaut werden. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich Pole mit gleichen Gewichten immer um 180 ° gegenüberstehen.

Die Pole bestehen aus den Polspulen und dem aus gestanzten Eisenblechen zusammengeschraubten Polkörper. Sie werden über Schwalbenschwänze, die von hinten gekeilt werden, mit der Blechkette verbunden. Die auf einen Pol wirkende Fliehkraft beträgt bei der Durchgangsdrehzahl 153 t, bei einem Gewicht eines Poles von etwa 720 kg. Durch die Fliehkraft werden also die Keile entlastet und der Pol legt sich satt an den Schwalbenschwanz an. Um gute Auflageflächen zu bekommen, wurden die Schwalbenschwänze der Blechkette geräumt.

Die einlagigen Polspulen mit 25 Windungen aus Kupferband 50 × 5 mm mit Zwischenlagen aus bakelisiertem Asbest zwischen den einzelnen Windungen sind zu einem Festkörper zusammengebacken und als Rippenspulen ausgeführt, wobei jede zweite Windung um einige Millimeter vorsteht, um eine möglichst gute Abkühlung zu erzielen. Bei Nennspannung teilt sich die Gesamt-Ampere-Windungszahl von rd. 8500 wie folgt auf: Joch etwa 1,2 %, Pol 8,3 %, Statorrücken 1,2 %, Zähne 13,3 %, Luftspalt 76 %. In die lamellierten Polschuhe

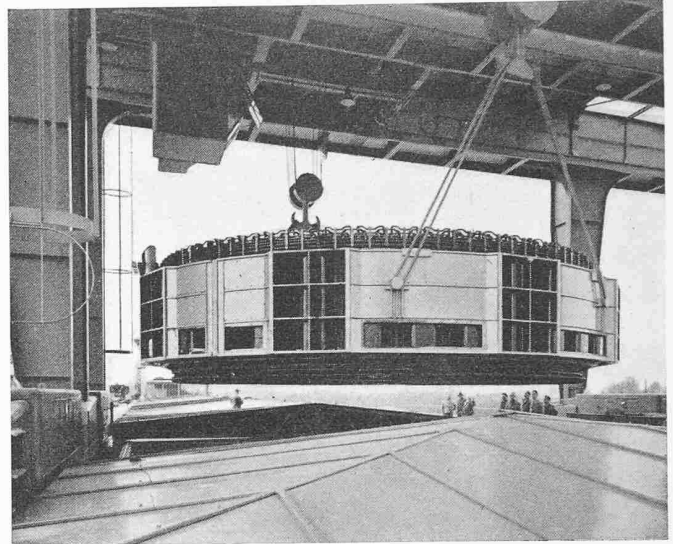


Bild 49. Einsetzen des Generatorstators

ist pro Pol eine aus sechs Rundkupferleitern von 14 mm Durchmesser bestehende Dämpferwicklung eingebaut. Zur Vermeidung von Nutenoberwellen sind die Polschuhe verschieden breit.

Der nach Montage und Ausrichtung des Stators gemessene Luftspalt betrug im Mittel 8,5 mm und wechselte nur um ± 4 %, was auf sehr genaue Bearbeitung in der Fabrik und gute Montage zurückzuführen ist. Beim Ausrichten des Stators wurde die Turbinenwelle, die im Führungslager ein Spiel von etwa 0,4 mm (Durchmesserdifferenz) hat, genau in die Lagermitte gestellt. Sodann wurde das Polrad um 90 °, 180 ° und 270 ° gedreht, die Welle wieder in die Mitte gesetzt und der Luftspalt nochmals gemessen. Nur auf diese Weise ist es möglich, den durch die Exzentrizität hervorgerufenen ungleichmässigen magnetischen Zug auf ein Mindestmass herabzusetzen. Der obere Armstern trägt auf seinen neun Armen die Abdeckung und den Hilfs-Synchrongenerator für den schnellaufenden Erregerumformer. Dieser Generator ist für 550 kVA dauernd und 750 kVA kurzzeitig bemessen.

