Antizipationsfreie Fehlerdiagnose für Sprachlehrsysteme

Wolfgang Menzel
Universität Hamburg, Fachbereich Informatik
Bodenstedtstraße 16
2000 Hamburg 50
email: wolfgang@nats4.informatik.uni-hamburg.dbp.de

1. Einleitung

Es ist unter Sprachlehrern eine durchaus strittig Frage, ob und in welcher Form auf sprachliche Fehler reagiert werden soll. Insbesondere in der Tradition eines kommunikativ orientierten Sprachunterrichts dominiert die Auffassung, daß bewußte Reflexion über sprachliches Versagen kontraproduktiv ist und vom aktiven Sprachgebrauch ablenkt. Zugespitzt formuliert es Brian Farrington: "The best way to treat an error is to ignore it." (Farrington 1989, persönliche Mitteilung). Er ist sich des provokatorischen Charakters seiner Äußerung sehr wohl bewußt, denn in der strengen Konsequenz macht ein solches Herangehen schließlich auch den Lehrer selbst überflüssig, sofern er seine Aufgabe ausschließlich in der Produktion von positiven Beispielen für den korrekten Sprachgebrauch sehen würde. Jede Form von zielgerichtetem Feedback - und gerade dafür ist ja der Lehrer primär zuständig - erfordert eine vorangehende Diagnose der Schülerleistung.

Die Notwendigkeit einer Diagnose an sich sollte demnach wohl nicht primär in Frage gestellt werden. Diskussionswürdig ist aber durchaus, welcher Gebrauch von Diagnoseergebnissen im einzelnen gemacht werden soll. Hier bietet sich in der Tat ein sehr weites Spektrum von Möglichkeiten an, das von der direkten Präsentation (in Form einer Fehlererklärung), über eine akkumulierte Auswertung (erst bei hartnäckiger Wiederholung) bis hin zu einer indirekten Präsentation (in Form von Gegenbeispielen, Analogiebeispielen, systematischer Wiederholung usw.) reicht. Notwendige Grundlage für eine fundierte Abwägung ist aber schließlich immer das Vorliegen von hinreichend genauen Diagnoseergebnissen.

In klassischen Sprachlehrsystemen basiert die Diagnose vollständig auf der Antizipation einzelner Fehlerbeispiele. Fehlerinstanzen werden zusammen mit entsprechenden Systemreaktionen aufgelistet und anschließend im Schülerinput identifiziert. Die Aufstellung derartiger Fehlerlisten ist sehr arbeitsaufwendig und wird wohl prinzipiell immer unvollständig bleiben müssen. Auch der Übergang zu einer regelhaften Sprachbeschreibung (vgl. etwa Weischedel et al. 1978, Barchan et al. 1985 und Schwind 1986 und 1988), beseitigt nicht die Notwendigkeit zur Antizipation von Schülerfehlern. Antizipation tritt hierbei allerdings nicht mehr auf der Ebene der Fehlerinstanzen auf, sondern erfolgt zumeist in generalisierter Form für ganze Fehlerklassen.

Erst wenn es gelingt, Diagnoseergebnisse über sprachliche Fehler direkt aus einem Modell der sprachlichen Korrektheit abzuleiten, kann auf Fehlerantizipation verzichtet werden.

Auch hier ist es aber *a priori* nicht ohne weiteres klar, ob ein solcher Verzicht anstrebenswert ist oder nicht. Sicherlich verfügt jeder Lehrer über ein gewisses Inventar an typischen Fehlerbeispielen. Trotzdem wird er aber immer in der Lage sein, auch "innovative" Fehlleistungen des Schülers diagnostisch zu analysieren, um sich auf dieser Grundlage für eine angemessene Reaktion zu entscheiden. Offenbar liegen hier beide Arten von Diagnosefähigkeit in gemischter Form vor: antizipationsbasiert (in Form der Fehlerliste) und antizipationsfrei (etwa durch Vergleich mit möglichen richtigen Lösungen).
Erwartet werden sollte, daß eine derartige gemischte Strategie auch in Lehrsystemen für den Sprachunterricht in vorteilhafter Form zum Einsatz kommen kann. Voraussetzung dafür ist jedoch erst einmal eine ansatzweise Klärung der Frage, ob eine antizipationsfreie Diagnose für sprachlich relevante Wissensdomänen überhaupt realisierbar ist.
Bisher wurde antizipationsfreie Diagnose vor allem am Beispiel von relativ kleinen und hinreichend einfachen technischen Geräten untersucht (vgl. DAVIS 1984, DE KLEER und WILLIAMS 1987, REITER 1987). Daher ist es schon ein wenig überraschend, daß ausgerechnet das hochgradig komplexe Gebiet der Korrektheit natürlichsprachiger Äußerungen als mögliches Anwendungsgebiet in Frage kommen soll. Daß dies tatsächlich der Fall ist, hängt mit einer Reihe von Besonderheiten der Anwendung im Sprachunterricht zusammen:

1. Übungen zum Sprachgebrauch, insbesondere auf dem Anfängerniveau werden immer vor dem Hintergrund von sehr kleinen, künstlichen Ausschnitten der realen Welt formuliert. Erhebliche Einschränkungen der Syntax und der Lexik sind nichts außergewöhnliches. Solche Restriktionen reduzieren daher nicht unbedingt die Einsatzmöglichkeiten eines Lehrsystems, sondern können ohne weiteres auch mit eindeutigen pädagogischen Vorzügen verbunden sein.

2. Es ist möglich, den strukturellen Rahmen für die möglichen Lösungen zu begrenzen, ohne daß der Schüler dies als unzumutbare Einschränkung empfinden würde. So kann durch geeignete Lückenfüllaufgaben erreicht werden, daß der Schüler durch den gegebenen Satz- und Situationskontext in unauffälliger Weise auf die zulässigen Konstruktionen hingewiesen wird. Zusätzlich kann über eine menügesteuerte Eingabe erreicht werden, daß dem Schüler ausschließlich zulässige Konstruktionen zur Verfügung stehen.

3. Das System der morpho-syntaktischen Merkmale, das zur Beschreibung der Korrektheitsbedingungen für kleine Sprachausschnitte benötigt wird, ist relativ einfach und erlaubt daher die Realisierung einer entsprechend einfachen Diagnoseprozedur.

2. Konsistenzforderungen

Das Verfahren arbeitet auf der Grundlage einer Prozedur zum Constraint Propagation. Alle Korrektheitsforderungen, denen die Schülerlösung genügen muß, werden als (binäre) Constraints über den Merkmalsbelegungen der Wortformen modelliert. Naheliegend ist ein solches Vorgehen etwa für die Kongruenzforderungen, die im Deutschen den internen Aufbau von Nominal- und Präpositionalgruppen regeln.

agree[$\langle source\rangle, \langle destination\rangle, \langle feature\rangle$].

$\langle source\rangle$ und $\langle destination\rangle$ bezeichnen dabei eindeutig bestimmte Positionen in einer gegebenenfalls künstlich fixierten Struktur der Schüleräußerung, etwa Substantiv und Artikel in einer typischen deutschen Nominalphrase, die sich in Kasuskongruenz befinden müssen

agree[det,noun,case].

Durch ein solches Prädikat wird für die beiden betroffenen Wortformen eine symmetrische Relation über Teilen der Wörterbuchinformation definiert. $\langle source\rangle$ und $\langle destination\rangle$ werden als Variable betrachtet, die ihre initiale Wertebindung in Form von Merkmalstrukturen direkt aus den Wörterbucheintragungen übernehmen. Im Interesse einer effizienten Diagnoseprozedur werden die Merkmalstrukturen auf Tupel von Wertemengen beschränkt. Sie besitzen damit eine typische Frame-Struktur, wobei die morphosyntaktischen Merkmale (Genus, Kasus, Numerus usw.) den Slots entsprechen. Neben den üblichen binären Kongruenzforderungen tritt zusätzlich ein einstelliges Korrektheitsprädikat auf, das nur eine Bedingung für eine Variable $\langle destination\rangle$ spezifiziert

restrict[$\langle destination\rangle, \langle condition\rangle$].

Derartige Prädikate werden unter anderem dafür benötigt, die Kasusrektion der Verben und Präpositionen zu modellieren

restrict[noun-of-dative-object,case={dat}].

