Semantische Netze und Dependenzgrammatik

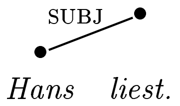
Wolfgang Menzel

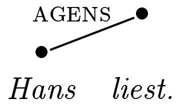
6. November 1998

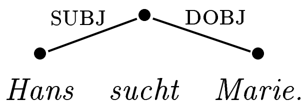
1 Einleitung

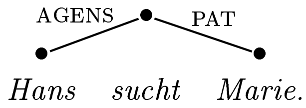
Auffälligste Gemeinsamkeit zwischen Dependenzgrammatiken einerseits und semantischen Netzen andererseits ist wohl der relationale Charakter ihrer Basisprimitive. Diese fundamentale Verwandschaft auf der formalen Ebene gestattet es, die deutlichen Parallelen zwischen syntaktischen und semantischen Strukturierungen natürlichsprachlicher Sätze in besonderer Weise hervorzuheben, und läßt dementsprechend auch ein hohes Potential zur homogenen und dennoch ebenenübergreifenden Sprachbeschreibung erwarten. Vor allem im Hinblick auf die einheitliche Gestaltung sprachverarbeitender Systeme erweist sich dies als eine sehr attraktive Eigenschaft.

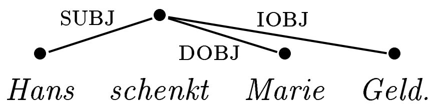
Daß solche Parallelen zwischen syntaktischen und semantischen Strukturbeschreibungen tatsächlich gegeben sind, zeigt sich wohl am deutlichsten im Kernbereich syntaktischer Modellierung, der durch das finite Verb vermittelten Prädikats-Argumentstruktur. Syntaktischen (Dependenz-)Relationen wie "Subjekt von" (SUBJ), "Direktes Objekt von" (DOBJ) und "Indirektes Objekt von" (IOBJ) stehen hier semantische Relationen wie "Agens von" (AGENS), "Patiens von" (PAT) bzw. "Rezipient" (RECIP) gegenüber, zwischen denen in vielen Fällen sehr einfache Korrespondenzbeziehungen nachgewiesen werden können:

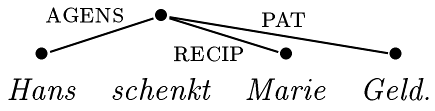












Dank der in diesen Beispielen deutlich hervortretenden engen strukturellen Verwandschaft steht für die konkrete dependentielle Beschreibung sprachlicher Phänomene ein breites Spektrum zur Verfügung, das von strikt oberflächensyntaktisch orientierten Ansätzen (z.B. Hudson 1990, Kunze 1975) bis hin zu den eher semantisch angelegten Valenzen der Kasusgrammatik (Fillmore 1968) reicht. Daneben existieren aber auch verschiedene Ansätze, in denen versucht wird, zu einer fruchtbaren und praktikablen Synthese dieser unterschiedlichen Perspektiven zu finden (Mel'čuk 1988, Bröker 1997, Heinecke/Kunze/Menzel/u.a. 1998).

Leider stellt sich bei genauerer Betrachtung jedoch ziemlich schnell heraus, daß zwischen der oberflächennahen Beschreibung syntaktischer Dependenzstrukturen und ihren semantischen Entsprechungen auch zahlreiche Disparitäten bestehen, durch die sich das wechselseitige Abbildungsverhältnis doch erheblich komplizierter gestaltet. Geht man davon aus, daß durch Dependenzrelationen bestimmte grammatische Beziehungen zwischen den oberflächennahen Bestandteilen einer natürlichsprachlichen Äußerung (d.h. also Wortformen bzw. Wortformgruppen) erfaßt werden, so sind semantische Netze auf einer tieferen, konzeptuellen Ebene angesiedelt. Hieraus ergibt sich bereits ein ganz fundamentaler Unterschied zwischen den beiden Repräsentationsformalismen, der sich am deutlichsten wohl an der Grenze zwischen sprachlichem und außersprachlichem Wissen zeigt: Konzepte als elementare Einheiten kognitiver Aktivität können auch nichtsprachlich kommuniziert werden und müssen daher nicht in jedem Fall eine direkte Entsprechung auf der Ebene der sprachlichen Oberfläche besitzen. So rechnet etwa Mel'čuk (1988, 54) zur semantischen Struktur auch sprechakt-bezogene Informationen und Teile des Hintergrundwissens, die in der Versprachlichung nicht direkt auftauchen, für deren Verständnis aber unverzichtbar sind.

Auch innerhalb des direkt versprachlichten propositionalen Gehalts finden sich systematische Abweichungen zwischen den beiden Repräsentationsebenen. Sie betreffen sowohl Konzepte, denen kein direktes Äquivalent auf der Wortformenebene gegenübersteht, als auch Wortformen, die bei der Konstituierung der konzeptuellen Struktur nur vermittelnd wirksam werden, selbst aber nicht Bestandteil derselben sind.

Beispiele für Konzepte die auf der sprachlichen Oberfläche nicht mehr manifest sind, finden sich vor allem im Bereich der Referenz. Besonders deutlich wird das Phänomen bei textexternen Referenzen, wo definite oder anaphorische Bezüge auf Entitäten verweisen, die nur durch die konkreten Bedingungen der Kommunikationssituation gegeben sind und auf der sprachlichen Oberfläche nur in stark unterspezifizierter Form auftreten.

Ich *wollte* ***ins*** *Theater, aber für* ***ihn*** *war ja* ***der*** *Skatabend wichtiger.*

Zwar sollten die Angaben zur Identität der Referenzobjekte sehr wohl in der zugrundeliegenden semantischen Repräsentation ausgedrückt sein, aus der sprachlichen Form selbst lassen sie sich aber nur unter massiver Verwendung von Hintergrundwissen und über teilweise recht umfangreiche Schlußketten rekonstruieren:

1. Die Sprecherin ist weiblich (???) und hat einen Lebenspartner (??).

2. Die Sprecherin geht bevorzugt (?) mit ihrem Lebenspartner in ein bestimmtes (??) Theater.

3. Der Lebenspartner besucht regelmäßig (?) Skatabende.

Beachtet werden muß dabei, daß auch in der zwischenmenschlichen Kommunikation diese Rekonstruktion in vielen Fällen nur auf Präferenzen und Stereotypen beruht und daher mit einem erheblichen Risiko für Fehlentscheidungen verbunden ist. Die sich daraus ergebende Unsicherheit bei der Referenzauflösung ist hier durch Fragezeichen angedeutet.

Noch klarer tritt das Problem der unterspezifizierten Referenz bei Brückenanaphern hervor, die in der alltäglichen Sprachpraxis eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen und in vielen Fällen einen wesentlichen Beitrag zum Verstehen eines Textes leisten. So stehen in

Wir wollten ins Grüne fahren, aber der Motor streikte.

die beiden Konzepte FAHREN und MOTOR offensichtlich in keiner unmittelbaren semantischen Relation. Eine indirekte Beziehung wird erst durch das nicht versprachlichte Konzept AUTO, sowie die beiden Relationen "Instrument von" (INST) und "wesentliches Teil von" (E-PART) vermittelt, wobei diese Zusammenhänge dann im Prozeß des Sprachverstehens wieder rekonstruiert werden müssen:

$$\text{FAHREN} \xrightarrow{\text{INST}} \text{AUTO} \xleftarrow{\text{E-PART}} \text{MOTOR}$$

Die sich durch derartige Bezugnahmen ergebende sprachliche Verkürzung leistet einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Sprachökonomie. Sie dient darüberhinaus aber auch als beliebtes Stilmittel zum Stiften von sozialer Kohärenz, wobei sich die Gesprächspartner durch den extensiven Bezug auf das gemeinsame Hintergrundwissen gegenseitig ihrer

Gruppenzugehörigkeit versichern und Außenstehende leicht von der Teilnahme am Diskurs ausschließen können.

