

Assoziation und Dependenz.

Zum Problem der prozeduralen Repräsentation von Wortbedeutungen¹

Burghard B. Rieger (Aachen)

1. Untersuchungen von Sprachproduktions- und Verstehensprozessen werden im Rahmen der experimentellen Psychologie und Kognitionstheorie, der künstlichen Intelligenzforschung und auch der linguistischen Semantik unternommen. Bei aller durch Problemstellung, methodischen Angang und analysierten Gegenstand der verschiedenen Disziplinen bedingten Unterschiedlichkeit der bisher vorliegenden Lösungsansätze lassen sich mindestens zwei – weitgehend noch separate, aber erkennbar schon konvergierende Tendenzen ausmachen: die zunehmende Bedeutung prozeduraler Verfahren bei der Repräsentation, Explikation und/oder Simulation von sprachverarbeitenden Prozessen und der dabei – explizit oder implizit gemachte Gebrauch von Wissensbasen.

Unter *Wissensbasen* sollen im folgenden übergreifend die nach Umfang, Komplexität und Aufbau zum Teil sehr unterschiedlich organisierten semantischen Informationen verstanden werden, die in der Regel als Zusammenhangsstrukturen von sprachlichen Termen und deren Bedeutungen dargestellt sind. Sie begegnen in der Psychologie als Gedächtnismodelle, in natürlich-sprachlichen Systemen der künstlichen Intelligenz als Sprach- und Weltwissen und zum Teil auch in der Linguistik als Lexikonstrukturen in unterschiedlichen Repräsentationsformen.

Als *prozedural* werden im folgenden jene Ansätze bezeichnet, die bestimmte Entitäten (hier: Bedeutungen, Begriffe, Konzepte, etc.) und deren Zusammenhänge nicht – oder nicht primär – als so und nicht anders vorliegende Gegebenheiten verstehen, sondern als zwar so beobachtete, aber möglicherweise auch anders realisierbare Resultate von semiotischen Prozessen deuten (Rieger 1977). Dem entspricht, daß sie Bedeutung nicht mengentheoretisch aufgrund vorliegender oder abwesender extensional bestimmter Merkmalsklassen beschreiben, bzw. durch deren Abstraktionen nach intensional bestimmten Eigenschaften unterscheiden, sondern – als (mehr oder weniger stabile) Resultate von Kognitionsprozessen – Bedeutung über Abstraktionen von Eigenschaften, d.h. über Prozeduren abzubilden suchen.

In Weiterführung dieses Gedankens von Suppes (1980) ließen sich demnach *prozedurale Wissensbasen* konzipieren, zu deren Aufbau – je nach gewählter Beschreibungsebene – unterscheidbare Merkmale, Eigenschaften, Relationen und Objekte nicht mehr vorausgesetzt zu werden brauchten, sondern als Werte von zu definierenden Prozeduren – je nach den zugrundeliegenden Daten – vom Modell selbst würden konstituiert werden können.

¹In: Klaus Oehler (Hrsg.): *Zeichen und Realität: Akten des 3. Semiotischen Kolloquiums der Deutschen Gesellschaft für Semiotik e. V., Hamburg 1981*, Stauffenburg Verlag, Tübingen, 1984

Die hier dargelegten Vorstellungen wurden zum Teil im Rahmen eines Forschungsprojekts der linguistischen Datenverarbeitung entwickelt, das vom Minister für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (IV A 2 - FA 8600) gefördert wird.

Die im folgenden (2.) zu skizzierende empirische Rekonstruktion von Wortbedeutungen als Prozedur zielt in diese Richtung. Hierzu wird zunächst (2.1) eine aus dem Wortgebrauch in Texten sich aufbauende (assoziative) Wissensstruktur algorithmisch rekonstruiert und formal als (metrische) Raumstruktur repräsentiert. Auf deren Bedeutungselementen kann sodann (2.2) ein Algorithmus operieren, der – je nach Aspekt, Kontext und Wissensbasis – den Bedeutungsgehalt eines Wortes als Abhängigkeitsstruktur (Dependenz) prozedural modelliert. Abschließend (3.) sollen zwei Beispiele diesen Rekonstruktionsansatz illustrieren.

