

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 73 (1981)
Heft: 9

Artikel: Automatisierung von kleinen Laufkraftwerken
Autor: Buzay, Karl
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941344>

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: 16.05.2025

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

Automatisierung von kleinen Laufkraftwerken

Karl Buzay

Zusammenfassung

Die Erneuerung von Kleinkraftwerken soll den unbedienten vollautomatischen Betrieb bei optimaler Nutzung der anfallenden Primärenergie gewährleisten. Aufgabenstellung und technische Lösung einer Mess-, Steuer- und Regleinrichtung werden beschrieben, welche diese Ziele kompakt und wirtschaftlich realisiert.

Summary: Automation of small hydro power plants

The reconstruction of small hydraulic power stations has to perform the fully automatic, remote controlled service at the optimal use of the hydraulic energy input. Requirements and technical solution of the measuring and control equipment are described for a compact and economic realisation of the given aims.

Résumé: Service automatique pour de petites centrales hydrauliques

Le renouvellement des petites centrales hydrauliques doit garantir un service entièrement automatique, sans personnel et simultanément aussi la meilleure exploitation de l'énergie primaire. Une solution technique de l'équipement de mesure, contrôle et réglage est spécifiée pour la réalisation compacte et économique de ce but.

1. Veranlassung für die Automatisierung von Kleinkraftwerken

Eine Erneuerung bestehender, vielfach über ein halbes Jahrhundert alter Wasserkraftwerke drängt sich meistens infolge Überalterung der baulichen und/oder maschinellen Einrichtungen auf. Die Umbaukosten von Kleinkraftwerken von einigen MW Leistung sind im Verhältnis zur nutzbaren Energie hoch. Um die Wirtschaftlichkeit des Umbaus zu verbessern, wird daher in den meisten Fällen die baulich/maschinelle Erneuerung mit einer Vollautomatisierung verbunden.

Im automatischen Betrieb arbeitet das früher dauernd oder teilweise besetzte Kraftwerk ohne Personal; es genügt, bei Störungen des Werks eine Alarmmeldung in die Unterhalt- oder Pikettstelle zu übermitteln. Personal muss beim automatisch laufenden Kraftwerk nur für Störungsbehebung und Unterhalt eingesetzt werden. In zahlreichen Fällen bildet sogar die Forderung nach unbedientem Betrieb die Hauptveranlassung für den Umbau, vor allem bei abgelegenen Werken, für die Arbeitskräfte nur schwer zu finden sind.

Für Laufkraftwerke bringt der Einsatz moderner Steuer- und Regelanlagen auch eine Erhöhung der Jahres-Energieerzeugung, indem

- eine zeitgemässe Wasserstandsregelung mit kleinen Regelschwankungen das Einhalten eines höheren mittleren Oberwasserstandes erlaubt (der Regel-Sollwert darf näher am maximal zulässigen Stand gewählt werden). Damit kann das Nutzgefälle vergrössert werden.
- auch Niedrigwasser-Zuflüsse optimal verarbeitet werden: Die Turbinen werden bei genügendem Wasserangebot automatisch sofort eingeschaltet und bei Unterschreitung der eingestellten Grenze abgestellt. Das Akkumulationsvermögen des Zuflusskanals wird die Regelung bei Niedrigwasser ebenfalls ausnützen, um längere Einschaltphasen der Turbinen zu gewinnen.

- durch gefällsabhängige Begrenzung der Turbinenöffnung kann die Durchflussmenge ohne Schädigungsgefahr nahe der Kavitationsgrenze, auf dem höchstzulässigen Wert, gehalten werden.