Das Gesamtgewicht eines Generators beträgt rd. 270 t, davon entfallen auf das Polrad rd. 160 t, auf den Stator rd. 90 t, auf die obere Brücke mit Abdeckungen rd. 20 t. Es wurden folgende elektrische Daten des Generators gemessen:

Widerstand der Ständerwicklung pro Phase bei 15 ° C	0,0175 Ohm
Widerstand der Läuferwicklung bei 15 ° C	0,421 Ohm
Streuspannung der Ständerwicklung	11,5 %
Streuspannung der Läuferwicklung	16,5 %
Synchrone Reaktanz bezogen auf die gesättigte Maschine	80 %
Leerlauf-Zeitkonstante der Polradwicklung rd.	3,1 s
Höchste Induktion im Zahn	16 500 Gauss
Höchste Induktion im Ständerücken	12 200 Gauss

4. Erregermaschinen

Für die Anordnung und Auslegung der Erregermaschine waren zur Aufrechterhaltung der Stabilität folgende Forderungen zu erfüllen: Möglichst hohe Erregergeschwindigkeit, also eine magnetische Zeitkonstante von etwa 0,8 s, eine Uebererregung um 40 % über Vollasterergerstrom, eine Spannungsreserve in solcher Höhe, dass auch bei 40 Perioden, die bei Netzzusammenbrüchen vorkommen können, der Vollasterergerstrom noch annähernd erreicht wird, schliesslich eine stabile Regelung beim Hochfahren von langen 110 bzw. 220 kV-Freileitungen.

Diese Forderung kann nur eine schnellaufende Haupterregermaschine erfüllen, die von einer Hilfsrerregermaschine fremderregt wird. Auch lässt sich beim Schirmgenerator ohne Lager über dem Polrad eine Haupt- und Hilfsrerregermaschine schon aus mechanischen Gründen schlecht aufbauen. Man hätte nun (ähnlich wie bei der klassischen Anordnung von Vargön in Schweden und bei vier Kraftwerken am Inn) den Erregersatz über ein Getriebe von der Maschinenwelle aus antreiben können. Es hat sich jedoch her-

ausgestellt, dass ein Stirnkegelradergetriebe für eine Leistung von 400 kW sehr teuer wird. Auch hätte die Lage des Abtriebs von der Hauptwelle eine ungünstige Aufstellung der Erregermaschine ergeben. Daher wurde ein getrennter Erregerumformersatz aufgestellt.

In den bisher ausgeführten Anlagen mit Erregerumformern werden deren Motoren vom Hauptgenerator über Transformatoren gespeist und zur Stützung der Spannung bei Kurzschlüssen zusätzliche Stromtransformatoren verwendet, die im Kurzschlussfalle eine Zusatz-Spannung für den Motor erzeugen. Bei dieser Anordnung muss man beim Trocknen des Generators im Kurzschluss sowie beim Hochfahren von Freileitungen von Spannung Null aus den Erregerumformer von einer fremden Stromquelle speisen. Diese Nachteile sind behoben, wenn man den Erregerumformer durch einen besonderen Hilfsgenerator mit einem auf der Hauptmaschinenwelle angeordneten Polrad speist. An diesen Hilfsgenerator können ausserdem noch die wichtigsten Eigenbedarfsmotoren angeschlossen werden.

Im Schaltbild 50 ist diese Anordnung dargestellt. Zum Anfahren des Umformers wird der Drehstrom-Hilfsgenerator mit einer Leistung von 5 kW aus der Stationsbatterie erregt und nach dem Hochlaufen des Umformers und Abschalten der Batterieerregung der Entregungsschalter eingelegt. Oszillographisch wurde festgestellt, dass der Erregerumformer in etwa 10 s auf Nenndrehzahl hochläuft.