2. Die semantischen Repräsentationssysteme, die im Rahmen der einschlägigen Forschungen der künstlichen Intelligenz (Cercone/Goebel 1981), der Kognitionstheorie und der experimentellen Psychologie (Wettler 1980) zur Darstellung strukturierten Wissens bzw. zur Modellierung von Gedächtnisstrukturen entwickelt wurden, bilden Bedeutungen und deren Zusammenhänge formal als gerichtete Graphen ab. Sie bestehen im wesentlichen aus Mengen von Knoten (Elementen) und Kanten (Relationen) sowie Vorschriften, wonach jeder benannten Kante genau zwei (gleiche oder verschiedene) benannte Knoten zugeordnet sind. Dabei repräsentieren die Knoten einzelne Bedeutungen, Begriffe, Konzepte, etc., die verbindenden Kanten die zwischen ihnen bestehenden semantischen, begrifflichen und/oder logischen Beziehungen. Die Vorschriften entsprechen den Verfahren, die angewendet wurden, um zu entscheiden, welche semantischen Beziehungen welchen Bedeutungen zuzuordnen sind (network type), welche Bedeutungen miteinander größere Einheiten bilden (frame type) oder welche Bedeutungen zusammen mit Regeln neue Bedeutungen bilden (production type).

Die als semantische Netze, Frames oder Produktionssysteme strukturierten Wissensbasen referentieller und zum Teil auch struktureller Bedeutungen wurden für die unterschiedlichsten Sach- und Gegenstandsbereiche erstellt. Sie finden zur Interpretation von sprachlichen Eingabeketten bzw. zur Steuerung der Bildung von Ausgabeketten ihre Anwendung in natürlichsprachlichen Dialog- und Frage-Antwort-Systemen (Fauser/Rathke 1981).

Der Aufbau dieser Wissensbasen und die Erhebung der dazu notwendigen sprachlichen Daten geschieht dabei introspektiv. Nicht eine empirisch-linguistische Analyse von relevanten Texten, sondern das sprachliche Vermögen und/oder Weltwissen des jeweiligen Systementwicklers selbst bzw. von dazu befragten Experten bilden die Grundlage der Wissens- und Bedeutungsrepräsentationen. Damit bleiben derart aufgebaute Wissensbasen und -Modelle jedoch nicht nur auf einen, durch die jeweiligen Experten abgedeckten Ausschnitt des gesamten Welt- und Sprachwissens beschränkt (was für anwendungsorientierte Systeme eher als vorteilhaft gelten kann), sondern dieser Ausschnitt wird darüber hinaus noch eingeschränkt durch die Abbildung von Strukturen ausschließlich deklarativen Wissens. Anders als assoziative Gedächtnisinhalte, die – wenn überhaupt – in ihrem Aufbau und Zustandekommen nur prozedural explizierbar erscheinen, wird deklaratives Wissen – zumindest in wesentlichen Teilen – weitgehend statisch in seinem Vorhandensein und Bestehen repräsentiert (was zunehmend als ein theoretisch begründeter und praktisch sich auswirkender Nachteil dieser Modelle erkannt wird).

Als *deklarativ* soll hier dasjenige Wissen gelten, dessen Strukturierung und Modellierung einzig durch Bedeutungsbeziehungen erfolgt, die vermöge der zur Verfügung stehenden Namen oder sprachlichen Ausdrücke unterschieden, benannt und deshalb auch introspektiv gewonnen werden können. Dieses Wissen betrifft vornehmlich die externe Wirklichkeit und umfaßt überindividuelle, kanonisierte Zusammenhänge, die als Sach- und Fachwissen, Teil-Ganzes-Beziehungen, Unter-Oberbegriffs-Hierarchien, konzeptuelle und kategoriale Selektionsbeschränkungen, Tiefenkasus, etc. strukturiert werden können. Derartige Repräsentationen von Bedeutungen in diskreten Modellen erleichtern zwar die Suche, Identifikation und gegebenenfalls Interpretation von Bedeutungszusammenhängen (Knoten und Kanten) in bestimmten Eingabeketten. Sie versagt jedoch, wenn beispielsweise nicht identische, sondern unvollständige oder modifizierte Eingaben als den gespeicherten ähnliche Repräsentationen automatisch erkannt, gesucht und gefunden oder auch verändert werden sollen. Will so organisiertes Wissen und seine Modellierung in Graphen und Netzen die Abbildung unscharf gegebener Bedeutungen nicht vorsieht, stellen automatische Veränderungen des Wissens (Lernen und Vergessen) sowie die Variation von Bedeutungen derzeit für diese Modellstrukturen die größten Probleme dar, obwohl die Simulation gerade dieser Prozesse für die adäquate Verarbeitung natürlich-sprachlicher Informationen grundlegend sein dürfte (Zadeh 1981).

