

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: 72 (1981)

Heft: 13

Artikel: Methodische Konzeptentwicklung in der Elektrotechnik : Teil 1 : Methode der minimal notwendigen Teilfunktionen

Autor: Tayefeh-Emamverdi, M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905130>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.01.2025

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

Methodische Konzeptentwicklung in der Elektrotechnik

Teil 1: Methode der minimal notwendigen Teilfunktionen

Von M. Tayefeh-Emamverdi

621.3:001.8;

Über die Hälfte aller derzeit verkauften elektrotechnischen Produkte ist in den letzten zehn Jahren entwickelt worden. Der Entwicklungsingenieur ist auf diesem Gebiet ständig mit neuen Problemen konfrontiert, deren Lösung durch Einbezug methodischer Vorgehensweisen effizient unterstützt werden kann. Im ersten Teil dieser Arbeit wird eine Methode der Lösungssuche und Lösungswahl gezeigt, deren wesentliches Merkmal ein Syntheseverfahren ist, das das Ziel hat, die einfachsten Lösungskonzepte einer Aufgabe zu finden.

Plus de la moitié des produits électrotechniques vendus actuellement ont été conçus durant les dix dernières années. L'ingénieur concepteur est constamment confronté avec de nouveaux problèmes, dont la solution peut être efficacement facilitée en procédant méthodiquement. Dans la première partie, on décrit une méthode de recherche et de sélection d'une solution, dont la particularité essentielle est un procédé de synthèse servant à trouver les conceptions les plus simples pour résoudre un problème.

1. Einführung

Die Produktionsinnovation ist heute mehr denn je die wesentliche Grundlage der Existenzfähigkeit der Industriebetriebe. Diese Tatsache hat insbesondere ihre Gültigkeit für das Gebiet der Elektrotechnik, das sehr raschen Änderungen der Strukturen unterworfen ist. Der Ingenieur in der Entwicklung und Konstruktion elektrotechnischer Produkte ist daher stets auf der Suche nach neuen Lösungen. Dieser Umstand erfordert einerseits Kreativität und andererseits eine Arbeitsweise, die die Unwägbarkeit und die Unsicherheit der reinen Intuition verringert. Dementsprechend ist es notwendig, eine *disziplinierte Kreativität* auszuüben. Dazu ist neben gut fundierten Sachkenntnissen im jeweiligen Arbeitsgebiet noch die Kenntnis von wesentlichen Methoden zur Problemlösung notwendig. Solche Methoden erhöhen die Effektivität der Arbeit des Ingenieurs, ohne dabei eine Einschränkung seiner Intuition anzustreben. Sie lassen sich beim Veralten des Fachwissens als ein bleibendes Rüstzeug des Ingenieurs neuen Problemsituationen anpassen.

2. Methodisches Vorgehen in der Elektrotechnik

Die vielfältigen Aufgaben der Elektrotechnik können methodisch auf mannigfaltige Art bearbeitet werden [1; 2; 3; 4]. Ein wesentlicher Schritt zum methodischen Arbeiten ist das stete Erkennen und Beseitigen dessen, was am disziplinierten Denken hindert [5]; dazu kann die Morphologie [6; 7] als essentielle Grundlage dienen. Die häufigste sowohl in der Systemtechnik [8] als auch im Maschinenbau [9; 10; 11] angewandte morphologische Methode ist die Methode des morphologischen Kastens. Auf Anregung eines elektrotechnischen Unternehmens wurde diese Methode vom Verfasser zum Konzipieren elektrotechnischer Apparate herangezogen. Die Untersuchung zeigte die Notwendigkeit der Einführung abweichender Gesichtspunkte gegenüber der Methode des morphologischen Kastens und dem Vorgehensplan nach [9]. Die sich aus dieser Untersuchung ergebende Methode wird als *Methode der minimal notwendigen Teilfunktionen* bezeichnet. Ihre Arbeitsschritte sind in Fig. 1 dargestellt.

3. Methode der minimal notwendigen Teilfunktionen

Diese Methode basiert auf dem Grundgedanken, dass zwar durch ein diskursives Vorgehen der Einfluss des Zufalls während der Lösungssuche zu verringern ist, dass aber in der Praxis aus Termin- und Kostengründen die Totalität der Lösungen einer Aufgabe nicht primär von Interesse sein kann. Man muss daher genau definieren, welches Ziel das methodische Vorgehen hat. Lösungssuche und Lösungswahl sind streng voneinander zu trennen, wenn man die Totalität der

Menge der Lösungen kennenlernen will, z.B. zwecks Katalogisierens oder aus Lehr- und Forschungszwecken. Sie sind nicht voneinander zu trennen, wenn man eine Aufgabe in der Praxis zu lösen hat. Daher wird ein Syntheseverfahren vorgeschlagen, das das Ziel hat, die einfachsten Lösungskonzepte einer Aufgabe zu finden. Auf diese Weise selektiert die Methode schon während der Lösungssuche. Trotzdem geht hiedurch nichts verloren, denn wenn notwendig, kann schrittweise in Richtung komplizierterer Lösungen vorgegangen werden.

Im ersten Teil dieses Aufsatzes werden die in Fig. 1 dargestellten Schritte allgemein und im zweiten Teil am Beispiel der Auslöser elektrischer Schaltgeräte erläutert.

3.1 Analyse und Abstraktion der Aufgabe

Zweck dieses Schrittes ist es, eine Ausgangsbasis für die Lösungssuche zu schaffen, die im Rahmen gestellter Anforderungen jede Lösung erfasst.

Abstrahieren bedeutet: Weglassen alles in dem betreffenden Zusammenhang und für einen bestimmten Zweck Unwesentlichen. Dazu ist es notwendig, den Wesenskern einer Aufgabe zu erkennen und die scheinbaren Einschränkungen [12] zu eliminieren. *Scheinbare Einschränkungen* sind:

– solche, die aus herkömmlichen Gründen vorgeschrieben werden, weil man durch die Kenntnis von Vorhandenem vorgefixiert ist, bzw.

– solche, die zwar in der Aufgabenstellung nicht bestehen, aber aus Gewohnheit vom Aufgabenbearbeiter unbewusst eingeführt werden.

Das Ergebnis der Analyse und Abstraktion führt zur Formulierung der Gesamtfunktion des zu konzipierenden Systems, die in allgemeiner Form wie in Fig. 2 dargestellt werden kann.

3.2 Einteilung der bestimmenden Flüsse der Gesamtfunktion

Zweck dieses Schrittes ist die Unterscheidung zweier Gruppen von Teilfunktionen, um für die Synthese der Gesamtfunktion aus Teilfunktionen eine sinnvolle Ordnung zu schaffen.

