

Johannes Müller

Akademie der Wissenschaften d.DDR
Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse

METHODEN, VORGEHENSWEISEN UND DENKSTIL IN DER INGENIEURARBEIT -
NEUE PROBLEMSTELLUNGEN, METHODEN UND KOOPERATIONEN DER METHODIKFORSCHUNG

Zusammenfassung: Für die Effektivität der Ingenieurarbeit sind Methoden, Vorgehensweisen und Denkstil von wesentlicher Bedeutung. Zu den beiden letzten Faktoren wurden in jungster Zeit neue Erkenntnisse gewonnen. Mit der Entwicklung rechnerunterstützter Arbeitsplätze wird eine empirisch exakt fundierte Methodikforschung notwendig, um die Dialogsysteme wesentlich besser an den Problemlöser anzupassen. Es werden Fragestellungen hergeleitet und erforderliche Wissenschaftskooperationen angebahnt.

1. Technische Forschung und Entwicklung als Problemlösen

Intellektuelle Vorgänge werden in der modernen kognitiv orientierten psychologischen Literatur i. allg. als Informationsverarbeitungsprozesse aufgefaßt und als solche analysiert [1], [2]. Auch der Ingenieur erbringt unter Verarbeitung vorliegender und zielentsprechend neu erzeugter Information ein gedankliches Ergebnis (Entwurf, Verfahrensbeschreibung, Technologie). Dieses soll gegenüber dem Prozeß der Produktion, in dem es in das "Kostüm der Natur gekleidet" wird, selbst als Information wirken.

Nach der Funktion im kognitiven Prozeß kann nach Ziel-, Sach- und Programminformation unterschieden werden [3].

Technische Forschung und Entwicklung ist wie alle schöpferischen Abläufe dadurch charakterisiert, daß gedankliche Prozesse unter *unvollständiger* Information zu bewältigen sind. Das ist nicht nur subjektiv; d.h. so zu verstehen, daß der Bearbeiter über seinem Problemlösungsvorgang seine Einsicht vertieft. Die Unvollständigkeit ist auch objektiv bedingt [4]. Ziel-, Sach- und Programminformation sind deshalb gleitend so zu bestimmen, daß zwar der Lösungs-, Bewegungs- und Informationsbedarfsraum sukzessive schärfer abgesteckt und eingegrenzt wird, in jeder Situation aber soweit *Unbestimmtheit* und *Unsicherheit* bewußt aufrechterhalten bleiben, daß stets die Möglichkeit offen ist, zurückzukehren bzw. anders zu orientieren. Das aber ist notwendige Voraussetzung für intellektuelle Beweglichkeit, ohne die sich Probleme nicht lösen lassen. Der Grad der Unvollständigkeit ist abhängig vom Neuheitsgrad der Aufgabe, vom Ziel der Arbeit, vom

Erkenntnisstand der jeweiligen Gebiete aber auch vom Wissens- und Erfahrungsniveau des Bearbeiters usw., von Fall zu Fall verschieden.

2. Methodische Komponenten schöpferischer Prozesse

Um schöpferische Leistungen zu erbringen, sind demnach zweckentsprechend, bzw. auf experimentellem Wege, neue Informationen zu erzeugen und zwei Arten von Informationsspeichern abzufordern:

- solche für sachlich-fachlich einschlägige F a k t e n und
- solche für V o r s c h r i f t e n , wie damit umzugehen ist (Algorithmen, Modelle u.a. Methoden).

Methodik betrifft die zweite Speicherart.

In Problemlöseprozessen wirken vier Komponenten zusammen [4], [5], die dabei von Interesse sind:

- (1) S t e r e o t y p bzw. r o u t i n i e r t vollzogene Operationen. Sie laufen ab, wenn der zu vollziehende Vorgang bzw. das anzustrebende Teilziel b e n a n n t ist. Hier planend zu untersetzen, wäre überflüssiger Zeitaufwand.
- (2) I n t u i t i v e Operationen, die durch Analogie, Assoziation, Umstrukturierung usw. neue Einfälle erbringen. Sie treten, bezogen auf die erstrebte Lösung, zufällig und spontan auf, sind also nicht p l a n b a r . Beeinflussbar ist ihre Auftritts- und Treffer-Wahrscheinlichkeit.
- (3) A l g o r i t h m i s c h s t r i k t planbare Operationen.
- (4) H e u r i s t i s c h , d . h . mit u n s c h a r f e n Methoden planbaren Operationen [6].

Alle Komponenten sind in j e d e m Problemlöseprozeß zu finden, und jede hat ihre Bedeutung: der Routineprozeß bestimmt die Effektivität, intuitive Fähigkeiten die Originalität, der Anteil algorithmischer Operationen zeigt an, wie weit der Prozeß bzw. das Gebiet rational korrekt beherrscht wird, der Anteil heuristischer Mittel deutet an, wie weit der Bearbeiter darüber hinaus fähig ist, planvoll in Neuland vorzustoßen. Die Verteilung der Komponenten hängt von der Problemsituation, von der Erfahrung, vom Kenntnisstand und vom intellektuellen Niveau des Problemlösers ab. Wer eine Routine noch nicht erworben hat, muß erst nachlesen, nach welchen Verfahren er vorgehen kann.

Wer noch keine analoge Erfahrung gemacht hat, muß sich spontan "durchwursteln" statt in heuristischer Weise zu steuern. Wer bekannte Methoden nicht beherrscht, muß sie noch einmal erfinden. Die Komponenten schließen sich nicht aus, im Gegenteil: sie bedingen sich. Intuitiver Einfall und freier Zugriff auf ein umfangreiches Routinefeld sind nicht unbedingt gegenläufig. Routiniert vollzogene Vorgänge eröffnen oft Räume, in denen assoziiert bzw. analog geschlossen wird. Angestrenktes Nachdenken über eine gesuchte Lösung - obwohl notwendig - blockiert nicht selten. Handlungen, welche die intellektuelle Potenz nicht auslasten, den Geist aber an den in Frage stehenden Problemraum ankoppeln (z.B. zeichnen, Tabellen aufstellen, durchrechnen, Korrektur lesen usw.), o-

orientieren die freie Kapazität intensiv und machen, sofern intuitive Fähigkeiten entsprechend trainiert und gepflegt sind, einschlägige Assoziationen, Analogien usw. nicht nur möglich, sondern wahrscheinlicher. Die Forderung, den Ingenieur von Routinearbeit zu befreien, damit er mehr schöpferisch arbeiten kann, kann nur soweit unwidersprochen bleiben, als man ihm Beschäftigungen, die mit seinem Problem nichts zu tun haben, soweit nur irgend möglich, ersparen sollte.

Nach den heute vorliegenden Einsichten sind drei Zielfelder zu unterscheiden, die mit methodischen Mitteln zu beeinflussen sind. Sie seien zunächst für die heuristische Komponente erläutert.

Über umfangreiche Klassen von Problemlöseprozessen lassen sich Teiloperationsfolgen abheben, die in heuristischer Weise d.h. durch Mengen von Regeln, die nicht völlig exakt ausführbar bzw. nicht vollständig detailliert formulierbar sind, vorschreiben lassen.

Solche unscharfen Methoden liegen heute

- (1) Für Etappen des eigentlichen Bearbeitungsprozesses vor (z.B. Präzisieren einer Aufgabenstellung [6], Suchen von Lösungsprinzipien [5], Bewerten von Varianten [5], [8], Vorbereiten, Durchführen und Auswerten eines Experimentes [7], Bestimmen des Informationsbedarfs [9], Verdichten von Ergebnissen [10] usw.).
- (2) Bestehen solche Methoden für die Planung eines Problemlöseprozesses (z.B. Problemsuche durch Defektanalyse [5], Problemdekomposition durch Schwachstellenanalyse [5], Aufstellen bzw. Untersetzen des Operationsplanes [5], Bewertung eines (Zwischen-) Ergebnisses in bezug auf das zu erreichende Ziel [11] usw.).
- (3) Lassen sich bestimmte Voraussetzungen, unter denen Problemlöseprozesse zu vollziehen sind, geplant erzeugen und optimieren (z.B. Themenplanung [5], Herstellen von Situationen, die intuitiven Einfällen förderlich sind [8], Leiterhandlungen in F/E-Kollektiven oder -Institutionen [12] usw.).

