

INFORMATIVITÄT VERSUS ROBUSTHEIT

Vergleich von Suchvorgängen im menschlichen Gedächtnis mit
Mensch-Maschine-Dialogen am Beispiel Btx

Alf C. Zimmer, Hermann Körndle und Cornelia Karger,
Regensburg

Zur Bewertung der Gestaltung von Wissenssystemen (z.B. Datenbanken) ist es notwendig, Kriterien aus Theorien des Wissens abzuleiten. Wie Toulmin (1972) feststellt, besteht ein gravierender Unterschied zwischen philosophischen Theorien des Wissens und den Prozessen, die sich bei der Sammlung, Bewertung und Ableitung von Wissen in wissenschaftlichen wie alltäglichen Kontexten abspielen. Philosophische Theorien des Wissens sind nach Toulmin durch die Suche nach grundlegenden Prinzipien charakterisiert, mit Hilfe derer der menschliche Geist die intellektuelle Beherrschung einer als stabil angenommenen Ordnung der Natur zu erreichen sucht. Damit wird die Rolle der Wissensphilosophie auf die Bewertung von vorhandenem Wissen eingeschränkt; Popper (1934) grenzt sogar den Erwerb neuen Wissens oder die Aufstellung neuer Theorien explizit aus der Epistemologie aus und verweist darauf, daß dies Fragen der Psychologie seien.

Psychologische Theorien des Wissens lassen sich grob in Spurenthorien und Theorien „subjektiver Kollektionen“ aufteilen, wobei die Ordnungsprinzipien dieser Kollektionen entweder als räumlich (semantischer Raum), hierarchisch oder episodisch strukturiert angenommen werden. Bei Kollektionstheorien steht also der Strukturgesichtspunkt im Vordergrund, während die Spurenthorien eher auf die Erklärung von Prozessen (z.B. Erlernen, Vergessen) ausgerichtet sind. Interferenzphänomene, der 'Köhler-Restorff'-Effekt, systematische Veränderungen sowohl im semantischen wie im episodischen Gedächtnis haben zu Modellen geführt, in denen prozessuale und strukturelle Aspekte menschlichen Wissens integriert werden: Schema-Theorien (z.B. Rumelhart 1980, Schmidt 1975, Zimmer 1986), Theorien der Kanalkapazität (z.B. Miller 1956, Simon 1970) bzw. Mehr-Speicher-Theorien (z.B. Tulving & Donaldson 1972, Shiffrin & Schneider 1977) und Theorien zur Verarbeitungstiefe (z.B. Craik & Lockhart 1972). Die skizzierte Vielfalt psychologischer Theorieansätze zum Erwerb, zur Verarbeitung und zur Nutzung von Wissen macht es allerdings auf den ersten Blick schwer, konsistente Kriterien für die Gestaltung von Wissenssystemen aus ihnen abzuleiten.

Wenn man dagegen berücksichtigt, daß die Ursprünge der o.g. Theoriestränge auf die Begründung von Mnemotechniken zurückgehen (die sog. „*memoria artificialis*“, s. Yates (1966)) lassen sich speziell für den Bereich der praktischen Nutzung von semantischem und Regel-Wissen zwei Optimalitätskriterien ableiten: (a) Informativität, d.h. wie läßt sich die Menge speicherbarer Information maximieren, und (b) Robustheit, d.h. wie läßt sich sicherstellen, daß Gedächtnisinhalte auffindbar bleiben angesichts von Interferenzen und unspezifischen Störungen.

Kriterium (a) betrifft vor allem Encodierungsprozesse und Kriterium (b) Decodierungsprozesse; da beide aber nicht in Isolation voneinander betrachtet werden können, reicht eine Operationalisierung dieser Kriterien nicht aus, sondern es muß auch nach einem optimalen trade-off zwischen beiden gesucht werden.

