Die Zubringerpumpenanlage

Autor(en): **Linz, R. / Leupin, G. / Léchot, R. / Hasler, E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **97 (1979)**

Heft 39

PDF erstellt am: **15.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85543

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

weil die effektive Setzung des Untergrundes infolge Unterschätzung des Setzungsendwertes, den ursprünglich vorgesehenen Messbereich des Apparates überschritt.

Verformung des Dammkörpers

Auf *Setzungskontrollen im Dammkörper während der Bauzeit mit Setzungspegeln wurde verzichtet,* da sie ausserordentlich die Verdichtungsarbeiten und ebenso den Verkehr auf dem Damm stören. Ausserdem werden sie leicht verschoben und durch die Verdichtungsmaschinen beschädigt. Wir haben uns darauf beschränkt, an acht Fixpunkte auf der Dammkrone die Verschiebungen vor, während und nach der ersten Beckenfüllung in Höhe und Richtung mit geodätischen Methoden zu ermitteln. Dabei wurden keine ungewöhnlichen Bewegungen festgestellt.

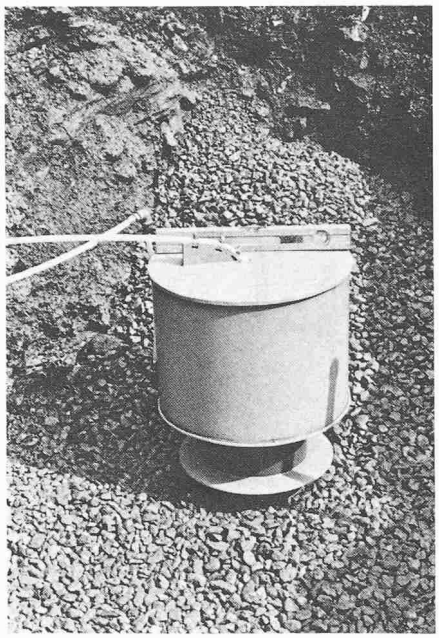

Bild 7. Setzungsmessgerät Typ LEGEP. Mit dem Dammfundament verbundene Zelle

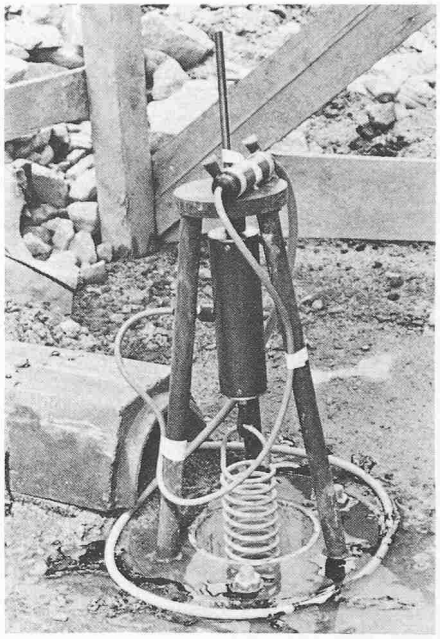

Bild 8. Setzungsmessgerät Typ Telemac. Oberes Gestell mit Dynamometer und geeichter Feder

Schlussfolgerungen

Das Errichten der Dämme des Ausgleichsbeckens Châtelard-Village war Gegenstand verschiedener geotechnischer Kontrollen. Sie umfassten, ausser einer Sondierkampagne und der vorgängigen geologischen und geotechnischen Untersuchungen, die Durchführung von Versuchsschüttungen zur Bestimmung der Anzahl Durchgänge der Vibrationswalze, sowie die Kontrolle des Verdichtungsgrades durch das Messen des Feuchtraumgewichtes nach der Sandersatz-Methode und mit einem Isotopengerät. Ein direkter Vergleich der letzten beiden Methoden ergab eine befriedigende Übereinstimmung der Resultate. Die Setzungen des Untergrundes des Hauptdammes wurden gleichzeitig mit einem Setzungsmessgerät vom Typ LEGEP nach dem Prinzip der kommunizierenden Gefässe *und* mit einer Apparatur vom Typ Telemac mit schwingender Saite gemessen. Endlich wurden die Verformungen des Dammkörpers im Zeitpunkt der Beckenfüllung mit geodätischen Methoden ermittelt.

Adresse des Verfassers: *J.-L. Mottier,* dipl. Ing. EPFL, c/o Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, 5401 Baden.

Die Zubringerpumpenanlage

von R. Linz, G. Leupin, R. Léchot und E. Hasler, Baden

Unter den interessanten Gesichtspunkten dieses neuen Pumpspeicher-Kraftwerkes sind die *besonderen Betriebsverhältnisse* und die *ungewöhnliche Antriebsart der Zubringerpumpen* zu erwähnen, die nämlich gleichzeitig eine Speicherpumpe von 31 MW und einen Freispiegelstollen für 8 m^3/s mit Wasser aus dem Ausgleichsbecken speisen. Die Pumpen sind in der Lage, innerhalb eines weiten Förderhöhen- und Fördermengenbereiches zu arbeiten (H = 0,9 bis 19,4 m und Q = 3,0 bis 4,5 m^3/s je Pumpe), was durch Drehzahländerung erzielt wird. Die *Antriebsmotoren,* mit einer Dauerleistung von je 1113 kW, sind *identisch mit den 16⅔-Hz-Einphasen-Wechselstrommotoren, die in einem Lokomotivtyp der SBB eingebaut sind.* Die *Drehzahl wird variiert durch Veränderung der Speisespannung der Motoren* unter Verwendung eines *Lokomotivtransformators mit Stufenschalter.* Diese technischen Besonderheiten sowie die Komplexität des hydraulischen Systems des Kraftwerkes haben das Konzept der Steuerung und Regelung der Anlage ganz wesentlich geprägt.

Konzept der Anlage

Vor dem Bau der neuen Pumpspeicherzentrale Châtelard II wurde das von den Peltonturbinen der alten Zentrale Châtelard I abfliessende Wasser durch einen *Freispiegelstollen* zum einige Kilometer entfernt liegenden *Ausgleichsbecken Les Marécottes* übergeleitet und von dort der *Zentrale Vernayaz* zugeführt. Gleichzeitig wurden dem Freispiegelstollen über einen Kanal weitere Zuflüsse zugeführt.

Nach dem Bau der neuen Zentrale werden sowohl dieser Stollen wie auch der Kanal weiter benutzt. Zusammen mit der neuen Zentrale wurde das Ausgleichsbecken Châtelard errichtet. Dieses hat die beim Turbinenbetrieb in den beiden Zentralen Châtelard I und II anfallende sowie die von der Bachwasserfassung zuströmende Wassermenge aufzunehmen, soweit diese Wassermengen nicht direkt zum Becken Les Marécottes übergeleitet werden. Der Zuflusskanal, der Turbinenunterwasserkanal der neuen Zentrale sowie der Freispiegelstollen nach Les Marécottes sind miteinander verbunden (Bild 3).

Die höchstmögliche Abflussmenge nach Les Marécottes beträgt 8 m^3/s, der maximale Bachwasserzufluss 8 m^3/s und die maximale gesamte Turbinenwassermenge in den Zentralen Châtelard I und II 16 m^3/s. Die Abflussmenge nach Les Marécottes wird durch eine *Regulierschütze* aufgrund des Wasserbedarfs in der Zentrale Vernayaz gesteuert.

Das im Ausgleichsbecken Châtelard gespeicherte Wasser wird teils mit der Speicherpumpe der neuen Zentrale in den Stausee Emosson gepumpt, teils aber auch dem Ausgleichsbecken Les Marécottes zugeführt.

Weil beim Entleeren des Ausgleichsbekkens Châtelard der Wasserspiegel von

1116,0 m ü.M. bis auf 1100,0 m ü.M. absinkt, das Niveau im Unterwasserkanal aber auf 1116,30 ± 0,1 m ü.M. konstant gehalten wird, werden die *Zubringerpumpen* benötigt. Sie fördern das Wasser vom Ausgleichsbecken in den Turbinenunterwasserkanal; von hier aus fliesst das Wasser dem Freispiegelstollen zu. Für einen späteren Zeitpunkt ist vorgesehen, einen vom Grunde des Ausgleichsbeckens ausgehenden Druckstollen zu bauen (Bild 9). Dadurch erübrigt sich die Förderung zum höher liegenden Freispiegelstollen.

Derzeit sind in der neuen Zentrale eine Speicherpumpe und zwei Zubringerpumpen eingebaut. Es wurden jedoch die baulichen Vorkehrungen zum Einbau einer zweiten Speicherpumpe und einer dritten Zubringerpumpe getroffen. Die letzte wird nur benötigt, wenn die zweite Speicherpumpe noch vor dem Bau des Druckstollens eingebaut wird.

Das *Ausgleichsbecken Châtelard* dient als *Unterbecken* für den Speicherpumpenbetrieb. Dabei werden die Zubringerpumpen zur Speisung der Speicherpumpen mit dem erforderlichen Zulaufdruck verwendet. Dadurch konnten die Speicherpumpen, unabhängig vom veränderlichen Wasserspiegel im Ausgleichsbecken, auf einer höheren Kote eingebaut werden.

Für die gestellte Aufgabe wurden in der Projektphase verschiedene Lösungen studiert. Ursprünglich waren für die Speisung des Freispiegelstollens getrennte Pumpen vorgesehen. Mangels eines genügend leistungsfähigen Dreiphasennetzes wurde die Speisung der Antriebsmotoren aus dem 16⅔Hz-Einphasennetz notwendig. Damit war es möglich, Einphasenbahnmotoren eines aus dem Betrieb genommenen Lokomotivtyps zu verwenden.