Diese Methoden (i.e.S.) betreffen nie den Problemlöseprozeß als ganzen, der sich aus den angegebenen Gründen nicht durchgängig planen läßt. Beschaffbar ist ein Methodenbaukasten, auf den von Fall ohne Vollständigkeitsanspruch zugegriffen werden kann. Mit der Programmbibliothek zur Systematischen Heuristik [6] liegt eine Sammlung vor, in der system-analytischen Arbeitsweise [5], [11] abgehoben, analysiert, dargestellt und gespeichert werden. Diese Arbeitsweise ist zugleich geeignet, das jeweils vorliegende Problem soweit zu analysieren, daß algorithmische und heuristische Methoden zweckentsprechend abgerufen, angepaßt und/oder entwickelt werden können. Um verschiedenen Anwenderbedingungen besser zu entsprechen [13], werden solche Methoden (i.e.S.) in verschiedenen Formen bereitgestellt (Vorschriftenfolgen in (quasi) algorithmischer Schreibweise, Fragefolgen, Muster oder auch nur als Prinzipname). Im Verlauf ihrer Anwendung werden sie nicht wesentlich untersetzt, der gewählten Superpositionsebene entsprechend sind sie vollständig ausformuliert. Im Problemlöseprozeß werden sie allerdings be-

richtigt, verfeinert bzw. detailliert.

3. Problemlöseverhalten unter Komplexität

Methoden (i.e.S.) reichen nicht aus, technische Forschungs- und Entwicklungsprozesse vernünftig zu beherrschen. Das ergibt sich auch aus der hohen Komplexität der anstehenden Probleme. Ein technischer Entwurf muß in einem außerordentlich umfangreichen und vielfältig vernetzten Kontext der Herstellung, Anwendung und der volkswirtschaftlichen Gegebenheiten technisch erfüllbar, eine Technologie muß darin zielentsprechend und realisierbar sein. Der Ingenieur vollzieht nicht nur einen einmaligen, sondern wegen der Fülle der Teilprobleme, der Dynamik der Ziele, der Menge der zu erfüllenden Anforderungen, des Umfangs zu berücksichtigender Einflüsse, Abhängigkeiten, Störgrößen und zu beachtender Nebenwirkungen auch nur unvollständig überschaubaren und in den Einzelheiten nicht völlig vorhersehbaren Prozeß. Solche Probleme sind prinzipiell nicht sequentiell bzw. geradlinig zu lösen. Es läßt sich keine Landstraße dafür abstecken. Die Aussage, daß sie nur im Aufsteigen (vom Abstrakten zum Konkreten, vom Prinzip zum Detail, vom Zentrum zur Peripherie usw.) zu bewältigen sind [4], [14], wird allgemein akzeptiert, sagt aber nicht, wie man dazu beitragen kann, dies effektiv zu tun.

Zu solchen Sachverhalten legte in letzter Zeit die Psychologie neue Erkenntnisse vor [15]^x. Danach wird die Leistung eines Problemlösers unter Komplexität wesentlich davon beeinflusst, ob bzw. wie weit er seinen Weg rational beherrscht, d.h. in der Lage ist, sich selbst "vernünftig" über den Prozeß zu steuern. Kennzeichnend für solches rationales Verhalten sind vor allem: die Fähigkeit zu analysieren, aus der Erfahrung zu lernen, das Vorgehen adaptiv zu regeln, sich konzeptionell zu orientieren, das Problemverständnis in Übereinstimmung mit dem Problemsachverhalt zu bringen, Informationen zu strukturieren, in gebote-

^x) Allerdings besteht folgender prinzipieller Unterschied: Im Lohausen-Experiment wurde der Problemlöser danach beurteilt, mit welchen Ergebnissen er ein komplexes (als real existierend simuliertes) System durch Variation von Stellgrößen über einen längeren Zeitraum beeinflusste. Die Versuchsperson befand sich in der Situation eines Managers. In der technischen Vorbereitung wird die Effektivität des Ingenieurs daran gemessen, in welcher Zeit, mit welchem Aufwand und in welcher Qualität er eine sehr komplexe Menge von Information erzeugt, die erst nachfolgend als Verfahrensdokumentation, als Entwurf bzw. als Technologie der Steuerung real existierender Systeme zugrunde gelegt wird. Es ist demnach ein Informationsprozeß anderer Ebene, und es gelten andere Gütekriterien (Erfüllbarkeit, zweckentsprechende Realisierbarkeit bzw. Reproduzierbarkeit).

ner Weise zu abstrahieren, mehrdimensional und gründlich fundiert zu entscheiden, in entsprechender Frontbreite Maßnahmen zu planen, an einer gewählten Absicht festzuhalten, sie zu verfolgen usw. Kognitive Notfallreaktionen mindern dagegen die Problemlöseleistung. Dann wird nicht mehr grundlich analysiert, es wird ad hoc, auf der Grundlage von Reiz-Reaktionsketten, also wenig fundiert, entschieden. Die Maßnahmen wechseln überflexibel rasch. Der Bearbeiter springt, er vagabundiert von einem Teilproblem zum anderen, pröbelt. Andererseits wird sein Verhalten konservativ. Er hört auf, Lehren anzunehmen, kapselt sich vielmehr unter Verweis auf frühere Erfahrung ab oder zieht sich auf eine Traumwelt zurück. Er wird nervös und unsicher, zeigt übertriebenes Sicherungsverhalten, flieht vor Entscheidungen, schiebt diese vor sich her oder anderen zu. Schließlich resigniert er, distanziiert sich von seiner Aufgabe, nicht selten wird sein Verhalten aggressiv.

Welches Verhalten dominiert, wie schnell, wie lange und wie tiefgreifend Notfallreaktionen den Prozeß stören bzw. unterbrechen können, hängt davon ab, wie weit der Bearbeiter überzeugt ist, für das Problem kompetent zu sein; ob er glaubt, Erfolg haben zu können. Sofern die Kompetenz des Problemlösers wesentlich unter dem Anforderungsniveau der Prozeßkomplexität liegt, bilden sich negative Emotionen (z.B. Angst, Mut, Verzweiflung usw.) aus. Diese machen die Umschaltreaktion wahrscheinlicher^x.

Die aktuelle Kompetenz wird bedingt durch:

- die epistemische Kompetenz, die auf dem Faktenwissen und dem Vorrat an algorithmischen und heuristischen Methoden beruht und durch
- die heuristische Kompetenz, die, basierend auf vorliegenden (Erfolgs-) Erfahrungen überzeugt sein läßt "das müßte doch zu machen sein".

Die heuristische Kompetenz hängt erstrangig davon ab, wie weit der Bearbeiter bestimmte intellektuelle Verfahren beherrscht. Dazu gehören vor allem: Analyse der Situation, Bildung von Teilzielen, Ordnung der Teilziele nach dem Auswahldruck, reelle Zeitplanung, Erarbeitung und Bewertung von Maßnahmen, Analyse eintretender Ereignisse usw. Für die Ausbildung, Fortentwicklung, Pflege und Anpassung der heuristischen Kompetenz sowie für die Entfaltung einer problemadäquaten Vorgehensweise in einem komplexen Prozeß, in dem Ziele, Fragestellungen und Situationen ständig wechseln, kann weder eine invariante Methode (i.o.S.) noch ein allgemeingültiges Ablaufschema vorgegeben werden. Selbst der Bearbeiter kann im vorhinein keinen sicheren Plan entwerfen. Wie er erfolgreich das Ziel richtig ausgebildet hat und zu ihm vor-

^x Es ist anzunehmen, daß dafür auch nicht-kognitive persönlichkeitspsychologische Faktoren (Standhaftigkeit, Ausdauer, Mut, Berufsethos usw.) eine Rolle spielen.

gedrungen ist, weiß er konkret, wenn er es erreicht hat.