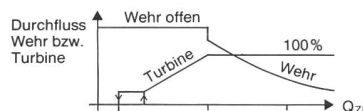
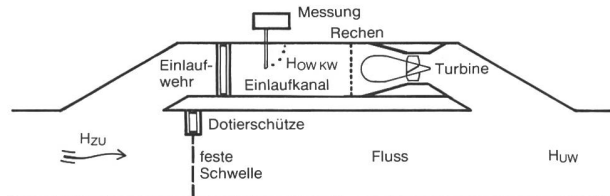
2. Aufgabenstellung

Steuerung und Regelung der Turbine/Generator-Gruppe

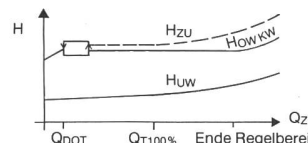
- Vollautomatisches Ein- und Ausschalten. Anfahr- und Abstellkriterium ab Oberwasserstand, mit Schalthysterese zur Beschränkung der Häufigkeit von Anläufen.
- Drehzahl- und Spannungsregelung beim Anfahren und Synchronisieren auf Netz.
- Automatische Regelung im Netzbetrieb:
 - Oberwasser-Standregelung mit Stellkreisregelung der Turbinen-Leitradöffnung. Die Regelung soll Schwankungen des Oberwasserstandes bei Normalbetrieb innerhalb ± 5 cm gegenüber dem Sollwert konstant halten.
 - Blindleistungs- bzw. $\cos \varphi$ -Regelung mit Stellkreisregelung des Generator-Erregerstroms.
 - Als Optionen für Niederdruckturbinen:
 - a) Nachregelung der Laufradöffnung auf Wirkungsgrad-optimale Stellung in Funktion von Leitradöffnung und

Bild 1a. Laufwasserkraftwerk mit Einlaufwehr.

Diese einfache Anordnung wird für kleinere Anlagen gewählt oder wenn die Turbine nur einen Teil des normalen Abflusses verarbeitet.

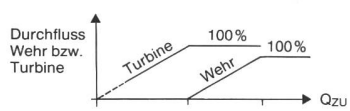
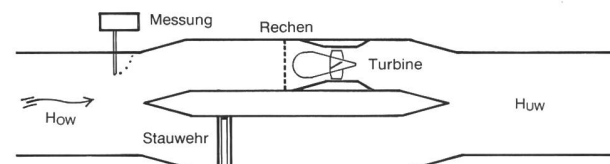


Mit dem Einlaufwehr wird der Wasserstand im Einlaufkanal $H_{OW\ KW}$ begrenzt. Die Messstelle liegt unterhalb des Wehrr. Nicht mehr turbinierbarer Zufluss fliesst über die feste Schwelle im Flussbett ab.

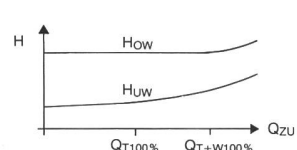


$H_{OW\ KW}$ Wasserstand im Einlaufkanal
 H_{zu} Wasserstand im Oberwasser von Einlaufwehr und fester Schwelle
 H_{UW} Unterwasserstand
 Q_{zu} Zuflusswassermenge
 Q_{Dot} Dotierwassermenge
 $Q_{T\ 100\%}$ Turbinenwassermenge, Prozentangabe der Turbinenöffnung

Bild 1b. Laufwasserkraftwerk mit Stauwehr, eine Anordnung für mittlere und grosse Anlagen.



Über das Stauwehr wird der nicht mehr turbinierbare Zufluss abgeleitet. Gemessen und geregelt wird der Wasserstand oberhalb des Stauwehrrs, H_{OW} .



H_{OW} Oberwasserstand
 H_{UW} Unterwasserstand
 Q_{zu} Zuflusswassermenge
 $Q_{T\ 100\%}$ Turbinenwassermenge, Prozentangabe der Turbinenöffnung
 $Q_{W\ 100\%}$ Wehr-Durchfluss, Prozentangabe der Wehrröffnung

Gefälle. Nötige Positioniergenauigkeit 0,5%.

- b) Gefällsabhängige Begrenzung der Leitraddöffnung zur Ausnützung der Turbine bis zur Kavitationsgrenze.
- Handsteuerung von Turbinenöffnung, Drehzahl und Erregerstrom.

Wehrsteuerung und -regelung

Der Zuflussanteil, der durch die Turbinen nicht mehr verarbeitet werden kann, ist automatisch abzuführen. Für Laufkraftwerke sind zwei typische Anordnungen der Wehranlage, das Einlauf- und das Stauwehr, zu berücksichtigen. Bei Überschreitung der Turbinen-Schluckfähigkeit muss das Einlaufwehr durch Schliessen den Turbinenzufluss drosseln, das Stauwehr aber durch Öffnen die zusätzliche Wassermenge durchlassen.

