

METHODEN DES FORSCHERISCHEN DENKENS IN DER TECHNISCHEN UND NATURWISSENSCHAFTLICHEN VERSUCHSTÄTIGKEIT

Von

S. MÉSZÁROS

Lehrstuhl für Chemische Technologie, Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 27. Juni 1968)

Vorgelegt von Dr. Imre SZEBÉNYI

Die folgerichtige, zielstrebige technische und wissenschaftliche Forschungstätigkeit fußt auf richtig organisierten Versuchen, deshalb stellen letztere heute notwendigerweise ein wichtiges Problem der Wissenschaftsorganisation dar. Dem Thema wird durch den Umstand Aktualität verliehen, daß in der auf den Grundsatz der Wirtschaftlichkeit aufbauenden Praxis der Zukunft das System der vertraglichen Forschungsaufträge an Bedeutung gewinnen wird. Dadurch spielt nämlich die womöglich flexible Organisation der Versuche — sowohl in Versuchsinstituten und an Universitätslehrstühlen als auch in der Industrieforschung — bereits im Stadium der Übernahme einer Aufgabe eine entscheidende Rolle.

So erfordern diese Überlegungen sowohl in der theoretischen als auch in der angewandten Forschungstätigkeit größere Weitsichtigkeit und ein methodischeres Denken. Gleichzeitig besteht hinsichtlich des Grundziels des wissenschaftlichen forschersichen Denkens auch weiterhin als zentrale Aufgabe die Forderung, in Verbindung mit den einzelnen Themen die Zusammenhänge von womöglich tiefgreifenden Kenntnissen zu erschließen, d. h. möglichst viele Wahrheiten festzustellen.

Es stellt sich jedoch vor allem die Frage, mit welchen Mitteln, wie bald und nach welchen Methoden sich dieses *Ziel* aufgrund des »Minimax-Prinzips« erreichen läßt.

Für diesen Zweck werden offenbar *Versuche* angestellt. Zweck des wissenschaftlichen Versuches ist, einen natürlichen Vorgang künstlich herbeizuführen, u. zw. derart, daß die im Vorgang zur Geltung kommenden Bedingungen — für den Nachweis des systematisierten Komplexes gegenständlich zusammengehöriger, bewiesener Kenntnisse — mit der erforderlichen Genauigkeit eingestellt, geregelt und kontrolliert werden können, um daraus Folgerungen auf die den Vorgang bestimmenden Gesetzmäßigkeiten zu ziehen. Der Versuch stellt eine der wichtigsten *Methoden* der modernen Naturwissenschaften — und in deren Rahmen der technischen Chemie — dar und trägt zur Überprüfung und Untersuchung der praktischen Verwendbarkeit von theoretischen Beobachtungen, Explorationen, wissenschaftlichen Hypothesen bei [1].

Für die Durchführungsweise einer experimentellen Forschungstätigkeit sind vor allem die Eigenheiten der Gegenstände der einzelnen Fachwissenschaften entscheidend: die Methode ist vom Gegenstand der Forschung abhängig, daher läßt sich auch nicht jede Methode in Verbindung mit einem beliebigen Themenkreis anwenden. Der *Mathematiker*, der z. B. eine charakteristische Funktion lösen will, wird sich anders an sein Thema heranmachen [2] wie der *Physiker*, der Forschungen über die Wärmedehnung der Gase anstellt, während sich der *Chemiker* zur Untersuchung der Konfigurationskorrelationen von chemischen Prozessen wieder anderer Verfahren bedienen wird. Es liegt auf der Hand, daß je mehr sich die Fachwissenschaften den Belangen ihrer Gegenstände gemäß differenzieren, um so mehr verfeinern und spezialisieren sich ihre Forschungen, die methodischen Formen ihrer Versuche.

Im weiteren werden die Methoden, Vorgänge, Zusammenhänge sowie die Dynamik des forschersischen Denkens untersucht, die für die wissenschaftliche Versuchstätigkeit unentbehrlich sind.

I. Das wissenschaftliche forschersische Denken

Seine allgemeinen Methoden sind Verfahren, die zu den Elementen und Zusammenhängen einer wissenschaftlichen Erkenntnis führen.

Diese Methoden werden in sechs Gruppen zusammengefaßt: Analyse (1) und Synthese (2) sind in erster Reihe bei der wissenschaftlichen Bearbeitung von Bedeutung. Abstraktion (3) und Determination (4) stellen vor allem Methoden der Begriffsbestimmung, Induktion (5) und Deduktion (6) der Urteilsbildung und Beweisführung dar.

Diese Methoden kommen selten einzeln zur Anwendung, meistens ergänzen sie sich gegenseitig. Ihre Namen und Charakteristik bezeichnen vielmehr Richtungen, vor allem Forschungsrichtungen, als daß sie streng abgegrenzte Wege der wissenschaftlichen Forschung darstellten.

1. *Die Analyse* läßt sich, wie auch ihr Name zeigt (Auflösung), damit kennzeichnen, daß der wissenschaftliche Forscher eine Einheit auf Elemente aufgliedert, ein Ganzes auf Teile zerlegt. Was dieses ganze und einheitliche Etwas ist, von dem die Analyse ausgeht, und welche die Elemente sind, bei denen sie ihr Ziel erreicht, ist vom Gegenstand der Analyse abhängig (Prinzip der Divergenz).