Unsere Erfahrungen haben aber erwiesen [4] daß sich gleitendes adaptives Vorgehen durch geeignete Mittel methodisch stützen läßt. Dazu werden relativ wenig Regeln bzw. geeignete Muster vorgegeben. Von Fall zu Fall gekonnt angewendet, lassen sie die während des Prozesses sich einstellenden Situationen analysieren, zweckmäßig erscheinende Methoden bzw. Routinen und Stereotype, aber auch Fakten aufrufen, aktualisieren, einsetzen bzw. entwickeln und damit erfolgversprechende Maßnahmen bzw. Festsetzungen erarbeiten. Sie helfen so, das kognitive know-how über dem Prozeß zu entwickeln und die heuristische Kompetenz auf solcher Höhe zu halten, daß kognitive Notfallreaktionen mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen bleiben. Solche Heurismen^x werden im Prozeß stark untersetzt, sind also in der für den Fall sich einstellenden Ausprägung nicht auf andere Prozesse übertragbar. Es entwickelt sich aber die heuristische Struktur des erfolgreichen Bearbeiters.

In unserer Praxis wurden gute Erfolge dann erzielt, wenn es gelang, Themenverantwortliche dazu anzuhalten, ihr mittels der systemwissenschaftlichen Arbeitsweise [5] erarbeitetes Problemverständnis in einer Matrix darzustellen. Wenn diese dann gleitend über den Prozeß fortgeschrieben [8] und dazu genutzt wird u.a.

- die Aufgabenstellung näher zu präzisieren,
- das Problem weiter in Teilziele zu zerlegen,
- den Informationsbedarf gleitend zu bestimmen,
- Informationen anzufordern, zu bewerten und einzuordnen,
- Beobachtungen, Meßwerte bzw. die Ergebnisse ihrer Verarbeitung zu beurteilen,
- jedes einzelne Experiment, die bis dahin erfaßten Abhängigkeiten berücksichtigend, zu planen,
- den jeweils eingetretenen Bearbeitungs- und Erkenntnisstand zu bewerten und
- dementsprechend über weitere Fragestellungen, Konsequenzen bzw. Abbruch zu befinden,

so wird der für den Bearbeiter beherrschbare, durchschaubare bzw. durchstehbare Grad an Komplexität erhöht.

Diese Beobachtung ist mit der uns heute vorliegenden psychologischen Theorie [16] dahingehend zu deuten, daß der Bearbeiter mit der Problem-

^x Es muß betont werden, daß sich Methoden (i.e.S.) und diese heuristischen Orientierungsmittel nicht nur quantitativ, etwa in dem Sinne unterscheiden, daß letztere noch unscharfer sind. Sie sind qualitativ verschieden. Erstere werden dem Problemlöser vorgegeben, letztere werden von ihm eigenständig im Prozeß der Problembearbeitung entfaltet.

matrix seine interne Wissensrepräsentation extern abbildet. Dabei ordnet er nicht nur, er strukturiert, macht somit überschaubarer und auch manipulierbarer. Vor allem aber wird sein Kurzzeitspeicher frei, die anstehenden kognitiven Operationen zu steuern. Außerdem werden in dieser Form bzw. die Verfahren aktualisiert, gepflegt und trainiert, von denen die heuristische Kompetenz abhängt.

Je besser derartige heuristische Orientierungsmittel beherrscht, umso weniger wird es notwendig und sinnvoll, den Problemlöser methodisch anzuleiten bzw. zu betreuen. Das ist außerordentlich vorteilhaft, weil er dann situations- und persönlichkeitsabhängig seine Fähigkeiten, Fertigkeiten und Erfahrungen viel intensiver aktualisiert und entwickelt.

Die Problemmatrizen sind dafür ein Anfang, ein Versuch, ein Beispiel. Sie wurden nicht aus der psychologischen Theorie hergeleitet, sondern im Prozeß der Anleitung vom Themenverantwortlichen zu deren Unterstützung erfunden [17].

Die Erkenntnisse psychologischer Forschung bestätigen uns nun, daß der eingeschlagene Weg prinzipiell richtig orientiert ist. Die Praxis lehrte in der Zwischenzeit, daß der Aufbau einer Problemmatrix durchaus nicht immer einfach ist. Das kann langwierig sein und für verschiedene Problemklassen sind unterschiedliche Matrixstrukturen bzw. -interpretationen anzuraten. Es ist auch nicht sicher, ob die Matrixform für alle Vorgehensweisen (z.B. für die Modellbildung und -simulation) geeignet ist. Es bleibt also fragwürdig, ob damit schon die wirkungsvollste Form gefunden ist.

4. Der Denkstil des Ingenieurs

Weitere Erkenntnisse der Psychologie regen aber auch dazu an, das uns vorliegende Beobachtungsmaterial neu zu durchdenken und auf diese Weise weitere methodische Ansatzmöglichkeiten zu erschließen.

Psychologische Experimente wiesen nach (z.B. [18], [19], [20]), daß Experten im Unterschied zu Laien Fakten wesentlich stärker strukturiert aufnehmen, selektieren bzw. behandeln. Sie arbeiten auch Algorithmen und andere Methoden stärker strukturiert ab. Das wird daraus erklärt, daß jeder Fachmann im Verlaufe seiner Tätigkeit, meist über viele Jahre Clusters ausbildet, mit denen er dann undifferenziert umgeht. Dies ermöglicht ihm, umfangreiche Komplexe rasch zu durchschauen, ganze "logisch" notwendige Operationsfolgen im Block bzw. parallel abzuhandeln, wenigstens zeitweise von Einzelheiten sich zu lösen, ohne in "nackte" Abstraktion zu verfallen, das ganze Problemterrain erst einmal in einem globalen "Durchmarsch" zu besichtigen, um danach hierarchisch geordnet vorzugehen, in weitgreifenden Analogien zu denken usw. Deshalb ist die aktuelle Kompetenz des Experten erheblich größer als die des Laien.

Diskutiert man nun mit einem Ingenieur über sein Problem, holt er i.allg. sehr bald Papier und Schreibgerät und fängt an zu "malen". Was dabei auf das Papier "ausgelagert" wird, unterscheidet sich vzw. berufsgebunden erheblich, aber fast immer sind es graphische Strukturen. Wer mit mechanischen Vorgängen zu tun hat, stellt i.allg. in gestaltähnlichen Skizzen dar, der technische Mechaniker dagegen in Strich- oder Balkenmodellen. Wer über thermodynamische Prozesse arbeitet, bevorzugt Diagramme. Der Verfahrenstechnologe benutzt Tabellen, auch Nomogramme bzw. die Prinzipskizze. Der Elektriker beschreibt die Schaltung in anderer Weise und mit anderen Symbolen als der Elektroniker oder der Hydraulikfachmann. Der Systemanalytiker verwendet Matrizen oder Graphen. Die Gegenstände, über die nachgedacht wird, und die Ziele, die angestrebt werden, bedingen anscheinend, daß Information in v e r s c h i e d e n e r W e i s e strukturiert und in u n t e r s c h i e d l i c h e n F o r m e n manipuliert wird. Der Denkstil der Ingenieurberufe ist dementsprechend heterogen. Wir nehmen an, daß davon die Vorgehensweise unter Komplexität und die Problemlöseleistung stark beeinflusst bzw. gesteuert wird. Dafür sprechen psychologische Befunde [21] die nachweisen, daß die Art und Weise der Codierung von Informationsangebot und Leistungsanforderung die Verarbeitungszeit erheblich beeinflussen.