Eine Übungsaufgabe wird gewöhnlich durch eine ganze Reihe von Korrektheitsforderungen beschrieben, die dann über den Zugriff auf gemeinsame Variable einfache Constraint-Netze bilden. In einem solchen Netz entsprechen die Kanten den Korrektheitsforderungen, während die zu verbindenen Knoten über die $\langle source\rangle$- und $\langle destination\rangle$-Argumente identifiziert werden. Ein Beispiel für eine relativ einfache Übungsaufgabe ist die Bildung von deutschen lokalen Präpositionalgruppen. Vorgegeben wird ein festes Strukturmuster, z.B.

pattern=(preposition determiner adjective noun)

und der Schüler wird aufgefordert, seine individuelle Lösung in einen Übungskontext der Art

... liegt die Brille!. bzw. Wo hast du das Geld gefunden? ...

einzupassen. Die Korrektheitsforderungen für die vier, vom Schüler erwarteten Wortformen bestehen insgesamt aus 13 Prädikaten, die die Wortartrestriktionen, die selektive Vorgabe und die Kongruenzforderungen bezüglich Kasus, Genus, Numerus und Flexionstyp beschreiben

restrict[prep-3,cat={prep}]
restrict[noun,cat={noun}]
restrict[det,cat={art,poss-p,dem-p}]
restrict[adj,cat={adj}]
restrict[prep-3,select={location}]
agree[prep-3,noun,case]
agree[noun,det,case]
agree[noun,det,number]
agree[noun,det,gender]
agree[noun,adj,case]
agree[noun,adj,number]
agree[noun,adj,gender]
agree[det,adj,inflectional-degree].

Ohne größere Schwierigkeiten kann dieses Modellierungsschema auch auf andere, duraus auch ungewöhnliche Klasse von Kongruenzforderungen erweitert werden. Dazu zählen z.B. die Konsistenzforderungen *innerhalb* von Wortformen einer flektierenden Sprache. Wegen des Umlauts müssen hierbei im Deutschen wenigstens drei verschiedene Bedingungen berücksichtigt werden:

agree[noun-stem,noun-ending,gender]
agree[noun-stem,noun-ending,inflectional-type]
agree[noun-stem,noun-ending,number].

In Kombination mit den üblichen externen Constraints lassen sich dann auch solche Flexionsfehler diagnostizieren, die ihre tieferliegende Ursache in einer übergeneralisierenden Anwendung eines Flexionsschemas auf einen speziellen Ausnahmefall haben. In anderen Fällen können sich aus dem Zusammenwirken zwischen internen und externen Bedingungen zusätzliche Hinweise ergeben, die dann eine bestimmte Fehlerlesart präferieren. Sehr interessante Anwendungen für Modelle zur wortforminternen Kongruenz ergeben sich in den slawischen Sprachen (z.B. Russisch), die über ein reichhaltiges Flexionssystem verfügen, das zusätzlich auf Merkmale wie Betonung und Belebtheit zurückgreift.

3. Strukturelle Bedingungen

Strukturelle Forderungen finden sich in den traditionellen Grammatikformalismen meist eingebettet in relativ komplexe Regeln. Die Anwendung von Techniken zur Constraint Propagation erfordert aber im Gegensatz dazu, die ausschließliche Verwendung elementarer Korrektheitsprädikate, so daß für die Zwecke der Fehlerdiagnose eine geeignete Zerlegung der strukturellen Korrektheitsforderungen erforderlich wird. Gewöhnliche kontextfreie Grammatikregeln der Art

$$\mathsf{S} \rightarrow \mathsf{NP}\ \mathsf{VP}$$

enthalten in expliziter Form nur eine Aussage zur Dominanz des Knotens auf der linken Regelseite über alle Knoten auf der rechten. Darüberhinaus finden sich aber durchaus auch noch implizite Aussagen

1. zur linearen Anordnung der Konstituenten (NP vor VP) und

2. zur Weglaßbarkeit der Konstituenten (beide sind obligat).

