

Zur Invarianz von Problemlösestilen über verschiedene Bereiche¹⁾

Norbert Andresen und Ute Schmid

Institut für Psychologie, Technische Universität Berlin

Um zu prüfen, ob individuelle Problemlösestile über verschiedene Problembereiche hinweg invariante Merkmale aufweisen, wurden Probanden mit zwei sehr verschiedenen komplexen Aufgaben konfrontiert. Personen, deren unterschiedliches Arbeitsverhalten an einem CAD-System analysiert wurde, konnten zwei Jahre später dazu gewonnen werden, ein einfaches dynamisches System zu regeln. Für die CAD-Untersuchung wurden aus den Eingaben zur Erledigung einer Zeichenaufgabe quantitative Benutzerkennwerte ermittelt. Bei dem einfachen dynamischen System handelt es sich um die schon mehrfach publizierte Kühlhaus-Aufgabe. Diese wurde in zwei Durchgängen bearbeitet. Es wurden Kennwerte für den Problemlösungsverlauf und die Lösungsgüte entwickelt. Zusätzlich wurden ein Maß der Allgemeinen Intelligenz und das über das System erworbene Wissen erhoben. Es stellten sich bedeutsame Zusammenhänge zwischen den Kennwerten für die zweite Systemregelung und den übrigen Variablen heraus: Verlaufsmerkmale der zweiten Regelung lassen sich aus dem Verlauf der ersten Regelung vorhersagen. Steuerungsgüte und erworbenes Systemwissen werden durch Merkmale der individuellen CAD-Problemlösungen vorhergesagt. Die Allgemeine Intelligenz ist dagegen, wie in vielen Untersuchungen bestätigt, kein tauglicher Prädiktor für komplexes Problemlöseverhalten.

Einführung

Hauptziele im Forschungsbereich „komplexes Problemlösen“ sind die generelle Analyse des Problemlöseprozesses und das Finden von Personenkennwerten zur Vorhersage der Problemlöseleistung. Um ein Urteil darüber zu ermöglichen, wieweit eine spezielle Untersuchung einen Beitrag zu diesen Zielsetzungen liefert, müssen Charakteristika der verwendeten Pro-

1) Wir danken Herrn Prof. Dr. K. Eyferth und zwei anonymen Gutachtern für konstruktive Kritik, die wesentlich zur Verbesserung des Artikels beigetragen hat.

blemlöseaufgaben und erfaßten Personenmerkmale genauer spezifiziert werden. Die Problemsituationen müssen zum einen hinreichend komplex sein, es zum anderen aber ermöglichen, objektive Kennwerte der Lösungsgüte abzuleiten. Personenmerkmale sollten zum einen so spezifisch sein, daß ein Zusammenhang mit der Problemlöseleistung herstellbar ist, zum anderen aber den Kriterien der Reliabilität und Generalisierbarkeit genügen.

Problemlöseaufgaben, mit denen Probanden in solchen Untersuchungen konfrontiert werden, lassen sich nach verschiedenen Kriterien klassifizieren. Im Gegensatz zur klassischen Problemlöseforschung, die statische Problemsituationen vorgibt, werden meist computersimulierte „*dynamische*“ Systeme verwendet. Eyferth, Schömann und Widowski (1986) unterscheiden zwischen ökologisch validen Simulationen und solchen mit spezifischer Validität. Auch Komplexitäts- und Schwierigkeitsmerkmale (Dörner, 1979), können zur Unterscheidung der Aufgaben herangezogen werden. Schließlich können Problemsituationen danach klassifiziert werden, ob klare Zielvorgaben definiert werden oder nicht (geschlossene und offene Probleme, McCarthy, 1956).

Von Problemen ohne klare Zielvorgabe (Lohhausen, Dörner et al., 1983; Tanaland, Dörner & Reither, 1978; Tailor-Shop, Putz-Osterloh & Lürer, 1981) wird zunehmend Abstand genommen, unter anderem deswegen, weil hier eine objektive Beurteilung der Lösungsgüte kaum möglich ist. Zudem führte die Konstruktion von Systemen mit hoher Komplexität dazu, daß eine formale Analyse des Problemraums nicht mehr gelingt. Dies hat unter anderem zur Folge, daß selbst der Systemkonstrukteur nicht in der Lage ist, zu einem beliebigen Zeitpunkt die optimale Eingabe zu bestimmen. Will man den Problemlöseerfolg nicht nur am Endresultat bestimmen, sondern auch die Güte des Lösungsprozesses bewerten, sind solche Systeme ungeeignet. Als Alternative werden Systeme verwendet, die geringere Problemkomplexität (z. B. wenige Variablen) besitzen, aber formalisierbar sind und damit die Konstruktion quantitativer Gütekriterien ermöglichen (Hübner, 1989), auch wenn diese einfacheren Systeme zum Teil andere kognitive Anforderungen an die Probanden stellen.

Die Frage, welche *Personenmerkmale* in Zusammenhang mit der Problemlöseleistung stehen, wurde vor allen an nicht formalisierbaren Systemen untersucht. Wiederholt wurde versucht, einen Zusammenhang von Intelligenztestdaten, Daten aus Persönlichkeitstests sowie demographischen Merkmalen zu Problemlöseleistungen in Bezug zu setzen. Befunde zum Zusammenhang der allgemeinen Intelligenz mit der Fähigkeit, komplexe Probleme erfolgreich zu lösen, sind widersprüchlich (Dörner et al., 1983; Funke, 1983). Dasselbe gilt für den Zusammenhang von Persönlichkeitsmerkmalen (wie z. B. Selbstsicherheit) mit der Problemlöseleistung (Putz-Osterloh, 1983).