Mitunter werden Unterschiede zwischen der sprachlichen Oberfläche und der zugrundeliegenden konzeptuellen Struktur auch erst durch den kontrastiven Vergleich deutlich, da unterschiedliche Sprachen verschiedene Aspekte der konzeptuellen Struktur explizit machen.

He likes to eat fish. vs. *Er ißt gern Fisch.*

Auch in derartigen Fällen erlauben die in einer bestimmten Sprachgemeinschaft konventionalisierten Formen den Wegfall konzeptuell determinierter Elemente, wodurch dann die Unterschiede auch auf der Oberfläche manifest werden:

He likes fish. vs. **Er gern Fisch.*

Der zu den bisher diskutierten Beispielen komplementäre Fall einer Oberflächenform ohne zugehöriges Korrelat in der konzeptuellen Struktur findet sich vor allem im Bereich der Hilfsverbkonstruktionen. Hierzu gehören etwa die Kopulaverben, die zwar dabei mitwirken, einstellige Prädikate zu etablieren, in diesen selbst jedoch keine Rolle mehr spielen.

Das Haus ist groß.

Ein ähnliches Phänomen ist auch bei den Präpositionen zu beobachten, die vollständig in den durch sie etablierten konzeptuellen Relationen (Location, Direction, Instrument usw.) aufgehen.

Unterschiede bestehen auch hinsichtlich der verschiedenen Mechanismen zur Kodierung elementarer konzeptueller Informationen wie etwa der Tempusmarkierung, die bei den analytischen Verbkomplexen durch eine eigenständige Form des Hilfsverbs angezeigt wird, bei den synthetischen Formen aber durch ein Flexionsmerkmal:

Er schläft.
Er wird schlafen.

Da bereits bei derartig einfachen Beispielen recht gravierende Unterschiede zwischen dependenzsyntaktischen und konzeptuellen Strukturen deutlich werden, ergibt sich die Notwendigkeit die folgenden drei Fragenkomplexe genauer zu untersuchen:

- Inwieweit lassen sich tragfähige strukturelle Korrespondenzen auch außerhalb des recht engen Bereichs der Prädikats-Argument-Struktur nachweisen? Dies steht in engem Zusammenhang mit der Frage nach den Grenzen einer rein relationsbezogenen Beschreibung syntaktischer und semantischer Strukturen.

- Welche formale Methoden sind geeignet, die bestehenden Korrespondenzbeziehungen zwischen den Repräsentationsebenen auch im Falle (lokal) disparater Strukturen mithilfe entsprechender Abbildungsvorschriften zu modellieren?
- Wie können solche Abbildungsvorschriften für die praktischen Zwecke der maschinellen Sprachverarbeitung nutzbar gemacht werden?

2 Semantische Netze

Der Begriff der semantischen Netze umfaßt eine Vielzahl unterschiedlicher Repräsentationsformalismen. Ihnen gemeinsam ist die Verwendung grafischer Hilfsmittel zur Darstellung und Veranschaulichung von relationalen Beziehungen zwischen Konzepten und Instanzen eines Wissensbereiches (Domäne). Dabei werden Konzepte bzw. Instanzen auf die Knoten und (binäre) Relationen auf die Kanten des Netzes abgebildet (Sowa 1992). Derartige Netze wurden erstmalig zur Kodierung semantischen Wissens in einem System zur maschinellen Übersetzung verwendet (Masterman 1961). Weite Verbreitung erlangten sie vor allem durch die Arbeiten von Quillian (1968).

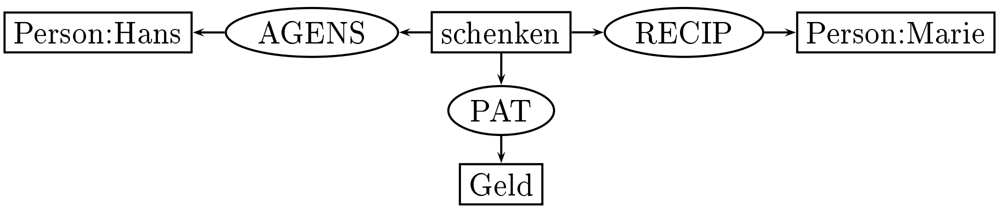
Wenngleich es vereinzelt Versuche gab, ein Minimum an Relationsprimitiven zu definieren (Schank, 1975), so kommen doch in den weitaus meisten Fällen relativ reichhaltige Relationsinventare zum Einsatz. Sie umfassen üblicherweise eine Auswahl linguistischer Tiefenkasus (Agens, Patiens, Recipient, Instrument usw.), sowie darüberhinaus räumliche, zeitliche, kausale, modale und logische Konnektoren. Im Gegensatz zu Mel'čuk (1988), der ein festes Inventar semantischer Primitive voraussetzt, deren genaue Bestimmung jedoch als noch ungelöstes Problem betrachtet, geht Sowa (1984) davon aus, daß semantische Netze einen hinreichend flexiblen Rahmen bieten, der bei Bedarf eine Übersetzung in Repräsentationen beliebig feiner Granularität gestattet.

Verglichen mit einer prädikatenlogischen Repräsentation sind rein relationale Netze in ihrer Ausdrucksmächtigkeit stark beschränkt. Konzepte führen im logischen Sinne einstellige Prädikate über einer (global) existenzquantifizierten Variablen ein. Aus diesem Grunde verwendet Sowa (1992) auch den Begriff des generischen Konzepts. Ein Konzeptknoten entspricht damit genau einer Instanz des jeweiligen Konzepts. Mehrere Konzeptknoten des gleichen Typs beziehen sich auf unterschiedliche Instanzen des gleichen Konzepts, solange die Identität der Instanzen nicht durch einen geeigneten Koreferenz-Mechanismus (z.B. Vergabe eindeutiger Individuenbezeichner, Koreferenzindizes oder Variablenbindung) explizit ausgewiesen ist.

Eine erste einschneidende Festlegung ist die Beschränkung auf eine ausschließlich konjunktive Verknüpfung von Relationen. Der sich daraus ergebende Verlust an Ausdruckskraft kann auch nicht durch eine relationale Kodierung zusätzlicher Konnektoren erreicht werden.