Diese implizite Information tritt deutlicher hervor, wenn man anstelle der ursprünglichen Regeldarstellung eine prädikatenlogische Formulierung betrachtet (Pereira und Shieber 1987)

$$\forall \mathsf{x}.\ \forall \mathsf{y}.\ \forall \mathsf{z}.\ \mathsf{s[z]} \rightarrow \mathsf{np[x]} \wedge \mathsf{vp[y]} \wedge \mathsf{append[x,y,z]},$$

bei der die Anordnungsforderung durch das append-Prädikat gegeben ist und die Obligatheit aus der konjunktiven Verknüpfung der Konstituenten resultiert. Die implizite Natur dieser Bedingungen zeigt sich sicherlich am besten, wenn man auf der Basis einfacher kontextfreier Regeln versucht, Anordnungs- oder Weglaßvarianten zu beschreiben, ohne auf eine bloße Aufzählung der Fälle zurückzugreifen. Das bedeutet aber, daß sich ganz elementare Korrektheitsbedingungen für natürliche Sprache auf dieser Grundlage gar nicht explizit beschreiben lassen und damit für eine antizipationsfreie Diagnose kaum in Frage kommen.
Um Anordnungs- und Weglaßbarkeitsforderungen in eine explizite Form zu bringen, wird im weiteren eine anordnungsfreie und disjunktive Lesart für kontextfreie Regeln verwendet:

$$\mathsf{A} \rightarrow \{\mathsf{B}_1,\mathsf{B}_2,\ldots,\mathsf{B}_n\}.$$

Hierbei soll die Mengennotation anzeigen,

1. daß alle Elemente der rechten Regelseite optional sind (wenigstens eines davon muß auftreten) und

2. daß die Reihenfolge, in der die ausgewählten Elemente auftreten, beliebig ist.

Eine Regel dieses Typs kann dann auch als Disjunktion von elementaren und unabhängigen (lokalen) Dominanzrelationen $\mathsf{dom[A,B}_x\mathsf{]}$ betrachtet werden:

$$\mathsf{or[dom[A,B_1],dom[A,B_2],\ldots,dom[A,B}_n\mathsf{]]}$$

bzw. in einer etwas verkürzten Notation

$$\mathsf{or}[\mathsf{B}_1,\mathsf{B}_2,\ldots,\mathsf{B}_n].$$

Es ist klar, daß eine solche Regel für praktisch jeden Fall übergeneriert und durch geeignete zusätzliche Verträglichkeitsbedingungen erst wieder auf das gewünschte Maß eingeschränkt werden muß. Dies kann etwa durch die Angabe von Konjunktionen (and), Alternativen (exor), Implikationen (if) oder Äquivalenzen (iff) zwischen Dominanzrelationen erreicht werden. Eine Dominanzrelation wird demnach als obligat deklariert, wenn sie als Element einer konjunktiven Verknüpfung auftritt. Auf diese Weise lassen sich unterschiedliche Formen von Optionalität und Obligatheit leicht durch entsprechende Verträglichkeitsconstraints modellieren. In der einfachen Nominalgruppe

$$\mathsf{NP} \rightarrow \{\mathsf{det},\mathsf{adj},\mathsf{noun}\}$$

werden Artikel und Substantiv durch Hinzunahme des Constraints

and[det,noun]

als obligat markiert, während das Adjektiv optional bleibt. Etwas anspruchsvoller ist wiederum das Beispiel einer lokalen Präpositionalgruppe

$$\mathsf{pp} \rightarrow \{\mathsf{prep\text{-}3},\mathsf{prep\text{-}3\text{-}det},\mathsf{det},\mathsf{adv},\mathsf{adj},\mathsf{noun}\}$$

die zusätzlich zu den üblichen Dativpräpositionen auch die Verwendung von fusionierten Präpositionen (*an* + *dem* = *am*, *in* + *das* = *ins* usw.) gestattet. Wegen der zusätzlichen Bedingungen

exor[prep-3,prep-3-det]
or[adj,noun]
iff[prep-3,det]
if[adv,adj]

besitzt eine Präpositionalgruppe dann genau eine Präposition und genau einen Artikel unabhängig davon ob diese miteinander fusioniert wurden oder nicht. Adjektiv und Substantiv sind beide optional, allerdings nicht gleichzeitig, und die Zulässigkeit der Graduierungspartikel (*sehr, ganz,* usw.) ist abhängig von der Existenz des zu modifizierenden Adjektivs.

