Ressourcenadaptierende Verfahren zur Präzisionsbewertung von Lokalisationsausdrücken und zur Generierung von linguistischen Hecken

Diplomarbeit von

Christian Kray

Fachbereich 14 - Informatik
Universität des Saarlandes
Saarbrücken

nach einem Thema von
Prof. Dr. W. Wahlster

30. März 1998

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich des Eides statt, daß ich zur Anfertigung dieser Arbeit nur die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Saarbrücken, den 30. März 1998

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1
1.1 Ressourcenadaptive kognitive Prozesse 2
1.2 Aufbau der Arbeit 4

2 Grundlagen 6
2.1 Raumreferenz 6
2.2 Anwendbarkeit räumlicher Relationen 7
2.2.1 Modell der Semantik 8
2.2.2 Gradierung der Anwendbarkeit 8
2.2.3 Berechnung des Anwendbarkeitsgrades 9
2.3 Fuzzy-Mengentheorie 9
2.4 Sprachliche Unbestimmtheit 13
2.5 Präzision in Sprechakten 16

3 Formalisierung vager Konzepte: Globale und lokale Präzisionsmaße 18
3.1 Formalisierungsmöglichkeiten 19
3.2 Globale Präzisionsmaße 20
3.2.1 Häufigkeit hoher Anwendbarkeit: Ungewichtete Fläche 20
3.2.2 Gewichtete Fläche 21
3.2.3 Globale Präzisionsgrade 22
3.3 Lokale Präzisionsmaße 23
3.3.1 Lokale Flächen-Präzisionsgrade 25
3.3.2 Lokaler Intervall-Präzisionsgrad 25
3.3.3 Beispiel 27
3.4 Ressourcenadaptivität 28
3.5 Vergleich und Bewertung 30

4 Linguistische Hecken 32
4.1 Klassifikationsmöglichkeiten 34
4.1.1 Funktional-sprachliche Klassifikation 35
4.1.2 Funktional-mathematische Klassifikation 36
4.1.3 Klassifikation nach kognitivem Aufwand 38
4.1.4 Linguistische Klassifikation 38
4.1.5 Ausnahmefall Negationspartikel 44
4.2 Bisherige Modellierungsansätze 45
4.2.1 Lakoff/Zadeh: Fuzzy-Mengen-Operatoren 45
4.2.2 Hanßmann: SWYSS 46
4.2.3 Bouchon-Meunier: Kern- und Trägertranslationen 49
4.2.4 Cleeren et al.: Prämodifikation 50

5 Ressourcenadaptive Verfahren zur Berechnung präziser Lokalisationsausdrücke.....52
5.1 Ein Modell für linguistische Hecken 52
5.2 Erweiterung des Modells für die Semantik von Raumdeskriptionen 54
5.3 Konzeptuelle Realisierung 55
5.4 Ein beschränkt-optimaler Lokalisationsagent.....56
5.5 Implementation 59
5.5.1 Entwicklungs- und Laufzeitumgebung.....60
5.5.2 Anforderungen.....60
5.5.3 Aufbau 60
5.5.4 Leistungen.....63
5.5.5 Beschränkungen.....65
5.6 Beispiele.....65

6 Zusammenfassung und Ausblick.....77
6.1 Zusammenfassung.....77
6.2 Ausblick 78

Literaturverzeichnis.....80

Kapitel 1

Einleitung

Ein Umstand, der das Verstehen von Alltagssprache für den Computer so schwer macht, ist die bemerkenswerte Fähigkeit des Menschen, mit vagen Ausdrücken umzugehen. Die Unschärfe erfüllt dabei wichtige kommunikative Funktionen: Durch sie kann das Vertrauen des Sprechers in seine Äußerung verdeutlich werden, das Gespräch gezielt auf ein bestimmtes Abstraktionsniveau geleitet werden, eine exakte Aussage unscharf gemacht werden (oder umgekehrt) oder dem Hörer eine bestimmte Menge von Information gezielt vorenthalten werden. Diese keineswegs vollständige Auflistung zeigt schon, daß die Modellierung von Vagheit bzw. Präzision für das Verständnis von Alltagssprache von Bedeutung ist und in die rechnergestützte Verarbeitung von natürlicher Sprache miteinfließen sollte.

Von einem pragmatischen Standpunkt aus gesehen könnte man versucht sein, die Minimierung vager Aussagen als (Teil-)Ziel für ein dialogorientiertes System zu fordern. Denn sollte es nicht Aufgabe eines solchen (beispielsweise eines Navigationsassistenten) sein, den Nutzer (dem ortsunkundigen Fahrer) möglichst genau über den Diskursgegenstand (die Fahrtroute) zu informieren? Es ist aber ein Trugschluß anzunehmen, daß die Vagheit einer Aussage notwendigerweise zu einer Ungenauigkeit (im Sinne einer minderwertigeren Information) führt. Vielmehr kann gerade durch die Vagheit eine wesentlich präzisere Informationsübermittelung stattfinden, eben weil dem Rezipienten mitgeteilt wird, daß gewisse Aspekte der Aussage *zu einem bestimmten Maß und auf eine bestimmte Art und Weise* zutreffen

In der vorliegenden Arbeit werden ein Modell und verschiedene Berechnungsverfahren vorgestellt, die es gestatten, die Präzision einer Aussage zu bewerten und als Faktor mit in die Entscheidungsfindung bei der Verbalisierung beziehungsweise Analyse von Klassifikations- oder Kategorisierungsaussagen (im allgemeinsten Sinne) einfließen zu lassen. Aufgrund der Komplexität der Materie - die schon an den mannigfaltigen Funktionen von Unschärfe bzw. Präzision in der Alltagssprache deutlich wird - sollte der vorgeschlagene Ansatz als ein erster Schritt zum besseren Verständnis der zugrundeliegenden Konzepte und ihrer Implementation in rechnergestützten Dialogsystemen verstanden werden.

Die Eignung des präsentierten Modells wird im Rahmen der Produktion bzw. Analyse von Lokalisationsausdrücken demonstriert. Besonders gut lassen sich damit auch linguistische Hecken verarbeiten, deren Behandlung den anderen zentralen Punkt dieser Arbeit darstellt. Diese Gruppe von sprachlichen Operatoren wird (zumindest im Deutschen) häufig dazu verwendet, Unschärfe

bzw. Präzision explizit in eine Aussage einzubringen. Die Verwendung von linguistischen Hecken wird in psychologischen Experimenten oft als Indiz dafür gewertet, daß der Produzent seiner Aussage ein hohes Maß an Granularität bzw. eine große Detailauflösung zugrunde legt (vgl. etwa [Franklin et. al 95]).

Auf der anderen Seite kann durch die Verwendung von Worten wie "ungefähr" auch auf einem abstrakteren Niveau agiert werden. Lautet die Antwort auf die Frage "Wie groß ist denn der Wagen?" etwa "Ungefähr so groß wie meiner.", wird der Fragesteller davon ausgehen, daß die tatsächliche Größe des Fahrzeuges sich um die des Antwortenden bewegt. Erhält er als Antwort allerdings "So groß wie meiner.", so ist er eher geneigt anzunehmen, daß die Größe beider Wagen exakt übereinstimmt. Im ersten Fall wird also durch die Verwendung der Hecke signalisiert, daß man sich in groberen Kategorien bewegt.

Darüberhinaus existiert natürlich eine große Zahl von Wörtern, die schon ein bestimmtes Maß an Vagheit in sich tragen. Als Beispiel hierfür kann etwa der Begriff "Rentner" dienen, wenn er zur Altersbestimmung angewendet wird. Er läßt dann ein weites Spektrum möglicher Alter zu. Die Modellierung dieser begriffsinhärenten Vagheit ist aber nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit und wird daher hier nicht weiter thematisiert.

1.1 Ressourcenadaptive kognitive Prozesse

Diese Arbeit entstand im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Sonderforschungsbereichs 378 "Ressourcenadaptive kognitive Prozesse" [SFB 97]. Dabei handelt es sich um ein interdisziplinäres Gemeinschaftsprojekt der Fachbereiche Psychologie, Philosophie, Computerlinguistik und Informatik an der Universität des Saarlandes. Die beteiligten Institute arbeiten dabei in den drei Projektbereichen *Modellierung, Architektur* und *Berechnung* zusammen.

Die vorliegende Arbeit ist Bestandteil des Teilprojektes REAL [REAL 97] im Projektbereich Modellierung. Das Akronym REAL steht dabei für "ressourcenadaptive Lokalisation." Zentraler Forschungsgegenstand ist hierbei die Interaktion von Ressourcen-beschränkter Objektlokalisation und inkrementeller Sprachproduktion. In diesem Zusammenhang treten interessante Performanzerscheinungen auf wie z.B. das schrittweise Verfeinern von Äußerungen oder die Selbstkorrektur bereits ausgegebener Lokalisationsausdrücke. Abbildung 1.1 gibt einen groben Überblick über den Aufbau von REAL.

In der ersten Ausbaustufe soll das System Wo-Fragen über seine aktuelle (visuelle) Umgebung in unterschiedlichen Szenarien beantworten können. Die Anwendungsmöglichkeiten dafür sind breit gefächert, und reichen von Navigationsassistenten bis hin zu (autonomen) mobilen Robotern. Zur Generierung einer adäquaten Raumbeschreibung finden verschiedene Daten Eingang in das System. Neben der aktuellen Wo?-Frage sind dies zum einen die Ressourcenbeschränkungen, unter denen die Antwort gefunden werden soll, und zum anderen eine geometrische Beschreibung der Szene, die Gegenstand des Diskurses ist.

Um den Anforderungen der Ressourcenbeschränkung besser gerecht zu werden, liegt dem Gesamtsystem eine *Anytime*-Architektur zugrunde. Dies bedeutet, daß mit der zunehmenden Aufwendung von Ressourcen (z.B. Zeit) auch eine Steigerung der Qualität der generierten Raumbeschreibung einhergeht. Zusätzlich kann das System nach Abschluß einer Initialisierungsphase zu jedem Zeitpunkt unterbrochen werden, wobei dann stets der beste bis dahin gefundene Lokalisationsausdruck ausgegeben wird. Innerhalb dieser Architektur lassen sich zwei unterschiedliche interagierende Ebenen unterscheiden: die *konzeptuelle* Ebene, die sich auf einem sprachunabhän-

gigen Niveau mit der Etablierung abstrakter Raumrelationen befaßt, und die *linguistische* Ebene, deren Aufgabe die Verbalisierung der auf der konzeptuellen Ebene gefundenen Beschreibungen (in einer bestimmten Zielsprache) ist. Das Zusammenspiel beider Komponenten ermöglicht eine effiziente Behandlung von Lokalisationsverbalisierungen.

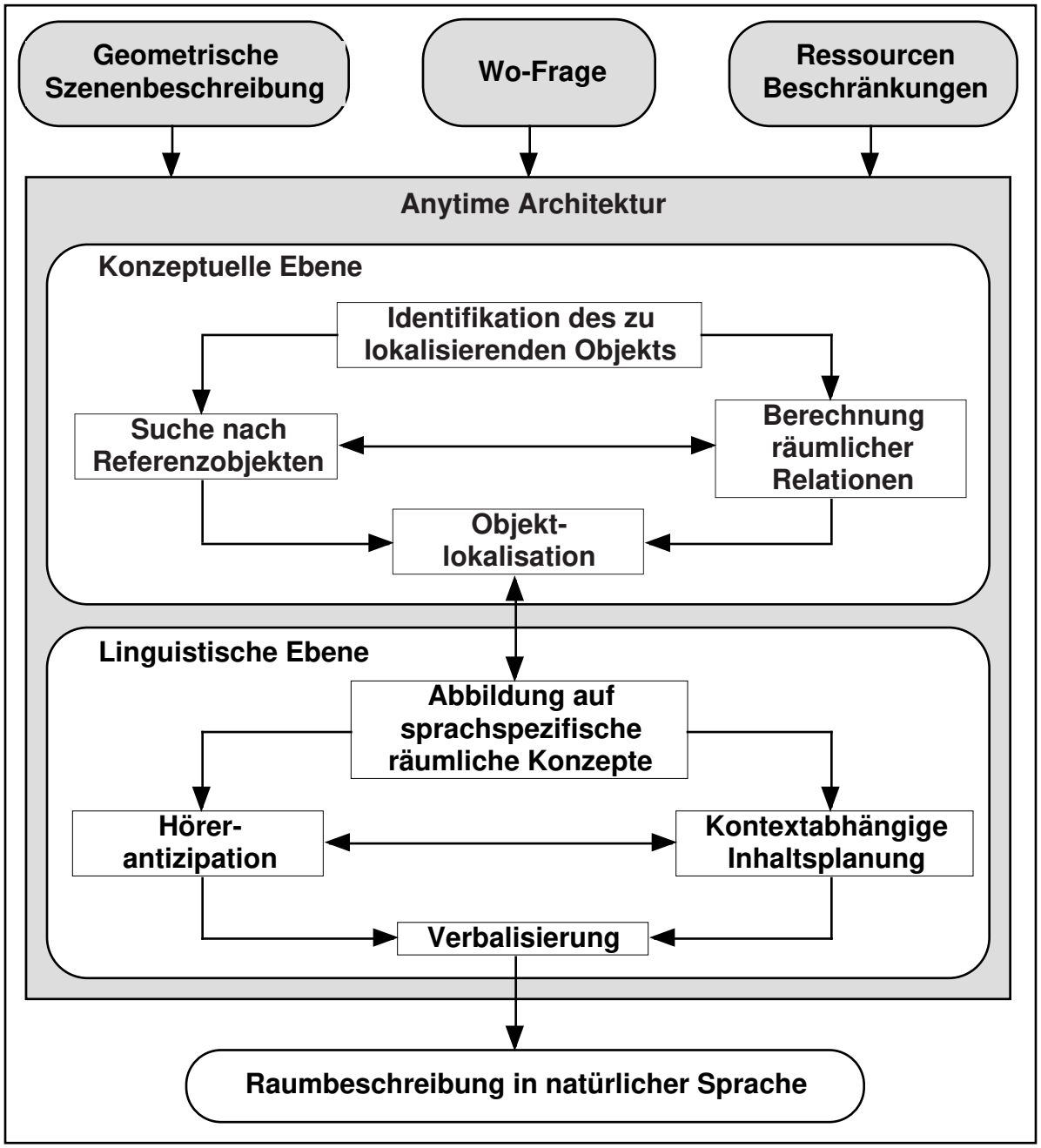

Abbildung 1.1: Architektur von REAL

Auf der konzeptuellen Ebene interagieren vier unterschiedliche Komponenten, um eine möglichst gute Objektlokalisation zu generieren. Voraussetzung für alle weiteren Berechnungen ist zunächst die *Identifikation des zu lokalisierenden Objekts (LO).* Dazu muß die geometrische Entität, die das LO repräsentiert, auf ein Objekt der konzeptuellen Ebene abgebildet werden. Nachdem dies geschehen ist, muß zum einen ein geeignetes *Referenzobjekt* (oder mehrere) gefunden

werden und zum anderen die *räumliche Relation* (bzw. die räumlichen Relationen) gefunden werden, in der das LO und das entsprechende Referenzobjekt stehen. Unter Berücksichtigung von kontextuellen Faktoren kann dann eine *Objektlokalisation* (in Form einer propositionalen Darstellung) erfolgen. Dies alles sind Prozesse, die nicht notwendigerweise sequentiell ablaufen müssen, sondern sich im Gegenteil gut für die parallele Ausführung eignen (vgl. Abschnitt 5.4).

Auf der linguistischen Ebene findet zunächst eine Abbildung der abstrakten Objektlokalisation auf *sprachspezifische räumliche Konzepte* statt, bevor mit der Planung der natürlichsprachlichen Äußerung begonnen werden kann. Neben einer *kontextabhängigen Inhaltsplanung* dient hierzu noch die *Hörerantizipation*, die vor der Ausgabe einer bestimmten Raumbeschreibung deren vermutliche Interpretation durch den Hörer anhand eines Hörermodells analysiert. Schließlich erfolgt die *Verbalisierung* der gefundenen Raumbeschreibung(en) nach den grammatikalischen Regeln der Zielsprache. Die Prozesse innerhalb der linguistischen Ebene sind ebenso parallelisierbar wie die auf der konzeptuellen.

Die im vorangegangenen beschriebene Architektur ist eine rein schematische Darstellung, die die Arbeitsgrundlage für die erste Forschungsperiode darstellt. Zu ihrer weiteren Verfeinerung und vor allem in die konkrete Realisierung fließen die experimentellen Befunde ein, die von den am SFB beteiligten Psychologen gewonnen werden. Die Beiträge der vorliegenden Arbeit liegen sowohl auf der konzeptuellen als auch auf der linguistischen Ebene. Speziell werden dabei die Berechnung von Raumrelationen verfeinert (konzeptuelle Ebene) und die linguistische Ebene um die Fähigkeit erweitert, Lokationsausdrücke mit linguistischen Hecken zu versehen.

1.2 Aufbau der Arbeit

Ein Gegenstand dieser Arbeit ist die Vorstellung eines Modellierungsansatzes für die Präzision einer Aussage sowie dessen Implementation. Dieser neue Ansatz gestattet es, über die einfache *Anwendbarkeit* einer Aussage hinausgehend deren *Präzision* zu bewerten, und darüber zu einer qualitativ höherwertigen sprachlichen Äußerung zu gelangen. Umgekehrt können Aussagen hinsichtlich ihrer Präzision analysiert, und damit eine genauere Repräsentation der intendierten Vorstellung erzeugt werden, als dies vorher der Fall war.

Zunächst werden jedoch in Kapitel 2 die für das Verständnis des Ansatzes wichtigen Grundlagen vorgestellt. Dies sind insbesondere die Grundkonzepte von Raumreferenzen und ein Modell für die Semantik von Raumrelationen. Desweiteren wird eine kurze Einführung in die Fuzzy-Mengentheorie gegeben, die bei den im Folgekapitel vorgestellten Berechnungsverfahren für Präzision von Bedeutung sein wird. Weitere Punkte sind die Beschreibung verschiedener sprachlicher Unbestimmtheitsphänomene sowie die Analyse der Bedeutung von Präzision in Sprechakten.

Darauf aufbauend werden in Kapitel 3 Faktoren untersucht, die in eine Formalisierung von Präzision eingehen könnten. Diese führen dann zu verschiedenen Präzisionsmaßen, deren jeweilige Vor- und Nachteile ebenfalls erörtert werden.

Kapitel 4 befaßt sich dann mit dem Ausdrucksmittel *linguistische Hecke,* das eng mit dem Konzept der Präzision verbunden ist und den zweiten Schwerpunkt dieser Arbeit darstellt. Zur Verdeutlichung der Komplexität dieses Themas werden zunächst verschiedene Möglichkeiten zur Klassifikation von linguistischen Hecken sowie bisherige Modellierungsansätze vorgestellt.

Im Anschluß daran werden die bis dahin gewonnenen Erkenntnisse in Kapitel 5 zu einem ressourcenadaptiven Verfahren zur Berechnung präziser Lokalisationsausdrücke zusammengefaßt. Dazu wird zunächst ein eigener Modellierungsansatz, dessen Vorteile gegenüber anderen sowie seine Integration in das Modell für Raumreferenzen dargestellt. Daran schließt sich die Beschreibung der Realisierung des Ansatzes in REAL (Teilprojekt des SFB 378) sowie der eigentlichen Implementation. Anhand einige Beispiele werden dann die beschriebenen Leistungen erläutert.

Zum Abschluß dieser Arbeit werden in Kapitel 6 die erreichten Ziele zusammengefaßt und bewertet, sowie mögliche Weiterentwicklungen und Forschungsrichtungen aufgezeigt.

Kapitel 2

Grundlagen

Neben der grundlegenden Frage, was genau *Raumreferenzen* sind, wird in diesem Kapitel weiterhin das von Klaus-Peter Gapp in [Gapp 97] vorgestellte Modell zur Behandlung von Raumreferenzen erläutert. Das darin enthaltene Konzept der *Anwendbarkeit* bzw. dessen Formalisierung stellt den Ausgangspunkt für den in Kapitel 3 vorgestellten Ansatz zur Modellierung von *Präzision* dar. Da bei dem in Kapitel 5 vorgeschlagenen Entwurf zur Repräsentation von linguistischen Hecken auch auf Konzepte aus der *Fuzzy Mengen-Theorie* [Zadeh 65] zurückgegriffen wird, werden hier kurz die für diese Arbeit relevanten Aspekte zusammengefaßt. Den Abschluß dieses Kapitels bilden ein Abschnitt zur Begriffsklärung sprachlicher Unbestimmtheit sowie zur Bedeutung von Präzision zur Kontrolle solcher Phänomene.

2.1 Raumreferenz

Grundsätzlich kann zwischen *Lokalisierungsausdrücken* auf der sprachlichen Ebene und *räumlichen Relationen* auf einer sprachunabhängigen, abstrakten Ebene unterschieden werden. Ein Lokalisierungsausdruck ist eine Phrase, die die Lage einer zu lokalisierenden Entität im Bezug auf ein Relatum, das *Referenzobjekt* (RO), beschreibt. Unter räumlichen Entitäten - im folgenden als *zu lokalisierendes Objekt* (LO) bezeichnet - werden hierbei geometrische Objekte, Raumeinheiten, Löcher, Objektgruppen und Umgebungen [Gapp 97] zusammengefaßt. Beispiele für Lokalisierungsausdrücke sind in den Sätzen (1) bis (2b) aufgeführt.

(1) Der Spiegel hängt über dem Bett.

(2a) Das Taxi befindet sich vor dem Restaurant.

(2b) Das Taxi parkt vor dem Restaurant.

Abstrahiert man von der in Lokalisierungsausdrücken enthaltenen Information, die über die rein raumbezogene hinausgeht, so gelangt man zu einer sprachunabhängigen Repräsentation, die lediglich die *räumliche Relation* beschreibt, in der das LO und RO zueinander stehen. Zu deren Wiedergabe eignet sich eine propositionale Darstellung der Form

< Relation, LO, RO, Referenzsystem >.

Das *Referenzsystem* stellt dabei das Bezugssystem her, innerhalb dessen die entsprechende Relation ausgewertet wird. Man unterscheidet dabei zwischen *egozentrischen* (oder *deiktischen*) Referenzsystemen, die durch den Aufenthaltsort bzw. die Eigenschaften des Sprechers etabliert werden, und *allozentrischen* Referenzsystemen. Diese sind nicht im *Egozentrum* des Sprechers verankert und lassen sich wiederum in zwei Klassen untergliedern: Bei *intrinsischen* Referenzsystemen wird der Ursprung durch eine Lokation, eine (nicht mit dem Sprecher identische) Person oder ein Objekt festgelegt und die Ausrichtung durch intrinsische Eigenschaften dieser Ausgangsentität bestimmt. Wird die Orientierung des Referenzsystems hingegen durch Umgebungseigenschaften bzw. durch ein Objekt etabliert, das sich von der den Ursprung definierenden Entität unterscheidet, spricht man von *extrinsischer* Betrachtungsweise. (Eine eingehende Diskussion der Problematik der Etablierung von Referenzsystemen findet sich in [Maaß 1996].) Bezieht man die oben genannten Aspekte mit ein, wird Satz (1) auf Proposition (1') abgebildet, die Sätze (2a) und (2b) auf Proposition (2'), da die in ihnen enthaltene Rauminformation identisch ist.

(1') < `über`, Spiegel, Bett, *intrinsisch* >

(2') < `vor`, Taxi, Restaurant, *intrinsisch* >

Die Unterscheidung dreier verschiedener Arten zur Etablierung eines Referenzsystems ist besonders für die Klasse der *winkelabhängigen* Relationen (auch *projektive* Relationen genannt) von Bedeutung. Sie zeichnen sich dadurch aus, daß sie Richtungsinformation beinhalten. Diese Information kann jedoch nur korrekt dekodiert werden, wenn die grundlegende Ausrichtung des beschriebenen Raums bekannt ist. Beispiele für projektive Relationen sind `links`, `vor` oder `unter`. Die zweite Klasse von Relationen ist die der *Distanzrelationen* oder auch *topologischen* Relationen. Zu ihr gehören beispielsweise `in`, `an` oder `fern`. Zur Dekodierung dieser Relationen ist es nicht notwendig, daß ein Referenzsystem bekannt ist, da die zugrundeliegenden Konzepte (wie Inklusion oder Distanz) nicht richtungsabhängig sind. Die Klasse der *wegbezogenen* Relationen (auch *Pfadpräpositionen* genannt) ist noch wenig erforscht, enthält aber wahrscheinlich sowohl Relationen (wie `durch` im Sinne von `hindurch`), die ohne Referenzsystem evaluierbar sind, als auch solche, die ein Bezugssystem benötigen (wie `über` im Sinne von `darüber hinweg`).

2.2 Anwendbarkeit räumlicher Relationen

Lokalisationsausdrücke beschreiben räumliche Konstellationen mehr oder weniger zutreffend. Im folgenden wird ein Ansatz zur Modellierung der *Anwendbarkeit* räumlicher Relationen vorgestellt, der es erlaubt, Lokalisationsausdrücke bezüglich ihrer Qualität zu bewerten.

2.2.1 Modell der Semantik

Das in [Gapp 93] erstmals vorgestellte und dann in [Gapp 97] verfeinerte dreistufige Modell zur Behandlung von räumlichen Relationen stellt den Ausgangspunkt für den in Kapitel 3 vorgestellten Ansatz zur Repräsentation von Präzision dar. Es beruht auf einer klaren Trennung zwischen kontextspezifischem konzeptuellem Wissen auf der einen Seite, und der reinen Grundbedeutung räumlicher Relationen auf der anderen.