Aus der abstrakten Formulierung der Gesamtfunktion können im allgemeinen Energie-, Stoff- und Signalflüsse erkennbar sein. In ihnen vorkommende Teilfunktionen können z.B. nach Fig. 3 zusammenhängen. Für die spätere Synthese ist es sinnvoll, entsprechend der geforderten Gesamtfunktion zwischen einem *Hauptfluss* und *Nebenflüssen* zu unterscheiden. Die Teilfunktionen im Hauptfluss werden als Primär-, diejenigen in Nebenflüssen als Sekundärfunktionen bezeichnet. Wie die Fig. 3 zeigt, hängen die Sekundärfunktionen nur mit

derjenigen Primärfunktion zusammen, welche an der Verknüpfungsstelle beider Flüsse liegt. Die Lösungsprinzipien der Sekundärfunktionen werden durch die Lösungsprinzipien der entsprechenden Primärfunktion festgelegt und sollen daher nicht getrennt mit den Lösungsprinzipien anderer Primärfunktionen kombiniert werden.

3.3 Erkennen der minimal notwendigen Teilfunktionen

Zweck dieses Schrittes ist das Zurückführen der Gesamtfunktion auf minimal notwendige Teilfunktionen, um zuerst die einfachsten Lösungskonzepte zu erarbeiten.

Es gibt drei wesentliche Wege zur Gliederung einer Gesamtfunktion in Teilfunktionen:

- Analyse bekannter Lösungen und Erkennen deren Teilfunktionen
- Ableiten der Teilfunktionen mit Hilfe der Analogiebetrachtungen

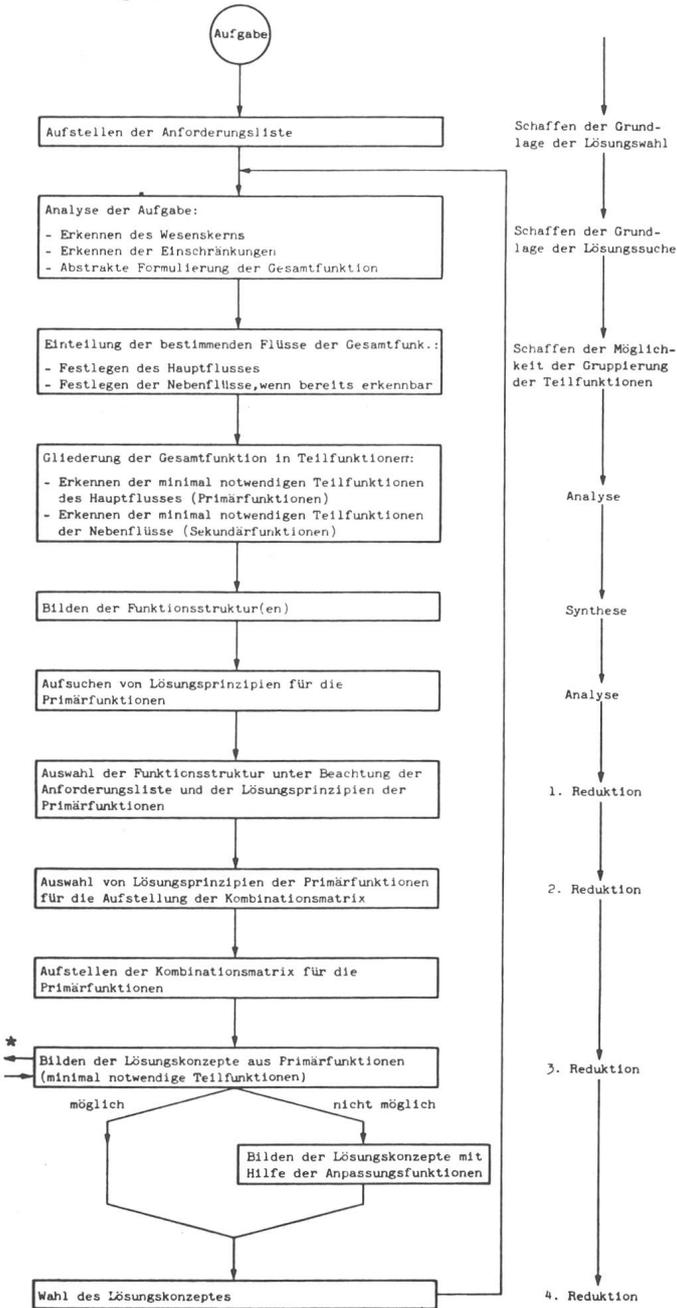


Fig. 1 Arbeitsschritte der «Methode der Lösungssuche und Lösungswahl aufgrund der minimal notwendigen Teilfunktionen»

* Aufsuchen von Lösungsprinzipien der Sekundärfunktionen

- Erkennen der Teilfunktionen aufgrund der Analyse der abstrakten Formulierung der Gesamtfunktion.

Werden Teilfunktionen aufgrund einer der beiden erstgenannten Möglichkeiten erkannt, so können zwei Kategorien von Funktionen vermengt werden, nämlich solche, die in jeder Lösung der Aufgabe vorhanden sind, und solche, die nur in bestimmten Lösungen vorkommen. Es kann daher unterschieden werden zwischen notwendigen Teilfunktionen, die stattfinden müssen, und nicht notwendigen Teilfunktionen, die entfallen können.

Um *notwendige Teilfunktionen* zu erhalten, muss man sich nur an die abstrakte Formulierung der Gesamtfunktion halten. Das heißt, man sollte in Funktionen und nicht in Lösungen denken. Da aber die technischen Funktionen in Worten durch ein Verb und ein Substantiv ausgedrückt werden (z.B. Energie speichern), ist es nicht möglich aus der rein verbalen Formulierung festzustellen, ob die Zusammensetzung der erkannten Teilfunktionen die Gesamtfunktion ergibt. Dies ist erst dann möglich, wenn nachgeprüft werden kann, ob die Lösungsprinzipien der erkannten Teilfunktionen sich lückenlos zusammensetzen lassen. Ist die unmittelbare Verknüpfung der Lösungsprinzipien nicht möglich, dann werden Anpassungsfunktionen benötigt, die ebenfalls als notwendige Teilfunktionen zu erachten sind. Daher werden hier die aus der Funktionsanalyse erkennbaren notwendigen Teilfunktionen gegenüber den durch die Anpassungsprobleme notwendig gewordenen Teilfunktionen abgegrenzt:

Minimal notwendige Teilfunktionen gehen nur aus der Analyse der abstrakten Formulierung einer Gesamtfunktion, ohne

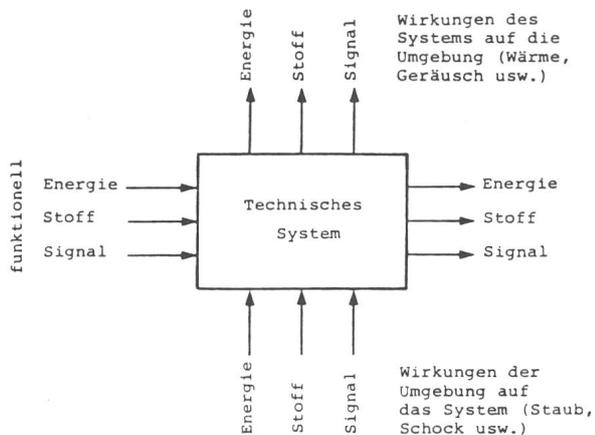


Fig. 2 Abstrakte Darstellung eines technischen Systems

Energie: Mechanisch, elektrisch usw.
Stoff: Gase, Flüssigkeiten, feste Körper
Signal: Messgrößen, Steuergrößen u.ä.