Ein Beispiel für derartige relationale Netze sind die semantischen Repräsentationen in Mel'čuk (1988). Hier werden reine Funktor-Argument-Strukturen notiert, wobei die Argumentpositionen eines Prädikats nur mit Hilfe abstrakter Namen identifiziert werden können. Da aber sowohl der Funktor als auch seine Argumente für Domänenkonzepte stehen ergeben sich die konkreten Relationen zwischen den Konzepten nur implizit aus einer Interpretationsvorschrift für das durch den Funktor spezifizierte Prädikat. Die Einführung von Relationennamen (die dann weitgehend den Tiefenkausus in (Fillmore 1968) entsprechen) erfolgt erst auf der gesonderten Ebene der Tiefensyntax. Die Ebene der Tiefensyntax nimmt eine Zwitterstellung zwischen konzeptueller Struktur und (Oberflächen-)Syntax ein. Wegen der starken Analogien zu allgemeinen relationalen Netzen liegt wohl eine Zuordnung zum Bereich der konzeptuellen Struktur nahe. Dafür spricht auch, daß die meisten der eingangs erwähnten strukturellen Unterschiede zwischen syntaktischer und konzeptueller Struktur bei Mel'čuk auf der Ebene der Tiefenstruktur eingeführt werden. So werden in der Tiefensyntax noch fiktive Lexeme, die etwa auf "Lücken" im derivationellen System zurückzuführen sind, und komplexe phraseologische Einheiten (z.B. "ein Licht aufgehen") durch einzelne Konzeptknoten modelliert. Andererseits sind tiefensyntaktische Repräsentationen bereits auf Baumstrukturen eingeschränkt, d.h. Koreferenzen müssen auf einer gesonderten Repräsentationsebene behandelt werden.

Für die grafische Darstellung relationaler Netze existieren verschiedene notationelle Varianten. Weite Verbreitung hat die auf (Sowa 1984) zurückgehende Verwendung bipartiter Graphen gefunden, wobei Konzepte und Relationen durch unterschiedliche Knotentypen dargestellt werden. Die konzeptuelle Struktur des Satzes *Hans schenkt Maria Geld* ergibt sich dann zu



bzw. in linearisierter Notation:

[schenken] -
(AGENS) -> [Person: Hans]
(RECIP) -> [Person: Marie]
(PAT) -> [Geld]

Hier wird eine gewisse Verwandschaft zwischen den relationalen Netzen und Frame-Strukturen (Minsky 1975) deutlich. Framestrukturen gehen jedoch über eine rein relationale Repräsentation hinaus, da sie auch prozedurale Zusätze und damit weitgehend unrestringierte Manipulationsmöglichkeiten zulassen.

Im Gegensatz zu einer auf der Prädikatenlogik basierenden Repräsentation erlauben relationale Netze noch nicht die Darstellung von Skopusphänomenen, wie sie im Bereich der Quantoren und der Booleschen Operatoren (z.B. Negation) erforderlich sind. Diese Beschränkung wird mit dem Übergang zu propositionalen Netzen überwunden. Propositionale Netze gehen auf Charles S. Pierce zurück (Sowa 1992) und führen zwei zusätzliche Ausdrucksmittel ein:

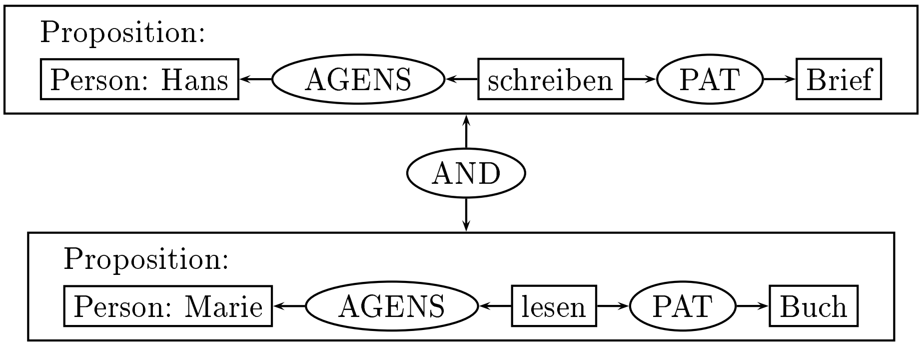
Kontexte kennzeichnen bestimmte Teilnetze als zusammengehörig und können selbst wieder in der Argumentstelle einer Relation auftreten. Sie entsprechen somit der expliziten Skopusauszeichnung in der Prädikatenlogik. Allquantifizierung kann dann — obwohl sie selbst nicht explixit darstellbar ist — über die Negation eines Existenzquantors ausgedrückt werden.

Koreferenzindikatoren (bzw. alternativ dazu die Zulassung überlappender Kontexte) gestatten die Repräsentation von Referenzidentität, die im Prädikatenkalkül durch den Mechanismus der Variablenbindung vermittelt wird.

In ihrer Kombination stellt die Zulassung von Kontexten und Koreferenzmarkern die logische Äquivalenz der propositionalen Netze zum Prädikatenkalkül her. Gleichzeitig ermöglicht die Einführung der Kontexte auch die Kapselung komplexer Relationskonfigurationen und somit die Darstellung von Aussagen über Aussagen, wie sie in der natürlichen Sprache vor allem im Zusammenhang mit Konjunktionen, Kontrollverben und Modalkonstruktionen auftreten.

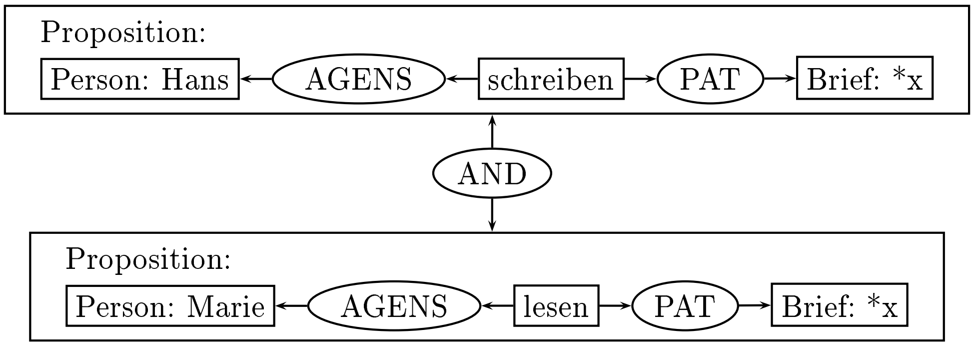
So kann der konzeptuelle Gehalt im Falle einer einfachen Satzkoordination durch eine konjunktive Verknüpfung zweier Propositionen dargestellt werden:

Hans schreibt einen Brief und Anna liest ein Buch.

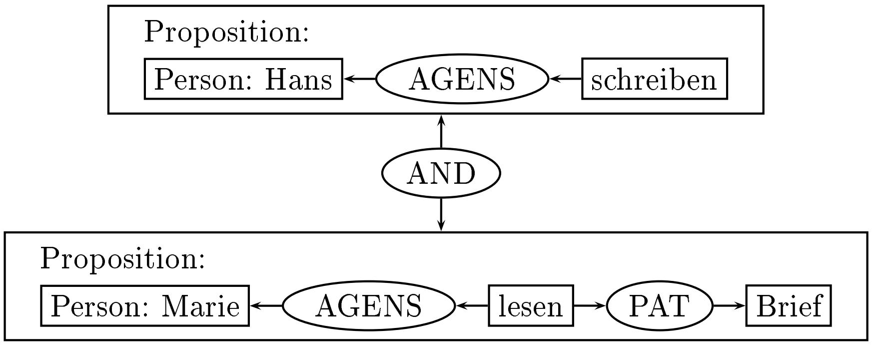


Liegt eine elliptische Koordination vor, wird die potentielle Lesart der Referenzidentität durch entsprechende Koreferenzindikatoren (hier über die gemeinsame Variable *x) ausgedrückt:

Hans schreibt und Anna liest einen Brief.