Mit Entwicklung der Technik und der gesellschaftlichen Anforderungen an technische Lösungen verändern sich auch die in Forschung und Entwicklung zu vollziehenden Denkprozesse und es ist zu fragen, ob sie mit dem traditionell ausgebildeten Denkstil zu bewältigen sind. Der Übergang zu voll automatisierten technischen Systemen (z.B. Schweißroboter) ist doch nur dann sinnvoll, wenn die Produktionsqualität im wesentlichen nicht durch nachträgliche Kontrolle, sondern während des erforderlichen Vorgangs gesichert wird. Dementsprechend kann das Verfahren nicht mehr als Blackbox betrachtet werden. Man muß es in seinen wesentlichen physikalischen, chemischen bzw. biologischen Komponenten b e g r e i f e n u n d b e h e r r s c h e n . Dazu bedarf es einerseits der Fähigkeit, vom technologischen Ablauf auf die Funktion, auf die Wirkpaarung bzw. auf den kausalen Effekt zu abstrahieren. Andererseits muß das hochkomplexe Geschehen durchschaubar gehalten werden, und es ist zu beobachten, daß dazu die beim Technologen traditionell ausgebildeten Clusters unverändert nicht taugen. Nach wie vor sind aber t e c h n i s c h e und nicht naturwissenschaftliche Probleme zu lösen; d.h. der Denkstil des Ingenieurs kann nicht durch den des Naturwissenschaftlers ersetzt, er muß fortentwickelt werden. Ähnlich verhält es sich, wenn der Maschinenkonstrukteur, um schärfer zu optimieren, immer umfangreichere (Teil-) Systeme mathematisch modellieren muß, um ihr Verhalten rechenstechnisch simulieren zu können. Dann genügt es nicht mehr, zu sehen "wie sich etwas dreht". Auch dann, wenn sehr große technische Systeme ökonomisch nur noch durch "Prototyping" zu entwickeln sind, ändern sich die kognitiven Anforderungen an den Entwicklungs- und Versuchsfeldingenieur ebenfalls derart ein-

schneidend, daß sich Denkstil und Vorgehensweise erheblich wandeln müssen.

Hier bietet sich der Methodik ein weiteres Aufgabenfeld, das bisher kaum beachtet wurde. Die sich aufdrängenden Fragen sind noch nicht durchdacht und viele der anstehenden Probleme noch nicht begriffen. Es ist aber zu vermuten, daß heuristische Mittel dazu beitragen können, den Denkstil zweckentsprechend zu wandeln, anzupassen bzw. zu entwickeln. Dabei stecken wir noch nicht einmal in den Kinderschuhen.

5. Auf dem Wege zur Denktechnologie

In der Entwicklung der Technik zeichnen sich, relativ unabhängig davon, ob es sich um die Ver- oder Bearbeitungsprozedur, um den Antrieb oder um die Steuerung handelt, typische Etappen ab.

Solange der Mensch mit seinen Kräften, seinen Organen bzw. seinen Fähigkeiten die Vorgänge unmittelbar ausführt, konzentriert man sich darauf,

- die menschliche Fähigkeit durch Training, Organisation, Arbeitsteilung, Kooperation u.ä. effektiver zu gestalten und/oder
- zwischen Mensch und Arbeitsgegenstand vermittelnde Glieder - Werkzeuge, Vorrichtungen, Hilfsmittel - einzuschleiben, die transformieren, anpassen aber auch extern manipulieren lassen - der Hebel, die Kurbel, der Abakus.

Dazu bedarf es der phänomenologischen Beobachtung des Menschen in seiner Arbeit. Aus dieser erwachsen entsprechende Erfindungen. Sobald technische Systeme entstehen, die kraftvoller, schneller, genauer, zuverlässiger bzw. ausdauernder als der Mensch wirken können - z.B. die Dampfmaschine - werden diese zur technisch bestimmenden Seite im Prozeß.

Es entsteht eine Technologie. Diese bestimmt die jeweilige Gesellschaft zwar in ihrer Wirkrichtung, aber nur unter dem Preis der Einbeziehung und Einordnung des Arbeitenden in das technologische Regime. Erreichen solche Techniken hinreichend volkswirtschaftliche Relevanz, werden sie zum Gegenstand technischer Wissenschaften. Diese zielen darauf ab - durch empirische und theoretische Untersuchungen der in Frage stehenden Sachverhalte, Voraussetzungen dafür zu schaffen, die Systeme zu bewerten, zu optimieren, ihre Grenzen und deren Ursachen zu erkennen.

Von naturwissenschaftlichen Entdeckungen ausgehend, werden auch neue, leistungsfähigere Wirkprinzipie entwickelt - der Elektromotor, das Elektronenstrahlschweißen usw.

Diese wissenschaftlich fundierten Erfindungen eröffnen dann neuerlich technologische Räume, wiederum mit weiteren technikkwissenschaftlichen Problemen.

Die elektronische Rechentechnik realisiert logische Funktionen wesentlich schneller, zuverlässiger und ausdauernder als der Mensch. Je lei-

stungsfähiger und handlicher sie wird, je mehr man in der Lage ist, auch komplexe Informationsverarbeitungsprozesse damit zu unterstützen, umso mehr wird auch hier der Mensch in eine Technologie einbezogen. In dieser kann nicht nur effektiver gearbeitet werden, in ihr entstehen auch Probleme /22/, weil bisherige Abläufe verschwinden, unterbrochen, anders gekoppelt, bzw. verändert werden. Anforderungen verlagern sich, traditionelle Bindungen - z.B. zwischen manueller und intellektueller Tätigkeit - werden gelöst und in anderen Bindungen - z.B. mittels Tastenfeld - werden Informationen in völlig anderer Weise ausgegeben und manipulierbar als bisher - die Graphik /23/. Insofern besteht Analogie zur bisherigen Geschichte. Die entsprechenden technischen Wissenschaften orientieren sich zunächst ebenfalls analog. Sie schaffen exakt fundierte Voraussetzungen zu bewerten, zu optimieren, zu miniaturisieren, die Trägenenergien und damit die Verlustleistungen zu verringern, die Verarbeitungsgeschwindigkeiten zu erhöhen, die Steuerbarkeit zu erleichtern, höher komplizierte bzw. anders geartete Prozesse zu ermöglichen.

Mit dieser Analogie ist aber das Wesen der neuen Technik gerade nicht begriffen. Die bisherigen Technologien liefen darauf hinaus, den Menschen mit seinen beschränkten Kräften, Organen bzw. Fähigkeiten durch technisch bewältigte Natur zu ersetzen. Jetzt geht es darum, die intellektuelle Fähigkeit, die nur der Mensch mit seinem Gattungswesen /24/ entwickelt hat, die es also außer ihm in der Natur nicht gibt, zu entfalten. Dabei kann dem Menschen diese oder jene Operation abgenommen werden, seine Operationsfähigkeit kann durch technische "Organe" ergänzt werden man kann ihm aber aus dem Prozeß insgesamt nicht entlassen. Im Gegenteil, je mehr die Rechentechnik simulieren bzw. imitieren kann, umso höhere Anforderungen werden an die Steuerung gestellt, umso intensiver werden die Schnittstellen belegt und umso komplexere Prozesse sind in der Symbiose auszuführen. Umso sicherer müssen also in diesem Falle die Schnittstellen und die darüber laufenden Informationsflüsse dem Menschen entsprochen und durch ihn beherrschbar sein. Die Rechentechnik ist bisher Werkzeug menschlicher Tätigkeit. Sie wird auch in der heute absehbaren Zeit kein autonom funktionierendes technisches System sein und es bleibt zu fragen, ob sie jemals mehr sein kann und mehr sein darf.