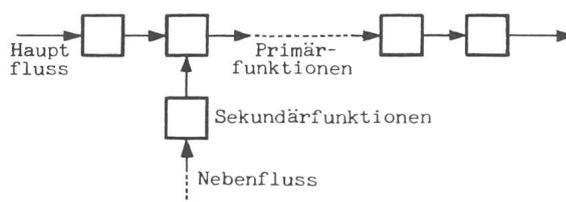


Fig. 3 Begriff von Haupt- und Nebenfluss

Teilfunktion	a	b	c	n
Lösungsprinzipien	$E_{a_1} \rightarrow a_1 \rightarrow A_{a_1}$	$E_{b_1} \rightarrow b_1 \rightarrow A_{b_1}$	$E_{c_1} \rightarrow c_1 \rightarrow A_{c_1}$		
	$E_{a_2} \rightarrow a_2 \rightarrow A_{a_2}$	$E_{b_2} \rightarrow b_2 \rightarrow A_{b_2}$	$E_{c_2} \rightarrow c_2 \rightarrow A_{c_2}$		
	⋮	⋮	⋮		
	$E_{a_\alpha} \rightarrow a_\alpha \rightarrow A_{a_\alpha}$	$E_{b_\beta} \rightarrow b_\beta \rightarrow A_{b_\beta}$	$E_{c_\gamma} \rightarrow c_\gamma \rightarrow A_{c_\gamma}$		

Fig. 4 Kombinationsmatrix zur Synthese der Gesamtfunktion eines technischen Gebildes aus minimal notwendigen Teilfunktionen und zur schrittweisen Entwicklung der Lösungen mit Hilfe der Anpassungsfunktionen
Im allgemeinen $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq$

Orientierung an den Realisationsmöglichkeiten, hervor. Sie sind notwendig und hinreichend, wenn ihre Lösungsprinzipien eine lückenlose Synthese der Gesamtfunktion ermöglichen.

3.4 Aufsuchen der Funktionsstruktur

Zweck dieses Schrittes ist es, die aus der Funktionsanalyse hervorgegangenen Teilfunktionen auf verschiedene Arten miteinander zu verknüpfen, um neue Lösungen zu erhalten.

Funktionsstruktur ist die Gesamtheit der Teilfunktionen eines technischen Systems und die Art ihrer Verknüpfung, woraus die zeitliche Reihenfolge des Ablaufes der Teilfunktionen ersichtlich ist. Im allgemeinen wird bereits bei der Gliederung der Gesamtfunktion in Teilfunktionen eine Funktionsstruktur sichtbar. In der Praxis der Lösungssuche begnügt man sich vielfach mit einer Funktionsstruktur. Manche Aufgaben können aber bereits in diesem abstrakten Stadium der Arbeit durch Variation der Funktionsstruktur neue Lösungen erhalten.

3.5 Auswahl der Funktionsstruktur

Zweck dieses Schrittes ist eine 1. Reduktion der Lösungsmöglichkeiten.

Auf dieser Entwicklungsstufe ist im allgemeinen eine Bewertung der Funktionsstruktur nicht möglich, da die Teilfunktionen nur begrifflich und noch nicht durch ihre Lösungsprinzipien festgesetzt sind. Es ist trotzdem angebracht, die aufgesuchten Funktionsstrukturen mit den Angaben der Anforderungsliste zu vergleichen, um eindeutig unbrauchbare Strukturen auszuscheiden. Bei manchen Aufgaben ist es zweckmässig, erst für die Teilfunktionen Lösungen zu suchen, womit die Wahl der weiterzuverfolgenden Struktur erleichtert wird.

3.6 Aufsuchen von Lösungsprinzipien

Zweck dieses Schrittes ist es, für die verbal ausgedrückten, minimal notwendigen Teilfunktionen durch systematisches Vorgehen ein möglichst vollständiges Lösungsfeld zu finden.

Zu Beginn wird für jede Teilfunktion ein Oberbegriff [13] gesucht, der die Menge der Lösungsmöglichkeiten kennzeichnet. Zum Festlegen dieses Oberbegriffs sind Erfahrung und Fähigkeit zum abstrakten Denken nützlich. Kennt man eine

Lösung zur betrachteten Teilfunktion, dann kann der gesuchte Oberbegriff durch Abstrahieren von dieser Lösung gefunden werden. Begonnen wird mit der Suche nach Lösungsprinzipien für die Primärfunktionen. Ein Lösungsprinzip ist die grundsätzliche Erfüllungsmöglichkeit einer technischen Funktion und lässt mindestens die Ein- und Ausgangsgrösse (n) und die Relationen zwischen ihnen erkennen. Beim Konzipieren sucht man zuerst die physikalischen Lösungsprinzipien, um sie dann geometrisch und stofflich zu konkretisieren. Es ist auch möglich, die aus der Erfahrung bekannten *technischen Bausteine* (z.B. Elektromotor, Transformator, Relais) heranzuziehen. Beide Möglichkeiten werden vielfach gemeinsam zur Erarbeitung von Lösungen benützt. Bei Verwendung eines technischen Bausteins muss man sich stets darüber Klarheit verschaffen, ob sich evtl. versteckte Eigenschaften störend auswirken könnten.

Wesentlich zur systematischen Lösungssuche tragen die Systematika und Kataloge bei [14; 15]. Einige Beispiele sind im Anhang angegeben.

3.7 Auswahl von Lösungsprinzipien

Zweck dieses Schrittes ist die 2. Reduktion der Lösungsmöglichkeiten, bevor die Lösungsprinzipien der minimal notwendigen Teilfunktionen miteinander kombiniert werden.

Die Anzahl der zu betrachtenden Lösungskonzepte steigt um so stärker, je mehr Lösungsprinzipien für eine Teilfunktion in die Kombination mit den Lösungsprinzipien anderer Teilfunktionen eingehen. Daher sollten an dieser Stelle durch Vergleich mit der Anforderungsliste die nicht entsprechenden Lösungsprinzipien ausgeschieden werden. Zu beachten ist aber, dass nichttaugliche Lösungsprinzipien einer Teilfunktion manchmal in Kombination mit den Lösungsprinzipien anderer Teilfunktionen akzeptable Ergebnisse liefern können, so dass sie nicht immer einzeln, sondern im Systemzusammenhang beurteilt werden sollten.

3.8 Bilden der Lösungskonzepte

Zweck dieses Schrittes ist es, Lösungskonzepte der Gesamtfunktion zu erarbeiten, die aus den minimal notwendigen Teilfunktionen bestehen. Somit liegt in diesem Schritt die 3. Reduktion der Zahl der möglichen Lösungen.