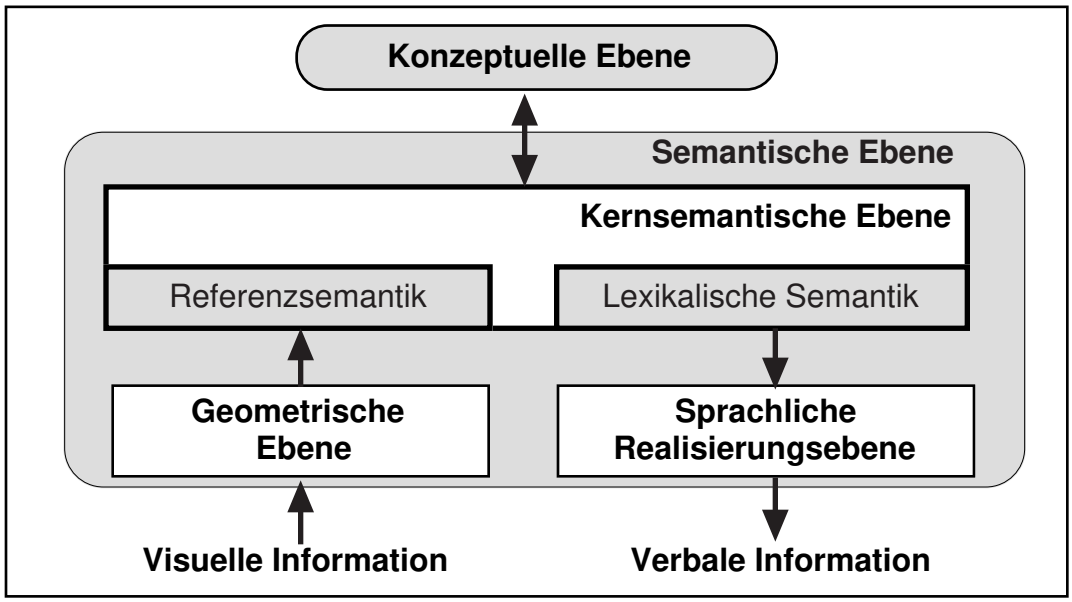

Abbildung 2.2: Semantisches Modell nach Gapp

Auf der untersten Modellstufe .(vgl. Abbildung 2.2) stehen die *geometrische Ebene*, in die die visuelle Information Eingang findet, und die *sprachliche Realisierungsebene*, von der verbale Information ausgegeben wird. Auf der zweiten Stufe der Formalisierung wird die *Kernsemantik* von Raumrelationen definiert. Sie untergliedert sich in eine *Referenzsemantik*, die auf der geometrischen Ebene basiert, und eine *lexikalische Semantik*, welche sich direkt auf die sprachliche Realisierungsebene bezieht. Die unterste Modellstufe und die Kernsemantik werden zur *semantischen Ebene* zusammengefaßt.

Zur Modellierung von Kontextabhängigkeiten werden auf der dritten Stufe des Modells, der *konzeptuellen Ebene*, Faktoren wie relevante Objekteigenschaften, unterschiedliche Gebrauchsarten räumlicher Relationen, Toleranzen und dergleichen realisiert.

2.2.2 Gradierung der Anwendbarkeit

Um die Qualität räumlicher Relationen untereinander vergleichen zu können - und damit die Auswahl der "besten" Beschreibung einer Objektkonstellation zu ermöglichen - bedarf es eines Qualitätsmaßes, das verschiedenen Anforderungen genügt:

- **Gradierbarkeit**
  Da die meisten räumlichen Relationen nicht nur entweder anwendbar oder nicht anwendbar sind, sondern im Gegenteil ihre Anwendbarkeit graduell zu- bzw. abnimmt, sollte ein Qualitätsmaß die Kontinuität des Anwendbarkeitsraums widerspiegeln.

- **einfache Vergleichbarkeit**
  Sowohl innerhalb einer Relation als auch zwischen Gradierungen verschiedener Relationen sollte eine einfache Vergleichsmöglichkeit bestehen.

- **verrechenbare Teilaussagen**
  Bereits berechnete Ergebnisse (etwa für Teile zusammengesetzer Relationen wie `links-vor`) sollten ohne zusätzlichen Aufwand weiterverwendet werden können.

Gapp greift zur Erfüllung dieser Kriterien auf kubische Splinefunktionen zurück, deren Bildmenge das Intervall [0;1] der reellen Zahlen ist. Dabei steht der Wert Null für *nicht anwendbar* und der Wert Eins für *optimal anwendbar*. Zur Abbildung der Ausprägungen des so definierten *Anwendbarkeitsgrades* auf konkrete sprachliche Beschreibungen regt er die Verwendung von linguistischen Hecken gemäß [Hanßmann 80] an. Dieser Ansatz wird in Abschnitt 4.2.2 diskutiert.

2.2.3 Berechnung des Anwendbarkeitsgrades

Nachdem unter starker Einflußnahme der konzeptuellen Komponente ein Referenzobjekt ausgewählt wurde und eventuell benötigte Abstraktionen der beteiligten Objekte berechnet wurden, setzt das eigentliche Verfahren zur Berechnung des Anwendbarkeitsgrades ein. Zunächst wird die Inklusion des zu lokalisierenden Objekts im RO getestet. Danach findet ggfs. die Berechnung des Abstandes zwischen LO und RO statt, deren Ergebnis zugleich angibt, ob die beiden Objekte in Kontakt sind. Spätestens an dieser Stelle des Verfahrens sind alle zur Bewertung topologischer Relationen nötigen Faktoren bekannt; der Anwendbarkeitsgrad der betrachteten Relation entspricht dann dem Funktionswert der zugehörigen Splinefunktion.

Für die Berechnung projektiver Relationen sind hingegen weitere Schritte nötig. Zunächst muß von der konzeptuellen Komponente die Betrachtungsperspektive (vgl. Abschnitt 2.1) gewählt werden. Dazu wird anschließend ein Referenzsystem etabliert, in dem die Abweichung des LO von der kanonischen Vorzugsrichtung der entsprechenden räumlichen Relation berechnet wird. Diese geht in die zugehörige Splinefunktion ein, deren Ergebnis dann der Anwendbarkeitsgrad ist.

2.3 Fuzzy-Mengentheorie

Die von Lofti Asker Zadeh in [Zadeh 65] erstmals vorgestellte und dann später zur Fuzzy-Logik [Zadeh 75] erweiterte Theorie der *Fuzzy Sets* (*Fuzzy-Mengen* oder auch *unscharfe Mengen* genannt) hat nach anfänglicher allgemeiner Ablehnung mittlerweile weite Verbreitung in unterschiedlichen Anwendungsgebieten wie in der Steuerungselektronik, in Expertensystemen oder in der Künstlichen Intelligenz gefunden [Zadeh 93]. Dies ist vor allem auf die Tatsache zurückzuführen, daß sie sich hervorragend zur Modellierung von ungenauem (unscharfem, inperfektem oder vagem) Wissen eignet. Da das Wissen, mit dem Menschen umgehen, zum großen Teil dieser Art ist, kommt dessen Repräsentation im Rechner eine immer größere Bedeutung zu.

Im Gegensatz zur "klassischen" Mengentheorie, in der jedes Objekt entweder einer Menge angehört oder nicht, wird in der *Fuzzy-Mengentheorie* die Mengenzugehörigkeit eines Objekts als graduelles Konzept aufgefaßt. Ein bestimmtes Objekt (z.B. Herr Meier) gehört einer bestimmen Menge (z.B. der der großen Menschen) also zu einem gewissen *Grad* an. Daß dies Sinn macht, zeigt beispielsweise die Betrachtung der Klasse der großen Menschen. Eine allgemein akzeptierte Mindestgröße, ab der eine Person dieser Klasse angehört, gibt es nicht. Diese wäre aber für die Modellierung unter der binären Mengentheorie nötig, um eine Unterscheidung zwischen Zugehörigkeit und Nicht-Zugehörigkeit zu ermöglichen.[1]

In der Praxis wird eine Fuzzy-Menge X aus einer Grundmenge M durch eine *Zugehörigkeitsfunktion* μ (*charakteristische Funktion* oder auch *membership function*) definiert, die jedes Element aus M auf einen Wert des Einheitsintervalls abbildet

$$\mu : M \to [0;1].$$

Dabei entspricht der Wert 0 der Nichtzugehörigkeit, der Wert 1 der vollen Zugehörigkeit eines Elementes zur Fuzzy-Menge X. Bei dem Beispiel der Menge der großen Menschen würde man beispielsweise die Körpergröße als Menge M wählen und könnte dann eine Zugehörigkeitsfunktion der folgender Form wählen (vgl. auch Abbildung 2.3):

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \textit{für} \quad x < 1{,}65m \\ \dfrac{x - 1{,}65m}{0{,}55m} & \textit{für} \quad 1{,}65m \le x < 2{,}20m \\ 1 & \textit{für} \quad x \ge 2{,}20m \end{cases}$$

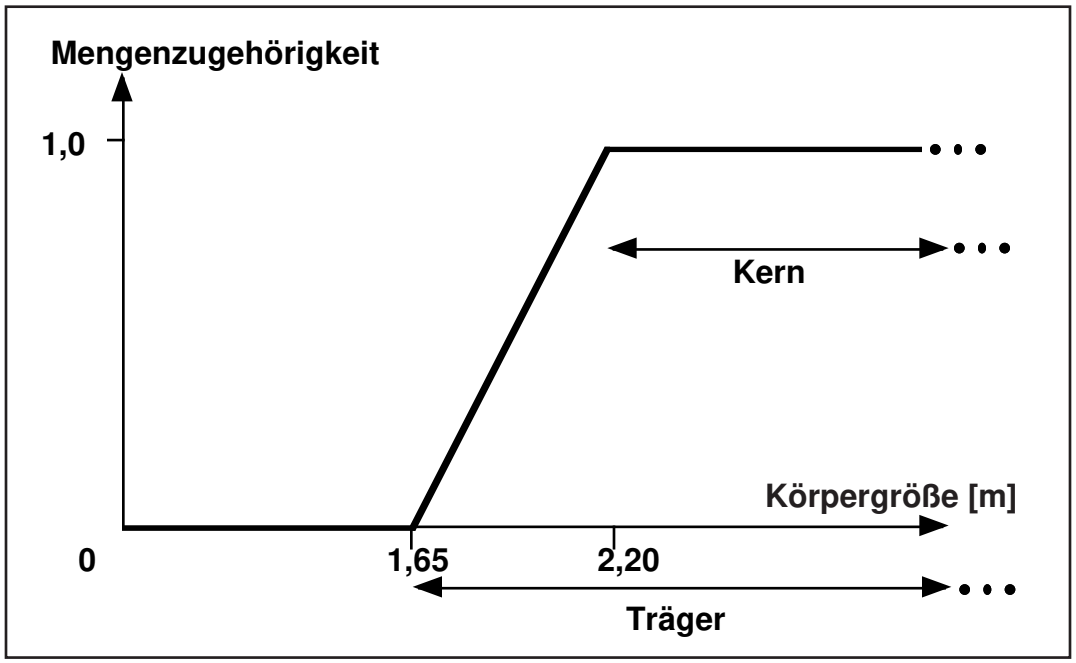

Abbildung 2.3: Graph der Zugehörigkeitsfunktion zur Menge der großen Menschen

[1] Eine andere Möglichkeit wäre das Setzen einer artifiziellen Grenze.

Darin mitkodiert wäre die Annahme, daß wohl niemand Menschen unter 1,65m als "großen Menschen" bezeichnen würde, und daß alle Personen über 2,20m von jedermann als "groß" angesehen würden. Die in diesem Beispiel verwendete Funktion ist eine sehr einfache, im allgemeinen werden jedoch zur Modellierung Funktionen benutzt, deren Kurven einen "runderen" Verlauf nehmen, z. B. Spline-Funktionen.

In Abbildung 2.3 sind daneben noch zwei in der Fuzzy-Mengentheorie wichtige Konzepte dargestellt: der *Kern* und der *Träger* einer unscharfen Menge M über einem Universum U. Der Kern (engl.: core, kernel) ist dabei als die Menge aller Elemente von U definiert, deren Zugehörigkeitsgrad zu M gleich Eins ist. Unter dem Träger (auch: Stützmenge, engl.: support) versteht man hingeggen die Menge aller Elemente von U, deren Zugehörigkeitsgrad zu M nicht Null ist. Der Kern einer Menge ist also immer eine Teilmenge des Trägers:

$$core(M) = \{x \in U \mid \mu_M(x) = 1\}$$

$$supp(M) = \{x \in U \mid \mu_M(x) > 0\}$$

$$\forall M \subseteq U: \quad core(M) \subseteq supp(M)$$

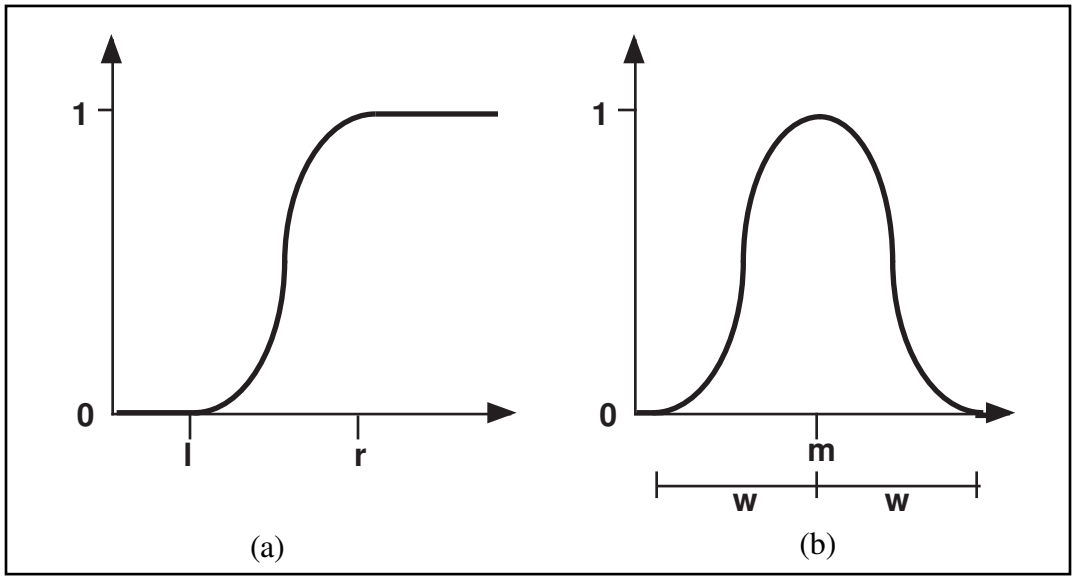

Abbildung 2.4: SFUNK und PFUNK

Zwei wichtige Funktionen, die häufig zur Modellierung von Fuzzy-Mengenzugehörigkeitsfunktionen verwendet werden (z.B. in [Hanßmann 80]), sind die S-förmige Kurve SFUNK und die glockenförmige Kurve PFUNK. Trotz ihrer Einfachheit ermöglichen sie durch Variierung der Parameter *l und r* bzw. *w und m* eine Vielzahl unterschiedlich geformter Kurven. In Abbildung 2.4(a) ist ein Graph zu sehen, der durch SFUNK generiert werden kann, in 2.4(b) einer, der durch PFUNK erzeugt werden kann. Desweiteren sind dort die jeweils relevanten Parameter abgetragen. Die zugehörigen Funktionsterme lauten:

$$SFUNK(x,l,r) = \begin{cases} 0 & \text{für} \quad x \le l \\ 2(\frac{x-l}{r-l})^2 & \text{für} \quad l \le x \le \frac{r-l}{2} \\ 1-2(\frac{x-l}{r-l})^2 & \text{für} \quad \frac{r-l}{2} \le x \le r \\ 1 & \text{für} \quad r \le x \end{cases}$$

$$PFUNK(x,w,m) = \begin{cases} SFUNK(x,w,m) & \text{für} \quad x \le m \\ 1-SFUNK(x,m,m+w) & \text{für} \quad x \ge m \end{cases}$$

Ein weiteres Konzept aus der Fuzzy-Mengentheorie, das hier von Bedeutung ist, ist das der *linguistischen Variable.* Analog zu der Grundidee mathematischer Variablen, Symbole als Platzhalter für unbekannte Größen zu benutzen, sind dies Variablen, die solche Werte annehmen können, die linguistischen Termen entsprechen. [Zadeh 76] führt linguistische Variablen als Variablen ein, deren Werte nicht Zahlen, sondern Wörter, Phrasen oder Sätze einer natürlichen oder künstlichen Sprache sind. Die Term-Menge der zulässigen linguistischen Werte kann dabei sowohl endlich als auch unendlich sein.

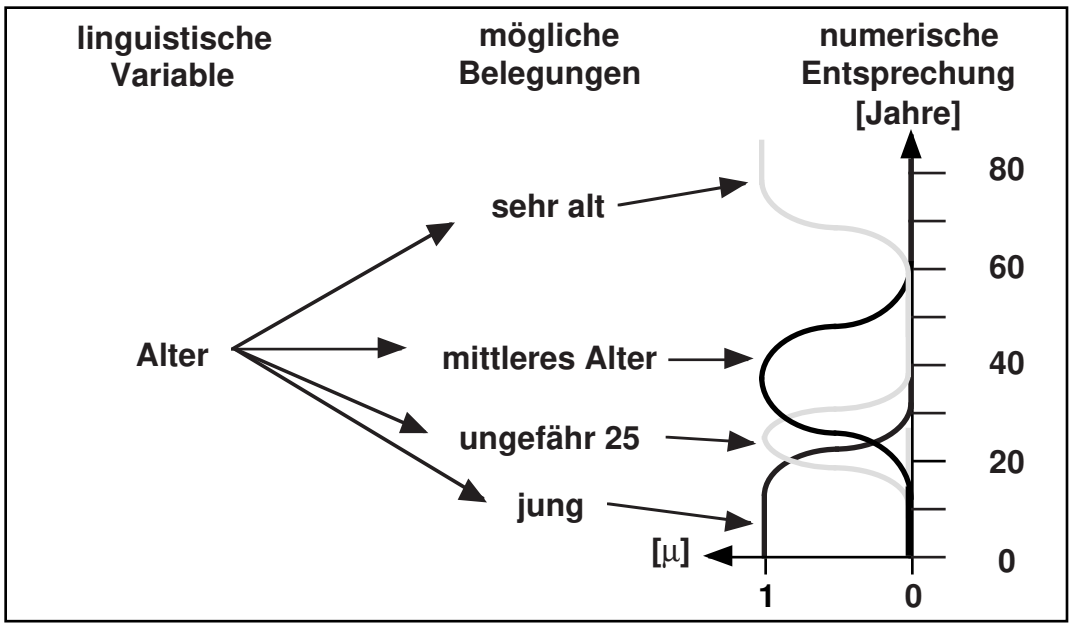

Abbildung 2.5: Linguistische Variable mit möglichen Belegungen

Unabhängig von der Größe dieser Menge kann die Verwendung linguistischer Werte als eine Form der Informationsverdichtung verstanden werden [Zadeh 94]. Ein Beispiel für diesen Umstand sowie für eine linguistische Variable bietet Abbildung 2.5.[2] Häufig werden auch *Heckenausdrücke* (vgl. Kapitel 4) zur Abstufung von linguistischen Werten verwendet.

[2]Auch Raumreferenzen können als linguistische Variablen aufgefaßt werden. So wäre es möglich, eine Variable *Distanz* zu definieren und diese dann mit Werten wie "nah", "fern", "bei" oder "sehr nah" zu belegen.

2.4 Sprachliche Unbestimmtheit

Die Einführung eines Konzeptes wie das der linguistischen Variable in Abschnitt 2.3 läßt schon vermuten, daß die Annahme einer Eins-zu-Eins-Entsprechung zwischen sprachlichen Ausdrücken und Bedeutungen nicht der Realität entspricht. Neben schon unscharfen bzw. unterschiedlich definierten Konzepten wie "Schönheit" gibt es noch andere Faktoren, die aufzeigen, daß eine solche einfache Entsprechung in der natürlichen Sprache eher selten ist. Scheinbar eindeutige Wörter wie etwa Personalpronomina ("ich", "du") sind in ihrer Belegung abhängig vom Kontext der Äußerung, andere darüberhinaus noch unscharf ("dick" beispielsweise ist nicht nur kontextabhängig sondern schon in sich vage). Wieder andere Begriffe weisen große Übergangsbereiche von "zutreffend" nach "nicht zutreffend" auf, beispielsweise Farbadjektive. Darüber hinaus gibt es sogar Wörter, die mehrere Konzepte bezeichnen (z.B. "Bank"). Die Vielzahl dieser Unbestimmtheitsphänomene verdeutlichen die Wichtigkeit ihrer Analyse (vgl. [Ullmann 57]).

Während dieser Umstand in der klassischen analytischen Philosophie als ein Makel der natürlichen Sprache galt, dessen "Beseitigung" eine Aufgabe der Sprachtheorie war [Carnap 34], scheint die Unbestimmtheit in der natürlichen Sprache doch eine wichtige Rolle zu spielen (vgl. [Wittgenstein 53]). Nichtsdestotrotz ist die Analyse dieser Phänomene nicht abgeschlossen: eine geschlossene Theorie steht noch aus. Die im Folgenden aufgeführte Klassifikation beruht auf den Ausführungen von [Pinkal 85].

Ein Unbestimmtheitsphänomen, das häufig vom Sprecher und meist auch vom Hörer unbemerkt bleibt, ist die *Kontextabhängigkeit* der meisten Äußerungen. Dabei kann man zwischen *semantischer* und *pragmatischer Kontextabhängigkeit* unterscheiden. Erstere liegt dann vor, wenn die Belegung von Wörtern (z.B. einem Pronomen) bzw. von Faktoren wie dem Zeitpunkt einer Äußerung abhängt von den Umständen der Situation. Ist hingegen die Intention eines Sprechaktes abhängig von den Gegebenheiten der aktuellen Konstellation (z.B. ob er als Drohung oder Mitteilung gemeint ist), spricht man von pragmatischer Kontextabhängigkeit.

Im Gegensatz zu den beiden Arten von Kontextabhängigkeit gibt es andere Facetten der Unbestimmtheit, die von Produzent und Rezipient durchaus wahrgenommen werden und durch Wörter wie "vage", "unsicher", "allgemein", etc. auch gut verbalisiert werden können. Zu nennen wären hier etwa Vagheit und Mehrdeutigkeit. Vor deren Definition muß jedoch zunächst die allgemeine Unbestimmtheit weiter untergliedert werden: Ist eine Wahrheitszuweisung aufgrund der Unbekanntheit zukünftiger Ereignisse oder anderer relevanter Bewertungsumstände nicht möglich, liegt ein Fall von *epistemischer Unbestimmtheit* (Unsicherheit, Ungewißheit) vor (vgl. Satz (1)). Erhält man beispielsweise auf die Frage "Wie alt ist dein Vater?" die Antwort (2), ist diese zwar zutreffend, besitzt aber eine mangelnde Informativität. Äußerungen dieser Art werden unter dem Begriff der *pragmatischen Unbestimmtheit* zusammengefaßt.

(1) Ich bin in einer halben Stunde fertig.

(2) Mein Vater ist mehr als fünf Jahre alt.

(3) Sie ist eine schöne Frau.

Wenn trotz hinreichender Kenntnis aller relevanten Weltumstände einer Aussage ihr in bestimmten Kontexten kein eindeutiger Wahrheitswert zugeordnet werden kann, spricht man von *semantischer Unbestimmtheit* (vgl. Satz (3)). Unter dem Blickpunkt der Präzisierbarkeit eines Ausdrucks, könnte man dies auch formulieren als: *Ein Ausdruck ist semantisch unbestimmt genau dann, wenn er alternative kontextuelle Präzisierungen zuläßt [Pinkal 85].* Dieser Präzisierungsspielraum ist ein wichtiges kommunikatives Phänomen [Naess 75], auch weil ein Großteil des allgemeinen Wortschatzes mehrdeutig ist [Erdmann 10].

Wegen dieses Umstandes ist es auch wenig sinnvoll, eine Abgrenzung unbestimmter gegen präzise Wörter anzustreben. Andererseits bietet es sich an, eine Untergliederung nach dem Grad der Unbestimmtheit vorzunehmen. Hier kann man grob drei Klassen unterscheiden: Bei Ausdrücken des *relativen Unbestimmtheitstyp* kann jeder Anwendungsfall durch verschiedene Präzisierungen relativiert werden. Dies ist beispielsweise bei den Gradadjektiven (z.B. "groß", "schwer") der Fall. Der *randbereichsunscharfe Typ* umfaßt alle Ausdrücke, die ausgedehnte definitive Anwendbarkeitsbereiche besitzen, die durch eine mehr oder weniger ausgeprägte Übergangszone getrennt sind. Beispiele hierfür sind etwa Farbadjektive. Der *punktuelle Unbestimmtheitstyp* hingegen besitzt hingegen einen eng begrenzten, punktförmigen Bereich, in dem er anwendbar ist. Diesen umschließt eine ähnlich kleine "Toleranzzone", die in die völlig Nicht-Anwendbarkeit übergeht. Hierunter fallen Ausdrücke, die im Alltagsgebrauch als präzise gelten, wie beispielsweise "tot" oder "zwei Kilo schwer". (Punktuelle Prädikate sind von großer Bedeutung für sprachphilosophische Überlegungen, wie etwa ob Vagheit eine inhärente Charakteristik von empirischen Beschreibungssprachen ist [Russell 23].)

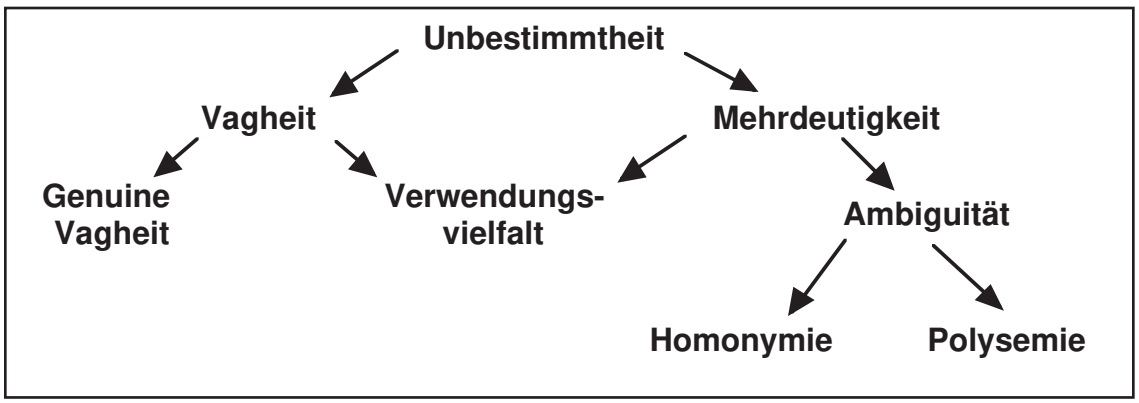

Abbildung 2.6: Klassifikation der semantischen Unbestimmtheit (nach [Pinkal 85])

Nachdem nun die semantische Unbestimmtheit hinreichend von den beiden anderen Arten abgegrenzt ist, kann nun eine Binnengliederung ersterer vorgenommen werden (vgl. Abbildung 2.6). Danach läßt sich semantische Unbestimmtheit zunächst in *Vagheit* und *Mehrdeutigkeit* untergliedern. Vagheit kann von Mehrdeutigkeit anhand der Anzahl der möglichen Lesarten unterschieden werden. Ist diese unendlich, ist der entsprechende Ausdruck vage. Mehrdeutigkeit hingegen liegt vor, wenn nur endlich viele Interpretationen möglich sind. Daß die Trennung dieser beiden Phänomene keine triviale Aufgabe ist, zeigt schon die Überlappung ihrer jeweiligen Subklassifikationen.

