Von der Feinmechanik zur Elektronik : Technologie im Umbruch

Autor(en): **Weber, G.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **73 (1982)**

Heft 19

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905017

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

BULLETIN

des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
de l'Association Suisse des Electriciens

des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke
de l'Union des Centrales Suisses d'Electricité

Elektrotechnik und Elektronik
Electrotechnique et électronique

Von der Feinmechanik zur Elektronik: Technologie im Umbruch

G. Weber

621.38:681;

Einleitung

Kaum ein Gebiet der Technik hat sich während der letzten 80 Jahre mit einer annähernd gleichen Geschwindigkeit verändert wie der *Apparatebau* für Mess- und Regeltechnik, die Nachrichtentechnik, die Datenverarbeitung und die Medizin. Diese Entwicklung war eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Fortschritte im ganzen technischen Bereich, da der wirkungsvolle Einsatz der «Informatik» im weitesten Sinne in alle Bereiche der Industrie und der Dienstleistungen ausstrahlt.

Die Technologien, welche das Fundament dieser umwälzenden Entwicklung bilden, werden unter dem Begriff *«Feintechnik»* zusammengefasst (Fig. 1). In den folgenden Ausführungen wird versucht, einen Überblick über die Entwicklung der Technologien innerhalb des Sammelbegriffs Feintechnik zu geben. Die Feinmechanik, die Elektromechanik und der schrittweise Übergang zur Elektronik bilden – als Träger der enormen Fortschritte im Bau von Apparaten und Systemen – den Kern der Betrachtungen.

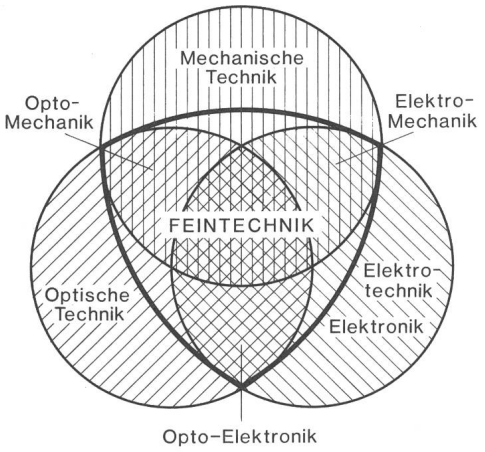

Fig. 1 Feintechnik, eine interdisziplinäre Gerätetechnik in den Überlappungsgebieten der Feinmechanik, Elektrotechnik und Elektronik sowie Optik

Die Feinmechanik, Grundlage des Apparate- und Instrumentenbaus

Während der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts war die Entwicklung der Mess- und Regeltechnik und der Nachrichtentechnik eine direkte Auswirkung der grossen Fortschritte in der Feinmechanik. Durch systematische Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der *Werkstoffe* standen den Konstrukteuren wichtige neue *Ausgangsmaterialien* zur Verfügung. Leichtmetalle und Kunststoffe, aber auch verbesserte Legierungen auf der Grundlage von Eisen, Stahl und Kupfer ermöglichten grundlegend neue Konzeptionen im feinmechanischen Apparatebau. Der Einsatz neuartiger und immer leistungsfähigerer *Bearbeitungsmaschinen* ermöglichte massive Kostensenkungen bei spanloser und spanabhebender Bearbeitung. Von besonders grosser Bedeutung waren dabei die grossen Fortschritte im *Werkzeugbau* durch hochpräzise Koordinatenbohr- und Schleifmaschinen, durch Profilschleifen und Funkenerosion.

Damit waren die Voraussetzungen geschaffen für die Entwicklung und Konstruktion eines sehr breiten Angebots von immer leistungsfähigeren Produkten zu ständig sinkenden Kosten, insbesondere:

- Zeitmessgeräte (Uhren)
- Fühler zur Messung physikalischer Grössen, wie Temperatur, Druck, Länge, Kraft, Menge
- Instrumente zur Messung elektrischer Grössen (Strom, Spannung, Leistung usw.)
- Verknüpfungen dieser Grössen, Bildung zeitlicher Ableitungen und Integration über Zeit und Weg

- Regelung von Prozessen auf Grund dieser Messwerte und ihrer Verknüpfung
- Registrierung von Messwerten
- Vermittlung und Übermittlung von Nachrichten aller Art über Draht.

Dieses weitausgedehnte Spektrum neuer Produkte hatte Auswirkungen auf allen Gebieten der Technik und des täglichen Lebens der Menschen.

