Zeitschrift: Schweizerische Wasserwirtschaft : Zeitschrift für Wasserrecht, Wasserbautechnik, Wasserkraftnutzung, Schiffahrt

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 17 (1925)

Heft: 10

Artikel: Ueber die Automatisierung von hydro-elektrischen Zentralen

Autor: Puppikofer, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-920405

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: 24.08.2025

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

SCHWEIZERISCHE WASSERWIRTSCHAFT

Offizielles Organ des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, sowie der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt .·.·.·. Allgemeines Publikationsmittel des Nordostschweizerischen Verbandes für die Schiffahrt Rhein-Bodensee

ZEITSCHRIFT FÜR WASSERRECHT, WASSERBAUTECHNIK WASSERKRAFTNUTZUNG, SCHIFFAHRT

Gegründet von Dr. O. WETTSTEIN unter Mitwirkung von a. Prof. HILGARD in ZÜRICH und Ingenieur R. GELPKE in BASEL

Verantwortlich für die Redaktion: Ing. A. HÄRRY, Sekretär des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, in ZÜRICH 1
Telephon Selnau 3111 .·.·.·. Telegramm-Adresse: Wasserverband Zürich.

Alleinige Inseraten-Annahme durch:
SCHWEIZER-ANNONCEN A. G. - ZÜRICH
Bahnhofstrasse 100 — Telephon: Selnau 5506
und übrige Filialen.
Insertionspreis: Annoncen 40 Cts., Reklamen Fr. 1.—
Vorzugsseiten nach Spezialtarif

Administration und Druck in Zürich 1, Peterstrasse 10
Telephon: Selnau 224
Erscheint monatlich
Abonnementspreis Fr. 18.— jährlich und Fr. 9.— halbjährlich
für das Ausland Fr. 3.— Portozuschlag
Einzelne Nummern von der Administration zu beziehen Fr. 1.50 plus Porto.

No. 10 **ZÜRICH, 25. Oktober 1925** **XVII. Jahrgang**

Inhaltsverzeichnis:

Über die Automatisierung von hydro-elektrischen Zentralen - Theorie und Konstantenbestimmung des hydrometrischen Flügels - Die Wasserstandsverhältnisse im Winter 1925/26 - Gasversorgung und Elektrizitätsversorgung - Aus dem Geschäftsbericht der Schweizerischen Bundesbahnen für das Jahr 1924 - Wasserkraftausnutzung - Wasserbau und Flußkorrektionen - Energiewirtschaft - Mitteilungen des Rheinverbandes - Verschiedene Mitteilungen - Tabelle der den Bundesbehörden gemäß Bundesgesetz über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte zur Prüfung eingereichten, bezw. der von diesen Behörden genehmigten Konzessionsgesuche - Schiffahrt - Geschäftliche Mitteilungen - Literatur - Kohlen- und Oelpreise.

Ueber die Automatisierung von hydro-elektrischen Zentralen.

H. Puppikofer, dipl. ing., Baden.

Beim Betriebe von hydro-elektrischen Kraftwerken machen die Betriebslöhne einen wesentlichen Bestandteil der Betriebsausgaben aus. Je geringer die Anlagekosten sind, und je kleiner die Leistung der Anlage ist, umso größer wird der prozentuale Anteil der Löhne an den gesamten Betriebskosten. Das Bedürfnis nach möglichster Einsparung der Betriebslöhne führt die Werksleiter aller Länder immer mehr dazu, die Automatisierung ihrer bestehenden oder projektierten Zentralen zu studieren. Gleichzeitig macht sich auch allgemein eine andere Entwicklung bemerkbar. Die rasch fortschreitende Elektrifikation in Industrie, Haushalt und Gewerbe macht die Ausnützung weiterer Wasserkräfte zur Notwendigkeit. In Ländern, die ähnliche Wasserverhältnisse haben wie die Schweiz, sucht man durch den Bau möglichst großer Akkumulierbecken einen Ausgleich zwischen Sommer- und Winterwasserführung zu schaffen. Dieses zweifellos richtige Vorgehen hat lediglich den Nachteil, daß es zur Durchführung der umfassenden Bauarbeiten sehr großer Kapitalien bedarf, was speziell in Ländern, deren Valuta sich noch nicht stabilisiert haben, stark fühlbar wird. Man geht daher dort auch an den Ausbau der kleineren Wasserkräfte mit günstiger Wasserführung. Der hohen Kosten des wasserbaulichen Teiles wegen wird man in den meisten Fällen von der hydraulischen Akkumulierung absehen müssen. Es wird sich daher fast durchwegs um Zusatzwerke handeln, die dauernd und mit möglichst konstanter Leistung arbeiten, d. h. trotz ihrer eventuellen Kleinheit um eigentliche Grundbelastungswerke. Bei diesen kann nun die Forderung möglichst geringer Betriebsausgaben am besten und am einfachsten durch die völlige Automatisierung erfüllt werden.