Die Gegenstände der wissenschaftlichen Forschung zeichnen sich fast immer in Form von *hypothetisch* umschriebenen Problemen ab: ein chemischer Prozeß, eine Naturerscheinung, usw. Die Gegebenheit selbst läßt den in der Einheit verborgenen inhaltlichen Reichtum vermuten. Die Vernunft kann der verwickelten, vielfältigen Wirklichkeit nur Herr werden, indem sie diese zerlegt, und versucht, einzelnweise zu beschreiben, was gemeinsam der Ergründung widerstrebt.

Bei der Analyse können zwei wissenschaftliche Zwecke verfolgt werden. An erster Stelle steht immer die beschreibende Analyse, die an der verwickelten Wirklichkeit die Nähte wahrnimmt und sie diese entlang auf einfachere Momente zertrennt; durch chemische Analyse werden Verbindungen auf Elemente, durch eine physische Analyse Prozesse auf physikalische Faktoren zerlegt. Diese Beispiele zeigen einerseits, zu was für einem Ergebnis die Analyse führt; andererseits weisen sie darauf hin, daß die Analyse keinen einzigen, in sich abgeschlossenen Schritt darstellt, sondern ein serienmäßiger, also konsekutiver Vorgang ist. Man wird ja durch die Ergebnisse der Analyse meistens zu weiteren Analysen angespornt. Wegen der logischen Unmöglichkeit des »regressus in infinitum« kann naturgemäß auch die Analyse ohne Ende nicht fortgesetzt werden. Darum stellt in einem gegebenen Zeitalter das weiter nicht analysierbare Element das Endergebnis der Analyse dar. Als aufschlußreiches Beispiel kann die Atomtheorie dienen.

Für die zweite Stufe der Analyse wird zum Ziele gesetzt, die gegenseitigen Beziehungen zwischen den Elementen zu ermitteln. Dazu wird meistens ein Element ausgewählt und von den übrigen abgesondert untersucht oder verändert; z. B. die Volumenänderung eines Körpers unter Wärmewirkung. Und hier trifft bereits die Analyse mit der Abstraktion zusammen.

2. Die *Synthese* oder Zusammensetzung ist das Umgekehrte der Analyse. Ihren Ausgangspunkt bilden Teile, Elemente, ihr Ergebnis ist das Ganze. In dieser Beziehung stellt die Synthese eine wertvolle Gegenprobe der Analyse dar; gelingt es nämlich, aus den Elementen das Ganze wieder zusammenzusetzen, so heißt das, daß die Elemente richtig bestimmt wurden. So geht die synthetische euklidische Geometrie vor, wenn sie die in Einzelfällen gemachten Beobachtungen zu Theoremen zusammenfaßt, um aus diesen wieder Einzelfälle abzuleiten. Auch die chemische Synthese ist dieser Art. Neben der reproduktiven Synthese gibt es jedoch auch eine schöpferische, produktive Synthese, die versucht, aus Elementen ein Ganzes zu bilden. Auch in der organischen Chemie werden durch Synthese z. B. aus Elementen immer weitere Verbindungen hergestellt. Auch in der Mathematik, vor allem in der Konstruktionslehre, wird dieses konstruktive Verfahren angewandt [3].

Ein weiterer Gesichtspunkt bei der schöpferischen Zusammensetzung im Bereich von Analyse und Synthese zeichnet sich als dritte Methode ab. Diese soll *Holothese* genannt werden. Sie gründet sich auf die Tatsache, daß das Ganze nie gleich der Summe der Teile ist (z. B. in technologischen Arbeitsgängen). Zerlegt man etwas durch eine rein mechanische Teilung auf Teile, so hat man bei weitem nicht die Wirklichkeit angenähert. Daher ist die Synthese nie eine einfache Addierung, sondern eine eigenartige geistige *Schöpfung*, da das Ganze, als ein durch materielle Wechselwirkungen zwischen den Teilen verbundenes System, immer auf *schöpferische* Weise reproduziert oder produziert wird.

Daraus folgt, daß neben Analyse und Synthese auch noch eine dritte Methode erforderlich ist, die im wesentlichen das Ganze meistens mit Hilfe einer *erfahrungsmäßigen Intuition* voraussetzt; darum wird sie als *Holothese* bezeichnet. Aus der Sicht dieses Ganzen werden dann die analysierten Teile in ihrer wahren Beschaffenheit verstanden und charakterisiert; von den so erkannten Teilen kommt man auf das Ganze zurück, das nun in Kenntnis der Teile durch ein über die Intuition hinausgehendes Urteil gekennzeichnet werden kann (Konvergenzprinzip).

3. *Die Abstraktion* kommt für die Versuchstätigkeit lediglich als Methode in Betracht, und besteht darin, daß aus einem Ganzen zwecks theoretischer Bearbeitung ein Moment herausgegriffen und so behandelt wird, als ob es allein stünde; von den übrigen Momenten wird »abgesehen« (abs-trahere). Diese werden nicht verneint, nicht bezweifelt, lediglich diesmal nicht berücksichtigt. Das ist die isolierende Abstraktion, wie z. B. in der Chemie die Versuche »in vitro«, oder wenn bei der Untersuchung der Lichtbrechung der Physiker lediglich die Richtung des Lichtstrahles berücksichtigt. Dieses Verfahren ist vorzüglich dazu geeignet, der Analyse Vorschub zu leisten, wobei es auch die Analyse voraussetzt; die für eine abstrakte Erörterung vorgesehenen einzelnen Momente wurden ja meistens durch eine vorherige Analyse geliefert.