Die zulässige Leistungsaufnahme der Pumpen war damit gegeben. Diese Einheiten wären nach dem Bau des Druckstollens nicht mehr benötigt worden. Für die Speicherpumpen sah man getrennte Zubringerpumpen vor.

Die Projektierungsarbeiten führten zu einer *kombinierten Verwendung der Zubringerpumpen* sowohl für die Speisung des Freispiegelstollens wie auch der Speicherpumpen (Bild 4). Bei dieser Lösung durften aber die alten Lokomotivmotoren nicht verwendet werden, da die Pumpen dabei nicht nur vorübergehend, sondern für die gleiche Einsatzdauer wie die Speicherpumpen benötigt werden. Als neuester Bahnmotor stand der des Lokomotivtyps Re 4/4 II der SBB zur Verfügung. Dank dieses stärkeren Motors konnte eine leistungsfähigere Pumpe vorgesehen werden. Die Zubringerpumpen konnten so bemessen werden, dass die Fördermenge einer Pumpe den Bedarf einer Speicherpumpe deckt. Nach dem Bau des Druckstollens dienen die Zubringerpumpen nur noch der Speisung der Speicherpumpen.

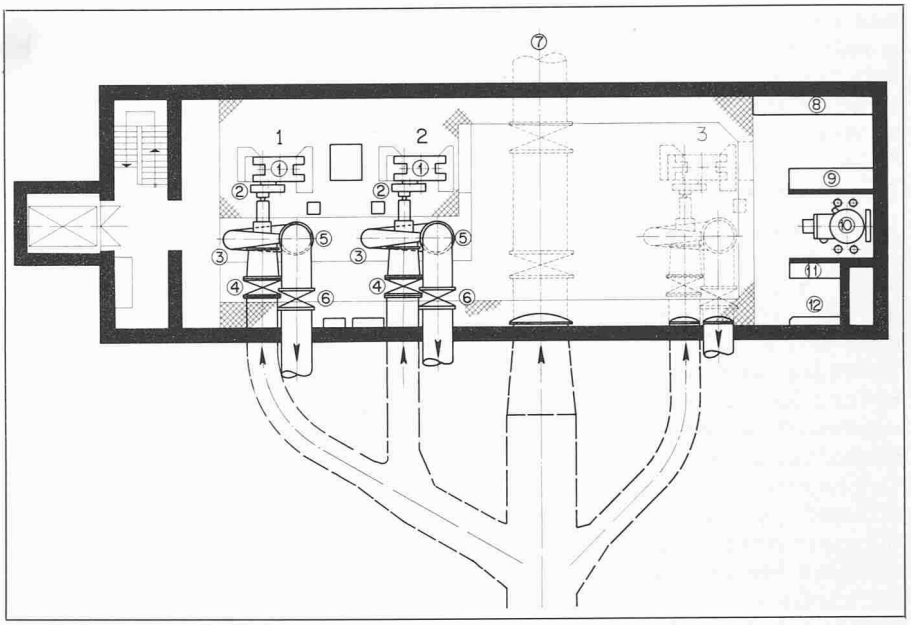

Bild 9. Grundriss Zubringerpumpengeschoss

① *Motor*
② *Untersetzungsgetriebe*
③ *Zubringerpumpe*
④ *Klappe*
⑤ *Rückschlagklappe*
⑥ *Klappe*
⑦ *Druckstollen*
⑧ *Direktsteuertafel*
⑨ *Motorschalter*
⑩ *Transformator mit Stufenschalter und Hilfswicklung*
⑪ *Eigenbedarfsverteilung*
⑫ *Druckluftverteilung*

Das Wasser wird den Zubringerpumpen über eine gemeinsame Leitung vom Ausgleichsbecken her zugeführt (siehe Bilder 4 und 9). Die Zubringerpumpen fördern in einen vertikalen Schacht, von dem seitlich die Zuleitungen zu den Speicherpumpen abzweigen. Der Schacht mündet in den Turbinenunterwasserkanal. Die Einbaukote für die Speicherpumpe liegt um deren erforderliche Zulaufhöhe unter dem Wasserspiegel des Turbinenunterwasserkanals. Die Zubringerpumpen jedoch sind um ihre benötigte Zulaufhöhe unter dem minimalen Wasserspiegel des Ausgleichsbeckens eingebaut.

Besonderheiten der Zubringerpumpengruppen

Pumpen

Die Zubringerpumpen werden zur Speisung der Speicherpumpe und des Freispiegelstollens aus dem Ausgleichsbecken verwendet. Die Speisung der Speicherpumpe und des Stollens kann gleichzeitig auftreten. Je nach Wassermengenbedarf werden hierfür eine oder beide Zubringerpumpen eingesetzt.

Jede Pumpe muss eine möglichst konstante Fördermenge über den gesamten geodätischen Förderhöhenbereich von 0,20 bis 16,40 m liefern können. Dabei muss der Sollwert der Fördermenge innerhalb eines Bereiches zwischen 3,0 und 4,5 m³/s gewählt werden können. Dies wird durch Veränderung der Pumpendrehzahl zwischen rund 170 und 390 min⁻¹ erreicht. Bild 10 zeigt das Betriebskennfeld. Der Fördermengenbereich ist an den Bedarf einer Speicherpumpe angepasst.

Es musste darauf geachtet werden, dass der Wirkungsgrad der Pumpen im oberen Förderhöhenbereich möglichst gut, im unteren jedoch noch angemessen ist und die verfügbare Antriebsleistung des Motors nicht überschritten wird. Der Wirkungsgrad liegt zwischen 32 und 87,5 Prozent.

Die Zubringerpumpen sind *einstufige Spiralgehäusepumpen mit radialem Laufrad höherer spezifischer Drehzahl* und mit *festen Laufrad- und Leitschaufeln*. Das Spiralgehäuse ist im unteren Teil einbetoniert. Die Welle ist in öl-

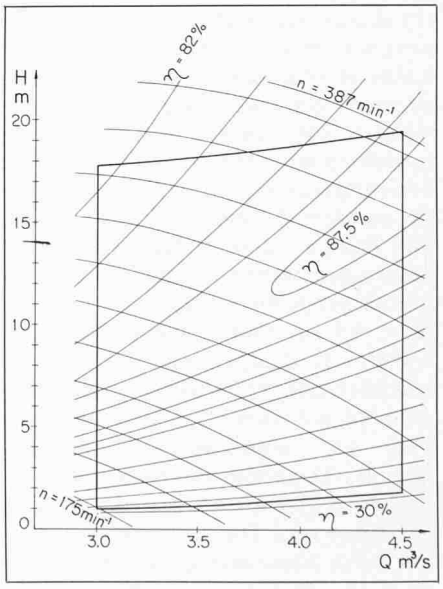

Bild 10. Charakteristiken der Zubringerpumpen

Q Fördermenge *n Pumpendrehzahl*
H Förderhöhe *η Pumpenwirkungsgrad*

tauchgeschmierten Wälzlagern gelagert; als Wellendichtung dient eine berührungsfreie Drosseldichtung. Die Pumpen benötigen keine Hilfsaggregate. Die Überwachungsausrüstung konnte einfach gehalten werden; die Drücke vor und nach der Pumpe sowie das Niveau und die Temperatur des Schmieröls werden automatisch überwacht.

In der Zulaufleitung zu jeder Zubringerpumpe ist eine mit Servomotor und Schliessgewicht ausgerüstete *Absperrklappe* von NW 1200 mm eingebaut. Die Klappen bleiben normalerweise geöffnet, ausser bei längeren Stillständen der Pumpen. Sie dienen aber auch als *Sicherheitsabschlussorgan* bei einer grösseren Leckage auf Pumpenseite, oder bei einer eine Notabschaltung auslösenden Störung an der Pumpengruppe. Nach jeder Pumpe sind eine selbsttätig öffnende und schliessende *Rückschlagklappe* sowie eine von Hand betätigbare *Absperrklappe* von je NW 1200 mm eingebaut.

