Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 58 (1967)

Heft: 23

Artikel: Steuerungssysteme für die Kraftwerk-Automatisierung

Autor: Hauri, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916302

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: 09.07.2025

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

6. Einfluss der Übertragerinduktivität und seine Beseitigung

Die Fig. 13 und 14 veranschaulichen den Einfluss der Übertragerinduktivität auf die Dämpfung.

Auch durch diese Induktivitäten wird die Dämpfungskurve stark verändert. Die theoretischen Kurven I nehmen reale Übertrager und richtig abgestimmte Filterzweige an [Gl. (18)]. Beide Annahmen verknüpfen sich in der Praxis und machen es unmöglich, die Filterzweige richtig abzustimmen. Die Kurven, die man dann findet, werden möglicherweise in einigen Punkten besser mit vorgegebenen Kurven übereinstimmen. Dafür sind dann, wie z. B. Kurve III in Fig. 13b zeigt, andere Abweichungen von der gewünschten Kurve II um so grösser.

Die Tatsache, dass man aus einer Brücke Parallelwiderstände, die beiden Zweigen gemeinsam sind, herausziehen und dem Ein- und Ausgang parallel legen kann [3], gibt die Möglichkeit bei der Differentialbrückenschaltung den Einfluss der Übertragerinduktivität zu eliminieren, falls die Brückenzweige Parallelinduktivitäten enthalten.

Für die Induktivitäten von Fig. 15a gelte:

$$L^{(1)} > L^{(0)} \tag{32}$$

Man zieht aus den Brückenzweigen den Parallelkreis $L^{(1)}$, 2 C_w heraus und legt ihn zu Ein- und Ausgang parallel. Von der Induktivität $L^{(0)}$ bleibt im Brückemzweig X_2 nur der Anteil

$$L^* = \frac{L^{(1)} \cdot L^{(0)}}{L^{(1)} - L^{(0)}} \tag{33}$$

Das Kreuzglied in Fig. 15b lässt sich in eine Differentialbrücke umwandeln, deren Übertrager eine endliche Induktivität hat (Fig. 15c). Die gesamte Sekundärseite hat die Induktivität 4 $L^{(1)}$ und die Wicklungskapazität $C_w/2$. Der Übertrager kann damit kleiner aufgebaut werden als bei der normalen Differentialbrückenschaltung, für deren Übertragerinduktivität nach Gl. (17) gelten müsste:

$$L_1 > \frac{2\,R\,\delta'}{\omega_0\,(1 + k_{12})} \tag{34}$$

Die Schaltung Fig. 15c kann aufgebaut werden, wenn sich L^* mit einer genügend kleinen Wicklungskapazität realisieren lässt. Die Übertragerverluste werden wieder nach Gl. (19) kompensiert. Die Spule am Eingang kann zur Verlustkompensation oder zur Anpassung an einen von R abweichenden Generatorwiderstand als Sparübertrager ausgeführt werden.

Das hier beschriebene Verfahren wurde bei den Filterschaltungen angewendet, an denen die Messungen in den Abschnitten 4 und 5 ausgeführt wurden. Wie die Kurven II in den Fig. 5, 6 und 12 und die entsprechenden Messpunkte zeigen, kann man mit derartigen Schaltungen die nach Gl. (22) berechneten Dämpfungskurven, bei denen Verluste und Induktivität des Übertragers nicht berücksichtigt sind, und die daher dem beim Filterentwurf vorgegebenen Dämpfungsschema entsprechen, recht gut verwirklichen.

Literatur

[1] *W. Herzog:* Der Einfluss des Differentialübertragers auf den Dämpfungsverlauf von Differentialbrückenfiltern. Frequenz 15(1961)11, S. 344...353.

[2] *J. Wallot:* Einführung in die Theorie der Schwachstromtechnik. 5. Auflage. Berlin/Göttingen/Heidelberg, Springer-Verlag, 1948, § 195.

[3] *W. Herzog:* Siebschaltungen mit Schwingkristallen. 2. Auflage. Braunschweig, Verlag Vieweg, 1962.

[4] *W. Klein:* Theorie der Netzwerke. 1. Grundgesetze und Schaltungsumwandlungen. In: Handbuch für Hochfrequenz- und Elektrotechniker. Herausgegeben von C. Rint. 2. Auflage. Berlin, Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik, 1949.

Adresse der Autoren:

Dr. rer. nat. *Hans Georg Giloi,* Diplom-Physiker, und Prof. Dr. phil., Dr.-Ing. *W. Herzog,* Direktor des Institutes für Elektrotechnik der Universität Mainz, Joh.-Joachim-Becher-Weg 14, Postfach 606, D - 6500 Mainz.

Steuerungssysteme für die Kraftwerk-Automatisierung

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 19. September 1967 in Zürich

von *A. Hauri,* Baden

65.011.56:621.39:621.31

Unter Automatisierung wird der prozessgekoppelte Betrieb des Steuersystems verstanden, welches mit Befehlen im geschlossenen Kreis auf den Prozess zurückwirkt. Eine solche Automatik ist auch im ungestörten Normalbetrieb dauernd zum Eingriff bereit und wirkt als übergeordneter Schutz. Höher organisierte Steuersysteme lassen sich ganz allgemein hierarchisch gliedern in Schaltanlage, Einzelsteuerebene, Funktionsgruppen-Ebene und Programm-Ebene. Für jede dieser Ebenen wurden normierte Steuerbausteine in Halbleitertechnik entwickelt, welche die Projektierung vereinfachen und eine einheitliche Steuertechnik und Informationsvermittlung an das Betriebspersonal gewährleisten.

Das Steuergerät der Programmebene benötigt ein dem Kraftwerk-Prozess entsprechendes verfahrenstechnisches Programm, welches in diesem sogenannten Prozessleitgerät gespeichert wird. Als Leitgeräte kommen festverdrahtete, programmierbare Folgesteuerungen oder Prozessrechner in Frage. Die Anwendung von Prozessrechnern für die automatische Steuerung ist dann gegeben, wenn sie in derselben Anlage für Aufgaben der Datenverarbeitung oder eigentliche Berechnungsaufgaben eingesetzt werden.

Sous le terme d'automatisation on entend l'exploitation d'un système de commande à processus couplé, lequel réagit en circuit fermé par des commandes sur ce processus. Un tel automatisme demeure même en cours d'exploitation normale, dépourvue de perturbations, sans cesse prêt à intervenir et sert de protection primordiale. Des systèmes de commande supérieurement organisés peuvent d'une manière générale faire l'objet d'un classement hiérarchique, établissant une distinction entre les installations de couplage, le plan de commande individuelle, le plan du groupe fonctionnel et le plan du programme. Des éléments constitutifs normalisés de la technique des semi-conducteurs furent développés pour chacun de ces plans, ce qui simplifie les projets tout en assurant au personnel d'exploitation une technique de commande et une transmission d'informations uniformes.

Le dispositif de commande du plan du programme nécessite un programme d'opérations adapté au processus d'une centrale électrique; un programme emmagasiné dans le dispositif de direction du processus. Comme dispositifs de guidage on peut servir des commandes à séquence à câblage fixe ou des calculateurs opérationnels. L'application de calculateurs opérationnels est indiquée lorsque ces derniers servent dans la même installation au traitement d'informations ou à l'exécution de calculs proprement dits.

1. Was bedeutet Kraftwerk-Automatisierung?

In allen modernen Kraftwerk-Anlagen sind Teilautomatisierungen seit langem verwirklicht, z. B. automatische Spannungsregelung oder Drehzahlregelung. Das Anfahren und Abstellen der Maschinen oder des Prozesses wird jedoch meist vom Betriebspersonal vorgenommen. Dabei wer-

den die Anlagenbedingungen und der Anlagenzustand mit Hilfe von Instrumenten und Stellungsanzeigern geprüft und anschliessend Befehle ausgegeben. Dieses Verfahren übersteigt in kritischen Situationen oft die menschliche Auffassungsgabe und Reaktionsfähigkeit.