Die Abstraktion ist auf dem Gesamtgebiet der Forschung am Platze. Sie stellt nämlich den Weg dar, der vom Einzelding zum Universalen, vom Konkreten zum Allgemeinen führt. Die verallgemeinernde, generalisierende Abstraktion erfolgt auf zweifache Weise: in einer Beziehung kommt man von Einzelmomenten zu Rassen und Gattungen, in anderen Prozessen werden durch eine Abstraktion von den Einzelabweichungen ausgehend allgemeine Regeln, Gesetze festgelegt. Die Bestimmung der bedeutungslosen individuellen oder Einzelzüge und Varianten, die außer acht gelassen werden können, und der Züge, die als für die Rasse kennzeichnende bzw. gesetzbestimmende Momente beibehalten werden sollen, stellt naturgemäß eine besondere Aufgabe dar, deren Methode die Induktion und fruchtbringendes Hilfsmittel die isolierende Abstraktion ist [4].

In einem engen Zusammenhang mit der Abstraktion steht die Bezeichnung. Durch den Namen wird oft ein Merkmal ausgedrückt, doch kommt ihm auch in der verallgemeinernden Abstraktion eine bedeutende Rolle zu. Wörter drücken in der Regel keine Einzelmomente aus, sondern bezeichnen ihrer Natur gemäß Arten und Typen [5].

4. *Die Determination, Abgrenzung* ist das Umgekehrte der Abstraktion. Wird durch Abstraktion aus dem Ganzen ein Moment herausgegriffen, wobei die anderen unberücksichtigt bleiben, setzt die Determination zu diesem Moment weitere hinzu und forscht dabei nach dem Verhalten des so entstandenen zusammengesetzteren und daher auf einen engeren Kreis beschränkten Objektes. Es wird z. B. zuerst untersucht, welche die Gleichgewichtsbedingun-

gen einer chemischen Reaktion sind, wenn lediglich ihre kinetischen Beziehungen, d. h. ihr Mechanismus berücksichtigt wird. Sodann wird z. B. die Elastizität miteinbezogen, und geprüft, wie sich dadurch die Gleichgewichtsbedingungen der Formbarkeit verändern. Das ist das Umgekehrte der isolierenden Abstraktion. Das Umgekehrte der verallgemeinernden Abstraktion ist die Spezifikation, die jene Merkmale sucht, die von der Gattung zur Rasse und von dieser zum Individuum führen. Dieses Verfahren kommt besonders dort zur Geltung, wo man es mit einem ausgearbeiteten Begriffssystem zu tun hat, wie in der systematisierenden Naturwissenschaft [6].

Neben Abstraktion und Determination ist noch ein drittes Verfahren bekannt, für das es kennzeichnend ist, daß ob durch Abstraktion oder durch Abgrenzung erzielte *Kenntnisse zur exakteren Hervorhebung ihres besonderen Charakters nebeneinandergestellt werden* (z. B. ergonomische und enzephalographische Faktoren). Diesem vergleichenden Verfahren, das als Kollation bezeichnet werden könnte, kommt neben Abstraktion und Determination dieselbe ergänzende Rolle zu, als der Holothese für die Analyse und Synthese.

5. *Die Induktion* wird hier nicht als Folgerung, sondern als wissenschaftliche Methode betrachtet, folglich wird der Begriff in weiterem Sinne als der logische Begriff der induktiven Folgerung verwendet, da er in mancher Beziehung auch Elemente der deduktiven Folgerung enthält. Die Induktion als wissenschaftliches Verfahren wird dadurch gekennzeichnet, daß sie vom Einzelnen ausgeht und zu universalen Feststellungen gelangt; von unmittelbaren erfahrungsmäßigen Gegebenheiten führt sie zum Universalen »empor«, das einen Typus, einen Begriff oder ein Gesetz darstellt. Dieser empirische Fragenkreis wird vor allem durch die Naturwissenschaften behandelt, die Induktion ist vornehmlich eine naturwissenschaftliche Methode.

Sie setzt sich aus folgenden Phasen zusammen:

5.1. *Vom Forscher werden gewisse Erscheinungen wahrgenommen, beobachtet*, wie zum Beispiel:

- Laboratoriums- und betriebliche Parameter der Stabilitätskennwerte von Dinitrosopentamethylen-Trinitramin;
- Analyse einer Sicherheitszündschnur in 8 Blöcken als Versuch in technischem Maßstab;
- Untersuchung des Nitrierungsverfahrens bei zweifarbigem Faktor im Labormaßstab;
- technologische Faktorenversuche mit einem Kunstfaserinitiator unter Betriebsverhältnissen aufgrund einer großen Anzahl von Beobachtungen;
- Inhibitorprüfung von Aluminiumlegierungen unter Anwendung von Dizylohexyl-Aminnitrit unter betriebsmäßigen Verhältnissen;
- Versuche in halbtechnischem, sodann in technischem Maßstab mit einem Zyklotrimethyltrinitramin-Detonator;
- Untersuchungen mit dem Oszillointegrator;

- Versuche mit akremitartigen Sprengstoffen (Entwicklung eines neuen Sprengstoffes auf Ammoniumnitratbasis mit Kohlenwasserstoffzugabe);
- neue Versuche in halbtechnischem und technischem Maßstab mit einem Zyklotetramethyltetranitramin-Detonator zur Entwicklung eines neuen Detonators;
- Versuche zur Herstellung eines Zündkettenelementes für Perforationsdetonatoren;
- katalytische Sulfonierung in Labormaßstab;
- experimentelle Bestimmung von Explosionsvoraussetzungen aufgrund der Explosivität von Ammoniak, in Anwesenheit von Sauerstoff-, Stickstoff-, Azetylenzusatz bzw. Untersuchung dieser Prozesse mit dem Spektroskop und ihrer Wirkungen mit Hilfe eines Elektronenmikroskops und der Röntgenprüfung;
- Untersuchung von Sicherheitsfaktoren unter den Produktionsverhältnissen der Gummiindustrie, usw.