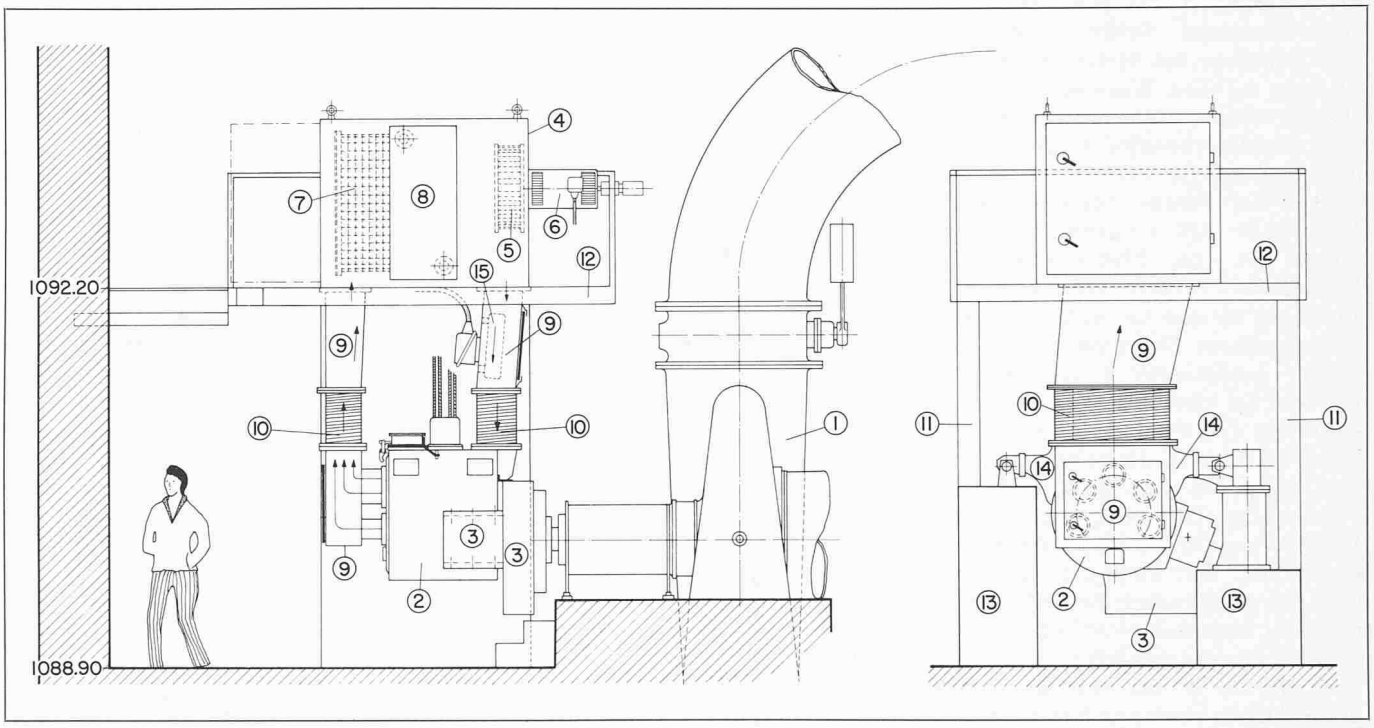

Bild 11. Zubringerpumpengruppe mit Fremdbelüftung- und Kühlaggregat

① *Pumpe*
② *Motor*
③ *Reduktionsgetriebe*
④ *Kühlaggregat, bestehend aus Pos. 5–10*
⑤ *Ventilator*
⑥ *Antriebsmotor des Ventilators*
⑦ *Luftfilter*
⑧ *Luft/Wasser-Wärmetauscher*
⑨ *Luftkanäle aus Stahlblech*
⑩ *Flexible Kanalanschlussteile*
⑪ *Stützen*
⑫ *Bedienungsboden*
⑬ *Betonsockel*
⑭ *Elastische Motoraufhängung*
⑮ *Shunt*

Pumpenantrieb

Bei der *Aufstellungsart* der Zubringerpumpengruppen musste auf die *Besonderheiten des Bahnmotors* Rücksicht genommen werden. Es kam deshalb nur die *horizontale Wellenlage* in Frage.

Wie beim Traktionsbetrieb, sind die Motoren auch für den Pumpenantrieb mit einem *Stirnraduntersetzungsgetriebe* (i = 2,94) ausgerüstet. Dabei ist die Motorwelle mit einem Zahnritzel versehen, das ein auf einem Wellenstummel mittels Wälzlagern gelagertes Zahnrad treibt. Der Wellenstummel ist seitlich am Motor befestigt. Das Zahnrad ist mit der Pumpenwelle elastisch gekuppelt, nach dem gleichen Prinzip wie die Kupplung zwischen Zahnrad und Triebachse bei der Lokomotive. Motor und Getriebe sind somit eine kompakte Einheit.

Da der Einphasenbahnmotor ein pulsierendes Drehmoment abgibt, wurde neben der elastischen Kupplung zwischen Motor und Pumpe auch eine *elastische Motoraufstellung* vorgesehen. Die Motoren sind über deren seitlichen Aufhängepratzen und besonderen Konsolen auf Betonsockeln abgestützt (siehe Bild 11). Die Verbindung zwischen Motor und Konsole erfolgt über ein elastisches Glied.

Sowohl beim Lokomotivenantrieb wie auch beim Pumpenantrieb wird mit der elastischen Kupplung die Wirkung des pulsierenden Antriebsdrehmomentes gedämpft und eine gewisse radiale Relativbewegung zwischen Antriebs- und Abtriebsseite zugelassen. Während die radiale Bewegung bei der Lokomotive durch die gefederte Abstützung des Fahrgestells auf den Triebachsen zustande kommt, wird sie beim stationären Antrieb durch die elastische Abstützung des Motors hervorgerufen.

Die *elastisch abgestützte Einheit Motor-Getriebe* und die *torsionselastische Rotoreinheit* (Motorrotor, Getrieberäder, Kupplung und Pumpenrotor) werden durch das pulsierende Drehmoment des Motors zur Schwingung angeregt. Es musste daher beachtet werden, dass die Eigenfrequenzen dieser schwingenden Systeme nicht mit der Erregerfrequenz des Motors zusammenfallen.

Für die Ermittlung der grössten Beanspruchung der Motorbefestigung sowie der Pumpenwelle wurde das bei einem Bürstenkurzschluss am Motor auftretende, grosse Bremsmoment berücksichtigt.

Beim Lokomotivenantrieb sind die Zahnräder öltauchgeschmiert, wobei das Öl vom Fahrwind gekühlt wird. Für die stationäre Verwendung wurde jedoch eine *Umlaufschmierung* gewählt. Das Öl wird mittels einer Pumpe vom Ölsumpf in der Getriebeverschalung über einen wassergekühlten Ölkühler direkt der Verzahnung zugeführt. Ölpumpe und Ölkühler sind als getrennte Einheit neben dem Getriebe aufgestellt. Die Ölpumpe wird von einem 16⅔-Hz-Einphasenkäfigankermotor angetrieben.

Im Gegensatz zum Traktionsbetrieb wurde für die stationäre Verwendung eine angemessene *automatische Überwachung des Getriebes* vorgesehen; Niveau, Druck und Temperatur des Schmieröls sowie die Temperatur der Zahnradlager werden überwacht. An der Getriebeverschalung sind zudem zwei berührungsfreie Drehzahl- und Drehrichtungsgeber angebracht, welche die Drehzahl und Drehrichtung des Zahnritzels, und damit des Motors, erfassen.

Besonderheiten der Antriebsmotoren und des Transformators

Prinzip des Antriebes

Die Antriebsmotoren werden über einen gemeinsamen Transformator gespeist, wobei die einzelnen Motoren mit doppelpolig unterbrechenden Leistungsschaltern zu- und abgeschaltet werden (siehe Bild 12).

Wie beim Traktionsbetrieb, ist der Transformator auch für die stationäre Verwendung mit einem *Stufenschalter* ausgerüstet. Mit diesem wird die Motorspannung in 32 Stufen von 0 bis 610 V verändert. Da jeder Spannung eine bestimmte Drehmoment/Drehzahl-Kennlinie des Motors zugeordnet ist, kann auf diese Weise die erforderliche Kennlinie gewählt werden. Bild 13 zeigt die Motorkennlinien für verschiedene Spannungen sowie die Charakteristiken der Pumpe, bezogen auf die Motorwelle. Mit steigender Drehzahl nimmt das vom Motor abgegebene Drehmoment bei konstanter Klemmenspannung ab und das von der Pumpe aufgenommene Drehmoment bei konstanter geodätischer Förderhöhe zu. Der sich bei einer gewissen Klemmenspannung und einer gewissen geodätischen Förderhöhe einstellenden Drehzahl entspricht eine ganz bestimmte Fördermenge. Infolge der stufenweisen Veränderung der Drehzahl ist ein Konstanthalten der Pumpenfördermenge über den geodätischen Förderhöhenbereich nur innerhalb einer Toleranz von rund ± 3 Prozent möglich.

Aus Bild 13 ist der von der Pumpe grundsätzlich beanspruchbare, verhältnismässig enge Bereich ersichtlich. Dieser Bereich setzt sich aus dem *Anfahrbereich* (Feld A), dem benützten *Betriebsbereich* (Feld B) und dem für den Betrieb *nicht zugelassenen Bereich* (Feld C) zusammen.

Durch den gemeinsamen Transformator liegen die Motoren bei Parallelbetrieb der Gruppen zwangsweise an der gleichen Klemmenspannung und weisen daher die gleiche Drehzahl auf. Während ein Abschalten eines einzelnen Motors während des Betriebes beider Motoren möglich ist, darf ein stillstehender Motor dieser Art nur im spannungslosen Zustand zugeschaltet werden. Dies bedeutet, dass, falls beide Pumpengruppen benötigt werden, diese nur gemeinsam angefahren werden können.