Die hier betrachteten Steuersysteme für die Kraftwerk-Automatisierung sollen den Ablauf der Betriebsvorgänge selbsttätig leiten, ohne Eingriff des Betriebspersonals. Die

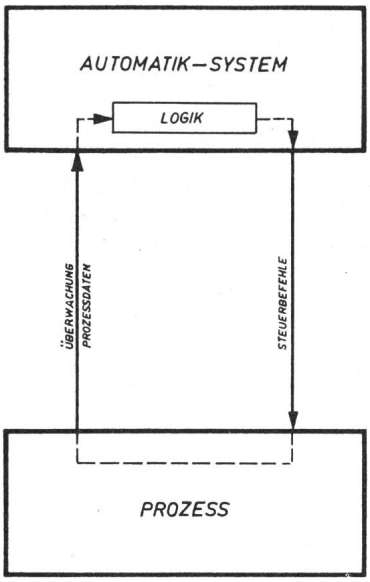

Fig. 1
Prinzip des prozessgekoppelten geschlossenen Betriebes eines Automatik-Systems
Die Prozess-Überwachung ist dem Automatik-System direkt aufgeschaltet, welches mit Befehlen im geschlossenen Kreis auf den Prozess zurückwirkt

Vorgänge umfassen das Anfahren, den Normalbetrieb, Störungen und das Abstellen. Es sollen alle Regelkreise selbsttätig arbeiten und alle Steuerbefehle selbsttätig erteilt werden; einzig der Beginn und das Ende des automatischen Betriebes müssen durch ein Signal des Überwachungspersonals festgelegt werden. Die Fachsprache nennt dieses Verfahren den prozessgekoppelten-geschlossenen Betrieb (im englischen Sprachgebiet on line-closed loop operation). Fig. 1 zeigt das Prinzip einer solchen Automatisierung.

«Prozessgekoppelt» heisst in diesem Zusammenhang, dass das Automatiksystem direkt mit dem Prozess, in diesem Fall dem Kraftwerkblock, verbunden ist. Die Anlagendaten werden also nicht durch menschliche Mithilfe erfasst, z. B. über Lochkarten- oder Schreibmaschinen-Eingaben, sondern die Signale oder Messeinrichtungen und Stellungsgeber sind direkt an das Steuersystem angeschlossen. Unzulässige Änderungen der Nennwerte, welche z. B. bei Störungen auftreten, werden also unmittelbar erfasst und ausgewertet. Man spricht hier von Echtzeitsystemen (real time systems), welche prozess-synchron arbeiten.

Aus der Auswertung des Anlagenzustandes können im Steuersystem Befehle abgeleitet werden, welche dann im geschlossenen Kreis auf die Anlage zurückwirken. Es ist zu beachten, dass diese Befehle in Störungsfällen nicht die Ursache beseitigen können, sondern ihre Aufgabe ist es, die Anlage in einen sicheren Zustand zurückzuführen. Der Fehler selbst muss anschliessend vom Betriebspersonal behoben werden. Nach geklärter Störung soll die Automatik die Anlage raschmöglichst wieder in den Normalbetriebszustand bringen.

Es zeigt sich hier, dass ein richtig ausgelegtes Automatiksystem im Störungsfall eine beträchtliche Schutzwirkung ausüben kann. Wohl wird z. B. ein Kurzschluss in einem Antriebsmotor durch die Schutzorgane des Motorstromkreises in seinen Auswirkungen begrenzt. Der Ausfall des Antriebs kann aber sekundäre Folgen haben, welche in handgesteuerten Anlagen vom Betriebspersonal durch entsprechende Eingriffe verhütet werden müssen. In einer automatischen Anlage muss das Steuersystem selbsttätig alle Massnahmen treffen, um die Anlage zu schützen; im allgemeinen sind jedoch alle konventionellen Schutzorgane vorhanden. Die Automatik ist auch im Normalbetrieb dauernd zum Eingriff bereit und wirkt also als *übergeordneter* Schutz. Dieser Punkt ist bedeutend bei der wirtschaftlichen Betrachtung der Automatisierung [1; 2; 3] [1]). Für die technische Projektierung bedeutet er u. a., dass der unabhängigen Speisung der Automatik und der Stromversorgung ganz allgemein besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

Die Frage, ob bei einer automatischen Anlage auf die Handsteuerung verzichtet werden kann, liegt in der Luft. Vorläufig sind die Anwender im allgemeinen noch etwas vorsichtig und behalten sie bei. Die Zukunftslösung könnte z. B. sein, dass die Handsteuerung nur während der Inbetriebsetzungszeit als Provisorium vorgesehen wird, z. B. durch genormte Steckelemente. Die Kommandopulte könnten dadurch einfacher gestaltet werden.

2. Funktionelle Gliederung der Steuersysteme

Die Entwicklung von Automatik-Steuersystemen hat zu einer Normung geführt, welche in der hierarchischen Gliederung der Steuersysteme gemäss Fig. 2 sichtbar wird. Das

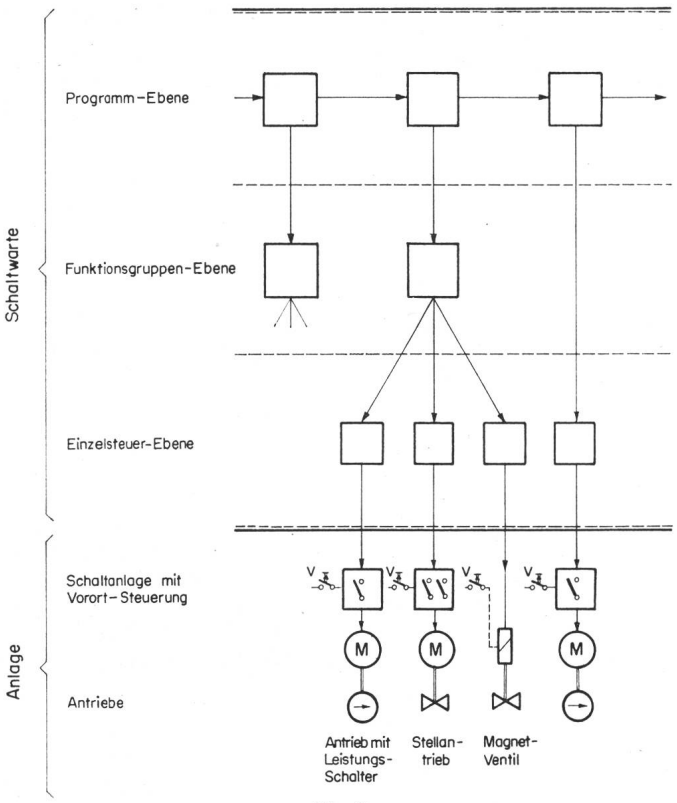

Fig. 2
Gliederung der Steuersysteme in verschiedene Ebenen
Durch die dargestellte Aufteilung ergibt sich eine klare Aufgabenstellung für die einzelnen Bereiche