Neuerdings wird versucht, speziellere, auf das Problemlöseverhalten bezogene, Personenmerkmale zu finden und auf ihren Zusammenhang mit der Problemlöseleistung zu prüfen. Dörner (1986) führt den Faktor „operative Intelligenz“ ein, der „Verlaufsqualitäten von geistigen Prozessen“ kennzeichnet. Durch qualitative Analysen von Steuerungsverläufen und weiteren Verhaltensdaten (z. B. Frageverhalten) wurden Merkmale wie „Flexibilität“, „Planung“, „Umsicht“ und „Weitsicht“ ermittelt und ein Zusammenhang dieser Merkmale mit der Steuerungsgüte aufgezeigt. Die Annahme, daß es sich hier um aufgabenunabhängige, stabile Personenmerkmale handelt, das heißt, daß sie „gute“ oder „schlechte“ Problemlöser kennzeichnen, wurde in mehreren Untersuchungen überprüft (z. B. Strohschneider, 1985; Putz-Osterloh, 1986). Übereinstimmungen von individuellen Verhaltensmerkmalen zwischen zwei Problemlösezeitpunkten oder zwischen zwei Systemsimulationen wurden aufgezeigt. Unklar ist jedoch, wie zuverlässig und wie generalisierbar solche Ergebnisse sind. Erstens wurde vor allem mit nicht formalisierbaren Systemen gearbeitet. Eine Erfassung der Problemlösungsgüte durch objektive Maße war damit nicht möglich. Zweitens bleiben die unter dem Schlagwort „operative Intelligenz“ zusammengefaßten Merkmale des Problemlöseverhaltens sehr unspezifisch und basieren lediglich auf qualitativen Analysen von Problemlöseverläufen. In der vorliegenden Arbeit wird dagegen versucht, Problemlösestile durch quantitative Parameter zu beschreiben, die sich aus dem aufgabenspezifischen Lösungsverhalten von Personen ermitteln lassen. Ein wesentlicher Strategiekennwert, der für viele Aufgabentypen ermittelt werden kann, ist etwa die Stetigkeit des Eingabeverhaltens. Invarianzen von Problemlösestilen können mit Hilfe solcher quantitativer Kennwerte als die Aspekte des Problemlöseverhaltens definiert werden, die einen hohen intraindividuellen Zusammenhang über verschiedene Problemtypen und über verschiedene Zeitpunkte hinweg aufweisen. Drittens wird bei Untersuchungen, die sich auf die Erfassung einer einmaligen Aufgabenlösung beschränken, unter Umständen nicht strategisches Wissen, sondern das Verhalten von Personen bei Aufgaben-Konfrontation erhoben. Strategie-Invarianten lassen sich erst dann finden, wenn Gelegenheit gegeben wurde, Erfahrung mit einem System zu sammeln. Viertens sind Invarianten im Problemverständnis und in Lösungsstrategien sowohl differentialpsychologisch wie allgemeinspsychologisch um so relevanter, je unterschiedlicher die betroffenen Problembereiche und die Abstände zwischen den Aufgabenlösungen sind. Bisher blieb die Prüfung der zeitlichen Stabilität solcher Verhaltensindizes auf sehr kurze Zeitabstände (z. B. eine Woche) beschränkt. Die Übereinstimmung von Verhaltensindizes wurde lediglich anhand von Vergleichen identischer oder sehr ähnlicher Aufgabenstellungen geprüft.

Im folgenden wird über eine Untersuchung berichtet, in der geprüft wird,

ob individuelle Problemlösestile über längere Zeiträume und verschiedene Problemklassen invariant sind. Personen, die an einer zwei Jahre zurückliegenden Untersuchung zum Arbeiten mit CAD-Systemen teilgenommen hatten, wurden für eine Untersuchung zur zweimaligen Regelung eines einfachen dynamischen Systems wiedergewonnen. Aus der CAD-Studie liegen quantitative Kennwerte der individuellen Lösungsstrategien sowie Skalen für die Lösungsgüte vor. Die prognostische Validität dieser Variablen wurde mit einem Maß der Allgemeinen Intelligenz verglichen. Für die Folgeuntersuchung wurde ein formalisierbares Simulationssystem verwendet, für dessen Regelung quantitative Gütemaße entwickelt wurden. Zudem wurden Kennwerte zur formalen Erfassung individuellen Problemlöseverhaltens konstruiert und das über das System erworbene Wissen erhoben.

Problemlöse-Aufgaben

Folgende Problemsituationen wurden den Probanden vorgegeben:

1. Übertragung einer komplexen technischen Zeichnung mit dem System AutoCAD.
2. Regelung der Temperatur in einem simulierten Kühlhaus auf einen Sollwert.

Bei beiden Problemsituationen handelt es sich um geschlossene Probleme, also um Problemstellungen, bei denen das Lösungsziel klar definiert ist. Im Gegensatz zur computerunterstützten Generierung technischer Zeichnungen ist die Regelung dynamischer Systeme ein Prozeß, der die Beeinflussung einer oder mehrerer Variablen über die Zeit verlangt.

Übertragung einer technischen Zeichnung mit AutoCAD

Als CAD-Software wurde das weitverbreitete System AutoCAD verwendet. AutoCAD ermöglicht Eingaben mit unterschiedlichen Peripheriegeräten (hier Tastatur und Maus). Das System bietet dem Benutzer über 200 verschiedene Befehle und Parameter an, die entweder direkt über Tastatur eingegeben oder in einem der 80 Menüs angewählt werden können. Das System ist so flexibel, daß dem Benutzer einerseits viel Freiheit bezüglich seines Vorgehens gelassen wird, er dadurch andererseits immer wieder entscheiden und den weiteren Arbeitsablauf planen muß. Kennt man die Anforderungen an Parametern für einen Zeichenbefehl genau, ist es effektiver, den Befehl als Kürzel über die Tastatur einzugeben, anderenfalls ist es sinnvoller, sich die Befehlsspezifikationen in einem Menü zu suchen. Die Gesamtzeichnung kann auf unterschiedlich sinnvolle Art in Teilzeichnungen zerlegt werden;

die Eingabe von Zeichnungselementen kann durch unterschiedlich effektive Befehlsabfolgen realisiert werden.

