

KLAUS-DIETER FEIGE

**Mathematische Modellierung und Problemanalyse  
im Wissenschaftlichen Gerätebau**

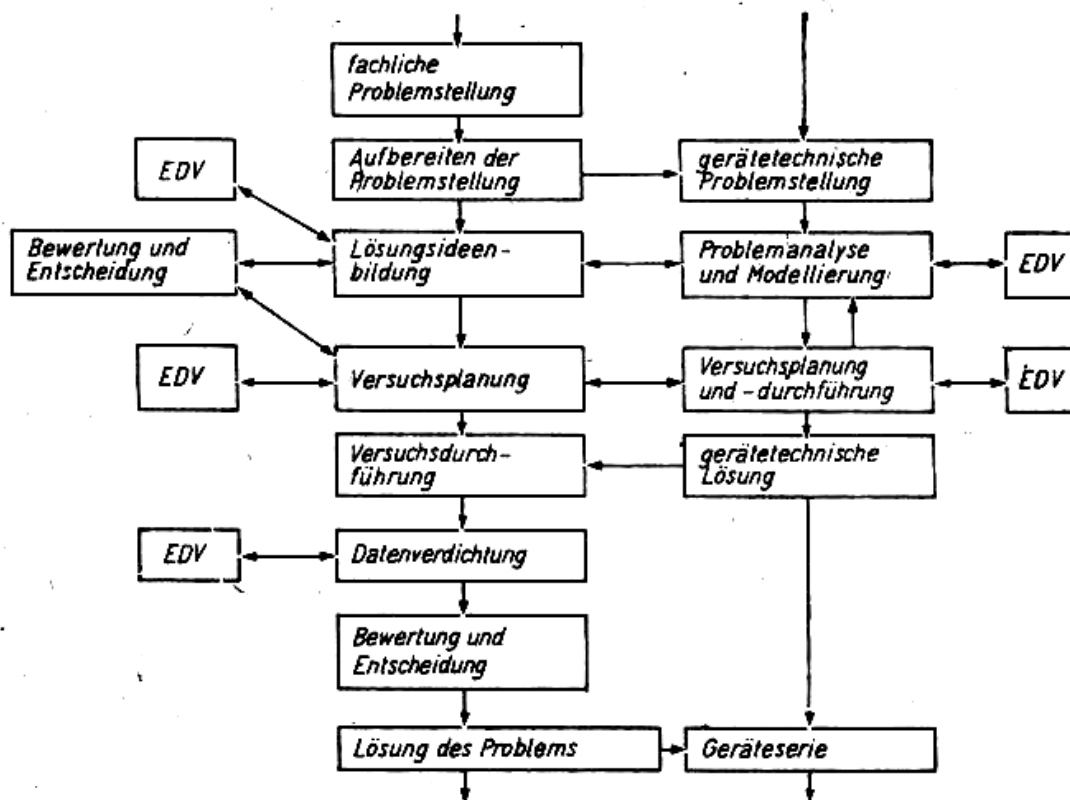
Gegenwärtig gibt es wohl in kaum einer Fachdisziplin Forschungsleistungen, in deren Lösungsphase auf den Einsatz moderner Rechentechnik verzichtet wird. In vielen Fällen können Entwicklungen im wissenschaftlichen Gerätebau jedoch erst dann beginnen, wenn schon die Fachdisziplin über bestimmte Forschungsergebnisse verfügt. Allein daraus folgt oft eine permanente "Zeitnot" für den wissenschaftlichen Gerätebau. Andererseits zeigen sich aber auch in der Planungsphase von Forschungsleistungen einer Fachdisziplin vielfach hinreichende Ausgangspunkte für das zu entwickelnde Gerät, daß zumindest die meist zeitaufwendige Etappe der Problemanalyse und mögliche Grundlagenforschungen vorgezogen werden können.

So werden auch in Zukunft die Forschung in einer Fachdisziplin und die gerätetechnische Entwicklung parallel ablaufen, der Grad der Wechselbeziehungen ist aber über den heutigen Stand hinaus wesentlich zu intensivieren, über die günstigen Beziehungen und Arbeitstechniken der Mitarbeiter innerhalb eines interdisziplinären Kollektivs liegt inzwischen eine Reihe von Ergebnissen vor (BUSCH, 1984; WITTICH, 1981).