Für hierarchisch geordnete Wissenssysteme wird die Informativität der Encodierung optimal, wenn auf jeder Ebene nur binäre Entscheidungen zu fällen sind; dies führt jedoch zu extrem langen (und damit fehleranfälligen) Suchvorgängen, also einer geringen Robustheit. Ausgehend von Strategien bei Suchvorgängen lassen sich Kriterien für Speicherungsarten entwickeln, die für diese Strategien optimal sind. Drei prototypische Suchstrategien sind denkbar und werden vor allem in der optimalen Codierungstheorie verwendet:

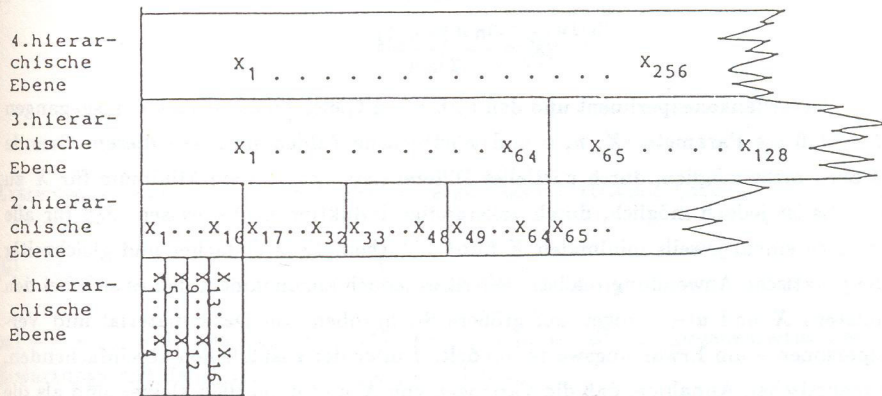
- 1) die Minimierung der längstmöglichen Suche, d.h. die Absicherung gegen den schlechtest möglichen Fall (maximale Robustheit),
- 2) die Minimierung der durchschnittlichen Suchlänge, d.h. gleichzeitige Berücksichtigung von Informativität und Robustheit, und
- 3) die Maximierung von Fällen kürzest möglicher Suchzeit; dies impliziert, daß alle Information gleichzeitig vorhanden sein muß. Diese Strategie ist auf dem Hintergrund von psychologischen Aufmerksamkeitstheorien bzw. der eingeschränkten Kanalkapazität (G. A. Miller's „magical number 7 ± 2 “) ausschließlich bei extrem kleinem Wissensumfang anzuwenden. Aus diesem Grunde wird diese Strategie im weiteren nicht mehr berücksichtigt.

Eine Veranschaulichung der „trade-off“-Funktionen, die den Strategien 1 und 2 zugrunde liegen, kann das folgende Gedankenexperiment liefern (wobei festzuhalten ist, daß dieses Gedankenexperiment sowohl auf das menschliche Gedächtnis wie auch auf externe, d.h. künstliche, Gedächtniswerkzeuge, wie z.B. Datenbanken anzuwenden ist):

Gegeben sei z.B. eine Erinnerungsliste von 256 Wörtern; eine Versuchsperson habe alle Wörter gelernt. Damit ist der Speicher der Versuchsperson mit 256 „Einheiten“ belastet. Später werde die Versuchsperson mit einer Wiedererkennungsaufgabe konfrontiert (z.B. „Befand sich Wort x_i in der Liste?“). Wenn die Versuchsperson die einzelnen Wörter beziehungslos gelernt hat, sind im Schnitt 128,5 Vergleichsoperationen notwendig, um das gesuchte Wort in der Liste zu finden.

Wenn dagegen die Versuchsperson die Wörter nach irgendeinem abstrakten System geordnet hat, z.B. nach Wortlänge in die 4 Klassen „einsilbig“, „zweisilbig“, „dreisilbig“ und „vier- und mehrsilbig“, so reduziert sich die Suche auf durchschnittlich 2,5 Suchschritte zwischen den Klassen und durchschnittlich 32,5 Suchschritte innerhalb der Klassen; d.h. durch eine Mehrbelastung des Speichers von 4 „Einheiten“ also weniger als 2%, verringert sich die Anzahl der Suchschritte auf 27,2% der ursprünglichen Zahl. Eine weitere Minimierung der Anzahl benötigter Suchschritte ist möglich, wenn eine hierarchische Klassifikation wie in Abbildung 1 durchgeführt wird:

Abb. 1: Symmetrische Hierarchisierung von 256 Wörtern



In diesem System muß die Versuchsperson auf jeder Ebene der Hierarchie im Durchschnitt $\frac{1+2+3+4}{4} = 2,5$ Suchschritte ausführen, insgesamt ist also der Erwartungswert für die Anzahl benötigter Suchschritte $4 \cdot 2,5 = 10$. Hier wird eine Verminderung der Anzahl der Suchschritte auf 7,8% erreicht bei einer gleichzeitigen Mehrbelastung des Speichers um 4,7%.