Das Verlangen nach Automatisierung der elektrischen Anlagen ist naturgemäß zuerst bei den Sekundär-Stationen: Unterstationen, Umformerstationen etc. aufgetreten. Der Anstoß hierzu ging von Amerika aus, das von jeher die höchsten Löhne aufwies. Doch auch die Schweizer-Industrie ist hier bahnbrechend vorangegangen. Die erste automatische Umformerstation auf dem Kontinente wurde im Jahre 1919 von der A.-G. Brown Boveri & Cie. Baden für das Elektrizitätswerk der Stadt Basel gebaut. Die Station steht in Riehen bei Basel und dient der Versorgung der Tramlinie Basel-Lörrach mit Gleichstrom, der dort aus

dem zugeführten 6000 Volt-Drehstrom durch einen Einankerumformer umgeformt wird. Diese Anlage steht nun seit mehr als fünf Jahren zur Zufriedenheit der Besteller im Betrieb. Seither sind von derselben Firma eine ganze Reihe anderer automatischer Umformerstationen, sowohl mit rotierenden Umformern als auch mit Gleichrichtern ausgerüstet, in den verschiedensten Ländern ausgeführt worden. Alle diese Erfolge gaben den interessierten Kreisen das Vertrauen, um auch an die Automatisierung der Primärstationen, speziell der hydro-elektrischen Zentralen heranzugehen. Die Konstruktionen der Maschinen und Apparate sind heute so betriebsicher geworden, daß man eine automatische Zentrale ohne Bedenken sich selbst überlassen kann. Alle für die Automatisierung zur Verwendung gelangenden Apparate und Relais sind längst bewährter Bauart; es handelt sich also nicht um neue unausprobierte Organe, sondern um die zweckmäßige Schaltung bekannter Konstruktionen. Das haben natürlich die schnell entschlossenen Amerikaner zuerst erkannt. Diese besitzen schon automatische Zentralen mit Einheiten von über 7000 kVA. Diese rasche Entwicklung in Amerika ist, abgesehen vom bekannten amerikanischen Wagemut, auch auf die besonderen dortigen Verhältnisse zurückzuführen. Die bereits erwähnten hohen amerikanischen Löhne und die oft sehr großen Entfernungen der Zentralen von den bewohnten Gegenden haben dort den Vorteil der Automatisierung früher erkennen lassen. Europa ist nachgefolgt, doch haben die gedrückten wirtschaftlichen Verhältnisse der Nachkriegszeit auch überall im alten Kontinent das Interesse für den automatischen Betrieb geweckt. Unsere Schweizer-Industrie ist auch hier nicht untätig geblieben. Die A.-G. Brown Boveri & Cie. Baden z. B. hat bereits drei Anlagen in Ausführung, wovon eine an Tirso in Italien mit einem Generator von 4500 kVA, 215 U/Min., 50 Per./Sek. 5600 Volt, im Juni 1925 in Betrieb genommen wurde. Was andere schweizerische oder europäische Konstruktionsfirmen auf diesem Gebiete schon erreicht haben, entzieht sich meiner Kenntnis. Jedenfalls kann festgestellt werden, daß heute überall eifrig an diesem Problem studiert wird. Auch in der Schweiz sind noch eine große Anzahl kleinerer und mittlerer Werke vorhanden, deren Wirtschaftlichkeit durch den Betrieb als automatische Zusatzwerke unbedingt stark erhöht werden könnte. Sicher sind viele dieser speziell für die Belieferung einzelner Fabriken oder Gemeinden gebauten Anlagen heute schlecht ausgenützt und könnten nach Automatisierung rationell von einer Hauptzentrale aus betrieben werden. Die Automatisierung solcher bestehender Zentralen wird daher erst die Möglichkeit der allgemein angestrebten Zusammenfassung der Energieproduktion geben.