Durch Induktion werden aufgrund des Vorstehenden eingehende Analysen für die Bestimmung der entscheidenden Faktoren durchgeführt, u. zw.:

- a) einfache Vergleichsversuche,
- b) konsekutive Signifikanzuntersuchungen,
- c) Probeentnahme- und Prüfmethode,
- d) Organisation eines unvollständigen zufallsbestimmten Blockes.

Sodann wird anhand der Untersuchungsreihe festgestellt, daß es sich nicht um einen zufallsbestimmten, sondern um einen gesetzmäßigen Prozeß handelt.

5.2. *Es wird eine Hypothese über die mögliche Ursache der Erscheinung aufgestellt:*

Zum Beispiel:

- zahlenmäßiger Wert der elektrostatischen Aufladung;
- Wirkung der Ladedichte auf die Brenngeschwindigkeit;
- Inhibitoren und Korrosionszusammenhänge,
- Brisanz des Detonators;
- geräteanalytische Kennwerte,
- katalytische Wirkung in der Detergentienfertigung,
- charakteristische Explosionsbeziehungen,
- Beziehungen zwischen Sicherheitsfaktoren und Unfallsursachen gemäß der Funktion $R = f(S, P)$.*

5.3. *Diese Hypothese wird nachgewiesen:* d. h. der Forscher versucht festzustellen, daß zwischen der vorausgesetzten Ursache und der wahrgenommenen Wirklichkeit tatsächlich ein Kausalzusammenhang besteht; dazu werden teils weitere Beobachtungen, teils Versuche durchgeführt, die unter Anwendung

* Auch Situationsfunktion genannt, wo R die Unfallwahrscheinlichkeit, S das technologische Organisationsniveau, P einen subjektiven Faktor bedeuten.

einer oder mehrerer Induktionsregeln die Hypothese beweisen. Ist dies gelungen, so wurde eine Natureigenschaft der vorausgesetzten Wirklichkeit als gesetzmäßige Ursache des für die Beobachtung als Ausgangspunkt dienenden Naturereignisses erkannt.

Um dies festzustellen ist es erwünscht:

- a) qualitative und quantitative Wechselwirkungen zu bewerten,
— Faktorenversuche,
- b) Versuche unter heterogenen Voraussetzungen durchzuführen,
- c) eine gestaffelte Faktorenmethodik anzuwenden,
— aufgrund des Hauptgrundsatzes der Wirtschaftlichkeit methodisch optimale Entscheidungen zu treffen,
- a) Strategie der optimalen Annäherung,
- b) Festlegung eines Ergebnismaximums,
- c) Wahl des Messungsmaßstabes,
- d) experimentelle Bestimmung von optimalen sicherheitstechnischen Voraussetzungen.

5.4. *Das so ermittelte Gesetz wird dann auf Einzelfälle angewandt*, und u. U. werden daraus neue Schlußfolgerungen gezogen.

Dafür lassen sich zahlreiche Beispiele anführen:

— Im Rahmen von konsekutiven Signifikanzuntersuchungen ist es gelungen, aufgrund von Versuchen mit der Zugabe von Trioxytriäthylamin die Stabilität von Dinitrosopentamethylentetramin auf betrieblichem Niveau zu erreichen.

Durch die zufallsbestimmte Gruppe bzw. die zahlreichen Erfahrungen der in technischem Maßstab durchgeführten Versuche in lateinischem Quadrat wurde nachgewiesen, daß sich in Kenntnis der technisch-chemischen Parameter der Zündkettenelemente, statt eines Fadens mit dem Feinheitsgrad 2 m/g, auch ein Faden von 2,5 m/g verwenden läßt. Die Einführung dieses Verfahrens, bei dem eine Verminderung des Materialaufwandes um 20% zu verzeichnen ist, erbrachte der Industrie eine Einsparung im Werte von mehreren Millionen Forint.

— Die Anwendung der Faktorenmethodik ermöglichte die Untersuchung der technologischen Kennwerte des Kunstfaserinitiators. Durch eine bedeutende Anzahl von Beobachtungen wurde die Hypothese nachgewiesen, daß sich ein synthetischer Kunstfaden finden läßt, der sich im Falle der Korrelation von Zündschnur-Brenngeschwindigkeit und anderer sicherheitstechnischer Bedingungen in einem neuen Betriebsverfahren verwenden läßt.

— Es gelang im Laufe von Versuchen mit Zyklotrimethyltrinitramin, unter Anwendung einer qualitativen und quantitativen Faktorenmethode die betriebstechnologischen Voraussetzungen für eine hexogene Sprengschnur auszuarbeiten.

— Ausarbeitung eines Untersuchungsverfahrens unter Anwendung des

Oszillointegrators zur Überprüfung der Ladungsgleichmäßigkeit von Zünd- und Sprengschnüren, die von der Industrie angewendet wird.