Zur automatischen Regelung der Spannung des Hauptgenerators ist ein Hochleistungsregler in Potentiometerschaltung eingebaut, der auch negative Erregung auf das Hauptpolrad zu geben gestattet. Die Spannung der Hilfserrergmaschine, die Eigenerrregung hat, wird durch einen Kleinregler konstant gehalten. Die Spannung des Hilfssynchrongenerators, der ja nicht geregelt wird, ändert sich genau mit der Maschinendrehzahl; sie ist wegen des sehr grossen Luftspaltes praktisch unabhängig von der Belastung.

Oszillogramme bei Abschaltversuchen mit vollem Erregerstrom und voller Leistung haben ergeben, dass auch bei Drehzahlanstieg der Turbine und des Erregerumformers um 50 % die Spannung um nicht mehr als etwa 18–20 % ansteigt, und zwar nur etwa 0,25 s lang nach dem Abschaltmoment. Dieser kurzzeitige Spannungsanstieg ist auf die Grösse der transienten Reaktanz zurückzuführen.

Für die Entregung von Haupt- und Hilfsgenerator ist eine Widerstandskombination im Polradkreis eingebaut, die so bemessen ist, dass bei Entregung von Vollast die Spannungsspitze an der Polwicklung nicht mehr als 700 V beträgt. Die endgültige Einstellung der Widerstände erfolgte bei der Inbetriebnahme mit Hilfe des Oszillographen. Das Abklingen der Spannung auf 10 % des Nennwertes bei Entregung dauert etwa 2,8 Sekunden.

Die Generatoren besitzen Ringlaufkühlung mit acht am Statorrücken angebauten wassergespeisten Röhrenkühlern. Ausser diesen Kühlern sind bei zwei Generatoren am Statorrücken noch sogenannte «Wärmeaustauscher» angebaut, in denen das für die Raumheizung benutzte Umlaufwasser durch die Generatorwarmluft erwärmt wird.

e) Transformatoren, Schaltanlagen und Schutzeinrichtungen

1. Transformatoren

Jeder Generator ist mit einem in der Freiluftanlage stehenden Blocktransformator von 32 MVA fest gekuppelt. Diese Transformatoren sind für folgende Daten ausgelegt:

Leistung bei 10,5 kV $\pm 10\%$	32 MVA
Uebersetzungsverhältnis im Leerlauf	10,5/110 kV
Schaltung: Unterspannung	Dreieck
Oberspannung	Stern m. herausgeführten Nullpunkt
Schaltgruppe	Yd5
Kurzschlussspannung	12,5 %
Eisenverluste	45 kW
Kupferverluste	162 kW
Spannungsabfall bei $\cos \varphi = 0,8$ u. Vollast	8,39 %
Eigener Blindleistungsbedarf bei $\cos \varphi = 0,8$ und Vollast	4710 kVar.

Auf der Oberspannungsseite ist bei jedem Transformator ein dreipoliger Anzapfschalter für $\pm 5\%$ eingebaut, um etwaige grössere Spannungsänderungen ausgleichen zu können. Dieser Schalter kann im spannungslosen Zustand mit einem Antriebsgestänge vom Boden aus betätigt werden. Die Trans-