Im Unterschied zur Struktur des sogenannten deklarativen Wissens bezeichnet die *assoziative* Bedeutungsbeziehung ein Organisationsprinzip, das Erfahrungs- und Wissensbestandteile einander so zuordnet, daß ihre größere oder geringere inhaltliche Verwandtschaft oder Ähnlichkeit einer kleineren oder größeren Entfernung voneinander entspricht. Diese nicht deklarativ explizierbare (sondern nur rekonstruktiv beschreibbare) Bedeutungsbeziehung erscheint in ihrer unspezifischen Allgemeinheit nur von besonderen Bedingungen des Wissensstandes, der Ko- und Kontexte, des Aspekts, etc. gesteuert. Wie kognitionstheoretische Experimente aber hinreichend verdeutlichen konnten (Johnson-Laird/Wason 1977; Estes 1976), sind assoziative Bedeutungsbeziehungen nicht nur nicht zufällig, sondern überaus systembildend und für die primäre Strukturierung von Erfahrungswissen von Welt konstitutiv (Wilson 1980). Diese Strukturierungsleistung kann nur prozedural modelliert werden (Harnard 1982).

Die Aufgabe stellt sich daher nicht in der übergreifenden Klassifizierung der vielfältigen inhaltlichen Einflußgrößen, sondern darin, ein Konstitutionsprinzip der Inhalte und ihrer Bedeutungsbeziehungen für deren dynamische Rekonstruktion im Modell zu nutzen. Dies scheint möglich über den in assoziativen Zuordnungen sich konstituierenden Zusammenhang des Ganzen. Eine solche auf dem Systemzusammenhang aufbauende Modellbildung kann dabei vorteilhaft Gebrauch machen von dem (holistischen) Prinzip der 'strukturellen Kennzeichnung' (Carnap 1928). Danach ist jedes Element des Systems durch seine Beziehungen zu sämtlichen anderen Elementen des gleichen Systems nicht nur eindeutig bestimmbar, ohne daß es einer systemexternen Spezifizierung dieser Beziehungsstruktur bedürfte, sondern diese Beziehungsstruktur ist auch von jedem Element des Systems aus zugänglich. Damit bietet es sich als Modellvorstellung assoziativer Bedeutungsstrukturen an, zumal die quantitative Linguistik hierzu – anders als die experimentellen Ansätze der

psychologischen Assoziationstheorien – kommunikationstheoretisch fundierte, empirisch adäquatere, weil nicht introspektiv gewonnene Daten bereitstellt (Rieger 1981 a). Dieser Ansatz führt zu einer modell-theoretisch wie verarbeitungs-praktischen Unterscheidung des Aufbaus zunächst einer distanz-relationalen Basis von Wissensbausteinen (Bedeutungselementen), auf der sodann die diese Bausteine verbindende Beziehung (Dependenzrelation) durch algorithmisch wohldefinierte, aber von der Basisstruktur des Systemzusammenhangs gesteuerte Prozeduren erst induziert wird (Rieger 1981 b).