Das effektive Zusammenwirken mehrerer interdisziplinärer Forscherkollektive wirft jedoch noch eine Reihe von Fragen auf. Der Einsatz der EDV im Forschungsablauf hat insbesondere in der Etappe der Datenverdichtung oder -auswertung die längste Tradition (Abb. 1). Die Datenmengen nehmen auf Grund der verbesserten Datenerfassungsmöglichkeiten und auch der gestiegenen Genauigkeitsanforderungen aber noch zu. Die Komplexität der Aufgabenstellungen verlangt in immer mehr Etappen (wie Versuchsplan oder sogar Lösungsgenerierung) den Einsatz des Computers. Die Rechnernutzung konzentriert sich im wissenschaftlichen Gerätebau gegenwärtig neben den "klassischen" Gebieten auf den Ausbau der "rechnergestützten Konstruktion" und auf den Abschnitt "Modellierung".

Hinter dem Begriff "Problemanalyse" versteckt sich in diesem Sinne eine breite Palette von Arbeitstechniken mit jeweils unterschiedlichen Ausgangspunkten für die rechnergestützte Arbeit. Bei vielen Methoden der Lösungsentwicklung hat sich gezeigt, daß diese wegen ihres hohen Anteils geistiger Routine-Operationen abgelehnt werden. Wer möchte schon stundenlang tabellierende Fleißarbeit ausführen?

Entsprechende Bemühungen zur rechnergestützten Forschung (CAR) im Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf-Rostock konzentrieren sich zunächst auf bereits theoretisch ausgearbeitete anwendungsfähige Verfahren.



**Abb. 1:** Schema der parallelen F/E-Prozesse in der Fachdisziplin und im Gerätebau

- **Statistische Versuchsplanung**

Der Umgang mit der "Verfahrensbibliothek Versuchsplanung und -auswertung" (RASCH u. a., 1978) enthält selbst für erfahrene Statistiker einen erheblichen Anteil von Berechnungen für eine genaue Versuchsplanung. Sowohl die Auswahl entsprechender Verfahren als auch die notwendigen iterativen Algorithmen werden im Expertensystem "CADEMO" dargestellt. Eine Kleincomputerversion "MINI CAD" ist in mehreren Modulen bereits heute verfügbar.

- **Zusammenhangsanalyse (Regressionsanalyse)**

Trotz der Kenntnis über die Wirkungsweise einer Menge physikalischer Effekte entstehen im F/E-Prozeß immer wieder Lösungen, deren Eingänge - Zielgrößen - Beziehungen gewissen, nicht bestimmbar streuungen unterliegen. Vielfach besitzt der Entwicklungsingenieur zunächst Verdachtsmomente auf potentielle Störfaktoren, ohne daß ihm deren Einflußmechanismus bekannt ist. Die sichere Auswahl der wesentlichen Störfaktoren aus der Anzahl verschiedener Merkmale ist rechenaufwendig.

Entsprechende Verfahren, die ein Maximalmodell auf die statistisch sicherbaren Einflußgrößen reduzieren, sind bereits mehrfach in EDV-Programme umgesetzt worden. Die reduzierten Modelle ermöglichen eine gezielte Kompensation der Ergebnisgenauigkeiten. Selten sind die betrachteten Zusammenhänge jedoch rein linear oder entsprechen höhergradigen Polynomen. Eigentlich nichtlineare Modelle besitzen darüber hinaus den Vorteil direkt interpretierbarer Parameter.

Die allgemeine Behandlung derartiger Modelle ist noch rechenintensiver und kann oft nur iterativ durchgeführt werden (PAUL, 1975). Um die Vorteile interaktiver Dialoge Mensch - Rechner nutzen zu können, wurde im Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf-Rostock für die Rechner KC 85/2, KC 85/1 und den Büro- bzw. Personalcomputer das Programm TREND entwickelt (Tab. 1).