Lösungskonzepte entstehen durch die Verknüpfung von jeweils einem Lösungsprinzip einer Teilfunktion mit einem Lösungsprinzip jeder anderen Teilfunktion, wobei die Gesamtfunktion lückenlos erfüllt werden muss. Zur Synthese der Gesamtfunktion kann man grundsätzlich ein Schema wie den morphologischen Kasten verwenden, in das man nur die minimal notwendigen Teilfunktionen und deren Lösungsprinzipien einträgt. Für technische Aufgaben ist es manchmal zweckmässiger, die Lösungsprinzipien nicht verbal, sondern durch Skizzen darzustellen, aus denen auch die Ein- und Ausgangsgrössen ersichtlich sind. In Fig. 4 wird eine *Kombinationsmatrix* vorgeschlagen, die sich für solche Fälle gut eignet, da sich die Überprüfung der Verträglichkeit der Ausgangsgrössen einer Spalte mit den Eingangsgrössen der nachfolgenden Spalte übersichtlich durchführen lässt.

Die in Fig. 4 dargestellte Matrix ist im allgemeinen unsymmetrisch, weil die Teilfunktionen nicht die gleiche Anzahl von Lösungen besitzen müssen. Bezeichnet man mit α, β, γ usw. jeweils die Anzahl der Lösungsprinzipien der Teilfunktionen a, b, c usw., so müssen

$$\Pi = \alpha \times \beta \times \gamma \times \dots \quad (1)$$

Lösungskonzepte existieren. Die Zahl Π gibt weder theoretisch noch praktisch über die tatsächliche Anzahl der Lösungskonzepte Auskunft. Dafür sind folgende Gründe massgebend:

– Damit die Ausgangsgrösse jedes Lösungsprinzips jeder Teilfunktion mit den Eingangsgrössen der Lösungsprinzipien der nachfolgenden Teilfunktion verbunden werden kann, müssen folgende Verträglichkeitsbedingungen herrschen:

$$A_{ai} = E_{bi} \quad A_{bi} = E_{ci} \text{ usw.} \quad (2)$$

Diese Bedingungen müssen im allgemeinen nicht vollständig erfüllt sein, so dass die Anzahl der möglichen Lösungskonzepte kleiner als Π sein kann.

– Für alle Ausgangsgrössen der Lösungsprinzipien einer Teilfunktion, die mit den Eingangsgrössen der Lösungsprinzipien der nächstfolgenden Teilfunktion unverträglich sind ($A_{ai} \neq E_{bi}$), kann man die Möglichkeiten der Schaffung der Verträglichkeit untersuchen, in dem neue Teilfunktionen eingeführt werden. Diese Anpassungsfunktionen können unter Umständen durch so viele Lösungsprinzipien erfüllbar sein, dass die Zahl der möglichen Lösungskonzepte grösser als Π wird.

Zur Synthese der Gesamtfunktion werden solche Lösungsprinzipien der Spalten miteinander kombiniert, die verträglich sind. Die Lösungsprinzipien der Sekundärfunktionen werden, soweit sie nicht bereits als ein Teil der Lösungsprinzipien der betreffenden Primärfunktion ersichtlich sind, aufgesucht und in die Synthese hinein integriert.

3.9 Bilden der Lösungskonzepte mit Hilfe der Anpassungsfunktionen

Zweck dieses Schrittes ist die Schaffung der Verträglichkeit zwischen den Lösungskonzepten und den Grenzen des Systems sowie zwischen den Lösungsprinzipien der minimal notwendigen Teilfunktionen.

Man kann zwischen zwei Arten von funktionellen Unverträglichkeiten unterscheiden: solche, die zwischen den ausgearbeiteten Konzepten mit den Grenzen des zu konzipierenden Systems bestehen und solche, die zwischen den Lösungsprinzipien einer Teilfunktion und denen der vorhergehenden und der nachfolgenden Teilfunktion bestehen. Während die Schaffung der Verträglichkeit mit den Grenzen des zu konzipierenden Systems zwecks Funktionsfähigkeit vorgenommen werden muss, kann die Beseitigung der Unverträglichkeit zwischen den Lösungsprinzipien der Teilfunktionen verschiedene Gründe haben:

– Es kann der Fall eintreten, dass kein Lösungsprinzip einer betrachteten Teilfunktion mit jenen der vorhergehenden und jenen der nachfolgenden Teilfunktion verträglich ist. Das hiesse, es gäbe keine Lösung für die Gesamtfunktion, würde man nicht Verträglichkeiten herbeiführen. Das zeigt deutlich den fragwürdigen Wert der Zahl Π (Gl. 1) eines morphologischen Kastens.

– Besteht der unbedingte Wunsch, vorhandene Patente zu umgehen, so kann man Lösungsvarianten mit Hilfe von Anpassungsfunktionen suchen.

– Werden mehrere Teilfunktionen durch dasselbe Lösungsprinzip (einfaches Konzept) erfüllt, so ist es möglich, dass bei der Gestaltung (z.B. der mechanischen Teile) Probleme auftreten, welche die Realisation der Lösung in Frage stellen.

Man ist in solchen Fällen gezwungen, die Funktion auf mehrere Elemente aufzuteilen.

– Einfache Konzepte können technologische Probleme aufwerfen, deren Lösung einen grossen zeitlichen und finanziellen Aufwand benötigt. Sind wirtschaftlich günstige Elemente auf dem Markt vorhanden, dann werden die komplizierteren Konzepte akzeptabel.

– Passen die einfachen Konzepte nicht in das Fabrikationsprogramm eines Betriebes, so können Umstellungen (z. B. Vorrichtungsbau) notwendig werden, die nicht immer ohne weiteres tragbar sind.

– Es kann zwar Übereinstimmung in der Grössenart der zu verbindenden Lösungsprinzipien bestehen, aber durch die quantitativen Forderungen eine Anpassung nötig werden, weil man von vorhandenen Elementen nicht abgehen will oder kann.

– Es kann der Wunsch bestehen, das Lösungsfeld zu vergrössern, um die Randbereiche zu untersuchen.

Aus welchem Grund auch immer die Verträglichkeit zwischen zwei Lösungsprinzipien erst geschaffen werden muss, handelt es sich um eine Anpassung, die durch bestimmte Lösungsprinzipien vorgenommen wird. Die Funktion dieser Lösungsprinzipien, die je nach der Art der Anpassung verschieden sein wird, ist die *Anpassungsfunktion*. Da in der Entwicklung elektrotechnischer Produkte stets Signal- und Energieflüsse auftreten, sind im Anhang die Anpassungsfunktionen für diese Flüsse angegeben. Das Vorgehen beim Bilden der Konzepte kann in folgenden Schritten zusammengefasst werden:

– Man überprüft, welche Lösungsprinzipien der minimal notwendigen Teilfunktionen untereinander unverträglich sind und stellt die Art der Unverträglichkeit fest. Wenn z.B. die Ausgangsgrösse A_{a1} mit der Eingangsgrösse E_{b2} (Fig. 4) in der Grössenart unverträglich ist, dann muss zwischen den Teilfunktionen a und b eine Teilfunktion «Grössenart wandeln» eingefügt werden.

– Die Anpassungsfunktion wird nicht zwischen a und b in die Kombinationsmatrix eingetragen, da diese Funktion nur zwischen A_{a1} und E_{b2} Gültigkeit hat. Die Lösungsprinzipien dafür werden auf einem Zusatzblatt zusammengestellt und zur Konzeptbildung herangezogen.