2.1 Als Grundlage für die Ermittlung von Bedeutungspunkten und des durch sie repräsentierten assoziativen Systemzusammenhangs fungieren wie anderswo näher ausgeführt – die Verwendungsregularitäten von Wörtern in Mengen von (pragmatisch-homogenen) Texten eines Sach- und Gegenstandsbereichs. Die in solchen Textmengen sich herausbildenden Regelmäßigkeiten in der Verwendung von Wörtern, Lexemen bzw. lemmatisierten Morphemgruppen in Zeichenketten werden über quantitativ-statistische Analysen ermittelt. Generell beobachtbare Zuordnungsregularitäten zwischen ko-okkurrierenden Zeichen in Texten, die sich vor dem Hintergrund des Zufalls als Korrelationen kontinuierlich zunehmender Determiniertheit deuten und messen lassen, können so in quantitativen Ausdrücken graduell beliebig präzise erfaßt werden. Sie stellen die numerische Grundlage der Wertverläufe von Abbildungen dar, welche einzelnen Lexikoneinträgen über dem Vorbereich aller verwendeten Wörter unscharfe Teilmengen des Vokabulars zuordnen lassen, und zwar als Funktion der numerisch spezifizierten Verwendungsregularitäten dieser Wörter im analysierten Textcorpus (Rieger 1981a). Die so entstehende Menge von unscharfen Teilmengen kann topologisch als metrische Datenstruktur (semantischer Raum) gedeutet werden. Die Elemente (Bedeutungspunkte) repräsentieren vage Bedeutungen als stereotypische Unterschiede von kontinuierlich variierenden Verwendungsregularitäten von Wörtern. Die unterschiedlichen Distanzen dieser Bedeutungspunkte zueinander bilden Punkthäufungen und Cluster, deren Zusammensetzung es nahelegt, von einem durch sie strukturierten Ausschnitt des betreffenden assoziativen Wissens zu sprechen (Rieger 1982b).

2.2 Die Verarbeitung symmetrisch-relationaler Datenstrukturen, wie sie das topologische Modell des semantischen Raumes bereitstellt, ist problematisch, da bestimmte Suchprozeduren zur Lösung von Retrieval- und Inferenz-Aufgaben nicht angewendet werden können. Um diesen Nachteil zu beheben, sind die distanzartigen Daten des semantischen Raumes in eine nicht-symmetrische, relationale Datenkonfiguration zu transformieren.

Unter Aufnahme von Überlegungen zur Gedächtnisstruktur (Cofer 1976) und Theorien über die sich ausbreitende Aktivierung abhängiger Teilstrukturen (priming) in Netzwerken (Collins/Loftus 1975), wurde nach dem CDS-Algorithmus zur Ermittlung konnotativer Dependenzstrukturen (Rieger 1981b) und der auf ihnen definierten Such- und Mergeprozeduren (Rieger 1982a) ein weiterer Algorithmus entwickelt, der ebenfalls auf den bisher vorliegenden Daten operiert. Er produziert quasi die Abwicklung einer n -dimensionalen Raumposition auf einen n -ären gerichteten Baumgraphen.

Durch Anregung eines Bedeutungspunktes im semantischen Raum gestartet, ermittelt diese neue Prozedur die jeweils nächstbenachbarten Bedeutungspunkte. Deren kleinste Distanzen

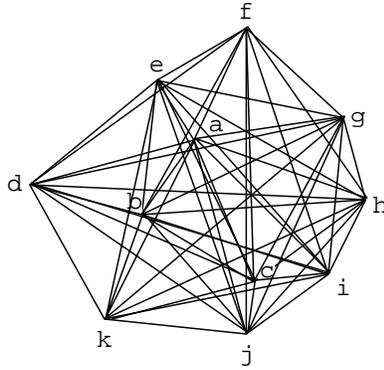


Abb. 1: Distanz-relationale Ausgangsbasis von 11 Punkten.

zueinander bestimmen, welche Punkte welchen schon ermittelten Punkten untergeordnet werden und zwar in der Rangfolge zunehmender Abstände vom Startpunkt. Wiederholte Anwendung dieser Methode der kleinsten Distanzen auf den so jeweils ermittelten Punkten führt zum Aufbau eines vom Startpunkt abhängigen Ausschnitts aus dem Strukturzusammenhang des semantischen Raumes. Indem der Algorithmus derart sämtliche Punkte im Raum abarbeitet, überführt er herrschende Bedeutungsähnlichkeiten in eine binäre, nicht-symmetrische, transitive Relation assoziativ-semantischer Dependenz. Diese erlaubt es, die Bedeutungspunkte als Knoten in Form eines n -ären Baumes zu organisieren, der assoziative Dependenzstruktur (ADS) einer Ausgangsbedeutung über einem Fragment einer Wissensbasis (semantischer Raum) heiße.