Motoren

Wie bereits erwähnt, kamen Lokomotivmotoren zur Anwendung. Zur Verfügung standen BBC-Örlikon-Einphasen-Serie-Kollektormotoren vom Typ 10 HW 895 für 16⅔Hz mit einer Dauer-

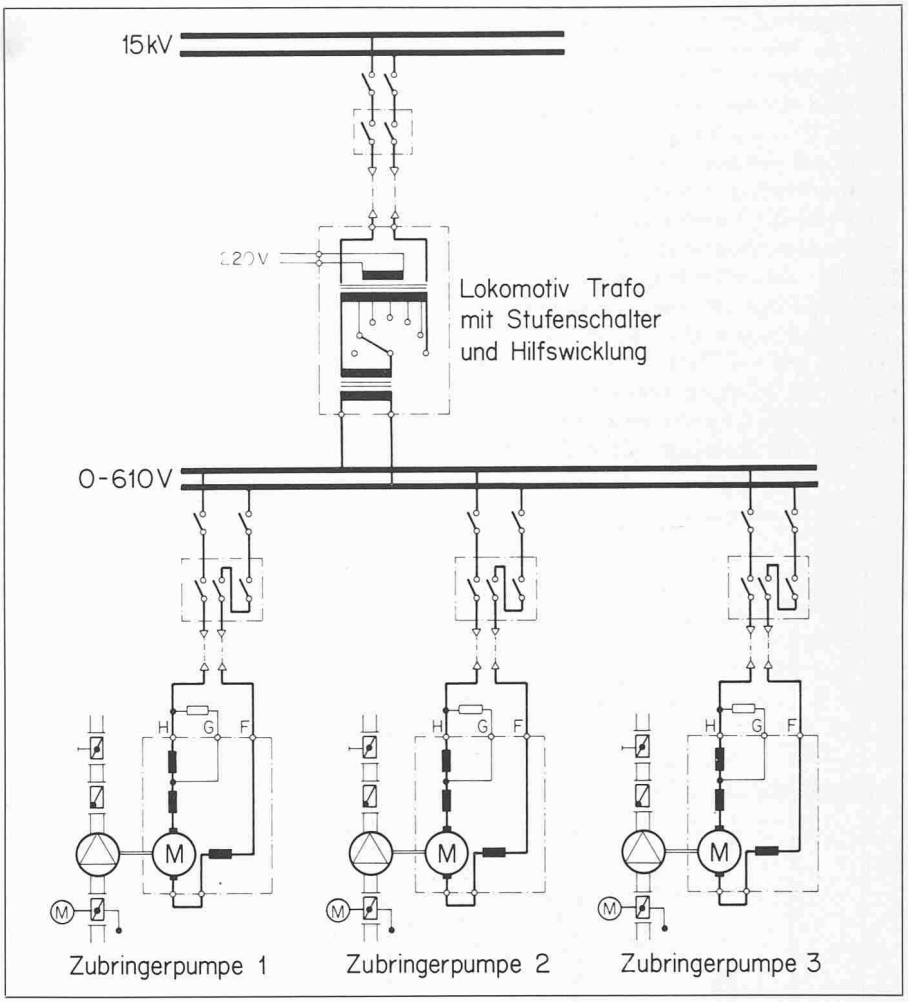

Bild 12. Elektrisches Schema des Pumpenantriebes

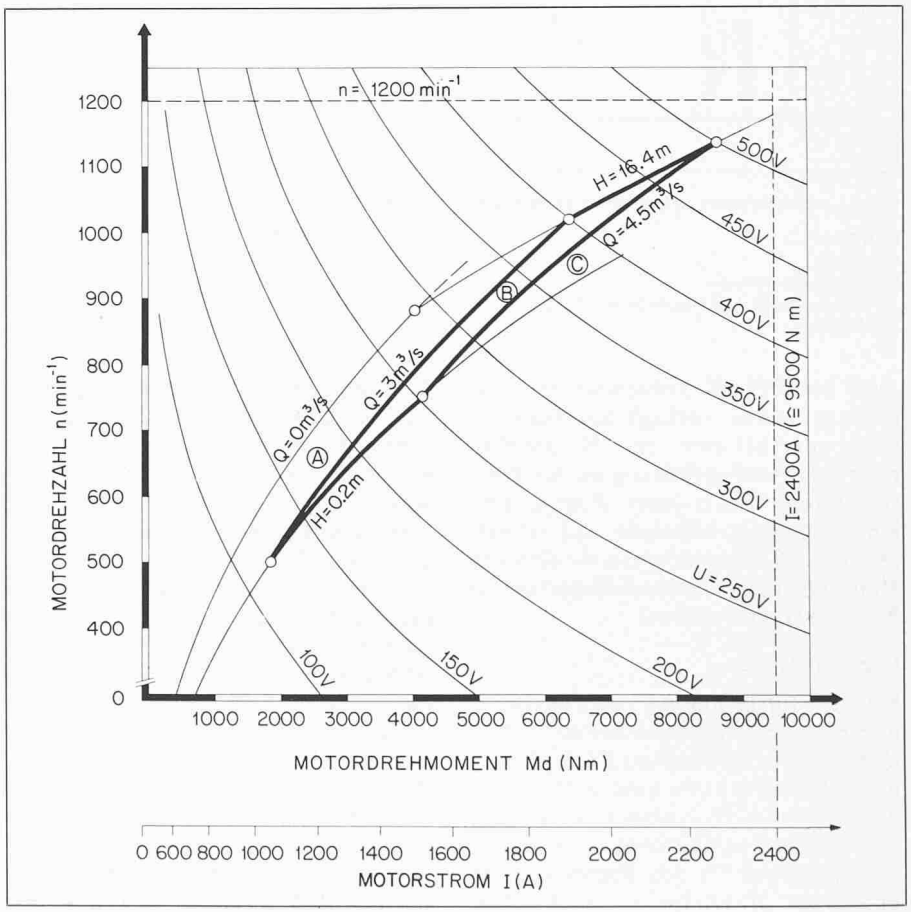

Bild 13. Charakteristiken von Motor und Zubringerpumpe

Q Pumpenfördermenge *U Motorspannung* *B benützter Betriebsbereich*
H geodätische Förderhöhe *A Anfahrbereich* *C für den Betrieb nicht zugelassener Bereich*

leistung an der Welle von 1113 kW bei 525 V und einer Drehzahl von 1195 min^{-1} [1]. Für den Zubringerpumpenantrieb in Châtelard II wurden zwei zusätzliche Einheiten im Rahmen der Seriefabrikation dieser Motoren für die Ausrüstung der SBB-Lokomotiven der Reihe Re 4/4 II bestellt [2].

Ein bemerkenswerter *Unterschied* zwischen der Anwendung der Motoren in der Lokomotive und in Châtelard II besteht darin, dass im Traktionsbetrieb beide Fahrtrichtungen, d. h. beide Drehrichtungen des Motors benötigt werden - wozu jedoch die Erregerwicklung umpolbar sein muss - , in Châtelard II jedoch *nur eine Betriebsdrehrichtung* erforderlich ist. Dementsprechend ist die Erregerwicklung der Motoren in Châtelard II nur für die Betriebsdrehrichtung fest geschaltet. Dies stellt jedoch insofern eine *Gefahr* für diese Motoren dar, als auch in Châtelard II - wie in jeder Pumpenanlage -, trotz des Einbaus von Rückschlagklappen, die *Möglichkeit des Rückwärtsdrehens der Pumpe nicht völlig ausgeschlossen werden kann.* Würde dies vorkommen, ohne dass die Erregerwicklung umgepolt wird, könnte der Motor mit zunehmender Drehzahl infolge Selbsterregung auf gefährliche Spannungswerte kommen, die zu einem Durchschlag der Wicklungsisolation mit Funkenbildung führen könnten. Um dieser Gefahr zu begegnen, wird der Rücklauf der Motorwelle durch *zwei unabhängige Systeme überwacht* und eine allpolige Abtrennung des Motors bei Abschaltung bewirkt.

Fremdbelüftungs- und Kühlaggregate

Die Verwendung für den Zubringerpumpenantrieb machte gewisse Anpassungen der Traktionsmotoren an die stationäre Aufstellung notwendig. Denn es mussten für die Verlustabfuhr und die Ausscheidung des Kohlenstaubes andere Lösungen als bei der Lokomotive gefunden werden.

Die zwei Zubringerpumpengruppen sind im untersten Geschoss der Zentrale Châtelard II, also in einem geschlossenen Raum, untergebracht. Auch müssen sie völlig unabhängig voneinander betrieben werden können. Die Verlustleistung von bis zu 96 kW je Motor (einschliesslich der Verluste im Ohmschen Wendepolshunt) kann nicht ohne unzulässige Erwärmung an die Raumluft abgegeben werden. Ebenso unangebracht erschien der Anschluss der Motoren an Luftkanäle wegen ihrer übermässigen Länge und der daraus entstehenden Druckverluste bzw. baulichen Schwierigkeiten.

Jeder Motor wurde deshalb mit einem *geschlossenen Kühlluftkreislauf* versehen. Darin sind eingebaut: Luftfilter, Luft-Wasser-Wärmetauscher, fremdangetriebener Ventilator und Kontrollapparaturen. Die Kühlluft, nachdem sie die Verluste des Shunts und des Motors aufgenommen hat, durchströmt die Elemente des Kühl- und Ventilationsaggregates in der genannten Reihenfolge.

Wegen der Drehschwingungen des Stators konnte das Aggregat nicht direkt auf das Motorgehäuse aufgebaut werden. Dies wäre auch wegen der gedrängten Bauweise des Motors kaum möglich gewesen. Also wurde das Aggregat direkt über den Motor auf einen auf vier Stützen ruhenden Bedienungsboden aus Profileisen mit Gitterrostelementen aufgestellt (siehe Bild 11). Blechkanäle mit flexiblen Anschlussteilen an den Luftein- und -austrittsöffnungen des Motors stellen die Verbindung zwischen Fremdbelüftungsaggregat und Motor her. Im Kaltluft-Blechkanal konnte der Ohmsche Wendepolshunt untergebracht werden, wobei eine grosse, mit Plexiglas versehene Kontrollöffnung vorgesehen wurde. Auf der Kollektorseite des Motors, wo die Warmluft stirnseitig aus fünf runden Öffnungen den Motor verlässt, wurde ein Warmluftsammler angebracht, der ebenfalls eine Kontrollöffnung aufweist. Sie erlaubt die Beobachtung der Kommutation. Vom Warmluftsammler gelangt die Luft über ein flexibles Element und einen weiteren Blechkanal zum Luftfilter.