Die Grenzen der Feinmechanik

Die Lösung der gegebenen technischen Aufgaben durch mechanische und elektromechanische Mittel stellte immer höhere Anforderungen an die klassische Feinmechanik. Der Entwicklungs-Ingenieur stand auf Grund der Grenzen der Feinmechanik vor immer schwierigeren Problemen:

Bewegte Teile

Die Funktion, die durch einen Apparat oder ein Instrument ausgeführt wird, ist in der Regel mit einer Bewegung verbunden. Die folgenden Beispiele mögen diese Aussage illustrieren:

- das Relais oder der Wähler in einer Telefonzentrale verbindet oder löst elektrische Kontakte mittels bewegter Teile;
- ein elektrisches Messinstrument zeigt den Strom als Winkeldrehung einer Spule in einem Magnetfeld an;
- ein kWh-Zähler übermittelt die Information über die zu messende Energie durch die Anzeige der Zahl der Umdrehungen des Rotors eines Ferraris-Messwerks;
- die Druckmessung im Barometer erfolgt durch die Anzeige der Durchbiegung einer Membrane und die Umwandlung dieser Biegung in die Drehbewegung eines Zeigers;
- die Temperatur wird durch die Bewegung einer Quecksilbersäule oder die Deformation eines Bimetalls angezeigt.

Diese Beispiele könnten in beliebiger Anzahl erweitert werden. Es liegt somit im Wesen des klassischen feintechnischen Apparatebaus, dass zur Lösung der gestellten Aufgaben die Bewegung von Teilen unumgänglich ist. Diese Bewegung von Teilen führt zu folgenden Nachteilen:

- Es entsteht Reibung, die zu Messfehlern (Hysterese) und zur Abnützung (Alterung) führt.
- Die Bewegung ist nicht gleichförmig und bedingt die *Beschleunigung* der bewegten Teile. Die Erfassung oder Verarbeitung sehr rascher Vorgänge ist deshalb eingeschränkt.

Die Konstruktion muss diesen Schwierigkeiten Rechnung tragen und ihre *Auswirkungen* weitmöglichst *beschränken*. Eliminiert werden können diese Nachteile mit den Mitteln der Feinmechanik und der Elektromechanik in der Regel nicht.

Kopplung

Die Kopplung zwischen dem Mess- bzw. Regelgerät und der Mess- bzw. Regelstrecke ist an sich zwingend. Zur Vermeidung von störenden Rückwirkungen muss sie möglichst lose gehalten werden. Beim Einsatz von mechanischen oder elektromechanischen Mitteln ist dieses Ziel schwer erreichbar.

Die *Reduktion der Leistungsaufnahme* des Fühlers aus der Mess- bzw. Regelstrecke zur Vermeidung störender Rückwirkungen auf die Meßstrecke muss durch zeitliche Ausdehnung des Messvorganges oder erhöhten Aufwand mittels Kompensationsverfahren bewerkstelligt werden.

Die *Weiterverarbeitung der Information* in einem Schreiber oder Drucker oder zur Steuerung des Stellgliedes einer Regelstrecke ist recht kompliziert und aufwendig.

Die *pneumatische Regeltechnik* konnte sich die Vorteile der Feinmechanik in besonderem Masse nutzbar machen und deren inhärente Nachteile weitgehend vermeiden. Dank der Fortschritte der Feinmechanik ist es mit dieser Technik gelungen, auch komplizierte Aufgaben kostengünstig und in übersichtlicher Weise zu lösen. Die Pneumatik hat deshalb einen sehr grossen Anwendungsbereich in der Regelung chemischer Prozesse, in der Klimatechnik und in allen Verfahren in einer Umgebung mit hohem Explosionsrisiko gefunden.

Elektronik in Verbindung mit bewährter Feinmechanik, die Grundlage einer höherwertigen Feintechnik

Die Erfindung der *Elektronenröhre* im Jahre 1906 leitete eine Entwicklung ein, welche sich sehr unterschiedlich auf die verschiedenen Sparten des Apparatebaus auswirkte.

Durch den Einsatz der Elektronenröhren wurde der Bau elektronischer Verstärker möglich und so die Voraussetzung geschaffen, elektrische Signale über grössere Distanzen zu übertragen. Damit wurde die exponentielle Entwicklung der Nachrichtentechnik ausgelöst. Der in der Folge einsetzende enorme Bedarf an Relais und Wählern für den Bau von Telefonzentralen und Teilnehmerstationen hat der Feinmechanik grosse Impulse verliehen, die sich weit über den Anwendungsbereich Nachrichtentechnik hinaus ausgewirkt haben.