Zur Illustration der Arbeitsweise des ADS-Algorithmus bietet die *Abbildung 1* eine willkürlich gewählte (zweidimensionale) distanzrelationale Punktconfiguration als Ausgangsbasis, die hier ein Fragment des n -dimensionalen semantischen Raumes veranschaulicht. Aus diesem Fragment wählt nun der Algorithmus der kleinsten Distanzen unterschiedliche – vom jeweiligen Startpunkt abhängige – Teilstrukturen aus, deren ermittelte Dependenz für die Startpunkte *a*, *b* und *c* in *Abbildung 2* als Pfeile eingezeichnet sind, wobei deren kleinere oder größere Länge ein direktes Maß der höheren oder geringeren Abhängigkeit darstellt. Zusätzlich dazu sind die zugehörigen Baumgraphen wiedergegeben, die für die Abbildung höher dimensionierter Dependenzstrukturen geeigneter sind.

Die durch den Algorithmus der kleinsten Distanzen auf der Basis des semantischen Raumes aufgebauten Dependenzstrukturen können als Ermittlung eines Bedeutungszusammenhangs assoziativer Abhängigkeitsbeziehungen verstanden werden. Als solche bilden sie den Rahmen, innerhalb dessen bei Anregung eines Bedeutungspunktes (Knotens) sich eine Aktivierung abhängiger Punkte entlang der ermittelten Verbindungen ausbreitet. Damit stellen die ADS-Bäume aspekt- und bedeutungsabhängige Pläne möglicher assoziativer Aktivierung dar. Auf ein und derselben Basisstruktur generiert, machen sie so – je nach Startpunkt unterschiedliche – Teilstrukturen und Zusammenhänge des semantischen Raums den aspekt- und strukturgeleiteten Suchstrategien und Retrievalverfahren zugänglich. Sie bilden daher eine der Voraussetzungen für die empirisch abgesicherte und dabei operable Simulation von Prozessen des analogen Schließens durch automatische Verfahren, die im

Unterschied zu denen des logischen Schließens auch unscharf definierte, vage Bedeutungen präzise verarbeiten können.

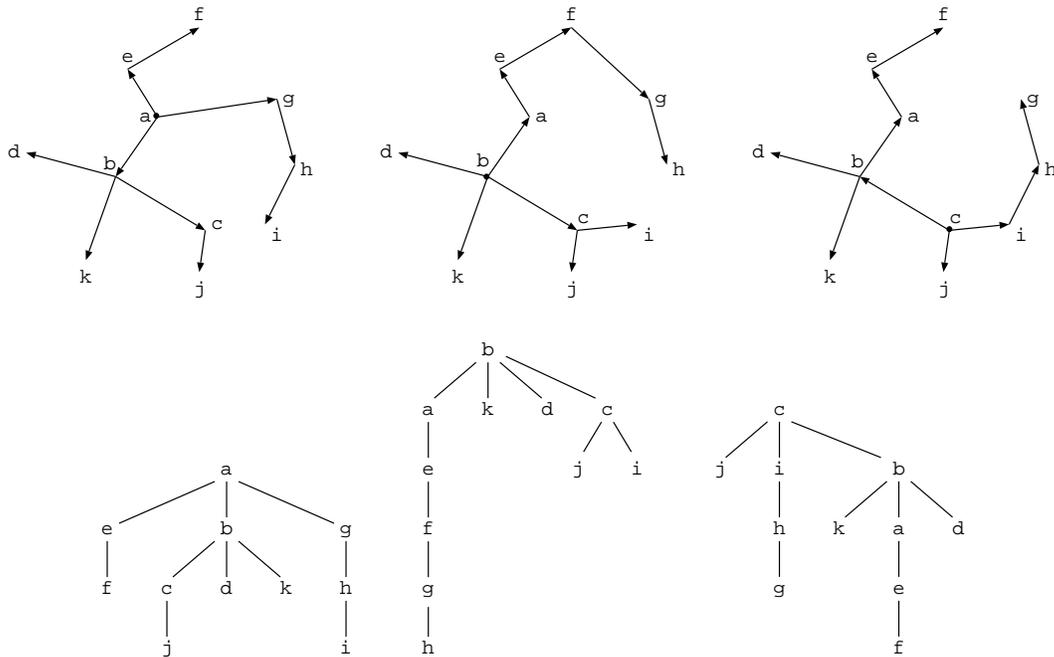


Abb. 2: Denz-Struktur der kleinsten Distanzen von Punkt a, b und c aus.

3. Zur abschließenden Veranschaulichung der Arbeitsweise des Algorithmus auf einer konkreten Datenbasis sollen zwei Beispiele vorgelegt werden.