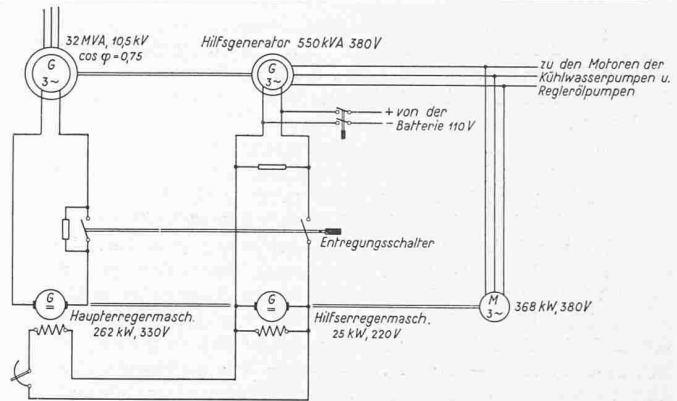


Bild 50. Prinzipielles Schaltschema der Erregung

formatoren haben OS/OF-Kühlung, d. h. sie können bis 60 % ihrer Nennleistung ohne Lüfter betrieben werden, darüber hinaus werden die 18 Lüfter eingeschaltet. Das Transportgewicht eines Transformators ohne Radiatoren und ohne Durchführung beträgt 56 t, sein Gesamtgewicht 66 t. An zusätzlichen Apparaten sind Buchholzschutz, Luftentfeuchter und Temperaturmessgeräte bzw. Gefahrmelder eingebaut. Ferner ist zur Feuerlöschung an jedem Transformator eine Wasserberieselungsanlage vorhanden, die von der Warte aus und am Transformator selbst eingeschaltet werden kann (Bild 52).

Der Bemessung der Eigenbedarfstransformatoren liegen folgende Gegebenheiten zugrunde: Die Eigenbedarfsanlage hat einerseits die innerhalb des Kraftwerks befindlichen zahlreichen Antriebe für Pumpen, Kompressoren, Lüfter, Wehrschützen, Rechenreinigungsmaschinen und Krane sowie die Beleuchtung zu speisen und andererseits die vier im Staugebiet liegenden Pumpstationen zu versorgen. Die installierte Leistung des inneren Eigenbedarfs beträgt etwa 1800 kW und die der Pumpstationen etwa 2450 kW. Da der wirkliche Leistungsbedarf der über ein 20 kV-Ringnetz gespeisten Pumpstationen den inneren Eigenbedarf des Kraftwerks beträchtlich überwiegt und da ferner die Reserve-Einspeisung für den Eigenbedarf von benachbarten Innkraftwerken nur über das 20 kV-Netz erfolgt, sind die beiden Eigenbedarfs-Haupttransformatoren von je 2,2 MVA für eine Uebersetzung von 10,5 kV $\pm 12\%$ auf 20 kV ausgelegt (Bild 51).

Die dem inneren Eigenbedarf dienende 380 V-Hauptverteilung wird über zwei Transformatoren von je 1,2 MVA mit Uebersetzung 20 kV $\pm 11\%$ / 0,4 kV gespeist. Je einer der Eigenbedarfstransformatoren stellt eine betriebsbereite Reserve dar. Alle Eigenbedarfstransformatoren sind mit Buchholzschutz, Thermometern und Gefahrmeldern ausgerüstet.

2. Schaltanlagen

Die Schaltanlagen umfassen vier Drehstrom-Systeme und zwar:

Für die Maschinenspannung	10,5 kV
Für die Eigenbedarfsspannung	0,4 kV
Für die Eigenbedarfsspannung	20 kV
Für die Abnehmerspannung	110 kV.

Bild 51 zeigt das Schema der Schaltanlagen. Die 10,5 kV-Anlage ist in sechs Zellen untergebracht. Für jeden Generator sind drei Spannungswandler, Uebersetzungsverhältnis

$\frac{10\,000/\sqrt{3}}{100/\sqrt{3}}$ mit einer Genauigkeit von $\pm 0,2\%$ für Messung

und Zählung, zwei Spannungswandler mit einer Uebersetzung 10 000/100 V für den BBC-Hochleistungsregler und die Erdschlusstransformatoren mit verlagertem Nullpunkt für den Generatorerdschlusschutz eingebaut. Ferner enthalten die 10 kV-Generatorzellen die Stromwandler für die Abzweige nach den Eigenbedarfstransformatoren für den dreibeinigen Differentialschutz. Sie sind nötig, da der Differentialschutz für die Generatoren und Blocktransformatoren gemeinsam ist; es werden also die Ströme im Nullpunkt des Generators und die Ströme auf der 110 kV-Seite des Transformators miteinander verglichen, wobei der in den Stromwandlern nach dem Eigenbedarfstransformator fliessende Strom vom Strom im Generatornullpunkt abgezogen wird.