Die erste Frage, der man bei dem Entwurf des elektrischen Teiles solcher Zentralen begegnet, ist die Wahl zwischen synchronen und asynchronen Generatoren. Mit Asynchron-Generatoren kann die Schalteinrichtung weit einfacher gestaltet werden, da die Gleichstrom-Erregung mit Erregerdynamos und Spannungsreguliereinrichtungen wegfällt. Die Spannung des Netzes wird vom synchronen Hauptwerk aus gehalten und reguliert, so daß im Zusatzwerk der hydraulische Drehzahlregulator ohne weiteres wegfallen kann, wenn man auf andere Weise das Durchbrennen der Turbinen bei plötzlicher Entlastung zu verhindern weiß. Eine eigentliche Parallelschaltung der einzuschaltenden Asynchronmaschine ist nicht notwendig; es genügt, daß sie beim Einschalten ungefähr die richtige Drehzahl hat. Schaltet man überdies die Maschine mit einem Schalter mit Widerstandsstufen ein, so wird der Einschaltstromstoß auf eine unbedenklich zuzulassende Größe herabgesetzt. Außerdem ist der Asynchron-Generator selbst etwa 15—20 % billiger als ein gleichwertiger Synchron-Generator und hat einen etwas besseren Wirkungsgrad. Alle diese Vorzüge könnten bei etwas oberflächlicher Betrachtung leicht dazu führen, daß man für solche Anlagen nur Asynchron-Generatoren vorsehen würde. Da aber der Asynchron-Generator seinen Magnetisierungsstrom nicht selbst erzeugen kann, muß er ihn aus dem Netz beziehen, an das er seine Leistung abgibt; dieses Netz muß daher von Synchronmaschinen gespeist werden. Diese Eigenschaft der Asynchron-Generatoren wirkt derart auf die Betriebsverhältnisse ein, daß man sich vor Anschaffung einer Asynchronmaschine ganz genau über das Zusammenarbeiten der geplanten Zentrale mit den bestehenden Werken Rechenschaft geben muß. Die oben erwähnte Eigenschaft bringt es mit sich, daß eine Asynchron-Zentrale nie allein in Betrieb genommen werden kann. Sie kann also unmöglich als selbständig arbeitende Reserveanlage verwendet werden. Soll eine automatische Zentrale auch als selbständig arbeitendes Elektrizitätswerk dienen können, so scheidet die asynchrone Stromerzeugung ohne weiteres aus. Die Einwirkung des Anschlusses einer asynchronen Maschine an ein bestehendes Netz kann am besten an Hand des Leistungsdiagrammes untersucht werden. Dieses zeigt deutlich, daß der Anschluß einer asynchronen Zentrale an ein bestehendes Netz genau überlegt sein muß. Der nachteilige Einfluß der Asynchronmaschine wird noch auffälliger, wenn ihre Leistung im Verhältnis zur

Gesamtnetzleistung groß ist und wenn der cos φ des Netzes ohnehin schon schlecht ist. Da erfahrungsgemäß der Leistungsfaktor eines Netzes mit sinkender Leistung ebenfalls abnimmt, werden gewöhnlich diese beiden ungünstigen Vorbedingungen gleichzeitig eintreffen.

Da man, um eine unzulässige Erwärmung des Erregerkreises zu verhüten, bei ganz schlechtem Leistungsfaktor die Belastbarkeit jeder Synchronmaschine herunter setzen muß, wird man im Hauptwerk unter Umständen eine größere Zahl Maschinen im Betriebe halten müssen, als wenn es allein die Speisung des Netzes zu übernehmen hätte. Dabei arbeitet dann die ganze Anlage mit bedeutend schlechterem Wirkungsgrad, was besonders bei hydraulischen Akkumulierwerken und bei Dampfzentralen mit hochwertiger Energie sehr unerwünscht sein wird.

Beim weiteren Zurückgehen der Netzbelastung könnte es sogar vorkommen, daß diese unter die Leistung des Asynchronwerkes sinken würde. Dann würde dieses seine überschüssige Leistung an das Hauptwerk abgeben und dessen Synchronmaschinen als Motoren antreiben. Da das Halten der Netzfrequenz hierdurch verunmöglicht würde, ist ein solcher Betrieb undenkbar. Als weitere Bedingung für den Anschluß einer Asynchronzentrale kommt daher noch hinzu, daß die Gesamtleistung aller asynchronen Stromerzeuger unter allen Umständen kleiner sein muß, als die kleinste jemals vorkommende Netzbelastung. Es müssen deshalb schon für den Entwurf zuverlässige Wattmeter-Aufnahmen zur Verfügung stehen.