Ein Werkzeug aber erfüllt umso besser seinen Zweck, je besser es auf die menschlichen Organe abgestimmt ist, denen es funktionell dienen bzw. deren Wirkung es vermitteln soll. Da diese Organe nunmehr der neurophysiologische Apparat, die Funktion die menschliche Intelligenz ist, wird die Entwicklung dieses technischen Zweiges immer mehr von Forschungen beeinflusst, die sich mit diesem Apparat und mit diesen Prozessen befassen. Das stellt nicht nur an die Neurophysiologie und an verschiedene Zweige der Psychologie prinzipiell neue Fragen. Auch die technischen Wissenschaften als operationale Disziplinen, deren Aufgabe darin

besteht, Methoden vorzugeben, wie man vorzugehen hat, um technische Sachverhalte erfüllbar zu antizipieren bzw. zweckentsprechend festzusetzen, müssen ihre eigene Position kritisch überprüfen. Die heute zur Ingenieurarbeit vorliegenden methodischen Ansätze gehen im wesentlichen auf zwei Quellen zurück:

Aus empirischer Untersuchung technischer Sachverhalte entstanden (1) sowohl Faktenspeicher (v.a. Tabellen) als auch Sammlungen von Formeln und anderen Arbeitshilfen - z.B. Diagramme bzw. Nomogramme. Aus der praktischen Arbeit entstanden Vorschriften darüber, wie externe Repräsentationen - z.B. Zeichnungen usw. - anzulegen und auszuführen sind. Alles das ermöglicht, zu ausgewählten Teilaspekten in zunächst hinreichender Näherung festzusetzen. Die implizite methodische Funktion - also die Tatsache, daß normiert und nicht rein abbildend beschrieben wird - bleibt i.allg. unterschwellig. Es wird darüber auch heute so gut nicht reflektiert. Die Praxis selektierte Geeignetes bzw. dem jeweiligen Denkstil Adäquates aus angebotenen Varianten. Nicht selten schrieben die ersten Publikationen auf einem Gebiet den Denkstil fest und begründeten eine später unbesehen fortgesetzte, bestenfalls kritisch verbesserte, methodische Tradition, welche die Illusion nährt, man betriebe deskriptive Theorie. Gerade diese Illusion hindert einzusehen, daß empirische Fundierung einer Formel, eines Diagramms usw. aus dem technischen Sachverhalt zwar eine notwendige Voraussetzung dafür ist, daß ihre Anwendung die Qualität der Ingenieurarbeit verbessert, da diese empirische Fundierung aber nicht hinreichen kann, menschliche Problemlöseprozesse effektiv zu normieren. Dazu muß auch erforscht werden, wie weit sie dem menschlichen Problemlöser - ebenso objektiv - entspricht.

(2) Einzelne Ingenieure hoben ihre Erfahrungen [25], [26], [27] in phänomenologischer Weise ab. Dabei wurden Methoden (i.e.S.) formuliert und versucht Arbeitsphasen komplexerer Prozesse in Ablaufschemata zu ordnen. Nachfolgend wurde logisch - methodologisch analysiert, die Zuverlässigkeit abgeschätzt und geordnet gespeichert /28/, /29/. Ob damit die Effektivität tatsächlich verbessert wird, wurde nicht exakt nachgewiesen. Einige Versuche wurden unternommen, Methoden bzw. Ablaufschemata aus einer Theorie technischer Systeme herzuleiten, wie weit diese aber neurophysiologischen Gegebenheiten entsprechen wurde nur in wenigen Fällen zufällig geklärt. Struktur, Darstellungsart, Zeichenträger, Komplexität der Vorschriftenmenge usw. wurden nicht bewertet; die Grenzen nicht abgesteckt und nicht selten recht unkritisch allgemeine Anwendung empfohlen. Das ist kein Vorwurf, kein Abwerten, gleich gar Aufgaben des bisher Erreichten. Wir könnten ohne die vorliegenden Erfahrungen und Einsichten keine sachlich - kritischen Fragen stellen.

Es ist also heute hinsichtlich der Ingenieurmethodik allgemein unsicher, wie weit die vorliegenden Ansätze den vorstehend charakterisierten Sachverhalten, Gegebenheiten bzw. Anforderungen entsprechen. Vor allem im Zusammenhang mit CAD/CAM Entwicklungen ist daher zu fordern [24], [25], [4], Arbeitsprozessen des Ingenieurs und physiologisch-psychologische Gegebenheiten empirisch zu untersuchen, um richtig zu fundieren.

Dazu zeichnen sich drei Richtungen ab:

- (1) Begleituntersuchungen darüber, wie sich der Einsatz von rechnerunterstützten Systemen bzw. Arbeitsplätzen tatsächlich in arbeitsorganisatorischer, soziologischer, methodischer u.a. Hinsicht auswirkt, welche Anforderungen an Aus- und Weiterbildung auftreten. Eine vorliegende Studie [22] weist nach, daß vieles sich anders ergibt, als man mit dem "gesunden Menschenverstand" angenommen hat und vieles eintritt, was man sich nicht vorgestellt hat oder auch nicht vorstellen konnte. Man soll doch nicht vergessen, daß auch hier der technologisch gesetzte Kontext so komplex ist, daß er wie überall - rein diskurs nicht völlig durchschaubar ist, also der experimentellen Erprobung bedarf. Naturgemäß gehen dabei die jeweiligen gesellschaftlichen Strukturen als wesentliche Einflußfaktoren ein, sodaß Aussagen über Auswirkungen unter kapitalistischen Verhältnissen für uns nicht ohne weiteres zu übernehmen sind.
- (2) Arbeits- und ingenieurpsychologische Vorlauf- und Begleitforschung, mit dem Ziel zu klären, wie Schnittstellen und Informationsflüsse im Dialog aber auch Arbeitsorganisation und andere Umstände unter denen der Prozeß verläuft, optimal zu gestalten sind.
- (3) Methodisch orientierte Vorlauf- und Begleitforschung, mit dem Ziel zu klären, wie der Informationsverarbeitungsprozeß, zunehmend den rechnerunterstützten Dialog berücksichtigend, von Bearbeiter und Leiter so zu planen und zu vollziehen ist, daß er mit hoher Problemlöseleistung effektiv abläuft.

Die Entwicklung zur Denktechnologie macht solche Untersuchungen nunmehr unumgänglich. Es wäre aber grundsätzlich falsch und einseitig, ihren Umfang und ihre Bedeutung auf CAD/CAM einzuschränken. Es geht auch nicht in erster Linie darum, den Intelligenzgrad von CAD/CAM-Systemen dadurch zu erhöhen, daß die Erfahrungen der Ingenieure sich in Dialogsystemen stärker abbilden.

6. Probleme einer empirischen Methodikforschung

Der Versuch, untersetzend Fragen aufzuzählen, beabsichtigt natürlich nicht, vollständig zu sein. Ingenieure, Psychologen und Methodologen sollen zum Nachdenken angeregt werden.

(1) Empirisch fundierte Methoden (i.e.S.) können Problemlöseleistungen signifikant verbessern. Das wird weder für mathematisch bzw. logisch strikt vorgeschriebene Prozeduren (z.B. FEM) noch für heuristisch unscharf vorgegebene Methoden bezweifelt (z.B. Dekomposition von Komplexproblemen, Präzisierung der Aufgabenstellung). Aber nicht alle Methoden sind empirisch fundiert (z.B. die Berechnung von Kehlnähten nach der Nennspannung [39] oder die heuristischen Suchverfahren [5]) und nur zufällig sind Methoden hinsichtlich der Gegebenheiten beim Problemlöser optimiert - so die Mollier-Diagramme im Gegensatz z.B. zu den mathematisch-statistischen Verfahren der Versuchsplanung und -Auswertung.