Die auf dem Kollektor schleifenden Kohlebürsten erzeugen feinen Kohlestaub, der durch den Luftstrom weggesaugt und im Luftfilter aufgefangen wird. Die Verschmutzung des Luftfilters wird durch ein Differenzdruckmanometer überwacht. Es löst Alarm aus, sobald der Druckverlust über den Luftfilter zu gross wird.

Um der dauernd ändernden Belastung des Motors Rechnung zu tragen, wurde eine *Temperaturrregelung* eingeführt: ein pneumatisch betätigtes Regelventil regelt mit einer Thermostatsteuerung die dem Wärmetauscher aus dem allgemeinen Kühlwassersystem der Zentrale zugeführte Kühlwassermenge derart, dass die Temperatur der in den Motor einströmenden Kaltluft konstant bleibt.

In der Lokomotive und auch in der stationären Aufstellung werden die *Motoren fremdbelüftet.* Jedoch arbeiten in der Lokomotive alle vier Motoren immer parallel, und jedes Motorenpaar wird durch ein gemeinsames Ventilationsaggregat gekühlt. Für die Verhältnisse in Châtelard II, wo die zwei Zubringerpumpengruppen meistens einzeln und nur selten parallel betrieben werden, erwies sich die Verwendung des Lokomotiv-Ventilationsaggregates als ungeeignet. Es mussten deshalb *getrennte, den Kühlungsanforderungen jedes einzelnen Motors entsprechende Ventilationsaggregate* entworfen werden. Ausserdem musste auch die Anspeisung des 16⅔-Hz-Einphasenstromsystems für die Anspeisung aller Hilfsbetriebe der Zubringerpumpengruppen in Châtelard II vom 16⅔Hz-Einphasenstromsystem aus erfolgen.

Es wurde eine eingehende Studie über den wirtschaftlichsten Antrieb des Ventilators, unter Berücksichtigung der gestellten Forderung, durchgeführt werden. Sie führte zum *Antrieb des Ventilators mittels Gleichstrommotors,* der über 16 2/3-Hz-220-V-Gleichrichter gespeist wird. Ein auf das freie Wellenende aufgebauter Fliehkraftschalter liefert den für den automatischen Anlauf des Gleichstrommotors nötigen Schaltbefehl für das Kurzschliessen des Anlaufwiderstandes.

Transformator

Da die Spannung von 15 kV am Einspeisepunkt der im Bahnnetz verwendeten Traktions-Spannung entspricht, wurde für die Umformung auf 0–610 V für die Hauptmotoren und auf 220 V für die Hilfsbetriebe ein Lokomotivtransformator vorgesehen. Im Verlaufe der Detailbearbeitung zeigte sich dann allerdings, dass doch recht umfangreiche Anpassungen nötig waren.

So ist im Bahnbetrieb eines der beiden 15-kV-Phasenenden geerdet, wogegen im Kraftwerk eine hochohmige Mittelpunkterdung mit zwei gegenüber Erde isolierten Phasenenden verwendet wird. Bedingt durch den langen Fahrdraht sind im Bahnbetrieb die bei einem Störfall auftretenden Kurzschlussströme recht klein. Im Gegensatz dazu sind sie im Kraftwerk, wo der Transformator unmittelbar an die Sammelschiene angeschlossen ist, extrem hoch. Der Transformator musste somit bezüglich Isolation und Kurzschlussfestigkeit den neuen Gegebenheiten angepasst werden. Da durch die obengenannten Umstände die Wicklung des Transformators ohnehin besonders ausgeführt werden musste, wurde auch die Abstufung an die Bedürfnisse der Pumpe angepasst. Es gelang, die *Wicklung* so auszuführen, dass über den ganzen Förderhöhenbereich von 0,2 bis 16,4 m für die Änderung der Fördermenge zwischen 3 und 4,5 m^3/s jeweils sechs Spannungsstufen zur Verfügung stehen. Die Veränderung der Spannung am Transformator um eine Stufe bewirkt somit im gesamten Betriebsbereich der Pumpe eine Veränderung der Fördermenge um rund 0,25 m^3/s.

Der *Stufenschalter* wurde unverändert übernommen, womit die Möglichkeit besteht, bei einem allfälligen Ausfall kurzfristig Ersatz zu erhalten. Der Antrieb des Stufenschalters erfolgt mittels Pressluft, die durch Magnetventile gesteuert wird.

Bei den Lokomotiven ist, um den Einbau des Transformators zu ermöglichen, eine komplizierte Form des Kessels nötig. Aus Kostengründen wurde

für die Zubringerpumpen ein zylindrischer, auf Rollen stehender Kessel mit angebautem Expansionsgefäss gewählt. Im Unterschied zu den Lokomotiven, wo die Kühlung durch im Fahrtwind liegende Öl-Luft-Kühler erfolgt, wurden für den Betrieb im Kraftwerk *zwei Öl-Wasser-Kühler an den Kessel angebaut*. Sie stehen abwechselnd in Betrieb. Ein Kühler ist in der Lage, die gesamte Kühlung zu übernehmen. Der zweite dient als Reserve für einen allfälligen Störfall.

Leistungsschalter

Die Hauptaufgabe der Leistungsschalter ist das betriebsmässige Schalten der Antriebsmotoren. Im Gegensatz zum Betrieb auf einer Lokomotive, wo die Motoren nur einpolig vom Netz getrennt werden, war bei der Zubringerpumpenanlage eine *doppelpolige Abtrennung vom Netz* gefordert. Im Fehlerfall muss der Schalter in der Lage sein, den Kurzschlussstrom abzuschalten.
Es wurde ein *serienmässiger dreipoliger Leistungsschalter mit magnetischer Blasung und Motorantrieb* vom Typ SACE P2C 2 500 A gewählt. Um auch bei den im 16 2/3-Hz-Netz ungünstigeren Verhältnissen die geforderte Abschaltleistung zu erreichen, wurden zwei Pole in Serie geschaltet (siehe Bild 12)
Der Schalter ist mit aufgebauten und direkt auf das Schaltschloss wirkenden elektromagnetischen Kurzschlussschutzrelais und elektrothermischen Überstromschutzrelais ausgerüstet. Die Charakteristik dieser Relais wurden an den Betrieb im 16 2/3-Hz-Netz angepasst.

Erfassung von Drehzahl und Drehrichtung

Bedingt durch die veränderlichen Drehzahlen während des Betriebs, insbesondere aber durch die Charakteristik der verwendeten Motoren, die beim Betrieb mit zu geringer Last «durchbrennen» (siehe Motorkennlinien in Bild 13), kommt der *Drehzahlüberwachung* eine besondere Bedeutung zu. Es sind *zwei voneinander unabhängige Systeme* eingebaut.
Beim *Hauptsystem* wird die Drehzahl als Frequenz mit zwei Tastköpfen am Zahnritzel des Untersetzungsgetriebes berührungsfrei erfasst. Nachgeschaltet ist eine Elektronik mit Analogausgängen von 0 bis 5 mA und 4 bis 20 mA zur Ansteuerung der Anzeigeinstrumente und als Eingangssignale für die Regelapparatur. Über Frequenzrelais werden Nulldrehzahl, Überdrehzahl und Rückwärtslauf signalisiert. Der Rückwärtslauf wird aus der Phasenverschiebung der Signale der beiden Tastköpfe ermittelt. Vor jedem Einschalten der Pumpengruppen wird die Funktion des gesamten Drehzahlerfassungssystems durch Einspeisen einer Fremdfrequenz bis und mit dem Ansprechen der Frequenzrelais überprüft. Während des Betriebes überwacht sich das System selbst durch Vergleich der von den beiden Tastköpfen gelieferten Frequenzen.
Das *zweite System dient der zusätzlichen Sicherheit*. Es ist am freien Wellenende des Motors angebaut und arbeitet mechanisch. Die Überdrehzahl wird durch einen Fliehkraftschalter und der Rückwärtslauf durch die Blockierung eines Freilaufes erfasst.

Steuerung und Regelung

Energieversorgung

Um eine grosse Verfügbarkeit der Anlage zu erreichen, wurde angestrebt, für den Betrieb der Anlage von *möglichst wenigen externen Energiequellen* abhängig zu sein.
Die Hilfsbetriebe werden, wie bei einer Lokomotive, über eine *Hilfswicklung* des anlageeigenen Transformators mit Einphasenenergie von 220 V und 16 2/3 Hz versorgt. Energie von 220/380 V und 50 Hz wird nur für sekundäre Aufgaben, wie Stillstandsheizung von Motoren, Kastenheizungen und Beleuchtung, verwendet. Ihr Ausfall beeinflusst den Pumpenbetrieb nicht.
Zum *Antrieb des Transformator-Stufenschalters* ist *Druckluft* nötig. Daher wurden auch alle Kühlwasserventile mit Druckluftantrieben ausgerüstet und für die Regelung der Motorkühlaggregate ein pneumatisches System gewählt. Die Druckluftversorgung erfolgt durch das kraftwerkseigene System über eine Druckluftunterverteilung in der Zubringerpumpenanlage. Durch einen eingebauten Speicher ist bei Ausfall der externen Druckluftanspeisung ein autonomer Pumpenbetrieb von rund 60 min und anschliessend ein sicheres Abstellen der Anlage gewährleistet.
Steuerung und Überwachung der gesamten Anlage erfolgen mit Gleichstrom von 48 V. Die Energie kommt ab der dauernd in Schwebeladung gehaltenen Kraftwerksbatterie. Über eine Unterverteilung mit Sicherungsautomaten erfolgt die Anspeisung der verschiedenen Steuer- und Überwachungsstromkreise.