Für die Eigenbedarfstransformatoren sind Expansionschalter mit 400 MVA-Abschaltleistung eingebaut, die gegeneinander verriegelt sind, so dass nur ein Transformator ein-

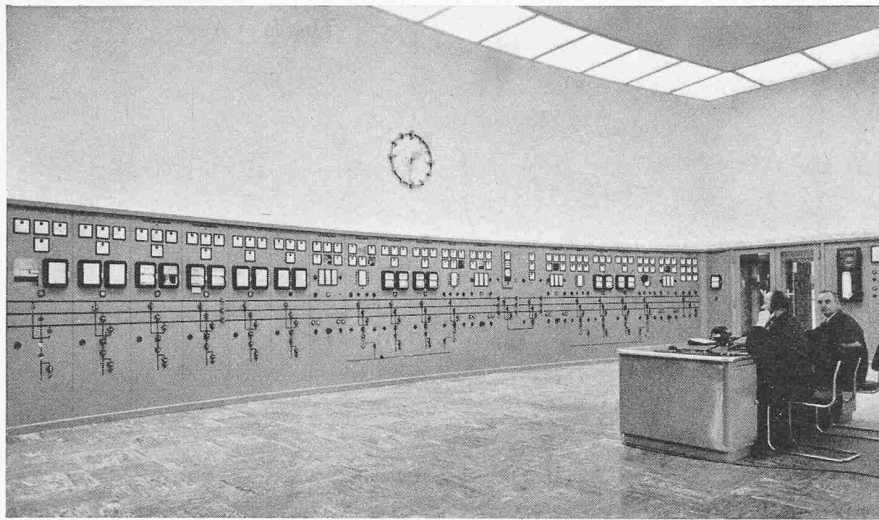


Bild 53. Schaltwarte mit Haupttafeln

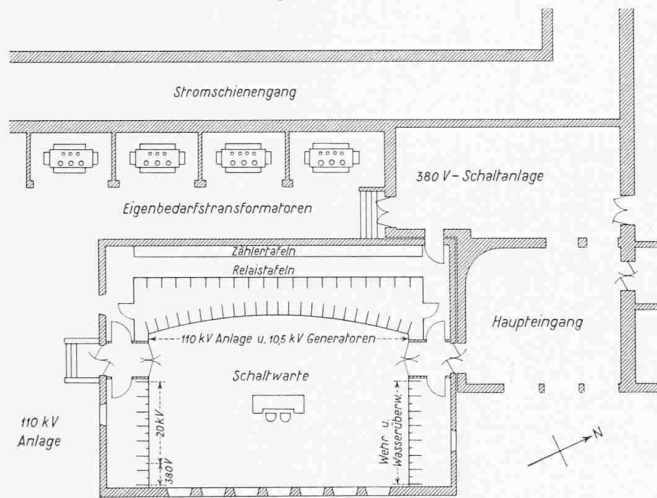


Bild 54. Grundriss der Schaltwarte, Masstab 1:400

baut. Die Sammelschienen-trennschalter sind in der bekannten «Kiellinienbauweise», also parallel zu den Sammelschienen angeordnet.

Die Druckluft-Leistungsschalter haben ein Abschaltvermögen von 2500 MVA und arbeiten mit drei in Reihe geschalteten Löschkammern mit Potentialsteuerung durch Kondensatoren. Zur Vermeidung von Ueberspannungen beim Abschalten ist bei den 110 kV-Leistungsschaltern ein spannungsabhängiger Widerstand eingebaut, der vor der endgültigen Unterbrechung eingelegt wird. Die einander zugeordneten Leistungs- und Trennschalter sind über ein Druckluftsteuergerät gegeneinander verriegelt.

Die Transformatoren und Leitungsfelder sind ausgerüstet mit drei primärseitig umschaltbaren Stromwandlern 100/200/400/1 A mit drei Sekundärkernen für Zählung, Messung und Schutz. Der Kuppelschalter gestattet sowohl eine Längskupp-

lung der beiden Dreifach-Sammelschienenhälften miteinander, als auch eine Querkupplung der drei Systeme. Der Kuppelschalter wird nach beendetem Kupplungsvorgang wieder frei, so dass er für verschiedene Schaltdispositionen nacheinander verwendet werden kann.