Es bleibt mithin nachzuweisen, in welchen Grenzen und mit welchem Effekt die Anwendung vorgeschlagener Methoden die Problemlöseleistung verändert.

Es bleibt zu untersuchen, welche Eigenschaften und Merkmale methodischer Vorschriften (Systeme) die Problemlöseleistung bei gegebener Problemlösungsklasse signifikant verbessern bzw. verschlechtern. Dazu gehören die Art der Darbietung, die Detailliertheit der Vorgaben und die Art der Darstellung, die Zeichenträger, die Komplexität bzw. Kompliziertheit der Vorschriftenmenge und ihre Strukturierung.

Zu prüfen ist auch, welche Speicherstrukturen besonders geeignet sind und welche weißen Felder noch zu belegen waren.

(2) Vorgehen bzw. Verhalten unter Komplexität kann methodisch so unterstützt werden, daß die aktuelle Kompetenz des Problemlösers gepflegt, entwickelt und auf dem erforderlichen Niveau gehalten wird. Nachzuprüfen bleibt, ob die heute vorgeschlagenen Orientierungsmittel tatsächlich die Leistung signifikant verbessern.

Zu untersuchen ist, über welche Problemklassen der technischen Forschung und Entwicklung die heute vorliegenden Erfahrungen [1], [17] und Erkenntnisse [15] sinnvoll, d.h. mit Verbesserung der Leistung, transferierbar sind. Dazu wäre zunächst eine Problemklassifikation zu beschaffen, die wesentlich unterschiedliche Anforderungsbilder klar erfassen und definieren läßt. Aus Leistungsstufe, Neuheitsgrad der Aufgabe, Hierarchieebene der Objekte, aber auch aus der der Bearbeitung unterliegenden Funktionswertklasse ist nämlich nicht auf die Komplexität und Anforderungshöhe des Lösungsprozesses zu schließen.

Ferner ist - über diese Problemklassifikation untersetzt - zu erforschen, ob sich klasseninvariante Strategien abheben, optimieren und vorgeben lassen. Dabei wäre die nur gleitend mögliche Bestimmung der Ziele, der Vorgehensplanung und des Informationsbedarfs ebenso zu berücksichtigen wie die allmähliche Näherung an detaillierte Festsetzung und das Oszillieren von Abstraktion und Konkretion, von Aufsteigen und Absteigen. Zu beachten wäre das Verhältnis von Diskriminierung und Komplexbildung, von diffus ganzheitlicher und analytisch-synthetisierender Festsetzung; von sequentieller, paralleler oder vernetzter Arbeitsweise; von Routine, geplanten Arbeitsfolgen und Intuition.

(3) Erwiesen ist, daß die unter "Denkstil" subsummierte Strukturierung und Codierung von Information die Problemlöseleistung beeinflussen.

Es bleibt zu fragen:

Welche weiteren Faktoren spezifizieren den Denkstil des Ingenieurs z.B. gegenüber dem des "exakten" Wissenschaftlers - die Festsetzung, die mit dem Ingenieurprinzip bewußt angestrebte zulässige Unschärfe, das "Durchwursteln" ?

Wie muß sich der Denkstil über die Problemklassen unterscheiden?

Welche Merkmale und Eigenschaften sind für unterschiedlichen Denkstil relevant - Formen, Strukturen und Zeichen kognitiver Repräsentation für konkrete und/oder abstrakte gedankliche Inhalte, ihre Auflösung, Clusterung bzw. Diffusheit, ihre Codierung?

Welche Rolle spielen diffuse, analytisch aufgehellte und synthetisierend aufgebaute Vorstellungen bei verschiedenen Problemklassen, Situationen und Arbeitsphasen?

Welche Übergänge, Wandlungen, Verschmelzungen, Intergrationen und Differenzierungen sind typisch und erforderlich? Wie können sie unterstützt werden?

7. Notwendige Wissenschaftskooperation und ihre Probleme

Nun soll versucht werden, einschlägig erscheinenden Wissenschaftsdisziplinen, Probleme zur Diskussion anzubieten. Es wird sicher eines längeren Zeitraumes der Annäherung bedürfen, nicht nur, um Vorbehalte, Mißverständnisse und Sprachbarrieren abzubauen, sondern auch, um sehr kritisch zu prüfen, was in den verschiedenen Wissenschaftszweigen mit den dort entwickelten Methoden überhaupt machbar und akzeptabel ist, ohne das Profil der jeweiligen Disziplin zu verlassen, und was aber andererseits der Konstruktionstechnik auch wirklich praktisch nützen könnte. Sonst entstehen Erwartungshaltungen, die nicht zu erfüllen sind und damit Enttäuschungen, die der Sache schaden würde.

(1) Studien zur Geschichte der technischen Wissenschaften könnten Aufschluß darüber geben, wie sich Methoden herausgebildet und in ihren Merkmalen bzw. Eigenschaften gewandelt haben; wie sich die Entwicklung des Denkstils in den Publikationen, als Formen externer Repräsentation, niedergeschlagen hat und wie sich ingenieurpädagogische Verfahren ausgebildet und gewandelt haben, in denen Vorgehensweisen und Denkstil trainiert werden. Das Problem liegt hier sicher darin, ob solche Fragen von Wissenschaftshistorikern in der erforderlichen Konkretheit als disziplinrelevant anerkannt werden könnten. Es wären doch primär die Geschichte intellektueller Prozesse und nur sekundär - als notwendige Begleitpro-

blematik - die Geschichte technischer Systeme zu untersuchen.

(2) Die in phänomenologischer Weise beobachtende und reflektierende Ingenieurmethodik müßte erstrangig Grundlagen dafür schaffen, technische Probleme so zu klassifizieren, daß umfangreiche Klassen mit vergleichbarer intellektueller Problemlöseanforderung abgedeckt werden können, über die alle weiteren Forschungen zu differenzieren wären. Von dieser Arbeitsrichtung wären auch weiße Felder aufzusuchen, für die es lohnt, weitere Methoden und neuartige Orientierungsmittel zu erarbeiten. Zu klären wäre ferner, welche gegenwärtigen und absehbaren Anforderungen Wandlungen im Denkstil erfordern und mit welchen methodischen Mitteln der Ingenieur in diesem Prozeß unterstützt werden könnte. Das gilt auch für ingenieurpädagogische Methoden und Vorgehensweisen.

Das Problem besteht hier einerseits darin, die Konstruktionsmethodiker herkömmlicher Observanz davon zu überzeugen, daß - die bisherigen Untersuchungen - so wertvoll die vorliegenden Darstellungen auch sind - in Grenzen liegen, die nunmehr überschritten werden müssen, daß

- die bisher übliche logische, systemanalytische bzw. erkenntnistheoretische Kritik, Darstellung und Grenzbestimmung abgehobener Erfahrungen dazu nicht ausreicht, sondern
- Fallstudien bzw. gründliche Analyse umfangreichen empirischen Materials und/oder repräsentativer Mengen zu vollziehender Prozesse erforderlich ist.

Es besteht andererseits darin, die Ingenieurwissenschaftler der verschiedenen Fachrichtungen davon zu überzeugen, daß sie die ihrer Disziplin immanente methodologische Problematik nicht mehr ungestraft unterschwellig bzw. mehr oder weniger spontan behandeln dürfen methodisches Selbstbewußtsein entwickeln müssen.

