

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 67 (1976)

**Heft:** 21a: Sondernummer Elektrotechnik 1976 = Edition spéciale Electrotechnique 1976

**Artikel:** Einige Entwicklungsschwerpunkte in der Automatik

**Autor:** Mansour, M.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915227>

### **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:** 16.01.2026

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

# Einige Entwicklungsschwerpunkte in der Automatik

Von M. Mansour

681.5

## 1. Einführung

In der Automatik (Steuerungs- und Regelungstechnik) hat in den letzten zwei Jahrzehnten eine stürmische Entwicklung stattgefunden. Angefangen hat sie in den fünfziger Jahren mit der Anwendung der *Ljapunov*-Stabilitätstheorie für Regelsysteme sowie der Einführung des Maximumprinzips von *Pontryagin* und der dynamischen Programmierung von *Bellman* für die Optimierung von dynamischen Systemen. Der Durchbruch in der Automatiktheorie begann mit den Arbeiten von *Kalman*, die Wege zeigten zur Lösung des LQG-Problems (L: lineares System, Q: quadratische Zielfunktion, G: Gaußsches Rauschen). Damit kann man die Probleme der linearen Regler und der optimalen Filter lösen. Die Lösung geht über die Integration der Matrix-Riccati-Gleichung sowohl für die optimale Regelung als auch für die optimale Filterung. Ende der sechziger und anfangs der siebziger Jahre hat die stürmische Entwicklung einer langsamen und nüchternen Entwicklung Platz gemacht. In den letzten Jahren wurden keine grossen Entdeckungen gemacht, sondern viele kleine Verbesserungen erzielt. In den folgenden Kapiteln werden einige aktuelle Probleme und Forschungsrichtungen gezeigt.

## 2. Systemtheorie und Theorie der grossen Systeme

Die Systemtheorie behandelt die mathematische Darstellung, die Grundeigenschaften, wie Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit sowie die Analyse und Synthese von dynamischen Systemen. In den letzten Jahren haben sich hauptsächlich drei Formulierungsrichtungen kristallisiert, basierend auf Modultheorie [1]<sup>1)</sup>, geometrischen Methoden [2] und Polynomialtheorie [3]. Man erwartet, dass diese Methoden mehr Einsicht in die Grundlagen der Regelung geben. Die Forschungsgebiete sind u. a.:

- a) Strukturprobleme: invariante, kanonische Formen, Realisationstheorie
- b) Methoden der Differentialgeometrie für nichtlineare Systeme
- c) LQG-Theorie für Systeme mit verteilten Parametern und Systeme mit Totzeit
- d) Stochastische Systeme: Realisation, informationstheoretische Betrachtungen
- e) Identifikation
- f) Differentialspiele.

Da sich die meisten technischen Systeme mehr und mehr zu komplexen Gebilden entwickelt haben, und da die nicht-technischen Systeme – wie wirtschaftliche und soziale Systeme – von Natur aus komplex sind, sind neue Methoden erforderlich, um solche Systeme effizient zu behandeln. Die Regelung von grossen Systemen ist einfacher realisierbar durch Aufteilung in lokale Regelungen mit entsprechenden Zielen sowie zentrale Koordination. Infolge der Verbreitung von Mikrorechnern ist die hierarchische Struktur der Regelung von grossen Systemen auch wirtschaftlicher (Multilevel-Systeme).

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Drei Probleme stehen im Vordergrund:

- a) Theorie: Aufteilung und Koordination, so dass das globale Ziel erreicht wird
- b) Software: Aufteilung der Datenbanken
- c) Die Daten-Kommunikation zwischen den verschiedenen Rechnern muss zweckmässig und wirtschaftlich sein. Informationstheoretische Probleme spielen dabei eine grosse Rolle.

Zur Lösung dieser drei Probleme wurde in den letzten Jahren viel Arbeit geleistet. Die Resultate sind jedoch erst zum Teil reif für die praktische Anwendung.

Ein Multilevel-System funktioniert wie folgt: Der Koordinator initialisiert einen iterativen Algorithmus, der die Systemlösungen zum globalen Optimum konvergieren lässt. In der Online-Regelung wird das letzte Resultat des iterativen Prozesses dem System zugeführt.

Falls das System aufgeteilt wird, so dass die Subsystemverbindungen schwach sind, erfolgt eine dezentrale Regelung: Die Regler der ersten Stufe kompensieren die lokalen Einflüsse der Störungen; der Regler der zweiten Stufe kompensiert den Einfluss der Änderungen in der Kopplungsvariablen auf das globale Verhalten, wobei die Frequenz der zweiten Stufe niedrig sein darf.