Die Bilder 1a und 1b zeigen die hydraulische Situation und die erwünschten Regelungs-Kennlinien für beide Anordnungen.

Folgende Funktionen der Wehrregelung und -steuerung sind nötig:

- Oberwasser-Standregelung mit Stellkreisregelung der Wehröffnung(en). Die Häufigkeit von Wehrstellungsbewegungen ist im Normalbetrieb zu beschränken. Dafür ist eine Auflösung der Stand- und Wehrstellungsmessungen von mindestens 0,5 % erforderlich.
- Handsteuerung des Wehrs vom Maschinenhaus und vor Ort.

Hilfseinrichtungen

- Ansteuerung der Rechenreinigung bei Ansteigen des Rechengefälles.

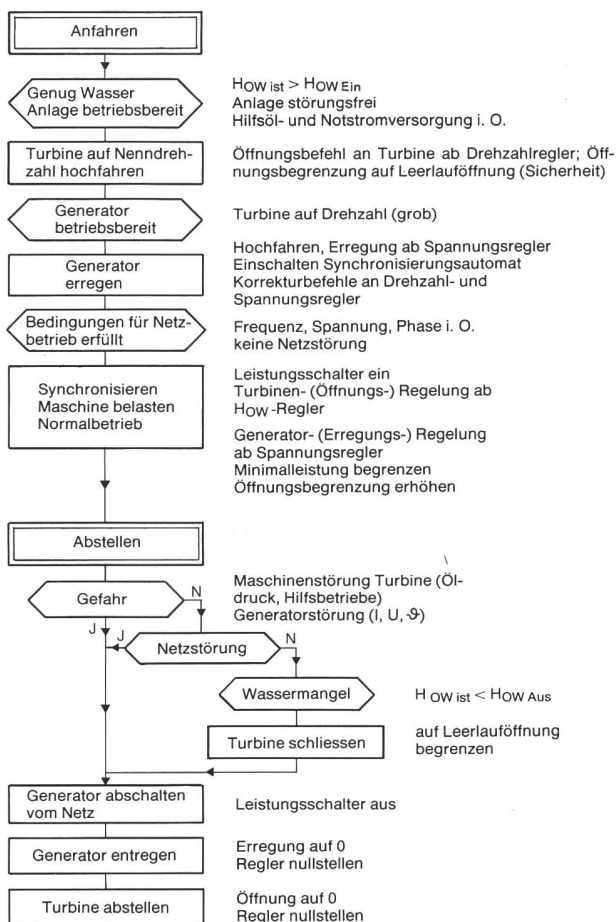


Bild 2. Ablaufschema des Anfahr- und Abstellprozesses.

- Handsteuerung für Dotierschütze (bei Einlaufwehr).
- Druckölversorgung für Maschinenlager und öhydraulische Stellglieder.
- Notstromversorgung für Anfahren und Abstellen des Kraftwerks.

Überwachung und Alarmierung

- Schäden an Maschinen und Einrichtungen werden durch Überwachung der kritischen Parameter verhindert. Bei Detektion unzulässiger Werte sind die gefährdeten Einrichtungen abzuschalten.
- Bei Störungen ist ein Alarm in die Überwachungsstelle zu übermitteln bzw. der Pikettdienst ist aufzubieten. Ausser dieser Alarmierung ist für Kleinkraftwerke normalerweise keine Eingriffs- oder Kontrollmöglichkeit aus einer Leitstelle erforderlich.

3. Die technische Lösung

3.1 Auslegungsprinzip

Für die Kleinkraftwerke von einigen MW Leistung dürfen aus wirtschaftlichen und Unterhaltsgründen keine hochkomplizierten Einrichtungen eingesetzt werden. Die Apparatur der Automatik ist daher einfach und kompakt gestaltet, auf Luxus und aufwendige Präsentation wird verzichtet. Es wird eine standardisierte Ausführung angestrebt, deren Grundausrüstung für einen grossen Bereich von Einsatzfällen geeignet ist, ohne dass das Konzept geändert werden muss. Das Steuer- und Regelsystem ist aus Funktionsgruppen flexibel aufgebaut. Die Besonderheiten der Anlage – vor allem die fallweise unterschiedlich gelegenen Nahtstellen zu neuen oder verbleibenden alten Anlageteilen – werden durch Ergänzungen oder Weglassen von Teilen der Standard-Konfiguration berücksichtigt.