Um Anordnungsregularitäten ebenfalls in einer äquivalenten Weise zu modellieren, werden über die bisherigen Constraints hinaus noch Präzedenzrelationen für die lineare Reihung der dominierten Knoten benötigt. Derartige Relationen wurden erstmalig im Rahmen der GPSG eingesetzt (Gazdar u.a. 1985). Für die Zwecke der constraintbasierten Diagnose kann der Ansatz leicht erweitert werden, um zusätzlich zu den relativen Prädikaten precedes[adv,adj]   (die Graduierungspartikel steht vor dem Adjektiv)

auch absolute Prädikate zuzulassen

last[noun]   (das Substantiv steht in einer NP an letzter Stelle)

Offensichtlich ist der durch die Korrektheitsprädikate gegebene Rahmen für die Formulierung komplexer Grammatiken völlig ungeeignet. Er kann jedoch durchaus zum Aufbau kleiner (und nichttrivialer) Spezialgrammatiken verwendet werden, die z.B. einfach Fälle von Haupt- und Nebensätzen sowie erweiterte Nominalgruppen mit linken und/oder rechten Attributen abdecken.

4. Diagnose

Die Diagnosekomponente selbst wurde als hochgradig spezialisierte Prozedur zur Constraint Propagierung durch ein Bedingungsnetz realisiert. Beispielsweise sind die auftretenden Datentypen auf diskrete und endliche Domänen beschränkt.
In einer ersten Stufe der Diagnose wird versucht, für die eingegebene Schülerlösung die gleichzeitige Erfüllbarkeit aller Korrektheitsforderungen nachzuweisen. Dazu werden die initialen Wertebelegungen entsprechend den Korrektheitsforderungen sukzessive eingeschränkt. Eine korrekte Lösung liegt vor, wenn dabei im Endzustand an allen Variablen nichtleere Wertemengen verbleiben.
Führt die Werteübertragung auf eine Inkonsistenz, werden durch systematische Modifikation der Korrektheitsbedingungen verschiedene Fehler simuliert. Dazu werden die unterschiedlichen Prädikate (Konsistenzforderungen, strukturelle Bedingungen, initiale Wertebindungen) lokal negiert und wiederum in das Netz assimiliert. Jedes negierte Prädikat kann dann als lokale Fehlerhypothese aufgefaßt werden, deren globale Konsequenzen sich am Netz untersuchen lassen. Auf der theoretischen Seite ist diese Schlußweise durch die Annahme einer abgeschlossenen Welt gerechtfertigt (Reiter 1978). Auf der technischen Ebene erfolgt die Simulation einfach dadurch, daß in bestimmten Situationen die Werteübertragung im Netz mit modifizierten Übertragungsvorschriften fortgesetzt wird. Dabei wird in Übereinstimmung mit der Art der jeweils negierten Prädikate zwischen Regel- und Faktenfehlern unterschieden.
Betrachtet man beispielsweise die fehlerhafte Nominalgruppe **des Schlüssel*, dann gelingt es der Übertragungsprozedur wegen der initialen Wertebindung

case[det,{gen}] ∧ number[det,{sing}] ∧ ...
case[noun,{nom,dat,acc}] ∧ number[noun,{sing}] ∧ ...
case[noun,{nom,gen,acc}] ∧ number[noun,{plur}] ∧ ...

nicht, gleichzeitig die beiden Forderungen

$$\mathsf{agree[noun,det,number]} \quad \text{und} \quad \mathsf{agree[noun,det,case]}$$

in das Netz zu assimilieren. Mit den beiden alternativen Negationsvarianten

$$\neg\ \mathsf{agree[noun,det,number]} \quad \text{bzw.} \quad \neg\ \mathsf{agree[noun,det,case]}$$

kann aber in der nachfolgenden Regelfehlersimulation die Inkonsistenz aus dem Netz beseitigt werden, wodurch sich zwei unabhängige Fehlerhypothesen ergeben. Analog dazu ist die Faktenfehlerdiagnose in der Lage zwei "negierte" Wertebindungen

$$\neg\ \mathsf{case[noun,\{nom,dat,acc\}]} \wedge \mathsf{number[noun,\{sing\}]} \wedge \ldots$$
$$\mathsf{case[noun,\{gen\}]} \wedge \mathsf{number[noun,\{sing\}]} \wedge \ldots$$

bzw.