Grundsätzlich werden zuerst Konzepte gesucht, die zwischen den minimal notwendigen Teilfunktionen nur einmal eine Anpassungsfunktion benötigen. Bei k Teilfunktionen werden maximal $(k - 1)$ Stellen für die Anpassungsfunktionen in Frage kommen. Über die Anzahl der Lösungskonzepte kann nur im konkreten Fall ausgesagt werden. Sie hängt theoretisch von den Merkmalen der Ausgangsgrössen A_{ai} ($i = 1 \dots \alpha$) und der Eingangsgrössen E_{bj} ($j = 1 \dots \beta$) und praktisch davon ab, welchen Aufwand man zur Anpassung zulässt.

4. Lösungswahl

Vom Einfachen zum Komplizierten fortzuschreiten [16] ist ein Weg, um die Anzahl der zu betrachtenden Lösungen zu reduzieren. Die in dieser Arbeit angegebene Methode selektiert während der Lösungssuche, indem sie nicht nach Totalität der möglichen Lösungen fragt. Werden nun die minimal notwendigen Teilfunktionen nach dem Kriterium des geringsten Aufwandes realisiert, so erhält der Grundgedanke dieser Methode einen wertanalytischen Charakter, wobei die Wertanalyse nicht als Verbesserungs-, sondern als Konstruktionsmethode zum

Tragen kommt. Da bis zu 75% der Kosten eines Produktes in der Entwicklung und Konstruktion festgelegt werden, lohnt es sich in der Produktentwicklung, dem Finden einfacher Konzepte eine angemessene Zeit einzuräumen. Die Bewertung der Varianten kann mit bekannten Methoden, beispielsweise nach *Kesselring* [1] vorgenommen werden.

Anhang: Beispiele von Anpassungsfunktionen und Hilfsmitteln dazu

Anpassungsfunktionen für den Signalfluss

Signal ist eine von einer physikalischen Grösse getragene Zeitfunktion oder Konfiguration, die durch einen ihrer Parameter Informationen überträgt. Im Bereich der Apparatekonstruktion können einem Signal folgende Merkmale zugeordnet werden:

- Signalträgerart: die physikalische Grösse, die das Signal trägt
- Signalbetrag: Zahlenwert des Signalträgers
- Signalleistung: Zahlenwert der das Signal begleitenden Leistung
- Signalform: Zeitfunktion des Signals
- Signalinformationsparameter: eine Kenngrösse der Signalform

Zwei im Signalfluss miteinander zu verknüpfende Grössen können sich in den angegebenen Merkmalen voneinander unterscheiden, so dass $2^5 = 32$ verschiedene Anpassungsfunktionen denkbar sind. Für den Fall, dass diese Grössen sich nur in einem Merkmal unterscheiden, können folgende Anpassungsfunktionen definiert werden:

- Signalträgerart wandeln
- Signalbetrag ändern
- Signalleistung ändern
- Signalform ändern
- Signalinformationsparameter ändern

Anpassungsfunktionen für den Energiefluss

Die Merkmale eines Energieflusses sind in jenen des Signalflusses enthalten, da jeder Signalfluss von einem Energiefluss getragen wird. Somit können folgende Anpassungsfunktionen definiert werden:

- Energie wandeln
- Energiekomponentenbetrag ändern
- Energiekomponentenform ändern

Hilfsmittel

Im folgenden werden Tabellen für die physikalischen Lösungsprinzipien einiger Anpassungsfunktionen angegeben. Solche Zusammenstellungen auf verschiedenen Konkretisierungsebenen für

Energiearten: In dieser Tabelle sind die meisten für den Apparatebau in Frage kommenden Energiearten zusammengestellt

Tabelle I

Nr.	Energieart	Bemerkungen
1	Gravitationsenergie	Massenanziehung, Schwerkraft, im besonderen: Lageenergie $W_G = mgh$
2	Kinetische Energie	Energie der Bewegung (translatorisch, rotatorisch): $W_k = \frac{1}{2} mv^2$
3	Elastische Energie	Energie der Lage infolge elastischer Verformung, bei linearer Kraft-Weg-Kennlinie: $W_{elast} = \frac{1}{2} cs^2$
4	Druckenergie (pV)	Von den Gasmolekülen ausgeübter Druck auf die Wand eines Gefässes: $W_D = pV$
5	Magnetische Energie	Energie der Lage infolge des magnetischen Feldes: $W_m = \frac{1}{2} BH$
6	Elektrostatische Energie	Energie der Lage infolge des elektrostatischen Feldes: $W_{el. st} = \frac{1}{2} ED$
7	Elektrische Strömungsenergie, elektrodyn. Energie	Im elektrischen Strömungsfeld transportierte Energie: $W_{el} = UI t$
8	Thermische Energie	Energieinhalt eines abgeschlossenen Systems, der ihm als Folge der Wärmebewegung seiner Bestandteile zukommt: $W_{th} = cm\Delta T$
9	Chemische Energie	Energie der chemischen Bindungen (Bindungsenergie)
10	Licht-/Strahlungsenergie	die in Form von Strahlung ausgesandte, übertragene oder aufgefangene Energie

Signalträgerartwandlung ohne Wandlung der Energieart

a) *Verknüpfende Effekte einiger mechanischer Grössenarten:*

Tabelle II

Eingang	Ausgang	1 Kraft, Druck	2 Weg	3 Geschwindigkeit	4 Beschleunigung
1 Kraft, Druck			- Hooke-Gesetz - Coulomb-Gesetz - magnetische Anziehung usw.	- Bernoulli-Gleichung - Impulssatz	- Newton-Gesetz
2 Weg		- Hooke-Gesetz - Coulomb-Gesetz - magnetische Anziehung usw.		- Bewegungsgesetz	- Bewegungsgesetz
3 Geschwindigkeit		- Bernoulli-Gleichung - Impulssatz			- Ladung im magnetischen Feld - Coriolis-Beschleunigung
4 Beschleunigung		- Newton-Gesetz			

b) *Verknüpfende Effekte einiger elektrischer Grössen*

Eingang	Ausgang	1 Spannung	2 Strom	3 Ohmscher Widerstand	4 Kapazität
1 Spannung			- Ohmsches Gesetz	- Varistor - Feldeffekttransistor usw.	- Kapazitätsdiode - Ferroelektrika usw.
2 Strom		- Ohmsches Gesetz		- Tunneleffekt	