Dabei handelt es sich um die Daten des semantischen Raums, der aufgrund der Analyse einer Zufallsauswahl von Texten der Berliner Ausgabe der Tageszeitung DIE WELT (Jahrgang 1964, 1. und 2. Seiten jeder Nummer) berechnet wurde. Als Startpunkte wurden ARBEIT und INDUSTRIE gewählt, die – nach jeweils 50 ermittelten Punkten abbrechend – zum Aufbau der in *Abb. 3* und *Abb. 4* wiedergegebenen Denz-Strukturen führten.

Jeder Knoten (Bedeutungspunkt) in diesen Bäumen ist dabei durch seinen Namen (Label) sowie seinen Distanzwert zum übergeordneten Knoten repräsentiert. Aus darstellungstechnischen Gründen sind verzweigende Nebenordnungen horizontal, direkte Unterordnungen vertikal aufgeführt.

Vergleiche der wechselseitigen Abhängigkeitspfade etwa von ARBEIT und INDUSTRIE sowie deren Kommentierung, die hier aus Platzgründen unterbleiben müssen, mögen den geneigten Leser zur Eigenaktivierung dieser Abhängigkeiten anregen.

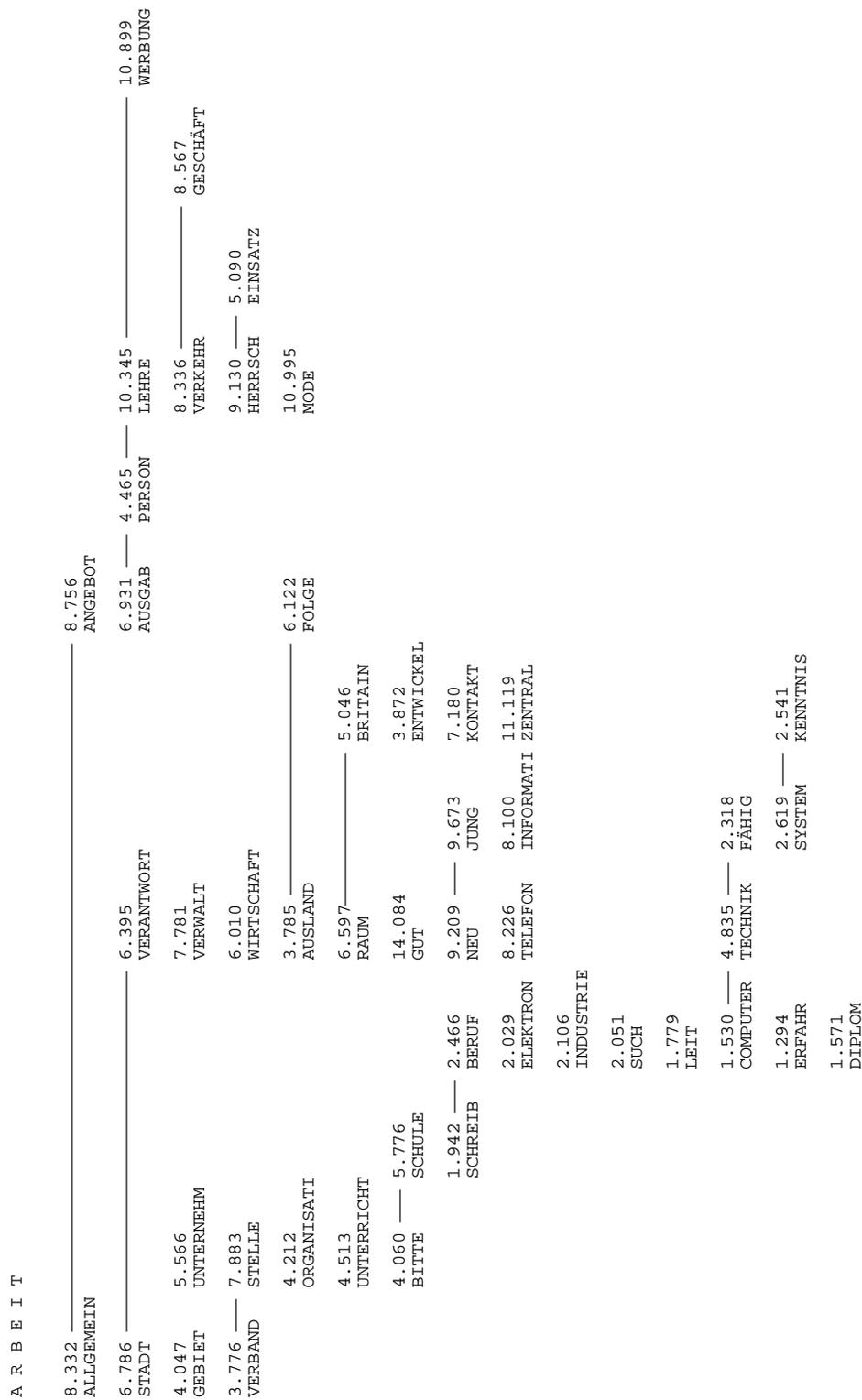


Abb. 3: Assoziative Dependenzstruktur (ADS) von ARBEIT über einem Fragment (50 Punkte) des semantischen Raumes der WELT-Zeitungstexte von 1964.