3.2 Messeinrichtungen

Wasserstände

Die genaue Messung des Oberwasserstandes ist für eine gute automatische Regelung ausschlaggebend. Für die Regelung selbst genügt es, einen Messbereich von etwa 1 m zu wählen. Um jedoch Information – und Aufzeichnung – über ausserordentliche Verhältnisse, zum Beispiel Hochwasser, zu erhalten, ist ein höherer Messbereich sinnvoll.

Das verwendete Messprinzip soll grosse Ausfallsicherheit bieten und wenig Unterhalt benötigen. Gut bewährt haben sich Drucktransmitter mit pneumatischer Übertragung des Wassersäulen-Druckes, die auch sehr genau sind. Bei der Auswahl des Messgeräts ist auf hohe Messwertauflösung und minimalen Umkehrfehler zu achten.

Die Messstelle soll sich mindestens drei Flussbreiten oberhalb Turbine und Wehr befinden, um dem «Einlauftrichter» auszuweichen.

Bei Dispositionen mit Einlaufwehr wird der Oberwasserstand möglichst weit oberhalb des Kraftwerks gemessen. Dabei muss die Messstelle bei allen Wasserführungen im eingestauten Bereich liegen und mindestens 10 Flussbreiten unterhalb des Wehres angeordnet sein.

Die Messung des Unterwasserstandes ist nur dann nötig, wenn das Gefälle für die Regelung zu berücksichtigen ist.

Turbinen- und Wehrstellungen

Die genaue Stellungsmessung ist für die Regelung wesentlich. Der Stellungsgeber soll möglichst direkt und spielfrei an das Stellorgan (Leitapparat, Wehrtafel) gekoppelt werden. Für Wehrklappen wird vorteilhaft das Gravitations-Winkelmessgerät eingesetzt, das den Stellwinkel

ohne äusseren Antrieb des Gerätes ermittelt. Eine Verklemmungs- und Einfriergefahr kann so vermieden werden.

Drehzahlmessung

Die Turbinendrehzahl wird als die einfachste Lösung mit einer optischen oder induktiven Sonde aufgenommen. Die Sonde gibt bei jedem Durchgang einer am rotierenden Teil angebrachten Marke einen Impuls ab. Die Drehzahl wird aus der Impulsfrequenz ermittelt.

Elektrische Messwerte

Gemessen werden:

- Für die Regelung: Erregerstrom, Generatorspannung, Blindleistung.
- Für die Synchronisierung: Generator- und Netzspannung und die zugehörigen Frequenzen.
- Für den Schutz: Generatorstrom, Wirkleistung, Generator- und Netzspannung.

Es werden Messgeräte Klasse 0,5 verwendet. Für Messwerte, welche für die Regelung nötig sind oder die registriert werden, sind Messumformer mit Gleichstromausgang eingesetzt.

Messwertaufzeichnungen

Um den Betriebsablauf zu dokumentieren, werden die zeitlichen Verläufe von Oberwasserstand und Generatorleistung auf Doppel-Linienschreiber festgehalten. Die gesamte Energieerzeugung wird von einem Energiezähler erfasst.

3.3 Steuerung und Regelung

Für das automatische Ein- und Ausschalten der Maschine wird eine Folgesteuerung eingesetzt. Die Steuerung prüft