— Beim Studium von heterogenen Bedingungen kann auf experimentellem Wege festgestellt werden, daß sich die Sprengkennwerte des Ammoniumnitrats mit verschiedenen Kohlenwasserstoffzusätzen als stabil erweisen. Die experimentellen Grunddaten sind für Vorversuche in technischem Maßstab von grundsätzlicher Bedeutung.

— Aufgrund von Faktorenversuchen mit einem Detonator konnten die Parameter der Ladungsbildung aus Zyklotetramethylentetramin im Falle von verschiedenartigen Kunststoffbelägen ermittelt werden. Das Verfahren wurde von der Industrie eingeführt.

— Das für tiefe Schurfbohrungen der Erdölindustrie entwickelte technologische Verfahren unter Anwendung eines sog. von außen angefahrenen Perforationsdetonators ist für Zwecke der Industrie geeignet.

— Im Laufe von Laborversuchen zur Untersuchung der Hauptparameter der katalytischen Sulfonierung läßt sich feststellen, daß eine technologische Maßstabvergrößerung von Sulfonaten im Verhältnis von 1 : 10 möglich ist.

— Aufgrund von Versuchen zur Bestimmung von optimalen Explosionsbedingungen wurde nachgewiesen, daß die Explosivität des Ammoniaks durch die Strömungsgeschwindigkeit, durch verschiedene aktivierende und desaktivierende Zusätze und die Güte der Zündquellen, ferner durch die Temperatur bzw. durch Form und Abmessungen des Reaktionsraumes beeinflusst wird. Es wurde bestätigt, daß die Explosion von Ammoniakgas in einem Strömungssystem nach der Gesetzmäßigkeit der serienmäßigen irreversiblen Reaktionen vor sich geht.

— Bei der Untersuchung über die Sicherheitsfaktoren der Produktionsverhältnisse in der Gummiindustrie läßt sich feststellen, daß 34% der Betriebsunfälle durch Mängel der technologischen Organisation und 66% durch subjektive Fehler der Belegschaftsmitglieder verursacht wurden. In allgemeinem technologischem Sinne ist die Situationsfunktion gültig, folglich ist die Gestaltung der Unfallzahlen eine Funktion des technologischen Organisationsniveaus, da offenbar bei automatisierten technologischen Prozessen praktisch das Minimum der Unfallwahrscheinlichkeit vorliegt, usw.

Nach den bisherigen Ausführungen gilt schließlich ein Satz als auf induktivem Wege bewiesen, wenn es gelang nachzuweisen, daß das Forschungsthema ein Moment hat, das als Begleiterscheinung oder Folge die Aussage enthält. Das trifft zu, wenn die Tatsache mit der Wirklichkeit übereinstimmt, weil ein Kausalzusammenhang zwischen ihnen besteht. Da man in der Regel keinen unmittelbaren Einblick in die Wirksamkeit der Kausalität hat, ist man gezwungen, Kausalzusammenhänge aufgrund von gewissen Merkmalen anzunehmen. Für die Erkenntnis bzw. Annahme eines Kausalzusammenhanges

zwischen zwei Erscheinungen, zwischen Antezedens und Folge, wurden von Fr. BACON und MILL STUART vier *heuristische* Regeln aufgestellt, die eigentlich nur die ausführliche Anwendung der Kausalität in der Forschungsarbeit darstellen:

a) Die Methode der Übereinstimmungen: wenn mehrere Antezedenzen ständig von denselben Folgen begleitet sind und die Antezedenzen lediglich in einem Moment übereinstimmen, stellt dieses Moment die Ursache der Folge dar. Änderungen des Aggregatzustandes kommen z. B. unter verschiedenen Umständen vor; das gleiche Moment in den Antezedenzen ist immer die Wärmewirkung, diese ist also die Ursache der Änderung des Aggregatzustandes; oder die Ursache z. B. der Zusammenhänge zwischen Formbarkeit und spezifischen Eigenschaften der Metalle, usw.

b) Die Methode der Unterschiede: tritt die Folge nach einem Antezedens ein, und bleibt sie nach dem anderen aus, wobei die zwei Antezedenzen mit einer Ausnahme in sämtlichen Momenten übereinstimmen, so stellt dieses eine Moment die Ursache dar; z. B. die Wirkung der Luftfeuchtigkeit auf die chemischen Eigenschaften der Stoffe.

c) Die Methode der Reste: lassen sich sämtliche Momente einzeln mit je einem Moment der Folge in Kausalzusammenhang bringen, mit Ausnahme eines Momentes des Antezedens und gleichfalls eines Momentes der Folge, so stehen diese beiden Momente miteinander in Kausalzusammenhang. Nach diesem Verfahren fand LEVERRIER aufgrund der Störungen in der Uranus-Bahn den Neptun.

d) Die Methode der Steigerungen: verändert sich mit der Änderung des Antezedens auch die Folge in gleicher Progression, so besteht zwischen beiden ein Kausalzusammenhang; z. B. die Bestimmung der Reibung als geschwindigkeitsvermindernden Faktors. Man bedient sich dieser Methode vor allem in Fällen, wo die Anwendung der Methoden a) bis c) unmöglich ist.