Tabelle 1: Überblick der Ein- und Ausgabeparameter des Programms TREND

Eingang:

- Modellwahl/Nutzermodell
- Anfangslösung
- Parametergenauigkeit
- Datenumfang
- Dateneingabeform
- [Grafiksteuerung (Punktwolke, Zeichnungsintervalle)]
- Schrittzahl für Iterationen

Ausgang:

- [Grafik], aktueller Iterationsstand
- Modellparameter, erreichte Genauigkeit
- Reststreuung, Bestimmtheitsmaß
- Wertetabelle, extreme Abweichungen

Für die Präzisierung verschiedener Aufgabenstellungen benötigt der Forscher vielfach Prognosen aus Trendanalysen. Auch in derartigen Fällen ist TREND einsetzbar.

Der typische, sigmoidförmige Verlauf der Leistungsentwicklung einzelner Systemparameter als Funktion über die Zeit konnte anhand derartiger Entwicklungen aufgedeckt werden (Abb. 2). Bei Kenntnis der Modellparameter läßt sich z. B. der günstigste Zeitpunkt dafür feststellen, von dem ab weitere, jetzt unrentable Forschungen zur Verbesserung des Lösungszweiges entfallen können.

Problematisch, weil von weiteren Faktoren überlagert, ist die Berechnung der Hüllkurven über mehrere Entwicklungszweige hinsichtlich einer bestimmten Zielfunktion.

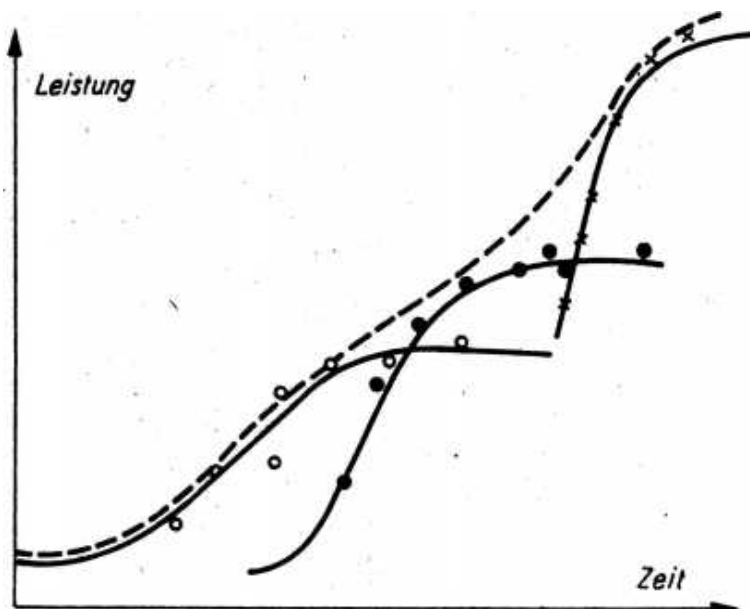


Abb. 2: Entwicklungsprinzip eines Leistungsparameters der Entwicklungsfolge von technischen Lösungen

Das Programm TREND enthält 19 feste Modellansätze, läßt aber auch spezielle Nutzermodelle zu (Tab. 2).

Die KC 85/2-Version des Programms TREND läßt bei entsprechender Steuerung die grafische Kontrolle des Iterationsprozesses zu (Abb. 3). Hat man für konkrete Datensätze die Modellparameter quantifiziert, lassen sich mit dem Programm TREND-SICHT weitere Eigenschaften des Kurvenverlaufes analysieren.