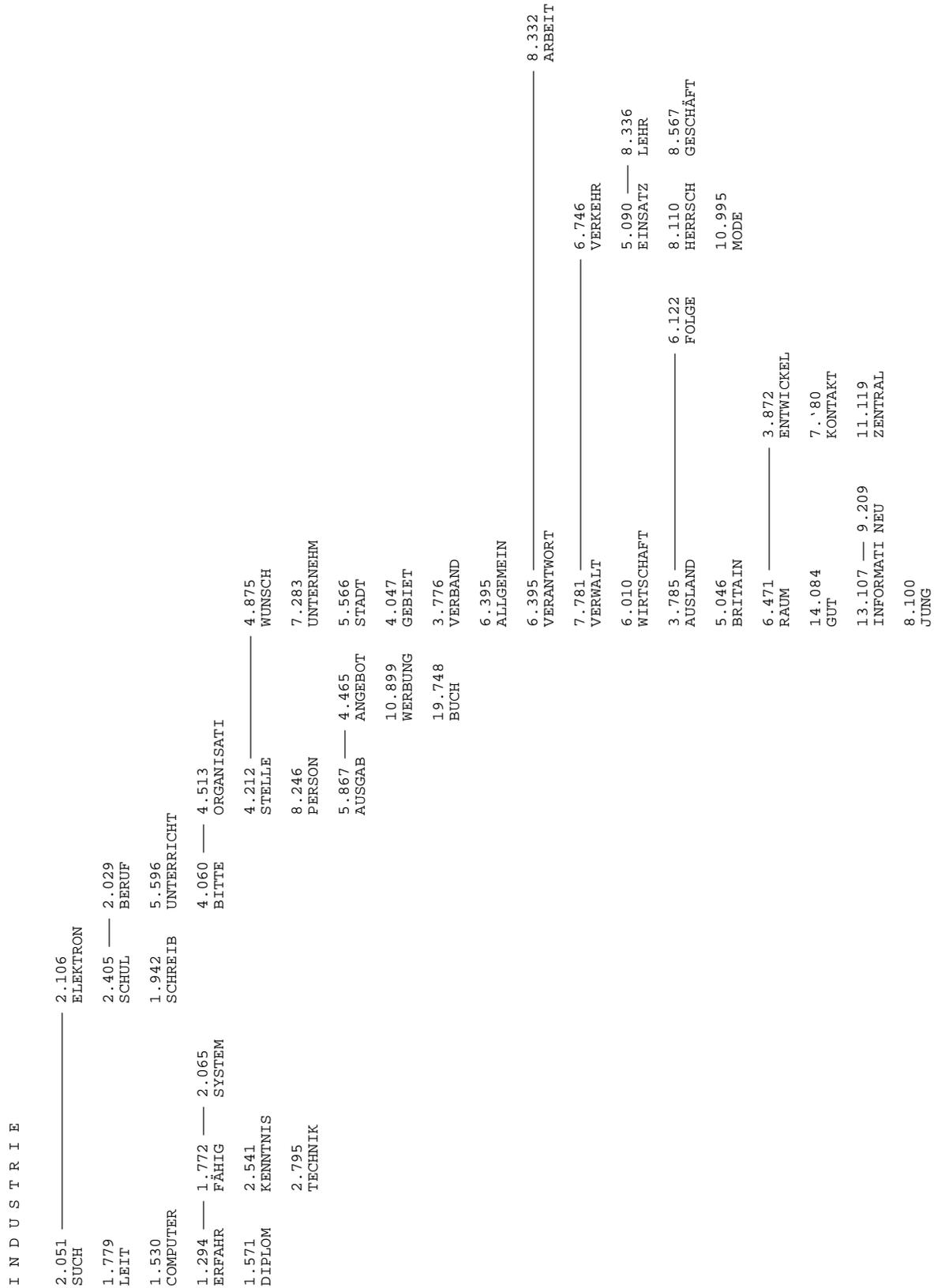


Abb. 4: Assoziative Dependenzstruktur (ADS) von INDUSTRIE über einem Fragment (50 Punkte) des semantischen Raumes der WELT-Zeitungstexte von 1964.

1 Literatur

- CARNAP, R. (1928), *Der logische Aufbau der Welt*. Hamburg (F. Meiner) 1961.
- CERCONE, N./GOEBEL, R. (1981), „Approaches to Knowledge Representation“ in: Rieger, B. (Ed): *Empirical Semantics 1*, Bochum (Brockmeyer): 92-138.
- COFER, C. N. (Ed) (1976), *The Structure of Human Memory*, San Francisco (Freeman).
- COLLINS, A. M./LOFTUS, E. F. (1975), „A Spreading Activation Theory of Semantic Processing“, *Psychological Review*, Vol. 82 (6): 407-428.
- ESTES, W. K. (1976), „Structural Aspects of Associative Models of Memory“, in: Cofer, C. N. (Ed): *The Structure of Human Memory*. 31-53.
- FAUSER, A./RATHKE, C. (1981), *Studie zum Stand der Forschung über natürlich-sprachliche Frage/Antwort-Systeme*. Universität Stuttgart (BMFT-ID-81-006).
- HARNAD, S. (1982), „A Unifying Theme for the Cognitive Sciences“ in: Simon, T. W./Scholles, R. j. (Eds): *Language, Mind, and Brain*, Hillsdale, N. j. (Lawrence Erlbaum) 1982: 1-12.
- JOHNSON-LAIRD, P. N./WASON, P. C. (1977), „Introduction to Conceptual Thinking“, in: Johnson-Laird/Wason (Eds): *Thinking. Readings in Cognitive Science*, Cambridge University Press: 169-184.