Ausgang Eingang	1 Gravitationsenergie	2 Kinetische Energie	3 Elastische Energie	4 Druckenergie (pV)	5 Magnetische Energie	6 Elektrostat. Energie	7 Elektr. Strömungsenergie (elektrodynamisch)	8 Thermische Energie	9 Chemische Energie	10 Licht-/Strahlungsenergie
1 Gravitationsenergie		- Fall	- Elastische Verformung durch Gewicht	- Kompression durch Gewicht	- Ankerbewegung im magnetischen Feld durch Gewicht - Piezomagnet. Effekt durch Gewicht	- Ladungsbewegung im el.st. Feld durch Gewicht - Piezoelekt. Effekt durch Gewicht	- Piezokalorischer Effekt durch Gewicht			
2 Kinetische Energie	- Wurf		- Elastische Verformung durch Bremsen einer beschleunigten Masse	- Kompression	- Bremsen eines beschleunigten Ankers durch magnet. Kraft - Piezomagnet. Effekt durch Bremsen - Barnett-Effekt	- Bremsen einer beschleunigten Ladung durch el.st. Kraft - Piezoelekt. Effekt durch Bremsen - Ladungstrennung durch Reibung	- Effekt der Bewegungsinduktion - elektrokinetischer Effekt	- Reibungsbremse	- Tribochemische Reaktionen	- Tribolumineszenz
3 Elastische Energie	- Massebewegung im Gravitationsfeld durch elastische Entspannung (quasi statisch)	- Massebeschleunigung durch elastische Entspannung		- Kompression durch elastische Entspannung	- Ankerbewegung im magnet. Feld durch elast. Entspannung - Piezomagnet. Effekt durch elastische Entspannung	- Ladungsbewegung im el.st. Feld durch elast. Entspannung - Piezoelekt. Effekt durch elastische Entspannung		- Reibwärme bei elast. Entspannung - Piezokalorischer Effekt durch elastische Entspannung		
4 Druckenergie (pV)	- Massebewegung im Gravitationsfeld durch Ausdehnung eines Gases (quasi statisch)	- Massebeschleunigung durch Ausdehnung eines Gases	- Elastische Verformung durch Ausdehnung eines Gases		- Ankerbewegung im magnet. Feld durch Ausdehnung eines Gases - Piezomagnet. Effekt durch Ausdehnung eines Gases	- Ladungsbewegung im el.st. Feld durch Ausdehnung eines Gases - Piezoelekt. Effekt durch Ausdehnung eines Gases		- Kompressionswärme - Piezokalorischer Effekt durch Ausdehnung eines Gases		
5 Magnetische Energie	- Massebewegung im Gravitationsfeld durch magn. Feld	- Massebeschleunigung durch magnetische Kraft - Einstein-DeHaas-Effekt	- Elastische Verformung durch magnetische Kraft - Magnetostraktionseffekt	- Kompression durch magnetische Kraft		- Ladungsbewegung im el.st. Feld durch magnet. Kraft - inverser magnetoel. Effekt	- Effekt der transformatorischen Induktion - Matteucci-Effekt	- magnetokalorischer Effekt		

6	Elektro- statische Energie	- Massebewe- gung durch el'st. Kraft	- Massebeschleu- nigung durch el'st. Kraft	- Elastische Ver- formung durch el'st. Kraft - Elektrostri- ktionseffekt - inverser piezo- elektr. Effekt	- Kompression durch el'st. Kraft	- Ankerbewe- gung im ma- gnet. Feld durch el'st. Kraft - direkter ma- gnetoelekt. Effekt	- Aufladen eines Kondensators	- Entladen eines Kondensators	- elektro- kalorischer Effekt	- Faraday- Gesetze (Elektrolyse, Akku)	- Elektro- lumines- zenz
7	Elektrische Strömungs- energie (elektro- dynamisch)	- Massebewe- gung durch Lorentzkraft ($F = IIB$)	- Massebeschleu- nigung durch Lorentzkraft ($F = IIB$) - Wirbelstrom- Effekt	- Elastische Ver- formung durch Lorentzkraft ($F = IIB$)	- Kompression durch Lorentz- kraft ($F = IIB$)	- Durchflutungs- satz	- Aufladen eines Kondensators	- Faraday- Gesetze (Elektrolyse, Akku)	- Peltiereffekt - Joulesche Wärme - Thomson- Effekt	- Laser	- Elektro- lumines- zenz
8	Thermische Energie			- Elastische Ver- formung durch die Wärme (Wärmedeh- nung)	- Druckerhö- hung durch Wärmezufuhr	- pyromagnet. Effekt	- pyroelektri- scher Effekt	- Seebeck-Effekt - Bendedick- Effekt	- endotherme chemische Reaktionen	- Tempera- turstrahler	- Elektro- lumines- zenz
9	Chemische Energie	- Massebewe- gung durch osmotischen Druck	- Massebeschl. durch osmo- tischen Druck	- Elast. Verfor- mung durch osmot. Druck	- Kompression durch osmo- tischen Druck			- galvanische Elemente - Akku	- exotherme chemische Reaktionen	- Chemo- lumines- zenz	- Elektro- lumines- zenz
10	Lichtenergie	- Massebewe- gung durch Strahlungs- druck	- Massebeschl. durch Strah- lungsdruck	- Elast. Verfor- mung durch Strahlungs- druck	- Kompression durch Strah- lungsdruck			- innerer Photo- effekt (Photoelement)	- Strahlungs- wärme	- Photosynthese - Photodissozia- tion	- Elektro- lumines- zenz

die häufig im eigenen Arbeitsgebiet vorkommenden Teilfunktionen sind für die systematische Lösungssuche von grundlegender Bedeutung. Ihre ständige Ergänzung und Verbesserung machen sie zu unentbehrlichen Informationsquellen in der Produktentwicklung.

Zu Tabelle I: Alle Komponenten einer Energieart können grundsätzlich als Signalträger in Frage kommen. Es wird daher von einer Zusammenstellung der Energiearten ausgegangen. Zu den Tabellen II, III, IV: Für die Signalträgerartwandlung in Frage kommende Möglichkeiten sind in Fig. 5 angegeben.

Signalträgerartwandlung durch Energiesteuerung

Wenn bei der Steuerung auch die Hilfsenergieart gewandelt wird, dann ist die ursprüngliche Art der Hilfsenergie (HE) in einer Klammer neben dem physikalischen Effekt angegeben. Sonst ist die Hilfsenergieart dieselbe wie die Ausgangsenergieart.

Tabelle IV

Eingang	Ausgang	1 Mechanische Energie	2 Magnetische Energie	3 Elektrische Energie	4 Thermische Energie	5 Licht/Strahlungsenergie
1 Mechanische Energie		- Mechanische Leistungsverstärker (Reibungskupplungen)		- Beeinflussung der Geometrie von R (Potentiometer) - Beeinflussung von Halbleiterwiderstand durch Kraft - Beeinflussung der Geometrie von C und L - piezoresistiver Effekt		
2 Magnetische Energie		- Lorentzkraft (elektrische HE)		- Halleffekt - Beeinflussung von R durch Magnetfeld (Feldplatte, Magnistor, Magnetdiode) - Transduktoreffekt - $\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$ (mech. HE) - Nernsteffekt (therm. HE)	- Ettinghausen-Effekt (elektr. HE) - Righi-Leduc-Effekt	- Faraday-Effekt - Zeemann-Effekt - Cotten-Mouton-Effekt - Magnetooptischer Kerreffekt
3 Elektrische Energie				- elektronische Verstärker (Steuerung in Gasen und Halbleitern)		- Elektrooptischer Kerreffekt - Starkeffekt
4 Thermische Energie				- Thermistoren		
5 Licht/Strahlungsenergie				- innerer Fotoeffekt (Fotowiderstand, Fototransistor, Fotodiode, Fotoelektronenvervielfacher)		