Das Übertragen einer technischen Zeichnung mit AutoCAD fordert also eine Vielzahl von Entscheidungen. Das Arbeitsziel — eine vollständige, korrekte und zeiteffektive Eingabe der Zeichnung — kann durch verschiedene Vorgehensweisen erreicht werden. Es handelt sich um ein Problem mit „Synthesebarriere“ (Dörner, 1979): Anfangszustand und Zielzustand sind klar vorgegeben, Art, Anzahl und Reihenfolge der zur Lösung zu verwendenden Operatoren sind jedoch nicht bekannt.

Regelung des einfachen dynamischen Systems „Kühlhaus“

Bei dem dynamischen System handelt es sich um einen von Mackinnon und Wearing (1985) vorgeschlagenen einfachen Regelkreis. Durch Manipulation einer Stellgröße ist eine Regelgröße auf einen Sollwert zu bringen und auf diesem Wert zu halten. Die Einbettung des Systems in den Kontext eines Kühlhauses wurde von Reichert und Dörner (1988) übernommen. Analog zu dieser Untersuchung wurde die Stellgröße auf Eingabewerte zwischen 0 und 200 begrenzt, eine Solltemperatur von 4° vorgegeben und der Regelungszeitraum auf 100 Takte festgelegt. Die Werte der konstanten Einflußgrößen sind der Legende zu Gleichung 1 (G1) zu entnehmen. Im Gegensatz zu Reichert und Dörner (1988) wurde, als ergänzende Information zu den Zahlenwerten, der letzten Stellradeinstellung und der aktuellen Temperatur, der Verlauf der Temperatur über die Zeit bis zum aktuellen Takt graphisch dargestellt.

Der Zusammenhang zwischen Regelgröße (*regelgr*) und Stellgröße (*stellgr*) ist durch die folgende Gleichung vollständig beschrieben:

$$\begin{aligned}
 \text{regelgr}(t + 1) &= \text{regelgr}(t) && \text{G1} \\
 &+ \text{tempo} \quad * (\text{stoer} && - \text{regelgr}(t)) \\
 &- \text{regelfak} \quad * (\text{regelgr}(t-v) && - \text{stellgr}(t))
 \end{aligned}$$

Im Kontext eines Kühlhauses können die Größen folgendermaßen interpretiert werden:

- regelgr (t) : Kühlhaustemperatur zum Zeitpunkt t.
- stoer : Außentemperatur (Störgröße) = 170
- tempo : Geschwindigkeitsfaktor, mit dem sich regelgr an stoer angleicht (Qualität der Isolierschicht) = 0.1
- regelgr (t-v) : zurückliegende Kühlhaustemperatur zum Zeitpunkt t-v (v = 3)
- stellgr (t) : Stellradeinstellung zum Zeitpunkt t
- regelfak : Faktor mit dem die Differenz aus regelgr und stellgr gewichtet wird = 0.3

In der Darstellung für die Probanden werden die programminternen Größen stoer und regelgr in realistische Temperaturwerte umgeformt:

$$\text{Kühlhaustemperatur} = [\text{regelgr}(t) - 30]/7.5$$

$$\text{Außentemperatur} = [\text{stoer} - 30]/7.5.$$

Diese Umformung ist für die Systemeigenschaften irrelevant.

Für jeden Zeitpunkt t gibt es genau eine Stellradeinstellung, die die Kühllufttemperatur zum Zeitpunkt $t + 1$ auf den Sollwert (*soll*) bringt. Durch Umformen der Systemgleichung und Einsetzen ergibt sich:

$$\text{stellgr}(t) = \begin{array}{l} [\text{soll} - \text{regelgr}(t)] \quad / \text{regel fak} \\ - [\text{stoer} - \text{regelgr}(t)] * \text{tempo} \quad / \text{regel fak} \\ + \text{regelgr}(t-v) \end{array} \quad \text{Gl 2}$$

Bei den vorgegebenen Eingabebeschränkungen und Konstanten kann die Temperatur theoretisch durch 8 Eingaben auf den Sollwert gebracht und durch nachfolgend konstante Eingabe von 23.3 auf dem Sollwert gehalten werden. Wird von Anfang an 23.3 eingegeben, pendelt sich die Temperatur langsam, etwa zum 50. Takt, auf 4° C ein. Über die zweite Gleichung (Gl 2) kann zu jedem Zeitpunkt die Eingabe bestimmt werden, die die Temperaturabweichung vom Sollwert minimiert. Eine ausführliche Diskussion der mathematischen Eigenschaften des Systems findet sich bei Hübner (1989). Es wird hier in einfacher Weise das Verhalten vieler realer Systeme simuliert, bei denen das System erstens verzögert auf Eingriffe reagiert und sich zweitens nicht in Form einer einfachen linearen Bewegung sondern in Form einer gedämpften Schwingung auf einen Wert einstellt. Der Operateur hat die Aufgabe, durch eine Sequenz von Eingriffen dieses Verhalten des Regelungssystems zu erkennen und dann seine Eingriffe so zu dosieren, daß der Sollwert erreicht und gehalten wird. Nach Dörner (1979) handelt es sich hier um ein Problem mit „Interpolationsbarrieren“: Anfangs- und Endzustand sowie der Operator sind klar vorgegeben. Zeitpunkt und Dosierung des Operators sind jedoch nicht bekannt.