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

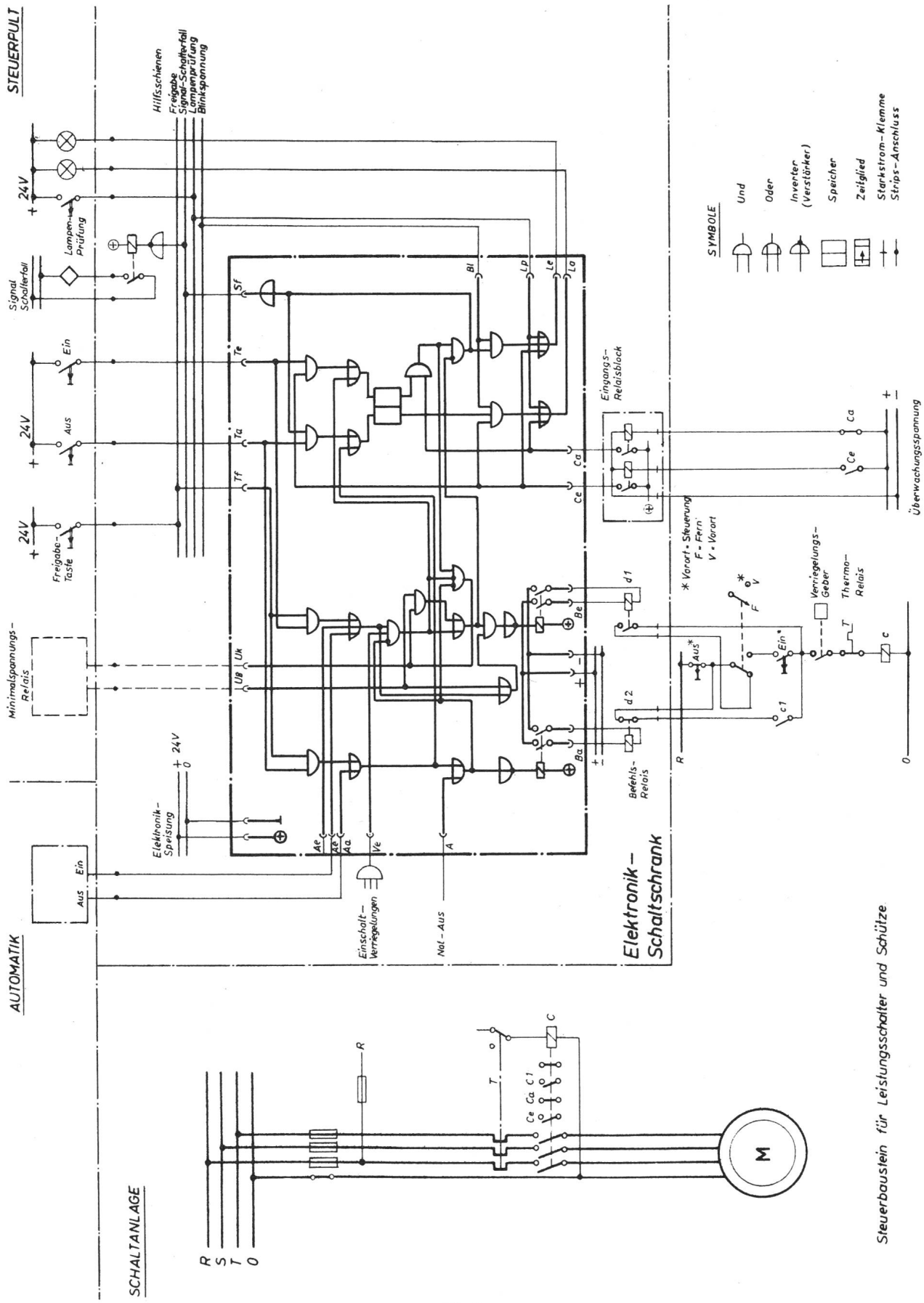

Fig. 3

Steuerbaustein für Leistungsschalter und Schütze

Das Schaltbild zeigt die interne Logik und die äusseren Verbindungen des Steuerelementes, einerseits zum Steuerpult und dem Automatik-Steuergerät und anderseits zur Schaltanlage. Dargestellt ist die Steuerung eines Motorschützes

gesamte Steuersystem wird in Teilgebiete aufgetrennt, welche ihre eigene Aufgabenstellung haben [3; 4; 5].

Die *Schaltanlage* umfasst Sammelschienen, Absicherung, Leistungsschalter oder Schütz, Thermorelais und Verbindung zum Antriebmotor. Der Leistungsschalter oder das Schütz kann direkt angesteuert werden über die Vorortsteuerung, welche im allgemeinen mit der Fernsteuerung vom Kommandoraum verriegelt ist.

Die *Einzelsteuerebene* umfasst die Geräte, welche für die Steuerung und Rückmeldung eines einzelnen Antriebs notwendig sind.

Die *Funktionsgruppen-Ebene* ist dann im Steuersystem notwendig, wenn mehrere Antriebe funktionsmässig miteinander verknüpft sind. An einer Dampfturbine bilden z. B. die mechanisch angetriebene Ölpumpe, die Wechselstrom-Ölpumpe und die Gleichstrom-Ölpumpe zusammen eine Funktionsgruppe, und ihre Einzelsteuerungen sind in bestimmter Weise miteinander verknüpft durch eine Funktionsgruppen-Steuerung (auch Unter-Automatik, sub loop).

Manchmal sind zwei oder mehr Funktionsgruppen miteinander verknüpft über eine weitere übergeordnete Steuerung, welche dann *Obergruppe* genannt wird; während die Funktionsgruppen *Untergruppen* heissen. Ein Beispiel für diesen Fall sind zwei Speisepumpen in einem Dampfkraftwerk, welche beide durch eine Unter-Funktionsgruppe gesteuert werden. Durch eine Obergruppe werden die beiden Funktionsgruppen miteinander verknüpft, so dass bei Ausfall einer Speisepumpe die zweite, mit allen Hilfsantrieben automatisch eingeschaltet wird.

Normalerweise wird die Funktionsgruppe eingeschaltet oder ausgeschaltet über die Funktionsgruppen-Steuerung; aber auch die Einzelsteuerung der Antriebe ist möglich. Es ist Sache der Anlagenprojektierung zu entscheiden, ob je nach dem angewendeten Steuerungsprinzip und der Betriebsführung die Einzelsteuerung beibehalten werden soll oder nicht. Um die Steuerpulte zu vereinfachen und die Übersicht zu verbessern, wird mehr und mehr auf die Einzelsteuerung verzichtet.

Funktionsgruppen-Steuerungen sind natürlich auch in nicht-automatischen Kraftwerken vorhanden. Die Vergrösserung der Einheitsleistungen hat zwangsläufig zur Anwendung von solchen Teilautomatisierungen geführt, welche das Betriebspersonal entlasten und die Verfügbarkeit verbessern. Gut durchdachte Funktionsgruppen sind wesentlich für den Erfolg einer Vollautomatisierung, sowohl beim hydraulischen, wie beim thermischen Kraftwerk.

Die *Programm-Ebene* tritt auf bei mittleren und grossen automatischen Steuerungen und Betriebsabläufen. Sie wird gebildet mit dem Automatik-Steuergerät oder -System, welches Befehle an die mittlere und unterste Steuerebene ausgibt, gemäss einem Verfahrensprogramm, welches dem zu steuernden Prozess entspricht. Die Hauptaufgabe der Programmebene ist die Verknüpfung der Funktionsgruppen in logischer und zeitlicher Hinsicht.

Zusammenfassend gilt, dass jede Ebene der Hierarchie einem Automatisierungsgrad entspricht. Im allgemeinen nimmt der Geräteaufwand nach oben hin ab. Der Schwierigkeitsgrad und Bearbeitungsaufwand nimmt jedoch in den oberen Ebenen zu.

3. Steuerbausteine

In modernen Kraftwerken werden Steuerung und Überwachung der verschiedenen Anlageteile von einem zentralen Kommandoraum aus vorgenommen. Um die Abmessungen der Steuerpulte in zweckmässigen Grenzen zu halten und um die Übersicht zu verbessern, werden Schwachstrom-Steuerungen verwendet, mit verkleinerten Dimensionen der Steuerelemente und Anzeigeinstrumente.

In jedem Kraftwerk treten im wesentlichen dieselben Steueraufgaben immer wieder auf. Es ist daher naheliegend, für die Steuerungen eine gewisse Systematik zu entwickeln, d. h. sie weitgehend zu normen. Dabei muss allerdings soviel Spielraum gelassen werden, dass die verfahrenstechnischen Anforderungen vom Kraftwerks-Prozess her nicht eingeschränkt werden müssen. Um die vielschichtigen Steueraufgaben zu bewältigen, kann das Steuersystem mit Bausteinen aufgebaut werden, welche geeignet sind, einfache und sehr komplexe Steuerungen bis zur vollständigen Automatisierung zu realisieren.

Das Steuersystem soll aber auch leicht verständliche und zuverlässige Informationen über den Anlagenzustand an das Betriebspersonal vermitteln. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Normalbetriebszuständen und Störungen in Anlageteilen. Störungen können einen Handeingriff erfordern, oder sie werden durch Schutzeinrichtungen unwirksam gemacht. In jedem Fall muss die richtige Information am Steuerpult angezeigt werden.

Im Rahmen dieser Richtlinien wurden von verschiedenen Firmen Geräte entwickelt, welche den Anforderungen der verschiedenen Steuerebenen entsprechen [4; 5].
Fig. 3 zeigt das Schaltbild eines solchen sog. Steuerbausteins für die Einzelsteuerung von Leistungsschaltern und Schützen.

Kurz zusammengefasst besteht die Aufgabe des Steuerbausteins in der Umsetzung der Schwachstromsteuerbefehle vom Kommandoraum oder von einem Automatiksteuergerät auf die Starkstromsteuerung des Leistungsschalters oder des Schützes; ferner in der Verarbeitung der Rückmeldesignale aus dem Prozess zu Verriegelungen und zur Informationsvermittlung an das Betriebspersonal. Es sind Anschlüsse vorhanden für Verriegelungen, Notausschaltung und Minimalspannungsauslösung. Solche Steuerbausteine bestehen ebenfalls für die Steuerung von Trennschaltern, Absperrschiebern und Stellgliedern.

Fig. 4 zeigt das Schaltschema einer Funktionsgruppe mit den Einzelsteuerungs-Bausteinen und dem Funktionsgruppen-Baustein. Dieser dient, entsprechend seiner Stellung in der mittleren Steuerebene, nicht zur direkten Befehlsumsetzung an die Schaltanlage, sondern zur Verknüpfung von mehreren Bausteinen der Einzelsteuerebene. Bei den Funktionsgruppen unterscheidet man die Betriebsautomatik und die Ablaufsteuerung.

Die *Betriebsautomatik* verbindet mehrere Antriebe miteinander über eine Steuerlogik, welche bei Normalbetrieb der Anlage dauernd aktiv ist und sofort eine Schalthandlung bewirken kann, wenn sich ein oder mehrere Kriterien geändert haben. Zum Beispiel sind zwei 100 %-Kondensatpumpen durch eine Betriebsautomatik miteinander verknüpft, welche bewirkt, dass bei Ausfall einer Pumpe die Reservepumpe in Betrieb genommen und zugleich Alarm gegeben wird.