Ein anderes Problem bei grossen Systemen ist die Modellvereinfachung. Dabei wird das komplexe System durch ein einfaches Modell dargestellt. Zwei Klassen von Methoden stehen im Vordergrund, nämlich die «Aggregations»-Methoden und die «Perturbations»-Methoden [4...6].

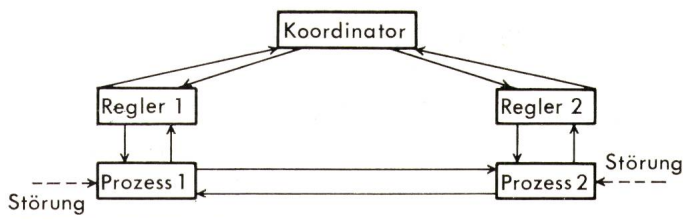


Fig. 1 Hierarchisches System mit zwei Stufen für lokale Optimierung und globale Koordination

Wichtige Beispiele von grossen Systemen, wo die Theorie teilweise angewendet wurde, sind Energiesysteme, Transportsysteme, chemische Prozesse und wirtschaftliche Systeme [5]. Fig. 1 zeigt ein hierarchisches System mit zwei Stufen.

## 3. Computersteuerung und -regelung

Im 18. Jahrhundert machte es die Technologie möglich, dass Maschinen die Muskelkraft von Mensch und Tier ersetzen. Im 20. Jahrhundert hat es der Digitalrechner möglich gemacht, einfache Gehirnprozesse, wie Arithmetik und Informationsspeicherung, durch Datenverarbeitung zu ersetzen. Die Entwicklung in Wissenschaft und Technik geht in der Richtung, dass auch höhere Gehirnprozesse, wie Mustererkennung, Identifikation, logische Entscheidungen, Lernvorgänge usw. durch entsprechende Funktionen des Digitalrechners ersetzt werden. Dank der raschen Entwicklung in



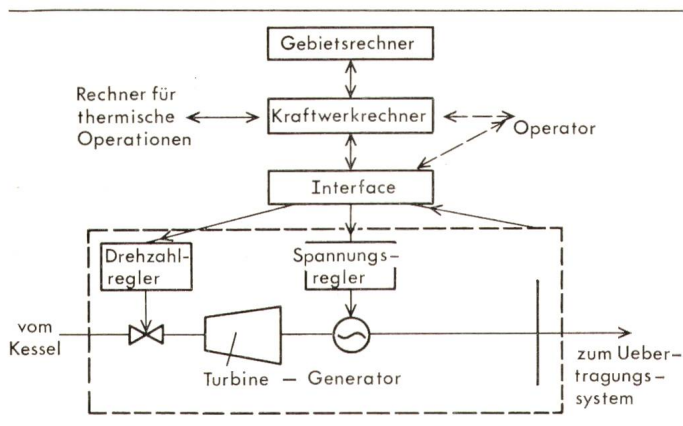


Fig. 2 Computerregelung eines Kraftwerkes

der Halbleiterelektronik sind viele dieser Funktionen realisiert worden. Es ist heutzutage unvorstellbar, dass eine grosse industrielle Anlage, sei es ein Kraftwerk oder eine chemische Fabrik, ohne Rechnereinsatz für die Steuerung, Regelung und Überwachung entworfen wird. Viele Anlagen mit Computersteuerung wurden in den letzten Jahren auf den verschiedenen technischen Gebieten realisiert [7]. Fig. 2 zeigt beispielsweise die Computerregelung eines Kraftwerkes.

#### Hardware- und Software-Probleme

Die Einführung der Mikroprozessoren hat es ermöglicht, dass der Computereinsatz für viele neue Anwendungszwecke wirtschaftlich geworden ist. Hierarchische Strukturen und adaptive Regelungen können realisiert werden. Wichtige Probleme beim Einsatz von Mikroprozessoren sind, die Aufteilung der Datenbanken auf die Rechner in den verschiedenen Stufen der Hierarchie und der Datentransfer dazwischen. In den letzten Jahren wurden grosse Anstrengungen unternommen, um Standard-Software und Standard-Interface zu entwickeln. Diese Standardisation wird natürlich viel Arbeit sparen, in dem Sinne, dass die Software von einem System zum andern übertragen werden kann. Auch der Vorteil, nur eine Sprache zu lernen, ist nicht zu unterschätzen. Hier seien die Arbeiten des «International Purdue Workshop on Industrial Computer Systems» erwähnt.