(4) *John hit the wall, and so did Bill.* [Lakoff 70]
(John schlug gegen die Wand, und Bill auch.)

Mit Hilfe des Ambiguitätstests [Lakoff 70] läßt sich feststellen, ob ein Ausdruck mehrdeutig oder nur vage ist: Kann man damit unerfüllbare Sätze nach Muster des Satzes (4) konstruieren, liegt Mehrdeutigkeit vor. (Im Beispiel ist es nicht klar, ob beide Personen das Gleiche taten: auf der Wand auftreffen oder sie mit der Hand heftig berühren.) [Fine 75] benutzt eine Metapher zur Erläuterung des Unterschiedes: Mehrdeutigkeit sei wie das Übereinanderlegen mehrerer Bilder, Vagheit hingegen wie ein unvollendetes Bild mit einigen Hinweisen zu seiner Fertigstellung.

Trotz dieser eher unscharfen Trennung kann man beide Phänomene weiter untergliedern: Vagheit läßt sich aufteilen in *genuine Vagheit* und *Verwendungsvielfalt.* Ein Ausdruck ist genuin vage, wenn seiner Präzisierbarkeit in der natürlichen Sprache Grenzen gesetzt sind [Black 37]. Ein Beispiel wäre etwa das Adjektiv "blau". Zwar ist technisch eine genaue Abgrenzung möglich (z. B. durch eine Analyse der Wellenlänge), dies würde aber zu Fällen führen, die mit dem bloßen Auge ununterscheidbar wären, von denen aber jeweils einer nach der Grenzziehung auf apparativer Basis als "blau" bzw. "nicht blau" bezeichnet würde. Dies wäre unvereinbar mit dem natürlichen Verständnis des Farbkonzeptes. Gewisse Toleranzen bleiben also stets erhalten [Wright 75].

Ausdrücke, die unter dem Begriff *Verwendungsvielfalt* subsumiert werden, fallen gewissermaßen zwischen Vagheit und Mehrdeutigkeit. Zwar lassen sich Elemente dieser Menge von den genuin vagen und den ambigen Ausdrücken (durch Nichterfüllung der jeweilige Kriterien) abgrenzen, sie weisen aber sowohl vage als auch mehrdeutigkeitsbezogene Charakteristika auf. [Pinkal 85] stellt fest, daß die Zuordnung zu einem der beiden Unbestimmtheitsphänomene oft Ansichtssache ist und auch von der eingenommenen Betrachtungsrichtung abhängt.

Die zweite Subklasse von Mehrdeutigkeit, die *Ambiguität,* besitzt wiederum eine schärfere Definition: Ein Ausdruck ist ambig, wenn sich zwei alternative Lesarten gegenseitig ausschließen (wie beispielsweise bei "Zug" die Lesarten "Spielzug" und "Eisenbahn"). Diese Untergruppe zerfällt ihrerseits wieder in zwei weitere Phänomene: *Polysemie* (unterschiedliche Konzepte werden durch einen Ausdruck verbalisiert wie beispielsweise bei "Bank" oder "Schloß") und *Homonymie* (unterschiedliche Konzepte werden mit einem gleichlautenden Ausdruck verbalisiert, der aber unterschiedlichen Wortklassen angehört, z.B. "sieben" als Zahl und Verb).

Angesichts der damit vorgestellten Hierarchie der Unbestimmtheit mag es verwunderlich erscheinen, daß man trotzdem in der Lage ist Information sprachlich so zu übermitteln, daß sie nicht vollständig verfälscht bei dem Rezipienten ankommt. Dies liegt einerseits an der ausgeprägten Fähigkeit der Menschen mit Vagheit umzugehen, sowie an dem großen Weltwissen, über das jeder Einzelne verfügt. Andererseits bestehen aber auch Möglichkeiten, den Umbestimmtheitsraum eines Ausdrucks gezielt (durch Präzisierungen) einzuengen.

2.5 Präzision in Sprechakten

Das in [Grice 75] formulierte *Kooperationsprinzip* beschreibt das von Gesprächsteilnehmern im allgemeinen erwartete Dialogverhalten. Ausgehend von der Beobachtung, daß Sprechakte in den allermeisten Fällen nicht aus zusammenhangslosen Lautäußerungen bestehen, folgert Grice, daß man von einer (stillschweigenden) Übereinkunft zwischen den Gesprächsteilnehmern ausgehen kann. Diese beruht darauf, daß es im Interesse aller teilnehmenden Parteien ist, zu einem gewissen Maße zu kooperieren und bis zu einem gewissen Grad einen gemeinsamen Gesprächszweck bzw. eine Gesprächsrichtung zu verfolgen. Um dieses Prinzip - "Mache Deinen Gesprächsbeitrag so, daß er Zweck oder Richtung des Gesprächs dient" - genauer auszuformulieren, unterscheidet Grice vier Kategorien: Quantität, Qualität, Relation und Modalität. Innerhalb dieser stellt er jeweils einige Maximen auf, die erfüllt werden sollten, um dem Kooperationsprinzip gerecht zu werden.

Einige der von ihm formulierten Maximen stützen die Vermutung, daß die Präzision einer Aussage wesentlich zur Erfüllung des Kooperationsprinzips beiträgt. Besonders die Maxime "Vermeide Mehrdeutigkeiten" unter der Kategorie Modalität ist hier zu nennen, deren Formulierung der Definition von Präzision schon sehr nahe kommt. Aber auch andere Maxime wie "Sei relevant" (Kategorie Relation) oder "Sei klar" (Hauptmaxime Kategorie Modalität) sind unter der Annahme einer *unpräzisen* Aussage schwer zu erfüllen.

Auf den raumbezogenen Dialog übertragen bedeutet dies, daß die reine *Anwendbarkeit* einer räumlichen Relation oft nicht ausreicht, um dem Kooperationsprinzip in allen Fällen zu genügen. Sind etwa zwei Relationen an derselben Stelle optimal anwendbar, sind diese bei ausschließlicher Betrachtung der Anwendbarkeit gleich gut geeignet, um die entsprechende Konstellation zu beschreiben. Bewertet man sie jedoch nach den von dem Kooperationsprinzip vorgegebenen Leitsätzen, so ist es möglich, daß eine der beiden Relationen bevorzugt würde, da sie den Maximen in höherem Maße genügt.

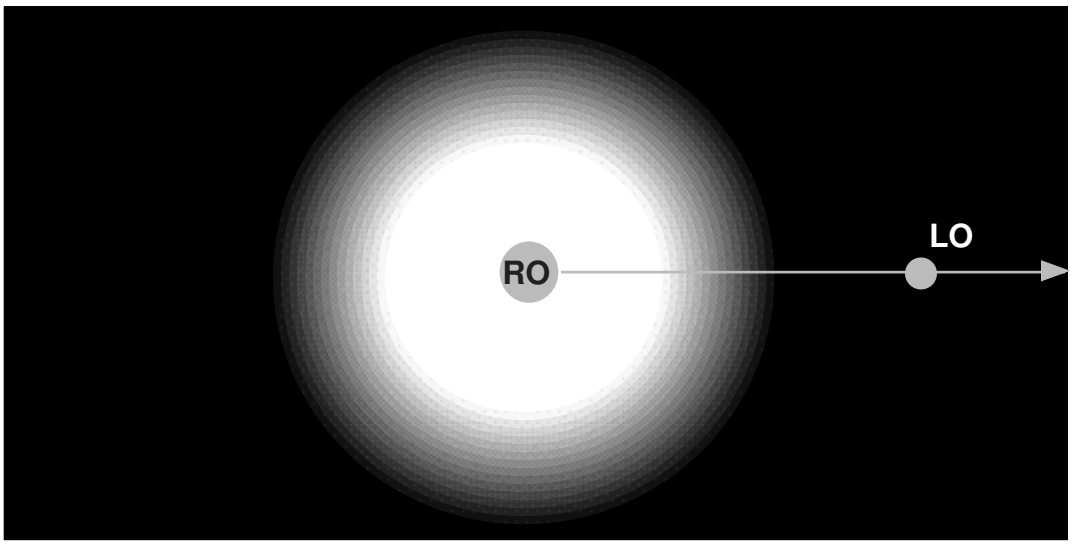

Abbildung 2.7: Mehrdeutigkeitsbereiche von Raumrelationen

Für die in Abbildung 2.7 dargestellte Konfiguration beispielsweise wäre es denkbar, daß sowohl die Relation `fern` als auch die Relation `rechts` anwendbar wäre, um die räumliche Beziehung zwischen dem RO und dem LO zu beschreiben. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist das Anwendbarkeitsfeld für die Relation `rechts` nicht dargestellt; es erstreckt sich fächerförmig um den eingezeichneten Richtungspfeil, wobei die Anwendbarkeit um so größer ist, je geringer die Winkelabweichung ist. Das Anwendbarkeitsfeld zu `fern` verläuft kreisförmig um das Referenzobjekt. Dunklere Grauwerte stehen hierbei für höhere Anwendbarkeit. Im abgebildeten Fall liegt das zu lokalisierenden Objekt also sowohl im Bereich optimaler Anwendbarkeit für die Relation `fern` (schwarzer Bereich) als auch für `rechts` (keine Winkelabweichung von Richtungspfeil). Nichtsdestotrotz ließe sich argumentieren, daß die Verwendung von `rechts` in stärkerem Maße dem Kooperationsprinzip genügt, da `fern` als Beschreibung wesentlich mehr Deutungsmöglichkeiten zuläßt. Damit wäre die Maxime "Vermeide Mehrdeutigkeiten" wenn nicht verletzt, so doch weniger gut erfüllt als im Falle von `rechts`. Letzteres beinhaltet zwar auch Verwechslungsmöglichkeiten (entlang des Richtungspfeils), der entsprechenden Raumbereich ist jedoch (wegen seiner gerichteten Natur) einfacher zu durchsuchen als der von `fern`.[3]

[3]In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob nicht im allgemeinen die Verwendung von richtungsorientierten Relationen eine genauere Lokalisierung als die von topologischen Relationen ermöglicht. Inwiefern diese Vermutung zutrifft und welche Konsequenzen dies für den Dialog über Raum hätte, bedarf noch der näheren Untersuchung in psychologischen Experimenten.

Kapitel 3

Formalisierung vager Konzepte: Globale und lokale Präzisionsmaße

In den meisten Nachschlagewerken wird *Präzision* allgemein als Synonym zu *Genauigkeit* eingeführt. Diese wird dann als ein graduelles Konzept definiert, das angibt, in welchem Maße ein erzieltes Ergebnis mit dem erwarteten bzw. erwünschten Ergebnis übereinstimmt [Brockhaus 97]. Auf den Kontext der sprachlichen Kommunikation übertragen könnte man die Präzision einer Aussage als das Maß betrachten, das angibt, inwieweit eine Verwechslungsgefahr bzw. die Gefahr einer Fehlinterpretation ausgeschlossen ist. Je geringer also die Wahrscheinlichkeit einer möglichen Verwechslung, desto präziser ist die gemachte Aussage.[4] Deshalb ist die Verwechslungsvermeidung besonders auch im Rahmen des Sprechens über Raum erstrebenswert, weil dort ohnehin eine Vielzahl von Problemen [Herrmann & Grabowski 94] auftreten, die einer präzisen Lokalisation entgegenwirken (wie beispielsweise verschiedene mögliche Perspektiven der Betrachtung).

In diesem Kapitel wird der Versuch der Formalisierung des so definierten Konzeptes der Präzision (im Kontext des raumorientierten Dialogs) unternommen. Nach der Rechtfertigung der Integration des Präzisionskonzepts in den Anwendbarkeitsansatz werden dazu Faktoren untersucht, die in eine Formalisierung der Präzision einfließen. Auf diesen Faktoren aufbauend werden unterschiedliche Präzisionsmaße vorgestellt, die sich grob in *globale* und *lokale Präzisionsgrade* unterteilen lassen. Zum Abschluß werden ihre Vor- und Nachteile beleuchtet und auf ihr Verhältnis zueinander eingegangen.

---

[4] Im Rahmen des Dialogs über Raum kann als Maß für die Wahrscheinlichkeit der Fehlinterpretation etwa die Anzahl der potentiellen verwechselbaren Referenzobjekte in Frage kommen.

3.1 Formalisierungsmöglichkeiten

Obwohl durch den vorgesehenen Einsatz des zu entwickelnden Präzisionsmaßes im Rahmen des Anwendbarkeitsmodell für Raumrelationen (vgl. Abschnitt 2.1) die Fuzzy-Mengentheorie der am naheliegendsten Ansatzpunkt für die Entwicklung war, existieren noch alternative Berechnungsgrundlagen. Aufgrund einiger Eigenschaften sind sie jedoch - besonders im Hinblick auf die linguistischen Hecken (vgl. Kapitel 4) - weniger gut geeignet, als der schließlich gewählte Ansatz auf der Basis von Fuzzy-Mengen [Pinkal 85].

Vorraussetzung für den Einsatz eines Formalismus zur Behandlung von sprachlicher Unbestimmtheit bzw. von Präzision ist das Vorhandensein (mindestens) eines Wahrheitszustandes neben "wahr" und "falsch". Dies ist nötig, um unbestimmte Aussagen von eindeutig bestimmten abzugrenzen. Die einfachste Lösung hierfür liegt in der Einführung eines dritten Wertes "unbestimmt". Darauf aufbauend können aber verschiedene Regel definiert werden, die dann zu unterschiedlichen *dreiwertigen Logiken* führen, von denen [Blau 78], [Kleene 52] und [Lukasiewicz 30] die bekanntesten Ansätze sind. Einen Schritt weiter geht dann die Fuzzy Logik, die auf der Fuzzy-Mengentheorie basiert, indem sie nicht nur eine sondern unendlich viele Abstufungen zwischen "wahr" und "falsch" erlaubt. Daneben existieren noch weitere mehrwertige Logiken, die aber hier nicht weiter diskutiert werden sollen (vgl. die Übersicht in [Rescher 69]).

Eine andere Alternative zur Formalisierung besteht in dem Einsatz einer *Supervaluationssemantik.* Sie wurde ursprünglich lediglich zur Behandlung von Präsuppositionen konzipiert [van Fraassen 69], später aber erweitert ([Fine 75], [Kamp 75]) und auch (zumindest ansatzweise) zur Erfassung von Vagheitsphänomenen eingesetzt [Lewis 72]. Die Grundidee dieses Ansatzes besteht in der Interpretation von Unbestimmtheit als Lücke, die für einen Wahrheitswert steht. Demnach ist ein Ausdruck wahr (falsch), wenn er in allen Komplementierungen wahr (falsch) ist, und unbestimmt, wenn es verschiedene Komplementierungen gibt, die ihn entweder wahr oder falsch machen.

Ein Variante der Supervaluationssemantik ist die von [Pinkal 85] vorgeschlagene *Präzisierungssemantik.* Diese verzichtete im Gegensatz zu ersterer auf die Forderung nach vollständigen Präzisierungen, und legt dazu ein durch eine "Präzisierungsrelation partiell geordnetes System mehr oder weniger unbestimmter kontextabhängiger Interpretationen" [Pinkal 85] zugrunde. Davon abgesehen stimmen die logischen Eigenschaften dieser Alternative mit denen der Supervaluationssemantik überein.

Für den Einsatz im Rahmen dieser Arbeit scheiden aber beide Varianten aus, da zwischen ihnen und der Anwendbarkeitsidee nach [Gapp 93], die der Fuzzy-Mengentheorie nahe steht, eine fundamentale Inkompatibilität besteht. Während nämlich mehrwertige Logiken allgemein (und damit auch die Fuzzy-Logik) distributiv sind (der Wahrheitswert eines Ausdrucks ergibt sich unmittelbar aus den Werten seiner Teilausdrücke), ist dies in Falle der Supervaluationssemantik nicht so. Dort ergibt sich der Wahrheitswert eines Gesamtausdrucks nicht vollständig aus den Werten seiner Teile, sondern ist zusätzlich noch von deren Präzisierungsverhalten abhängig.

Damit wäre die Wiederverwendung bzw. Weiterverarbeitung bereits berechneter Werte nicht möglich und ein auf der Anwendbarkeit basierender Ansatz schwer möglich. Auch die Vergleichbarkeit der Werte verschiedener Ausdrücke würde dadurch stark beeinträchtigt. Dreiwertige Logiken schienen wegen ihrer eher groben Granularität für die Bewertung der sehr fein abgestuften linguistischen Hecken ebenfalls weniger geeignet. Doch selbst wenn der Einsatz der Fuzzy-Mengentheorie im Rahmen dieser Arbeit am sinnvollsten erschien, ist die Kontroverse darüber, welcher Ansatz für die Behandlung von sprachlicher Unbestimmtheit zu präferieren ist, offen. Einen Überblick über die Diskussion geben [Ballmer & Pinkal 83].

3.2 Globale Präzisionsmaße

Vor der Formalisierung des Konzeptes der Präzision stehen Überlegungen, welche Faktoren die Präzision einer Aussage beeinflussen und wie diese sich aus den zur Modellierung von Anwendbarkeit verwendeten Funktionen ablesen lassen. Hier bietet der Rückgriff auf Funktionen mit dem Einheitsintervall als Bildbereich - wie die Splinefunktionen (vgl. Abschnitt 2.2.3) oder die Mengenzugehörigkeitsfunktionen (vgl. Abschnitt 2.3) - einige Vorteile. Zum einen ist die Vergleichbarkeit eines zu entwickelnden Präzisionsmaßes zwischen verschiedenen Relationen relativ einfach zu realisieren, zum anderen kann durch den eingeschränkten Bildbereich leicht zwischen Bereichen "hoher" und "niedriger" Anwendbarkeit unterschieden werden. Wäre die Bildmenge etwa die Menge der positiven reellen Zahlen, so müßten zur Bestimmung dieser Bereiche erst die Extremwerte berechnet werden.[5] Aus diesem Grunde eignen sich die aus der klassischen Kurvendiskussion bekannten Steigungs- bzw. Krümmungswerte weniger gut. Ihr unendlicher Bildbereich zusammen mit dem Umstand, daß sie gerade an Extremstellen bzw. Wendepunkten Null liefern, erschwert ihre Verwendung nicht nur bezüglich der zu gewährleistenden Vergleichbarkeit sondern auch aus technischen Gründen. Denn durch die möglicherweise sehr großen Werte können sehr leicht Genauigkeitsfehler oder Überläufe auftreten, die entweder rechenintensiv abgefangen werden müßten oder zu Programmfehlern führen könnten. Im folgenden werden deshalb nur potentiell geeignete Faktoren und ihre jeweilige Formalisierung vorgestellt.

3.2.1 Häufigkeit hoher Anwendbarkeit: Ungewichtete Fläche

An je mehr Stellen eine bestimmte Relation `rel` gut anwendbar ist, desto geringer ist die Präzision einer Aussage der Form < `rel` , LO, RO, RS >, da sie dem Rezipienten nicht erlaubt, die Lokation des LO genau einzugrenzen. Als Beispiel hierfür kann folgender Satz dienen:

Der Eiffelturm steht fern von Berlin.

Denn obwohl die Relation `fern` sicherlich optimal anwendbar ist, erlaubt sie dem unwissenden Hörer nicht, sich ein genaues Bild von dem Standort des Eiffelturms zu machen. Dieser Umstand ist darauf zurückzuführen, daß `fern von Berlin` auf eine Vielzahl von Objekten anwendbar ist. Übertragen auf die mathematische Modellierung von Raumrelationen als Splinefunktion kann diese Eigenschaft an dem großen Flächeninhalt unterhalb der Kurve erkannt werden. Berechnet wird die Fläche bekanntlich mit Hilfe der Stammfunktion bzw. allgemeiner durch die numerische Approximation über die Summe der Flächen unter Teilabschnitten. Je größer ihr Inhalt ist, desto mehr Stellen gibt es, an denen hohe Funktionswerte auftreten. All diese kommen bei der Verwendung der entsprechenden Relation als potentielle Lokationen in Frage. Die Kurve der in Abbildung 3.8a dargestellten Funktion beispielsweise überdeckt eine wesentlich größere Fläche als die in 3.8b dargestellte. Geht man davon aus, daß nur maximal anwendbare Relationen verwendet werden, so kämen bei der Äußerung der zu 3.8a gehörigen Relation alle Stellen zwischen x_1 und x_2 in Frage. Wird hingegen die zu 3.8b gehörige Relation geäußert, nur die Positionen zwischen x_3 und x_4. Für den Hörer bedeutet dies, daß er in letzterem Fall erheblich weniger Möglichkeiten zur Fehlinterpretation hat.

---

[5] Die Extremwerte wären für die Normierung der Modellierungsfunktionen der einzelnen Relationen nötig, damit die Vergleichbarkeit über verschiedene Kurven hinweg gewährleistet wäre.

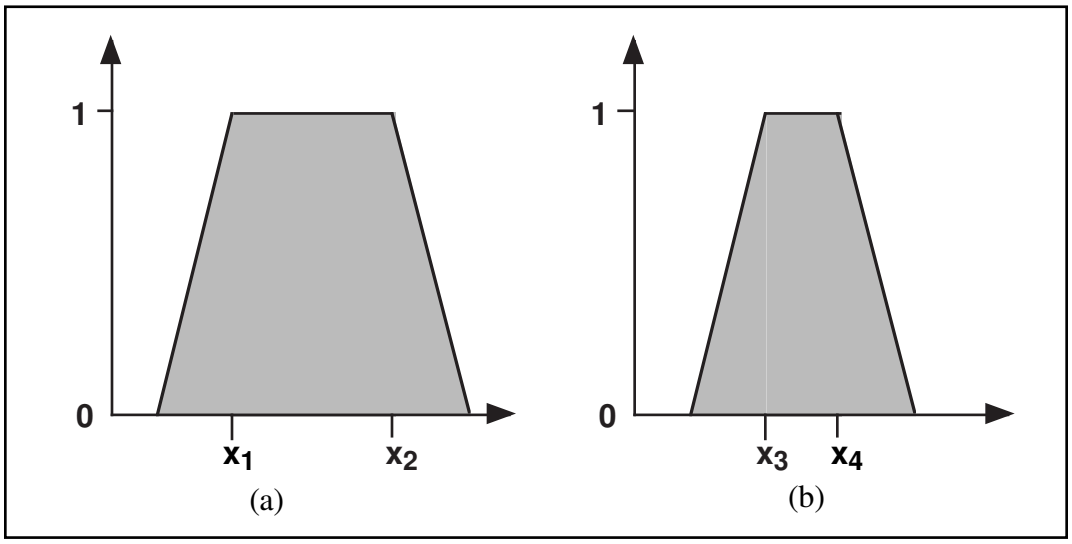

Abbildung 3.8: Häufigkeit hoher Anwendbarkeitsgrade als Gesamtfläche

3.2.2 Gewichtete Fläche

Während die Fläche unterhalb der Anwendbarkeitsfunktion einer Relation sicherlich einen wichtigen Aspekt ihrer Präzision widerspiegelt, sind doch Fälle vorstellbar, in denen dieser Faktor allein nicht ausreicht bzw. zu Ergebnissen führt, die sich mit der intuitiven Vorstellung von Präzision nicht decken. Unter den in Abbildung 3.9 dargestellten Funktionen beispielsweise liegt dieselbe Fläche. Betrachtet man nur diese, würde man beide als gleich präzise einstufen.

Dies widerspricht jedoch der Intuition, da man an der Stelle x wohl die durch Funktion 3.9b modellierte Relation zur Beschreibung wählen würde. Zwar liefert die Funktion 3.9a denselben Funktionswert an der Stelle x, Funktion 3.9b jedoch liefert diesen *nur* an dieser Stelle. Während für den Hörer im Fall 3.9a alle Positionen zwischen x_1 und x_2 als Lokation in Frage kommen, ist es im Fall 3.9b klar, daß die zu lokalisierende Entität in der Nähe von x liegen muß, da nur dort hohe Anwendbarkeitsgrade erreicht werden.

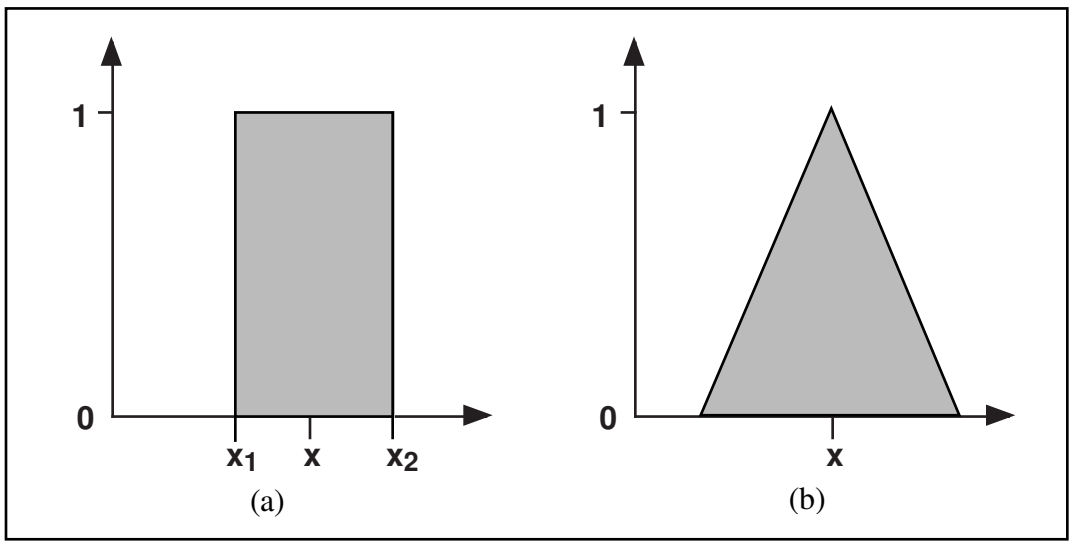

Abbildung 3.9: Flächengleiche Anwendbarkeitsfunktionen

Es muß also eine Formalisierung gefunden werden, die diesem Umstand Rechnung trägt. Eine einfache Möglichkeit, dies zu realisieren, besteht darin bei der Berechnung der Fläche aus Teilflächen den aktuellen Funktionswert quadratisch eingehen zu lassen. Da der Bildbereich der betrachteten Funktionen das Einheitsintervall ist, werden bei der Berechnung der *gewichteten Fläche* nach diesem Verfahren Kurven bevorzugt, die nur relativ selten hohe Funktionswerte liefern. Bei den in Abbildung 3.9 dargestellten Funktionen würde also (intuitionsgerecht) Funktion 3.9b präferiert.