Ferner muß natürlich in den Verbindungsleitungen zwischen Hauptwerk und asynchronem Zusatzwerk die Vergrößerung des Spannungsgefälles durch den zur Erregung der Asynchronmaschinen notwendigen Blindstrom berücksichtigt werden. Wird nun das Zusatzwerk an einen entfernten Netzteil angeschlossen, dessen bestehende Verbindungsleitungen mit dem Hauptwerk schwach bemessen sind, so kann die Rücksicht auf die Spannungshaltung in diesem Netzteil schon zu einer Begrenzung der Leistung der asynchronen Stromerzeuger führen.

Eine Eigenschaft der Asynchronmaschine darf außerdem nicht außer Acht gelassen werden; ihr Leitungsfaktor sinkt mit abnehmender Belastung außerordentlich stark. Durch die Regulierung der Leistung von Asynchrongruppen würde man daher die ungünstigen Einwirkungen des Zusatzwerkes auf das Hauptwerk noch erheblich verstärken. Der Asynchron - Generator eignet sich deshalb nur für den Betrieb mit konstanter Belastung, wie er bei Grundbelastungswerken vorkommt. Sollte eine Leistungsregulierung im Zusatzwerk verlangt werden, so ist sie durch Zu- und Abschaltung von g a n z e n Gruppen zu bewerkstelligen.

Bei kapazitiver Belastung des Netzes kann allerdings der Blindstromverbrauch der Asynchron-Generatoren eine erwünschte Kompensation bringen, so daß die Synchronmaschinen des Hauptwerkes nach Anschluß eines asynchronen Zusatzwerkes nicht mehr so stark untererregt laufen müssen. Da die kapazitiven Netzbelastungen speziell durch leerlaufende Fernleitungen hoher Spannung (50000 Volt und darüber) verursacht werden, wird in diesem Fall die Asynchron-Zentrale einen günstigen Einfluß auf die Betriebsverhältnisse des gesamten Netzes ausüben. Wenn auch die Lage der Asynchron-Zentrale in erster Linie durch die Lage der auszunützenden Wasserkraft gegeben ist, so sollte doch dort, wo man zwischen Wasserkräften die Wahl hat, diejenige herangezogen werden, bei der die Asynchron-Zentrale an den Teil des Netzes mit den höchsten Uebertragungsspannungen angeschlossen werden kann.

Mit Ausnahme der oben erwähnten Spezialfälle hat aber der Anschluß einer Asynchron-Zentrale immer eine Erhöhung der Ströme in den Leitungen und daher auch eine Vermehrung der Leitungsverluste zur Folge. Um wirklich die günstigste Lösung vorschlagen zu können, muß deshalb stets geprüft werden, ob die Anlage sich wirtschaftlich rechtfertigt, wobei zum Preise der Asynchron-Zentrale die kapitalisierten Mehrbeträge an Leitungsverlusten hinzugerechnet werden müssen. Da hierbei die jährliche Betriebsdauer, die jeweiligen Selbstkosten der kW-Stunde und die Charakteristiken der Leitung zu berücksichtigen sind, muß für jeden Fall eine besondere Prüfung gemacht werden; es soll hier nur auf die Wichtigkeit dieser Berechnungen hingewiesen werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß vor dem Entscheid, ob die automatische Zusatzzentrale mit synchronen oder asynchronen Generatoren auszurüsten ist, folgende Fragen zu klären sind:

1. Selbständigkeit des Zusatzwerkes.
2. Einwirkung des Zusatzwerkes auf das bestehende Netz, bezw. auf die daran angeschlossenen bestehenden Synchron - Zentralen.
3. Wirtschaftlichkeitsvergleich.

Wie obigen Erläuterungen zu entnehmen ist, ist der Bau asynchroner Zentralen nur für ein sehr beschränktes Anwendungsgebiet zu empfehlen. Bei richtiger Anwendung wird diese Lösung aber unbedingt wirtschaftlichen Vorteil bringen. Sie eignet sich besonders für den automatischen Betrieb von Grundbelastungswerken.