Befunde über Strategien beim Arbeiten mit AutoCAD

Die Datengrundlage für die Analyse von Benutzerstrategien beim Arbeiten mit AutoCAD bilden logfiles, die in einer Untersuchung des DFG-Projekts „Softwareevaluierung“ (Upmeyer et al., 1988) erhoben wurden. Im Rahmen dieser Untersuchung übertrugen 24 Probanden eine technische Zeichnung bei einer Zeitbegrenzung von 90 Minuten in das CAD-System AutoCAD. 23 Probanden waren Ingenieurstudenten, die an einer einsemestrigen AutoCAD-Ausbildung teilgenommen hatten, ein Proband war ein erfahrener AutoCAD-Anwender. Schmid (1989; Schmid & Meseke, 1991) konstruierte aus den Eingabeabfolgen quantitative Kennwerte zur Beschreibung von Benutzerstilen. Die individuellen Eingabesequenzen wurden in Markov-Ketten erster Ordnung umgewandelt. Euklidische Distanzen zwischen je zwei Markov-Ketten wurden berechnet. Eine multidimensionale Skalierung der Distanzwerte ergab eine zweidimensionale Lösung. Die bei-

den Dimensionen konnten durch Korrelation mit weiteren Kenngrößen als „Befehlsrepräsentation“ und „Problemlösestil“ interpretiert werden. Die Dimensionswerte der Benutzer sagen die Lösungsgüte, erfaßt mit Maßen der Vollständigkeit der reproduzierten Zeichnung und benötigtem Eingabumfang, signifikant vorher (*multiple Regressionskoeffizienten zwischen .57 und .75 für $df(2/22)$*).

Die beiden Dimensionen basieren auf Daten, die aus dem sequentiellen Ablauf der Problemlösung aggregiert wurden. Sie erfassen damit „Verlaufsqualitäten“, wie sie Dörner (1986) als Maße der operativen Intelligenz postuliert. Die Dimension *Befehlsrepräsentation* bildet die Menge der einem Benutzer bekannten AutoCAD-Befehle sowie sein Wissen um ihre korrekte Anwendung ab. Die Dimension *Problemlösestil* charakterisiert das Vorgehen der Benutzer bei der Eingabe der Zeichnung zwischen den Polen „sprunghaft“ und „persistent“. Einem sprunghaften Problemlösestil entspricht hier ein häufiges Wechseln bei der Bearbeitung einzelner Zeichnungsteile, bevor einer der Teile fertiggestellt wird. Einem persistenten Problemlösestil entspricht ein rigides Abarbeiten von Zeichnungsteilen, ohne die AutoCAD-spezifischen Möglichkeiten zu nutzen (z.B. alle Linien gleichen Typs nacheinander zu generieren). Probanden, die auf dieser Dimension in der Mitte liegen, zeigten eine „angemessen flexible“ Vorgehensweise. Die beiden Dimensionen zerlegen das Verhalten der Probanden bei der Systemsteuerung in zwei orthogonale Komponenten: Die Dimension *Befehlsrepräsentation* bildet das *Systemwissen*, die Dimension *Problemlösestil* das *strategische Wissen* der Benutzer ab.

Untersuchungsmethode

Um zu prüfen, ob die in der AutoCAD-Studie erhobenen spezifischen Personenmerkmale bei der Lösung eines komplexen Problems über längere Zeit prognostisch stabil bleiben und sich auf vergleichbare Merkmale bei der Bearbeitung eines anders gearteten Problems abbilden lassen, wurden die Probanden für eine Untersuchung zum Steuern eines einfachen dynamischen Systems wiedergeworben. Die prognostische Validität der Strategiekennwerte „Befehlsrepräsentation“ und „Problemlösestil“ wurde mit einem Maß der allgemeinen Intelligenz verglichen. Das dynamische System wurde zweimal bearbeitet.

Kennwerte der Systemregelung

Für jeden der beiden Regelungsdurchgänge wurden pro Takt die Eingaben (e_i), die resultierende Temperatur (t_i) und die Zeitpunkte der Eingaben (z_i) online erhoben. Aus diesen Daten wurden Kennwerte der Regelungsgü-

te sowie der Regelungsstrategie erhoben. Nach Abschluß der Aufgaben wurde das über das System erworbene Wissen erhoben (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1
Kennwerte der Systemregelung

Regelungsaspekt	Kennwert	Kürzel
Regelungsgüte	Abweichung von der Solltemperatur	abs
	Abweichung von der optimalen Eingabe	opti
Regelungsstrategie	Eingabedifferenzen (Schwankungen der Eingabewerte)	eindiff
	Unstetigkeit (Schwankungen der Eingabezeiten)	unstet
Systemwissen	numerisches und formales Wissen	sumwis

Kennwerte der Regelungsgüte

absolute Abweichung von der Solltemperatur (abs)

$$\text{abs} = \frac{\sum_{i=1}^n |t_i - \text{soll}|}{n} \quad \text{Gl 3}$$

mit i : Zeitpunkt (Takt 1 ... n ($n = 100$))
und t_i : Temperatur zum Zeitpunkt i

absolute Abweichung von der optimalen Eingabe (opti)

$$\text{opti} = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i - o_i|}{n} \quad \text{Gl 4}$$

mit e_i : Eingabe zum Zeitpunkt i
und o_i : optimale Eingabe zum Zeitpunkt i ,
berechnet nach Gl 2

Kennwerte der Regelungsstrategie

Eingabedifferenzen (eindiff)

$$\text{eindiff} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} |e_i - e_{i+1}|}{n-1} \quad \text{Gl 5}$$

– Unstetigkeit (unstet)

$$\text{unstet} = \frac{\sum_{i=1}^{n-2} |d_{i-1} - d_i|}{n-2} \quad \text{Gl6}$$

mit d_i : Differenz zwischen zwei benachbarten Zeitdifferenzen

Für die Regelungsgüte und die Regelungsstrategie wurden also je zwei Kennwerte konstruiert, die unterschiedliche Aspekte abbilden:

Die Regelungsgüte wird (1) output-abhängig, als Abweichung von der Solltemperatur, und (2) input-abhängig, als Abweichung von der optimalen Eingabe, erfaßt.