Bei Zugrundelegung dieses formalen Suchmodells erscheint eine hierarchische Ordnung dann optimal zu sein, wenn bei möglichst geringfügiger Mehrbelastung des Speichers eine möglichst große Reduzierung der Suchzeit erreicht wird; dieses Problem ist algebraisch lösbar.

Definitionen:

- X : = Anzahl der Suchprozesse bis zur Auffindung des richtigen Wortes
- n : = Anzahl der Wörter in der Erinnerungsliste
- v : = Anzahl der Ebenen in der hierarchischen Ordnung
- u : = Anzahl der Klassen auf jeder hierarchischen Ebene

Auf jeder hierarchischen Ebene müssen $\frac{v(u+1)/2}{u} = \frac{1}{2}(u+1)$ Vergleiche angestellt

werden, insgesamt also

$$(1) \quad X = v \cdot \frac{u+1}{2} = v/2(u+1)$$

Vergleiche. Unter der Voraussetzung gleich großer Klassen ist

$$(2) \quad n = u^v$$

und daher

$$(3) \quad v = \frac{\ln n}{\ln u}$$

Durch Einsetzen von (3) in (1) ergibt sich

$$(4) \quad X = \frac{\ln n (u+1)}{2 \ln u}$$

Im Gedankenexperiment und den bisherigen Gleichungen ist davon ausgegangen worden, daß die Parameter X , n , v und u natürliche Zahlen sind; aus diesem Grunde ist es auch nicht möglich, durch partielles Differenzieren nach u ein Minimum für X zu finden. Es ist jedoch möglich, durch vollständige Induktion nachzuweisen, daß für alle n $u \approx 4$ zu einem jeweils minimalen X führt. Mathematisch einfacher und gleichzeitig für die praktische Anwendung realistischer ist es jedoch anzunehmen, daß es sich bei den Parametern X und u – bezogen auf größere Stichproben von Datenmaterial und Versuchspersonen – um Erwartungswerte handelt. Hinter der zusätzlichen vereinfachenden, aber realistischen Annahme, daß die Varianzen von X und u deutlich kleiner sind als die entsprechenden Erwartungswerte, läßt sich ein Minimum für X dadurch finden, daß die Funktion (4) nach u abgeleitet und gleich Null gesetzt wird:

$$(5) \quad \begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial u} &= \frac{\ln n}{2} \frac{d\left(\frac{u+1}{\ln u}\right)}{du} \\ &= \frac{\ln n}{2} \frac{\left(\ln u - ((u+1) d(\ln u)/du)\right)}{(\ln u)^2} \\ &= \frac{\ln n \ln u - ((u+1)/u)}{2 (\ln u)^2} \end{aligned}$$

Nullsetzung dieser ersten Ableitung ergibt

$$(6a) \quad \frac{\ln n}{2} = 0$$

damit ist impliziert, daß $n = 1$, d.h. der triviale Fall einer Wörterliste mit nur einem Wort. Als nichttriviale Lösung ergibt sich daher

$$(6b) \quad \begin{aligned} \ln u &= 1 + \frac{1}{u} \\ u &\approx 3,59 \end{aligned}$$

Ausgehend von der Überlegung, daß eine wirksame Suchstrategie auch unter ungünstigen Bedingungen die Suchdauer nicht zu groß werden lassen sollte, erscheint die Minimierung der Funktion X_{\max} , der größtmöglichen Anzahl von notwendigen Suchschritten, sinnvoll.

$$(7) \quad X_{\max} = u \cdot v$$

$$(8) \quad = \ln n \frac{u}{\ln u} \quad \text{siehe (3).}$$

Ableitung nach u ergibt

$$\begin{aligned} \frac{\partial X_{\max}}{\partial u} &= \ln n \frac{d\left(\frac{u}{\ln u}\right)}{du} \\ &= \ln n \frac{\ln(u) - u d(\ln u)/d(u)}{(\ln u)^2} \\ &= \ln n \frac{\ln u - 1}{(\ln u)^2} \end{aligned}$$

Extremwertbestimmung durch Nullsetzen ergibt als nichttriviale Lösung

$$(9) \quad 0 = \frac{\ln(u) - 1}{(\ln u)^2}$$

bei $u = e$ ein endliches Extremum (Minimum), d.h. bei dieser Vorgehensweise liegt der Erwartungswert der optimalen Klassengröße bei 2.72.