Die Wahl der Generatoren ist für die Ausgestaltung der automatischen Zentrale von grundlegender Bedeutung, da natürlich die ganze Schalteinrichtung davon abhängig ist. Hat man nun, gestützt auf die oben erwähnten Ueberlegungen, die Wahl getroffen, so müssen für die weitere Projektarbeit die besonderen Betriebsbedingungen, unter denen das betreffende Werk wird arbeiten müssen, festgelegt werden. Vielerorts herrscht keine Klarheit darüber, was unter einer automatischen Zentrale zu verstehen ist. Man hört daher oft von halbautomatischen Zentralen etc. sprechen. Der eine nennt eine Zentrale automatisch, wenn der Wärter die In- und Außerbetriebnahme besorgen muß, während er in der Zwischenzeit einer andern Beschäftigung nachgehen kann. Das ist natürlich keine automatische Zentrale, denn heute kann jedes moderne, mit Spannungsreglern und Schutzrelais ausgerüstete Werk nach der Inbetriebnahme sich selbst überlassen werden. Anderseits hört man oft von sogenannten automatischen Zentralen sprechen, die von einem andern Werk aus gesteuert werden. Auch das sind eigentlich keine automatischen, sondern ferngesteuerte Zentralen. Jedes moderne Großkraftwerk ist im Grunde genommen eine ferngesteuerte Zentrale, da man allgemein alle Betätigungen im Kommandoraum abseits vom Maschinenhaus zentralisiert. Entfernt man nun den Kommandoraum noch weiter und verlegt ihn z. B. in ein anderes Werk, so hat man die ferngesteuerte Zentrale. Ein typisches Beispiel hierfür ist das Heidseewerk der Stadt Zürich, das vom 6½ km entfernten Albulawerk aus gesteuert wird, oder das Nebenkraftwerk Göschenen, das vom Unterwerk Göschenen aus gesteuert wird.

Die wirkliche automatische Zentrale braucht nun gar keine Bedienung, weder zum Anlassen noch zum Abstellen. Die In- und Außerbetriebnahme erfolgt z. B. in Abhängigkeit vom Stand des Oberwassers oder zu gewissen Zeiten nach einer Uhr, oder durch Ein- und Abschalten der Hochspannungsleitung, welche die Energie vom automatischen Zusatzwerk zum Hauptwerk und ins Netz führt. Ein einziger Anstoß, eigentlich ein Befehl genügt, um die ganze Zentrale, sowohl die hydraulische als auch die elektrische Seite in Betrieb zu nehmen. Die Schaltung muß so sein, daß die richtige Reihenfolge der Betätigungen zwangsläufig gewährleistet ist. Die in Amerika vorgeschlagene Verwendung von Wählersystemen, ähnlich wie bei den automatischen Telephonanlagen, muß als ganz unrichtig verworfen werden, da durch die Möglichkeit des willkürlichen Herausgreifens einer Funktion aus dem gesetzmäßigen Zusammenhange die Wahrscheinlichkeit von gefährlichen Fehlmanövern stark erhöht wird. Es empfiehlt sich daher, die Verantwortung für die korrekte In- und Außerbetriebnahme ganz allein den Apparaten der automatischen Zentrale zu überbinden. Die Inbetriebnahme kann in der Empfangsstation mit Wattmetern kontrolliert werden und ist auch an der Entlastung der übrigen parallel arbeitenden Zentralen bemerkbar. Hier heißt es für die Betriebsleiter sich zu bescheiden, sonst kann leicht folgende Entwicklung platzgreifen: Will man über alle möglichen Zustände der automatischen Zentrale am Empfangsorte orientiert sein, so werden Meßdrähte bis zur Zentrale notwendig. Die Kontrollmöglichkeit erweckt beim Betriebspersonal bald den Wunsch nach Reguliermöglichkeit; zu den Meßdrähten kommen Steuerdrähte hinzu und am Schluß hat man statt einer automatischen eine ferngesteuerte Zentrale.

Für das Anlassen der Einheiten der automatischen Zentrale können verschiedene Methoden angewendet werden. Die Amerikaner z. B. lassen ihre Generatoren von der Turbine ungefähr auf synchrone Drehzahl antreiben und schalten sie dann ohne Synchronisierung und unerregt an die Sammelschienen an. Hernach wird die Maschine erregt. Offenbar sind die amerikanischen Netze und die daran angeschlossenen Zentralen derart groß, daß die durch solche Schaltmanöver verursachten Stromstöße die Netzspannung nicht sonderlich zu beeinflussen vermögen. Vielleicht sind auch die dortigen Abnehmer etwas geduldiger und weniger empfindlich als z. B. bei uns in der Schweiz. Hier sind jedenfalls solche Anlaßmethoden undenkbar.