3.2.3 Globale Präzisionsgrade

Die im vorigen Abschnitt vorgeschlagenen Flächenmaße, die absolute Fläche und die gewichtete Fläche, eignen sich unter Hinzunahme eines Normierungsfaktor bereits als Präzisionsmaß. Der Normierungsfaktor *nf* ist dabei zum einen von der Realisierung der zu bewertenden Aussagen abhängig, insbesondere von den Definitions- bzw. Bildmengen der verwendeten Modellierungsfunktionen. Zum anderen wird er von dem gewünschten Wertebereich der gelieferten Ergebnisse sowie von der Rechengenauigkeit des ausführenden Rechners bestimmt. Er stellt sicher, daß die resultierenden Werte verschiedener Aussagen untereinander vergleichbar sind. Da nicht davon ausgegangen werden kann, daß die zu bewertenden Funktionen über den gleichen Defintionsbereich bzw. über direkt vergleichbare Flächen verfügen, muß eine Normierung erfolgen. Es ergeben sich also folgende Formel für den *globalen Flächen-Präzisionsgrad* pg_F bzw. den *gewichteten globalen Flächen-Präzisionsgrad* pg_G:

$$pg_F(x) = nf \cdot \int_{x\,\min}^{x\,\max} f(x)dx$$

$$pg_{FG}(x) = nf \cdot \frac{x_{max} - x_{min}}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} f(x_i)^2$$

Dabei stehen x_{min} und x_{max} für den linken bzw. rechten Rand des zur Flächenberechnung gewählten Intervalls, n für die Anzahl der Unterteilungen[6] und f für die zur Modellierung verwendete Funktion. Die Eingrenzung der zur Berechnung herangezogenen Fläche macht insofern Sinn, als es Funktionen gibt, deren Fläche unendlich ist. (Betrachtet man beispielsweise die Anwendbarkeitsfunktion zu der Relation `fern`, so wird diese ab einer bestimmten Entfernung der Wert eins annehmen und bis ins Unendliche beibehalten.) Durch die Einschränkung auf einen bestimmten Bereich (vgl. Abschnitt 3.3) wird es vermieden, auf einen symbolbasierten Algorithmus zurückgreifen zu müssen, der für die Betrachtung unendlicher Flächen notwendig wäre (Integralbildung). Dadurch wird die Einsatzfähigkeit der Präzisionsgrade jedoch nicht eingeschränkt, da bei der Modellierung natürlichsprachlicher Phänomene im allgemeinen keine unendlichen Konzepte auftreten.

---

[6]Über diesen Parameter läßt sich sehr einfach ein ressourcenadaptierendes Verhalten erreichen, indem man im Falle knapper Ressourcen kleine Werte für n wählt, damit aber eine geringere Rechengenauigkeit erzielt.

Abbildung 3.10 zeigt die einzelnen Faktoren noch einmal graphisch anhand eines Beispiels. Dabei ist zu beachten, daß die gekennzeichnete Fläche nur in den globalen Präzisionsgrad *pg* wie dargestellt einfließt. In den gewichteten globalen Präzisionsgrad findet die gewichtete Fläche Eingang, welche sich im allgemeinen von der ungewichteten unterscheidet.

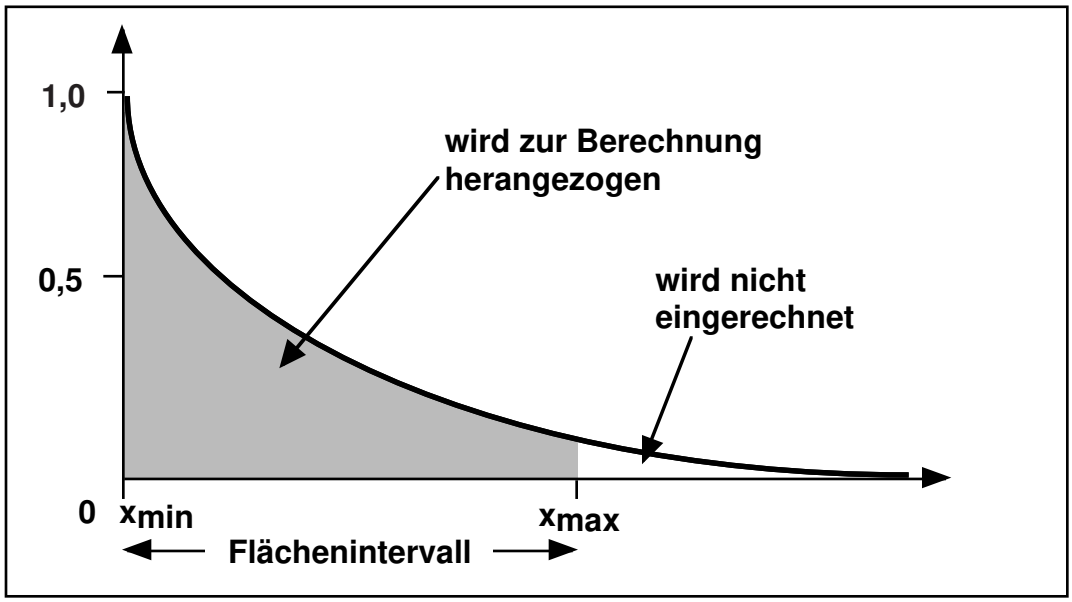

Abbildung 3.10: Faktoren zur Berechnung der globalen Präzisionsgrade

Die so berechneten Präzisionsgrade verhalten sich analog zu den in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Flächenmaßen. Das heißt insbesondere, daß die in Abbildung 3.9 zu sehenden flächengleichen Funktionen bei gleicher Wahl des Normierungsfaktor und des Flächenintervalls an der Stelle x den gleichen (ungewichteten) globalen Präzisiongrad erhalten. Der gewichtete globale Präzisionsgrad hingegen würde für die in 3.9(b) abgebildete Funktion höher ausfallen, und damit eher dem intuitiven Verständnis von Präzision entsprechen.

3.3 Lokale Präzisionsmaße

Doch auch bei Verwendung der gewichteten Fläche lassen sich noch Beispiele finden, in denen man dadurch zu kontraintuitiven Ergebnissen gelangen kann. Die in Abbildung 3.11 dargestellten Funktionen beispielsweise stimmen sowohl in ihrer absoluten als auch in ihrer gewichteten Fläche überein und liefern darüberhinaus auch noch denselben Funktionswert an der Stelle x. Nichtsdestotrotz würde man zur Beschreibung einer Lokation wahrscheinlich die in 3.11a dargestellte Relation bevorzugen, da sie eine präzisere Ortseingrenzung ermöglicht. Denn während die hohen Funktionswerte in 3.11a sich um ein Maximum konzentrieren, steigen die Werte in 3.11b langsam auf das Maximum an, um nach dessen Erreichen auf Null einzubrechen. Das bedeutet, daß im zweiten Fall bereits eine geringfügige Fehlinterpretation (bzw. eine kleine Abweichung nach rechts) zu einer vollkommen falschen Vorstellung beim Rezipienten führen kann.

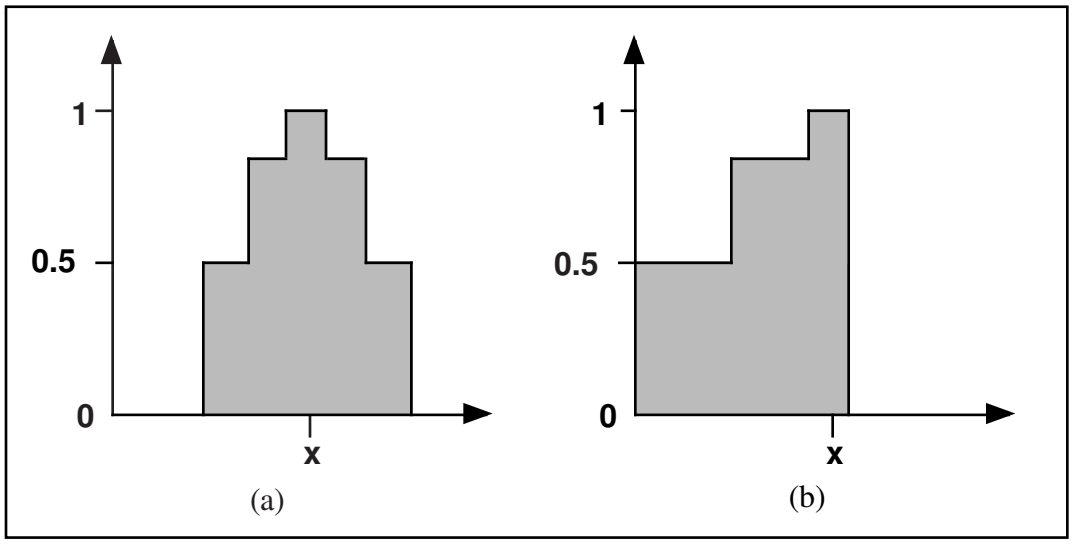

Abbildung 3.11: Funktionen mit gleicher gewichteter Fläche

Hierbei zeigt sich, daß die *globale* Bewertung einer Kurve nicht ausreicht, um Präzision in allen Fällen zu formalisieren. Es bietet sich also an, auch *lokale Faktoren* mit einzubeziehen. Der erste Gedanke in dieser Richtung ist sicherlich, statt der *Gesamtfläche* einen relevanten *Flächenabschnitt* zu betrachten. Doch dazu müssen erst Überlegungen zu den zu setzenden Grenzen für eine solche lokale Fläche angestellt werden. Diese wiederum führen zu anderen Faktoren, die ebenfalls von Bedeutung für die lokale Bewertung sind.

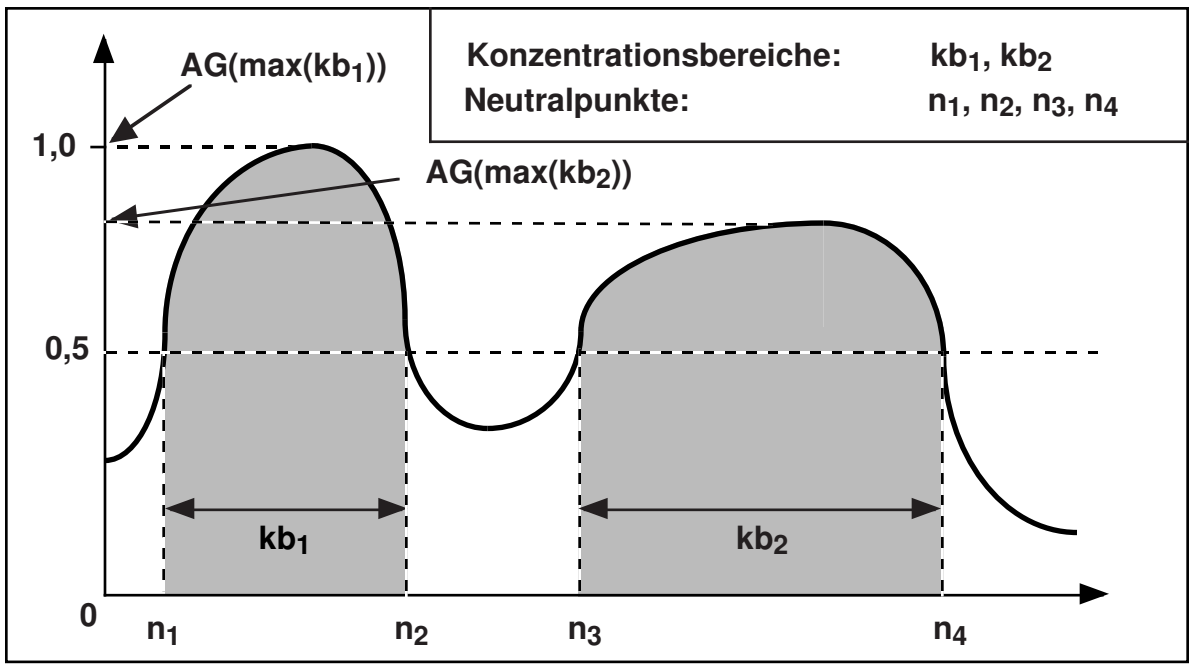

Abbildung 3.12: Konzentrationsbereiche und Neutralpunkte

In der Fuzzy-Mengentheorie stellt der Funktionswert 0,5 der Mengenzugehörigkeitsfunktion (vgl. Abschnitt 2.3) eine Grenze dar: liegt der Funktionswert für ein bestimmtes Objekt darüber, wird es als "eher der Menge zugehörig" eingestuft, liegt er darunter, so ist es "eher nicht zugehörig". Überträgt man diese Betrachtungsweise auf die graphische Darstellung der Funktionen, so kann

man *Konzentrationsbereiche kb* definieren, die die Abschnitte beschreiben, in denen Funktionswerte über 0,5 erreicht werden (vgl. Abbildung 3.12). Diese Abschnitte liegen entweder zwischen zwei *Neutralpunkten n* (Stellen, an denen der Funktionswert genau 0,5 beträgt) oder zwischen einem Maximum und einem Neutralpunkt. Objekte, deren Aufenthaltsorte Funktionswerte innerhalb solcher Konzentrationsbereiche liefern, sind offensichtlich auch durch die Relation zu beschreiben, die durch die Kurve dargestellt wird.

3.3.1 Lokale Flächen-Präzisionsgrade

Analog zu den globalen Präzisionsmaßen bieten sich auch auf lokaler Ebene zwei verschiedene Präzisionsgrade an, die auf den entsprechenden Flächenkonzepten beruhen: der *lokale Flächen-Präzisionsgrad* pl_F und der *lokale gewichtete Präzisionsgrad* pl_{GF}. Dabei wird die Präzision einer Aussage innerhalb des aktuellen Konzentrationsbereichs *kb(x)* generell für *alle* enthaltenen Positionen gleich bewertet. Der konkrete Position hat nur insofern Einfluß, als sie zur Auswahl des entsprechenden Konzentrationsbereichs dient und ihr Anwendbarkeitsgrad *AG(x)* als einfacher Faktor mit eingeht:

$$pl_F(x) = AG(x) \cdot \frac{Fläche(rb)}{Fläche(kb(x))} \cdot AG(max(kb))$$

$$pl_{GF}(x) = AG(x) \cdot \frac{GewFläche(rb)}{GewFläche(kb(x))} \cdot AG(max(kb))$$

Der wesentliche Quotient besteht dabei aus der lokalen Fläche des aktuellen Konzentrationsbereichs *Fläche(kb(x))* im Nenner, und der Fläche des *Relevanzbereichs rb (Fläche(rb))* im Zähler, also dem Kehrwert des relativen Flächenanteils des Konzentrationsbereichs an der gesamten (relevanten) Fläche. Der Relevanzbereich ist insofern nötig, als zum Vergleich verschiedener Kurven eine Normierung notwendig ist. Der Rand dieses Bereichs kann etwa durch die Stellen markiert werden, ab denen sich der Funktionswert nicht mehr wesentlich ändert. Andere Möglichkeiten sind etwa der Träger oder der Kern (vgl. Abschnitt 2.3) der zugrundeliegenden Funktion. (In Abbildung 3.14 sind neben den genannten Faktoren auch ein möglicher Rand des Relevanzbereichs gekennzeichnet: rechts davon ändert sich der Funktionswert nicht mehr. Als linker Rand könnte der Wert Null dienen, wenn die Funktion nur über den positiven reellen Zahlen definiert ist.) Um Konzentrationsbereiche, in denen als maximaler Anwendbarkeitsgrad nur ein relativ geringer Wert erreicht wird, nicht überzubewerten, geht als weiterer Faktor dieser bereichsinterne maximale Anwendbarkeitsgrad *AG(max(kb))* mit ein.

3.3.2 Lokaler Intervall-Präzisionsgrad

Auf lokaler Ebene besteht die Möglichkeit, die Granularität der Betrachtung weiter zu erhöhen. Dazu muß ein Weg gefunden werden, die aktuelle Position miteinzubeziehen. Ein Lösungsansatz besteht darin, die Konzentrationsbereiche weiter aufzusplitten. Innerhalb eines Konzentrationsbereichs existiert per definitionem (mindestens) ein *lokales Maximum*, dessen Funktionswert auch von Bedeutung für ein noch zu definierendes lokales Präzisionsmaß ist. Je näher dieser Funktionswert an Eins liegt, desto präziser sind Werte aus dessen Umgebung. Die lokalen Maxima ermöglichen

eine weitere Strukturierung der Konzentrationsbereiche. Man kann sie mit Hilfe der Maxima in *Konzentrationsintervalle kon_int* untergliedern, die jeweils durch einen Neutralpunkt und ein lokales Maximum bzw. durch ein lokales Minimum und ein lokales Maximum begrenzt werden (vgl. Abbildung 3.13 bzw. 3.14).

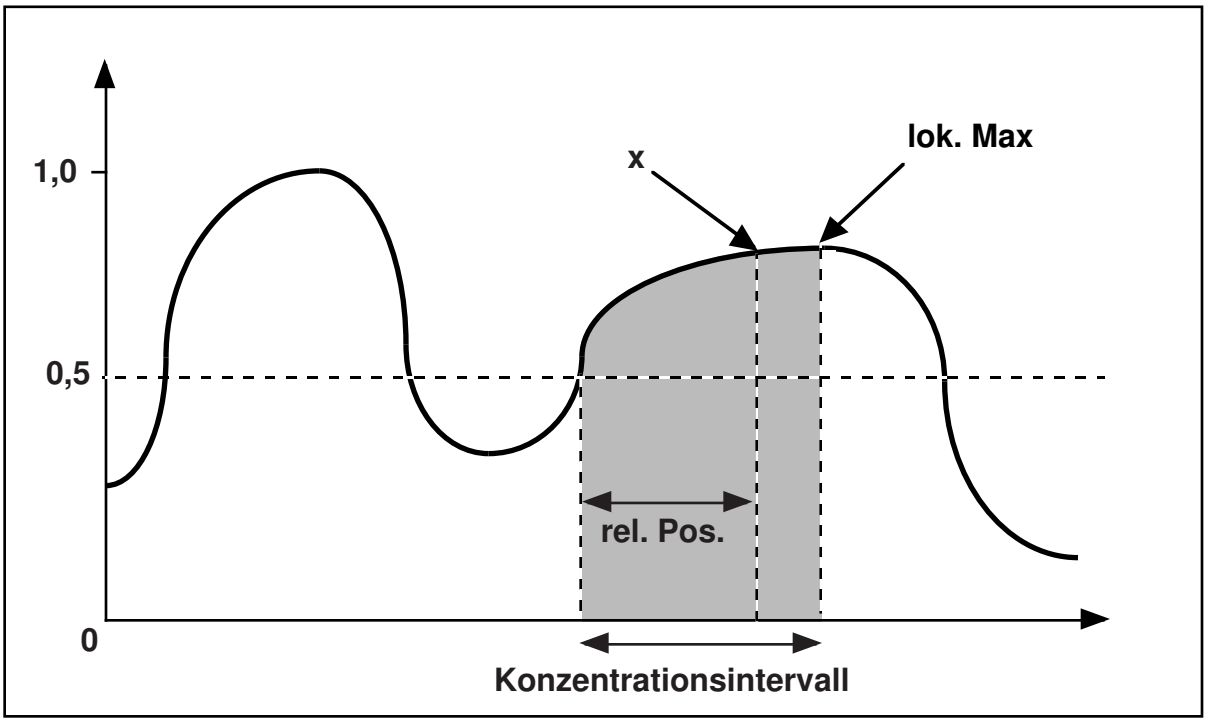

Abbildung 3.13: Lokale Faktoren

In einem Konzentrationsintervall kann man weiterhin argumentieren, daß eine Aussage um so präziser ist, je näher die zu betrachtende Stelle *x* an der Position des lokalen Maximums liegt. Diese Überlegung führt zum Begriff der *relativen Position* der betrachteten Lokation als weiteren zu berücksichtigenden Faktor bei der Modellierung eines lokalen Präzisionsmaßes. Darunter versteht man den Abstand zwischen der Intervallgrenze, die dem lokalen Maximum gegenüberliegt, und der Position von *x*. Ein weiteres Indiz für die Präzisionsbewertung ist die Ausdehnung des Intervalls im Verhältnis zu der des Relevanzbereichs *rb*. Je kleiner dieser Wert, desto präziser sind die enthaltenen Werte.

Damit läßt sich ein weiteres Präzisionsmaß definieren, das auf diesen Faktoren beruht. Die dafür relevanten Faktoren sind in Abbildung 3.14 noch einmal aufgeführt. Desweiteren ist dort die lokale (ungewichtete) Fläche zu sehen, wobei deutlich wird, daß die Betrachtung auf Intervallebene eine erheblich feinere Granularität gewährleistet als dies bei den auf Flächen beruhenden Präzisionsgraden der Fall ist. Das so gewonnene Präzisionsmaß wird hier als *lokaler Intervall-Präzisiongrad* pl_l, bezeichnet:

$$pl_l(x) = AG(x) \cdot \frac{AG(max_{lok}) \cdot rel_pos(x)}{kon_int(max_{lok})} \cdot \frac{rb}{kon_int(max_{lok})}$$

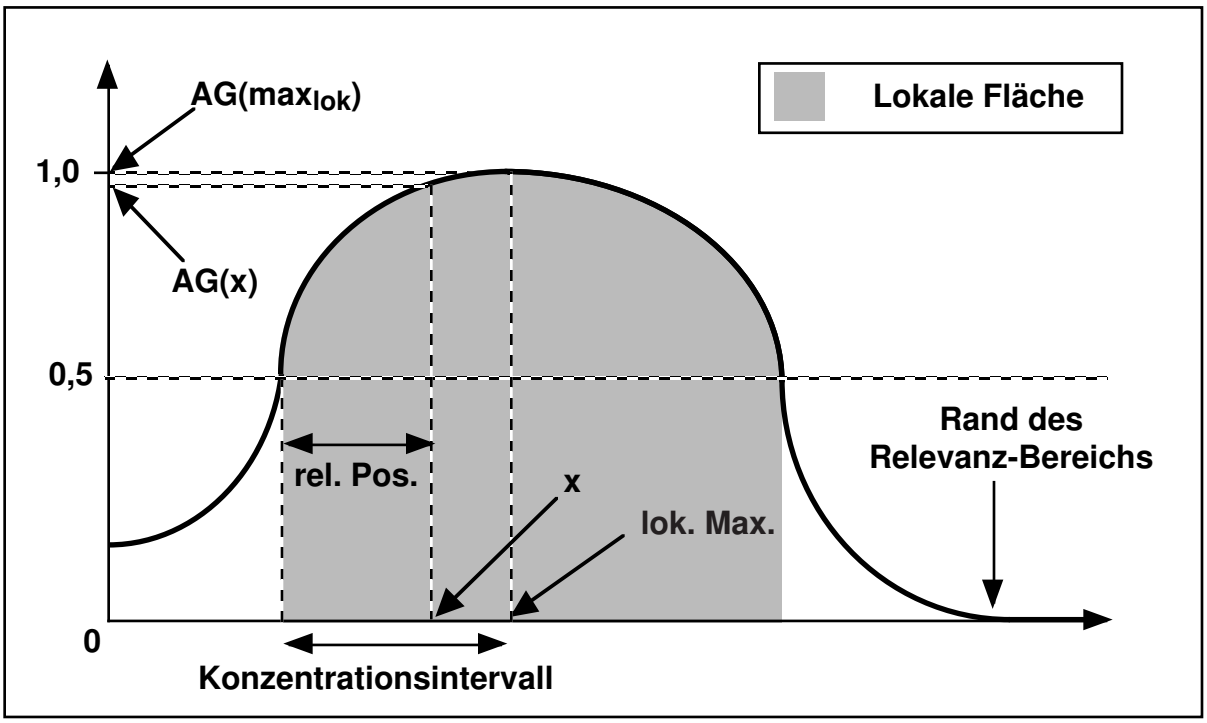

Abbildung 3.14: Lokaler Intervallpräzisionsgrad

3.3.3 Beispiel

In Abbildung 3.15 ist zur Verdeutlichung der einzelnen Faktoren des lokalen Intervall-Präzisionsgrades und deren Motivierung ein Beispiel für die Bewertung einer Raumbeschreibung zu sehen.[7] Die zugrundeliegende Konfiguration ist oben rechts abgebildet: Es werden zwei unterschiedlich plazierte zu lokalisierende Objekte (LO und LO´) in Relation zu einem Referenzobjekt (RO) gesetzt. Dabei befindet sich LO´ exakt auf der Linksachse, wohingegen LO eine Winkelabweichung von x Grad besitzt.

Im großen Koordinatensystem ist diese Situation in den Kontext der Anwendbarkeits- bzw. Präzisionsberechnung gesetzt. Die dicke schwarze Kurve, die mit AG_{links} beschriftet ist, stellt die Anwendbarkeit der Relation `links` in Abhängigkeit von der Winkelabweichung von der kartesischen Richtung dar. Die dünne schwarze Kurve (PG_{links}) gibt den lokalen Intervall-Präzisionsgrad für die einfache Relation wieder, die dünne graue ($PG_{genau\ links}$) den für die Beschreibung "genau links". Unterhalb der X-Achse ist zum einen das Konzentrationsintervall (kon_int) abgetragen, das sich um das lokale Maximum bei der X-Koordinate Null ausdehnt. Zum anderen ist die relative Position des aktuell betrachteten x-Wertes innerhalb dieses Intervalls (rel_pos) markiert.

Das Beispiel macht eine wichtige Eigenschaft des lokalen Intervall-Präzisionsgrades deutlich: Für das zu lokalisierende Objekt LO´ wird an der Stelle Null die Beschreibung "genau links" bevorzugt, da der zugehörige Präzisiongrad oberhalb dessen für "links" liegt. Dies geschieht, obwohl der entsprechende Anwendbarkeitsgrad maximal ist. (Bei LO hingegen wird "links" präferiert, da die entsprechende Kurve hier oberhalb der für "genau links" verläuft.)