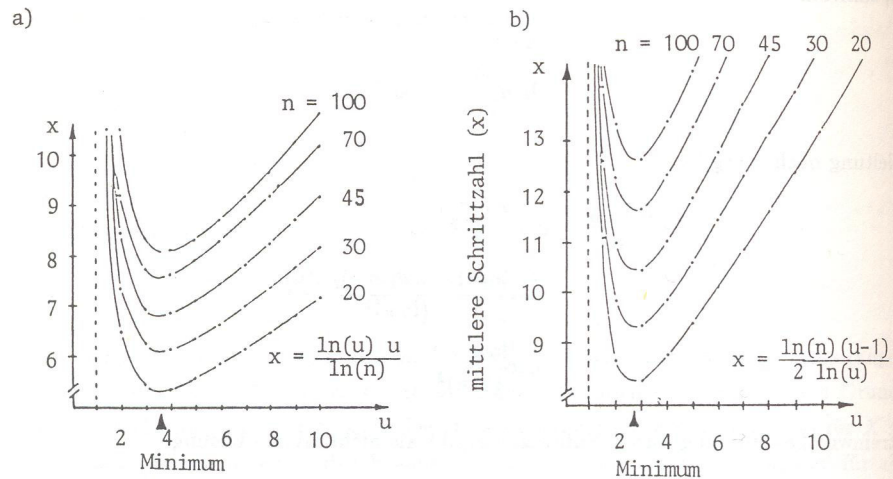
Ähnliche Ansätze finden sich in Arbeiten zur optimalen Codierung, z.B. bei Sussenguth (1963), Mattson, Gecsei, Slotz und Traiger (1970), Dirlam (1972).

Funktionen für die Abhängigkeit der durchschnittlichen Suchschritte in Abhängigkeit von den Clustergrößen (Formel 4) für verschiedene n sind in Abbildung 2a dargestellt; die entsprechenden Funktionen für die maximal notwendigen Suchschritte (Formel 8) finden sich in Abbildung 2b.

Daß die Minima der beiden Funktionenschar deutlich unter der vielfach experimentell bestätigten Anzahl von 7 ± 2 Chunks des Kurzzeitspeichers liegen, ist plausibel, da für die korrekte Identifikation nicht nur die Elemente auf der untersten Stufe notwendig sind, sondern auch alle Kontextspezifikationen, die auf höheren Hierarchieebenen vorgenommen worden sind (der Begriff „Gummireifen“ hat z.B. unterschiedliche charakteristische Eigenschaften, je nach dem, ob er im Kontext „Autozubehör“, „Sportartikel“ oder „medizinische Hilfsartikel“ aufgesucht worden ist).

In einer Reihe von Experimenten sind Clustergrößen und Hierarchiestrukturen systematisch variiert und auf ihre Auswirkung beim freien Reproduzieren untersucht worden. Diese Technik wurde gewählt, da sie wohl am ehesten „ökologische Validität“ aufweist, d.h. der Wissensuche in Alltagssituationen entspricht. Die Ergebnisse lassen

Abb. 2: Vergleich der Minimierung der mittleren Anzahl von Suchschritten (links) und der maximalen Anzahl von Suchschritten (rechts); u bezeichnet die Clustergröße, n die Anzahl der Items in der Suchwortliste. Auf der Ordinate ist das Kriterium aufgetragen.



sich über alle untersuchten Bereiche (u.a. biologische, geographische, kulturhistorische Begriffe) folgendermaßen zusammenfassen:

- 1) Bei gleichmäßigen Hierarchien und Clustergrößen von 3 – 4 ist (a) die Reproduktionsleistung am größten, bleibt (b) die zugrundeliegende kategoriale Ordnung am besten erhalten bzw. entwickelt sich, wenn die ursprüngliche Vorgabe rein zufällig gewesen ist, und es treten (c) keine Einschübe („intrusions“) auf.
- 2) Bei ungleichmäßigen Hierarchien ist (a) die Reproduktionsleistung geringer als bei 1), tritt eine deutliche Tendenz in Richtung auf eine gleichmäßigere Hierarchie auf, indem (b) große Cluster (≥ 6) aufgespalten werden und (c) kleine Cluster (≤ 3) durch Einschübe ergänzt werden.
- 3) Wenn einunddieselben Zielobjekte (z.B. Bauwerke) durch alternative Ordnungshierarchien (z.B. Stil, geographische Lage, Funktion) gesucht werden können, wählen Versuchspersonen jeweils die Hierarchie, die möglichst gleichmäßig ist und deren Erwartungswert für die Clustergrößen bei geringer Varianz im Bereich 3,5 bis 4 liegt. Allerdings wechseln die Versuchspersonen von einer Ordnungshierarchie zu einer anderen, sobald sie aufgrund ihres Metawissens entscheiden können, daß sie mit der bisher genutzten Ordnungshierarchie nicht ans Ziel (d.h. das gewünschte Item o.ä.) gelangen können. Bei diesem Suchstrategiewechsel wird jedoch die bisherige Sucharbeit insofern verwertet, als nur der Teil der neuen Ordnungshierarchie aktiviert wird, der mit den bisherigen Suchraumeinschränkungen kompatibel ist.