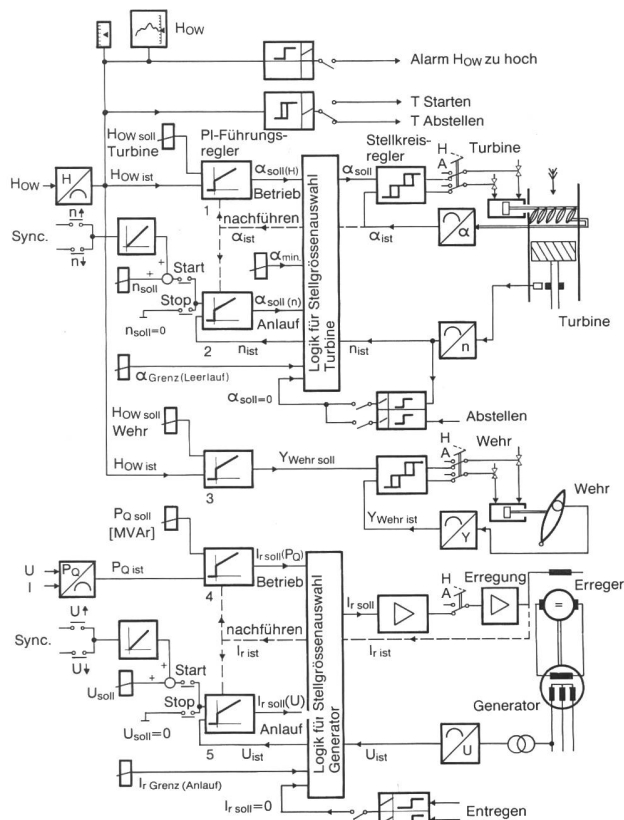
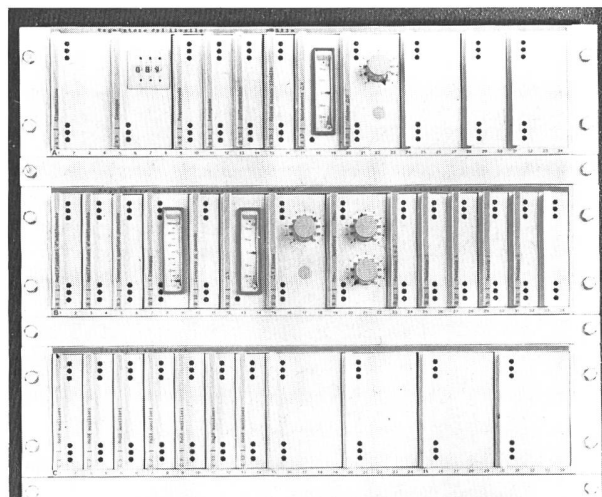


Bild 3. Funktionsschema der Regelung eines Kleinkraftwerks mit einer Maschinengruppe.



rittmeier

Bild 4. Aufbau der Turbinen-, Wehr- und Generatorregelung mit steckbaren Funktionseinheiten des Rian-Systems, 19"-Einschubeinheiten.

vor Ausgabe jedes Steuerbefehls, ob alle bisherigen Schritte richtig ausgeführt und ob sämtliche Bedingungen für die nächste Phase erfüllt sind.

Das Ablaufschema Bild 2 zeigt Hauptschritte und Bedingungen beim Anfahr- und Abstellprozess.

Zum Synchronisieren des Generators mit dem Netz wird ein Synchronisierautomat eingesetzt, der auf die Anfahrregelung einwirkt, bis die Parallelschalt-Bedingungen erfüllt sind.

Die Regelung wird, um eine wirtschaftliche Lösung und wenig Nahtstellen zu erhalten, mit Vorteil für alle zu bedienenden Stellglieder (Turbine, Generator, Wehr) und alle Betriebsphasen mit Komponenten des gleichen Systems ausgeführt (Bild 4).

Das Funktionsschema Bild 3 zeigt die Zusammensetzung der Regelkreise eines einfachen Laufkraftwerks mit einer Turbine/Generator und einer Wehröffnung, ohne die für Niederdruckmaschinen nötigen Ergänzungen.

Alle Führungsregler arbeiten mit PI-Charakteristik. Für Turbine und Generator sind je zwei Führungsregler nötig, einer für die Anlauf- und Abstellphase und ein zweiter für den Normalbetrieb.

Beim Einschalten werden Drehzahl und Spannung über die Proportional-Integral-Regler (PI-Regler) 2 bzw. 5 kontinuierlich erhöht. Für die genaue Einstellung dieser Größen gibt das Synchronisiergerät zusätzliche Korrekturimpulse über dieselben PI-Regler an Turbine und Erreger.