Die Regelungsstrategie wird (1) eingabebezogen, als Differenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Eingabewerten, und (2) zeitbezogen, als Differenz des Zeitbedarfs zwischen Taktten, erfaßt.

Kennwerte des Systemwissens

Aus einer im Anschluß an die Kühlhausregelung beantworteten Frage über den Zusammenhang von Regelungseingaben und Temperaturverlauf wurde eine Variable „Systemwissen“ konstruiert.

Vier über das System „Kühlhaus“ informierte Rater beurteilten die Antworten der Probanden danach, welche der folgenden Aspekte in der Antwort enthalten waren:

Aspekt 1: korrekte Stellradeinstellung (23, 24) genannt

Aspekt 2: gedämpfte Schwingung erkannt

Aspekt 3: Zeitverzögerung erkannt

Die Raterurteile weichen nicht signifikant von dem Normmodell der vollständigen Übereinstimmung ab. Für jeden genannten Aspekt erhielten die Probanden einen Punkt. Die Summe der Punkte wurde als Gesamtkennwert für das erworbene Systemwissen verwendet.

Untersuchungsdurchführung

Probanden

Zwei Jahre nach der AutoCAD-Studie konnten 14 der 24 Probanden für die Kühlhaus-Studie wiedergeworben werden. Die Probanden sind bezüglich der Dimension „Befehlsrepräsentation“ über das gesamte Spektrum

verteilt, streuen bezüglich der Dimension „Problemlösestil“ jedoch (bis auf einen Probanden) nur vom Bereich „angemessen flexibel“ bis „sprunghaft“.

Versuchsablauf

Nachdem die Probanden mit der Tastatur vertraut gemacht wurden, bearbeiteten sie den Untertest 3 des LPS (Horn 1983, 2. Aufl.). Dann lasen sie die Instruktion zum Kühlhaus am Bildschirm und arbeiteten mit dem System Kühlhaus. Im Anschluß wurde den Probanden mitgeteilt, daß sie das selbe System noch einmal bearbeiten sollten und dabei anwenden sollten, was sie beim Umgang mit dem System gelernt hätten. Beide Durchläufe umfaßten je 100 Steuertakte. Im Anschluß beantworteten die Probanden schriftlich die Frage:

„Welche Beziehung besteht Ihrer Meinung nach zwischen Ihren Stellrad-eingaben und der resultierenden Kühlhaustemperatur?“

Ergebnisse

Im folgenden werden Zusammenhänge der Kennwerte der Regelungsgüte und der Regelungsstrategie für beide Durchgänge mit den Personenmerkmalen der CAD-Steuerung sowie des Intelligenztest- und Wissenskenwertes betrachtet. Alle Kennwerte sind normalverteilt (Kolmogoroff-Smirnov-Test).

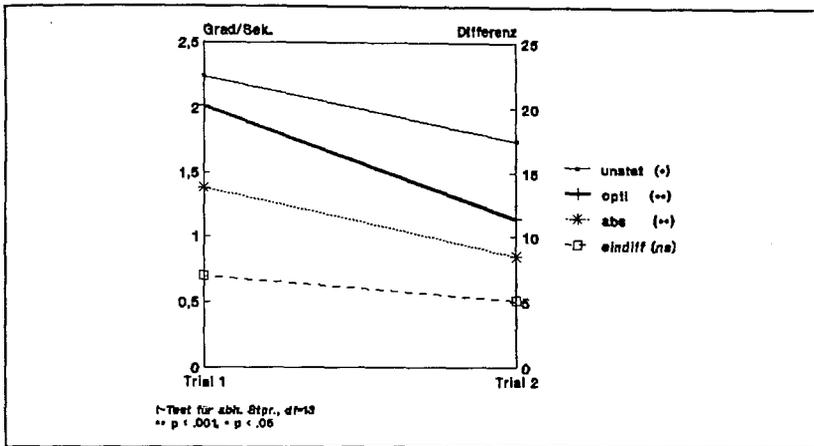
Lernzuwachs von der ersten zur zweiten Steuerung

Zunächst wurde geprüft, inwieweit sich die Kennwerte der Systemregelung vom ersten zum zweiten Durchgang verbessern (*t-Test für abhängige Stichproben, n = 14*).

Die Verbesserung der *Regelungsgüte (abs)* vom ersten zum zweiten Durchgang ist hochsignifikant. Die Abweichung von der jeweils optimalen Eingabe (*opti*) verringert sich ebenfalls hochsignifikant; die Schwankungen der Eingabezeiten (*unstet*) nehmen beim zweiten Bearbeiten signifikant ab. Das Strategiemmaß „Schwankungen aufeinanderfolgender Eingabewerte“ (*eindiff*) bleibt jedoch über die beiden Bearbeitungszeitpunkte annähernd stabil (vgl. Abb. 1).