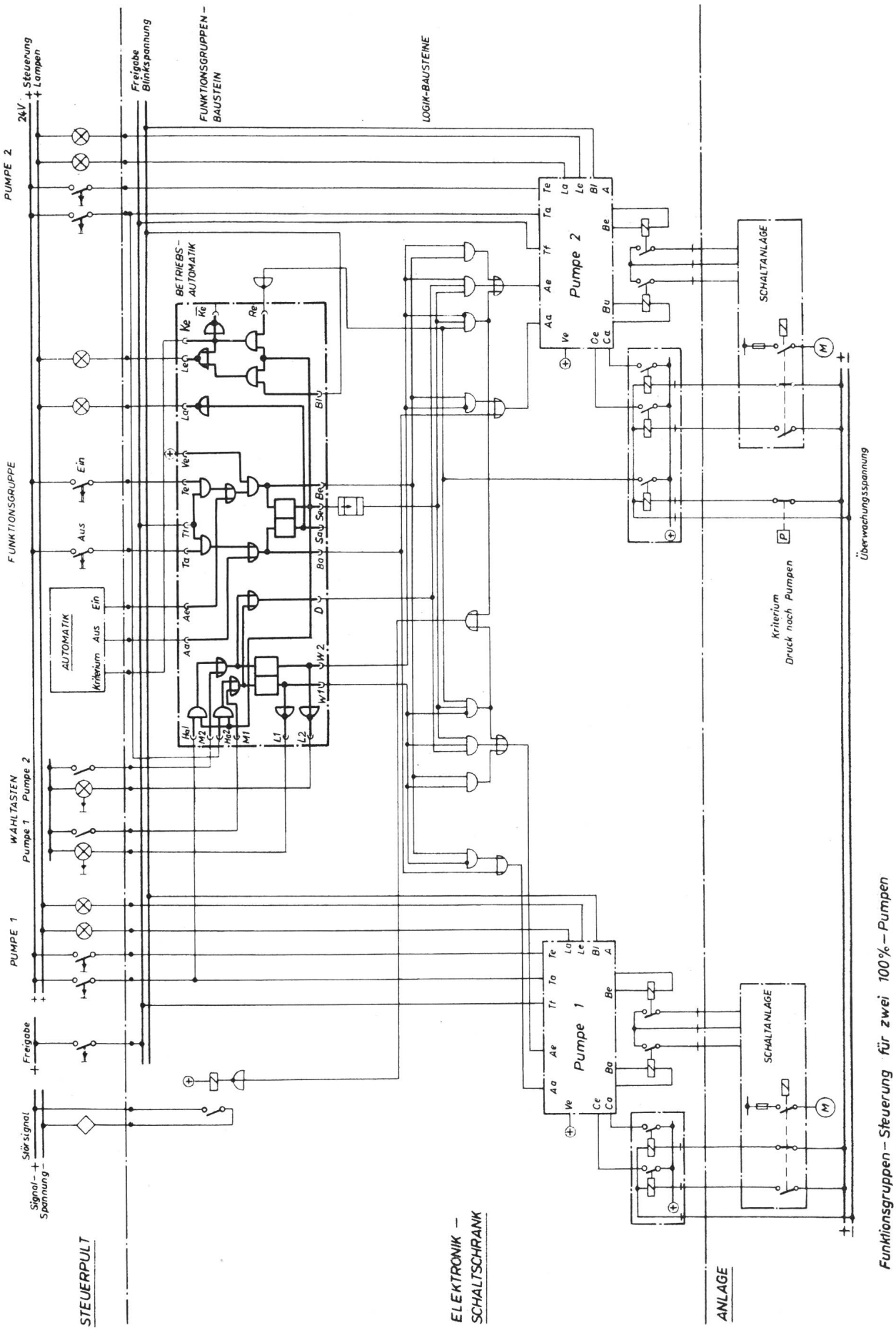

Fig. 4

Funktionsgruppen-Steuerung für zwei 100-%-Pumpen

Das Schaltschema zeigt den Zusammenhang zwischen Funktionsgruppen-Steuerung und Einzelsteuerung. Für die Verknüpfungen gemäss dem Schaltprogramm sind zusätzliche Logikelemente notwendig

Die *Ablaufsteuerung* verbindet mehrere Antriebe miteinander, welche in einer Phase des Anfahrens oder Abstellens der Anlage in einer festen Folge zueinander eingeschaltet werden, wobei jedoch während des Normalbetriebes oder bei Störungen keine Schalthandlungen mehr vorgenommen werden. Eine Ablaufsteuerung ist zum Beispiel notwendig für die Funktionsgruppe «Kühlwasser», welche aus einer Schmierwasserpumpe, einer Kühlwasser-Hauptpumpe und einem Absperrschieber besteht. Bei der Inbetriebnahme der Kühlwasserpumpe erhalten auch die Schmierwasserpumpe und der Absperrschieber zu bestimmten Zeiten ihre Befehle. Anschliessend wird aber der Betriebszustand der drei Antriebe nicht mehr durch Kriterien beeinflusst, ausser beim Abstellen der Anlage.

Für die Realisierung von Betriebsautomatiken oder Ablaufsteuerungen sind ausser den Funktionsgruppen-Bausteinen noch verschiedene Logikelemente notwendig, wie UND und ODER-Elemente, Speicher, Inverter, Zeitrelais etc. Diese Geräte werden entsprechend den technologischen Anforderungen an die Funktionsgruppen bei der Projektierung der Schaltungen festgelegt.

Die Steuerbausteine wurden anfänglich in Relaistechnik gebaut, heute jedoch in Halbleiterbauweise, wobei allerdings auch Umsetzrelais verwendet werden; teilweise in gekapselter Ausführung, die sog. Reedrelais. Die Steuerbausteine sind als steckbare Geräte mit gedruckter Schaltung gebaut.

Die Halbleiterbauweise weist gegenüber der Relaistechnik die folgenden hauptsächlichsten Vorteile auf:

a) Die einheitliche Signaldefinition erlaubt beliebiges Zusammenschalten ohne Anpassglieder. Es ist deshalb möglich, die logische Schaltung direkt als Verdrahtungsplan zu verwenden, d. h. vereinfachte Projektierung, weniger «Maßschneiderei».

b) Die Verriegelungen und Verknüpfungs-Schaltungen, welche ausserhalb der eigentlichen Bausteine notwendig sind, lassen sich in der Halbleiter-Technik weitaus eleganter und mit Norm-Elementen ausführen. Eventuell notwendige Änderungen bei Inbetriebsetzung sind bedeutend leichter vorzunehmen.

c) Die statistische Ausfall-Wahrscheinlichkeit eines Halbleiter-Elements ist um mehrere Zehnerpotenzen kleiner als die eines Relais. Es ergeben sich keine Veränderungen der Eigenschaften durch Alterung oder Abnutzung, deshalb weniger Wartung und höhere Zuverlässigkeit.

d) Viele Verbindungen sind in gedruckter Schaltung ausgeführt und bieten deshalb grössere Betriebssicherheit als gewöhnliche Verdrahtungen.

e) Der Platzbedarf eines Halbleiter-Steuersystems ist nur ca. ein Drittel im Vergleich zur Relaislösung.

Von einem solchen Baustein-Steuersystem wird das Arbeitsstrom-Prinzip verlangt, d. h. Signale werden nur übertragen, wenn in der Verbindungsleitung Strom fliesst. Die Schaltung ist so auszulegen, dass auch die selten vorkommenden Erdschlüsse keine Befehlsausgaben bewirken können. Die Signalverarbeitung erfolgt weitgehend mit statischen Schaltungen.