Nach Synchronisieren schaltet die Anfahr-Logik auf die Betriebsregelungen (Oberwasserstand-Regelung bzw. Blindleistungsregelung) um. Dann gelten für die Stellkreisregler die Stellwerte der PI-Regler 1 und 4.

Die Umschaltung geschieht stossfrei, da die nichtaktiven PI-Regler stets der Stellgrösse nachgeführt werden.

Von den Stellkreisreglern werden die Stellglieder gesteuert. Turbine und Wehr arbeiten mit öhydraulischen oder mechanischen Stellmotoren. Für die Generatoren bestehender Kleinkraftwerke sind in der Regel Erregermaschinen vorhanden, deren Feldwicklung vom Stellkreisregler neu über eine Leistungsstufe angesteuert werden kann.

Die Nahtstellen zu den Stellgliedern müssen fallweise sorgfältig abgeklärt und angepasst werden, da es sich meist um alte, spezielle Geräte handelt. Die einfachste Lösung ist, die Steuerventile bzw. die Stellmotoren der Stellglieder mit Inkrement-Verstellbefehlen elektrisch anzusteuern.

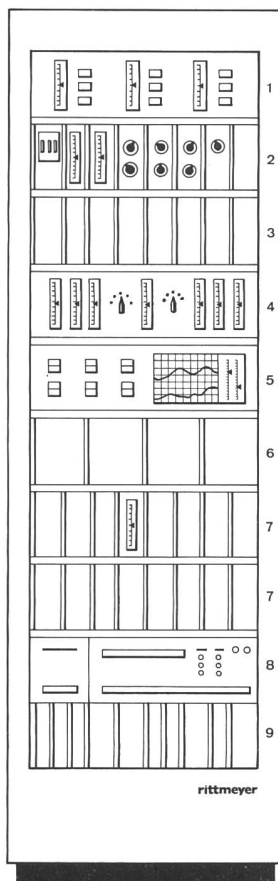


Bild 5. Schaltsfeld für die Kleinkraftwerk-Automatik.

- 1 hydraulische Anzeigen
- 2 H_{0W} -Führungsregler
- 3 Turbinen und Wehrregler
- 4 elektrische Anzeigen
- 5 Hand-Notsteuerung und Linienschreiber
- 6 Schutz- und Synchronisiergeräte
- 7 Generatorregler
- 8 Telealarm
- 9 Alarmmelder

Für die Wehrregelung wird ein zusätzlicher PI-Führungsregler 3 mit Stellkreisregler eingesetzt. Diese Regelung eignet sich sowohl für die Einlauf- als auch für die Stauwehr-Anordnung.

3.4 Überwachung und Alarmierung

Folgende Kriterien werden durch Schutzkreise überwacht:

- Generator: Überstrom, thermische Überlastung, Überspannung, Wicklungsschluss*, Rückleistung
- Turbine: Überdrehzahl, Lagertemperatur, Regler
- Netztransformator: Übererwärmung
- Zufluss und Wehr: Max. Oberwasserstand*, Rechengefälle*, Blockierung der Wehrsteuerung*
- Hilfseinrichtungen: Speisespannungen, Notstromversorgung, Ölversorgung

Bei den mit * bezeichneten Überwachungen wird nur alarmiert. Bei Ansprechen übriger genannter Kriterien wird neben einer Alarmierung das Kraftwerk vom Netz getrennt und die Maschine abgestellt.

Für die Alarmierung wird ein Telealarm-Gerät eingesetzt, das in vorbestimmter Prioritätsfolge über das öffentliche Telefonnetz das Servicepersonal anruft.

3.5 Ausführung der Apparatur

Aus Kostengründen ist es empfehlenswert, auf die Einrichtung eines Kommandoraums zu verzichten und alle Apparate und Einrichtungen im Maschinenhaus neben der Turbine/ Generator-Gruppe zu konzentrieren. Bei Kraftwerken mit nur einer Maschinengruppe und einer Wehrschütze kann die gemäss 3.3 und 3.4 vorgesehene Gerätebestückung der gesamten Automatik in einem Schaltschrankfeld Platz finden. Dieses Schaltschrankfeld enthält auch die nötigen Anzeige- und Registrierinstrumente sowie Steuerasten für die Not- Handsteuerung der Maschinengruppe und des Wehrs.