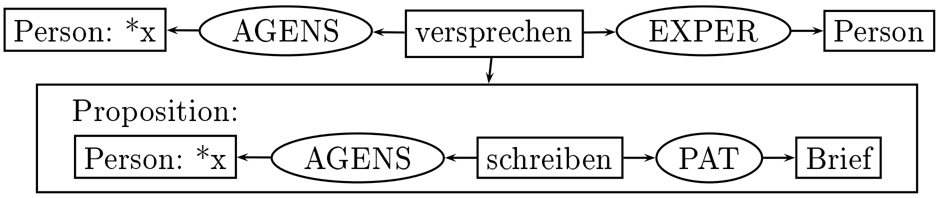


Allerdings liegt in diesem Fall — wie stets bei der eingebetteten Verwendung eines unbestimmten Artikels — eine systematische Mehrdeutigkeit vor, da natürlich auch noch die Interpretation ohne Referenzidentität in Frage kommt. Berücksichtigt man darüberhinaus die Möglichkeit zum intransitiven Gebrauch des Verbs *schreiben* führt dies schließlich auf eine dritte, nichtelliptische Lesart:

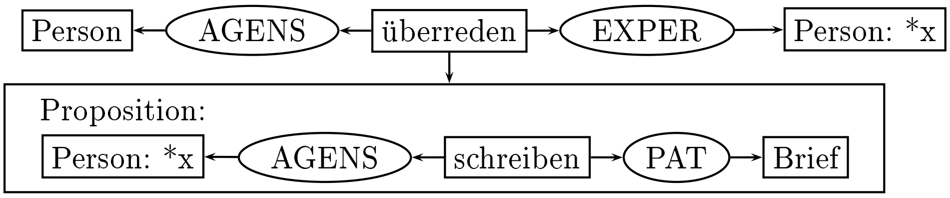


Eingebettete Kontexte ergeben sich auch im Falle von Kontrollverben, wobei der Referenzbezug zum Matrixsatz wieder durch Koreferenzen hergestellt wird:

Sie versprach ihm, den Brief zu schreiben.



Sie überredete ihn, den Brief zu schreiben.



Konzeptuelle Strukturen entstehen aus natürlichsprachlichen Äußerungen in einem Prozeß der Interpretation, wobei der propositionale Gehalt einer Äußerung stark durch Hintergrundwissen angereichert wird. Dieser Effekt der Anreicherung kann etwa bei der Inferenz der Typrestriktion Person aus den selektionalen Restriktionen der Verben *versprechen* und *überreden* beobachtet werden. Weitergehende, auf Anreicherung basierende Interpretationsschritte liegen vor allem der Anaphernauflösung und der Behandlung unbekannter Konzepte zugrunde (Strube/Hahn 1995, Hahn/Schnattiger 1998).

Wegen der zentralen Rolle, die das Hintergrundwissen für den Sprachverstehensprozeß spielt, kommt einer effizienten Organisation der für die semantische Interpretation benötigten Wissensbestände eine große Bedeutung zu. Besonders bewährt hat sich in diesem Zusammenhang die Strukturierung des Begriffsinventars durch die Deklaration hierarchischer Typbeziehungen in Form einer Taxonomie.

Die Arbeit mit taxonomischem Wissen stand bereits in der Frühphase der Beschäftigung mit semantischen Netzen im Mittelpunkt des Interesses. Ziel einer taxonomischen Modellierung ist dabei die Ableitung von Angaben über die Typzugehörigkeit von Konzeptinstanzen instanz(⟨objekt⟩,⟨typ⟩) aus allgemeinen Beziehungen der Typinklusion isa(⟨typ⟩,⟨typ⟩). So soll etwa aus der Typinklusion isa(TISCH,MÖBEL) geschlossen werden, daß jede Instanz von TISCH gleichzeitig eine Instanz von MÖBEL ist. Damit unterscheidet sich Typinferenz in ihrem logischen Status von den bisher betrachteten relationalen Konzeptbeziehungen fundamental (Woods, 1975). Die entsprechende Schlußfigur wird durch

$$\forall a \forall b \,.\, \mathrm{isa}(a, b) \rightarrow (\forall x \,.\, a(x) \rightarrow b(x))$$

vermittelt. Da a und b für Typzuordnungen (d.h. für Prädikationen über Objektkonstanten) stehen, stellt sie demnach eine Beziehung zweiter Ordnung dar.

Die überaus große praktische Relevanz taxonomischer Strukturierungen ergibt sich aus ihrem Potential zur Modellierung von Vererbungsbeziehungen, durch die Eigenschaften und Relationen von einem übergeordneten Konzept auf seine Unterkonzepte übertragen werden. Z.B. ergibt sich unter der Annahme, daß Amseln ein spezieller Typ von Vögeln sind, und dem Hintergrundwissen, daß Vögel Federn haben, sofort die Konsequenz, daß auch Amseln Feder haben müssen:

$$\{\mathrm{isa(AMSEL,VOGEL),hat(VOGEL,FEDERN),AMSEL}(x)\} \models \mathrm{hat}(x, \mathrm{FEDERN})$$

Das erhebliche Effizienzpotential einer vererbungsbasierten Repräsentation besteht dabei darin, daß sie die redundante und damit unökonomische Spezifikation von Regularitäten auf den unterschiedlichen Granularitätsebenen des Weltwissens erübrigt: Der summarische Bezug auf den Supertyp VOGEL erübrigt die individuelle Spezifikation für die einzelnen Subtypen der verschiedenen Vogelarten. Die diesbezüglichen Schlußweisen beruhen ebenfalls auf Beziehungen zweiter Ordnung

$$\forall a \forall b \,.\, \mathrm{isa}(a,b) \rightarrow (\forall p \,.\, p(b) \rightarrow p(a))$$

$$\forall a \forall b \,.\, \mathrm{isa}(a,b) \rightarrow (\forall c \forall r \,.\, r(b,c) \rightarrow r(a,c))$$

usw.

wobei auch hierfür spezialisierte Ableitungsschemata bereitgestellt werden. Es ist zu beachten, daß $p(\langle\mathrm{typ}\rangle)$ bzw. $r(\langle\mathrm{typ}\rangle,\langle\mathrm{typ}\rangle)$ wie auch bereits $\mathrm{isa}(\langle\mathrm{typ}\rangle,\langle\mathrm{typ}\rangle)$ Prädikationen bzw. Relationen über Konzepttypen darstellen und ihre Übertragung auf konkrete Objekte erst durch eine geeignete Instanziierung erfolgen kann:

$$\forall a \forall p \forall x \,.\, \mathrm{instanz}(x,a) \wedge p(a) \rightarrow p(x)$$

$$\forall a \forall b \forall r \forall x \forall y \,.\, \mathrm{instanz}(y,b) \wedge r(a,b) \wedge \mathrm{instanz}(x,a) \rightarrow r(x,y)$$

usw.

Deutlich wird hierbei der unterschiedliche Status von Typinklusion (isa) und Instanziierung (instanz), der auf den Unterschieden zwischen (generischem) Konzept und Domänenobjekt, d.h. Typ vs. Instanz (type vs. token) beruht.