Obwohl sich grundsätzlich solche Halbleitergeräte mit *integrierten Schaltkreisen* bauen lassen, haben wirtschaft-

Anfahrprogramm

Laufende Nummer	Programm-Abschnitt	Programm-Stufe	Primärkriterien	Befehle	Sekundärkriterien	Wirksam in den Stufen (Programmstop + Meldg.)	Wenn nicht erfüllt, Rückschub nach Stufe	Wenn nicht erfüllt, Notauslösung	Toleranzzeit
	1		*Drehwerkbetrieb*						
1.1		1	Steuerspannung vorhanden			1-19	–	–	–
1.2			Niveau Lageröl > 80 %	Hilfslagerölpumpen einschalten		1-19	1	ja	–
1.4			Niveau Lageröl > 90 %	HD-Ölpumpe einschalten		–	–	–	–
1.5					Lageröldruck > 40 %	–	–	–	1 min
1.8					HD-Ölpumpe im Betrieb	–	–	–	1 min
			Zeitverzögerung zum Weiterschalten auf Stufe 2: 30 s						
2.4		2	Lageröldruck > 40 %			2-19	2	ja	–
2.5			HD-Ölpumpe im Betrieb			2	–	–	–
2.11			HD-Gehäuse $\Delta\vartheta$ (oben–unten) $\leqq$ 50 °C			2-19	2	ja	–
2.12			HD-Gehäuse $\Delta\vartheta$ (oben–unten) $\leqq$ 30 °C			–	–	–	–
2.13			MDT-Gehäuse $\Delta\vartheta$ (oben–unten) $\leqq$ 50 °C			2-19	2	ja	–
2.14			MDT-Gehäuse $\Delta\vartheta$ (oben–unten) $\leqq$ 30 °C			–	–	–	–
2.15			Temperatursonde HD Auslösung	Wellendrehvorrichtung einschalten		2-19	2	ja	–
2.16			Temperatursonde MDT Auslösung			2-19	2	ja	–
2.17			Temperatursonde HD Grenze			–	–	–	–
2.18			Temperatursonde MDT Grenze			–	–	–	–
2.19					Stromaufnahme des Wellendrehmotors > 50 %	2	–	–	30 s
2.20					Stromaufnahme des Wellendrehmotors < 110 %	2	–	–	30 s
	2		*Umleitbetrieb*						
6.7		6	Steuerdruckluft für Hotwell-Niveauregelung vorhanden			6-19	–	–	–
6.8			Kondensatstand im Hotwell über Kontakt für Pumpe I			6-19	–	–	–
6.9			Hotwell-Niveauregelung eingeschaltet	Kondensatpumpenautomat einschalten		6-19	–	–	–
6.10					Kondensatdruck > 6 atü	6	–	–	12 s
6.11					Kondensatmenge > 40 t/h	6	6	–	12 s
6.12					Kondensat Pumpenautomatik ein	6	–	–	12 s

Fig. 5
Ausschnitt aus einem Anfahrprogramm einer Dampfturbine
Das Beispiel zeigt die Unterteilung des Programms in Abschnitte und Stufen, ferner die Primärkriterien, Befehle und Sekundarkriterien und deren Verarbeitung

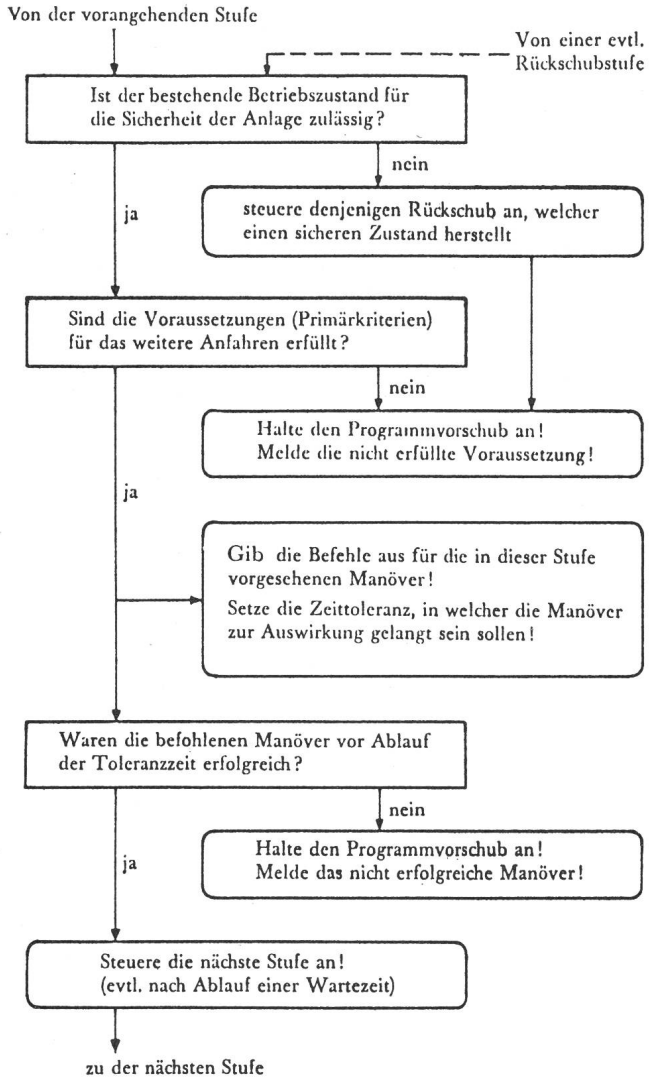

Fig. 6
Flussdiagramm einer Programm-Vorschubstufe
Das Schema zeigt die interne Organisation der Stufe und legt fest, wie sie auf die Information von der Anlage reagieren soll

liche Überlegungen zum vorläufigen Verzicht geführt. Der Grund liegt darin, dass vielen Ein- und Ausgabesignalen verhältnismässig wenig logische Verknüpfungen gegenüberstehen.

In der Schweiz sind einige Anlagen mit Halbleiter-Steuerbausteinen in Betrieb, oder in Ausführung begriffen.

4. Das technologische Programm

Das eigentliche Automatik-Steuergerät oder Blockleitgerät ist in der Programmebene der Steuerungshierarchie eingesetzt. Von diesem Gerät verlangt man, dass es wie eine gutausgebildete Gruppe von Betriebspersonal unter allen Betriebszuständen, und besonders bei Störungen, richtig reagiert mit entsprechenden Befehlen. Das Steuergerät benötigt dazu eine Aufgabenstellung, ein sog. technologisches Programm, sonst ist es eine tote Maschine. Im Programm werden die zu überwachenden Anlagenbedingungen in funktioneller und zeitlicher Hinsicht festgelegt, ferner die Steuerbefehle mit ihrer Reihenfolge und ihre zeitliche Überwachung. Meist wird das Programm aufgeteilt in verschiedene Aufgaben, z. B. Anfahren, Abstellen, und wichtige Störungsfälle. Diese Teilprogramme können sich teilweise überlappen.

Fig. 5 zeigt einen Ausschnitt aus einem Steuerprogramm für eine Dampfturbinenautomatik. Dieses Teilprogramm ist in Abschnitte und Stufen unterteilt. Am Beginn jeder Stufe werden die sog. *Primärkriterien* geprüft. Das sind die Anlagenbedingungen, welche unbedingt erfüllt sein müssen, bevor die Stufe aktiv werden kann und Befehle ausgeben darf. Die Befehle jeder Stufe — die Anzahl der Befehle ist frei wählbar — sind im Programm aufgeführt, welche wiederum durch die *Sekundärkriterien* auf richtige Ausführung geprüft werden. In weiteren Kolonnen des Programms ist angegeben, in welchen Programmstufen die Primärkriterien wirksam sein müssen; und falls sie nicht erfüllt sind, bis zu welcher Stufe ein *Programm-Rückschub* erfolgen muss, oder

Gegenüberstellung von Merkmalen der Folgesteuerung und des Prozessrechners für die Prozessautomatisierung

Tabelle I

Merkmal	Folgesteuerung	Prozessrechner
Aufnahme der Prozessdaten	alle Eingaben sind parallel aufgeschaltet	die Eingabesignale werden zyklisch, d. h. in Serie abgefragt
Verarbeitung der Prozessdaten	jedes Signal wird gemäss seiner Funktion sofort aktiv und bewirkt entsprechende Befehle	Signale werden wirksam durch Unterbrechung des laufenden Programms, falls dieses nicht Vorrang (Priorität) hat; zyklische Befehlsausgabe
Programm-Speicherung	in verdrahteten Dioden-Matrizen, welche teilweise steckbar und also auswechselbar sind	in den Speicherzellen des Rechners
Programmierung	ein Teil des Programms ist durch die konstruktive Struktur des Gerätes gegeben; das technologische Programm kann deshalb direkt zu einem Verdrahtungsplan verarbeitet werden	die Struktur des Prozesses gemäss einem Flussdiagramm muss in einem Organisationsprogramm in einer Programmiersprache ausgeschrieben werden; weitere Instruktionen werden z. B. über Lochkarten eingelesen, wobei auch die Prioritäten festgelegt werden müssen
Änderungsmöglichkeiten in der Anlage	Programmänderungen sind leicht durchführbar durch Einlöten von Dioden in Matrizen, i. a. bei Normalbetrieb der Anlage, jedoch abgeschalteter Automatik	Struktur-Änderungen können eine Überprüfung des Gesamt-Programmes notwendig machen; Änderungen von Verknüpfungen können z. B. über Lochkarten ohne Betriebsunterbruch in den Rechner eingelesen werden
Anwendung	dezentral für Teilprozesse	zentraler Einsatz notwendig aus wirtschaftlichen Gründen

ob eine Notabstellung erforderlich ist. Ferner ist die *Toleranzzeit* angegeben, welche für die Ausführung der Befehle vorgegeben wird; sie kann von Sekunden bis Stunden dauern.