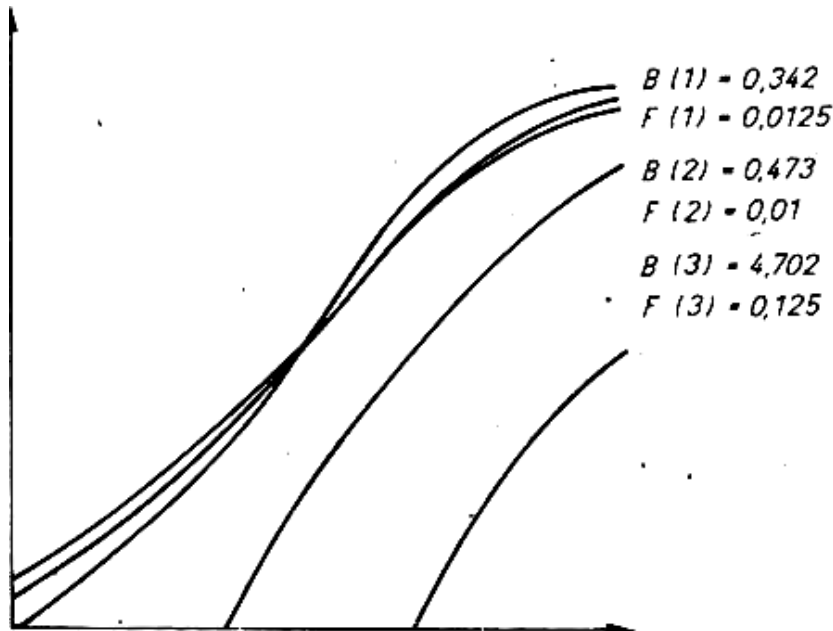


Abb. 3: Grafik-Zwischenbild aus TREND

Tabelle 2: Fixe Modellpalette der Programme TREND und TREND-SICHT

$$y = b_1 + b_2x + b_3x^2 + b_4x^3$$

$$y = (b_1) + b_2e^{-b_3x} - b_4x$$

$$y = b_1 (1 - b_2e^{-b_3x}) b_4$$

$$y = (b_1) + b_2e^{-b_3x} - b_4$$

$$y = b_1 (1 - b_2e^{-b_3x} b_4) b_5$$

$$y = (b_1) + b_2e^{b_3} (1 - e^{(-b_4x b_5)})$$

$$y = b_1 (1 - e^{-b_2x} (1 - e^{-b_3x})) b_4$$

$$y = (b_1) + (b_2e^{-b_3x}) + b_4e^{-b_5x}$$

$$y = b_1 - b_2 (1 - \tanh (b_3 (x - b_4)))$$

$$y = b_1 - b_2 \left(1 - \frac{\pi}{2} \arctan (b_3 (x - b_4))\right)$$

$$y = b_1 - b_2 \left(2 - \frac{4}{\pi} \arctan (e^{b_3 (x - b_4)})\right)$$

$$y = (b_1) + \frac{b_2}{1 + b_3e^{b_4x}}$$

$$y = b_1 + b_2x b_3 e^{-b_4x}$$

Aus der universellen Einsetzbarkeit beider Programme resultiert eine hohe Nachnutzungsfrequenz. Die menügesteuerte Arbeit garantiert auch "EDV-naiven" Nutzern einen schnellen Zugang.

### • Wirkprinzipkettenbildung

Guten Ingenieuren fallen bei übertragenen Meß- und Transformationsproblemen 5, 10 oder sogar 20 Lösungsansätze ein.

Es erhebt sich danach aber sofort die Frage, ob unter diesen Lösungsansätzen tatsächlich der beste zu finden ist. Das Auffinden aller möglichen Lösungsvarianten auf der Basis eines Speichers physikalischer Effekte "per Hand" und die nachfolgende Bewertung und Auswahl der besten Lösung sind vielfach aber zu zeit- und papieraufwendig.

Eine entsprechende rechnergestützte Variante der Bildung physikalischer-Wirkprinzipketten auf der Basis eines Speichers von etwa 100 Effekten und 39 physikalischen Größen ist mit dem Programm KETT verfügbar (Tab. 3). Das Programm arbeitet selbsterklärend und in dialogorientierter Technik (Tab. 4).

Die Anzahl der entstehenden Lösungsansätze ist selbst bei kleinen Kettenlängen oft überraschend groß. Das Programm KETT wird fortlaufend weiterentwickelt, um den Service (wie Druck, Simulation der Transformationsketten) zu erhöhen.