Üblicherweise realisieren vererbungsbasierte Inferenzsysteme eine gegenüber der Prädikatenlogik eingeschränkte Mächtigkeit. Dabei werden die assertionalen Möglichkeiten gezielt beschnitten, um die für das Terminierungsverhalten einer automatischen Ableitungsprozedur wesentliche Eigenschaft der Entscheidbarkeit garantieren zu können (Owsnicki-Klewe/von Luck/Nebel 1993). Diese auch als terminologische Logiken bezeichneten Kalküle gestatten die Spezifikation von ein- und zweistelligen Relationen für die Konzepte einer Domäne, wobei die zweistelligen Relationen als Rollen eines Konzepts bezeichnet werden. Beide sind entlang der Konzepthierarchie vererbbar. Über die Möglichkeiten propositionaler Netze hinaus bieten terminologische Logiken auch noch spezielle Ausdrucksmittel zur Spezifikation von Kardinalitätsbeschränkungen für die Rollenfüller.

Als wichtige Voraussetzung für die Arbeit in nicht-artifiziellen Domänen wird oftmals die Fähigkeit zum nichtmonotonen Schließen angesehen. Unterschiede ergeben sich hier vor allem hinsichtlich der Konfliktbehandlung in Hierarchien mit Mehrfachvererbung (Touretzky 1986). Insgesamt haben sich Vererbung und Typinferenz als so leistungsfähige Mechanismen zur effizienten Wissensrepräsentation bewährt, daß sie heutzutage unverzichtbarer Bestandteil jedes Formalismus zur Sprachverarbeitung sind und auch zur Modellierung der genuin sprachlichen Information herangezogen werden (Carpenter 1992).

3 Dependenzsyntax

Unmittelbare Dependenzbeziehungen sind binäre Relationen zwischen den Bestandteilen einer natürlichsprachlichen Äußerung. Stehen x und y in einer solchen Beziehung dep(x, y), so sagt man, x ist abhängig von y (auch: x ist y untergeordnet) bzw. komplementär dazu y dominiert x. Dependenzrelationen lassen sich, wie alle binären Relationen, gut als gerichtete Kanten eines Dependenzgraphen veranschaulichen. Bezüglich einer unmittelbaren Dominanzrelation wird dann x auch als Tochter- und y als Mutterknoten bezeichnet. Mit den formalen Eigenschaften der Dependenzrelation

Antisymmetrie: dep $(x, y) \rightarrow \neg$ dep (y, x)
Ein Mutterknoten kann niemals von seiner Tochter abhängig sein.

Antireflexivität: $\neg$ dep (x, x)
Kein Knoten einer Dependenzstruktur hängt von sich selbst ab.

Antitransitivität: dep $(x, y) \wedge$ dep $(y, z) \rightarrow \neg$ dep (x, z)
Ein indirekt abhängiger Knoten kann niemals direkt abhängig sein.

und der Definition einer Dependenzstruktur als verbundener, gerichteter Graph (Mel'čuk 1988, 21f), stellen Dependenzstrukturen aus formaler Sicht eine echte Teilmenge der allgemeineren konzeptuellen Graphen dar. Diese Parallelität wird auch dadurch noch stärker hervorgehoben, daß in den modernen Arbeiten zur Dependenzgrammatik anstelle der Verwendung solch reiner (unbenannter) Dependenzbeziehungen eher eine relativ feine Differenzierung zwischen verschiedenen Dependenzrelationen (SUBJ, DOBJ, IOBJ usw.) angestrebt wird.

Allerdings unterliegen die in den verschiedenen Dependenztheorien verwendeten Strukturen aber noch einer Reihe weiterer formaler Einschränkungen. So werden, wie in der Syntaxtheorie generell, normalerweise nur Baumstrukturen betrachtet. Um dies sicherzustellen muß daher noch die Eindeutigkeit des jeweils dominierenden Knotens gefordert werden:

$$\forall x \forall y \forall z \,.\, dep(x, y) \wedge dep(x, z) \rightarrow y = z$$

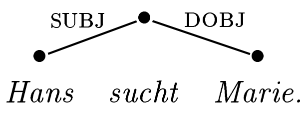
Für die Dependenzstrukturen in (Hudson 1990) gilt diese Forderung allerdings nur auf der Ebene der Oberflächenstruktur, während durch Koreferenzen zusätzliche Abhängigkeitsstrukturen etabliert werden können, die über Baumstrukturen hinausgehen. Solche Koreferenzen werden verwendet, um Extraktionphänomene und koordinative Konstruktionen zu beschreiben.

Unterschiede zwischen den verschiedenen Theorien bestehen auch hinsichtlich einiger weiterer Bedingungen an die Wohlgeformtheit von Dependenzbäumen:

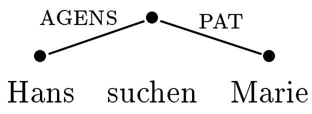
- Typisch ist die Annahme einer totalen Ordnung über den Knoten eines Dependenzbaumes, die der linearen Anordnung im Satz entspricht. Eine Ausnahme hierzu stellen die D-Bäume bei (Mel'čuk 1988) dar, deren Knoten ungeordnet sind.
- Als Basiseinheiten, über denen Dependenzrelationen definiert werden, dienen in der Regel die Wortformen eines Satzes. Um Kollisionen bei der Merkmalsprojektion zu vermeiden, ordnet Kunze (1975) Teilbäume unter Wortformen unter. Beide Ansätze verbleiben aber im Bereich der Baumstrukturen.
- Aus Gründen der Effizienz bei der strukturellen Analyse wird für Dependenzbäume oftmals die noch weitergehende Eigenschaft der Projektivität (Planarität) gefordert. Um dies auch im Falle offensichtlich nichtprojektiver Konstruktionen noch zu gewährleisten greifen (Lombardo/Lesmo 1998) bei der Beschreibung elliptischer Strukturen auch auf leere Knoten zurück, während (Kahane/Nasr/Rambow 1998) über eine strukturelle Transformation (lifting) die Projektivität wieder herstellen.

Mit den propositionalen Netzen einerseits und den Dependenzbäumen andererseits sind nunmehr zwei Repräsentationsebenen spezifiziert, auf denen die unterschiedlichen syntaktischen bzw. semantischen Beziehungen separat beschrieben werden können. Zusätzlich wird noch ein algorithmisches Verfahren benötigt, das – in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenstellung – zwischen den beiden Repräsentationsebenen vermittelt.

Im einfachsten Fall kann eine direkte Interpretation syntaktischer Relationen durch konzeptuelle Relationen erfolgen. Dies ist etwa bei den Valenzen eines finiten, aktivischen Vollverbs der Fall. So bildet sich das syntaktische Subjekt des Satzes *Hans sucht Marie.* unmittelbar auf das konzeptuelle Agens ab und das direkte Objekt übernimmt die Patiensrolle. Unter Vernachlässigung der Tempusinformation führt diese Zuordnungsvorschrift direkt auf den eingangs diskutierten Standardfall:[1]

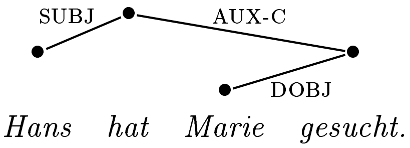


SUBJ ↔ AGENS
DOBJ ↔ PAT



[1]Um die Parallelen deutlich hervorzuheben, wird im Folgenden wieder auf die hierarchische Repräsentation der konzeptuellen Struktur zurückgegriffen. Da Dependenzstrukturen ja ohnehin einen Spezialfall propositionaler Netze darstellen, ist in den hier diskutierten Fällen eine Umwandlung in die im Abschnitt 2 diskutierte generellere Notation jederzeit problemlos möglich.