Zusätzlich zu dieser anlageabhängigen Zusammenstellung der Bedingungen und Befehle gehört zum Programm ein Organisationsschema, welches die Verarbeitung der Informationen aus der Anlage festlegt. Fig. 6 zeigt ein solches Flussdiagramm, welches die Organisation einer Programm-Vorschubstufe festlegt.

Bei der Programmierung handelt es sich um eine der anspruchvollsten Aufgaben der Automatisierung eines Prozesses. Sie verlangt vom programmierenden Ingenieur eine umfassende Prozesskenntnis, nicht nur des Normalbetriebes, sondern von allen Übergangsphasen und Zwischenzuständen. Die Ausarbeitung des Verfahrensprogramms wird sicher erleichtert, wenn der Programmierer die Möglichkeiten des Automatisierungssystems kennt.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass *jedes* Steuerungssystem für die Prozessautomatisierung ein Programm und eine Organisationsstruktur benötigt. Kein noch so hoch entwickeltes Steuersystem macht die genaue Prozessanalyse überflüssig [6, 7, 8]. Diese Überlegung hat in Europa dazu geführt, dass die Automatisierung schrittweise vom Prozess her aufgebaut wurde, wobei die Geräte und Systeme der verschiedenen Automatisierungsebenen entwickelt wurden.

Da die Prozesse von Anlage zu Anlage voneinander abweichen, muss jedesmal ein Programm erstellt werden. Das führt aber auch zur Forderung, dass das Steuersystem programmierbar sein muss; d. h. es muss möglich sein, in ihm das technologische Programm in irgendeiner Form zu speichern; auch Änderungen müssen leicht durchführbar sein.

5. Die Steuergeräte der Programmebene

In der Programmebene gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten für das Programm-Steuergerät: die Folgesteuerung mit verdrahteter Logik und den Prozessrechner oder Prozesscomputer mit gespeichertem Programm (Folgesteuerungen mit Schaltwalzen und Relaisketten werden hier der Vollständigkeit halber erwähnt. Sie können für kleinere Anlagen wirtschaftlich eingesetzt werden, entsprechen aber den Anforderungen an Automatik-Steuergeräte in grösseren Kraftwerken nicht mehr).

Die hauptsächlichsten Merkmale der beiden Systeme in bezug auf die Prozess-Automatisierung werden einander in Tabelle I gegenübergestellt [1; 9; 10].

Die *festverdrahteten Folgesteuerungen* haben einen hohen Entwicklungsstand erreicht [9...12]. Ihre Organisationsstruktur ist weitgehend den zu automatisierenden Prozessen angepasst, wie Fig. 7 zeigt. Folgesteuerungen erfüllen die folgenden für die Automatisierung geforderten Bedingungen:

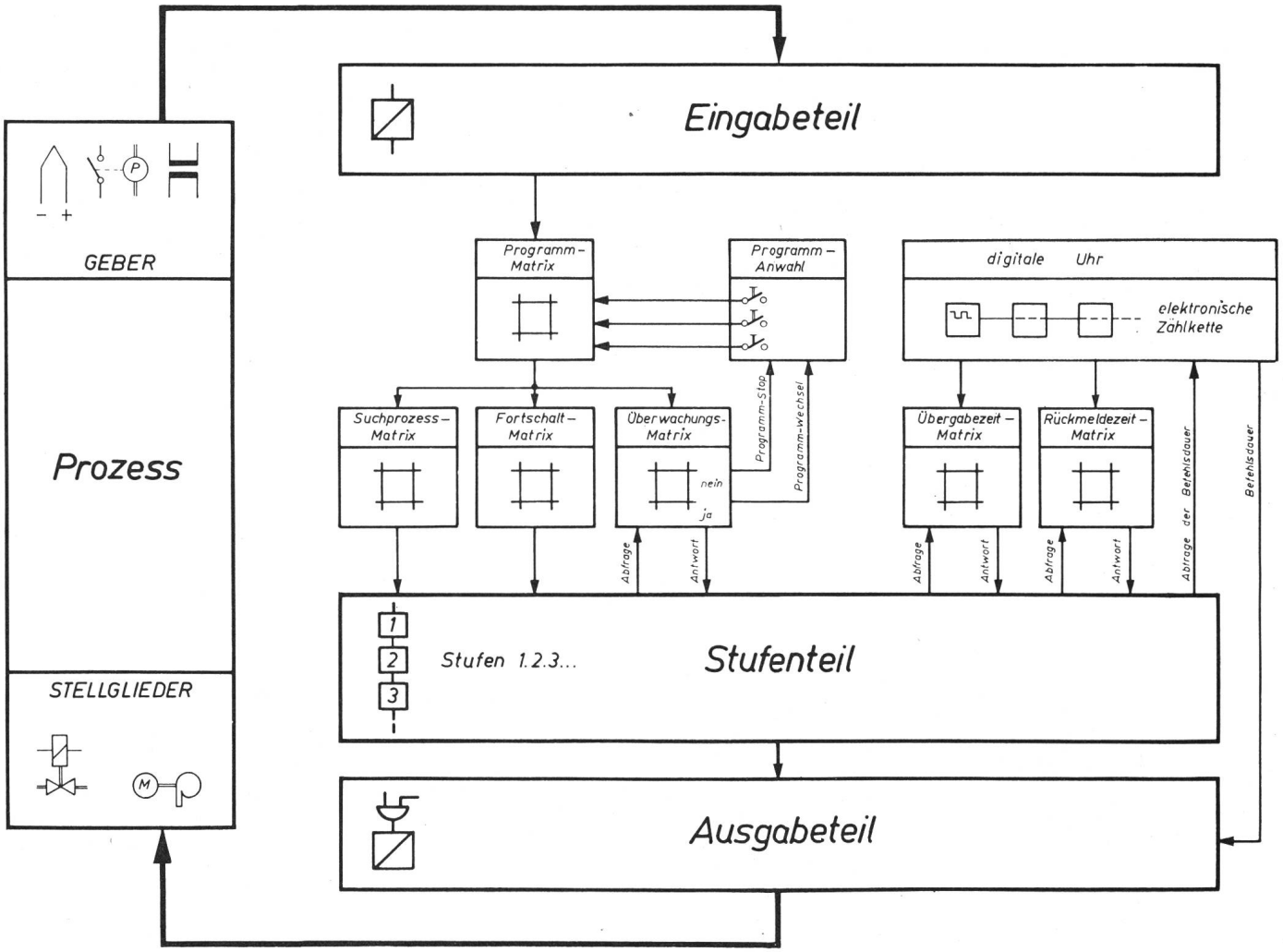

Fig. 7
Prinzipschema einer Folgesteuerung für die Prozessautomatisierung
Das Schema zeigt die verschiedenen Matrizen, welche eine sehr flexible Programmierung erlauben. Es können dem Prozess angepasst werden: Anzahl und Stufenfolge der Programme, Eingriff der Primär- und Sekundärkriterien, Suchprozess, Übergabe- und Rückmeldezeiten

a) Mit demselben Gerät können verschiedene Programme ausgeführt werden und Programmwechsel kann auf Befehl oder automatisch erfolgen; z. B. kann eine Pumpen-Turbinengruppe durch Tastenbefehl oder durch eine Anlagenbedingung automatisch vom Turbinenbetrieb in den Pumpbetrieb wechseln;

b) Die Anzahl der Programmstufen ist beliebig wählbar gemäss der Aufgabenstellung, und Programmsprünge über eine oder mehrere Stufen sind möglich;

c) Eine digitale Uhr stellt die praktisch notwendigen Zeiten zur Verfügung für die Stufen-Übergabezeit, die Befehlsdauer und -Überwachung. Es können beliebig lange Befehlszeiten in jeder Programmstufe gegeben werden, auch gleichzeitige Kurz- und Dauerbefehle;

d) Ein sog. «Leitbetrieb» ist möglich, wobei die Automatik den handgesteuerten Prozess überwacht, ohne jedoch Befehle auszugeben. Der Stand des Prozesses wird mit Lampen dauernd angezeigt, so dass das Betriebspersonal sich orientieren kann und auch auf Fehlmanipulationen aufmerksam gemacht wird. Dise Einrichtung ist für die Personalinstruktion sehr nützlich;

c) Ein sog. Suchprozess erlaubt den beliebigen Übergang vom handgesteuerten in den automatischen Betrieb, wobei sich die Automatik selbst über den Prozesszustand orientiert und sich in die richtige Programmstufe setzt, um von dort den automatischen Betrieb zu übernehmen;

f) Einige Folgesteuerungssysteme haben einen automatischen Prüfzyklus eingebaut, welcher beim Einschalten in Sekundenschnelle die Apparatur auf interne Fehler prüft. Falls ein Fehler vorhanden ist, wird dieser durch die Anzeigelampen lokalisiert;

g) Für die Prüfung von Anlagekriterien und für die Funktionsprüfung kann ein Simuliergerät angeschlossen werden, welches die Simulierung jeder Prozessbedingung gestattet.