Merkmale zur Vorhersage des Regelungsverlaufs

Um die Merkmale zu bestimmen, die Regelungsgüte sowie Regelungsstrategie vorhersagen können, wurden multiple Regressionen (stepwise) berechnet. Die Kennwerte der ersten Regelung werden weder durch die Perso-



- abs = Abweichung von der Solltemperatur
- opti = Abweichung von der optimalen Eingabe
- eindiff = Schwankung der Eingabewerte
- unstet = Schwankung der Eingabezeiten

Abbildung 1
Lerneffekte bei der Regelung des Systems „Kühlhaus“

nenkennwerte der CAD-Arbeit, noch durch den Intelligenzwert signifikant vorhergesagt. Für die Vorhersage der Kennwerte der zweiten Systemregelung ergeben sich die folgenden Zusammenhänge: Die Regelungsgüte auf Outputebene im zweiten Durchgang (*abs 2*) wird durch die Regelungsgüte auf Inputebene im ersten Durchgang (*opti 1*) und durch das Personenmerkmal „Problemlösestil“ aus der CAD-Untersuchung vorhergesagt. Je geringer die Abweichung von der optimalen Eingabe im ersten Durchgang und je geringer die Sprunghaftigkeit bei der Eingabe der technischen Zeichnung war, desto geringer sind die Abweichungen von der Solltemperatur im zweiten Durchgang. Die Eingabedifferenz im zweiten Durchgang (*eindiff 2*) erweist sich als abhängig von der Regelungsgüte auf Inputebene im ersten Durchgang (*opti 1*) und von der Unstetigkeit des Eingabeverhaltens im ersten Durchgang (*unstet 1*). Je gleichmäßiger das Eingabeverhalten und je geringer die Differenz zur optimalen Eingabe im ersten Durchgang sind, desto feiner ist die Eingabedosierung im zweiten Durchgang. Regelungsgüte auf Inputebene (*opti 2*) und Unstetigkeit der Eingaben (*unstet 2*) im zweiten Durchgang lassen sich durch die entsprechenden Kennwerte im ersten Durchgang vorhersagen (vgl. Tab. 2).

Tabelle 2
Vorhersage der Regelungsgüte und der Regelungsstrategie

Kriterium	R	R ²	Prädiktoren	beta
abs2	.91	.83	opti 1	.92 (**)
			Problemlösestil	.35 (*)
opti2	.83	.68	opti 1	.83 (**)
eindiff2	.92	.85	unstet 1	.68 (**)
			opti 1	.50 (**)
unstet2	.59	.35	unstet 1	.59 (*)

Merkmale zur Vorhersage des individuellen Systemwissens

Das nach der zweiten Regelung erhobene Wissen über das System kann weder durch den Intelligenzkennwert noch durch Kennwerte des Regelungsverhaltens und der Regelungsgüte vorhergesagt werden (stepwise regression). Der CAD-Personenkennwert „Befehlsrepräsentation“ steht dagegen in einem signifikanten Zusammenhang zum erworbenen Wissen ($R = .64$, $R^2 = .41$). Personen, die das Befehlswissen über das CAD-System gut

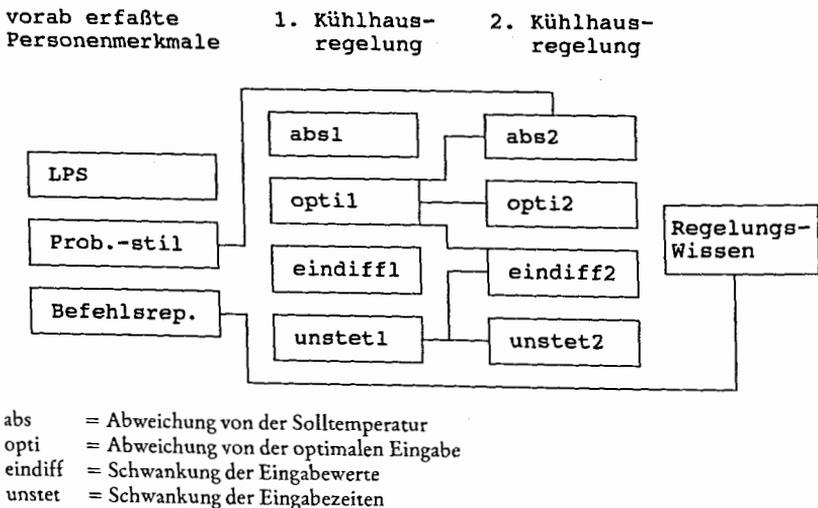


Abbildung 2
Vorhersagemuster der Kennwerte

organisiert hatten, waren in der Lage, normativ korrektes Wissen über das System zu erwerben. Dieses Wissen führt nicht notwendigerweise zu einer besseren Regelungsgüte (vgl. Abb. 2).

Ausgewählte Einzelverläufe

Die Kohärenz der Befunde wird verständlicher an den Lösungsverläufen je eines „guten“ (Abb.3) und eines „schlechten“ (Abb.4) Systemreglers. Diese Beispiele wurden nach den Kennwerten im ersten Durchgang für die Regelungsgüte auf Outputebene (abs1) ausgewählt. Sie unterscheiden sich entsprechend in ihren Kennwerten für die Regelungsgüte auf Inputebene. Sowohl aus den Grafiken als auch aus den Kennwerten für EINDIFF und