Signalbetragsänderung

a) **Mechanische Energie**

Tabelle V

Ausgang Eingang	Kraft	Ausgang Eingang	Weg
Kraft	Hebeleffekt Reibung	Weg	Hebeleffekt Keileffekt Querkontraktion Schubverformung

b) **Alle anderen Energiearten**

Für alle anderen Energiearten ist kein direkter Effekt bekannt, der wie der Hebeleffekt eine Betragsänderung ermöglicht. Durch indirekte Effekte ist es aber möglich, solche Betragsänderungen vorzunehmen:

- z.B. Transformatoreffekt (elektrisch → magnetisch → elektrisch)
- Thermokreuzeffekt (elektrisch → thermisch → elektrisch)

Energiespeicherung

Tabelle VI

Nr.	Energieart	Energiespeicher	Art der Speicherung
1	Gravitationsenergie	Gewicht × Höhe	Statisch
2	Kinetische Energie	Bewegte Masse (Schwungmasse, Kreisel)	Dynamisch-monoenergetisch
3	Elastische Energie	Feder	Statisch
4	Druckenergie (pV)	Kessel	Statisch
5	Magnetische Energie	Luftspalt (Induktivität)	Statisch oder dynamisch-monoenergetisch
6	Elektrostatische Energie	Kondensator (Kapazität)	Statisch
7	Thermische Energie	Wärmekapazität	Statisch
8	Chemische Energie	Batterie, Akkumulator	Statisch

Einige dynamisch-oszillatorische Speicher:

- Gravitation-kinetisch: Pendel
- Magnetisch-elastisch: Schwingende Feder im magnetischen Wechselfeld
- Elektrisch-magnetisch: Elektrischer Schwingkreis
- Elektrisch-elastisch: Drahtspeicher

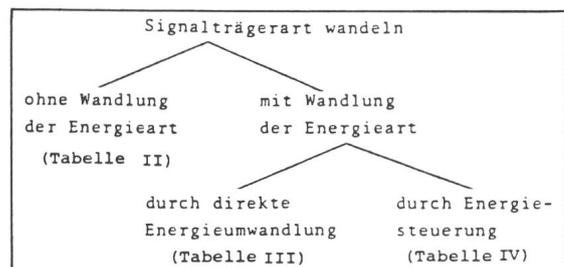


Fig. 5 Möglichkeiten der Signalträgerartwandlung

Literatur

- [1] *F. Kesselring*: Technische Kompositionslehre. Anleitung zu technisch-wirtschaftlichem und verantwortungsbewusstem Schaffen. Berlin/Göttingen/Heidelberg, Springer-Verlag, 1954.
- [2] *W. Rieder*: Verfahren der Leistungsunterbrechung in Hochspannungsnetzen. *Scient. Electr.* 14(1968)1, S. 1...19.
- [3] *W. Schaufelberger*: Das Problemlöseverhalten bei technischen Problemen. *Electronic Contact* -(1978)4, S. 4...7, Nr. 5/6, S. 13...14, -(1979)7, S. 10, und Nr. 8/9, S. 13...14.
- [4] *G.S. Moschytz*: Die morphologische Methode in der Elektrotechnik mit Beispielen aus der Theorie der aktiven Netzwerke. *Bull. SEV* 68(1977)6, S. 275 bis 280, und Nr. 8, S. 401...406.
- [5] *H. Kern*: Zur Methodik in der Gestaltung technischer Erzeugnisse. *Neue Zürcher Zeitung* -(1968)623 vom 9. Oktober, S. 15...16.
- [6] *F. Zwicky*: Morphologische Forschung. Wesen und Wandlung materieller und geistiger struktureller Zusammenhänge. Winterthur, Kommissionsverlag Buchdruckerei Winterthur, 1959.
- [7] *H. Holliger*: Handbuch der Morphologie. Elementare Prinzipien und Methoden zur Lösung kreativer Probleme. 2. Auflage. Zürich, Morphologisches Institut (MIZ), 1974.
- [8] *W.F. Daenzer*: System engineering. Leitfaden zur methodischen Durchführung umfangreicher Planungsvorhaben. Aus dem Betriebswissenschaftlichen Institut der ETH Zürich. Köln, Peter-Hanstein-Verlag/Zürich, Verlag Industrielle Organisation, 1977.
- [9] *Konstruktionsmethodik*. Konzipieren technischer Produkte. VDI-Richtlinie 2222, Blatt 1. Düsseldorf, VDI-Verlag, 1977.
- [10] *G. Pahl und W. Beitz*: Konstruktionslehre. Handbuch für Studium und Praxis. Berlin u.a., Springer-Verlag, 1977.
- [11] *V. Hubka*: Allgemeines Vorgehensmodell des Konstruierens. Konstruktionsmethodik. Schriftenreihe WDK 1. Goldach, Fachpresse, 1980.
- [12] *E.V. Krick*: An introduction to engineering and engineering design. Second edition. New York, John Wiley, 1969.
- [13] *F. Hansen*: Konstruktionssystematik. Grundlagen für eine allgemeine Konstruktionslehre, 2. Auflage. Berlin, VEB Verlag Technik, 1966.
- [14] *K. Roth, H.-J. Franke und R. Simonek*: Aufbau und Verwendung von Katalogen für das methodische Konstruieren. *Konstruktion* 24(1972)11, S. 449 bis 458.
- [15] *R. Koller*: Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau. Berlin u.a., Springer-Verlag, 1976.
- [16] *W.G. Rodenacher*: Methodisches Konstruieren. 2. Auflage. Berlin u.a., Springer-Verlag, 1976.

Adresse des Autors

Dr. M. Tayefeh-Emanverdi, Apparatebau der Elektrotechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

Herrn H. Wüger zum 80. Geburtstag

In Kilchberg (ZH) konnte am 24. Juni 1981 H. Wüger, ehemals technischer Direktor der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, seinen 80. Geburtstag feiern. Der Jubilar ist dem SEV 1924 beigetreten und hat seither während vieler Jahre aktiv am Vereinsgeschehen teilgenommen. Von 1937 bis 1972 war er Mitglied verschiedener Normenkommissionen, daneben lange Zeit Mitglied des Nationalkomitees der CIGRE sowie der Kommission für die Denzler-Stiftung. Er ist aber auch Autor verschiedener im Bulletin SEV erschienenen Aufsätze. Den jüngeren Mitgliedern des SEV dürfte er jedoch vor allem durch seine zahlreichen, regelmässigen Beiträge über «Pioniere der Elektrotechnik» bekannt sein. Viele Leser schätzen diese in unverkennbarem Stil trüf formulierten Kurzbiografien sehr. H. Wüger berichtet darin nicht nur von nüchternen Jahreszahlen und fachlichen Erfolgen und Misserfolgen der Wissenschaftler, er sucht und stellt auch immer den Menschen, seine Familie und seinen Lebensraum dar, nicht ohne da und dort ein amüsanter Detail einzustreuen.