Die theoretischen Überlegungen und empirischen Ergebnisse führen zu einem

Modell für eine Wissensstruktur, in der ein für die Suche möglichst günstiger „trade-off“ zwischen Informativität und Robustheit erreicht wird. Die für die Simulation einer solchen Wissensstruktur notwendigen Annahmen finden sich in Zimmer (1982, S. 245). Aus dem skizzierten Modell von Wissensstrukturen, die alltäglichen Suchvorgängen im Gedächtnis zugrunde liegen, lassen sich für die Gestaltung von Datenbanksystemen folgende Konsequenzen ziehen:

- 1) Wenn die Nutzer selbst die kontextuellen Bedeutungen kontrollieren, sind mehr als 4 Alternativen auf jeder Ebene inadäquat.
- 2) Wenn das System die kontextuelle Bedeutungseinschränkung selbständig vornimmt, kann bei Menue-Auswahlen die der Aufmerksamkeitsspanne des Nutzers angepaßte Kanalkapazität (7 ± 2) genutzt werden.
- 3) Da bei einer automatischen kontextuellen Einschränkung infolge der inhärenten Unschärfe natürlicher Begriffe die resultierende Spezifikation so hoch sein kann, daß der Zielbegriff mit ausgesondert wird, müssen entweder unscharfe Operatoren (z.B. Zadeh 1965 bzw. Zimmermann 1980), Quantoren (Zimmer 1984) und Begriffe (z.B. Rosch 1978, Kempton 1984) in der Datenbank verwendet werden (was zu hohem Rechneraufwand führen kann, aber nicht muß, s. dazu Yager (1985)) oder es müssen Menue-Alternativen mit der Funktion „zurück“ (d.h. zur nächst höheren Hierarchiestufe) bzw. „UNDO“ vorgesehen werden.

Versuche, die Abfragesprachen (query languages) natürlichen Sprachen soweit wie möglich anzupassen (z.B. in Q & A bzw. deren deutsche Übersetzung F & A) führen aufgrund eigener Erfahrungen bzw. der Befragung von Nutzern nicht zu einer gravierenden Verbesserung der Situation, da diese Systeme mit vielen Anfragen, die in der natürlichen Sprache absolut eindeutig sind, nicht zurecht kommen und daher Fehlermeldungen geben. Wenn die Abfragenden der Meinung sind, eindeutige Fragen gestellt zu haben, kommen sie entweder nicht auf den Gedanken, die syntaktischen Merkmale der Anfrage solange zu variieren, bis sie in der query language bearbeitet werden können – was das einzige zum Ziel führende Vorgehen ist – oder aber wenn sie auf diesen Gedanken kommen, erleben sie das ständige Umformulieren von Fragen als so mühsam, daß die anscheinend so nutzerfreundliche natürlichsprachige query language als eher hinderlich für die Informationssuche angesehen wird.

Experimente mit Btx haben gezeigt, daß die Probleme der Nutzer vor allem darauf zurückzuführen sind, daß dieses System keine hinreichende selbständige Kontexteinschränkung vornimmt (z.B. bei der Wahl „Reifen“ aus dem Menue „Autozubehör“ wird eine Liste von Herstellern von Geräten zur Reifenproduktion geliefert, nicht aber Vertriebsfirmen für Autoreifen; zu diesen gelangt man durch die eigentlich an dieser Stelle nicht zulässige Operation „Zurückblättern“). Andere Probleme bestehen darin, daß von den Nutzern als synonym oder zumindest hochgradig überlappend verstandene

Begriffe als Alternativen angeboten werden, wobei die Listen der darunter zugreifbaren Zielbegriffe nicht überlappend sind. Die Notwendigkeit, in diesem Fall wieder auf der obersten Hierarchieebene anzufangen, anstatt nur eine Stufe zurückzugehen, wirkt auf den Nutzer demotivierend.