---

[7]Zur Verdeutlichung wird - falls nötig - eine Abbildung der Konzepte des Präzisionsgrads auf linguistische Hecken und räumliche Relationen vorgenommen.

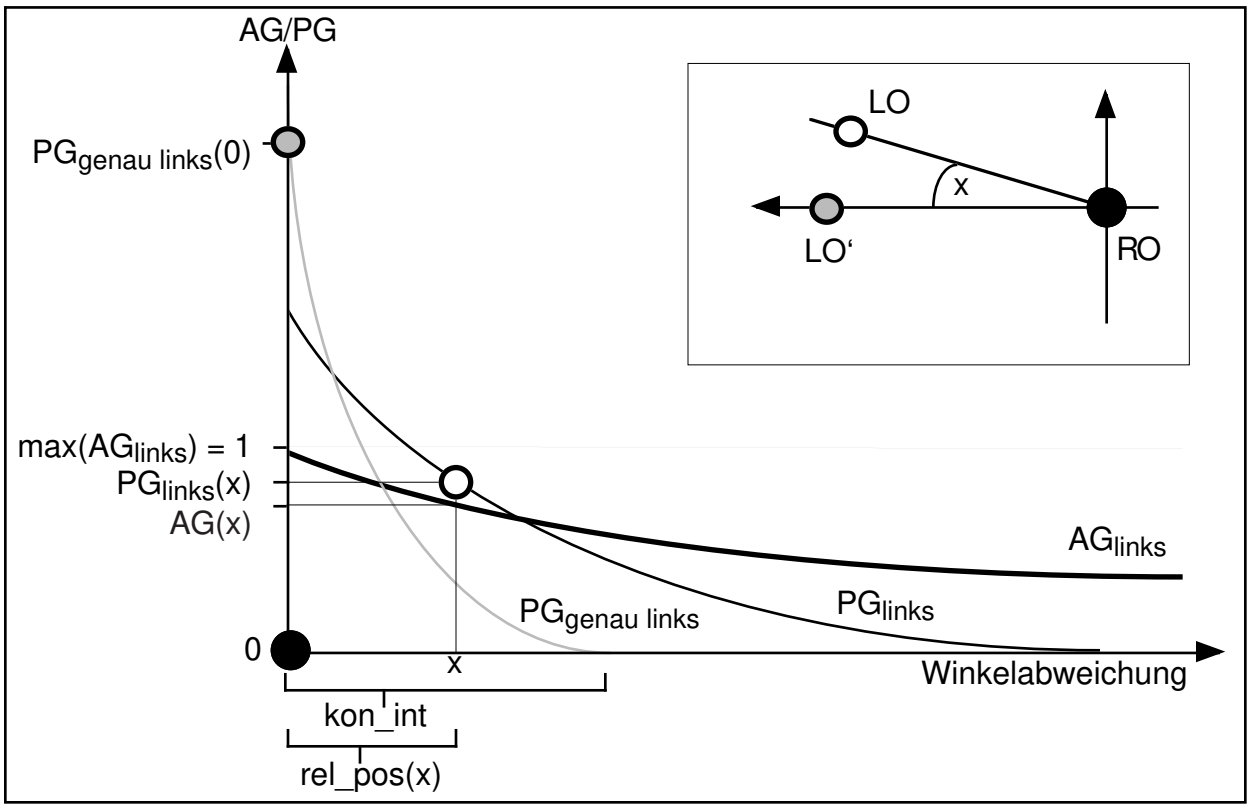

Abbildung 3.15: Beispiel zur Berechnung des lokalen Intervall-Präzisionsgrads

3.4 Ressourcenadaptivität

Damit stehen nun verschiedene Verfahren zur Verfügung, die zur Berechnung von Präzision herangezogen werden können. Aufgrund ihres grundsätzlichen Charakters lassen sie sich in zwei Gruppen einteilen: auf der einen Seite *globale Präzisionsmaße*, die die Präzision einer Kurve in ihrer Gesamtheit bewerten und auf der anderen Seite *lokale Präzisionsmaße,* die eine feinere Granularität der Beurteilung gewährleisten.

Diese höhere Qualität wird allerdings auch mit einem erhöhten Rechenaufwand erkauft. In Abbildung 3.16 ist der Zusammenhang zwischen Qualität und Aufwand graphisch dargestellt: Der globale Flächen-Präzisionsgrad liefert also Aussagen mit der geringsten Qualität (in Vergleich zu den anderen Berechnungsverfahren) - allerdings auch mit dem geringsten Aufwand. Der lokale Intervall-Präzisionsgrad andererseits liefert zwar die beste Qualität, verlangt dafür aber den höchsten Aufwand. Dieser Zusammenhang prädestiniert die verschiedenen Berechnungsverfahren für die Verwendung in ressourcenadaptierenden Systemen, da je nach verfügbaren Ressourcen (und Ansprüchen) ein Algorithmus ausgewählt werden kann, der (wie die anderen Alternativen) dasselbe Problem (präzise Raumbeschreibung) unterschiedlich gut und schnell löst. Teilweise besteht auch die Möglichkeit von den (Zwischen-)Ergebnissen bereits abgeschlossener Berechnungen zu profitieren, wenn etwa nicht alle verfügbaren Ressourcen aufgebraucht wurden. Dies ist beispielsweise bei der Berechnung des lokalen Intervall-Präzisionsgrades der Fall: Die für die lokalen Flächen-Präzisionsgrade zu berechnenden Konzentrationsbereiche können als Ausgangspunkt für die Berechnung der Konzentrationsintervalle verwendet werden.

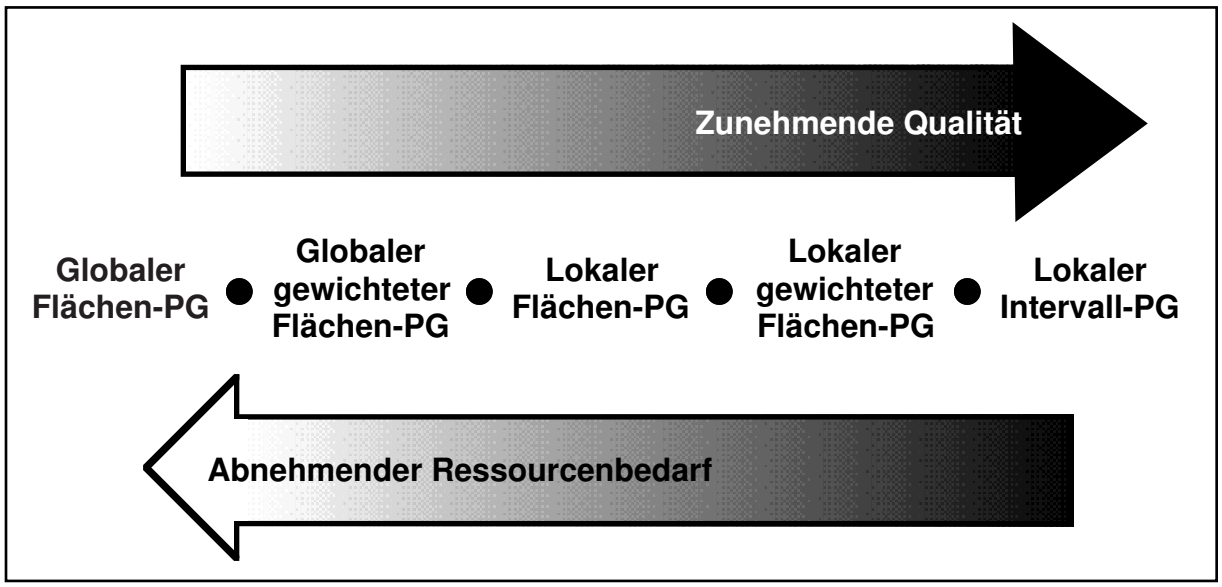

Abbildung 3.16: Vergleich der verschiedenen Präzisionsgrade

Die Qualtätszunahme von links nach rechts in Abbildung 3.16 wird anhand folgender Überlegungen ersichtlich: Während die globalen Maße lediglich die gesamte Kurve bewerten, beziehen die lokalen Maße Information über die Umgebung der betrachteten Koordinate mit ein. In den lokalen Intervall-Präzisionsgrad fließt darüber hinaus noch die genaue (relative) Position mit ein. Damit nimmt also die Informationsmenge, die in Betracht gezogen wird, von links nach rechts zu. Die Überlegenheit des lokalen gewichteten Präzisionsgrades gegenüber dem ungewichteten ergibt sich aus derselben Überlegung, die auch schon zur Konzeption der gewichteten globalen Fläche führte (vgl. Abschnitt 3.2.2), nämlich daß es Fälle gibt, in denen die ungewichtete Fläche kontraintuitive Ergebnisse liefert, die gewichtete aber nicht.

Der von rechts nach links abnehmende Ressourcenbedarf wird durch einen Blick auf Tabelle 3.1 ersichtlich. Dort sind für die jeweiligen Methoden die zu berechnenden Faktoren aufgetragen. Zur Bestimmung der globalen Flächen-Präzisionsgrade ist demnach lediglich die Bestimmung des Relevanzbereichs nötig. Der Unterschied zwischen dem ungewichteten und dem gewichteten Maß ergibt sich aus der im letzteren Fall nötigen Gewichtung. Wird diese - wie hier angedeutet - durch eine Quadrierung bei der Flächenberechnung realisiert, fällt der Unterschied zwischen den beiden Maßen (auf heutigen Rechnern) entsprechend marginal aus.[8]

Für die Berechnung der lokalen Flächen-Präzisionsgrade muß zu dem Relevanzbereich noch der Konzentrationsbereich bestimmt werden, in dem die aktuelle Position liegt. Während der Relevanzbereich einer Kurve relativ einfach bestimmt werden kann (etwa als ihr Definitionsbereich oder durch die Festlegung einer generellen Grenze), ist die Berechnung der Konzentrationsbereiche aufwendiger. Dafür müssen alle Punkte mit Funktionswert 0,5 bestimmt werden, sowie die dazwischenliegenden Intervalle analysiert werden. Der Unterschied zwischen der gewichteten und der ungewichteten Variante ergibt sich analog zu den globalen.

---

[8]Wenn die Gewichtung als Aufwandsfaktor zu vernachlässigen ist, wird in einem ressourcenadaptierenden System der qualitativ höherwertige Mechanismus permanent bevorzugt. Damit würde immer der gewichtete Präzisionsgrad berechnet, der ungewichtete jedoch nie.

Die Berechnung des lokalen Intervall-Präzisionsgrades erfordert neben dem Relevanz-und dem Konzentrationsbereich noch die Kenntnis des Konzentrationsintervalls. Dessen Berechnung ist im allgemeinen Fall ähnlich aufwendig, wie die des Konzentrationsbereichs, da in einem solchen prinzipiell unendlich viele Konzentrationsintervalle liegen können. Auch wenn dies in der Praxis nicht auftreten wird, sind dort trotzdem mehrere Intervalle pro Bereich zu ermitteln. Damit ist das Intervall-Verfahren das insgesamt aufwendigste zur Berechnung des Präzisionsgrads.

Faktoren	Global Fläche ungewichtet	Global Fläche gewichtet	Lokal Fläche ungewichtet	Lokal Fläche gewichtet	Lokal Intervall
Relevanzbereich	X	X	X	X	X
Konzentrations-bereich			X	X	X
Konzentrations-intervall					X

Tabelle 3.1: Berechnungsaufwand der unterschiedlichen Verfahren

3.5 Vergleich und Bewertung

Neben dem Berechnungsaufwand für die Verfahren und der Qualität ihrer Ergebnisse (vgl. Abschnitt 3.4) können aber noch andere Faktoren für den Vergleich herangezogen werden. Dies betrifft zum einen die Wiederverwendbarkeit bereits berechneter Ergebnisse. Während bei Flächenmaßen die lokalen bzw. globalen (un)gewichteten Flächen gespeichert werden können und bei Berechnungen für dieselbe Kurve erneut genutzt werden könne, muß bei der Intervall-Methode in jedem Fall die relative Position der aktuellen Koordinate bestimmt werden. Daneben nimmt die zu speichernde Menge an wiederverwendbaren Zwischenergebnissen von den globalen Flächenmaßen über die lokalen bis hin zum Intervall-Präzisionsgrad kontinuierlich zu: Auf globaler Ebene muß lediglich ein Wert (die (un)gewichtete Gesamtfläche) gespeichert werden. Für die lokalen Flächenmaße hingegen sind es mehrere Werte (die Konzentrationsbereiche) und in Falle der Intervall-Methode mindestens genausoviele (die Konzentrationsintervalle), meist erheblich mehr.[9]

Neben diesem Unterscheidungskriterium ist andererseits schon angeklungen, daß die ressourcenaufwendigen Verfahren Fälle korrekt bewerten können, die von den weniger anspruchsvollen Methoden falsch beurteilt werden. Dies ergibt sich auch aus der Anzahl der Informationen, die bei den einzelnen Berechnungsverfahren Eingang finden. Nachdem dies in den Abschnitten 3.2.3 und 3.3 bereits die Überlegenheit der gewichteten gegenüber der ungewichteten Methode bzw. der lokalen Flächen-Präzisionsgraden gegenüber den globalen gezeigt wurde, soll hier anhand eines Beispiels dies noch für das Intervall-Verfahren gezeigt werden.

[9] da ein Konzentrationsbereich zumeist aus wenigstens zwei Konzentrationsintervallen besteht

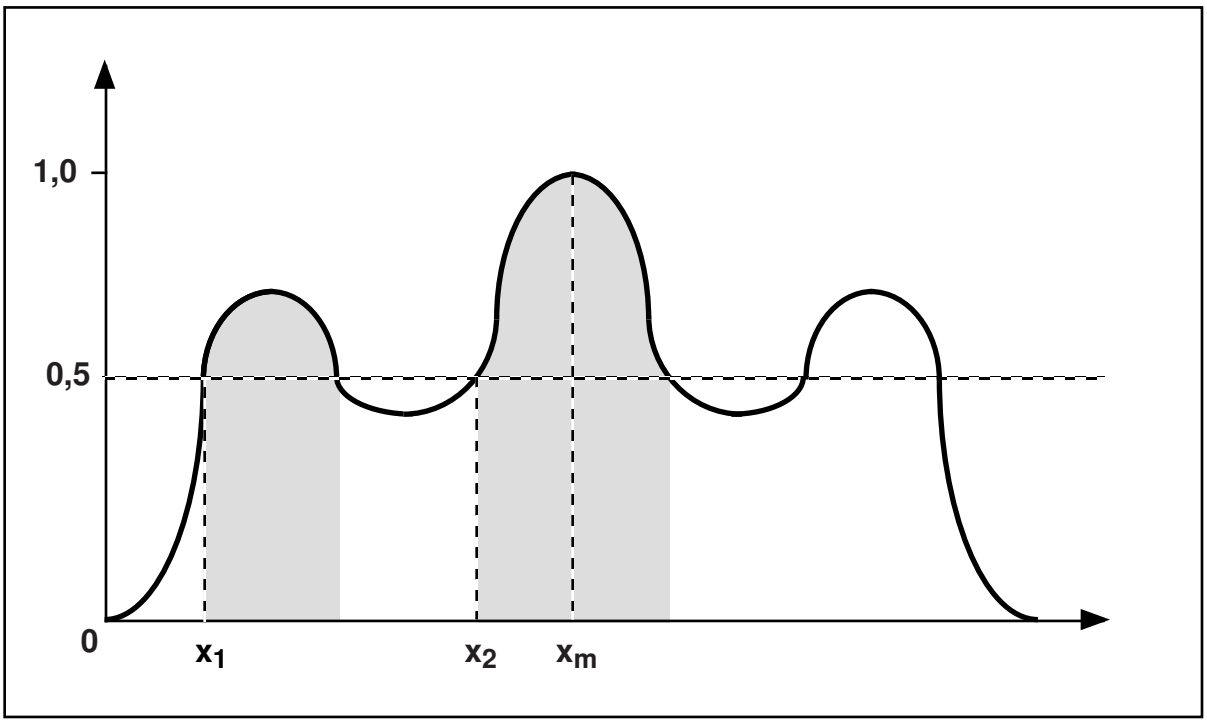

Abbildung 3.17: Probleme mit den globalen Präzisionsgraden

In Abbildung 3.17 ist eine Kurve zu sehen, wie sie beispielsweise durch die Anwendung einer Kombination von linguistische Hecken (vgl. Kapitel 4) entstehen kann. Nach den globalen Präzisionsgraden fällt die Bewertung für die Stellen x_1 und x_2 gleich aus. Nach den lokalen Präzisionsgraden werden sie unterschiedlich bewertet, bedingt durch den Umstand, daß sich beide Stellen in verschiedenen Konzentrationsbereichen bzw. -intervallen befinden. Diese Bewertungsdifferenz entspricht auch eher der intutiven Vorstellung, wonach die näher am "typischsten" Ort x_m gelegene Position x_2 besser bewertet wird als x_1 . Besitzen die Konzentrationsbereiche allerdings die gleiche Fläche und den gleichen maximalen Funktionswert, werden gemäß den lokalen Flächen-Präzisionsgraden Stellen gleichbewertet, die das Intervallverfahren noch unterscheiden kann. Damit sind die Bewertungen nach dem lokalen Intervall-Präzisionsgrad in mehr Fällen zutreffend als die aller anderen Verfahren.

Kapitel 4

Linguistische Hecken

Die *Vagheit* der natürlichen Sprache ist ein seit langem bekanntes (und diskutiertes) Phänomen. Schon in der Antike wurden Paradoxa formuliert, die auf der Unschärfe des zugrundeliegenden Begriffs beruhen. Cicero formulierte etwa das Paradoxon vom Kahlköpfigen: Wer keine Haare hat, ist kahlköpfig. Wer ein Haar mehr hat als ein Kahlköpfiger, ist auch ein Kahlköpfiger. Also sind alle Menschen kahlköpfig. Der Widerspruch hierin entsteht nicht etwa aus der Unzulänglichkeit des verwendeten Schlußmechanismus, sondern durch die Vagheit des Konzeptes `kahlköpfig`: Jede genaue Festlegung - etwa in Form einer Mindestzahl von Haaren - wäre künstlich und entspräche nicht dem natürlichen Sprachgebrauch.

Von diesem Umstand aber darauf zu schließen, daß Vagheit einen Defekt der natürlichen Sprache darstellt, ist jedoch nicht korrekt. Denn vage Konzepte erfüllen auch wichtige sprachliche Funktionen. Dazu zählt etwa der Umgang mit unvollständiger bzw. unscharfer Information, mit der Menschen im Alltagsleben häufig konfrontiert sind. Auch die Bildung von Begriffsklassen bzw. -konzepten wie etwa `Haus` ist erst durch das Abstrahieren von Individualeigenschaften möglich, was man auch als unschärfere Betrachtung interpretieren kann. Vagheit kann zudem bewußt erzeugt werden, um den Gesprächspartner über wahre Handlungsabsichten im Unklaren zu lassen bzw. um sich Handlungsspielräume offenzuhalten. Ein Beispiel dafür wäre etwa die Antwort "Ich werde mich darum kümmern." auf die Aufforderung "Bitte erledige X.". Hierbei bleibt offen, auf welche Art X erledigt wird.[10] Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Vagheit natürlicher Sprache ein wichtiges Hilfsmittel ist, um über eine komplexe Welt reden und in ihr handeln zu können. Ihre Behandlung in Systemen zur Dialogführung in natürlicher Sprache ist deshalb angezeigt.

Untersucht man einige häufig verwendete Begriffe auf ihre Vagheit hin, stellt man fest, daß man grob zwei Gruppen von Konzepten unterscheiden kann. Das weiter oben angeführten Beispiel `kahlköpfig` kann der Gruppe der *inhärent vagen Konzepte* (oft auch als *unscharfe Konzepte* bezeichnet [Kolde 86]) zugeordnet werden. Dies sind Konzepte, deren Grundbedeutung an sich schon unscharf ist. Weitere Beispiele hierfür wären etwa `reich`, `groß` oder `schnell`. Auch einige räumliche Relationen fallen in diese Kategorie, wie beispielsweise `links`, `entfernt` oder `über`. Hanßmann geht sogar so weit, die Vagheit räumlicher Relationen als das Hauptkriterium zu ihrer Untergliederung zu wählen: er unterscheidet zwischen *vagen* und *präzisen* Relationen [Hanßmann 80].

---

[10] Die Geschwindigkeit, der Zeitpunkt oder der gewählte Weg zur Erledigung des Problems X sind Beispiele für Punkte, die bei der gewählten Formulierung offen bleiben.

Es gibt jedoch auch Begriffe, deren Bedeutung auch im natürlichsprachlichen Gebrauch präzise definiert ist. Mitglieder dieser zweiten Gruppe der *binären Konzepte* (auch *scharfe Konzepte* genannt [Kolde 86]) sind etwa `tot` oder die räumliche Relation `in`. Nichtsdestotrotz kann man gewisse Modifikatoren auf viele in diese Klasse fallende Konzepte anwenden, wodurch diese dann vage werden. Ein Beispiel wäre etwa `fast in`. Diesen Umstand kann man als weiteres Untergliederungsmerkmal für die binären Konzepte verwenden, und zwar indem man zwischen einfachen binären Konzepten und *präzisen binären Konzepten* unterscheidet. Letztere seien all diejenigen, auf die keine Modifikatoren angewendet werden können, die sie vager machen. Hierunter fallen beispielsweise viele mathematische Aussagen.

Jene Modifikatoren - die sich natürlich auch auf inhärent vage Konzepte anwenden lassen - gehören zu den *linguistischen Hecken.* Diese schwer einzugrenzende Gruppe von Sprachelementen, die sich weder von grammatikalischer Seite noch anhand von Wortarten charakterisieren läßt, kann man aufgrund ihrer Funktion definieren als *Operationen, die die Bedeutung eines Terms modifizieren* [Zimmermann 87]. Darunter fallen dann sowohl die bereits erwähnten Modifikatoren, die die Vagheit eines Terms erhöhen, als auch solche, die sie vermindern, also Terme präziser machen. Zusätzlich gehören aber auch andere sprachliche Einheiten dazu, die beispielsweise die Bedeutung eines Terms stark verändern (vgl. Tabelle 4.2).

Beispielsatz mit *linguistischer Hecke*	**Modifikation**
Herr Müller ist *sehr* groß.	Verschärfung der Klassenzugehörigkeit
Er wird - *davon bin ich fest überzeugt* - das Rennen gewinnen.	Verstärkung der Gewißheit der Aussage
Es ist *ungefähr* zehn Uhr.	Konzept wird vager gemacht
Das Auto war *nicht* rot.	Negation des Terms
Ein Wal ist - *wenn man so will* - ein Fisch.	Notwendige Eigenschaften für die Kategoriezugehörigkeit müssen nicht mehr erfüllt sein.
Die Dose ist gelb*lich*.	Konzept wird vager gemacht
Das ist hervorragend. *[in ironischem Ton]*	Negation des Terms

Tabelle 4.2: Beispiele für bedeutungsmodifizierende Operatoren

Wie man beim Betrachten dieser Tabelle feststellt, fallen nach dieser Definition so viele Sprachelemente mit höchst unterschiedlichen, zum Teil stark kontextabhängigen Auswirkungen unter den Begriff *linguistische Hecke*, daß eine Modellierung all dieser Konzepte im Rechner wenn nicht als unmöglich, so doch als extrem aufwendig erscheint. Besonders *non-* bzw. *paraverbale Signale* wie Augenzwinkern oder Zögerphänomene sowie bestimmte *Akzentmuster* (vgl. [Bolinger 72]), stellen ein großes Problem dar (vgl. auch [Kolde 86]). Daher ist es sinnvoll, eine etwas restriktivere Definition zu gebrauchen, etwa die folgende:

> *"Als* linguistische Hecke *(kurz: Hecke, engl.: linguistic hedge) bezeichnen wir sprachliche Einheiten, die Prädikationen nach Grad oder Hinsicht ihres Zutreffens modifizieren und als Operatoren interpretiert werden können, welche die Vagheit des sprachlichen Konzepts, auf das sie angewendet werden, verstärken oder abschwächen."*
>
> [Wahlster 77]

Damit fallen Konstrukte heraus, die die Grundbedeutung des mit einer Hecke versehenen Terms verändern (indem sie z.B. definierende Eigenschaften explizit ausschließen), und das Konzept der linguistischen Hecke wird im wesentlichen auf solche Operatoren beschränkt, die die Vagheit eines Terms beeinflussen. Wie sich später zeigen wird, ist auch die so eingeschränkte Menge der Hecken noch zu umfangreich, um sie vollständig zu modellieren.

Zuvor werden in diesem Kapitel jedoch vier unterschiedliche Möglichkeiten zur Klassifikation von linguistischen Hecken vorgestellt (Abschnitt 4.1). Dabei wird auch kurz auf die Sonderstellung der Negationspartikel eingegangen. Im Anschluß daran werden bisherige Modellierungsansätze präsentiert und diskutiert (Abschnitt 4.2).

4.1 Klassifikationsmöglichkeiten

Der Umstand, daß unter die linguistische Hecken viele verschiedene Lexeme und Syntagmen fallen, verlangt nach einer Klassifizierung, um ein Modell zu ihrer Behandlung erstellen zu können. Prinzipiell kann man sich diesem Problem von drei Seiten nähern: zum einen von der sprachlichen Seite, indem man versucht, die betrachteten Terme anhand ihrer Wortart bzw. ihrer syntaktischen Funktion zu gruppieren. Zum zweiten bietet sich eine Ordnung aufgrund ihrer Auswirkung auf die Bedeutung eines mit einer Hecke versehenen Prädikats an. Schließlich kann auch der kognitive Aufwand, der zur Generierung einer bestimmten Hecke nötig ist, als Unterscheidungskriterium herangezogen werden.