Die Redaktion wünscht Ihnen, lieber Herr Wüger, alles Gute zum 80. Geburtstag. Mögen Sie Ihrer Liebhaberei, den Pionieren, in guter Gesundheit noch manche angenehme Stunde widmen können. Wir hoffen, Ihnen mit der nachfolgenden Zusammenstellung aller bisher erschienenen «Pioniere» eine Freude zu bereiten und gleichzeitig manchem Leser einen Wunsch zu erfüllen.

Di, Eb

- Abbe, Ernst, 56(1965)4, S. 138
Aichele, Albert, 64(1973)14, S. 859
Alexanderson, Ernst Frederik Werner, 69(1978)18, S. 994
Alioth, Rudolf, 58(1967)11, S. 497
Ampère, André Marie, 52(1961)13, S. 489
Angström, Anders-Jonas, 66(1975)8, S. 422
Anschütz-Kämpfe, Hermann Hubert Josef, 63(1972)17, S. 989
Arago, Dominique François Jean, 69(1978)15, S. 841
Archimedes, 54(1963)4, S. 145
von Arco, Wilhelm Alexander, 56(1965)24, S. 1088
Arnold, Engelbert, 72(1981)5, S. 218
Aron, Hermann, 61(1970)22, S. 1053
d'Arsonval, Jacques Arsène, 56(1965)16, S. 669
Auer, Freiherr Carl von Welsbach, 70(1979)6, S. 290
- Baird, John Logie, 62(1971)24, S. 1173
Baudot, Jean Maurice Emile, 62(1971)11, S. 546
Bequerel, Antoine Henri, 68(1977)23, S. 1264
Behn-Eschenburg, Hans, 54(1963)26, S. 1120
Bell, Alexander Graham, 63(1972)13, S. 694
Bergmann, Sigmund, 67(1976)23, S. 1292
Bernoulli, Daniel, 67(1976)6, S. 295
Bernoulli, Jacob (I), 70(1979)3, S. 141
Bernoulli, Johannes I, 65(1974)1, S. 24
Bernoulli, Johannes II und Jakob II, 56(1965)13, S. 519
von Berzelius, Freiherr Jöns Jakob, 70(1979)12, S. 621
Bessemer, Henry, 54(1963)16, S. 632
Biot, Jean Baptiste, 54(1963)1, S. 20
Blumer, Samuel, 72(1981)7, S. 350
Booth, Hubert Cecil, 63(1972)18, S. 1032
Borel, François, 66(1975)12, S. 631
von Borries, Bodo Julius Heinrich, 71(1980)9, S. 471
Boveri, Walter, 56(1965)7, S. 245
Boyle, Robert, 58(1967)6, 263
- Boys, Sir Charles Vernon, 71(1980)18, S. 1014
Branly, Edouard, 56(1965)14, S. 567
Braun, Carl Ferdinand, 66(1975)20, S. 1122
Brown, Charles Eugen Lancelot, 54(1963)9, S. 339
Bunsen, Wilhelm Robert, 65(1974)20, S. 1477
Burdin, Claude, 67(1976)2, S. 64
Bürgi, Jost 68(1977)14, S. 695
Bürging, Emil, 64(1973)8, S. 481
- Celsius, Anders, 67(1976)24, S. 1322
Chappe, Abbé Claude, 55(1964)5, S. 222
Clausius, Rudolf Emanuel, 54(1963)11, S. 415
de Coulomb, Ch. A., 52(1961)26, S. 1055
Crompton, Rookes Evelyn Bell, 64(1973)20, S. 1247
Curie-Sklodowska, Marie, 62(1971)26, S. 1258
Curie, Pierre, 72(1981)4, S. 198
- Davenport, Thomas, 68(1977)2, S. 84
Davy, Sir Humphrey, 69(1978)24, S. 1325
De la Rive, Arthur Auguste, 71(1980)24, S. 1363
Deprez, Marcel, 63(1972)10, S. 517
Déri, Max, 55(1964)3, S. 112
Descartes, René, 63(1972)9, S. 467
Dewar, James, 65(1974)3, S. 157
Dick, Karl Emil, 57(1966)16, S. 709
Diesel, Rudolf, 54(1963)20, S. 838
von Dolivo-Dobrowsky, Michael, 53(1962)5, S. 205
Doppler, Christian Johann, 69(1978)9, S. 464
Du Bois-Reymond, Emil Heinrich, 62(1971)12, S. 588
Duchenne (Duchenne de Boulogne), Guillaume Benjamin Armand, 68(1977)13, S. 664
Du Fay de Cisternay, Charles François, 55(1964)22, S. 1133
Dulong, Pierre Louis, 55(1964)8, S. 368
- Edison, Thomas Alva, 63(1972)12, S. 661
Elster, Julius Joh. Ph. L., 71(1980)11, S. 562
Einstein, Albert, 70(1979)4, S. 196
Einthoven, Willem, 69(1978)2, S. 56
- Faraday, Michael, 57(1966)20, S. 930
Fechner, Gustav Theodor, 68(1977)22, S. 1166
Feller, Adolf, 70(1979)23, S. 1255
Fermi, Enrico, 68(1977)3, S. 151
de Ferranti, Sebastian Ziani, 71(1980)3, S. 121
Ferraris, Galileo, 64(1973)11, S. 707
Fessenden, Reginald Aubrey, 63(1972)8, S. 391
Fink, Carl Ludwig, 68(1977)1, S. 31
Finsen, Niels Ryberg, 70(1979)18, S. 1023
Fischer-Hinnen, Jacques, 64(1973)3, S. 136
Fleming, John Ambrose, 61(1970)21, S. 1026
Forbes, George, 66(1975)22, S. 1241
de Forest, Lee, 64(1973)21, S. 1383
Foucault, Jean Bernard Léon, 69(1978)20, S. 1102
de Fourcroy, Graf Antoine François, 71(1980)2, S. 92
de Fourier, Baron Jean Baptiste Joseph, 72(1981)10, S. 521
Fourneyron, Benoit, 68(1977)19, S. 1015
Francis, James Bicheno, 57(1966)9, S. 421
Franklin, Benjamin, 57(1966)1, S. 28
Fraunhofer, Joseph, 68(1977)5, S. 245
Fresnel, Augustin Jean, 54(1963)24, S. 1022
Froment, Paul Gustave, 57(1966)4, S. 156
- Galilei, Galileo, 55(1964)15, S. 766
Galvani, Luigi Aloysius, 52(1961)12, S. 452
Gaulard, Lucien, 55(1964)2, S. 61
Gauss, Carl Friedrich, 68(1977)16, S. 862
Geissler, Heinrich, 63(1972)4, S. 197
Geiger, Hans Wilhelm, 61(1970)25, S. 1190
Geitel, Hans Friedrich, 71(1980)11, S. 562
Gilbert, William, 69(1978)16, S. 866
Giorgi, Giovanni, 63(1972)7, S. 348
Goebel, Johann Heinrich Christoph Conrad, 70(1979)24, S. 1318
Gramme, Zénobe Théophile, 68(1977)12, S. 584
Gray, Stephan, 61(1970)18, S. 833
Greinacher, Heinrich, 71(1980)10, S. 537
von Guericke, Otto, 52(1961)11, S. 419