6. Für die *Methode der Deduktion* ist es kennzeichnend, daß sie aus gegebenen Wahrheiten andere Wahrheiten ableitet. Das ist naturgemäß lediglich dann möglich, wenn die abzuleitende Wahrheit irgendwie in der als Ausgangspunkt gewählten Wahrheit enthalten ist. Diese Situation liegt nur vor, wo die den Ausgangspunkt der Ableitung bildende Wahrheit oder Wahrheitsfassung ein logisches Antezedens und die abzuleitende Wahrheit eine Folge darstellen. Danach kann ausgesagt werden, daß die Deduktion die spezifische Methode der Wissenschaften ist. Mit ihr arbeiten vor allem die Mathematik, ferner die Naturwissenschaften.

Betrachtet man die Bereiche dieser Wissenschaften etwas näher, so überzeugt man sich, daß während sich die Induktion weitgehend auf die Analyse und Synthese stützt, die Deduktion sich unmittelbar der Abstraktion, Determination und Kollineation bedient; der Techniker geht z. B. derart vor, als er einzelne Momente des konkreten technischen Falles als einen Spezialfall

der allgemeinen Technologie zu erfassen und die universalen Gesetze darauf anzuwenden trachtet.

Die Reduktion ist — wie es auch ihr Name (*re-ducere*) zeigt — ein Verfahren, das auch von den Fachwissenschaften oft angewandt wird um ein komplizierteres Problem auf ein einfacheres »zurückzuführen«, u. zw. oft durch Analyse, durch Substitution oder Transformation, vor allem in der Chemie und der Mathematik.

In der naturwissenschaftlichen Forschung kommt heute der Induktion eine besondere Bedeutung zu, da wiederholte Beobachtungen zu Erfahrungen führen. Durch die Erfahrung ist die Abstraktion gerechtfertigt: aus den Einzeldingen wird das, was für viele gilt, das Allgemeingültige erfaßt. Das ist aber ein Grundsatz der Wissenschaft.

Es kann jedoch nicht geleugnet werden, daß von dieser richtigen theoretischen Feststellung lange nicht die entsprechenden Folgerungen gezogen wurden. Die Beobachtung, der *Versuch* — der in der wissenschaftlichen Forschung von lebenswichtiger Bedeutung ist — wurden in der Regel bei weitem nicht in dem Umfang und mit der Präzision und Wirksamkeit angewandt, wie das heute naheliegend ist [7].

II. Organisation von Versuchen

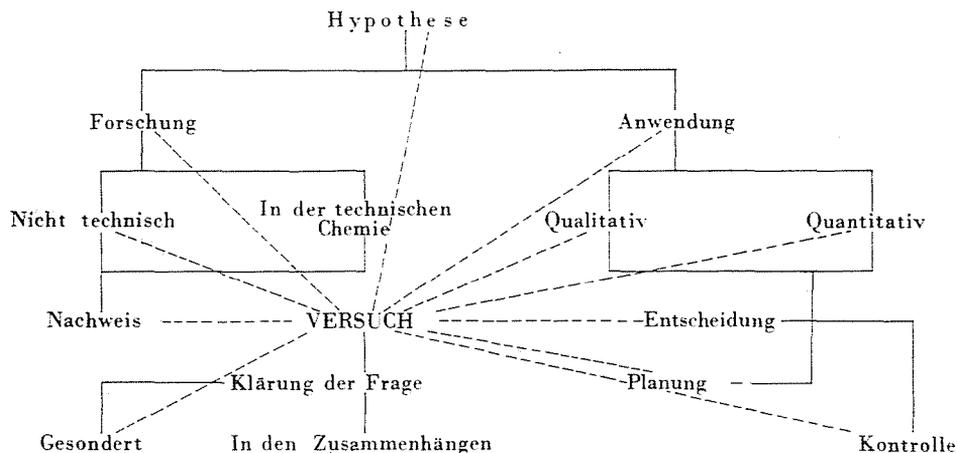
In methodologischer Beziehung wird durch eine richtige Organisation der Versuchstätigkeit die gesuchte Information bei dem geringsten Arbeitsaufwand mit maximaler Sicherheit geliefert. Dazu sind drei grundlegende Voraussetzungen zu befriedigen:

a) die *Fragen*, die mit Hilfe der Versuche beantwortet werden sollen, sind exakt zu formulieren;

b) das *Versuchsverfahren* ist zweckmäßig auszuwählen, teils um die erforderliche Genauigkeit zu berücksichtigen, teils um den wahrscheinlichen *Fallen* in der Versuchstätigkeit auszuweichen;

c) die allgemeine *Versuchsanordnung* ist von Wichtigkeit, d. h. die Zahl der Einzelbeobachtungen, ihre gegenseitige Entfernung und Wechselwirkung sind richtig zu wählen.

Diese Überlegungen veranlassen den Versuchsleiter, sich schon im voraus damit zu beschäftigen, was gesucht werden soll, was für eine Vorgangsreihe durchzuführen ist, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen [8]. So kann der Versuch im wesentlichen als ein organischer Teil eines *dynamischen* Netzwerkes aufgefaßt werden, und das vor allem in der technischen Chemie, wo er (wie das im weiteren zu sehen sein wird) eine zentrale Stellung einnimmt.



III. Dynamische Auffassung der Versuche

Es liegt auf der Hand, daß wissenschaftliche Gesetze meistens nicht auf eine einzige Versuchstatsache (manchmal auf eine einzige Person) oder ein einziges Ergebnis gegründet werden können. Der Versuchsleiter muß daher von vornherein — unter Berücksichtigung der *Komplexität* der technisch-chemischen Probleme — mit Versuchsgruppen (Mikroblöcken) arbeiten [9].