$$\mathsf{case[noun,\{nom,gen,acc\}]} \wedge \neg\ \mathsf{number[noun,plur]]} \wedge \ldots$$
$$\mathsf{case[noun,\{nom,gen,acc\}]} \wedge \mathsf{number[noun,\{sing\}]} \wedge \ldots$$

zu assimilieren und somit zwei alternative Faktenfehlerlesarten zu motivieren.
Die Diagnose führt ständig Buch über ihre bisherigen Annahmen und speichert diese Informationen in einem speziellen Feld, das jedem Zustand des Netzes zugeordnet wird. Dadurch wird ein schneller Wechsel zwischen Bindungskontexten ermöglicht und die Diagnose kann in zwei weitgehend voneinander unabhängige Teile zerlegt werden:

- eine schnelle Fehlererkennung, die nur solche Lesarten in Betracht zieht, für die noch keinerlei Fehlerannahmen erforderlich waren

- eine erheblich aufwendigere Fehlerlokalisierung, die die eigentliche Fehlersimulation durchführt.

Aus Effektivitätsgründen wird der zweite Teil nur dann aktiviert, wenn der Schüler eine genauere Fehlererklärung wünscht, so daß detaillierte Information über den Ort und die Art des Fehlers benötigt werden.

5. Generierung von Fehlererklärungen

Normalerweise sind die unmittelbaren Ergebnisse der Diagnose wegen ihrer Komplexität für eine unmittelbare Verbalisierung ungeeignet. Um umständliche und damit unverständliche Fehlermeldungen zu vermeiden, können die elementaren Fehlerinformationen mit Hilfe von muster-basierten Regelschemata zusammengefaßt werden. Dabei werden gleichzeitig die bestehenden Unterschiede in den Fehlerlesarten hervorgehoben, so daß sich etwa die beiden alternativen Regelfehlerdiagnosen in dem obigen Beispiel in komprimierter Form als

Fehlende Numerus- oder Kasuskongruenz zwischen Artikel und Substantiv

verbalisieren lassen.
Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion der Ergebniskomplexität besteht in einer Selektion zwischen den alternativen Fehlerbeschreibungen. Dies geschieht einerseits nach der Minimalität der Fehlerbeschreibungen, andererseits aber auch nach dem durch die aktuelle Lehrstrategie vorgegebenen Erklärungszweck. Entsprechend der grundsätzlichen Unterscheidung zwischen Regelverletzungen und Faktenfehlern können für jeden Fehler zwei verschiedene Diagnosesichten eingenommen werden:

1. Angabe der Regularitäten, die vom Schüler nicht beachtet wurden oder

2. Aufzeigen der fehlerhaften Faktenannahmen, was stets auf die Angabe einer optimalen Korrekturvariante hinausläuft.

Die bisherigen experimentellen Ergebnisse haben gezeigt, daß eine Regelfehlerdiagnose und/oder eine Fehlerstelle, die in einer strukturellen Beschreibung der Äußerung "weiter oben" lokalisiert ist gut geeignet sind, den konzeptuellen Fehler des Schülers zu beschreiben. Im Gegensatz dazu können Faktenfehlerbeschreibungen und/oder "tiefer unten" angesiedelte Fehler eher Hinweise darauf geben, wie die partiell fehlerhafte Lösung verbessert werden könnte.
In einigen Fällen unterscheiden sich diese beiden Sichtweisen ganz erheblich. Diese Situation ist etwa gegeben, wenn der Schüler in der obigen Präpositionalgruppenaufgabe statt der geforderten lokalen Angabe (z.B. *auf dem großen Tisch*) eine Lokalbestimmung (*auf den großen Tisch*) eingibt. In diesem Fall kann die am weitesten oben angesiedelte Regelverletzung durch

Die komplette Präpositionalgruppe hat einen falschen Kasus.

verbalisiert werden. während die unterste Faktenfehlerdiagnose direkt einem Reparaturvorschlag entspricht:

Korrigiere den Artikel!