Sämtliche Schalter und Wandler sind auf 2 m hohen eisernen Tischen aufgestellt, so dass alle wichtigen Teile und Sekundäranschlüsse auch während des Betriebs zugänglich sind. Für die Erzeugung der Druckluft sind im Schalt-haus zwei selbsttätig schaltende Kompressoren mit einer Förderleistung von 33 m³/h bei 30 atü eingebaut. Von dem 25 atü-Hauptring wird für die Leistungsschalter die Luft über selbsttätige Reduzierventile mit 15 atü und für die übrigen Schalter mit 4,5 atü entnommen. Die Kupfer-Druckluftleitungen sind gemeinsam mit den Steuer-,

Schutz- und Messkabeln, welche Kunststoffisolation mit Bleimantel und Eisenbandbewehrung besitzen, in einem begehbaren Hauptkabelkanal bzw. in abdeckbaren Betonkanälen verlegt.

3. Schaltwarte

In der im Obergeschoss des Schalthauses befindlichen Schaltwarte sind alle für Betriebsführung und Ueberwachung der elektrischen Anlagen notwendigen Instrumente, Signal- und Betätigungsorgane sowie alle Relais und Zähler für die Generatoren, Transformatoren und Freileitungen untergebracht. Die Instrumente und Steuergeräte sind ausschliesslich auf Tafeln in Verbindung mit einem Blindschaltbild eingebaut, so dass von dem in Raummitte stehenden Schreibtisch eine gute Uebersicht gegeben ist (Bild 53). Im Mittelteil der Wartetafel sind die Felder für die Generatoren, Transformatoren und 100 kV-Leitungen enthalten, während die Felder für die 380 V- und 20 kV-Eigenbedarfsschaltanlagen, sowie für die Wehrsteuerung und Pegelanlage in den Seitenflügeln untergebracht sind, Bild 54.

Die Instrumentierung der Tafelfelder für Transformatoren, Generatoren und Freileitungen umfasst die üblichen Anzeige- und Schreibgeräte, Steuerquittungsschalter und Leuchttafeln für Schutz- und Kommandoeinrichtung. Darüber hinaus ist auf der Generatortafel ein Anzeigegerät für die Öffnungsbegrenzung eingebaut, aus welchem zu ersehen ist, ob die Regulierung der Turbinen an der Drehzahlverstellung oder an der Öffnungsbegrenzung hängt.

Die Wehrbedienungs-felder enthalten ausser den Steuerdruckknöpfen für Ober- und Unterschlüssen die Schützenstellungsanzeiger. Der elektrische Fernpegel registriert den Ober- und Unterwasserstand und zeigt mittels eines Zahlenrollenwerkes die jeweiligen Wasserstände sowie die Fallhöhe an; Meldelämpchen lassen erkennen, ob der Oberwasserspiegel steigende oder fallende Tendenz hat.

4. Schutzeinrichtungen

Die Schutzrelais für Generatoren, Transformatoren und Leitungen sind in einer besonderen, hinter der Steuertafel befindlichen Relais-tafel zusammengefasst. Der Generatorschutz umfasst im wesentlichen den Differentialschutz, den gestuften Spannungssteigerungsschutz (25 % Ueberspannung 0,5 s, 50 % Ueberspannung 0 s), den hundertprozentigen Ständer-erdschlusschutz und den Ueberstromschutz mittels Distanzrelais. Das Distanzrelais ermöglicht kurzfristige Abschaltung bei Kurzschlüssen auf der 10 kV-Seite und auf der 100 kV-Sammelschiene der