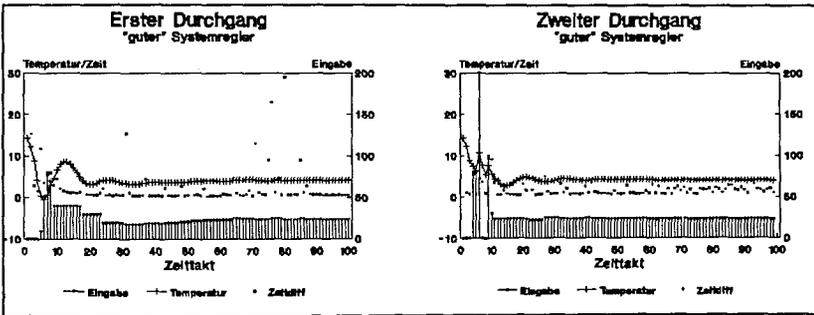


Abbildung 3
Lösungsverlauf eines „guten“ Systemreglers

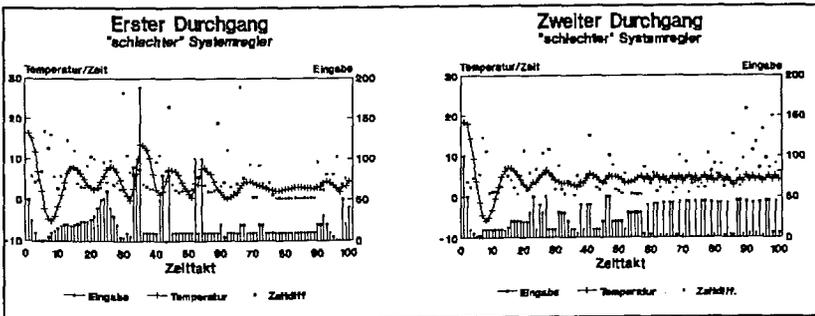


Abbildung 4
Lösungsverlauf eines „schlechten“ Systemreglers

UNSTET (vgl. Tab. 3) ist zu erkennen, daß der gute Systemregler im ersten und im zweiten Durchgang seine Eingaben feiner dosiert und gleichmäßiger arbeitet als der schlechte Systemregler. Der gute Systemregler hatte in der CAD-Untersuchung einen flexibleren Problemlösestil und hatte das Befehlswissen über das CAD-System besser organisiert und mehr Wissen über das verwendete einfache dynamische System erworben als der schlechte Systemregler.

Die abgebildeten Einzelverläufe entsprechen denen, die Reichert und Dörner (1988) in ihrer Studie als gute und schlechte Verläufe klassifizierten. Die Autoren ließen die Temperaturkurven der Probanden von zwei Ratern beurteilen und teilten die Stichprobe auf dieser Grundlage in drei Leistungsgruppen ein. Die Sollwertabweichungen, die Regelungseingaben sowie die Latenzzeiten zwischen den Eingaben wurden pro Quartil betrachtet. Für die durchschnittlichen Sollwertabweichungen und Stellradeinstellungen ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Während Reichert und Dörner (1988) Unterschiede der Verhaltensmaße zwischen den Gruppen pro Quartil zur Interpretation heranziehen, konnten in der vorliegenden Arbeit Verhaltensmerkmale quantifiziert und als Kontinua zur Vorhersage der Regelungsgüte (Sollwertabweichung) verwendet werden. Korrelationen zwischen Verhaltensmaßen und Regelungsgüte innerhalb eines Durchgangs betrachten wir als wenig sinnvoll, da die Stellradeinstellungen die Temperaturwerte bedingen.

Tabelle 3
Kennwerte eines „guten“ und „schlechten“ Systemreglers

	„gute“ Vp		„schlechte“ Vp	
	Durchgang 1	Durchgang 2	Durchgang 1	Durchgang 2
abs	0.81	0.60	2.53	1.55
opti	10.83	7.80	39.70	25.29
eindiff	1.56	6.15	13.15	19.58
unstet	2.80	1.15	4.12	4.01
Prob.-stil		.25		-.27
Befehlsrep. (neg. Polung)		-.40		.70
Systemwissen		9		3

Diskussion

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, daß spezifische Personenkennwerte zur Vorhersage von Problemlöseleistungen geeignet sind. Allgemeine Intelligenz war dagegen bei dieser Stichprobe kein tauglicher Prädiktor. Durch die Wahl quantitativer Variablen wurde die Objektivität der Interpretation des Problemlöseverhaltens und deren Informationsgehalt gegenüber der gängigen empirischen Praxis in diesem Forschungsbereich erhöht. Die Tatsache, daß erst für den zweiten Regelungsdurchgang signifikante Zusammenhänge mit externen Variablen festgestellt werden konnten, spricht dafür, Probanden mehrmals mit komplexen Problemlösesituationen zu konfrontieren. Erst wenn ein Minimum an Erfahrung im Umgang mit einem System vorhanden ist, lassen sich systematische Unterschiede von individuellen Strategien erfassen.

Diese Arbeit liefert einen ersten Beleg für die von Dörner (1986) implizit vertretene Annahme, daß die Fähigkeit, Probleme gut zu lösen, ein spezifisches Personenmerkmal, zeitlich stabil und bereichsinvariant, ist: Die Personenmerkmale, die aus dem Eingabeverlauf der CAD-Sitzungen abgeleitet wurden, und somit als Kennwerte einer operativen Intelligenz betrachtet werden können, erweisen sich — bei einem Zeitabstand von 2 Jahren zwischen den Erhebungen — als sinnvolle Prädiktoren für Problemlöseleistungen beim Regeln eines einfachen dynamischen Systems. Dörner und Reichert (1988) stellen interpretatorisch einen Zusammenhang zwischen der Lösungsgüte und dem Eingabeverhalten fest. Personen, die sehr sprunghaft arbeiten, erzielen schlechtere Leistungen als Personen, die die Stellradeinstellung jeweils nur gering verändern. Solche Verhaltensmerkmale, wie „sprunghaft“ und „angemessen flexibel“ wurden in der CAD-Studie mit dem Kennwert „Problemlösestil“ erfaßt. Wir konnten zeigen, daß der Stil beim Übertragen einer technischen Zeichnung mit einem CAD-System als Prädiktor für die Lösungsgüte eines andersgearteten komplexen Problems verwendet werden kann: Personen mit einer angemessen flexiblen Arbeitsstrategie erreichen geringere Sollwertabweichungen als Personen mit stark sprunghaftem Vorgehen.

Beachtenswert ist, daß das während der Regelung erworbene Wissen nicht aus Kennwerten der Regelungsgüte oder der Regelungsstrategie vorhersagbar ist. Reichert und Dörner (1988) konnten ebenfalls keinen Zusammenhang zwischen Lösungsgüte und erworbenem Wissen feststellen. Dagegen sagte in unserer Studie ein Benutzerkennwert der CAD-Untersuchung voraus, welches Systemwissen in zwei Durchgängen erworben wird. Die Vollständigkeit und Angemessenheit der Repräsentation von Befehlen eines CAD-Systems ist ein tauglicher Prädiktor für das während der Steuerung erworbene Wissen über das einfache dynamische System.