Die Folgesteuerungen sind aufgebaut aus Halbleiterelementen in gedruckten Schaltungen, welche als Normbausteine konzipiert sind, um entsprechend dem vorliegenden Programm einer Anlage zusammengebaut zu werden.

Der Prozessablauf verlangt oft zeitweise die Regelung von gewissen Grössen, z. B. der Drehzahl und der Spannung beim Synchronisieren oder der Laständerung in Abhängigkeit des thermischen Zustandes einer Dampfturbine. Die Folgesteuerung kann in solchen Fällen den Beginn und das Ende des geregelten Betriebes, oder Sollwert-Änderungen befehlen. Fig. 8 zeigt eine Kombination von Folgesteuerung und Hochfahrregler für eine Dampfturbinen-Automatik.

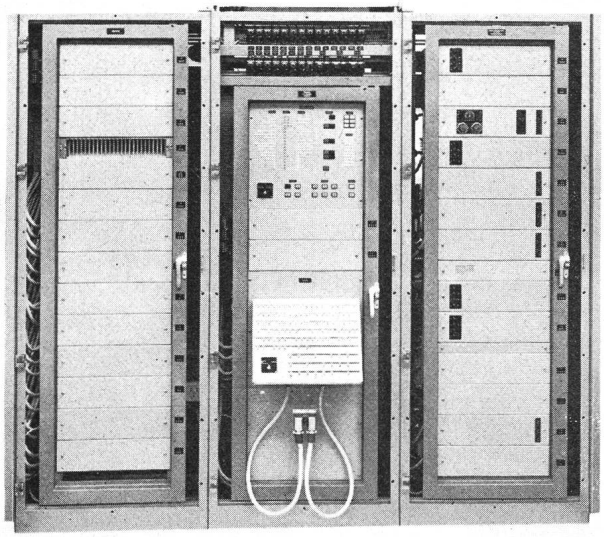

Fig. 8
Schaltschrank für eine Dampfturbinen-Automatik
(Vorderseitige Türen sind abmontiert)
Im *linken* Feld ist die Folgesteuerung eingebaut, ganz *rechts* der Hochfahr- und Belastungsregler. Das *mittlere* Feld enthält die elektrische Energieversorgung, die Steuertasten und Anzeigelampen für die Lokalsteuerung, sowie im *unteren* Teil die wegnehmbare Simuliertafel. Nach beendeter Funktionsprüfung kann die Simuliertafel im Kommandoraum für Personalinstruktion verwendet werden

In der Schweiz sind in einigen Anlagen moderne Folgesteuerungen in Betrieb [12] oder in Planung.

Die *digitalen Prozessrechner* wurden ca. 1960 erstmals für die Steuerung in thermischen Kraftwerken in den USA eingesetzt. Vertrauend auf die fast unbegrenzte Flexibilität der Computer, glaubte man mit ihrer Hilfe rasch den Prozess analysieren zu können, und dann nur den Rechner entsprechend programmieren zu müssen. Dieses Verfahren musste zu Rückschlägen führen, und heute weiss man, dass der Einsatz der Prozessrechner eine vorgängige gründliche Planung und Programmierung benötigt. Ein vorliegendes Programm kann dann ohne Schwierigkeiten im Computer gespeichert werden. Man hat auch festgestellt, dass es wirtschaftlicher ist, eine einfache Programmiertechnik zu wählen – z. B. die Folgesteuerung nachzubilden auf dem Computer, was allerdings i. a. mehr Speicherplätze benötigt –, als eine ausgefeilte Programmierung zu verwenden, welche viel Zeitaufwand benötigt und schwierig zu verstehen ist.

Der Prozessrechner erfüllt grundsätzlich die Anforderungen, welche an ein Leitgerät in der obersten Steuerebene gestellt werden. Er ermöglicht selbstverständlich auch die Programmierung aller vorher beschriebenen Eigenschaften der Folgesteuerung [1; 2; 6; 8; 13; 14]. Die Steuerungsaufgaben im Kraftwerk allein rechtfertigen jedoch nicht den Einsatz eines Prozessrechners; der Aufwand stünde in keinem wirtschaftlichen Verhältnis zur Aufgabe.

Der Computer wird jedoch in zunehmendem Masse eingesetzt für die sog. Datenverarbeitung und -reduzierung im Kraftwerk. Er überwacht alle Prozesskennwerte, meldet Abweichungen durch Ausdrucken auf Schreibmaschinen, erstellt z. B. ein stündliches Betriebsprotokoll mit den wichtigsten Daten, übernimmt die Zeitfolgemelder-Funktion [15], gibt Trend-Angaben, rechnet eventuell Wirkungsgrade aus usw. [13; 16; 17]. Untersuchungen laufen, ob der Computer auch die Aufgaben aller Analogregler im Kraftwerk im zyklischen Betrieb übernehmen könne (DDC, direct digital control oder digitale Vielfachregelung). Wenn der Prozessrechner in solcher Weise *zentral* für diese vielen Aufgaben eingesetzt wird, dann müssen natürlich entsprechend hohe Anforderungen an seine Verfügbarkeit gestellt werden. Die amerikanischen ISA-Richtlinien für DDC verlangen z. B. eine Verfügbarkeit von 99,95 % oder nicht mehr als ca. 4 h Ausfall pro Jahr.

Der Erfolg einer Automatisierung mit Prozessrechner dürfte in erster Linie davon abhängen, dass ein Team von Prozess-Spezialisten mit Computer-Programmierern ausgezeichnet zusammenarbeitet. Einige solche Anlagen sind in Europa in Betrieb oder im Bau [6; 8; 14; 18].

Literatur

[1] *U. Cleve* und *U. Sauerbeck:* Automatisierung in Wärmekraftwerken. Brown Boveri Mitt. 51(1964)3, S. 121...130.

[2] *D. Ernst: Die* Entwicklung zum automatischen Dampfkraftwerk. Brennstoff, Wärme, Kraft 17(1965)10, S. 471...477.

[3] *U. Sauerbeck* und *U. Schmudlach:* Erfahrungen mit Automatisierungseinrichtungen in Wärmekraftwerken. Brennstoff, Wärme, Kraft 17(1965)10, S. 478...482.

[4] *U. Schmudlach* und *R. Seidemann:* BBC-Prozeßsteuerung mit Funktionsblöcken für die Kraftwerk-Automatisierung. BBC-Nachrichten 47(1965)10/11, S. 584...589.

[5] *W. Pilgram* und *H. Kaltenecker:* Methodik und Aufbau der Siemens-Funktionsgruppenautomatik in Dampfkraftwerken. Siemens Z.37 (1963)3, S. 121...126.

[6] *M. A. Beechey* and *R. F. E. Crump:* Instrumentation and Control of Modern Boiler-Turbine Units in C. E. G. B. Power Stations. Control Monograph 3. London, Morgan Bros. Publishers, 1967.

[7] *K. Buchwald:* Aufbau des Programms einer automatischen Steuerung für Dampfturbogruppen. Brown Boveri Mitt. 51(1964)3, S. 145...175.

[8] *K. G. Hilton:* Automatic Start-Up of Power Station Plant. In: Séminaire international: L'automatisation dans la production et la distribution de l'énergie électrique, Bruxelles 18...22 IV. 1966. Actes (Proceedings). Bruxelles, Presses académiques européennes, Paris, Dunod, 1967. S. 253...262.
[9] *H. Bloch:* Fest programmierte elektronische Einrichtung zur automatischen Steuerung von Dampfturbogruppen. Brown Boveri Mitt. 51(1964)3, S. 156...164.
[10] *D. Eger:* Inbetriebnahme einer Dampfturbinenautomatik in Kanada. Brown Boveri Mitt. 54(1967)1, S. 3...8.
[11] *A. Brosch* und *W. Streck:* Simatic Steuersystem M mit Matrixprogrammierung. Siemens Z. 41(1967)6, 482...488.
[12] *J. Reeding* und *G. Wandl:* Secontic, eine neue elektronische Folgesteuerungs-Automatik. Brown Boveri Mitt. 54(1967)1, S. 17...29.
[13] *D. Ernst* und *H. Kaltenecker:* Einsatz von Prozessrechnern. Siemens-Z. 39(1965)9, S. 932...939.
[14] *G. Ehlers, R. Schlunk* und *F. Peitzmeyer:* Der Einsatz von Digitalrechnern im Kraftwerk. Brennstoff, Wärme, Kraft 17(1965)10, S. 487...492.
[15] *R. Frank* und *P. Mielentz:* Datenerfassungs- und Überwachungseinrichtung in IC-Technik. Brown Boveri Mitt. 54(1967)4, S. 193...199.
[16] *R. von Klösterlein:* Methoden der Messwerterfassung und -Verarbeitung Prozessrechnern in Dampfkraftwerken. In: Séminaire international: L'automatisation dans la production et la distribution de l'énergie électrique, Bruxelles 18...22 IV. 1966. Actes (Proceedings). Bruxelles, Presses académiques européennes, Paris, Dunod, 1967. S. 375...383.
[17] *G. D. Friedlander:* Computer-controlled Power Systems. Part I: Boiler-Turbine Unit Controls. IEEE Spectrum 2(1965)4, S. 60...81.
[18] *J.-M. Granier* et *J. Hurtiger:* Mise en service d'une centrale à automatisation poussée (Saint Ouen). Rev. gén. Electr. 75(1966)7/8, S. 959...976.