Am einfachsten ist ein Versuch, der ermöglicht, Folgewirkungen zu vermeiden, d. h. der die unabhängige Tätigkeit von zwei Gruppen gestattet. Die eine Gruppe ist gemäß der Voraussetzung *A*, die andere gemäß der Voraussetzung *B* tätig. Entscheidend ist, ein Kriterium zu finden, durch das die Arbeit der Gruppen anhand einer und nur einer Veränderlichen unterschieden wird. Damit der Versuch beweiskräftig ist, müssen beide Gruppen (Blöcke) gleichwertig sein.

1. Für den Versuchsansteller ist es wichtig, mit welcher Probengröße er arbeiten soll bzw. was durch Erhöhung oder Verminderung der Anzahl der Versuche zu gewinnen ist. Das ist besonders dann von Wichtigkeit, wenn der Versuchsleiter im Laufe des Vorgangs ziemlich verfeinerte — infralogische — Hypothesen ausprobieren will.

Die Verwendung der Freiheitsgrade ermöglicht, die Streuungen auf eine gemeinsame Einheit zurückzuführen, nämlich auf die Zahl der Vergleiche. Das Problem gestaltet sich schwieriger, wenn die unabhängige Veränderliche mehr als zwei Werte hat, wenn also mehr als zwei Versuchsgruppen vorhanden sind. In einem solchen Falle ist naturgemäß eine Varianzanalyse durchzuführen, um zu entscheiden, ob die Null-Hypothese abgelehnt werden soll. Gewisse

strategische Proben eignen sich gut zur Feststellung, ob sich die Ergebnisse einer bestimmten Tendenz (einem Trend) gemäß ordnen.

2. Zur Ermittlung der Wechselwirkungen zwischen den Versuchsergebnissen (Gruppen, Vielheiten) sind *Faktorenpläne* zu verwenden, durch die die Annahme weitgehend nachgewiesen wird, daß jede Beobachtung zur Lösung des vorliegenden Versuchsproblems beiträgt.

Bei wissenschaftlichen Versuchen kommt der Interreaktion (ein Spezialfall der universalen Wechselwirkung) eine bedeutende Rolle zu; eine Interreaktion besteht zwischen zwei unabhängigen Veränderlichen offenbar dann, wenn sich die Wirkung einer der unabhängigen Veränderlichen auf die abhängige Veränderliche ändert, falls im Werte der anderen unabhängigen Veränderlichen eine Veränderung eintritt. (Qualitative und quantitative Faktorenmethoden.)

Pläne in griechisch-lateinischem Quadrat ermöglichen aufgrund von zwei Versuchstypen, statt drei Veränderlichen vier Veränderliche zu berücksichtigen.

3. Die Wirksamkeit des Versuches wird weitgehend durch das Organisationsniveau bestimmt, darum ist es zweckmäßig, unter Anwendung jedes Verfahrens das untersuchte Problem auf *konsekutive* Art anzunähern. Das ist offenbar möglich, da der Versuchsprozeß in der Regel aus mehreren *Schritten* besteht. Das Wesen der Sache liegt darin, die Ergebnisse der bereits vollbrachten Schritte zu erwägen und zu bewerten, bevor man sich zum nächsten Schritt entschließt.

Durch die Erkenntnis der Versuchsregeln wird vor allem nachgewiesen, daß die Tragweite der Entscheidungen, die vom wissenschaftlichen Forscher zu treffen sind, das Risiko, die Relativität, die sie nach sich ziehen, klarer als bisher ersichtlich sein müssen.

Neben diesen sinngemäßen Vorteilen bringt die richtige Organisation eines wissenschaftlichen Versuches folgenden *Nutzen*:

a) weniger Versuchspersonen erforderlich zur Erzielung gleichwertiger Ergebnisse durch Neugruppierung der in einer gemeinsamen Lage erfolgten Messungen.

b) Gleichzeitige Prüfung der Wirkungen mehrerer Veränderlichen.

c) Bei Faktorenplänen Erschließung der möglichen Wechselwirkungen zwischen den Veränderlichen.

Die ersten beiden Vorteile sichern eher eine größere Wirtschaftlichkeit der Versuchstätigkeit, während der dritte z. B. bei strukturchemischen Versuchen eine neue Möglichkeit zur Analyse der Wechselwirkung gibt, deren Tragweite nicht genug hervorgehoben werden kann, obwohl die Möglichkeiten dieser Methode noch nicht genügend ausgeschöpft sind.

4. Auch auf einige Grenzen und Gefahren der Methode muß jedoch aufmerksam gemacht werden. Die Gefahrquelle liegt im wesentlichen in der Datenverarbeitung. Konvergente bzw. divergente Teste und die Varianzanalyse

liefern lediglich dann wertvolle Ergebnisse, wenn für jede Datenart die entsprechende Methode eingesetzt wird. Besonders zu beachten sind:

a) Sind die Bedingungen der Gruppen in sämtlichen Feldern eines Planes mit mehreren Veränderlichen nicht gleich, so ist Vorsicht geboten.

b) Streng genommen ist die Varianzanalyse nur möglich, wenn die Varianz innerhalb sämtlicher Gruppen homogen ist. Diese Regel muß mit gewissen Toleranzgrenzen angewandt werden, doch ist es zweckmäßig, sie zu kennen.

c) Es ist unerläßlich, in jedem Falle den Charakter der Proben zu klären, da die Fehlerberechnungen des öfteren unterschiedlich sind.

d) Bei der Berechnung der Varianzanalyse bedeutet in der Regel die als Irrtum oder Rest bezeichnete Vergleichsbasis das mittlere Quadrat der Streuung innerhalb der Gruppe, doch gibt es auch Ausnahmen.