Name	Funktion	Beispiele
Konzentration	$\mathrm{CON}(x) = x^2$	sehr, höchst, extrem
Dilation	$\mathrm{DIL}(x) = x^{1/2}$	ungefähr, ziemlich
Kontrast-intensifikation	$\mathrm{INT}(x) = \begin{cases} x \geq 0.5: & 2x^2 \\ x \leq 0.5: & 1-2(1-x)^2 \end{cases}$	genau, exakt

Tabelle 4.3: Funktionale Klassifikation nach [Zimmermann 87]

4.1.1 Funktional-sprachliche Klassifikation

Als erste Näherung an eine hinreichende Untergliederung der linguistischen Hecken kann die in [Zimmermann 87] vorgeschlagene Aufteilung dienen (siehe Tabelle 4.3). Diese klassifiziert Hecken nach ihrer Hauptauswirkung auf die Zugehörigkeitsfunktion einer Fuzzy-Menge (vgl. Abschnitt 2.3) Dabei unterscheidet man allgemein zwischen drei verschiedenen Wirkungsarten: der *Konzentration,* der *Dilation* und der *Kontrastintensifikation*. Auf die Zugehörigkeitsfunktion angewendet, bewirkt die Konzentration eine Einengung der Bereiche, in denen hohe Zugehörigkeitsgrade erreicht werden (vgl. Abbildung 4.18). Die Dilation hat die gegenteilige Wirkung: ihre Anwendung bewirkt eine Ausweitung der Bereiche hoher Zugehörigkeit. Die Kontrastintensifikation verstärkt alle höheren Zugehörigkeitsgrade (über 0,5) und schwächt alle niedrigen (unter 0,5) ab.

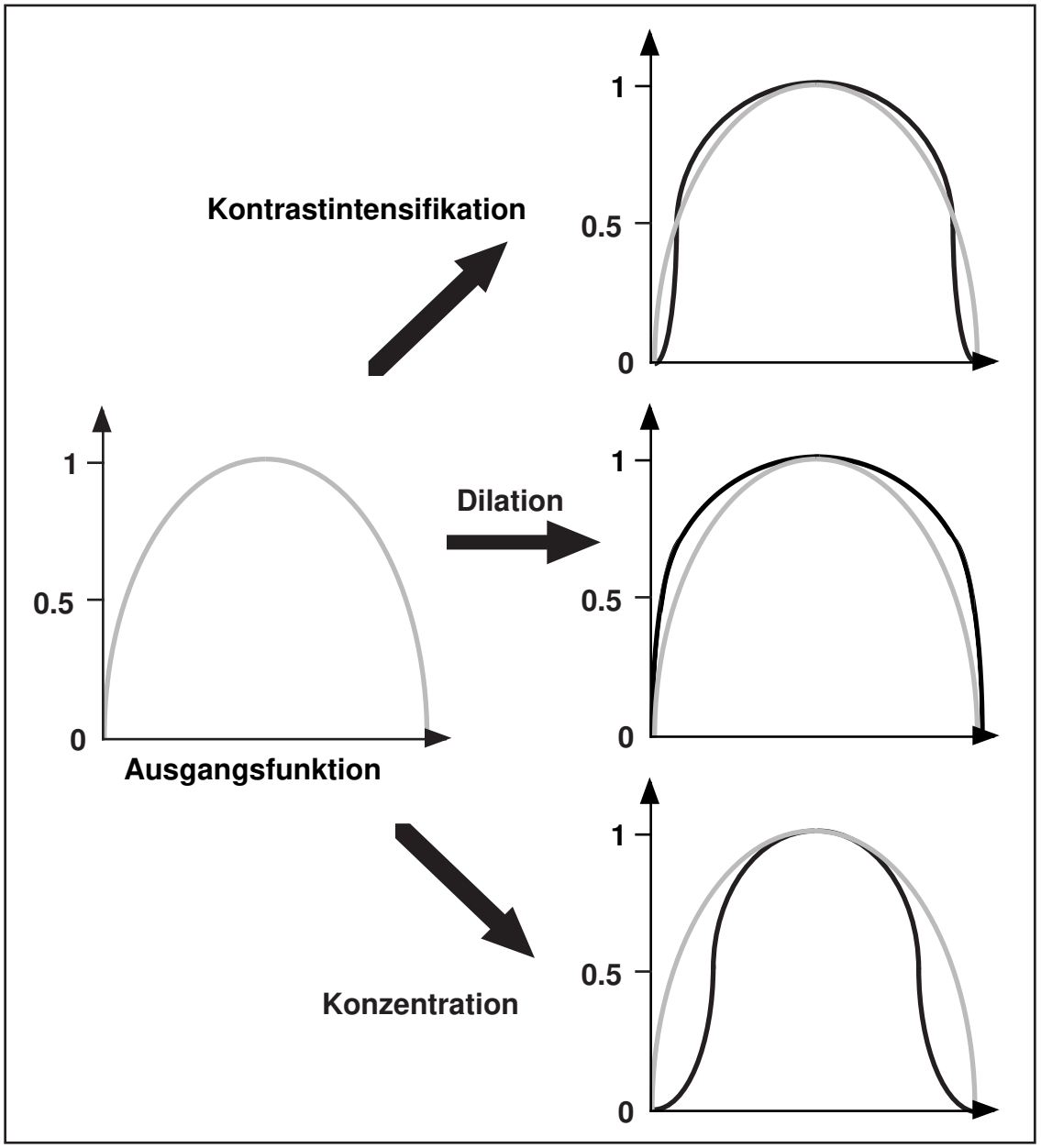

Abbildung 4.18: Auswirkungen einiger Modifikatoren auf Mengenzugehörigkeitsfunktion

Diese (eher mathematisch motivierten) Überlegungen lassen sich leicht auf die sprachliche Ebene übertragen und liefern dann eine (grobe) Unterteilung der linguistischen Hecken in drei analoge Gruppen: *Konzentratoren, Dilatoren* und *Kontrastintensifikatoren.* Diese bewirken entsprechend die Beschränkung auf den Kernbereich eines Konzepts, die Ausweitung über diesen Bereich hinaus bzw. die Verstärkung eher zutreffender Bereiche und die Abschwächung weniger zutreffender Bereiche. Hierzu ist anzumerken, daß der der Tabelle 4.3 zu entnehmende Umstand, daß die Dilation die exakte Umkehrfunktion der Konzentration sei, auf die Tatsache zurückzuführen ist, daß es sich dabei um stark idealisierte Funktionen handelt. In der natürlichen Sprache ist davon auszugehen, daß Effekte der Konzentration bzw. Dilation in unterschiedlicher Stärke anzutreffen sind und desweiteren wohl nur in den seltensten Fällen ein exaktes Antonym zu einem bestimmten Heckenausdruck existiert.

Ein weiteres Problem ergibt sich bei der konkreten Realisierung einzelner Hecken. Denn obwohl beispielsweise "höchst" und "extrem" eine ähnliche Funktion haben (können), sind sie jedoch keineswegs vollständig synonym zu gebrauchen. Darüber hinaus sind beide nicht auf die gleiche Menge von Prädikaten anwendbar (vergleiche etwa "~~höchst hoch~~" und "extrem hoch"). Auch die Klassifikation von "ziemlich" als Dilationsoperator ist bedenklich, kann diese Hecke doch sowohl zum Ausdruck von größerer Vagheit als auch zur Markierung von Extremfällen verwendet werden (vgl. Satz (1) und (2)). Das deutet schon darauf hin, daß diese Untergliederung ebenso wie die in *Unschärfe-* und *Schärfeindikatoren* [Kolde 86] zu simpel ist (vgl. Abschnitt 4.1.4), um eine adäquate Modellierung linguistischer Hecken zu gewährleisten.

(1) Für einen Diesel ist er *ziemlich* schnell. (Vagheit)

(2) Das ging ja *zíemlich* schnell! (Verstärkung)

4.1.2 Funktional-mathematische Klassifikation

Der von Zimmermann vorgeschlagene Ansatz ist (auf mathematischer Ebene) eine Vereinfachung der in [Zadeh 72] und [Lakoff 73] konzipierten Klassifikation. Dort werden zum einen weitere Grundfunktionen wie die (De-)Akzentuierung, die Träger- und die Grad-Fuzzifizierung[11] (vgl. [Zadeh 72]) präsentiert, und zum anderen eine Aufteilung der linguistischen Hecken anhand der Komplexität der zu ihrer Modellierung nötigen Funktionen vorgeschlagen. Zadeh unterscheidet hierbei zwischen Hecken vom Typ I und II: Läßt sich die durch die Hecke bewirkte Bedeutungsveränderung hinreichend gut durch die Anwendung eines Operators (wie z.B. die in Tabelle 4.3 dargestellten) auf eine einfache Zugehörigkeitsfunktion realisieren, so ist die Hecke vom Typ I. Bedarf es hingegen der Anwendung einer komplexen Menge von Operatoren auf eine Schar von Zugehörigkeitsfunktionen, die ihrerseits wiederum auf unscharfen Menge operieren können, so ist die Hecke von Typ II:

[11] Diese Funktionen sind insofern irrelevant für diese Arbeit, als daß die Akzentuierung bzw. Deakzentuierung lediglich abgeschwächte Varianten der Konzentration bzw. Dilation sind und deshalb unter diese subsumiert werden können. Träger- und Gradfuzzifizierungen hingegen verändern den Ergebnistyp. Dies ist für die Weiterverwendung von (Zwischen-)Ergebnissen abträglich, weswegen sie für die vorgeschlagene Implementation ungeeignet sind.

"This suggests that hedges be divided into two somewhat fuzzy categories, which may be defined informally as follows.

Typ I. *Hedges in this category can be represented as operators acting on a fuzzy set. Typical hedges in this category are:* very, more or less, much, slightly, highly.

Typ II. *Hedges in this category require a description of how they act on the components of the operand. Typical hedges of this category are:* essentially, technically, actually, strictly, in a sense, practically, virtually, regular *etc.*

[Zadeh 72]

Diese Unterteilung birgt jedoch einige Probleme. [Lakoff 73] bemerkt beispielsweise, daß viele der Hecken, die Zadeh als Typ I charakterisiert, entweder doch auf verschiedene Bedeutungskomponenten unterschiedlich einwirken (und damit vom Typ II sind), oder sich ihre Auswirkung ändert, je nachdem auf welches Prädikat sie angewendet werden. Hinzu kommt, daß einige Hecken zur korrekten Modellierung einer Translation des Wertebereichs - nicht des Bildbereichs - der Funktion bedürfen. Insbesondere für *sehr* existieren verschiedene empirische Belege (vgl. [Kochen & Badre 74], [Hersh & Caramazza 76] und [Zimmermann 91]), daß die bewirkte Bedeutungsveränderung eher durch eine Verschiebung wiedergegeben wird als durch eine Verengung. Diese Translation ist aber in Zadehs Ansatz nicht realisierbar, da dort nur auf Funktionswerten operiert wird.

Eine Möglichkeit zur Überwindung dieser Schwierigkeiten wird in [Novák 89] vorgeschlagen. Der Autor bezieht sich zwar primär auf Hecken vom Typ I, sein Ansatz sollte aber prinzipiell auch auf Typ II-Hecken übertragbar sein. Die Grundidee besteht dabei darin, eine zweistufige Modifikation einzuführen, wobei zur Anwendung einer Modifikationsfunktion u auf den Funktionswert noch die einer zweiten Funktion v auf den Ausgangswert hinzukommt:

$$u : [0;1] \times [0;1] \rightarrow [0;1], v : \Omega \rightarrow \Omega \quad mit \quad \forall x \in \Omega : \quad AG_{gesamt}(x) = u(AG(v(x)))$$

Um den unterschiedlichen Auswirkungen desselben Heckenausdruckes gerecht zu werden, regt Novák außerdem die Berücksichtigung der inhärenten Ordnung verschiedener Konzepte an (vgl. [Novák 89] , ausformuliert in [Biewer 97]). Besitzt ein Konzept eine solche Ordnung (wie z.B. das der Körpergröße), so läßt sich ein *semantisches Zentrum* finden (etwa Normalgröße), um das sich die Ausdrücke zur Beschreibung dieser Qualität gruppieren. Je nach "Lage" des entsprechenden Ausdrucks, kann dann die Modifikation gewählt werden, die eine Hecke auf Vertreter dieser Ausrichtung hat. Für das Konzept Körpergröße würde dies beispielsweise bedeuten, daß die Anwendung von `sehr` auf `groß` eine Verschiebung nach rechts bewirkt, da `groß` "rechts" vom semantischen Zentrum liegt. (Das semantische Zentrum könnte in diesem Beispiel etwa die Durchschnittsgröße sein.) Die Kombination von `sehr` und `klein` hingegen würde aber durch eine Translation nach links realisiert werden, weil `klein` als Antonym von `groß` entsprechend auf der anderen Seite des semantischen Zentrum liegt.

4.1.3 Klassifikation nach kognitivem Aufwand

Ein weitere Möglichkeit der Untergliederung der linguistischen Hecken ist gemäß dem *kognitiven Aufwand*, den ihre jeweilige Generierung verlangt. Ordnet man beispielsweise die Gewißheitsindikatoren (vgl. Abschnitt 4.1.4) den Hecken zu, so ist es gut vorstellbar, daß unter der Annahme begrenzter Ressourcen (z.B. verfügbare Zeit, Darbietungsdauer, Sichtverhältnisse) Sätze wie:

Das Auto steht wohl *links von der Kreuzung.*

generiert werden können. Mit "wohl" kann dann die verminderte Gewißheit der Aussage (weil beispielsweise Nebel die Sicht behindert) zum Ausdruck gebracht werden. Damit kann also explizit die Sicherheit bzw. das Vertrauen in das Zustandekommen der Aussage bzw. in ihre Anwendbarkeit ausgedrückt werden. Andererseits steht zu vermuten, daß andere Hecken - etwa solche, die zur Präzisierung von Beschreibungen dienen - einen höheren kognitiven Aufwand erfordern, da zu ihre Analyse bzw. Generierung mehr Information berücksichtigt werden bzw. eingehender betrachtet werden müssen. Dies hängt jedoch von dem zugrundeliegenden Prozeßmodell ab. Dadurch wird u. a. festgelegt, ob die Verwendung einer linguistischen Hecke als reiner Lexikonzugriff gewertet wird (und der Mehraufwand einer "genaueren" Berechnung der Grundaussage zugeschrieben wird) oder als eigenständiger Auswahlprozeß betrachtet wird.

Eine solche Klassifikation zieht jedoch zwei wesentliche Schwierigkeiten nach sich. Zum einen besteht ein starkes Abgrenzungsproblem gegenüber anderen Phänomenen, die zur Erklärung des jeweiligen kognitiven Aufwandes herangezogen werden könnten. Zum anderen wird zwar die Verwendung von Hecken zuweilen als Indiz für eine zusätzliche "Anstrengung" gesehen (vgl. [Franklin et. al 95]), aber inwiefern es auch Hecken gibt, die ohne Zusatzaufwand generiert werden können, ist ungeklärt.

4.1.4 Linguistische Klassifikation

Eine umfassende linguistische Klassifizierung aller linguistischen Hecken liegt ob ihres Umfangs außerhalb des Rahmens dieser Arbeit (vgl. auch die Einleitung dieses Kapitels). Dennoch soll versucht werden, zumindest das "nähere linguistische Umfeld" der exemplarisch realisierten Implementation (vgl. Abschnitt 5.5) des vorgeschlagenen Modells grob zu kategorisieren. Die Komplexität der dabei entstandenen Untergliederung kann als Hinweis auf die noch zu leistende linguistische Arbeit dienen. Die in Abbildung 4.19 zu sehende Hierarchie berücksichtigt Ergebnisse aus [Kolde 86], [Helbig 90] und [Helbig & Helbig 90]. Bei der Betrachtung der darin abgebildeten Klassifikation sind zwei Dinge zu beachten: Zum einen wird für keine der Hierarchiestufen der Anspruch der Vollständigkeit erhoben. Außer den Gruppen, die von geringerer Bedeutung für den raumbezogenen Dialog sind und deshalb weggelassen wurden, gibt es wahrscheinlich noch weitere, um die zumindest einige der Ebenen erweitert werden müssen. Zum anderen steht durchaus zu vermuten, daß die Untergliederung zu grob ist und daß einige Gruppen Elemente enthalten, die nicht zu den linguistischen Hecken gezählt werden bzw. auch andere Funktionen erfüllen können.

Die gesamte Klassifikation wird schließlich noch durch den Umstand erschwert, daß die meisten der Lexeme, die als Partikeln verwendet werden, zusätzlich noch in anderen Wortklassen bzw. anderen Subklassen vorkommen können. Außerdem ist es möglich, daß ein Lexem homonym (oder zumindest homograph) in unterschiedlicher Funktion in derselben Subklasse enthalten ist. Oft ist dann nur noch mit Hilfe von Betonungsunterschieden eine Zuordnung möglich - wenn überhaupt. Die folgenden Beispielsätze verdeutlichen die Problematik:

(3) Die Arbeit kostet *eben* viel Zeit. (Abtönungspartikel)
(4) *Eben* diesen Mann habe ich getroffen. (Gradpartikel)
(5) A: Er hat uns den Besuch versprochen.
B: *Eben.* (Antwortpartikel)

(6) Er ist *eben* krank. [im Sinne von: wir können es nicht ändern] (Abtönungspartikel)
(7) Der Zug ist *eben* angekommen. [im Sinne von: soeben] (Adverb)

(8) Wo wóhnst du *denn*? (Abtönungspartikel)
(9) Wo wohnst du *dénn*? [wenn nicht am angenommenen Ort] (Abtönungspartikel)

nach [Helbig 90]

Grundsätzlich kann man die "Wortgruppe" der Heckenausdrücke in vier Unterklassen einteilen: *verbale, nonverbale* und *paraverbale Heckenausdrücke*, sowie *spezifische Akzentmuster.* (Mangels eines besseren Begriffs wird auch weiterhin *Heckenausdruck* oder *linguistische Hecke* synonym als Bezeichnung für alle Phänomene verwendet, die im Sinne der in der Einleitung dieses Kapitels angeführten Definitionen als bedeutungsmodifizierende Operatoren fungieren können. Angesichts beispielsweise von non- und paraverbaler Operatoren stellt sich die Frage nach einem angemesseneren Oberbegriff.) Als Beispiele für non- bzw. paraverbale Signale mit Heckenfunktion wären etwa Augenzwinkern oder Zögerphänomene zu nennen (vgl. [Kolde 86]). Durch Akzentuierung bestimmter Satzteile bzw. Worte sind ebenfalls Auswirkungen zu erzielen, die denen von anderen linguistischen Hecken entsprechen (vgl. [Bolinger 72]). Zur Verdeutlichung mögen die Sätze (10) und (10) dienen: Durch die Betonung des Wortes *genau* im Satz(11) wird gegenüber der in Satz (11) unbetonten Verwendung eine weitere Verstärkung im Sinne von *sehr genau* erreicht.

(10) Der Apfelbaum steht genaù links von der Scheune.

(11) Der Apfelbaum steht genaú links von der Scheune.

Auf der nächsttieferen Hierarchiestufe lassen sich die verbalen Heckenausdrücke untergliedern in *Adjektive, Satzfragmente, zusammengesetzte Hecken, Modalwörter* und *Partikeln.* Für die Adjektive stellt sich allgemein die Frage, ob man sie nicht grundsätzlich schon unter den Hecken einordnen sollte: Ihre Hauptaufgabe, die in der Kommentierung von anderen Wörtern liegt, entspricht eigentlich schon der, die man schlechthin den Hecken zuordnet (vgl. [Kolde 86]). Das macht aber im Hinblick auf eine Eingrenzung der linguistischen Hecken wenig Sinn. Es scheint also angebracht, sich auf wenige Vertreter dieser Wortgruppe zu beschränken. Da die exemplarisch realisierte Implementation keine Adjektive verwendet und der Versuch einer Abgrenzung der Hecken-Adjektive den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, wird auf sie hier nicht weiter eingegangen. Dasselbe trifft auch auf die Satzfragmente und eingeschränkt auch auf die zusammengesetzten Hecken zu.

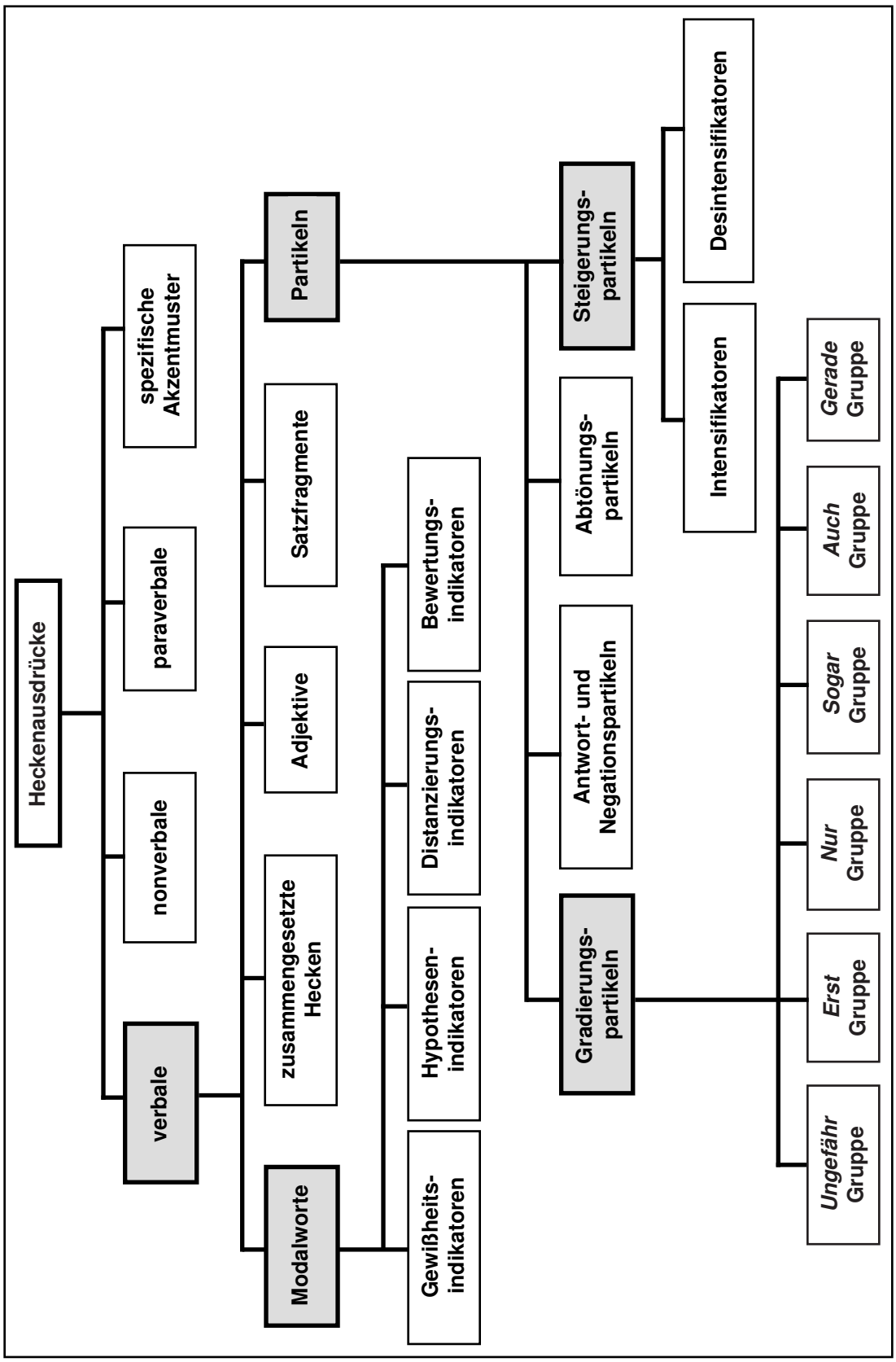

Abbildung 4.19: Linguistische Klassifikation von Heckenausdrücken

Letztere werden nur insofern betrachtet, als daß sie aus Kombinationen von Partikeln und bzw. oder Modalwörtern bestehen. Davon abgesehen ist die Subklasse der zusammengesetzten Hecken eigentlich auch eine rekursive Definition, unter der man die gesamte Hierarchie mehrfach (aber nicht unendlich oft[12]) anordnen könnte und die damit auch keiner weiteren Erläuterung bedarf. Ein Beispiel für die Heckenfunktion von Satzfragmenten gibt der Satz (12). Das Satzfragment bringt dabei zum Ausdruck, daß die Hauptaussage des Satzes nicht in vollem Maße zutrifft, möglicherweise sogar nur im übertragenen Sinne.

(12) Das Haus steht - *na ja, irgendwie jedenfalls* - rechts von der Kirche.

Die Modalwörter dienen zum Ausdruck der subjektiv-modalen Einstellung des Sprechers zu einer Aussage [Helbig & Helbig 90]. Sie stehen in gewisser Weise außerhalb der Satzstruktur und beziehen sich meist nicht auf einzelne Wörter sondern auf den ganzen Satz. Ihre Existenz als eigene Wortklasse ist jedoch nicht ganz unumstritten: Oft werden sie den Adverbien zugeordnet oder mit den Partikeln vermischt. Von ersteren unterscheidet sie jedoch vor allem ihre Stellung außerhalb der Satzglieder, für die Abgrenzung von letzteren sprechen mehrere Gründe. Zum einen fungieren die Modalwörter meist auf der Ebene ganzer Sätze, die Partikeln meist nur auf der einzelner Wörter bzw. Satzteile. Zum anderen ist die Klasse der Modalwörter homogen bzgl. ihrer Funktion: sie stellen semantisch Einstellungoperatoren dar und pragmatisch Kommentare. Die Partikeln hingegen erfüllen verschiedene Funktionen. Allein die Abtönungspartikeln (siehe weiter unten) sind von ihrer Funktion vergleichbar. Während Modalwörter aber Einstellungen zum Ausdruck bringen, ist die Aufgabe von Abtönungspartikeln eher einstellungs*regulierend.* (In dieser Funktion werden sie beispielsweise von [Kipper 95] eingehend untersucht. Dort sind auch empirische Befunde zu diesem Thema zu finden.) Beispiele für Modalwörter geben die Sätze (13)-(16).

(13) Das ist *offenkundig* eine Lüge!

(14) Das Haus war *vermutlich* zweigeschossig.

(15) Der Baum wurde *angeblich* gefällt.

(16) Sie ist *fälschlicherweise* links abgebogen.