Nach Studium zahlreicher Projekte bin ich zur Ueberzeugung gelangt, daß man bei den automatischen Zentralen nur drei voneinander prinzipiell sich unterscheidende Lösungen in Betracht zu ziehen braucht. Sämtliche vorkommenden Fälle werden sich mit Vorteil auf eine dieser drei Lösungen zurückführen lassen. Zwei davon betreffen Zentralen mit synchronen Generatoren, die dritte ist bei Zentralen mit asynchronen Generatoren anwendbar.

Die erste Lösung, die eigentlich die nächstliegende ist, besteht darin, daß man die automatische Zentrale genau so anlaufen läßt, wie eine gewöhnliche Zentrale mit Bedienung, nur mit dem Unterschied, daß eben alle Betätigungen in zwangsläufig richtiger Reihenfolge automatisch erfolgen. Das Anlassen der Gruppe erfolgt also von der Turbine aus. Diese wird geöffnet und durch ihren Drehzahlregulator auf synchrone Tourenzahl gebracht, worauf der Generator synchronisiert und auf die Sammelschienen geschaltet wird.

Die Verwendung eines zuverlässigen Parallelschaltapparates ist natürlich die Hauptbedingung für das Gelingen. Hat man einen solchen, so werden die größten Einheiten gänzlich ohne Stromstöße auf das Netz zugeschaltet, besser als wenn diese Arbeit von einem Wärter ausgeführt würde. Die Ausrüstung einer derartigen Zentrale ist genau gleich, wie bei einem normalen Kraftwerk mit Bedienung. Es kommen lediglich eine kleine Anzahl Betätigungsmagnete und Relais hinzu. Da die Turbinen alle mit Drehzahlreglern ausgerüstet sind, kann diese automatische Zentrale ohne weiteres als selbständiges Werk arbeiten. Diese Lösung eignet sich für alle Zentralen mit Synchrongeneratoren, wird aber speziell da, wo große Einheiten sind, in Frage kommen.

Mittlere und kleinere Einheiten kann man nun auch von der elektrischen Seite, d. h. vom Generator aus, anlassen, indem der Generator mit reduzierter Spannung unter dem Einfluß der in den massiven Polschuhen entstehenden Wirbelströme wie ein Asynchronmotor anläuft. Hat er die der synchronen sehr nahe gelegene asynchrone Drehzahl erreicht, so wird er durch Erregen des Polrades synchronisiert. Nach erfolgter Synchronisierung wird die Maschine auf die volle Spannung geschaltet. Erst jetzt wird die Turbine geöffnet und gibt entsprechend ihrer Einstellung (die z. B. vom Oberwasserstand abhängig gemacht werden kann) über den Generator Energie ins Netz ab. Durch die Unterteilung des Anlaßvorganges in drei Stufen wird der maximale Stromstoß sehr stark verkleinert bis auf die Größenordnung des halben Normalstromes, so daß er im Netze kaum störend empfunden werden kann.

Voraussetzung für die Anwendung dieser Lösung ist, daß der Generatorstrom für die Uebertragung auf eine höhere Spannung transformiert wird, so daß der hierzu notwendige Transformator mit Anzapfungen versehen werden kann, welche die Anlaßspannung liefern. Diese Einschränkung wird übrigens praktisch nicht sehr stark fühlbar, da ein Herauftransformieren in den meisten Fällen notwendig sein wird. Die Transformierung hat übrigens auch den sehr großen Vorteil, daß der Generator durch den vorgeschalteten Transformator von allen von den Freileitungen herrührenden Ueberspannungen etc. sehr wirksam geschützt wird.

Diese Lösung ist für kleinere und mittlere Leistungen zu empfehlen. Sie braucht keinen hydraulischen Drehzahlregler und ist auch für den elektrischen Teil billiger als die unter 2) erwähnte Lösung. Die automatische Regulierung der Spannung ist hier nicht unbedingt notwendig, wird aber in den meisten Fällen mit Vorteil angewendet werden. Will man eine derartige Zentrale für Reservezwecke auch als selbständiges Elektrizitätswerk benützen können, so müssen die Turbinen mit hydraulischem Drehzahlregler ausgerüstet werden.