Steuerebenen

Um die verschiedenen Betriebsarten und die dazu nötigen Eingriffsmöglichkeiten in den Betriebsablauf zu ermöglichen, wurde die Steuerung nach der aus Bild 16 ersichtlichen *Steuerhierarchie* aufgebaut.
Die *Individualsteuerung* ist die unterste Steuerebene. Sie ermöglicht die mechanische, hydraulische, pneumatische oder elektrische Steuerung einzelner Komponenten und Apparate direkt an ihrem Einbauort. Sie wird bei Inbetriebsetzungen oder Revisionen verwendet. Im normalen Pumpenbetrieb kommt sie nicht zur Anwendung.
Die *Direktsteuerung* ermöglicht den Betrieb der gesamten Anlage ab der zentralen Direktsteuertafel, von der aus auch ein guter Überblick über den gesamten Raum möglich ist (siehe Bild 9). Die Anlage kann dabei von Hand oder über die Automatik betrieben werden.
Bei *Handbetrieb* werden die verschiedenen Komponenten und Apparate einzeln elektrisch ein- und ausgeschaltet. Unzulässige und für Mensch und Maschine gefährliche Schalthandlungen sind dabei verriegelt. Werden die Anlage oder Teile davon ausserhalb der zulässigen Grenzen betrieben, so erfolgt ihre zwangsläufige Abschaltung über die Schutzeinrichtungen.
Bei *Automatikbetrieb* wird nur ein Start- oder Stoppbefehl für eine ganze Gruppe erteilt. Die *Automatik, eine Folgesteuerung*, übernimmt die Aufgabe, die einzelnen Komponenten in der funktionell richtigen Reihenfolge in Betrieb zu setzen bzw. wieder in die Ausgangsposition zurückzuführen.
Die *Regelung der Fördermenge* erfolgt sowohl bei Hand- wie bei Automatikbetrieb durch Erteilen von Auf- oder Abbefehlen an den Stufenschalter des Transformators. Dies führt zu einer Veränderung der Motorspannung und damit zur Veränderung der Fördermenge.
Die *Lokalsteuerung* der Anlage erfolgt ab Kommandoraum. Es handelt sich um eine Automatiksteuerung, also um das Erteilen von «Ein»- und «Aus»-Befehlen für eine ganze Gruppe, sowie das manuelle Einstellen der Fördermenge auf den gewünschten Wert.
Bei *vollautomatischer Steuerung und Regelung* ist kein manueller Eingriff in den Betriebsablauf nötig. Aufgrund der Differenz aus zu- und abfliessenden Wassermengen sowie des Wasserniveaus im Unterwasserkanal berechnet die Regelapparatur die notwendige Fördermenge. Sie erteilt die Befehle für das Ein- und Ausschalten ganzer Pumpengruppen sowie zum Verstellen des Stufenschalters.
Um sicherzustellen, dass jeweils nur von einer Steuerebene aus in den Pumpenbetrieb eingegriffen werden kann, ist jede Steuerebene mit einem Schalter für die Wahl des Steuerortes ausgerüstet. Die Prioritäten sind dabei grundsätzlich so geregelt, dass die näher beim Prozess liegende Steuerstelle gegenüber einer weiter entfernten den Vorrang hat. Sie kann somit den Betrieb jederzeit übernehmen, während eine Delegation an die weiter entfernte Steuerstelle nur dann möglich ist, wenn sämtliche Bedingungen für den Betrieb ab dieser Steuerstelle erfüllt sind und diese die Übernahme auch annimmt.

Schutz und Verriegelung

Der mögliche Betriebsbereich der Pumpe ist durch die im Diagramm Bild 13 mit A, B und C bezeichneten Betriebskennfelder dargestellt. Es erwies sich als zweckmässig, für den *Schutz der Pumpengruppen* folgende *zwei Hauptkriterien* anzuwenden:

Ein *Überdrehzahlschutz,* ansprechend bei einer Motordrehzahl von 1200 min^{-1}, und ein *Überstromschutz* von 2400 A, entsprechend einem Drehmoment von 9500 Nm, bezogen auf die Motorwelle. Innerhalb des verbleibenden Bereiches ist es dann Sache der Regelung (oder bei Handbetrieb des Bedienenden), dafür zu sorgen, dass der Anfahrbereich A möglichst rasch durchfahren und der Bereich C nicht erreicht wird.

Die beiden Phasenenden der Motorstromkreise sind in deren Mittelpunkt hochohmig geerdet, was eine Erdschlussüberwachung der Motoren durch Messung des Fehlerstromes in diesem Punkt erlaubt. Das Ansprechen der für alle Motoren gemeinsamen Erdschluss-Schutzeinrichtung bewirkt eine Abschaltung der Gesamtanlage.

Da beim Transformator das Übersetzungsverhältnis variabel ist, konnte kein *Differentialschutz* vorgesehen werden. Der Transformator ist jedoch mit Buchholzschutz und Temperatur-Überwachung ausgerüstet. Beide *Schutzeinrichtungen* verfügen über *zwei Ansprechstufen,* von denen die erste nur einen Alarm auslöst, die zweite jedoch die Anlage abschaltet.

Neben den üblichen Anfahrbedingungen und Verriegelungen waren zusätzlich zwei durch spezifische Eigenschaften der Motoren verursachte Bedingungen zu berücksichtigen, nämlich:

- Die Forderung, eine *allfällig rückwärtsdrehende Gruppe sofort vom Netz abzutrennen* und diese Abtrennung so lange verriegelt zu halten, bis die Gruppe zum Stillstand gekommen ist, um eine Selbsterregung des Motors zu verhindern.
- Die Forderung, einen *stillstehenden Motor nur in spannungslosem Zustand zuzuschalten.* Damit werden unzulässig hohe Anlaufströme vermieden. Dadurch, dass alle Motoren durch einen gemeinsamen Transformator gespeist werden, ergibt sich die zusätzliche Bedingung, dass für das Zuschalten einer zweiten Pumpengruppe die bereits in Betrieb stehende Gruppe zuerst abgestellt werden muss. Beide Gruppen müssen dann parallel hochgefahren werden. Auch bei einem externen Spannungsausfall muss sichergestellt sein, dass die Gruppen abgeschaltet werden, da sonst beim Wiederkehren der Spannung der Anlaufstrom für die inzwischen langsamer drehenden Motoren zu gross würde.

Das Ansprechen eines nur eine Pumpengruppe betreffenden Schutzkriteriums führt zu einer *Notabschaltung* der betreffenden Pumpengruppe. Sie bewirkt im wesentlichen das allpolige Abtrennen des Antriebsmotors vom Netz auf elektrischer Seite und das Schliessen der Zulaufklappe auf hydraulischer Seite. Die nicht betroffene Pumpengruppe bleibt in Betrieb.

Bei einem *Fehler im gemeinsamen Teil* der Anlage (z.B. Transformator) erfolgt eine *Notabschaltung der Gesamtanlage.* Sie bewirkt die 15-kVseitige elektrische Abtrennung der Gesamtanlage sowie eine Notabschaltung aller Pumpengruppen.

Bestimmung der Fördermenge

Die Fördermenge der Pumpen wird *nicht direkt gemessen.* Da ihre Kenntnis jedoch für den Betrieb notwendig ist, wird sie aus anderen Grössen abgeleitet. Betrachtet man die ganze Zubringerpumpenanlage als eine Einheit, zeigt sich, dass die Fördermenge Q allein eine Funktion der beiden externen Variablen, Klemmenspannung U und Förderhöhe H, ist (siehe Bild 14). Während die Spannung direkt gemessen werden kann, ergibt sich die Förderhöhe aus der Differenz der Niveaux im Unterwasserkanal N_{CdF} und im Ausgleichsbecken N_{BC}. Da jedoch die Ni-

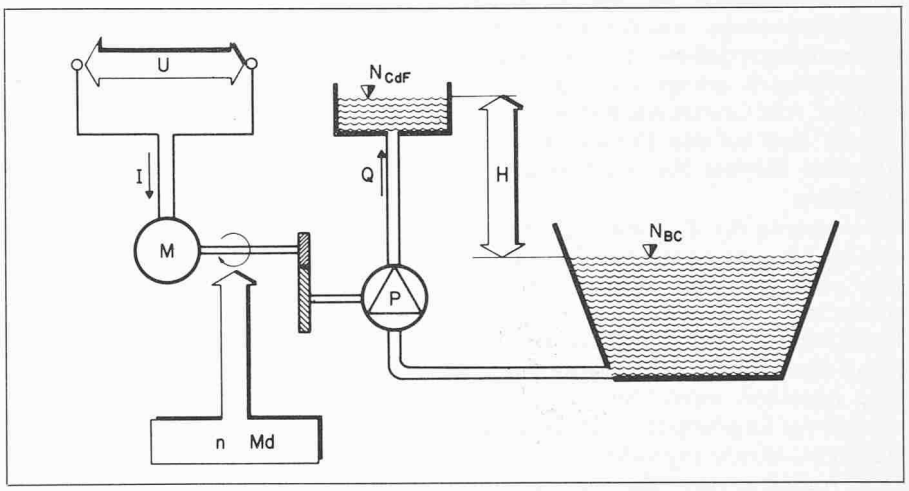

Bild 14. Prinzipschema des Zubringerpumpensystems

n	*Motordrehzahl*	I	*Motorstrom*	N_{CdF}	*Wasserspiegel im Unterwasserkanal*
Md	*Motordrehmoment*	H	*Förderhöhe*	N_{BC}	*Wasserspiegel im Ausgleichsbecken*
U	*Motorspannung*	Q	*Fördermenge*		