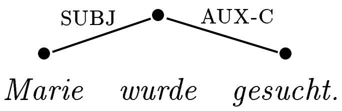
Jedoch schon bei den analytischen Verbformen, bei denen das finite Verb nicht mehr Träger der Verbvalenzen ist, gestaltet sich das Abbildungsverhältnis deutlich komplizierter und erfordert bereits einfache Formen einer Strukturtransformation.



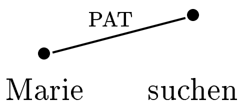
SUBJ $\leftrightarrow$ AGENS
DOBJ $\leftrightarrow$ PAT

Dabei bleibt die Zuordnung der Subjektsrelation zur Agens-Rolle erhalten, nur wird letztere nunmehr an das durch das infinite Verb eingeführte Konzept "weitergereicht".

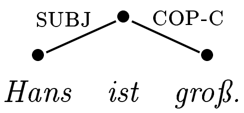
Im Passiv folgt die Zuordnung der konzeptuellen Relationen nicht mehr dem bislang betrachteten Standardschema. Das Agens entfällt und das syntaktische Subjekt bildet sich auf das direkte Objekt ab:

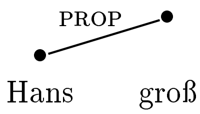


SUBJ $\leftrightarrow$ PAT



Wie bereits die finiten Auxiliare in den vorangegangenen Beispielen, so bringen auch Kopulaverben keinen eigenständigen Bestandteil in die konzeptuelle Repräsentation ein. Da in diesem Fall aber überhaupt kein Vollverb mehr zur Anbindung der Satzglieder zur Verfügung steht, sind relativ komplexe Abbildungsvorschriften erforderlich, um die gewünschte Prädikation bereitzustellen:





In einigen Fällen ist die Abbildung syntaktischer auf konzeptuelle Relationen stark mehrdeutig und kann nur unter massiver Einbeziehung von Hintergrundwissen disambiguiert werden. Ein herausragendes Beispiel hierfür ist sicherlich die Interpretation der semantisch völlig unterspezifizierten Genitivattribute.

der Vergaser des Autos:	Teil-von
das Buch der Frau:	Besitzer-von, Autor-von
die Variation des Themas:	Patiens-von
...	

Helbig/Buscha (1988, 591f) geben hierzu zwölf semantisch motivierte Interpretationsmöglichkeiten an.

Auch wenn in den bisherigen Ausführungen stets von syntaktischen Dependenzbeziehungen als relationalen Konstrukten ausgegangen wurde, zeigt eine genauere Betrachtung, daß auch auf der syntaktischen Ebene die Beschränkung auf rein relationale Repräsentationen nicht hinreichend ist. Wie bereits bei der Einführung der propositionalen Netze ist es wiederum die koordinative Verknüpfung, die eine Erweiterung um zusätzliche Ausdrucksmittel erzwingt. Dies gilt unabhängig davon, ob Koordination als symmetrisches (z.B. Hesse/Küstner 1985) oder ein unsymmetrisches Phänomen (z.B. Mel'čuk 1988) betrachtet wird. Die vorgeschlagenen Darstellungsmittel entsprechen *de facto* der Einführung konstituentenähnlicher Konstruktionen in die Dependenzstruktur und haben demzufolge einen vergleichbaren Status wie die Kontexte in den propositionalen Netzen. Damit ergibt sich auch im Hinblick auf die Grenzen relationaler Repräsentationsformalismen eine interessante Analogie zwischen der syntaktisch orientierten Dependenzgrammatik auf der einen Seite und konzeptuellen Netzen auf der anderen.

4 Anwendungen

Einfachste Möglichkeit zur Kopplung einer Dependenzgrammatik mit semantischen Netzen ist die Kodierung selektionaler Beschränkungen für die Füller von Valenzforderungen. Hierbei kann in wirkungsvoller Weise auf die im Abschnitt 2 diskutierten Möglichkeiten zur Vererbung von Typzugehörigkeiten und Eigenschaften zurückgegriffen werden. Allerdings ist dieser Ansatz mit zwei gravierenden Problemen konfrontiert:

- Syntaktische Valenzen sind nur bedingt zur Vermittlung selektionaler Forderungen geeignet, da die wechselseitige Zuordnung von semantischen und syntaktischen Relationen keinem starren Schema folgt (vgl. z.B. die Diskussion zum Passiv im vorangegangenen Abschnitt).
- Valenzen realisieren sich in einigen syntaktischen Dependenzstrukturen nicht unmittelbar, sondern werden erst über u.U. auch längere Ketten von Dependenzbeziehungen gesättigt (vgl. etwa die Subjektsbeziehung in komplexen Hilfsverbkonstruktionen).

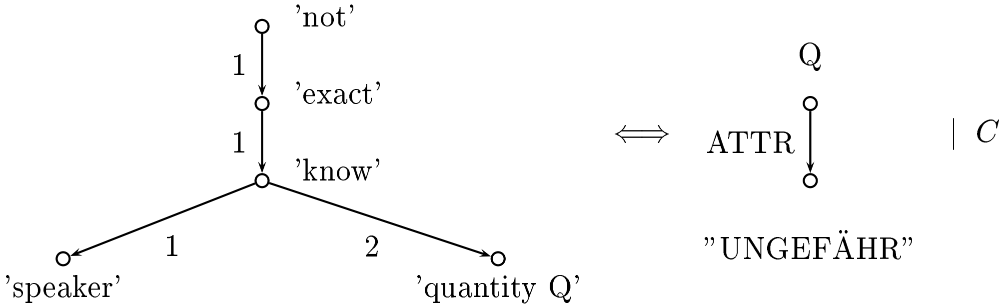
Um diesen Schwierigkeiten in geeigneter Form zu begegnen, führt Kunze (1975) (vgl. auch Kunze 1982) Wirkungswege als formales Mittel zum Transport und Abgleich von Merkmalsmengen in die Dependenzstruktur ein. Im Gegensatz zu einfachen Projektionsmechanismen gestattet dieser Ansatz eine sehr zielgenaue Beschreibung von Selektionsforderungen. Da Wirkungswege aber unmittelbar an die Unterordnungsrelationen (d.h. die Kantenmarkierungen im Dependenzbaum) gekoppelt sind, wird die an sich wünschenswerte feine Abstimmbarkeit mit einer ggf. sehr hohen Anzahl an unterschiedlichen Unterordnungsrelationen erkauft (Klimonow 1982). Interessant ist die Idee der Wirkungswege vor allem aber unter dem Gesichtspunkt der Kopplung mit semantischen Netzen, da sich zumindest die Tiefenkasus im Inventar der Wirkungswege wiederfinden. Wirkungswege, obwohl ursprünglich nur als Hilfsmittel zum effizienten Aufbau von Dependenzbäumen gedacht, können somit auch als das eigentliche Ziel eines Sprachanalyseverfahrens betrachtet werden: Nach erfolgreicher Ermittlung der Syntaxstruktur wird von den Dependenzbeziehungen abstrahiert, während das verbleibende Wirkungswegegeflecht als Initialzustand für die Berechnung einer semantischen Repräsentation dient (Kunze, pers. Mitteilung). Auf dieser Grundlage könnte dann zumindest ein unidirektionales Verfahren zum Sprachverstehen realisiert werden.