In einer Untersuchung mit Probanden, die keine Vorerfahrung mit dem System hatten, sollten die Bedienungsabläufe anhand ausgewählter Aufgaben erfaßt werden, um daraus Hinweise für die Nutzung bzw. teilweise Umgestaltung des Systems abzuleiten. Mit den Aufgaben sollten Informationen aus 3 Themenbereichen abgefragt werden, nämlich „Auto und Verkehr“, „Reisen und Wetter“, „Fernsehen, Hörfunk, Bücher, Zeitungen“. Innerhalb dieser Themenbereiche variieren die zur optimalen Lösung der Aufgaben nötigen Eingabeschritte systematisch zwischen 5 und 9 Operationen, sodaß die Probanden insgesamt 15 Aufgaben zu bearbeiten hatten. Um Reihenfolgeeffekte bei der Aufgabenbearbeitung kontrollieren zu können, wurden 3 Nutzergruppen gebildet, die entweder die Aufgaben nach Themenbereichen geordnet, nach Anzahl der Operationen geordnet oder in zufälliger Reihenfolge zu bearbeiten hatten.

Während der Aufgabenbearbeitung wurden die Eingabeoperationen und die zwischen ihnen liegenden Zeiten mit einem Rechner, die Informationsausgabe des Btx-Systems mit einem Videorekorder registriert.

Vor jeder Eingabe wurde mit ratings die subjektive Sicherheit über die Reaktion des Systems nach der Eingabe von Suchbegriffen, die aus den Menüs ausgewählt werden konnten, erfaßt. Nach der Lösung jeder Aufgabe wurde die Vorgehensweise des Probanden durch ein halbstandardisiertes Interview erhoben.

Folgendes Beispiel soll das Vorgehen eines Probanden verdeutlichen, dem die Aufgabe gestellt wurde, sich nach den Zimmerpreisen im Hotel Weißer Hase in Passau zu erkundigen:

Der Proband startet im Schlagwortverzeichnis mit den Schlagwörtern Ho - Hz (Weg 1). Das gesuchte Hotel taucht dort nicht explizit unter den Passauer Hotels auf, sondern verbirgt sich hinter einem der Anbieter („Bayerntouristik“). Erfolgreich wäre hier nur systematisches Durchprobieren der unterschiedlichen „Touristik“-Anbieter, da sich ihr Angebot nicht aus ihrem Namen ableiten läßt, nicht erkennbar ist, ob sie das gesuchte Hotel auch anbieten.

Stattdessen wechselt der Nutzer in das Sachgebietsverzeichnis (Weg 2) und ruft „Städte, Länder, Regionen“ auf. Der in der Region Niederbayern gewählte Anbieter liefert die gesuchte Information nicht, deswegen geht der Proband in das Schlagwortverzeichnis zurück, um nach „Passau“ zu suchen (Weg 3).

In den folgenden 5 Abschnitten (Weg 4 - 8) des Lösungswegs erreicht er dann über die Begriffe „Bayern“, „Länder“, „Regionen“, „Niederbayern“ den richtigen Anbieter.