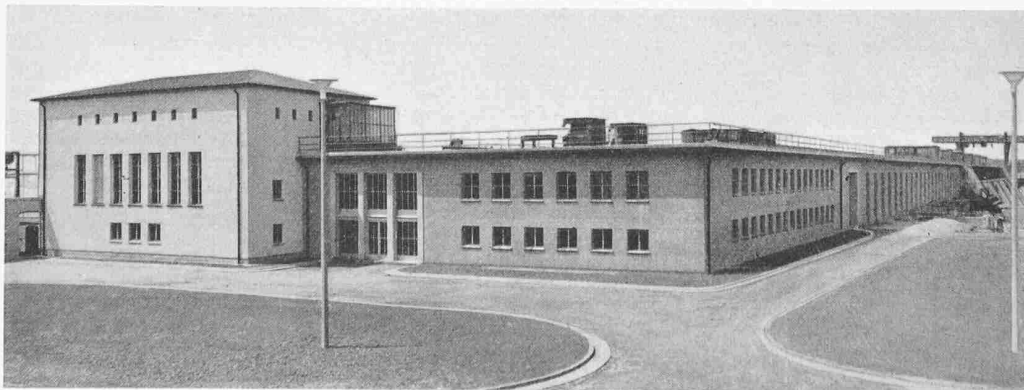


Bild 55. Schaltheis (links) und Krafthausanbau

Tabelle 2. Wirkungsschema der elektrischen Abschaltungen und Meldungen von Turbine und Generator

		Schutzart	Es spricht an:	Ausgelöst wird:										
			Schutzeinrichtung	Leistungs- schalter	Entregungs- schalter	Schnell- schluss	Lauf-rad- notschluss	Hupe Warte	opt. Meldung Warte	Hupe Krafthaus	Leuchtwürfel Krafthaus	opt. Meldung Krafthaus	Lampe an Turb.-Reg.	
Elektrisch	Abschaltungen	Differential-Schutz Ständererdschluss-Schutz Ueberstrom Generator Spannungssteigerung Generator Spannungssteigerung Generator Nottaste Warte Ueberstrom Hilfsgenerator Spg. Steigerung Hilfsgen. Ueberdrehz. Erregerumformer Unterdrehz. Erregerumformer	Differentialrelais Erdschlussrelais Schnelldistanzrelais Spg. Steigerungsrel. 1,25 U _n Spg. Steigerungsrel. 1,5 U _n Nottaste Warte Ueberstromrelais Spannungssteigerungsrelais Fliehkraftschalter Fliehkraftschalter	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		
	Meldungen	Schutzspannung fehlt Pendelspannung fehlt Schieflast Läufererdschluss Schnellregler Oelunterdruck	Spannungsrelais Spannungsrelais Schieflastrelais Läufererdschlussrelais Mindestdruckrelais					○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○		○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○		
Mechanisch	Abschaltungen	Schnellschluss von Hand Spurlager Uebertemperatur ob. Führungslager, Uebertemp. Ueberdrehzahl Turbine Betr. Windkessel Unterdruck Lauftradnotschluss von Hand Nottaste Krafthaus Vorst.-Oel Unterdr. ü. Entr. Sch.	Drucksch. Vollzugsmeldung 3 Kontakttherm. parallel Kontaktthermometer Sicherheitspendel Druckschalter Druckschalter Nottaste Krafthaus Drucksch. d. Vorst. Oelpumpe	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		
	Meldungen	Notwindkessel Unterdruck Kühlwasserströmung ob. Führungslag. Ueb. Temp. Spurlager Uebertemperatur Generator Uebertemperatur Leitradriegel	Druckschalter Strömungswächter Kontaktthermometer 3 Kontaktther. parallel Kontaktthermometer Endschalter					○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○	

○ = Meldung, bzw. Abschaltung erfolgt unverzüglich

× = Meldung, bzw. Abschaltung erfolgt verzögert

Anlage. Für Erdschluss im Polradkreis ist ein Melderelais vorgesehen. Der Hilfssynchrongenerator ist durch ein Ueberstromrelais und ein Ueberspannungsrelais geschützt, während der Erregerumformer einen Fliehkraftschalter zur Abschaltung bei Ueberdrehzahl besitzt. Umfang und Wirkungsweise des Generator- und Transformatorschutzes sowie der Turbinenüberwachungseinrichtungen sind auf Tabelle 2 zusammengestellt.