Die Modalwörter selbst lassen sich weiter untergliedern in (u. a.) *Gewißheits-, Hypothesen-, Distanzierungs-* und *Bewertungsindikatoren.* Gewißheitsindikatoren dienen dazu, die "Sprecher-einstellung des Wissens gegenüber dem Gesagten" [Helbig & Helbig 90] zum Ausdruck zu bringen (vgl. Satz (13)). Durch Hypothesenindikatoren kann hingegen die Einstellung des Sprechers bzgl. des Glaubens gegenüber einer Aussage dargestellt werden (vgl. Satz (14)). Ist die Intention, sich von der Äußerung anderer zu distanzieren bzw. Zweifel gegenüber dem Zutreffen der entsprechenden Aussage vorzubringen, kann sich der Distanzierungsindikatoren bedient werden (vgl. Satz (15)). Durch Bewertungsindikatoren kann ein Sprecher seine rationale und qualitative Bewertung eines Sachverhalts zum Ausdruck bringen (vgl. Satz (16)). Man kann auch noch eine fünfte Subklasse

[12]In der Alltagssprache gibt es zum einen keine *unendlichen* Phänomene, zum anderen werden lange Aneinanderreihungen von linguistischen Hecken ("es war *sehr außerordentlich extrem* grün") vermieden, da der erzielte Effekt mit der Anzahl der Hecken stark abnimmt und die Länge der Aussage in zunehmend ungünstigem Verhältnis zum zu verbalisierenden Sinn steht.

einführen, die der *Emotiva*. Diese beinhaltet dann Wörter, die zur Darstellung der gefühlsmäßigen Einstellung gegenüber dem Gesagten dienen (z. B. "leider", "erfreulicherweise"). Im Hinblick auf die Realisierung im Rechner ist diese Gruppe jedoch z. Z. von geringerer Bedeutung, weswegen sie hier nicht weiter betrachtet wird.

Die Wortklasse der *Partikeln* nimmt eine gewisse Sonderstellung ein. Zum einen treten diese Wörter in der (deutschen) Alltagssprache sehr häufig auf. Zählungen [Weydt 69] haben beispielsweise ergeben, daß auf 100 deutsche Gesamtworte 13 Partikeln entfallen (im Vergleich zu 7 auf 100 französische Gesamtworte). Dies mag ob der "relativen Bedeutungsarmut" [Helbig 90] der Partikeln zunächst verwundern, betrachtet man sie jedoch genauer, zeigt sich, daß durch sie oft wichtige kommunikative Nuancen ausgedrückt werden. Neben der Funktion als Hecke, dienen viele Partikeln auch der Flüssigkeit und Verbindlichkeit der Sprache; durch sie kann ein bestimmtes "Gesprächsklima" geschaffen werden, daß für Verlauf und Bedeutung eines Gesprächs entscheidend sein kann (vgl. [Weydt 83]).

Zum anderen existieren zumindest vier verschiedene Definitionen für den Begriff *Partikel* (vgl. [Helbig 90]). Die erste faßt *alle unflektierbaren Wörter* als Partikeln auf, also alle Wörter, die weder konjugierbar noch deklinierbar noch komparierbar sind. Nach dieser Definition fallen aber auch Konjunktionen, Präpositionen, Adverbien, Modalwörter und einige andere unter den Oberbegriff der Partikeln. Eine etwas engere, zweite Definition versteht unter Partikeln nur die folgenden unflektierbaren Wörter: *Negationspartikeln, Modalwörter* und *"modale"* bzw. *"emotional-expressive Partikeln"*. Dabei bleiben die Adverbien (zumindest teilweise) als Klassenmitglieder erhalten. Die dritte Definition schränkt die Partikeln noch weiter ein auf "solche morphologisch unflektierbaren Wörter, die über keine solchen syntaktischen Funktionen verfügen, wie sie den Wörtern anderer unflektierbarer Wortklassen (z. B. den Adverbien, Modalwörtern, Präpositionen und Konjunktionen) zukommen" [Helbig 90]. Diese Definition liegt auch der in Abbildung 4.19 dargestellten Subklassifizierung der Partikeln zugrunde. Die Wortgruppe läßt sich jedoch noch weiter einschränken: nach der vierten Definition werden Partikeln lediglich als die "Restgruppe" der unflektierbaren Wörter verstanden, die weder Fügteilcharakter haben noch einen Wert im Satz, Satzglied oder Satzteilglied besitzen. Diese Einschränkung scheint aber weniger sinnvoll, da dafür beispielsweise die Gradpartikeln den Adverbien zugeordnet werden müssen, was diesen wegen ihres speziellen Charakters nicht vollends gerecht wird.

Folgt man der dritten Definition, lassen sich die Partikeln wiederum in folgende Unterklassen (u. a.) gliedern: *Gradierungs-, Abtönungs-, Steigerungs-* und *Antwort- und Negationspartikeln.*[13] (Statt des Begriffs *Gradierungspartikel* wird häufig synonym auch *"Gradpartikel"* verwendet.) Hauptfunktion von Gradierungspartikeln - typische Beispiele sind etwa "nur", "auch", "besonders" - ist das Hinzufügen einer Quantifizierung bzw. Skalierung (und damit auch einer bestimmten Präsupposition bzw. Implikation). Diese semantische Wirkung (vgl. Satz (17)) läßt jedoch den Wahrheitsgehalt der Grundaussage unverändert. Die Gruppe der Abtönungspartikeln wiederum ist hauptsächlich von kommunikativer Natur: Durch sie wird meist die Stellung des Sprechers zum Gesagten (bzw. zu Teilen des Gesagten) ausgedrückt. Beispiele hierfür sind: "bloß", "immerhin" und "vielleicht" (vgl. auch Satz (18)). Dahingegen liegt die Hauptfunktion der Steigerungspartikeln

[13] Als weitere Subklasse wird i. a. noch die *Infinitivpartikel* **zu** genannt. Da ihre Funktion aber allein die eines syntaktischen Signals (Anzeige des Infinitiv) ist, ist sie hier nicht von Belang.

auf semantischer Ebene. Ebenso wie bei den Gradpartikeln wird hierbei jedoch nicht die Grundbedeutung alterniert, sonder lediglich der Grad der beschriebenen Eigenschaft angegeben oder modifiziert. Da diese Modifikation meist entweder verstärkend oder abschwächend ist, macht es Sinn, die Gradpartikeln in *Intensifikatoren* und *Desintensifikatoren* zu subklassifizieren (vgl. Satz (19) bis (21)).

(17) *Nur* rechts von der Villa stehen Bäume.
(Präsupposition: In keiner Richtung außer rechts von der Villa stehen Bäume.)

(18) *Immerhin* hat er es versucht.
(Der Sprecher bringt Anerkennung zum Ausdruck.)

(19) Das Haus ist groß.
(20) Das Haus ist *sehr* groß.
(21) Das Haus ist *ziemlich* groß.

Die Anwort- und Negationspartikeln heben sich aufgrund mehrerer Sachverhalte von den anderen Partikeln ab. Zum einen umfassen diese Subklassen nur sehr wenige Elemente, zum anderen werden durch sie Funktionen erfüllt, die sich deutlich von denen der anderen Partikeln unterscheiden: Die Antwortpartikeln stehen meist isoliert außerhalb des Satzverbandes, im Gegensatz zu den anderen Partikeln, die trotz ihrer Sonderstellung doch der Einbettung bedürfen und nicht alleine stehen können. Beispiele für Anwortpartikeln sind etwa "ja", "nein", "doch", "eben". Die Negationspartikel "nicht" andererseits unterscheidet sich gleich in mehrerlei Hinsicht von allen anderen Partikeln: zum einen ist ihre Wirkung eine grundlegend semantische, die in der Negation des Aussage besteht. Der Wahrheitsgehalt wird also invertiert. Damit ist "nicht" nicht weglaßbar, ohne die Semantik eines Satzes zu verändern. Zum anderen ist sowohl eine lokale als auch eine globale Negation möglich. Diese Umstände zusammen mit dem homonymen Abtönungspartikel führen dazu, daß die Modellierung von "nicht" außerordentlich schwierig ist (vgl. Abschnitt 4.1.5)

Auf der untersten Stufe der Hierarchie der Heckenausdrücke lassen sich die Gradierungspartikel weiter unterteilen. Man kann sechs Unterklassen unterscheiden, die nach einem jeweiligen typischen Vertreter als *Ungefähr-, Erst-, Nur-, Sogar-, Auch-* und *Gerade-Gruppe* bezeichnet werden. Die Mitglieder der Ungefähr-Gruppe drücken eine Auflockerung der Genauigkeitsbeschränkungen aus und schließen damit andere Werte mit ein, die unter restriktiveren Bedingungen ausgeschlossen wären (vgl. Satz (22)). Die Partikeln der Erst-Gruppe erfüllen eine hauptsächlich temporale Funktion, indem sie eine zeitliche erwartete Einordnung beschreiben und mit einer korrigierten bzw. tatsächlichen kontrastieren. Dies kann allerdings als Skalierung interpretiert werden (vgl. Satz (23)). Die Elemente der Nur-Gruppe bewirken eine Restringierung der Einschlußkriterien für die mit ihnen versehenen Konzepte. Durch ihre Verwendung werden explizit andere Möglichkeiten ausgeschlossen (vgl. Satz (24)).

(22) Er ist *fast* oben.

(23) Das Auto ist *schon* links.

(24) Der Wald enthält *nur* Nadelbäume.

Die Partikeln der Sogar-Gruppe haben zum einen eine hervorhebende Wirkung, zum anderen implizieren sie den Einschluß von anderen, auf der entsprechenden Skala tiefer angesiedelten Elementen als dem bezeichneten (vgl. Satz (25)). Die Auch-Gruppe enthält Wörter, die eine ähnliche Wirkung besitzen. Im Gegensatz zu den Elementen der Sogar-Gruppe, bewirken Partikeln der Auch-Gruppe allerdings keine Hervorhebung und sind wertungsfrei, sie bringen aber ebenso eine Inklusion (im Sinne einer Hinzufügung) zum Ausdruck (vgl. Satz (26)).

(25) Diese Bakterien können *selbst* bei 200° C überleben.

(26) Sie ist *auch* eine gute Mathematikerin.

(27) Der Apfelbaum befindet sich *genau* hinter der Laube.

Die Gerade-Gruppe beinhaltet Partikel, mit denen zum einen eine Heraushebung ausgedrückt werden kann, und zum anderen ein (leicht eingeschränktes) exklusives Zutreffen der entsprechenden Aussage verbalisiert werden kann (vgl. Satz (27)). In Tabelle 4.4 sind die einzelnen Gruppe noch einmal zusammengefaßt und jeweils weitere Beispiele aufgeführt.

Subklasse	Beispiele
Nur-Gruppe	nur, bloß, lediglich, allein, ausschließlich, einzig
Auch-Gruppe	auch, ebenfalls, ebenso, gleichfalls
Sogar-Gruppe	sogar, selbst, nicht einmal
Gerade-Gruppe	gerade, genau, eben, ausgerechnet, insbesondere, wenigstens, zumindest
Erst-Gruppe	erst, schon, noch
Ungefähr-Gruppe	ungefähr, etwa, vielleicht, fast, beinahe, nahezu

Tabelle 4.4: Binnenklassifikation der Gradpartikeln mit Beispielen (nach [Helbig 90])

4.1.5 Ausnahmefall Negationspartikel

Die Negationspartikel "nicht" verdient in mehrerlei Hinsicht besondere Beachtung. Zum einen ist seine linguistische Einordnung unter die Partikeln (vgl. Abschnitt 4.1.4) umstritten, zum anderen ist seine Modellierung schwierig. Im allgemeinen wird diese durch eine einfache Inversion der entsprechenden Werte realisiert, was für die verschiedenen Wirkungen von "nicht" unzureichend ist: Wie bereits erwähnt, sind sowohl lokale (vgl. Satz (28)) als auch globale (vgl. Satz (29)) Negationen möglich - mit jeweils unterschiedlichem Wirkungsbereich.

Die Unterscheidung zwischen beiden Anwendungsmöglichkeiten ist problematisch, da hierzu ein kompliziertes Regelwerk nötig ist, das sich an der syntaktischen Stellung orientiert [Helbig & Buscha 84]. Zudem erschwert die Verwendung desselben Lexems als Abtönungspartikel (vgl. Satz (30)) die Analyse. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die praktische Realisierung einer Komponente zur Behandlung der Negationspartikel sehr komplex ist, und daß deshalb meist eine grobe Approximation durch Inversion verwendet wird.

(28) Der Mann ist *nicht* hier! (Negation der Gesamtaussage)

(29) *Nicht* die Frau erstand das Objekt. (Negation einer Komponente)

(30) Was der Artist *nicht* alles kánn! (Abtönungspartikel)

4.2 Bisherige Modellierungsansätze

Bis dato existieren verschiedene Modellierungsansätze für linguistische Hecken. Ihnen ist gemein, daß primär solche Hecken behandelt werden, die eine *Gradierung* ausdrücken, bzw. sie modifizieren. Die grundlegenden Arbeiten in diesem Bereich stammen von L. A. Zadeh und Lakoff (vgl. Abschnitt 4.2.1). Auf diesen basiert auch der Ansatz von Hanßmann (vgl. Abschnitt 4.2.2), der einzige der erwähnten ist, der sich explizit mit räumlichen Relationen auseinandersetzt. Neuere Arbeiten auf dem Gebiet der Modellierung linguistischer Hecken sind rar. Bouchon-Meunier (Abschnitt 4.2.3) und Cleeren et. al. (Abschnitt 4.2.4) sind Vertreter dieser kleinen Gruppe.

4.2.1 Lakoff/Zadeh: Fuzzy-Mengen-Operatoren

Das in [Zadeh 72] und [Lakoff 73] vorgeschlagene Modell ist nach wie vor das bekannteste und wird auch in neueren Arbeiten häufig zitiert. Der in Abschnitt 4.2.2 vorgestellte Modellierungsvorschlag beruht ebenso auf Zadehs Gedanken wie auch viele in der Steuertechnik und anderen Anwendungsgebieten der Fuzzy Logik arbeitenden Systemen. Die zentrale Idee des aus der Fuzzy Mengentheorie (vgl. Abschnitt 2.3) stammenden Ansatzes ist die Interpretation von linguistischen Hecken als Modifikatoren über unscharfen Mengen. Diese Modifikatoren wiederum sind aus atomaren Modifikationsoperatoren (wie den in Tabelle 4.3 dargestellten) zusammengesetzt:

> *"The point [...] is that a hedge, h, may be interpreted as an operator, with operand u, which transforms a fuzzy subset M(u) of U into the subset M(hu). To characterize this operator, it is convenient to define several primitive operations on fuzzy sets from which more complicated operators such as hedges may be built up by composition."*
>
> [Zadeh 72]

Orthogonal zu der Unterteilung in Hecken von Typ I und II (vgl. Abschnitt 4.1.2), schlägt Lakoff nach der Untersuchung verschiedener (nicht gradierend wirkender) Hecken, eine Unterscheidung in vier Kriterientypen für die Kategoriezugehörigkeit vor. (Genau wie Zadeh betrachtet er linguistische Hecken vor allem im Zusammenhang mit der Modifikation, die ihre Anwendung auf die

Zugehörigkeit einer bestimmten Menge bzw. Kategorie hat.) Diese (laut Lakoff *mindestens*) vier Kriterientypen sind: *definierende, primäre, sekundäre* und *charakteristische aber inzidentielle* (vgl. Tabelle 4.5). Linguistische Hecken werden nun als mehrdimensionale Modifikatoren betrachtet, die aus primitiven Modifikationsoperatoren zusammengesetzt sind, aber auf mehrere Kriterientypen einwirken können.

Kriterientyp	Erläuterung
Definierend, primär, sekundär	kann (bis zu einem gewissen Grad) ausschlaggebend für die Kategoriezugehörigkeit sein, abhängig von verschiedenen Faktoren
Charakteristisch aber inzidentiell	kann nicht ausschlaggebend für die Kategoriezugehörigkeit sein, aber zum Grad der Zugehörigkeit beitragen, falls eine solche aufgrund anderer Faktoren besteht

Tabelle 4.5: Kriterientypen nach [Lakoff 73][14]

Diese Idee bietet einen ersten Ansatz für die Modellierung nicht rein gradierender Hecken, ermöglich aber auch eine genauere Behandlung von gradierenden Hecken. Als Beispiel für die Angemessenheit der Untergliederung in verschiedene Kriterientypen kann Satz (31) dienen: Durch die Hecke "genau genommen" wird in diesem Fall zum Ausdruck gebracht, daß ein Wal zwar definierende Kriterien für Säugetiere erfüllt (d.h. er säugt seine Jungen), aber wichtige andere nicht erfüllt (er hat zum Beispiel keine vier Beine). Dieser Umstand wäre mit der eher eindimensionalen Betrachtungsweise in [Zadeh 72] nicht realisierbar.

(31) *Genau genommen* ist ein Wal ein Säugetier.

Die großen Vorteile der von Lakoff und Zadeh vorgebrachten Ansätze liegen zum einen in ihrer Modularität und zum anderen in ihrer Einfachheit. Durch den Rückgriff auf primitive Modifikationsoperatoren können komplexere Hecken in weiten Grenzen modelliert werden und an empirische Befunde angepaßt werden. Beide Autoren weisen nachdrücklich darauf hin, daß die von ihnen verwendeten absoluten Faktoren und Exponenten ebenso wie die für die jeweiligen Hecken angeführten Modifikationsoperatoren im wesentlichen introspektiv gewählt wurden, und daher keineswegs als feststehende Daten verstanden werden sollten.

4.2.2 Hanßmann: SWYSS

Im Rahmen des Projekts SWYSS (Say What You See System) [Hußmann & Schefe 84] wurde von Hanßmann eine Teilkomponente entwickelt, die Anfragen zu dem Inhalt zweidimensionaler Szenen in deutscher Sprache beantworten kann [Hanßmann 80]. Obwohl der Schwerpunkt der Arbeit auf der Berechnung von Raumrelationen liegt, spielen doch linguistische Hecken eine

[14]Lakoff gelangt zu dieser Aufteilung über die Betrachtung verschiedener Hecken, erwähnt aber selbst, daß vermutlich noch weitere notwendig sind. Implizit geht er davon aus, daß die "Stärke" der Zugehörigkeitskriterien von den definierenden über die primären und sekundären hin abnimmt.

wichtige Rolle. Einige davon dienen nämlich, kombiniert mit dem Wort "anwendbar", als Verbalisierungshilfe für *vage Relationen*. Hanßmann schlägt vor, bestimmte Intervalle des Anwendbarkeitsgrads einer Relation durch Äußerungen der Form

"X <Relation> Y" ist <Hecke> anwendbar.

zu verbalisieren. Dabei steht *<Relation>* für die Verbalisierung einer Relation und *<Hecke>* für eine von neun linguistischen Hecken (vgl. Tabelle 4.6). Die verwendete Relation kann rekursiv wieder Hecken enthalten. Ein Beispiel für eine derartige Äußerung wäre etwa:

(32) *"X links von Y" ist nahezu anwendbar.*

Als Grund für die eher unnatürliche Formulierungen (im Gegesatz zu "X befindet sich nahezu links von Y") führt Hanßmann mehrere Gründe an. Zuerst beruft er sich auf eine empirische Untersuchung [Kochen & Badre 74], die belegt, daß eine Personengruppe größere Übereinstimmung in der Bewertung von Adjektiven zeigt, wenn sie ihre Anwendbarkeit anhand vager Ausdrücke wie "fast anwendbar" beurteilt, als wenn sie dies anhand einer Skala von numerischen Werten tut. Dem ist zweierlei entgegenzuhalten: Zum einen ist keineswegs gesichert, daß sich die numerischen Werte direkt auf die mit den entsprechenden Heckenausdrücken versehenen Adjektive umsetzen lassen. Eine darauf abzielende Untersuchung hätte vielmehr der mit Ausdrücken wie "fast anwendbar" aufgestellten Skala eine andere gegenüberstellen müssen, in der Adjektive direkt mit Hecken versehen wurden (wie z.B. "fast links"). Erst damit könnte man gegen die Verwendung von direkt mit einer Hecke versehenen Relation argumentieren. Zum anderen ließe sich durchaus argumentieren, daß Versuchspersonen bei der Beantwortung einer Frage wie "Ist X links von Y" mit Hilfe der im Versuch verwendeten Skala in Wirklichkeit lediglich der mit der entsprechenden Hecke versehenen Relation die höchste Anwendbarkeit zuordnen.

Als nächsten Punkt führt Hanßmann die Kontextabhängigkeit linguistischer Hecken an. Dazu gibt er zwei Beispiele (vgl. (33)-(35) und (36)-(37)). Im ersten Fall argumentiert er, daß auf die Anfrage (33) zwar die Anwort (34) möglich wäre, aber nicht (35). Während dies sicherlich korrekt ist, kann man dem doch entgegenhalten, daß für die Verbalisierung der entsprechenden Konstellation sicherlich eine andere Hecke (etwa "ziemlich") gewählt würde, und daß die Mehrfachanwendung derselben Hecke (und auch die Kombination verschiedener Hecken) ihre Probleme mit sich bringt.[15]

(33) *"Befindet sich X nahezu über Y?"*

(34) *"'X befindet sich nahezu über Y' ist nahezu anwendbar."*

(35) *"X befindet sich nahezu nahezu über Y."*

nach [Hanßmann 80]

---

[15]So kann man argumentieren, daß die zweite Anwendung einer Hecke einen schwächeren Effekt hat als die erste Vergleicht man beispielsweise "sehr klein" und "sehr sehr klein", ist die Bedeutungsveränderung von "klein" zu "sehr klein" wohl größer als die von "sehr klein" zu "sehr sehr klein".

Ausdruck (X ist ...)	Anwendbarkeit von (X ist ...) an der Stelle t
voll anwendbar	1, falls t = 1 0, sonst
nahezu anwendbar	0, falls t = 1 SFUNK(t, 1/2, 1), sonst
bis zu einem gewissen Grad anwendbar	0, falls t = 1 PFUNK(t, 1/3, 2/3), sonst
eher anwendbar als nicht anwendbar	nicht angegeben
teilweise anwendbar	PFUNK(t, 1/2, 1/2)
eher nicht anwendbar als anwendbar	nicht angegeben
bis zu einem gewissen Grad nicht anwendbar	0, falls t = 0 PFUNK(t, 1/3, 1/3), sonst
kaum anwendbar	0, falls t = 0 1 - SFUNK(t, 0, 1/2)
überhaupt nicht anwendbar	1, falls t = 0 0, sonst

Tabelle 4.6: Verbalisierung von Anwendbarkeitsgraden mit linguistische Hecken [Hanßmann 80]

Mit dem zweiten Beispiel argumentiert Hanßmann, daß durchaus nicht belegt sei, daß die Ausdrücke (36) und (37) gleichwertig sind. Vielmehr könne "nahezu über" etwa die Bedeutung von "schräg über" haben. Dasselbe kann man aber auch von Ausdruck (37) behaupten. Die Frage, welches Konzept Menschen bei der Generierung bzw. Verarbeitung der entsprechenden Ausdrücke betrachten (und inwiefern sich (36) und (37) damit unterscheiden), stellt sich auch für dieses Beispiel.

(36) *"nahezu über"*

(37) *"'über' ist nahezu anwendbar"*

nach [Hanßmann 80]

Als letztes Argument für die Verwendung von "anwendbar" mit Hecke führt Hanßmann an, daß durch die explizite Verbalisierung der Anwendbarkeit die Kontextabhängigkeit von linguistischen Hecken vermindert bzw. vermieden würde. Selbst wenn Anwendbarkeit ein eindeutig präzise definiertes Konzept wäre - was mehr als fraglich erscheint -, so sind dennoch viele Situationen vorstellbar, in denen der Kontext maßgeblich für die Bedeutung des entsprechenden Ausdrucks ist. Je nach vorausgegangenem Dialog, kann etwa der Satz (32) verschiedene Konstellationen beschreiben. Gingen etwa mehrere Lokalisierungen von X in Relation zu Y voraus, spielt die Schrittweite der Annäherung sowie die Startposition sicherlich eine wichtige Rolle in der Beurteilung von (32). Im Kontext einer ironischen Äußerung könnte (32) wiederum etwas völlig anderes beschreiben.

Desweiteren kann man hinterfragen, ob die vorgeschlagenen Abstufungen[16] von "anwendbar" (vgl. Tabelle 4.6) wirklich dem natürlichen Sprachgebrauch entsprechen. Zum einen ist durchaus nicht klar, daß etwa "bis zu einem gewissen Grad anwendbar" sich im gleichen Maße von "voll anwendbar" unterscheidet, wie "bis zu einem gewissen Grad nicht anwendbar" von "überhaupt nicht anwendbar". Die Subjektivität von "anwendbar" und die nicht gesicherte Auswirkung von "nicht" im Zusammenspiel mit anderen Heckenausdrücken lassen diese Schlußfolgerung zumindest fraglich erscheinen. Ebenso ist es schwer einzusehen, daß "volle" Anwendbarkeit nicht auch in einem kleinen Bereich um das jeweilige Extremum (zumindest bis zu einem gewissen Maß) erreicht wird.

Die dargebotene Skala scheint ob ihrer Konzeption dann auch eher von der mathematischen Seite motiviert denn von der sprachlichen. Zu der Eingrenzung auf die Extremwerte bei "voll" und "nicht anwendbar" gesellt sich die Frage, wie die vorgeschlagenen Überlappungen motiviert sind. Empirische Hinweise für Überlappungseffekte [Cleeren et al. 93] deuten eher darauf hin, daß die Grenzen zwischen *allen* mit Hecken ausdrückbaren Gradierungsbereichen unscharf sind.

4.2.3 Bouchon-Meunier: Kern- und Trägertranslationen

Auch der dritte hier vorgestellte Ansatz [Bouchon-Meunier 92] kommt aus dem Feld der Fuzzy-Mengentheorie. Linguistische Hecken werden hier unter dem Gesichtspunkt des *approximate reasoning* (unsicheren Schließens) betrachtet. Zur Modellierung von Hecken wird hier auf Funktionen zurückgegriffen, die den Kern und/oder den Träger (vgl. Abschnitt 2.3) einer Menge modifizieren bzw. eine Translation bewirken. Im einzelnen werden die Hecken "approximately", "rather", "about", "really" und "relatively" betrachtet (etwa: "annäherungsweise", "eher", "ungefähr", "wirklich" und "relativ"). Dabei wird "rather" als Erweiterung des Trägers modelliert, "approximately" als Erweiterung des Kerns und "about" als Erweiterung sowohl des Kerns als auch des Trägers (vgl. Abbildung 4.20). Analog zu den in Abschnitt 4.1 vorgestellten Klassifikationsmöglichkeiten werden diese Beispiele den "verstärkenden" bzw. "abschwächenden" Modifikatoren zugeordnet.

Neu hingegen ist die Gruppe der *ambivalenten* Modifikatoren, die am Beispiel von "relatively" und "really" betrachtet werden. Deren Modellierung erfolgt durch Translation relativ zum semantischen Zentrum des mit der jeweiligen Hecke versehenen Konzeptes. "Really" wird dabei als Translation vom semantischen Zentrum weg modelliert, "relatively" als Translation auf das Zentrum zu. Das in Abbildung 4.21 zu sehende Beispiel könnte etwa die Zugehörigkeitsfunktionen für unterschiedliche Bezeichnungen[17] für Körpergröße sowie die Auswirkung der zwei Hecken darstellen.