Von vornherein bidirektional ausgelegt sind die Abbildungsregeln, die in der Bedeutungs-Text-Theorie (Mel'čuk 1988) die Umwandlung von Strukturen beim Übergang zwischen benachbarten Repräsentationsebenen vermitteln:

$$X \Leftrightarrow Y \mid C$$

wobei X bzw Y für Strukturfragmente auf den betreffenden Repräsentationsebenen stehen und C zusätzliche Anwendungsbedingungen spezifiziert.

So vermittelt etwa die folgende Regel die wechselseitige Transformierbarkeit des fiktiven tiefensyntaktischen Lexems "UNGEFÄHR" in eine oberflächensyntaktische Paraphrase unter bestimmten Bedingungen C (Mel'čuk 1988, 75):



Regeln dieser Art werden als statische Objekte verstanden, die in vollständig deklarativer Weise eine Abbildungsbeziehung beschreiben. Die Konstruktion einer Repräsentation aus einer anderen wird hingegen einem dynamischen Mechanismus überlassen, der selbst allerdings nicht Gegenstand des Modells ist. Insbesondere wird auch die Frage der optimalen Regelanwendungsreihenfolge aus der Betrachtung ausgeklammert.

Trotz der bidirektionalen Arbeitsweise seiner Abbildungsregeln ist die Bedeutungs-Text-Theorie bislang vornehmlich für Sprachgenerierungsaufgaben eingesetzt worden. Entsprechend detailliert ausgearbeitet sind daher auch die Regeln für Prozesse der Lexikalisierung, Morphologisierung, Anaphorisierung und Synonym-Paraphrasierung. Vergleichsweise unzureichend untersucht wurden dagegen die Abläufe beim Textverstehen. Ausschlaggebend dafür dürfte vermutlich sein, daß das Bedeutungs-Text-Modell vorrangig auf der Transformation von Repräsentationen beruht und der Mechanismus der Einbeziehung von Hintergrundwissen beim Sprachverstehen nicht ausreichend geklärt ist. Da jedoch im Falle der Sprachgenerierung die semantische Repräsentation eindeutig gegeben ist, können Ambiguitätsprobleme, die bei der Erzeugung einer semantischen Repräsentation zwangsläufig auftreten, weitgehend vermieden werden.

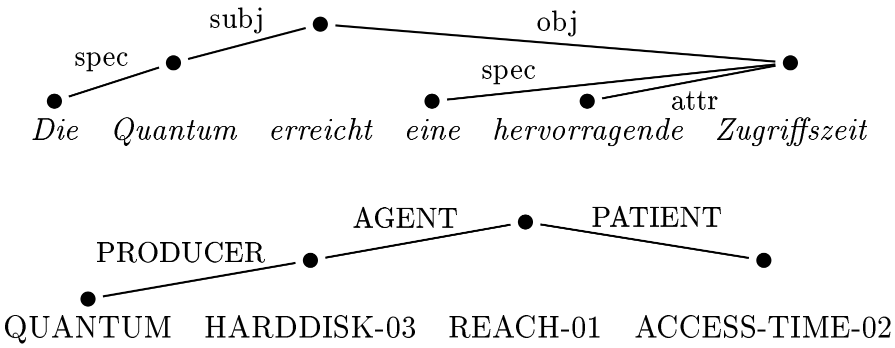
Unmittelbar auf das Problem des Sprachverstehens hingegen sind die Arbeiten im Projekt TIBAQ ausgerichtet (Hajičová 1995). Zu diesem Zweck werden die semantischen Beziehungen natürlichsprachlicher Äußerungen durch tektogrammatische Repräsentationen modelliert, wobei die tektogrammatische Ebene noch eine relativ sprachnahe Strukturrepräsentation darstellt. Sie wurde jedoch so konzipiert, daß sich über geeignete Strukturtransformationen bereits einfache Inferenzprozesse (unter Einbeziehung des Hintergrundwissens) realisieren lassen.

Mit der Ausnahme koordinativer Strukturen sind tektogrammatische Repräsentationen kanonisch geordnete Dependenzbäume, allerdings werden zahlreiche Funktionswörter (Artikel, Präpositionen, subordinierende Konjunktionen und Hilfsverben) in ihnen nicht mehr explizit dargestellt. Damit entspricht die tektogrammatische Ebene etwa der Oberflächensemantik in Mel'čuk (1988).

Obwohl in der generativen Interpretation des zugrundeliegenden Modells allein schon die Abbildung tektogrammatischer auf oberflächensyntaktische Strukturen als zweistufiger Transduktionsprozeß beschrieben wird (Hajičová 1995, 49), so erfolgt der Aufbau tektogrammatischer Strukturen im TIBAQ-System offenbar in einem einzigen Transformationsschritt aus den Ergebnissen der morphologischen Analyse (Hajičová 1995, 66f). Eine gesonderte oberflächensyntaktische Zwischenrepräsentation ist nicht vorgesehen. Da die Implementation auf einer streng deklarativen Programmiersprache basiert, sollten die Abbildungsregeln des Parsers prinzipiell bidirektional verwendbar sein.

Ebenfalls im Kontext des Textverstehens bewegen sich die Arbeiten des *ParseTalk*-Projekts (Hahn/Schacht/Bröker 1994). Dabei wird eine enge Verzahnung von syntaktischer Analyse und semantischer Interpretation angestrebt und die bemerkenswerte Fruchtbarkeit eines solchen integrierten Ansatzes überzeugend demonstriert. Motiviert wird dieses Herangehen vor allem mit den wechselseitigen Abhängigkeitsbeziehungen bei der Behandlung von Nominalanaphern (Bröker 1997), wo konzeptuelles Wissen sowohl als Vorbedingung als auch als Resultat der Anaphernauflösung in Erscheinung tritt.

Die Abbildung der syntaktischen Dependenzstruktur in eine semantische Repräsentation erfolgt in einem Prozeß der (gerichteten) Interpretation durch die konzeptuellen Rollen einer terminologischen Logik. Dieser Prozeß schließt die Auflösung anaphorischer Referenzen, und die Rekonstruktion metonymischer Verwendungsweisen ein. So ergibt sich beispielsweise die folgende semantische Interpretation erst unter Hinzunahme einer Metonymie des Typs Produzent-für-Produkt (nach Bröker 1997, 77):



Das Verfahren kann verschiedene Modulabfolgen realisieren, wobei allerdings ein explizites Umschalten zwischen den Verarbeitungsmodi erforderlich ist. So wäre etwa eine konzeptuell gesteuerte Analyse im Falle syntaktischer Abweichungen in der Lage, bestimmte syntaktische Forderungen zu ignorieren.

Einen Ansatz, der auch auf einer wechselseitigen, jedoch nicht *a priori* vorgegebenen Unterstützung paralleler Repräsentationsebenen beruht, verfolgen Heinecke/Kunze/Menzel/u.a. (1998). Das Verfahren beruht auf einer simultanen Disambiguierung von Dependenzstrukturen auf mehreren miteinander gekoppelten Ebenen. Da sowohl zur Disambiguierung als auch zur Ebenenkopplung gewichtete Constraints verwendet werden, besteht die Möglichkeit

- durch starke Evidenz auf einer Ebene die Disambiguierung auf den anderen Ebenen steuernd zu beeinflussen und
- Inkonsistenzen auf einer Ebene durch die Unterstützung von anderen Ebenen zu überwinden.