7. Fazit

Obwohl die bisherigen Ergebnisse gezeigt haben, daß mit der Anwendung constraintbasierter Diagnosetechniken eine Reihe von Vorzügen verbunden sind, sollte man nicht in den Fehler verfallen, diesen Ansatz als einzige Alternative für die Gestaltung künftiger Lehrsysteme für den Sprachunterricht anzusehen. Da der Erfolg dieses Verfahrens direkt von der Gültigkeit der Annahme einer geschlossenen Welt abhängig ist, ist es *per definitionem* auf diejenigen recht eng begrenzten Bereiche der natürlichen Sprache beschränkt, für die eine Modellierung der Korrektheitsbedingungen mit der erforderlichen Genauigkeit möglich ist. In derartig abgegrenzten Domänen erlaubt der constraintbasierte Ansatz dann aber die Realisierung einer extrem präzisen Diagnoseprozedur, die insbesondere geeignet ist

- verständliche Fehlererklärungen und Reparaturvorschläge zu erzeugen,
- Mehrfachfehler zu diagnostizieren,
- alternative Fehlerlesarten zu berücksichtigen und
- alternative Sichten auf den Fehler zu unterstützen.

Die Präzision und Zuverlässigkeit der Diagnoseergebnisse für die obigen Konsistenzprobleme ist derartig hoch, daß es möglich war, die Ergebnisse der Faktenfehlersimulation unmittelbar zur Auswahl eines Korrekturvorschlages aus dem systeminternen Wörterbuch einzusetzen. Ähnliche Ergebnisse liegen auch für den Bereich der Anordnungsregularitäten vor, wo die Simulationsergebnisse direkt als Permutationsvorschrift für die Schülerlösung interpretiert werden können. Trotz dieses extrem strengen Korrektheitskriteriums und umfangreicher Testläufe wurden bisher noch keinerlei Fälle für ein Diagnoseversagen festgestellt.
Auf der Grundlage der angegebenen Prinzipienlösungen wurde ein einfaches Prototypsystem realisiert, das das Diagnoseverfahren in eine einfache Lernumgebung integriert. Neben dem syntaktischen Kontext soll vor allem durch einen menü-basierten Eingabemodus vermieden werden, daß der Schüler die unvermeidlichen Begrenzungen der Übungsaufgabe allzu stark als störend empfindet. Mit Hilfe dieser Eingabeunterstützung wird der Schüler in die Lage versetzt, nicht nur das systeminterne Wörterbuch zu inspizieren, sondern auch geeignete Wortformen direkt mit dem Kursor anzuwählen. Dadurch steht ein schneller und bequemer Interaktionsmodus zur Verfügung, der den Schüler dazu ermuntert, sich seine Lösung in Baukastenart aus dem verfügbaren Wortformenbestand selbst zusammenzustellen.

Literatur

Barchan, J; Woodmansee, B. und Yazdani, M. (1986) *A PROLOG-based Tool for French Grammar Analysis.* Instructional Science, vol. 14, p. 21-48.

Davis, R. (1984) *Diagnostic Reasoning Based on Structure and Behaviour.* Artificial Intelligence, vol. 24, no. 1-3: 347-410.

Gazdar, G.; Klein, E.; Pullum, G. K. und Sag, I. A. (1985) *Generalized Phrase Structure Grammar.* Blackwell, Oxford.

de Kleer, J. und Williams, B. C. (1987) *Diagnosing Multiple Faults.* Artificial Intelligence, vol. 32, no. 1: 96-130.

Menzel, W. (1992) *Modellbasierte Fehlerdiagnose in Sprachlehrsystemen.* Sprache und Information, Band 24, Tübingen: Niemeyer Verlag.

Pereira, F. C. N. und Shieber, S. M. (1987) *Prolog and Natural-Language Analysis.* CS-LI Lecture Notes no. 10, Stanford.

Reiter, R. (1978) *On Closed World Data Bases.* In: Gallaire, H. and Minker, J. (eds.) Logic and Data Bases. Plenum Press, New York: 55-76.

Reiter, R. (1987) *A Theory of Diagnosis from First Principles.* Artificial Intelligence, vol. 32, no. 1: 57-95.

Schwind, C. B. (1986) *Overview of an Intelligent Language Tutoring System.* Proceedings 2nd International Conference on Artificial Intelligence, CIIAM '86, Marseille, Editions Hermes, Paris: 389-409.

Schwind, C. B. (1988) *Sensitive Parsing: Error Analysis and Explanation in an Intelligent Language Tutoring System.* Proceedings 12th International Conference on Computational Linguistics, Budapest: 608-613.

Weischedel, R. M.; Voge, W. M. und James, M. (1978) *An Artificial Intelligence Approach to Language Instruction.* Artificial Intelligence, vol. 10, no. 3: 225-240.