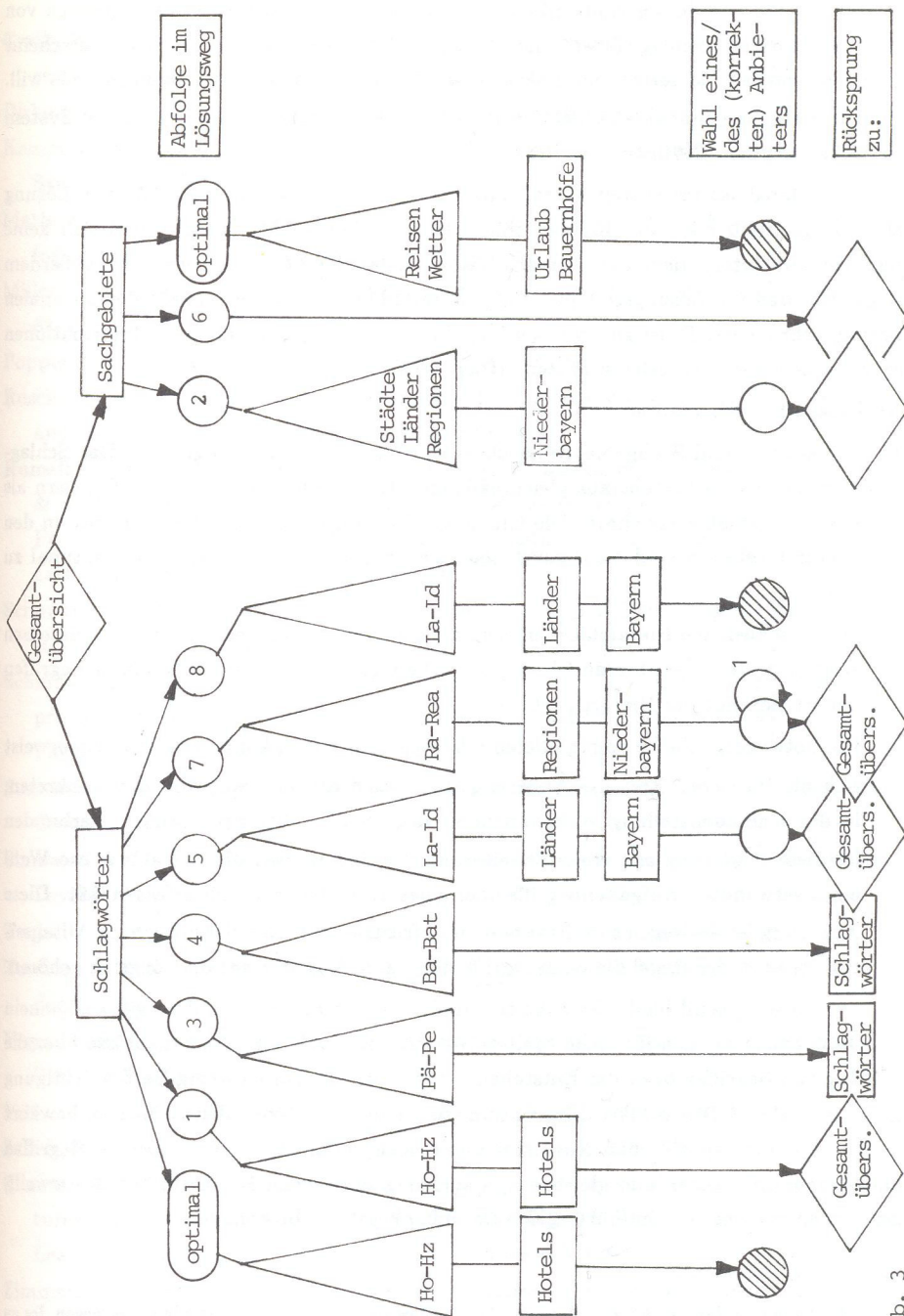


Abb. 3

In der Abbildung sind links und rechts außen die optimalen Lösungswege von den Startpunkten „Schlagwörter“ und „Sachgebiete“ aus dargestellt. Letzterer erscheint völlig unplausibel, da der Proband nach einem Hotel sucht und nicht Urlaub machen will. Die zur Aufgabe gehörende subjektive Begriffsstruktur findet ihr Äquivalent im System nur in der expliziten Angabe der Hotels.

Global ist festzustellen, daß alle Probanden unerwartet viel Zeit zur Lösung aller Aufgaben benötigten (für das obige Beispiel über 10 Minuten), wobei sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Lösungszeiten der 3 Gruppen ergeben. Außerdem zeigt sich, daß die Lösungszeit pro Aufgabe unabhängig von der Anzahl der optimalen Lösungsschritte ist. Es ist zu erwarten, daß die in den Aufgaben gesuchten Informationen sehr viel schneller per Telefon hätten erfragt werden können.

An Details ist festzuhalten:

- 1) Schlagwort- und Sachgebietsverzeichnis sind unterschiedlich aufgebaut. Das Schlagwortverzeichnis besteht aus gleichmäßigeren Hierarchien und kleineren Clustern als das Sachgebietsverzeichnis. Die Clustergrößen und die Anzahl der Elemente in den Hierarchieebenen sind nach psychologischen Erkenntnissen zu groß, um optimal zu sein.
- 2) Die verschiedenen Hierarchieebenen sind nicht exakt voneinander getrennt. Dieselben Begriffe treten in mehreren Ebenen auf. Die Gruppierung von bestimmten Begriffen ändert sich mit der Hierarchieebene.
- 3) Die notwendige Suche vom globalen Oberbegriff hin zum konkreten Problem erweist sich als Barriere. Erst die Änderung der Suchstrategie – weg von den konkreten, in der Aufgabenstellung vorkommenden Begriffen – führt zur Lösung. Verbunden ist diese Änderung mit einer Erweiterung des Suchraums, die sich durch die Wahl eines verwandten Aufgabenbegriffs oder eines neuen Oberbegriffs erfassen läßt. Diese Änderung ist deswegen so zeitraubend und frustrierend, da bei Abfragen in Alltagssituationen in der Regel die Oberbegriffe nicht zum Inventar der Suchbegriffe gehören.