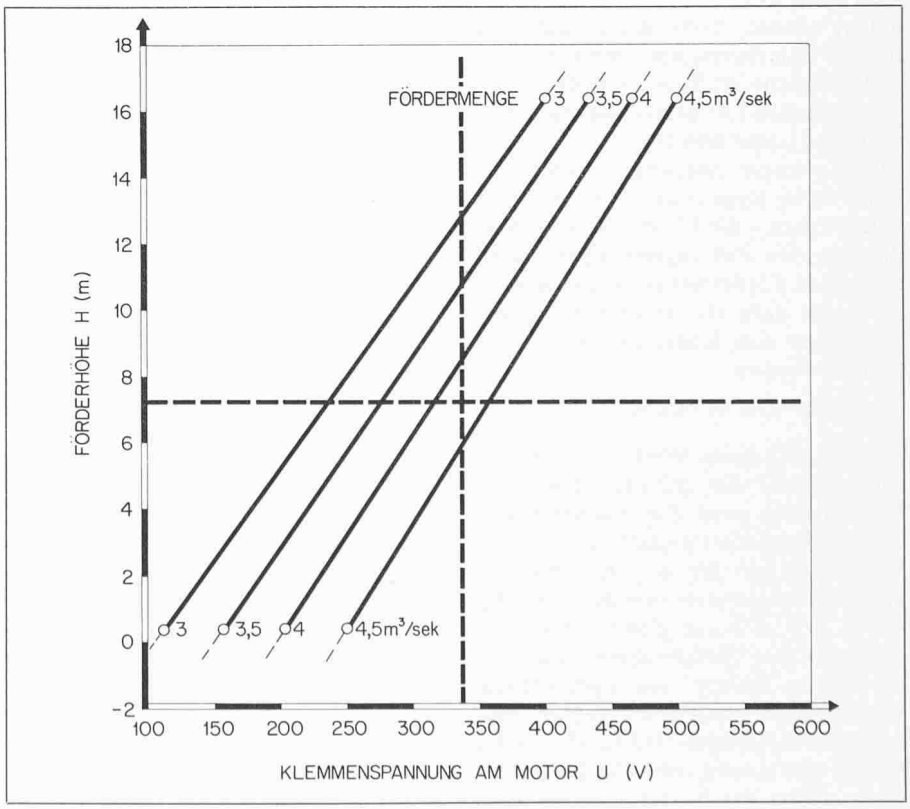

Bild. 15. Kreiszeigerinstrument zur Anzeige der Fördermenge, ermittelt aus Förderhöhe und Spannung

veauschwankungen im Unterwasserkanal während des Pumpenbetriebes gering sind, wurden sie vernachlässigt und die Förderhöhe direkt aus dem Niveau im Ausgleichsbecken N_{BC} abgeleitet. Spannung und Förderhöhe sind auf Abszisse und Ordinate eines Kreuzzeigerinstrumentes (Koordinatenanzeiger), das in der Steuertafel eingebaut ist, angezeigt (siehe Bild 15). Im Schnittpunkt der beiden Zeiger kann mittels einer Kurvenschar die momentane Fördermenge abgelesen werden.

Regelapparatur

Die Regelapparatur besteht aus einem *digitalen Messwertaufbereitungs- und Regelsystem mit Rechnerstruktur.* Der fest programmierte Rechner bearbeitet die Aufbereitungs- und Regelkanäle im *Zeitmultiplexverfahren.* Der Informationsaustausch erfolgt über einen Systembus. Alle Grenzwerte und Regelparameter sind auf den Frontplatten der einzelnen Module über Codierschalter einstellbar.

Die Messung der *Zu- und Abflüsse* sowie der Niveaux erfolgt mit *Druckwaagen nach der Bubbler-Methode,* mit Ausnahme der Messungen in der Druckleitung, für die eine nach dem *Ultraschallprinzip* arbeitende Messeinrichtung installiert wurde. Die Messwerte werden der Regelapparatur als Analogsignale (4–20 mA) zugeführt.

Den Aufgaben der *Zubringerpumpen* innerhalb des vorhandenen hydraulischen Systemes entsprechend, ist für die automatische Regelung das *Niveau im Unterwasserkanal* (N_{CdF}) die zu regelnde Grösse. Das genannte Niveau muss bei allen Betriebsverhältnissen innerhalb eines vorgegebenen Bereiches gehalten werden, damit der Zulaufdruck für die Speicherpumpe *und* der maximal mögliche Abfluss nach dem Ausgleichsbecken Les Marécottes sichergestellt sind (siehe Bild 16).

In einer ersten Sequenz bestimmt der Rechner im Regelsystem – unabhängig vom Niveau – die Führungsgrösse bzw. die von den Zubringerpumpen zu erbringende Fördermenge (siehe Bild 18). Er bildet dazu die Differenz ΔQ *aus sämtlichen dem Kanal zu- und abfliessenden Wassern:*

$$\Delta Q = Q_C + Q_T - Q_P - Q_M \, (m^3/s).$$

Erreicht ΔQ einen Wert $\geqq$ -3,0 m³/s – entsprechend der minimal zulässigen Fördermenge einer Zubringerpumpe – so wird durch die Pumpenstartlogik der Einschaltbefehl für eine der Pumpen gegeben. Vergrössert sich der Wert ΔQ auf $\geqq$ -6,0 m³/s, so gibt die Pumpenstartlogik den Einschaltbefehl auch für die zweite Pumpe. Bei umgekehrten Verhältnissen erfolgt bei ΔQ = -4,5 m³/s der Ausschaltbefehl für die zweite Pumpe und sobald ΔQ = 0 oder positiv wird, erfolgt der Ausschaltbefehl auch für die erste Pumpe.

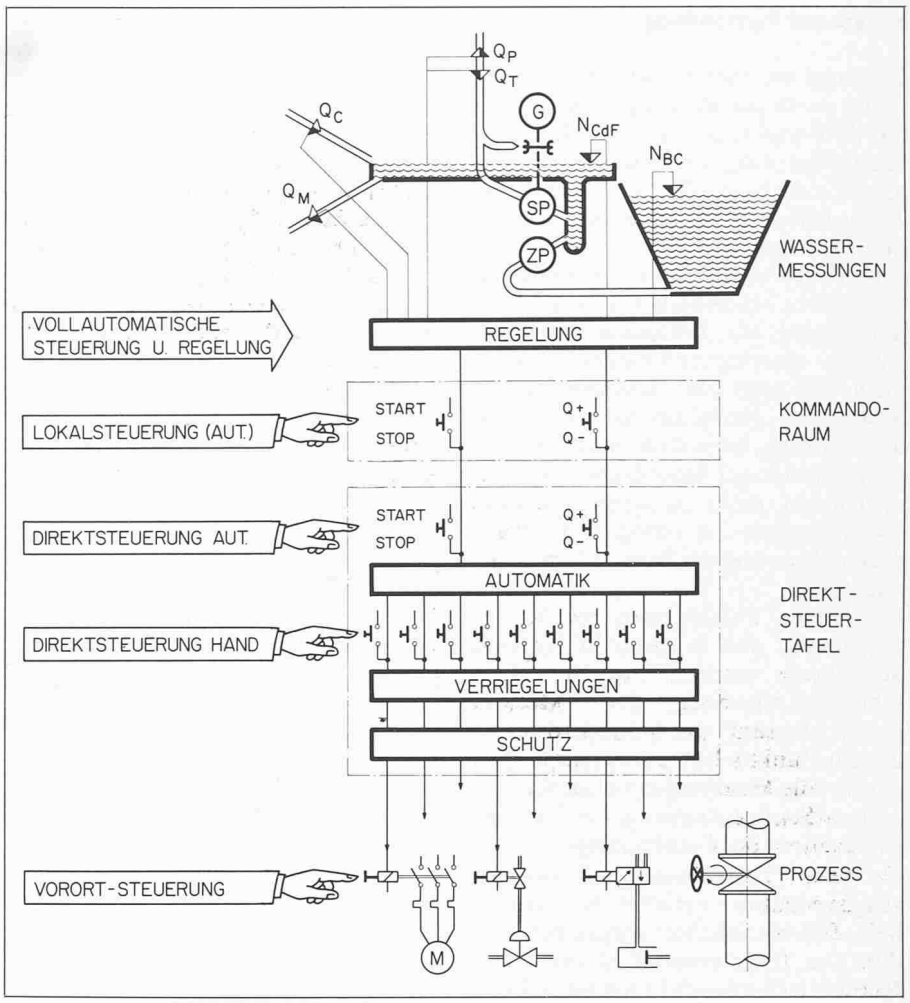

Bild. 16. Prinzipschema der Steuerung und Regelung

Q_c *Bachwasserzufluss*
Q_M *Abfluss nach Les Marécottes/Vernayaz*
Q_P *Fördermenge der Speicherpumpe*
Q_T *Turbinenwassermenge*
N_{CdF} *Wasserspiegel im Unterwasserkanal*
N_{BC} *Wasserspiegel im Ausgleichsbecken*
G Motorgenerator
SP Speicherpumpe
ZP Zubringerpumpe