Wichtig ist dabei, daß die Ebenenkopplung vollständig symmetrisch erfolgt, wodurch keine bevorzugte Richtung für den Evidenzabgleich vorgegeben werden muß, dieser sich daher an die gegebene Datenlage im Satz anpassen kann. Dies ermöglicht z.B. eine Unterstützung der syntaktischen Verarbeitung durch entsprechende semantische Erwartungen (insbesondere für den Fall syntaktischer Abweichungen), aber ggf. auch ein Überschreiben semantischer Erwartungen, wie es für das Verstehen neuartiger und unerwarteter konzeptueller Inhalte erforderlich ist. Somit sind vielversprechende Voraussetzungen für die Realisierung robuster Sprachverstehensanwendungen gegeben (Menzel 1998). Bisher wurde das Verfahren erst für rein relationale Dependenzstrukturen realisiert, erlaubt aber dennoch bereits interessante Anwendungen im Bereich des Fremdsprachenunterrichts, für die das Auftreten hochgradig fehlerhafter Eingabedaten typisch ist (Menzel/Schröder 1998). Da die sprachliche Kommunikation hier jedoch in den Rahmen einer multimodalen Interaktionsumgebung eingebettet werden kann, stehen vielfältige kontextinduzierte Erwartungen für die Interpretation und Diagnose der Schülerlösung zur Verfügung.

5 Zusammenfassung

Wie bereits eingangs vermutet worden war, hat sich die große strukturelle Nähe zwischen dependenzgrammatischen und konzeptuellen Repräsentationen in der Tat als eine tragfähige und ausgesprochen fruchtbare Grundlage für die integrierte Modellierung syntaktischer und semantischer Aspekte der Sprachstruktur erwiesen. Sie ermöglicht nicht nur eine große Flexibilität bei der Zuordnung von sprachlichen Phänomenen zu den unterschiedlichen Repräsentationsebenen, sondern darüber hinaus die Realisierung verhältnismäßig einfacher Abbildungsmechanismen zwischen den einzelnen Repräsentationskonstrukten. Dies unterstützt die Realisierung praktischer Anwendungslösungen immer dann besonders gut, wenn die gegebene Aufgabenstellung die Einbeziehung "tiefer" Repräsentationen zwangsläufig erfordert, wie dies etwa im Bereich der Maschinellen Übersetzung oder aber der Dokument- und Faktenrecherche der Fall ist. Gleichzeitig eröffnen sich auf dieser Grundlage aber auch sehr interessante Perspektiven zur Modellierung der wechselseitigen Beeinflussung zwischen den verschiedenen Komponenten des Sprachverarbeitungssystems, deren optimales Zusammenspiel letztendlich erst die erstaunlichen Verarbeitungsleistungen erklären kann, zu denen der Mensch auch unter sehr widrigen Rahmenbedingungen in der Lage ist.

6 Literatur (in Auswahl)

Bröker, Norbert (1997) Eine Dependenzgrammatik zur Kopplung heterogener Wissenssysteme auf modallogischer Basis. Dissertation, Universität Freiburg.

Carpenter, Bob (1992) The Logics of Typed Feature Structures, Cambridge.

Fillmore, Charles J. (1968) The Case for Case. In: Bach, E. / Harms, R. T. (Hg.) Universals in Linguistic Theory, New York, 1-88.

Hajičová, Eva (Hg.) (1995) Text-and-Inference Based Approach to Question Answering. (= Theoretical and Computational Linguistics 3), Faculty of Philosophy, Charles University Praha.

Hahn, Udo / Schacht, Susanne / Bröker, Norbert (1994) Concurrent, Objekt-oriented Natural Language Parsing: The *ParseTalk Model.* In: *Int. Journal of Human-Computer-Studies* 41, 179-222.

Hahn, Udo / Schnattiger, Klemens (1998) A Text Understander that Learns. In: 17th Int. Conf. on Computational Linguistics, Montreal, 476-482.

Heinecke, Johannes / Kunze, Jürgen / Menzel, Wolfgang / Schröder, Ingo (1998) Eliminative Parsing Using Graded Constraints. In: Proc. 17th Int. Conf. on Computational Linguistics, Montreal, 526-530.

Helbig, Gerhard / Buscha, Joachim (1988) Deutsche Grammatik, 11. Auflage, Leipzig.

Hesse, Harald / Küstner, Andreas (1985) Syntax der koordinativen Verknüpfung (= studia grammatica XXIV), Berlin.

Hudson, Richard (1990) English Word Grammar, Oxford.

Kahane, Sylvain / Nasr, Alexis / Rambow, Owen (1998): Pseudo-Projectivity: A Polynomially Parsable Non-Projective Dependency Grammar. In: Proc. 17th Int. Conf. on Computational Linguistics, Montreal, 646-652.

Klimonow, Gerda (1982) Zum System der Unterordnungsrelationen im Deutschen. In: Kunze, J. (Hg.) Automatische Analyse des Deutschen, Berlin, 65-174.

Kunze, Jürgen (1975) Abhängigkeitsgrammatik (= studia grammatica XII), Berlin.

Kunze, Jürgen (1982) Probleme der Selektion in der automatischen Satzanalyse, In: Kunze, J. (Hg.) Automatische Analyse des Deutschen, Berlin, 223-256.

Lombardo, Vincenzo / Lesmo, Leonardo (1998) Formal aspects and parsing issues of dependency theory, In: Proc. 17th Int. Conf. on Computational Linguistics, Montreal, 787-793.

Masterman, Margaret (1961) Semantic Message Detection for Machine Translation, Using an Interlingua. In: Proc. Int. Conf. on Machine Translation, 438-475.

Melcuk, Igor, A. (1988) Dependency Syntax: Theory and Practice, New York.

Menzel, Wolfgang (1998) Constraint Satisfaction for Robust Parsing of Natural Language, In: *Journal of Theoretical and Experimental Artificial Intelligence* 10, 77–89.

Menzel, Wolfgang / Schröder, Ingo (1998) Constraint-Based Diagnosis for Intelligent Language Tutoring Systems, In: Proceedings IT & KNOWS, XV. IFIP World Computer Congress, Wien und Budapest, 484-497.

Minsky, Marvin (1975) A framework for representing knowledge. In: Winston, Patrick (Hg.) The Psychology of Computer Vison, New York, 211-277.

Owsnicki-Klewe, Bernd / von Luck, Kai / Nebel, Bernhard (1993) Wissensrepräsentation und Logik - Eine Einführung. In: Görz, Günther (Hg.) Einführung in die Künstliche Intelligenz, Bonn, 3-54.

Quillian, M. R. (1968) Semantic Memory. In: Minsky, Marvin (Hg.) Semantic Information Processing, Cambridge MA, 227-270.

Schank, Roger C. (Hg.) (1975) Conceptual Information Processing, Amsterdam.

Somers, Harold L. (1987) Valency and Case, Edinburgh.

Sowa, John F. (1992) Semantic Networks. In: Shapiro, Stuart C. (Hg.) Encyclopedia of Artificial Intelligence, 2nd. Ed, Nwe York, 1493-1511.

Sowa, John F. (1984) Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine, Reading MA.

Strube, Michael / Hahn, Udo (1995) ParseTalk about Sentence- and Text-Level Anaphora. In: Proc. 7th Conf. of the EACL, Dublin, 237-244.

Touretzky, David F. (1986) The Mathematics of Inheritance Systems, Los Altos.

Woods, William A. (1975) What's in a Link: Foundations for Semantic Networks. In: Bobrow, D. G. / Collins, A. (Hg.) Representation and Understanding, New York, 35-82.