Adresse des Autors:
A. Hauri, dipl. Elektrotechniker, AG Brown Boveri & Cie., 5400 Baden.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Entwicklung der Rohrturbine

621.224

[Nach *J. Giesecke:* Über die tiefbauliche Gestaltung von Niederdruckkraftwerken mit Rohrturbinen. Wasserwirtschaft 57(1967)9, S. 323...327]

Im Bereich der Niederdruckkraftwerke haben die Anlagen mit Rohrturbinen in den letzten Jahren einen steigenden Anteil erreicht. Seit der ersten Ausführung dieser Art im Jahre 1936 an der Persante in Pommern, sind von 1937 bis 1951 z. B. am Lech und an der Iller insgesamt 13 Kraftwerke entstanden. Heute sind ausgereifte Konstruktionen mit serienmässig gefertigten Generatoren erhältlich, welche bei 11 von 14 Staustufen an der Mosel diejenige raumsparende Kraftwerkanordnung erlaubten, die im engen Moseltal durch die Schleusenabmessungen und grossen Hochwasseröffnungen bedingt war. Bei grossem Hochwasser, welches das Zehnfache der Turbinenwassermenge von 380 m^3/s übersteigt, werden die Wehrpfeiler des vollständig abgesenkten Wehres, die Schleuse und bei zwei Staustufen sogar noch das Maschinenhaus vom Wasser überströmt. Dies zeigt deutlich die Vorteile der unauffälligen, niedrigen und gedrängten Bauweise. Der wirtschaftliche Vorteil der erheblich geringeren erforderlichen Betonmenge wird allerdings teilweise aufgehoben durch die infolge der höheren Betonausnützung benötigte grössere Stahlmenge.

Die Rohrturbine weist einen etwas kleineren Wassermengenbereich auf, innerhalb welchem sie mit maximalem Wirkungsgrad arbeitet. Durch Aufteilung der verfügbaren Wassermenge auf eine oder mehrere Einheiten gelingt es jedoch einen bemerkenswert hohen Gesamtwirkungsgrad zu erzielen. Auch zum Pumpen kann die Rohrturbine verwendet werden, sodass sich unter Berücksichtigung der baulichen Vorteile Lösungen verwirklichen lassen, welche durchaus mit der klassischen Kaplanturbine mit senkrechter Welle verglichen werden können. *A. Baumgartner*

Nachrichtentechnische Einrichtungen der Transalpinen Ölleitung Triest–Ingolstadt

621.39:656.56

[Nach *E. Harrasser* und *H. Schinko:* Nachrichtentechnische Einrichtungen der Transalpinen Ölleitung Triest–Ingolstadt. Siemens-Z. 41(1967)7, S. 587...598]

Die soeben fertiggestellte Transalpine Ölleitung (TAL) versorgt die Raffinerien im Donaugebiet über eine 464 km lange Rohrleitung (Rohrdurchmesser 1 m) vom Hafen Triest über die Alpen hinweg (Fig. 1) mit Mineralöl. Im Endausbau wird bei einer installierten Pumpenleistung von 220 000 PS die jährliche Förderkapazität 54 Millionen Tonnen betragen. Die zentralisierte Steuerung und Überwachung weist ein Nachrichtenkabel auf, das in der gleichen Trasse mit dem Ölleitungsrohr verlegt ist. Es dient dem Fernwirksystem wie den Fernsprech- und Fernschreibverbindungen. Im Normalbetrieb hat die Zentrale Triest die Befehlsgewalt über die Schieber, Pumpen und Dieselmotoren, die sie auf Grund von Rückmeldungen sowie Druck-, Dichte-, Durchfluss-, Tankstand- und Mengenmesswerten ausübt. Die Steuerung kann auch der Zentrale Ingolstadt übertragen werden. Bei Kabelstörungen kann jede Zentrale ihren Leitungsabschnitt bis zur Schadenstelle übernehmen. In ihrer Arbeitsweise sind Messwert- und Meldeübertragung von der Befehlsübertragung getrennt, beide arbeiten mit zeitmultiplexer Pulscodemodulation mit frequenzmodulierter Tonfrequenzübertragung. Analoge Messwerte werden

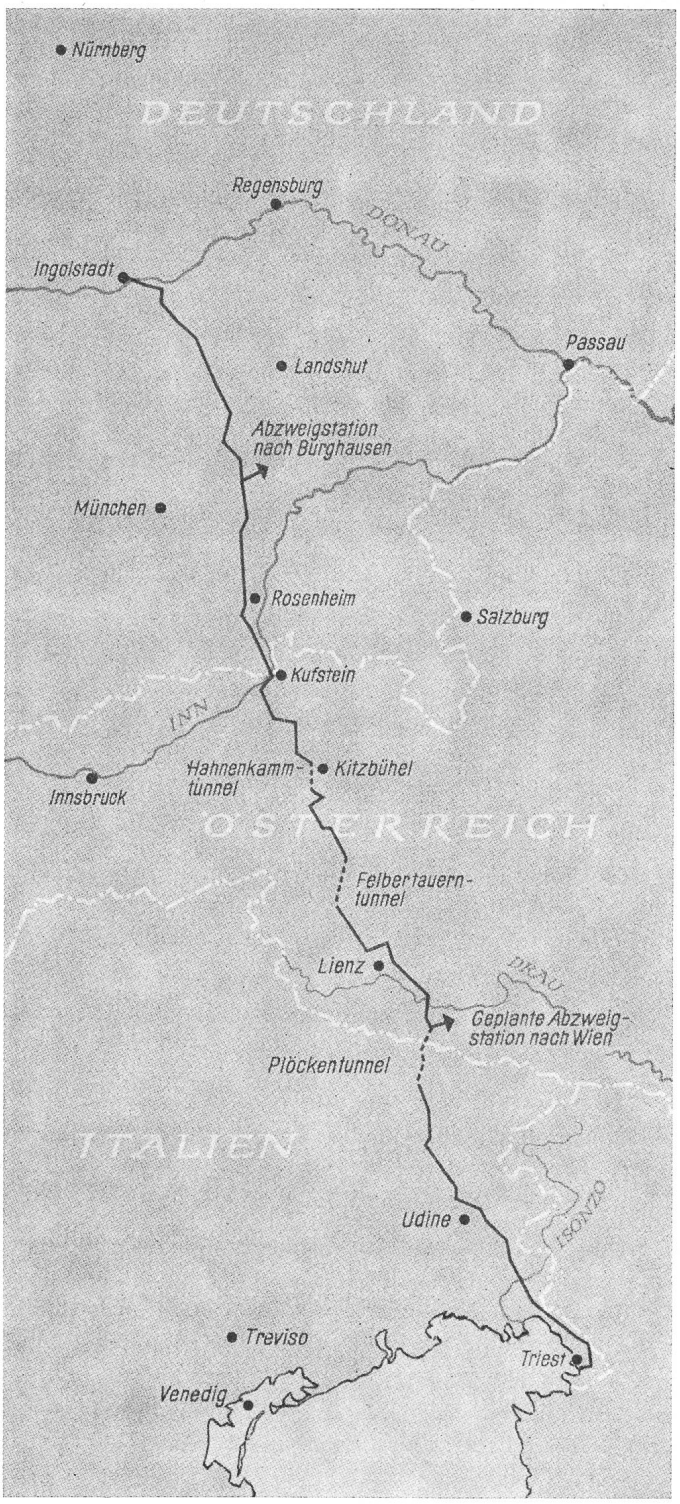

Fig. 1
Streckenführung der Transalpinen Ölleitung Triest–Ingolstadt