Tabelle 3: Liste der physikalischen Parameter im Programm KETT (Stand 30. 4. 87)

Stromstärke (elektr.)	Zeit
Ladung (elektr.)	Periodendauer
Spannung (elektr.)	Frequenz
Feldstärke (elektr.)	Geschwindigkeit
Kapazität (elektr.)	Beschleunigung
Widerstand (elektr.)	Winkelgeschwindigkeit
Verschiebungsfluß (elektr.)	Winkelbeschleunigung
Leitungsstromdichte (elektr.)	Masse
Polarisation (elektr.)	Kraft
Magnetischer Fluß	Druck- bzw. Zugspannung (mech.)
Flußdichte (magn.)	Reibungskraft
Feldstärke (magn.)	Drehmoment
Induktivität (magn.)	Druck
Polarisation (magn.)	Druckdifferenz
Länge	Leistung
Längendifferenz	Energie, Arbeit
Dehnung	Impuls
Fläche	Masseträgheitsmoment
Flächendifferenz	Temperatur
Volumen	Temperaturdifferenz
Volumendifferenz	Wärmemenge
ebener Winkel	Wärmekapazität
Radius	

Tabelle 4: Ein- und Ausgabeparameterliste des Programms KETT

Eingabe:

- Anzahl der Verknüpfungen (min., max., Informationen)
- "Knoten" zugelassen (J/N und Informationen)
- Druckbildsteuerparameter
- Start- und Zielgrößenzahl
- Anzahl der Ketten (J/N)
- Drucksteuerung

Ausgabe:

- Liste der physikalischen Parameter
- Anzahl möglicher Ketten
- Ketten (Parameter und Verbindungseffekt)
- Simulationstabelle

#### • **Ausblick**

Ähnliche rechnergestützte Projekte der dialogorientierten Lösungsfindung werden auch in Zukunft im wissenschaftlichen Gerätebau benötigt.

Erfahrungen aus Erfinderschulen der Kammer der Technik oder Kreativitätskursen am Bauhaus in Dessau belegen, daß weitere Brainstorming-Methoden von Entwicklungsingenieuren immer dann angenommen werden, wenn der Aufwand an geistigen Routineoperationen minimiert ist.

Das Ziel der rechnergestützten Arbeit im Wissenschaftlichen Gerätebau darf daher nicht allein die unmittelbare CAD-Ebene (wie Konstruktion oder Leiterplattenentwurf) sein. Es muß auch die vorhergehenden, höheren Abstraktionsebenen der Lösungsfindung mit einschließen.

In dieser Richtung werden die Untersuchungen im Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf-Rostock fortgesetzt.

## **Zusammenfassung**

Es wird die Notwendigkeit der Nutzung rechnergestützter Arbeitsmethoden vor allem zur Zusammenhangsanalyse und Wirkprinzipkettenbildung im wissenschaftlichen Gerätebau begründet. Entsprechende Programmsysteme TREND und KETT werden erläutert. Zielrichtungen zur Weiterentwicklung rechnergestützter Arbeitsmethoden für die Lösungsfindung im wissenschaftlichen Gerätebau werden genannt.

## **Резюме**

**Название работы: Математическое моделирование и проблемный анализ в области научного приборостроения**

**Обосновывается необходимость использования компьютерных методов работы, прежде всего для анализа взаимосвязей и разработки последовательных принципов работы в области научного приборостроения. Сообщается о соответствующих системах программ TREND и KETT. Указываются целевые направления для дальнейшей разработки компьютерных методов работы для поиска решений в области научного приборостроения.**

## **Summary**

Title of the paper: Mathematical modelling and problem analysis in scientific instruments construction

The paper illustrates the necessity of using computer-aided methods particularly for analysis of interrelations and establishment of working principle chains in scientific instruments construction. Analogous TREND and KETT program systems are described. An outline is given of advances in computerized methods of solution-finding in scientific instruments construction.

## **Literatur**

- BUSCH, K.: Methodologische Untersuchungen zum Erfindungsprozeß. Berlin, Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Diss. B, 1984
- PAUL, W.: Ein direktes numerisches Verfahren zur Bestimmung der Parameter nicht-linearer Ausgleichsfunktionen. Biom. Z., Berlin 17 (1975), S. 487-500
- RASCH, D.; HERRENDÖRFER, G.; BOCK, J.; BUSCH, K.: Verfahrensbibliothek Versuchsplanung und -auswertung. Bd. 1-3. Berlin: Dt. Landwirtschaftsverlag, 1978-1981
- WITTICH, D. (Hrsg.): Erkenntnistheoretische Aspekte des Schöpfungstums in der Wissenschaft. Berlin, 1981

Anschrift des Verfassers

Dr. rer. nat. KLAUS-DIETER FEIGE

Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf-Rostock der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR Dummerstorf, DDR - 2551