Im Apparatebau für die *Mess- und Regeltechnik* fand die Elektronenröhre nur zögernd Eingang. Sie erlaubte zwar bei empfindlichen Messvorgängen eine wesentliche Verbesserung der Messgenauigkeit und eine losere Ankopplung des Fühlers an die Meßstrecke. Die Störungsanfälligkeit und die beschränkte Lebensdauer standen aber einem breiten Einsatz im Wege.

Erst auf Grund der Forschungsarbeiten in der Halbleiterphysik und als Folge der Erfindung des *Transistors* vor 35 Jahren wurde die Voraussetzung für den universellen Einsatz der Elektronik in engem Verbund mit der Feinmechanik geschaffen. Der Ersatz der kostspieligen, viel Raum einnehmenden Elektronenröhre mit der zwecks Elektronenemission beheizten Kathode durch den kostengünstigen, sofort einsatzbereiten Halbleiterverstärker führte zu einer weiteren Verbreitung der Verwendung von Mess- und Regel-Apparaten in der Technik. Trotzdem lag das Hauptgewicht vorerst immer noch auf der Feinmechanik, da einfache analoge Rechenoperationen wie Addition, Subtraktion, Multiplikation und Integration mit feinmechanischen Mitteln nach wie vor billiger und zweckmässiger gelöst wurden als mit Hilfe elektronischer Schaltungen. So fand z.B. der Synchronmotor mit Untersetzungsgetriebe als einfache netzge-

führte Zeitbasis grosse Verbreitung im Apparatebau, während die erste elektronische Uhr auf Stimmgabelbasis zwar genauer, aber für eine grosse Zahl der Anwendungen nicht konkurrenzfähig war.

Die immer noch stark steigenden Stückzahlen in der Herstellung von Komponenten der Feinmechanik ermöglichten den Einsatz neuartiger Produktionsmittel, die zu starken Senkungen der Herstellungskosten führten. Die Ergänzung und Förderung der Feinmechanik durch die Elektronik erreichte Mitte der 60er Jahre ihren Höhepunkt.

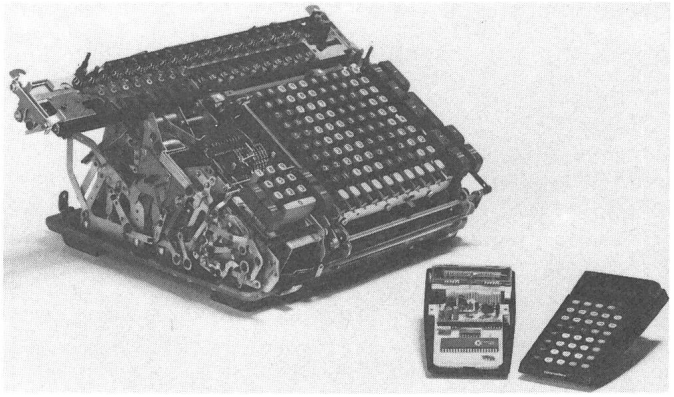

Fig. 2 **Gegenüberstellung einer mechanisch-elektrischen Rechenmaschine FRIDEN und eines modernen elektronischen Taschenrechners**

Elektronik verdrängt Feinmechanik in weiten Anwendungsbereichen

Zu Beginn der sechziger Jahre wurde von der Halbleiterindustrie das Konzept der *Integrierten Schaltungen* geschaffen. Durch die Unterbringung und Verknüpfung einer grossen Zahl von Transistoren, Dioden und passiven Elementen auf einem Halbleiterplättchen wurden analoge Funktionsverstärker (Op. Amp.) und komplexe digitale Schaltungen zu sehr tiefen Kosten hergestellt. Die Produktion der integrierten Schaltungen war ihrerseits nur möglich dank Maschinen und Einrichtungen, welche modernste feinmechanische und optische Verfahren anwenden. Mit den integrierten Schaltungen wurden die Voraussetzungen für den Bau von sehr viel *leistungsfähigeren Messgeräten* geschaffen, die ganz neue Anwendungen in der Chemie, der Metallurgie, der Biologie und der Medizin erschlossen. Es gelang darüber hinaus, durch den Einsatz digitaler Schaltungen mit hohem Integrationsgrad den Einsatz bewegter Teile für Rechenoperationen weitgehend *auszuschalten.*

Dieser Durchbruch der integrierten Schaltungen und die weitgehende Verdrängung der Feinmechanik aus den *funktionalen Aufgaben* führten zu:

- rascher Betriebsbereitschaft der Geräte
- wesentlicher Ausweitung der Arbeitsbereiche der einzelnen Geräte, insbesondere bezüglich Geschwindigkeit
- wesentlicher Reduktion der konsumierten Energie
- wesentlicher Volumenreduktion
- deutlicher Reduktion der Kosten trotz höherer Leistung
- deutlicher Reduktion der Wertschöpfung des Apparateherstellers.