Hie und da werden für den motorischen Anlauf automatischer Zentralen auch synchronisierte Asynchron-Generatoren vorgeschlagen. Der synchronisierte Asynchron-Generator, der sich überall da eignet, wo nennenswerte Anlaufdrehmomente erforderlich sind, ist hier keineswegs am Platze und kann vorteilhaft durch den billigeren und einfacheren Synchron-Generator normaler Bauart ersetzt werden, dessen Apparatur ebenfalls bedeutend einfacher wird.

Haben die Vorstudien gezeigt, daß man die projektierte Zentrale mit Asynchron-Generatoren ausrüsten kann, so kommt die dritte Lösung in Frage. Hier werden die Aggregate wieder von der Turbine aus angelassen. Nach Erreichen der asynchronen Drehzahl wird der Generator mit einem Schalter mit Widerstandsstufen an das Netz angeschlossen und gibt sofort entsprechend der Einstellung der Turbine Energie ab. Diese Lösung ergibt zweifellos sowohl auf der hydraulischen als auch auf der elektrischen Seite die kleinsten Anlagekosten, da alle Reguliereinrichtungen für Drehzahl und Spannung in Wegfall kommen. Ich möchte aber nochmals betonen, daß eine solche automatische Zentrale unmöglich als selbständiges Werk arbeiten kann.

Die leitenden Grundsätze für den Schutz der automatischen Zentralen sind bei allen drei besprochenen Lösungen die gleichen: Wir unterscheiden hier zweierlei Störungsfälle: Aeußere und innere Störungen: Die äußeren Störungen bestehen hauptsächlich aus Kurzschlüssen im Netz und auf den Freileitungen, Spannungsschwankungen etc. und sind vorübergehender Natur. Die Abschaltung der Zentrale muß daher bei solchen Störungen stets so vor sich gehen, daß nach dem Verschwinden der Störung der Betrieb sofort wieder aufgenommen wird. Die inneren Störungen bestehen aus Kurz- oder Windungsschlüssen im Transformator oder Generator, Defekten in den Lagern, in der Turbine oder ihren Regulierorganen (was eventuell das Durchbrennen der Gruppe verursachen kann). Diese Störungen haben bleibenden Charakter, und daher muß die automatische Wiedereinschaltung der Zentrale unbedingt verhindert werden, bis sich das Bedienungspersonal an Ort und Stelle begeben und den Defekt behoben hat. Dies wird durch eine geeignete Sperrung der automatischen Anlaufschaltung erreicht.

Wie man aus dem vorher Gesagten erkennen wird, müssen bei der Projektierung automatischer Wasserkraftzentralen die Betriebsverhältnisse sowohl der Zentrale selbst, als des Netzes, an das sie angeschlossen wird, gründlich untersucht werden. Außerdem ist eine eingehende Zusammenarbeit des Elektrikers mit dem Turbinenbauer Vorbedingung. Irgend welche unbekannte Anforderungen an das Material sind aber nicht zu erwarten. Die Maschinen und Apparate, die zur Verwendung gelangen, sind bekannter und bewährter Bauart, die in Betracht kommenden Schaltmethoden sind ebenfalls längst erprobt, so daß kein Grund vorhanden ist, die großen wirtschaftlichen Vorteile der Automatisierung auch bei hydro-elektrischen Zentralen nicht mehr als bisher auch in der Schweiz auszunützen.

„Theorie und Konstantenbestimmung des hydrometrischen Flügels".

Von Dr. Ing. L. A. Ott. Berlin 1925. Julius Springer.

Der Verfasser dieser Dissertationsschrift hat sich zum Ziel gesetzt, eine allgemeine Theorie des hydrometrischen Flügels zu entwickeln und eine Flügelgleichung aufzustellen, die in höherem Masse als die bisher bekannten Gleichungen sich mit den Versuchsergebnissen widerspruchslos decken soll. Er legt grosses Gewicht auf die Entwicklung der Methode, nach der die Konstanten der Flügelgleichung aus den Schleppversuchen (Eichung) abgeleitet werden können, und sucht auch Ergebnisse über die Messgenauigkeit zu gewinnen, indem er es als dringend betrachtet, einmal genau festzustellen, welcher Grad von Zuverlässigkeit der Flügelmessmethode innewohnt. Angesichts der wachsenden Bedeutung der genauen Ermittlung grosser und grösster Wassermengen in Niederdruckanlagen, sowie im Hinblick auf neu vorgeschlagene Messmethoden kann man der Auffassung des Verfassers über die Dringlichkeit dieser Abklärung nur beipflichten.