Die 100 kV-Freileitungen werden durch einen Schnellimpedanzschutz mit Unterimpedanzenerregung und Schnellpendelsperre geschützt, wobei die erste Staffelzeit für einen Kurzschluss in einer Entfernung von 80 % der Länge der

Freileitung bis zum nächsten Kraftwerk den Leistungsschalter in 0,2 s auslöst. Es wurde Unterimpedanzenerregung eingebaut, weil im Winterbetrieb, also bei kleiner Wasserführung, die Kurzschlussstromstärke möglicherweise nicht ausreicht, um den Schutz bei Ueberstrom-Anregung ansprechen zu lassen.

Das Ansprechen eines Schutzes wird in jedem Falle optisch durch Leuchtfelder auf der Schalttafel und akustisch durch eine Störungshupe angezeigt. Die Synchronisierung der vier Hauptgeneratoren mit den 110 kV-Sammelschienen bzw. mit den ankommenden 100 kV-Leitungen kann sowohl durch Handsteuerung als auch selbsttätig erfolgen, wobei Spannung und Frequenz von Hand eingeregelt werden müssen.

Fortsetzung folgt

MITTEILUNGEN

Rekorde der amerikanischen Erdölindustrie. Im vergangenen Jahr hat die amerikanische Erdölindustrie und -wirtschaft eine Reihe von Höchstleistungen vollbracht. Der *Tiefbohrrekord* wurde um 300 m auf 6550 m gesteigert. Californien, das im ganzen 18 Tiefbohrrekorde erzielt hat, ist es gelungen, diesen Rekord wieder an sich zu bringen. Die tiefste noch im Abteufen begriffene Bohrung gehört der Ohio Oil Co. und liegt im Paloma-Feld in Kern County. Der Rekord der tiefsten Produktionsbohrung wurde im vergangenen Jahr dreimal gebrochen. Von 1949 bis 1953 ist das Produktionsniveau um 750 m auf 5500 m vertieft worden. Rekordinhaber ist die Bohrung Coles Levec der Richfield Oil Corp. im North Field, Californien. Innerhalb von 25 Jahren ist der Produktionsbohrrekord mehr als verdoppelt worden. Jedoch ist wenig wahrscheinlich, dass die Steigerung weiterhin in diesem Masse anhält, da die Gesteinsporen sich unter dem hohen Drucke schliessen. Im Jahre 1953 wurden 49 500 Oelbohrungen aus-

geführt. Die Gesamtbohrmeterleistungen erreichten 60 Mio m. Davon entfielen auf Texas allein 25 Mio m. Die Zahl der Explorationsbohrungen belief sich auf 9400; 2300 waren produktiv. Die Erfolgsrate konnte im vergangenen Jahr von 17,7 % auf 19,8 % erhöht werden. Im ganzen wurden 1080 neue Oelfelder entdeckt, was einen Rekord darstellt. In den bestehenden Oelfeldern erschloss man 380 neue Oelhorizonte. Als 28ster ist Nord-Dakota in die Reihe der ölproduzierenden Staaten eingetreten. Zu den Bohrerfolgen hat die geophysikalische Forschung wesentlich beigetragen. Im ganzen waren 700 geophysikalische Trupps tätig, wovon allein 625 seismische Untersuchungen durchführten. Als aussichtsreiche Explorationsgebiete werden die Rocky Mountain-Region und die Küstenzonen betrachtet. Die Zahl der ölproduzierenden Brunnen hat zum erstenmal 500 000 überschritten. Der mittlere Tagesertrag belief sich auf rd. 2 t. Oelproduktion und Oelreserven, 328 Mio t und 4,1 Milliarden t, blieben ziemlich