Damit wurde ein *sehr tiefgreifender technologischer Strukturwandel* eingeleitet, der gravierende Auswirkungen auf die *Produktionstechnik* und auf die *technische Infrastruktur* in den betroffenen Industriezweigen zur Folge hatte. Als besonders offensichtliche Beispiele dieser Entwicklung sind die Taschenrechenmaschinen und die Uhr anzusprechen. Figur 2 illustriert diese Feststellungen am Beispiel des elektromechanischen Tischrechners und der elektronischen Taschenrechenmaschine.

Der Einsatz des Mikroprozessors eröffnet ganz neue Perspektiven

Die Einführung des Mikroprozessors, des «Computer on a Chip», eröffnete Mitte der siebziger Jahre der Anwendung der Elektronik im Apparatebau ganz neue Wege. Die Konzentration von vielen tausend miteinander verbundenen aktiven Schaltelementen auf einem Halbleiterplättchen von einigen mm² Fläche gestattet die sehr schnelle Ausführung folgender Funktionen:

- Aufnahme von Daten von externen Übertragungskanälen entsprechend vorgegebenen Programmen und Prioritäten
- Speicherung von sehr vielen Daten und grossen Programmen
- logische und arithmetische Verknüpfung der gespeicherten Daten
- Ausgabe von Daten, Steuer- und Regelbefehlen.

Die klassischen feintechnischen Funktionen behalten vor allem bei den peripheren Elementen ihre Bedeutung: Im Eingangszweig bei den Sensoren und Wandlern, im Ausgangssektor bei den Anzeigen, Druckern, Antrieben, Stellgliedern, Relais usw. Die Rolle der *Feinmechanik* bleibt dabei in der Regel beschränkt auf:

- die Befestigungsfunktion, d.h. die rein mechanische Halterung und Verbindung der elektronischen Bauelemente
- den Einsatz für Stellfunktionen, d.h. überall dort, wo mechanische Arbeit zu leisten oder grössere elektrische Leistung zu schalten ist
- die Herstellung und Bestückung von Leiterplatten.

Durch die Möglichkeit der *freien Programmierung* der Funktionen der mikrocomputerbestückten Apparate nimmt die Flexibilität der Anwendung gegenüber den fest verdrahteten elektronischen Schaltungen deutlich zu. Als neues Element spielt dabei die *Software* eine grosse Rolle, welche den Einsatz der mit Mikroprozessoren ausgerüsteten «intelligenten» Apparate zu disponieren und zu programmieren hat. Dem Ingenieur steht damit ein neuer Aufgabenkreis offen, der ein besonderes Ausmass an Fähigkeit zu Abstraktion und logischem Denken verlangt.

Mit der weiteren Verbilligung der Mikrocomputerbausteine wurden auch die Voraussetzungen zur Entwicklung von noch leistungsfähigeren Mess-, Regel- und Steuerapparaten geschaffen. So sind z. B. digitale und adaptive *Regler,* d.h. Geräte, die ihr Verhalten den Gegebenheiten der Regelstrecke selbständig anpassen können, heute zu konkurrenzfähigen Kosten realisierbar.

Darüber hinaus ist die Verknüpfung einer grösseren Zahl von intelligenten Apparaten zu grösseren Systemen relativ leicht zu bewerkstelligen. Dies eröffnet neue, weite Anwendungsgebiete und erhöht nochmals die Bedeutung der damit verbundenen Software-Probleme.

Zusammenfassung

Die letzten 50 Jahre haben dem Einsatz der Feintechnik einen enormen Aufschwung gebracht. Die Feinmechanik wurde dank neuer Materialien und verfeinerter Produktionsmittel immer weiter perfektioniert. Die Elektronik hat ihre Einsatzmöglichkeiten vorerst beträchtlich erweitert.

Infolge der kaum vorstellbaren Steigerung der Leistungsfähigkeit der modernen Halbleiter-Mikroelektronik wird der Anwendungsbereich der Feintechnik nochmals stark erweitert. Die Feinmechanik wird in vielen Anwendungsbereichen von der Elektronik verdrängt, behält aber in relativ engem Rahmen auch auf lange Sicht ihre Bedeutung. Die Software wird als wichtige Ergänzung zur Feintechnik beim Bau von Apparaten und Systemen unter Verwendung von Mikroprozessoren eine wesentliche Rolle spielen.

Adresse des Autors
Dr. *G. Weber*, Obere Rostmatt 4, 6300 Zug.