(3) Problemangebote an die Psychologie müssen berücksichtigen, daß sich Psychologie und Denktechnologie prinzipiell analog wie Naturwissenschaft und Technik verhalten, folgende wesentliche Unterschiede also nicht übersehen werden dürfen:

Denkpsychologie

- deskriptive Abbildung, Forschung über kognitive Verfahren, Verhalten und Funktionen
- experimentelle Untersuchung unter normalisierten Bedingungen bei einer repräsentativen Menge von Vpn pro Fall
- Verifikation bzw. Falsifi-

Denktechnologie

- normative Festsetzung, Erfindung von Mitteln zum Zwecke der Rationalisierung und/oder Organisation intellektueller Prozesse
- Verhaltens-, Ergebnis- bzw. Prozeßbeobachtung an Einzelpersonen bei einer repräsentativen Menge von einmaligen Fällen, die in den Umfang einer Klasse fallen
- Bewährung bzw. Nichtbewährung

kation von Hypothesen
(Gesetzesaussagen)

eingesetzter Methoden und Mittel

Bisher waren in der Wechselwirkung beider Disziplinen folgende Beziehungen typisch:

Wenigstens bis W. Wundt behandelten Psychologen, sofern sie Lehrbücher zur Logik schrieben, auch denktechnologische Fragen (Definitions-, Klassifikationsmethoden, Verfahren zur Hypothesenbildung, Regeln zur Erhöhung der Wahrscheinlichkeit reduktiver Schlüsse usw.).

Denkpsychologische Einsichten, vzw. der Gestaltpsychologie, wirkten als Anstoß für methodische Erfindungen - z.B. der Synectic - Spätere, experimentell fundierte denkpsychologische Erkenntnisse (z.B. [31], [32], [33], [12]) erhöhten den Bestätigungsgrad denktechnologischer Ansätze, die teilweise vorher, teilweise parallel entstanden bzw. halfen sie, deren Grenzen zu erkennen - Problemzerlegung, gleitende Planung, 3-Ebenen-Modell, Problemdefinition, Angemessenheit algorithmischer und nicht-algorithmischer Darstellungsweisen usw.-.

In jüngster Zeit wirkten die bereits erwähnten denkpsychologischen Erkenntnisse sowohl der Feldforschung (z.B. [12]) als auch elementarisierter Untersuchungen z.B. [16] als Anlaß, vorliegende Beobachtungen bzw. gesammeltes Material und Erfahrungen unter anderen Fragestellungen neu zu durchdringen oder Vermutungen zu prüfen - die Problemmatrizen, die matrixartige Strukturierung und Einschätzung vorliegenden Wissens [17], die Heterogenität des Denkstils und seiner Erscheinungsformen usw.

Schließlich ist zu bedenken, daß die Psychologie heute fast durchweg auf experimentelle Fundierung bedacht ist. Obwohl das entsprechende Instrumentarium weit entwickelt ist, werden sich nicht alle, die Denktechnologie interessierenden Fragen in solcher Weise behandeln lassen. Schon deshalb, weil man in der experimentellen Situation z.T. sehr weit von der tatsächlichen Komplexität abstrahiert, unter denen sich der Ingenieur bewähren muß. Es ist aber auch fraglich, ob sich aussagefähige experimentelle Untersuchungen an einmaligen Vorgängen, die über lange Zeiträume laufen, überhaupt machen lassen. Wir müssen also einen evtl. längeren Zeitraum akzeptieren, in dem verständnisvoll und behutsam, über die nun einmal vorhandenen Barrieren hinweg, zusammen beraten, gearbeitet und geprüft wird, was anzugehen ist bzw. wie sinnvoll transferiert werden kann.

In diesem Sinne ist die psychologische F e l d f o r s c h u n g zu fragen, ob mit dem Lohausen-Experiment [15] alle wesentlichen kognitiven Verfahren erkannt sind, welche die aktuelle Kompetenz beeinflussen, ob sich die Gewichtung dieser Verfahren in Abhängigkeit vom Realitätsausschnitt und vom Zustand des Problemlösers verändert, welche Rolle der Grad der Beherrschung dieser Verfahren durch den Problemlöser spielt, und welche nicht-kognitiven Faktoren das Verhalten eines Problemlösers beeinflussen?

Wünschenswert wäre, in gemeinsamer Anstrengung einen Modellfall für die Untersuchung von Vorgehensweisen unter der für technische Probleme typischen Komplexität zu schaffen, mit dem Ziel das methodische Instrumentarium der experimentellen Psychologie anzupassen, evtl. zu erweitern bzw. die Anwendung zu demonstrieren.

Elementarisierte Forschungen könnten dazu beitragen, zu klären, wie sich Methoden (i.e.S.) auf die Problemlöseleistung bei verschiedenen Problemklassen auswirken, und wie sie bezüglich Detaillierung und Verbindlichkeit, Darstellungsform, Zeichenträger, Kompliziertheit und Komplexität, Codierformen usw. zu bewerten sind.

Zu fragen ist ferner, welche Faktoren für den Denkstil eines Problemlösers und für seine Funktionsfähigkeit relevant sind - Zeichen, Gestalten, Strukturen, Grad der Clusterung, Repräsentationsformen, Codierung usw. - und wie der Denkstil in Analogie zu anderen psychologischen Testverfahren zu prüfen bzw. zu bewerten ist.

Schließlich könnte auch von dieser Seite das für spezifisch ingenieurmethodisch orientierte experimentelle Untersuchungen anzuratende methodische Inventar bereitgestellt und demonstriert werden.

Fragen zur Arbeits- und Ingenieurpsychologie, die naturgemäß für CAD/CAM bedeutsam sind, müssen noch hergeleitet werden.

(4) In Erwägung, daß die Psychologie in einem bestimmten Entwicklungsstadium zu experimenteller Fundierung übergehen mußte und als Disziplin weder ihren Gegenstand noch ihre Ziele verlassen kann und daß die Ingenieurmethodik bzw. Denktechnologie als operationale Disziplin nicht deskriptive Forschung, sondern operationale Festsetzung (normative Vorgabe, Technologie, Arbeitsorganisation) zu sichern hat:

muß eine eigenständige empirische Fundierung ins Auge gefaßt werden. Sie wird sich anfangs des psychologischen Instrumentariums als Methode bedienen und sich in ihrer Vorgehensweise dort anlehnen müssen, von vorherein aber mit der Möglichkeit, diese anzupassen und einen eigenen Stil zu finden.

Hier können z.B. folgende Fragen zugeordnet werden:

- Experimentelle Bewertung und Optimierung vorliegender strikt algorithmischer und heuristischer Methoden hinsichtlich Darbietungsart, Aufbereitung, Anpassung und Abstraktionshöhe, sowie Bereitstellungsformen.
- Feststellung ingenieurspezifischer kognitiver Verfahren und ihres Einflusses auf aktuelle Kompetenz und Problemlöseleistung.
- Experimentelle Bewertung und Optimierung von Orientierungsmitteln hinsichtlich der Problemlöseleistung bei verschiedenen Problemklassen
- Experimentelle Untersuchung von Bearbeitungsprozessen zu ausgewählten Problemklassen unter Beachtung der notwendigen Unsicherheit und Unbestimmtheit, mit dem Ziel, übergeordnete Strategien abzuheben bzw. geeignete Orientierungsmittel zu entwickeln.
- Feststellung des Einflusses der in psychologischen Untersuchungen als

relevant bzw. signifikant ermittelten nichtkognitiven Faktoren, bezogen auf Problemklassen.

- Feststellung der Denkstilunterschiede bei verschiedenen Problemklassen. Bewertung der Denkstilmerkmale bei unterschiedlichen Problemklassen und bei wechselnder Anforderung.
- Untersuchungen darüber, wie p r i n z i p i e l l neue Vor-bilder und unter welchen Bedingungen Erfindungen notwendig werden und entstehen.

Das P r o b l e m liegt auch hier darin, Methodiker und Ingenieurwissenschaftler davon zu überzeugen, daß alle diese Fragen bisher unerschwellig, spontan bzw. intuitiv "mitgelaufen" sind oder übergangen wurden, daß aber heute empirische Untersuchungen technologische (methodische) Festsetzungen fundieren müssen.