Weiterhin soll immer vor Augen gehalten werden, daß *das Ergebnis lediglich in Kenntnis sämtlicher Versuchsdaten, im Zusammenhang mit diesen gedeutet werden kann*. Die taktische Folgerung stellt im Rahmen der strategischen ein wertvolles Hilfsmittel dar, kann jedoch nicht die Stelle der ersteren einnehmen. Nicht genug zu rügen sind Schlußberichte oder Untersuchungen, usw., die sich mit der Feststellung einer Abweichung oder einer signifikanten Beziehung begnügen, ohne aufgrund von tatsächlichen Versuchen Grunddaten zu liefern.

5. Es sollen also Versuchspläne angewandt werden, die diese logische Strenge gewährleisten, an der es anfangs bei Versuchen mangelte. Diese Strenge fordert das Festhalten an der Genauigkeit der Ergebnisse, d. h. an der Wahrscheinlichkeit, daß die bei der abhängigen Veränderlichen festgestellten Änderungen durch die Werte sowie die Beziehungen einer oder mehrerer unabhängiger Veränderlichen erklärt werden. Weiter dürfen die Schlußfolgerungen nicht gehen.

Offenbar entwickelt sich die Versuchsmethodik vor allem durch konkrete Untersuchungen, in deren Rahmen sich die Variationsgesetze des Versuchsverhaltens bestimmen lassen.

6. Schließlich kann eine optimale Organisation von wissenschaftlichen Versuchen im allgemeinen — und besonders in der technischen Chemie — lediglich um den Preis eines Kompromisses durchgeführt werden, da bei jedem Versuch eine *eventuelle* Genauigkeit vorhanden ist, nämlich die der Tatsache so wie sie sich erfassen läßt, sowie eine *optimale* Genauigkeit, die der Beobachtung am besten entspricht. Folglich sollen bei Versuchen in der technischen Chemie folgende vier Genauigkeitsstufen unterschieden werden:

a) eine theoretische Stufe, die durch die Empfindlichkeitsschwelle der technisch-chemischen *Wissenschaften* begrenzt ist;

b) eine methodologische Stufe, die durch die Parameter der *Messungen* beschränkt ist;

c) eine begriffsmäßige Stufe, die durch die *Bedeutung* und das wissenschaftliche Niveau bestimmt wird,

d) eine Wahrnehmungsstufe, wo die Versucherscheinung der Empfindlichkeitsschwelle des *Organismus* entsprechend beobachtet werden kann.

Letztere Stufe liegt bei allen Versuchen vor, wo es die Wissenschaft bei der Anwendung der technischen Chemie mit physiologischen Faktoren zu tun hat.

Es ist leicht einzusehen, daß die Versuchstätigkeit im Denken des wissenschaftlichen Forschers strenge logische Regeln hat, in deren dynamischem Zusammenhang der zur Lösung des konkreten Problems erforderliche Kräfteinsatz durch die Hauptzielsetzung bestimmt ist.

Zusammenfassung

Durch die Erkenntnis der Versuchsregeln wird vor allem nachgewiesen, daß die Tragweite der Entscheidungen, die vom wissenschaftlichen Forscher zu treffen sind, das Risiko, die Relativität, die sie nach sich ziehen, klarer als bisher ersichtlich sein müssen.

Literatur

1. BONNER, H.: Group Dynamics. Principles of Application. Rondald Press (New York) 3—4, 1959.
2. ERDEY-GRŰZ, T.: A természettudományok néhány időszerű filozófiai problémájáról (Über einige aktuelle philosophische Probleme der Naturwissenschaften) [MM. Marxizmus—Leninizmus Oktatási Osztály tájékoztatója (Informationsschrift der Abteilung für den Unterricht im Marxismus—Leninismus des Ministeriums für Bildungswesen)], Bd. I. H. 5, S. 5—35, 1963.
3. FAZLOLLAN, H. REZA: Bevezetés az információelméletbe (Einführung in die Informationstheorie), Műszaki Kiadó, 14, 1966.
4. FOGARASI, B.: Logika (Logik). Akadémiai Kiadó, 106, 1951.
5. GILLEMOT, L.—MÉSZÁROS, S.: Bevezetés az ipari kutatómunkába (Einführung in die Industrieforschungstätigkeit), Mérnöki Továbbképző Intézet, 7—12, 1967.
6. HOLLITSCHER, W.: A természettudományos világgép (Das naturwissenschaftliche Weltbild), Gondolat Kiadó, 10, 1961.
7. LENARD, F.: A problémamegoldó gondolkodás (Das problemlöserische Denken), Akadémiai Kiadó, 196, 1963.
8. MÉSZÁROS, S.: A kísérletek elvi alapjai és módszereinek műszaki kémiai alkalmazása (Theoretische Grundlagen von Versuchen und Anwendung der Versuchsmethoden in der technischen Chemie), Mérnöki Továbbképző Intézet, 370—376, 1968.
9. MÉSZÁROS, S.: A kísérletek megszervezése (Organisierung der Versuche), Tankönyvkiadó 427—430, 1968.

Dr. Sándor MÉSZÁROS, Budapest XI., Budafoki u. 8, Ungarn