- RIEGER, B. (1977), „Bedeutungskonstitution. Einige Bemerkungen zur semiotischen Problematik eines linguistischen Problems“, *Zeitschrift für Literaturwissenschaft und Linguistik* (LiLi), 27/28: 55-68.
- ders.: (1981a), „Feasible Fuzzy Semantics. On some Problems of How to Handle Word Meaning Empirically“ in: Eikmeyer, H.J./Rieser, H. (Eds): *Words, Worlds, and Contexts*. Berlin/New York (W. de Gruyter): 193-209.
- ders.: (1981b), „Connotative Dependency Structures in Semantic Space“ in: Rieger, B. (Ed): *Empirical Semantics II*, Bochum (Brockmeyer): 622-711.
- ders.: (1982a), „Procedural Meaning Representation by Connotative Dependency Structures“ in: Horecky, J. (Ed): *Coling 82 - Proceedings*, Amsterdam/New York (North Holland): 319-324.
- ders.: (1982b), „Clusters in Semantic Space“ in: Delatte, L. (Ed): *Actes du Congres Internet Informatiques et Sciences Humaines*, Lüttich (LASLA): 805-814.

SUPPES, P. (1980), „Procedural Semantics“ in: Proceedings of the 4th International Wittgenstein Symposium, Aug. 28 - Sep. 2, 1979, Kirchberg, Austria, Wien (Hölder/Pichler): 27-35.

WETTLER, W. (1980), Sprache, Gedächtnis, Verstehen. Berlin/New York (de Gruyter).

WILSON, K. V. (1980), From Association to Structure. Advances in Psychology. Amsterdam/New York (North Holland).

ZADEH, L. A. (1981), „Test-Score Semantics from Natural Languages and Meaning Representation via PRUF“ in: Rieger, B. (Ed): Empirical Semantics I, Bochum (Brockmeyer): 281-349.