Ich danke Herrn Dr. sc. nat. Werner Krause, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR, der mich über einige einschlägige neue Forschungsergebnisse der Denkpsychologie informierte.

LITERATUR

- [1] Klix F.: Information und Verhalten, Berlin 1971, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- [2] Dörner D.: Problemlösen als Informationsverarbeitung, Stuttgart 1979 Kohlhammer Verlag.
- [3] Müller J.: Theoretische Grundlagen der Bewertung von Informationen bezüglich ihrer Funktion im gedanklichen Bearbeitungsprozeß, ZKJ-Informationen 1977 H. 4 s. 20-71
- [4] Müller J.: Einschätzung des gegenwärtigen Standes der Konstruktionstechnik und der in absehbarer Zeit zu bearbeitenden Probleme, Preprint TH Karl-Marx-Stadt Sep. 1984.
- [5] Müller J.: Methoden muß man anwenden, Techn.-wiss. Abh. des Zentralinstituts für Schweißtechnik d. DDR Halle (Saale).
- [6] Müller J., Koch P. (Hrsg.): Programmbibliothek zur Systematischen Heuristik für Naturwissenschaftler und Ingenieure, Halle (Saale) 1973, Technisch-wissenschaftliche Abhandlungen des Zentralinstituts für Schweißtechnik der DDR Halle (Saale) Nr 97, 98, 99.
- [7] Preissler W. et.al.: Bewertungsmethoden und -verfahren Methodenkatolog, TH Karl-Marx-Stadt Jan. 1982.

- [8] Müller J.: Zur Einheit und Wechselwirkung von Leitungs-, Problemlösungs- und Informationsprozeß als Voraussetzung zu leistungs-fördernder Gestaltung innerbetrieblicher Kooperation - Ergebnisse einer Untersuchung experimenteller Vorgehensweisen in der technischen Forschung und Entwicklung, 13. Int. Kolloquium ü. Information u. Dok. der TH Ilmenau Nov. 1983 (i. Druck).
- [9] Müller J.: Methodische Möglichkeiten zur präziseren Bestimmung des Informationsbedarfs in der technischen Vorbereitung der Produktion, Informatik 29 (1982) H. 6 S. 30-33 und 30 (1983) H. 1 S. 19-23 .
- [10] Richtlinie zur Arbeit an F/E-Berichten, Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR Halle (Saale) 1982 (unveröffentlicht)
- [11] Müller J.: Bewertung von Informationen im Forschungs- und Entwicklungsprozeß ZfI-Mitteilungen (im Erscheinen)
- [12] Stanke K.: Zur Anwendung informationeller Arbeitsmittel im Leitungsprozeß der Forschung und Entwicklung Diss. (B) TU Dresden, 1975.
- [13] Müller J.: Erkenntnisse und Erfahrungen eines Methodik-Beraters des ZIS Halle, ZIS Mitteilungen 24(1982)H. 4 S. 396-406 .
- [14] Müller J.: Über die Dialektik im Ingenieurdenken, Dissertation Karl-Marx-Universität Leipzig 1964 .
- [15] Dörner D. et.al.: Vom Umgang mit Komplexität, Bern 1982 Huber Verlag .
- [16] Klix F.: Wissensrepräsentation und Wissensnutzung, Berlin 1984 VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften (im Druck).
- [17] Müller J. et. al. : Prozeß- und Systembeschreibung in der Schweißtechnik 31 (1981) H. 10 S. 436-440 .
- [18] Abelson B.: Problemsolving and the Development of Abstract Categories in Programming Language, Memory and Cognition 9 (1981) S. 422-433 .
- [19] Mc. Keithen K.B., Reitmann J.S., Reuter H.H., Hirtle S.C.: Knowledge Organisation and skill Differences in Computer Programmers, Cognitive Psychologie 13 (1981) S. 307-325 .
- [20] Offenhaus B.: Analyse des analogen Schlußprozesses unter differenziellem Aspekt, Dissertation A Humboldt Universität zu Berlin 1984 .
- [21] Krause W.: Neuere Ergebnisse der Psychologischen Grundlagenforschung unter besonderer Berücksichtigung von Methodologie und Methodik in den Ingenieurwissenschaften,

Vortrag zur Problemlerberatung "Schöpferische Ingenieurarbeit"
am 6./7.12.84 TH Karl-Marx-Stadt .

- [22] Wingert B., Duus W., Rader M., Riehm U.: CAD im Maschinenbau -
Wirkungen, Chancen, Risiken, Berlin-Heidelberg-New York 1984
Springer Verlag .
- [23] Roth M.: Evolution und Kooperation von Mensch und intelligentem
Automat,
Entwurf Dissertation B 1984 .
- [24] Marx K.: Kritik der Hegelschen Dialektik und Philosophie überhaupt,
in: "Die heilige Familie und andere philosphische Frühschriften"
Berlin 1955 Dietz Verlag .
- [25] Bischoff W., Hansen F.: Rationelles Konstruieren,
Berlin 1953 VEB Verlag Technik .
- [26] Rodenacker W.: Methodisches Konstruieren,
Berlin, Heidelberg, New York, 1970 Springer- Verlag .
- [27] Kesselring F.: Bewertung von Konstruktionen,
Düsseldorf 1951 VDI-Verlag .
- [28] Hansen F.: Konstruktionswissenschaft - Grundlagen und Methodik,
Berlin 1974 VEB Verlag Technik .
- [29] Müller J.: Operationen und Verfahren des problemlösenden Denkens
in der konstruktiven technischen Entwicklungsarbeit - eine metho-
dologische Studie,
Habilitation Karl-Marx-Universität Leipzig 1966 .
- [30] Möbius W., Seyffarth W.: Die innere Lastverteilungsfunktion der
Kehlnacht bei symmetrischer Anordnung,
Schweißtechnik 34 (1984) H. 9 S. 393-396 .
- [31] Krause W.: Problemlösen - Stand und Perspektiven,
Zeitschrift für Psychologie Bd. 190 (1982) H. 1 S. 17-36 und H. 2
S. 141-169 .
- [32] Putz-Osterloh W.: Die Effektivität verschiedener Trainingsmethoden
des Problemlösens,
Dissertation Universität Kiel 1973 .
- [33] Müller G.: Veränderungen im Lösungsverhalten beim Beweis aussagenlo-
gischer Theoreme,
Bericht über d. 27 . Kongr. d. Dtsch. Ges. f. Psych. Ed.: Reinert G.
Göttingen 1973, Verlag für Psychologie (Hogrefe).

METHODS DEVELOPMENT AND THINKING WAY IN ENGINEERING ACTIVITY - NEW APPROACH, METHOD AND METHODIC RESEARCH

Summary

Methods and way of thinking are of great importance in engineering activity. The amount of knowledge concerning these problems is still growing. According to CAD development there are strong need for scientifically based methodic especially connected with interactive systems. In the paper, there have been shown some interdisciplinary problems and methods of solving them.

METODY, SPOSOBY POSTĘPOWANIA I STYL MYŚLENIA W PRACY INŻYNIERSKIEJ - NOWE PROBLEMY, METODY I WSPÓŁPRACA METODOLOGÓW

Streszczenie

Duże znaczenie dla działalności inżynierskiej mają metody i styl myślenia. Obserwuje się znaczny wzrost wiedzy na temat metod i stylu myślenia. Wraz z rozwojem komputerowego wspomaganie wzrosło zapotrzebowanie na naukowo uzasadnioną metodykę, szczególnie w odniesieniu do tzw. systemów interakcyjnych. W pracy podniesiono pewne problemy interdyscyplinarne i nakreślono sposoby ich rozwiązania.