Abschließend bleibt festzuhalten, daß nicht nur bei Btx, sondern ganz allgemein bei Datenbanksystemen für einen breiten Nutzerkreis psychologische Ergebnisse über die Bildung von Begriffen bzw. das Entstehen natürlicher Kategorien wenig Berücksichtigung gefunden haben.¹ Dies erklärt u.E., warum vor allem die Datenbanksysteme sich bewährt haben, die einen spezifischen Nutzerkreis mit hochgradig konventionalisierten Begriffen und Regeln ansprechen und gleichzeitig die charakteristischen Eigenschaften des jeweiligen Arbeitsplatzes vor Einführung des Datenbanksystems beibehalten.

¹Eine Ausnahme ist das von AT & T durchgeführte 'yellow pages'-Programm, das allerdings wegen des zu hohen Rechneraufwandes nur im Labor angewendet worden ist.

Literaturverzeichnis:

- Craik, F.I.M. & Lockhart, R.S. (1972): Levels of processing: A framework for memory research. In *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671-684.
- Dirlam, D.K. (1972): Most efficient chunk sizes. In *Cogn. Ps.* 3, 355-359.
- Kempton, W. (1984): Interview methods for eliciting fuzzy categories. In *Fuzzy Sets and Systems* 14, 43-64.
- Mattson, R.L. & Gecsei, J. & Slotz, D.R. & Traiger, I.L. (1970): Evaluation techniques for storage hierarchies. In *IBM-Systems J.* 9, 78-117.
- Miller, G.A. (1956): The magical number seven – plus or minus two. In *Ps. Rev.*, 63, 81-97.
- Popper, K.R. (1934): *Logik der Forschung*. Wien: Julius Springer.
- Rosch, E. (1978): Principles of categorization. In E. Rosch & B.B. Lloyd (Ed.) *Cognition and Categorization*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Rumelhart, D.E. (1980): Schemata – the building blocks of cognition. In R.J. Spiro & B.C. Bruce & B.F. Brewer (Eds.) *Theoretical Issues in Reading comprehension: Perspectives from Cognitive Psychology, Linguistics, Artificial Intelligence, and Education*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Ass.
- Schmidt, R.A. (1975): A schema theory of discrete motor skill learning. In *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Schiffirin, R.M. & Schneider, W. (1977): Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. In *Psychological Review* 84, 127-190.
- Sussenguth, E.H. (1963): Use of tree structures for processing files. In *Comm. Ass. Comp. Mach.* 6, 272-279.
- Simon, H.A. (1970): How big is a chunk? Invited address at the meeting in The Eastern Psychol. Ass., 4.
- Toulmin, S. (1972): *Human Understanding*. Princeton: Princeton University.
- Tulving, E. & Donaldson, W. (Eds.) (1972): *Organization of Memory*. New York: Academic Press.
- Yager, R.R. (1985): Knowledge trees in complex knowledge bases. In *Fuzzy Sets and Systems* 18, 45-64.
- Yates, F.A. (1966): *The Art of Memory*. Chicago: The University of Chicago.
- Zadeh, L.A. (1965): Fuzzy sets. In *Inform. and Control* 8, 338-353.
- Zimmer, A. (1982): The dependability of paired-associate learning on individual structures. In J. Linhart (Ed.) *Proceedings of the Third Prague Conference on Human Learning and Problem Solving*. Prague: Czechoslova Aca. of Sc.
- Zimmer, A. (1984): A model for the interpretation of verbal predictions. In *Int. J. Man-Machine Studies* 20, 121-134.

- Zimmer, A. (1986): A Fuzzy Model for the Accumulation of Judgments by Human Experts. In W. Karwowski & A. Mital (Eds.) Applications of Fuzzy Set Theory in Human Factors. Amsterdam: Elsevier-North Holland.
- Zimmermann, H.J. & Zysno, P. (1980): Latent connectives in human decision making. In: Fuzzy Sets and Systems 4, 31-51.

Prof. Dr. Alf Zimmer
Dr. Hermann Körndle
Cornelia Karger
Institut für Psychologie
Universität Regensburg
Universitätsstr. 31
8400 Regensburg