Alle Geräte werden in 19"-Normetagen zusammengefasst. Ein im Schaltschrankfeld frontseitig eingebauter Schwenkrahmen nimmt alle Etagen auf (Bild 5). Im Schaltschrankfeld (auf Rückwand) werden die Schaltschützen für die Befehlsausgabe, die Messumformer, Hilfseinrichtungen und die Anschlussklemmen für Signalkabel montiert.

Die auf das Nötige reduzierte, wenig redundante Automatik-Ausrüstung löst die Aufgabenstellung – die Ermöglichung des unbedienten Betriebs der Klein-Laufkraftwerke – auf effiziente und wirtschaftliche und trotzdem sichere Art. Damit soll ein Hindernis gegen die Nutzung dieser preiswerten einheimischen und sehr umweltfreundlichen Energiequelle abgebaut werden.

Adresse des Verfassers: Karl Buzay, dipl. Ing., Vizedirektor, Leiter Bereich Entwicklung und Engineering, Rittmeyer AG, CH-6300 Zug.

25 Jahre Kraftwerke Blenio AG

Der Gedanke, die Wasserkräfte im Kanton Tessin durch einen staatlichen Betrieb zu nutzen oder zumindest durch eine Körperschaft, an welcher der Kanton beteiligt sein würde, tauchte schon vor der Jahrhundertwende auf. Der Schlussbericht einer Expertengruppe aus dem Jahre 1918 enthielt zwei Vorschläge: der Staat beansprucht für sich die Nutzbarmachung der noch freien kantonalen Gewässer, insbesondere diejenigen des Bleniotales. Ferner sollten die Gewässer durch eine Aktiengesellschaft mit Beteiligung des Kantons und unter seiner Kontrolle genutzt werden. Es zeigte sich bald, dass für die Gründung eines Unternehmens von einiger Bedeutung und Durchschlagskraft der Kanton nicht nur den Bedarf des eigenen Marktes im Auge haben musste, sondern auch die Möglichkeit, die erzeugte Energie ausserhalb der eigenen geographischen Grenzen abzusetzen. Im März 1942 prüfte der Staatsrat die Möglichkeiten, einen Teil der Energie aus geplanten Anlagen nach Italien auszuführen. Daneben nahm der Staatsrat Verbindung zu neun grossen schweizerischen Kraftwerksgesellschaften auf, mit fünf davon führte er Verhandlungen über den weiteren Ausbau der Tessiner Wasserkäfte, wie dies auch der Bundesrat in seinem Schreiben vom 3. Juli 1942 geraten hatte.

Die Aluminium-Industrie Aktiengesellschaft in Chippis (AIAG) reichte am 22. Juli 1944 ein Konzessionsgesuch für die Ausnützung der Gewässer im Bleniotal ohne Akkumulierung ein, mit den Laufwerken Olivone, Ponto Valentino, Semione und Pollegio sowie eventuell zusätzlichen Werken Pian Segno, Campra, Camperio und S. Anna.

Am 14. Dezember 1942 reichte die AG Motor-Columbus ein Gegenprojekt ein; am 30. April 1943 ein weiteres, überarbeitetes Projekt, das ein Becken in Campra sowie die Ausnützung der Gewässer des Lukmanier- und des Greinabrenno in einer doppelten Zentrale in Olivone und einer weiteren in Malvaglia-Pollegio vorsah.

Am 12. November 1942 beauftragte der Staatsrat Dr. h. c. A. Kaech aus Bern mit der Prüfung des genannten Problems unter besonderer Berücksichtigung der Wasserkräfte des Bleniotales. Das Projekt Kaech wurde am 17. Februar 1943 abgeliefert und diente als Unterlage für die Wiederaufnahme der Verhandlungen mit den bereits früher begrüsstten Kraftwerksgesellschaften. Eine Einigung kam jedoch nicht zustande; der Kanton Tessin beharrte auf einer Mehrheitsbeteiligung von 51%. Am 7. Juni 1944 zeichnete sich schliesslich eine Lösung ab, als sich die