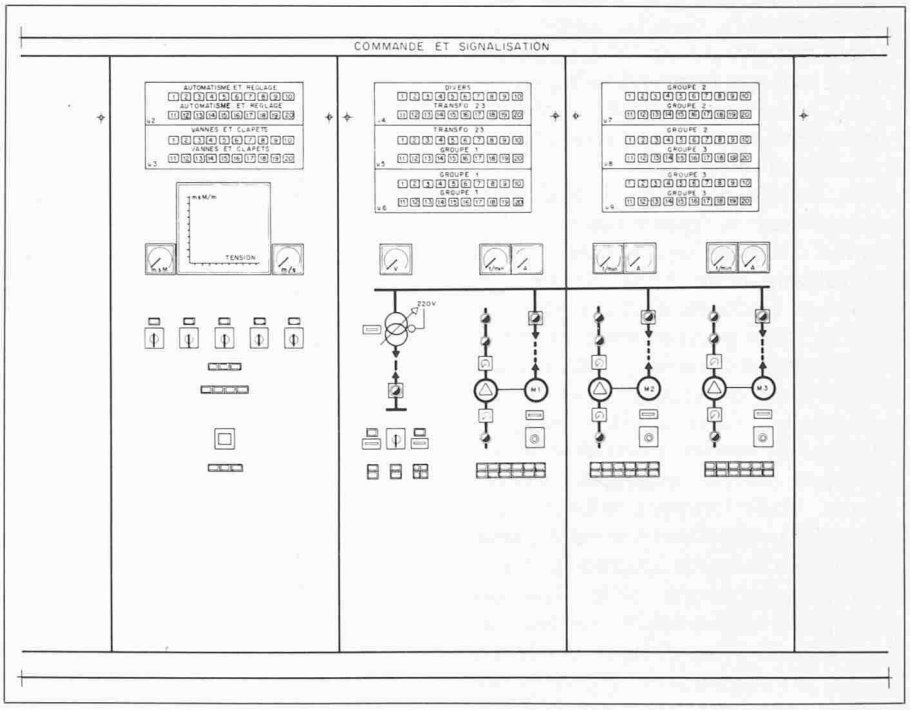

Bild. 17. Steuer- und Überwachungsteil der Direktsteuertafel

Da das Niveau im Unterwasserkanal auch bei einem $\Delta Q \geqq -3{,}0$ m³/s absinken kann, wird bei Erreichen eines bestimmten Minimalniveaus ebenfalls eine Zubringerpumpe eingeschaltet. In diesem Fall bleibt die Pumpe bei minimaler Fördermenge in Betrieb, bis das Maximalniveau (Überfallkante) erreicht ist und wird dann wieder abgeschaltet.

Für die *Fördermengenregelung* werden die Führungsgrösse ΔQ, die ein Mass für die notwendige Fördermenge ist, und die in der Vergleichsstelle aufgrund der Abweichung des Niveaus N_{CdF} von seinem Sollwert gebildete Regelabweichung, einem Summierglied zugeführt. Die resultierende Soll-Fördermenge wird über eine Sollwertbegrenzung dem Fördermengen-Regler zugeleitet. Diese *Sollwertbegrenzung* stellt sicher, dass die Pumpen nur innerhalb des zulässigen Arbeitsbereiches (3,0 bis 4,5 m³/s) betrieben werden.

Der Fördermengen-Regler bestimmt nach der Sollwert-Istwert-Abweichung die Stellgrösse für die Veränderung der Fördermenge. Da die Fördermenge durch Verstellen des Stufenschalters geregelt wird, ist dem Ausgang des Fördermengen-Reglers ein Signalwandler zur Erzeugung von «Auf»- und «Ab»-Steuerimpulsen nachgeschaltet.

Die im Regelkreis des Fördermengen-Reglers als Istwert benötigte Fördermenge der Pumpen wird in der Regelapparatur selbst aus Pumpendrehzahl und Förderhöhe berechnet.

Das Anfahren der Speicherpumpe bringt einen zusätzlichen Wasserbedarf, für dessen Deckung in den meisten Fällen auch eine zusätzliche Zubringerpumpe in Betrieb genommen werden muss. Da dazu jedoch eine bereits in Betrieb stehende Zubringerpumpe zuerst abgeschaltet werden muss, besteht die Gefahr, dass noch während des Anfahrens der Speicherpumpe das Niveau im Unterwasserkanal zu stark absinkt. Um dies zu vermeiden, wird der Regelung unmittelbar vor dem Anfahren der Speicherpumpe ein zusätzlicher Wasserbedarf vorgetäuscht. Die dadurch kurzzeitig von den Zubringerpumpen zu viel geförderte Wassermenge fliesst durch den Überlauf zurück ins Ausgleichsbecken Châtelard, bis die Speicherpumpe ihren Betrieb aufgenommen hat.

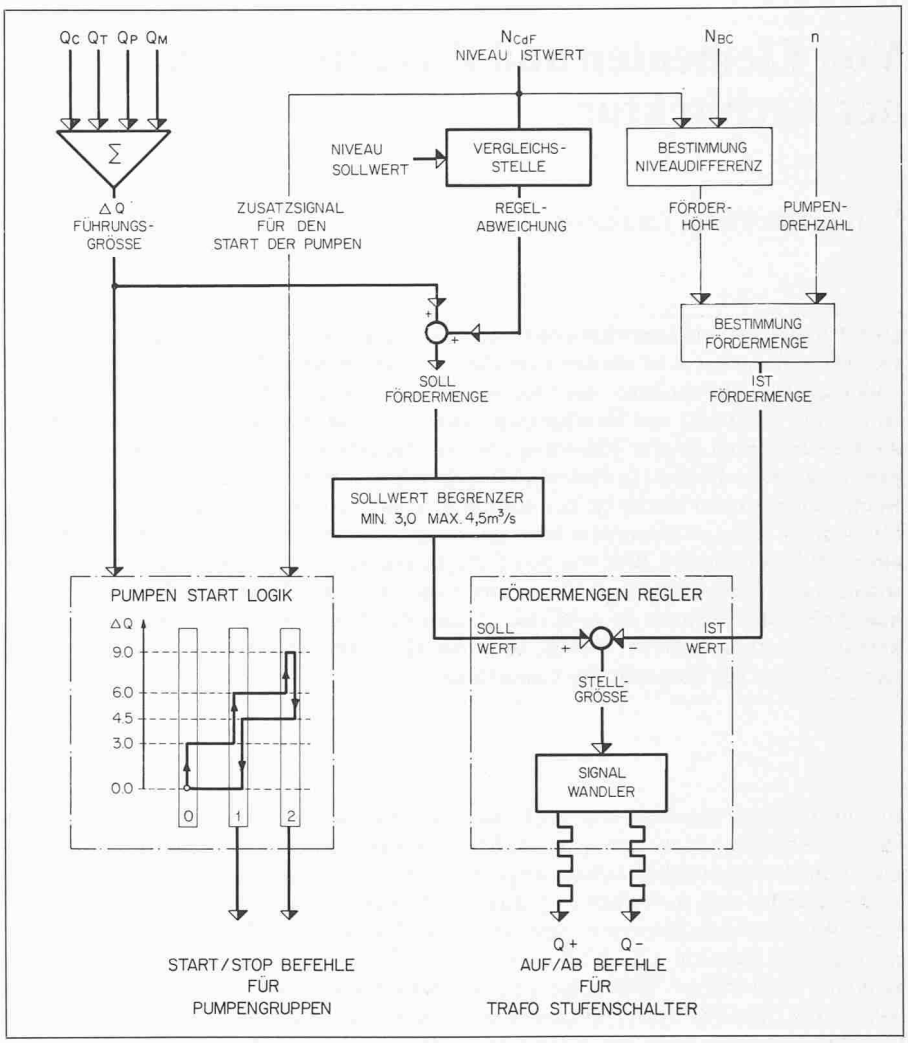

Bild. 18. Prinzipschema der Zubringerpumpenregelung

Schlussbetrachtung

Die Zubringerpumpenanlage steht seit Januar 1977 in Betrieb und weist, ungeachtet des Zusammenwirkens vieler Einzelteile, eine hohe Verfügbarkeit auf. Trotz der besonderen Eigenschaften der einzelnen Elemente, der schwer zu erfüllenden Betriebsbedingungen und der vielfach notwendig gewordenen Neuerungen, haben sich die für diese Pumpanlage getroffenen Lösungen vom Standpunkt des Betreibers aus gesehen als zweckmässig erwiesen.

Literaturverzeichnis

[1] *Moser R., Haas. H., Dünner E.*: «Die Fahrmotoren der SBB-Lokomotive Re 4/4 II». Bulletin Oerlikon 1966 (368/369), Seiten 26–35

[2] *Borel M.A., Florin C.*: «Die Hochleistungslokomotive Re 4/4 II der Schweizerischen Bundesbahnen». Brown Boveri Mitteilungen 1970 (10), Seiten 398–409

Adresse der Verfasser: *R. Linz*, Maschineningenieur HTL, *G. Leupin*, dipl. El. Ing. ETH, *R. Léchot*, Elektroingenieur HTL und *E. Hasler*, Elektroingenieur HTL, c/o Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, 5401 Baden.