Ordnet man die Kennwerte „Problemlösestil“ und „Befehlsrepräsentation“ in das in der Kognitionspsychologie übliche Klassifikationsschema von Wissensarten ein (z. B. Winograd, 1975), so bezeichnet „Befehlsrepräsentation“ eine deklarative und „Problemlösestil“ eine prozedurale Wissenskomponente. Die Güte, in der eine Person ihr Faktenwissen organisiert, kann demnach zur Vorhersage der Güte des Erwerbs neuen Wissens eingesetzt werden; die Angemessenheit der Prozeduren beim Lösen eines Problems kann als Prädiktor für die Güte der Problemlösung in neuen Bereichen herangezogen werden.

Summary

The following study investigates whether individual styles of problem solving remain invariant across different task domains. The subjects, solved two different complex tasks. In a first step the subjects' behavior was analyzed while they were working with a CAD-system. Quantitative scores were obtained describing the subjects' behavior. In a follow-up study two years later, the same subjects worked with a simple dynamic system which simulated a cold-storage plant. Each subject performed two trials. Different scores describing quality of problem solving and problem-solving behavior were determined for each trial. Additionally, measures of general intelligence and acquired knowledge of the system were obtained. The results indicate that the scores of the subjects' problem solving behavior in the second trial (working with the cold-storage plant) can be predicted by performance measures from the first trial. The quality of problem solving in the second trial and the subjects' acquired knowledge of the system can be predicted by the behavior scores on the CAD-system. The subject's General intelligence cannot be used as a predictor of any other variable.

Literatur

- Dörner, D. (1979). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Dörner, D. (1986). Diagnostik der operativen Intelligenz. *Diagnostica*, 32 (4), 290—308.
- Dörner, D. & Reither, F. (1978). Über das Problemlösen in sehr komplexen Realitätsbereichen. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 15 (4), 527—551.
- Dörner, D. et al. (Hrsg.) (1983). *Lohhausen — Über den Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Bern: Huber.
- Eyferth, K., Schömann, M. & Widowski, D. (1986). Umgang mit Komplexität: Stellenwert von Wissensrepräsentation in der Theorie des Problemlösens. *Sprache & Kognition*, 5, 11—26.
- Funke, J. (1983). Einige Bemerkungen zu Problemen der Problemlöseforschung oder: Ist Testintelligenz doch ein Prädiktor? *Diagnostika*, 29 (4), 283—302.

- Horn, W. (1983). *Leistungsprüfsystem LPS 2. Aufl.* Göttingen: Hogrefe.
- Hübner, R. (1989). Methoden zur Analyse und Konstruktion von Aufgaben zur kognitiven Steuerung dynamischer Systeme. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 36 (2), 221—238.
- Hussy, W., Brockhaus, Ch., Figura, E., Klinck, D. & Huwer, M. (1990). Wissenserwerb und -anwendung: erste Ergebnisse einer Untersuchung zum Umgang mit einem komplexen Kleinsystem. *Trierer Psychologische Berichte*, 17 (2).
- Mackinnon, A. J. & Wearing, A. J. (1985). System analysis and dynamic decision making. *Acta Psychologica*, 58.
- McCarthy, J. (1956). The inversion of functions defined by turing machines. In: Shannon, D. E. & McCarthy, J. (Hrsg.). *Automata studies. Annals of Mathematical Studies*, 34, 177—181.
- Putz-Osterloh, W. (1983). Über Determinanten komplexer Problemlöseleistungen und Möglichkeiten zu ihrer Erfassung. *Sprache & Kognition*, 2, 100—116.
- Putz-Osterloh, W. (1985). Selbstreflektion, Testintelligenz und inter-individuelle Unterschiede bei der Bewältigung komplexer Probleme. *Sprache & Kognition*.
- Putz-Osterloh, W. (1986). Gibt es Experten für komplexe Probleme? Aachen: Bericht aus dem Psychologischen Institut der RWTH.
- Putz-Osterloh, W. & Lüer, G. (1981). Über die Vorhersagbarkeit komplexer Problemlöseleistungen durch Ergebnisse in einem Intelligenztest. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 28, 309—334.
- Reichert, U. & Dörner, D. (1988). Heuristiken beim Umgang mit einem „einfachen“ dynamischen System. *Sprache & Kognition*, 7, 12—24.
- Schmid, U. (1989). Deskription und Analyse komplexer Verhaltenssequenzen: Benutzerstrategien beim Arbeiten mit CAD-Systemen. Unveröffentlichte Diplomarbeit, FB2 der TU Berlin.
- Schmid, U. & Meseke, B. (1991). Deskription und Analyse komplexer Verhaltenssequenzen: Benutzerstrategien beim Arbeiten mit CAD-Systemen. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 38 (im Druck).
- Strohschneider, S. (1985). Die Stabilität von Verhaltensmerkmalen, Intelligenz und Coping-Strategien bei der Steuerung eines komplexen Systems. Bamberg. Diplomarbeit im Fach Psychologie.
- Upmeyer, A. et al. (1988). Arbeitsbericht der DFG-Forschergruppe „Konstruktionshandeln“, Teilprojekt „Nonreaktive Erfolgskontrolle und Lernhilfenoptimierung von Software“.
- Winograd, T. (1975). Frame representation and the declarative/procedural controversy. In: Bobrow, D. G. & Collins, A. (Hrsg.). *Representation and understanding: Studies in Cognitive Science* (185—210). New York: Academic Press.

Anschrift der Verfasser: Dipl.-Psych. Ute Schmid und Dipl.-Psych. Norbert Andresen, Institut für Psychologie der Technischen Universität Berlin, Dovesstraße 1—5, 1000 Berlin 10.