Als neue allgemeine Flügelgleichungen schlägt Dr. Ott folgende vor:

$$v = a + kn + \frac{c^2}{v - a' - k'n} \text{ oder, in expliziter Form:}$$

$$v = \frac{a + a'}{2} + \frac{k + k'}{2} n + \sqrt{\left(\frac{a - a'}{2} + \frac{k - k'}{2} n\right)^2 + c^2},$$

worin n die Zahl der Umdrehungen in der Zeiteinheit, v die Strömungsgeschwindigkeit, und a, a', k, k' und c Konstante bedeuten, welch letztere gegenseitig von einander unabhängig sind. Ihre geometrische Bedeutung lässt sich am besten aus der Figur erkennen, in der die Flügelgleichung als Teil eines Hyperbel-Astes erscheint, dessen Asymptoten mit I und II bezeichnet seien.

Einige der bisher bekannten Flügelgleichungen können als Spezialfälle der obigen gedeutet werden; ebenso kann man durch Vereinfachungen weitere Näherungsformeln gewinnen.

a). Setzt man $a' = o$ und $k' = o$ d. h. lässt man die Asymptote II mit der n-Achse zusammenfallen, so erhällt man die bekannte Rateau'sche Gleichung

$$v = a + k n + \frac{c^2}{v}$$

$$\text{oder } v = \frac{a}{2} + \frac{k}{2} n + \sqrt{\left(\frac{a}{2} + \frac{k}{2} n\right)^2 + c^2}$$

b). Wird $a = o$ und $a' = o$ gesetzt, so gehen die Hyperbel-Asymptoten durch den Koordinaten-Nullpunkt 0, und die Flügelgleichung nimmt die Form derjenigen von Baumgarten an:

$$v = \frac{k + k'}{2} n + \sqrt{\left(\frac{k - k'}{2} n\right)^2 + v_o^2},$$

worin v_o die Anlaufgeschwindigkeit ist.

c). Setzt man $c = o$, so zerfällt die Hyperbel in zwei Gerade mit den Gleichungen

$$v = a' + k'n \quad \text{und} \quad v = a + k n$$

d. h. die Hyperbel ist dann durch ihre Asymptoten ersetzt.

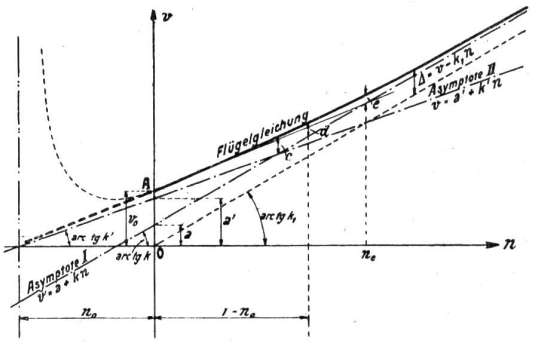
d). Noch etwas genauere Näherungsgleichungen, als die unter c). genannten, werden von Dr. Ott zum praktischen Gebrauch vorgeschlagen:

$$v = a' + k'n + \frac{c^2}{c - (a - a') - (k - k')n} \text{ für } n < \frac{a' - a}{k - k'}$$

$$\text{und } v = a + k n + \frac{c^2}{c + (a - a') + (k - k')n} \text{ für } n > \frac{a' - a}{k - k'}$$

Diese enthalten die Grösse n nur in erster Potenz, sind daher etwas einfacher in der Anwendung als die allgemeine Gleichung.

e). Eine weitere Vereinfachung, die zwar von Dr. Ott nicht angegeben ist, die aber nahe liegt, besteht darin,



dass die Asymptote II parallel zur Ordinatenachse gelegt wird (s. Figur). Die Flügelgleichung nimmt dann die sehr einfache Form

$$v = a + k n + \frac{d}{n + n_o}$$

mit 4 Konstanten a, k, d und n_o an. Auch diese Gleichung gibt Resultate von bemerkenswerter Genauigkeit. Für den praktischen Gebrauch normaler Flügel bei Geschwindigkeiten über der doppelten Anlaufgeschwindigkeit, d. h. über ca. 0,15 m/sec. liefert sogar der Ansatz

$$v = a + k n + \frac{d'}{n}$$

mit nur drei Konstanten ebenso genaue Resultate. Un-