#### 4. Rechnerunterstützte Analyse und Synthese von Regelsystemen

Eine wichtige Richtung der Forschung und Entwicklung in der Automatik ist der Einsatz von Digitalrechnern für die Analyse und Synthese von Regelstrecken. Verschiedene Programmpakete wurden entwickelt, um interaktiv ein System zu analysieren und synthetisieren, in bezug auf Stabilität, stationäres und transientes Verhalten, Analyse in Zeit- und Bildbereich, Identifikation, Sensitivitätsfunktion, Parameteroptimierung, optimale Rückführung, Entwurf von Beobachtern und Filtern, adaptive Regelung usw. Die Kommunikation mit dem Rechner wurde in den letzten Jahren verbes-

sert. Billige graphische und alphanumerische Terminals können – zusammen mit effektiven time-sharing Systemen – eingesetzt werden. Der Entwurf von Regelsystemen wird auf diese Weise automatisiert, was die Gefahr in sich birgt, dass die Automatik-Ingenieure, ausser denjenigen, die die Programme entwickeln, weniger Einsicht in die Probleme bekommen [9]. Um zu zeigen, wie rasch die Entwicklung auf diesem Gebiet ist, sei erwähnt, dass sich ca. ein Drittel der Vorträge an der internationalen Konferenz über «Trends in Automatic Control Education», Barcelona 1977, mit solchen Programmpaketen befassen werden [8; 9].

#### 5. Nichttechnische Anwendungen

Man hat versucht, in den letzten Jahren die Systemtheorie auf sozio-ökonomische Systeme, Verhaltensforschung, biologische und medizinische Systeme sowie Umweltprobleme, anzuwenden. Dabei spielt die Modellierung eine grosse Rolle. Bevor diese Systeme günstig beeinflusst werden können, müssen dafür zuverlässige Modelle erstellt werden. Die meisten Arbeiten in dieser Richtung leiden darunter, dass, sobald der Mensch als Teil dieser Systeme auftritt, die Modelle unsicher werden und unter Umständen falsche Prognosen geben. Einige Forscher glauben, dass diese Modelle stochastische Modelle sein müssen, andere begnügen sich mit deterministischen Modellen. Die Arbeiten auf diesen Gebieten sind von grosser Bedeutung, da ihr Einfluss auf die Entwicklung der Menschheit sehr gross ist. Voraussetzung ist allerdings, dass die Wissenschaftler in Zukunft vermehrt Einfluss auf die Politik ausüben werden [10...12].

#### Literatur

- [1] R. E. Kalman, P. L. Falb and M. A. Arbib: Topics in mathematical system theory, New York, ao.: McGraw-Hill, 1969.
- [2] W. M. Wonham: Linear multivariable control. A geometric approach. Lecture note in economics and mathematical systems, Vol. 101. Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag, 1974.
- [3] H. H. Rosenbrock: State-space and multivariable theory. London, Nelson, 1970.
- [4] Proceedings workshop discussion on multilevel control. Warsaw, Technical University, Institute of Automatic Control, 1975.
- [5] Proceedings of the IFAC symposium on large scale systems theory and applications, June 16...20, 1976, Udine.
- [6] N. R. Sandell jr., P. Varaiya and M. Athans: A survey of decentralized control methods for large scale systems. In: Proceedings of the IFAC symposium on large scale system theory and applications, June 16...20, 1976, Udine.
- [7] Fourth IFAC/IFIP international conference on digital computer applications to process control. Part I/II. Zürich, March, 19...22, 1974. Lecture notes in economics and mathematical systems, Vol. 93 + 94. Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag, 1974.
- [8] Proceedings of the IFAC symposium on trends in automatic control education, March 30...April 1, 1977, Barcelona.
- [9] H. H. Rosenbrock: The future of control. Survey paper at the 6th international congress of the International Federation of Automatic Control, August 24...30, 1975, Boston.
- [10] J. W. Forrester: Dynamics of socio-economic systems. Survey paper at the 6th international congress of the International Federation of Automatic Control, August 24...30, 1975, Boston.
- [11] L. R. Klein: National economic management. Survey paper at the 6th international congress of the International Federation of Automatic Control, August 24...30, 1975, Boston.
- [12] W. A. Hall: Environmental impact of control. Survey paper at the 6th international congress of the International Federation of Automatic Control, August 24...30, 1975, Boston.

#### Adresse des Autors

Dr. sc. techn. M. A. Mansour, Professor für Automatik, ETHZ, Gloriastrasse 35, 8006 Zürich.