---

[16]Tatsächlich definiert Hanßmann zur Abbildung verschiedener (primärer) Anwendbarkeitsgrade auf bestimmte mit Hecken versehene Ausdrücke Fuzzy-Mengenzugehörigkeitsfunktionen, die einen sekundären Anwendbarkeitsgrad berechnen. Dieser gibt dann an, in welchem Maß ein bestimmter Heckenausdruck zur Verbalisierung bestimmter (primärer) Anwendbarkeitsgrade geeignet ist.

[17]Von links nach rechts wären die jeweiligen Begriffe: winzig, klein, mittel, groß, riesig.

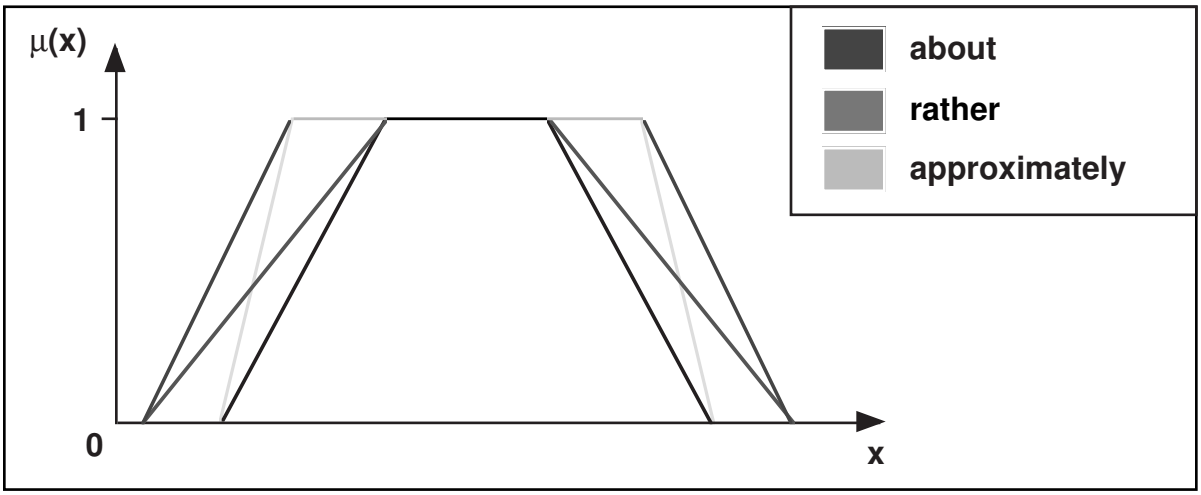

Abbildung 4.20: Hecken als Kern- bzw. Trägererweiterung [Bouchon-Meunier 92]

Zu beachten ist dabei, daß nach Bouchon-Meunier auf Konzepte, die im (bzw. nahe um das) semantischen Zentrum liegen, die beiden durch Translation realisierten Hecken nicht anwendbar sind. Darüber hinaus betont sie bei "really" und ″relatively" die Kontextabhängigkeit ihrer Wirkung. Wie auch [Biewer 97] anmerkt, besteht bei dieser Modellierung, speziell von "really" und "about", das Problem der Abgrenzung gegenüber sinnverwandten Wörtern (z. B. "very", "more or less").

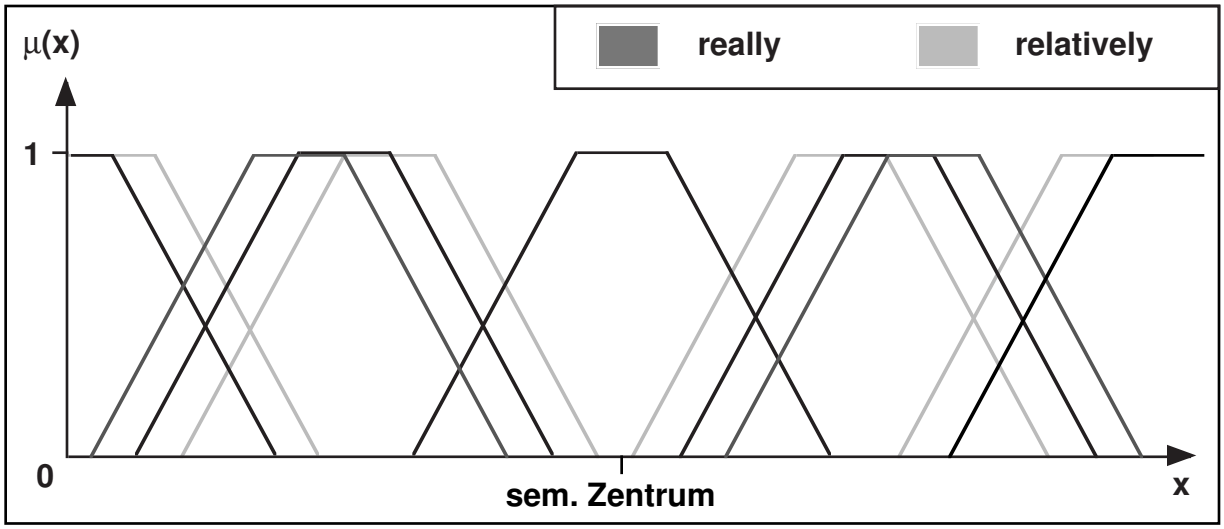

Abbildung 4.21: Hecken als Translationsoperatoren [Bouchon-Meunier 92]

4.2.4 Cleeren et al.: Prämodifikation

Im Anschluß an eine Studie, in der eine (nicht genannte) Anzahl von Studenten einige Fragen zur Bewertung von gradierten Adjektiven beantworten mußten, entwarfen [Cleeren et al. 93] einen Modellierungsansatz, mit dem es ihnen gelang, die zuvor gewonnenen Ergebnisse gut zu approximieren. Dabei verwendeten sie eine abschnittsweise definierte, lineare Prämodifikationsfunktion, die eine weitreichende Modifikation von Fuzzy-Mengenzugehörigkeitsfunktionen (FMZF)

erlaubt (vgl. Abbildung. 4.22). Definiert wird sie durch drei Faktoren: den linken Abweichungswinkel $\mathbf{h_1}$, den rechten Abweichungswinkel $\mathbf{h_2}$ und den Neutralpunkttranslator **M**. Durch die Anwendung der anhand dieser Faktoren erstellten Funktion auf eine FMZF kann sowohl deren Neutralpunkt nach links oder rechts verschoben werden (durch ein entsprechend gewähltes **M**), als auch die Steigung der Kurve links bzw. rechts vom Neutralpunkt erhöht bzw. vermindert werden (mit Hilfe von $\mathbf{h_1}$ bzw. $\mathbf{h_2}$).

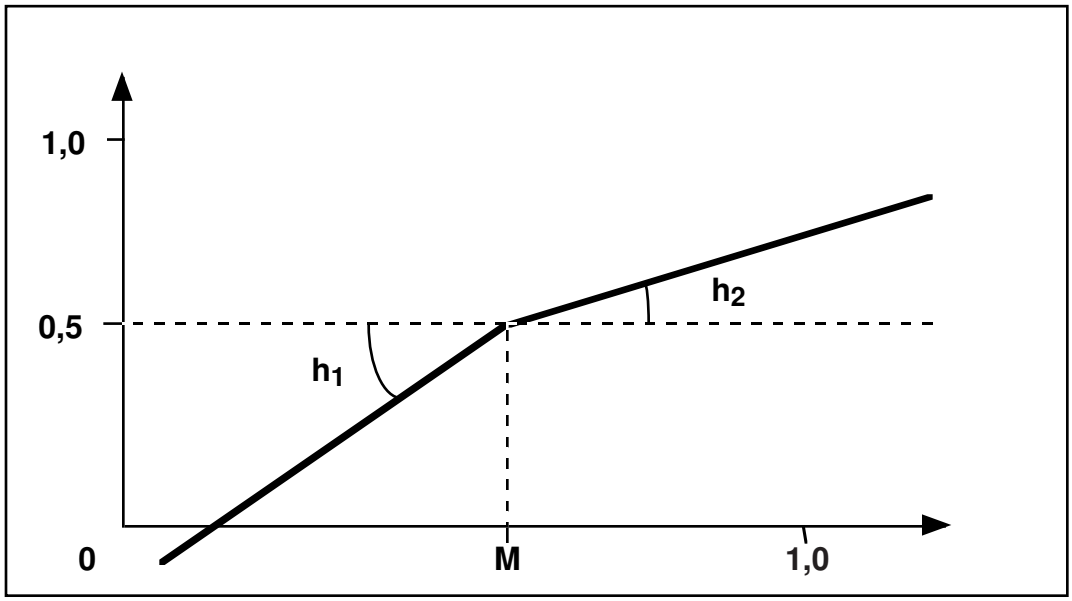

Abbildung 4.22: Prämodifikation nach [Cleeren et al. 93]

Für die im Experiment verwendeten Adjektive ergaben sich die in Tabelle 4.7 nachzulesenden Werte. (In der Tabelle stehen *pos* und *neg* für Antonympaare eines gradierten Konzepts wie z.B. groß:klein.) Vorteile dieses Ansatzes sind neben den weitreichenden Modifikationsmöglichkeiten der explizite Einschluß von Überlappungen einzelner Kategorien (im Gegensatz beispielsweise zu dem in 4.2.2 vorgestellten Modell) die Einfachheit der verwendeten Modifikationsfunktionen. Als Nachteile wären zum einen die Beschränkung auf Gradierungspartikel und zum anderen das Fehlen von Verformungsoperationen zu nennen, die über Abflachung, Versteilung und Verschiebung hinausgehen (wie z.B. das "Umklappen" der näheren Umgebung eines Extremums).

	very *neg*	*neg*	rather *neg*	average	rather *pos*	*pos*	very *pos*
$\mathbf{h_1}$	0°	45°	40°	40°	45°	45°	38°
$\mathbf{h_2}$	42°	45°	45°	50°	45°	45°	0
M	-0,18	0,1	0,25	0,5	0,68	0,82	1,18

Tabelle 4.7: Konkrete Belegungen für im Experiment verwendeten Adjektive [Cleeren et al. 93]

Kapitel 5

Ressourcenadaptive Verfahren zur Berechnung präziser Lokalisationsausdrücke

In diesem Kapitel wird zunächst ein neuer Modellierungsvorschlag für linguistische Hecken unterbreitet (Abschnitt 5.1) und dessen Integration in das Modell für Raumrelationen beschrieben (Abschnitt 5.2). Im Anschluß daran werden einige Konzepte der Realisierung sowie ihre Entsprechungen zu Teilen des theoretischen Entwurfs erläutert (Abschnitt 5.3). Der in Abschnitt 5.1 beschriebenen Ansatz sowie der zur Formalisierung von Präzision (vgl. Kapitel 3) wurde im Rahmen des SFB 378 prototypisch implementiert, indem das zentrale System BOLA (Abschnitt 5.4) um ein Modul zur Präzisionsberechnung erweitert wurde. Außerdem wurde ein weiteres modifiziert, um die Einbindung linguistischer Hecken in den Verbalisierungsprozeß zu ermöglichen. Eine Beschreibung dieser Implementation wird in Abschnitt 5.5 gegeben. Zum Abschluß des Kapitels werden die beschriebenen Leistungen des Systems anhand verschiedener Beispiele illustriert (Abschnitt 5.6).

5.1 Ein Modell für linguistische Hecken

Kernpunkt der hier vorgeschlagenen Modellierung von linguistischen Hecken ist die Trennung von sprachlichen Phänomen einerseits und der intendierten Bedeutung andererseits, ähnlich wie Gapp dies für räumliche Relationen vorschlägt (vgl. [Gapp 93] und [Gapp 97]). In der Tat läßt sich damit das hier vorgeschlagene Modell sehr gut in das der räumlichen Relationen (vgl. Abschnitt 2.1) integrieren. Die daraus resultierenden Ausdrücke entsprechen eher (als die von der Ausgangsversion generierten) der Idee, daß Sprache ein unscharf definiertes System ist, in dem Vagheit ein wichtiges Ausdrucksmittel darstellt [Kolde 86].

Wesentlicher Nachteil vorhergegangener Ansätze (vgl. Abschnitt 4.2) zur Modellierung linguistischer Hecken war der Versuch, bestimmte Hecken fest auf einen bestimmten Modifikationsoperator bzw. auf ein Tupel dieser abzubilden. Da aber der Kontext einer Äußerung trotz Einbezug solcher Konzepte wie das des *semantischen Zentrums* noch Einfluß auf die Auswirkung des entsprechenden Heckenausdrucks haben kann, bietet es sich an, die Auswirkung von der sprachlichen

Ausprägung zu trennen. In Anlehnung an den in [Gapp 97] vorgestellten Ansatz (vgl. Abbildung 2.2), der dort allerdings für die Modellierung von Raumbeschreibungen entworfen wurde, wird daher ein dreistufiges Modell vorgeschlagen (vgl. Abbildung 5.23).

Auf der untersten Stufe stehen dabei Äußerungen in einer spezifischen Sprache *(verbale Information)*. Die darüber liegende *semantische Ebene* untergliedert sich in zwei Teilkomponenten: die *sprachliche Realisierungsebene* und die *kernsemantische Ebene*. Erstere dient der Übersetzung von intendierter Bedeutung in eine adäquate Äußerung und umgekehrt. Die eigentliche Bedeutung einer Aussage hingegen wird - sprachunabhängig - auf der kernsemantischen Ebene repräsentiert. Beide Komponenten der semantischen Ebene wiederum interagieren mit der konzeptuellen Ebene, die ihrerseits Informationen über den aktuellen Kontext beinhaltet.

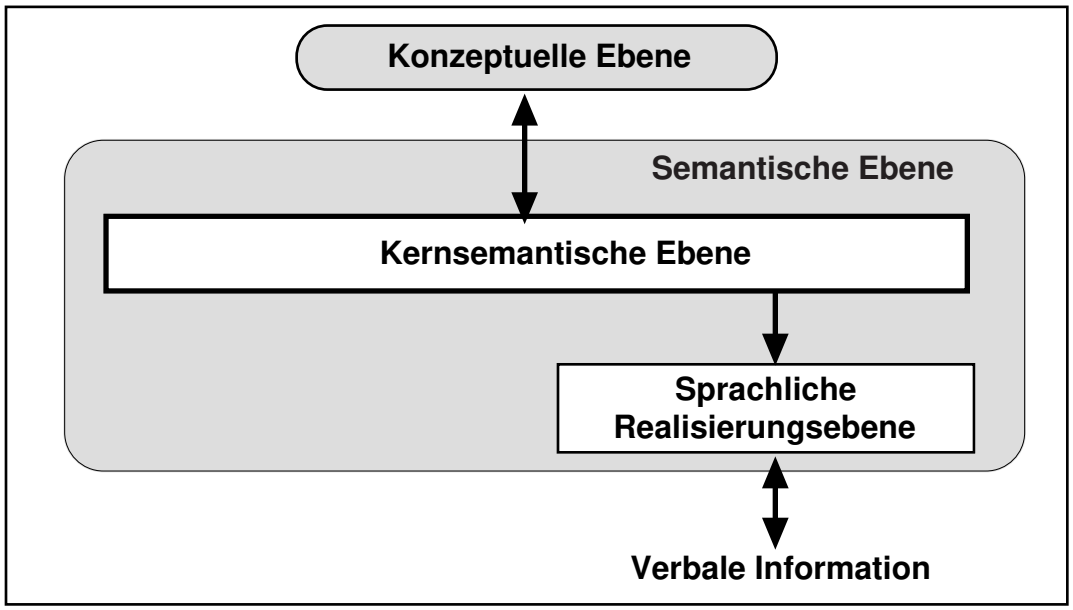

Abbildung 5.23: Trennung von semantischer, verbaler und konzeptueller Ebene

Der Aufbau des vorgeschlagenen Modells bietet einige wichtige Vorteile gegenüber den bisher vorgebrachten (vgl. Abschnitt 4.2). Zum einen erscheint es im Sinne der kognitiven Ökonomie, daß hierdurch die Generierung bzw. Analyse von mit Hecken versehenen Ausdrücken auch unter der Annahme beschränkter Ressourcenverfügbarkeit möglich ist.[18] Zwar bedarf es noch eingehender empirischer Untersuchungen, aber es ist durchaus zu vermuten, daß Testpersonen beispielsweise trotz Zeitdruck in der Lage sind, etwa Raumbeschreibungen mit Hecken zu generieren, dabei aber kontextuelle Faktoren (wegen mangelnder Ressourcen) außen vor lassen.[19] Dieses Phänomen ließe sich in dem hier vorgeschlagenen Modell plausibel als nicht erfolgte Interaktion der semantischen mit der konzeptuellen Ebene erklären.

Desweiteren erlaubt dieser Ansatz, bisherige Vorschläge zum Teil zu übernehmen, ohne deren Nachteil der starren Abbildung von einer bestimmten linguistischer Hecke auf eine bestimme Modifikation in Kauf nehmen zu müssen. Die in [Zadeh 72] angeregte Realisierung von linguistischen

[18]Dies setzt voraus, daß der Aufwand zur Generierung bestimmter linguistischer Hecken gering ist. Wie in Abschnitt 4.1.3 beschrieben wäre dies beispielsweise für Gewißheitsindikatoren zu vermuten.

[19]Die beschränkenden Umstände könnten (zumindest teilweise) durch entsprechende Heckenausdrücke verbalisiert werden und es damit dem Hörer gestatten, das Zutreffen der Äußerung unter Berücksichtigung dieser Faktoren besser zu beurteilen.

Hecken als Kombination von primitiven Modifikationsoperatoren etwa eignet sich hervorragend, um auf der kernsemantischen Ebene *abstrakte Hecken* zu definieren, die (evtl. unter Rückgriff auf die konzeptuelle Ebene) von der sprachlichen Realisierungsebene in natürlichsprachliche Äußerungen umgesetzt werden. Dadurch können neu gewonnene (empirische) Erkenntnisse aufgrund der modular erweiterbaren Architektur leicht eingebracht werden. Aber auch andere Ansätze wie der von Cleeren et. al. (vgl. Abschnitt 4.2.4) eignen sich für die Verwendung in Implementationen des hier vorgeschlagenen Modells.

Ein weiterer Vorteil des vorgeschlagenen Ansatzes besteht in seiner prinzipiellen Sprachunabhängigkeit. Durch Ersetzen der sprachlichen Realisierungsebene durch ein entsprechendes Modul der gewünschten Sprache wird in vielen Fällen eine Anpassung ohne weitere Änderung ermöglicht. Je nach Sprache sind eventuell auf der konzeptuellen Ebene einige sprachspezifische Ergänzungen nötig. Dies ist der Fall, wenn sich die grundlegenden Raumkonzepte der entsprechenden Sprache von denen der Ursprungssprache unterscheiden. Beispielsweise ist es möglich, daß in einigen Sprachen keine Unterscheidung zwischen links und rechts verbalisierbar ist, oder daß bestimmte Perspektivwahlen (z. B. allozentrische) nicht möglich sind.

5.2 Erweiterung des Modells für die Semantik von Raumdeskriptionen

Das in Abschnitt 5.1 vorgestellte Modell zur Behandlung linguistischer Hecken basiert auf derselben Untergliederung wie das von Gapp vorgeschlagene Modell für die Semantik von Raumdeskriptionen [Gapp 97]. Tatsächlich läßt sich dieses ohne Änderungen an seiner Grundstruktur durch das hier vorgestellte Modell erweitern (vgl. Abbildung 5.24).

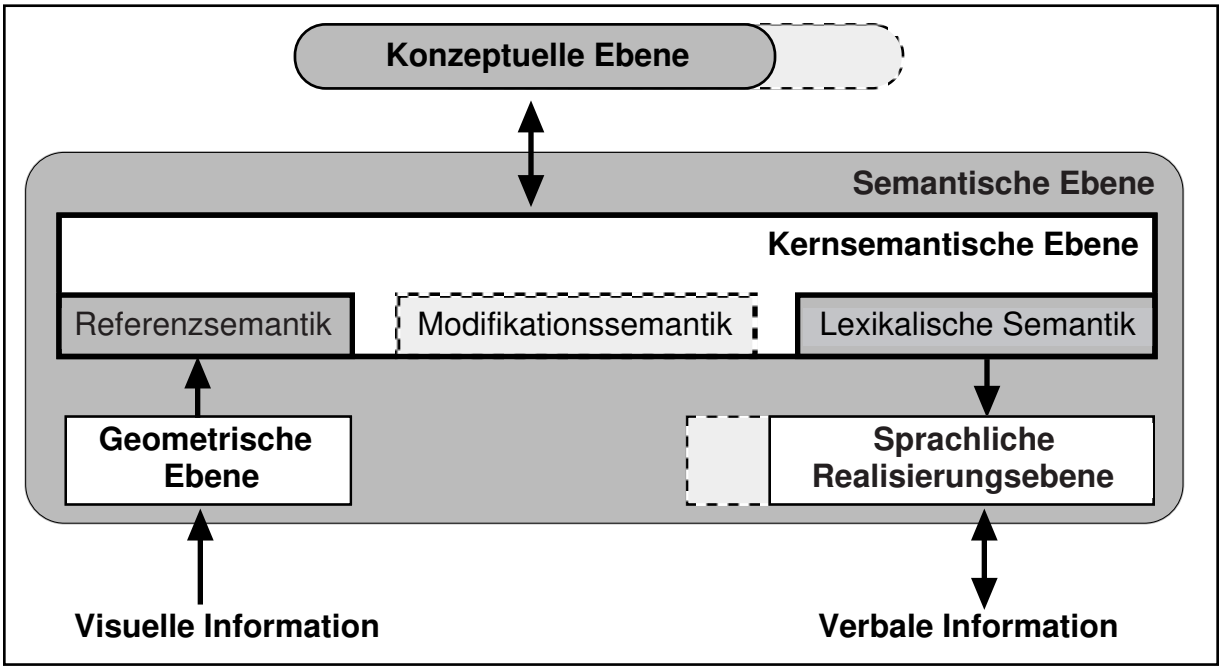

Abbildung 5.24: Erweitertes Modell zur Semantik der Raumdeskription

Kombiniert mit dem in Kapitel 3 präsentierten Konzept der Präzision und den verschiedenen Möglichkeiten, sie zu formalisieren, gelangt man so zu einem mächtigeren Mechanismus zur Generierung bzw. Analyse von Raumbeschreibungen. Hierzu muß die ursprüngliche konzeptuelle Ebene um die für die Realisierung von Hecken relevanten Konzepte (wie z.B. das der Präzision) angereichert werden. Die semantische Ebene muß an zwei Stellen erweitert werden: Zum einen bedarf es einer dritten Komponente auf der kernsemantischen Ebene, die für die Repräsentation der durch Heckenausdrücke bewirkten Bedeutungsänderungen zuständig ist. Diese *Modifikationssemantik* liegt als eine Art Filter zwischen Referenz- und lexikalischer Semantik. Zum anderen muß natürlich die sprachliche Realisierungebene die Fähigkeit erhalten, linguistische Hecken zu verbalisieren bzw. zu analysieren. (Die entsprech-enden Erweiterungen sind in Abbildung 5.24 hell unterlegt und mit unterbrochenen Linien umrandet.)

Das von Gapp vorgeschlagene universelle Berechnungsmodell ([Gapp 97], S. 68ff) auf Basis des Anwendbarkeitsgrads (vgl. Abschnitt 2.2.3) kann ebenfalls durch die in dieser Arbeit vorgestellten Berechnungsverfahren für Präzision (vgl. Kapitel 3) erweitert werden. Für die dadurch generierten Lokalisationsausdrücke steht zu erwarten, daß sie eine "bessere" Beschreibung der entsprechenden Raumkonstellation darstellen, als die nur mit Hilfe des ursprünglichen Verfahrens produzierten. "Besser" bezieht sich hier auf den Grad der Übereinstimmung zwischen der beschriebenen Situation und der beim Hörer davon hervorgerufenen Vorstellung. Dies muß nicht zwangsläufig *kommunikativ* "besser" bedeuten, da beispielsweise Umstände denkbar sind, in denen so eine Überinformation bewirkt würde.

5.3 Konzeptuelle Realisierung

Das im vorangegangenen Abschnitt vorgestellte Modell dient als Ausgangspunkt für die Integration von linguistischen Hecken in das Projekt REAL (vgl Abschnitt 1.1). Da es kompatibel zu dem dort verwendeten Modellierungsansatz für Raumrelationen konzipiert wurde (vgl. Abschnitt 5.2), konnte auch die Einbindung der Präzisionsgrade (vgl. Kapitel 3) erfolgen. Die Berücksichtigung der Präzision kommt dabei nicht nur der Beurteilung von räumlichen Relationen zugute, sondern insbesondere der von linguistischen Hecken.

Ein Grund dafür ist der Umstand, daß bei der Verwendung von Operatoren, wie sie beispielsweise von Zadeh (vgl Abschnitt 4.2.1) vorgeschlagen werden, oft der Anwendbarkeitsgrad der präziseren Beschreibung geringer ist als der der unpräziseren. Dies ist z.B. der Fall, wenn `sehr` durch eine Quadrierung modelliert wird. Berechnet man aber den Präzisionsgrad der beiden Alternativen, so geht der Anwendbarkeitsgrad nur als ein Faktor ein, und der Wert der präziseren Beschreibung liegt über dem der weniger präzisen.

Diese Gegebenheit ermöglichte die Modellierung linguistischer Hecken verschiedener Art auf Basis von primitiven Operatoren. Da bei REAL die Analyse bzw. Generierung von Raumrelationen im Vordergrund steht, wurde eine Auswahl von Heckenausdrücken realisiert, die von dafür von Bedeutung sind. Aufgrund der Ausrichtung des Systems auf eine Raumbeschreibung, die dem Hörer eine möglichst genaue Vorstellung von der beschriebenen Situation vermittelt, sind besonders Vertreter folgender Subklassen relevant (in Abbildung 4.19 grau unterlegt): Modalworte, Steigerungs- und Gradierungspartikel.

Da in REAL noch keine Bewertung des Vertrauens in eine Aussage stattfindet, kommen momentan vor allem die Partikeln zum Einsatz. Bei den Gradierungspartikeln sind dabei die Ungefähr- und die Gerade-Gruppe von Interesse. Durch Vertreter der ersten Gruppe (z. B. "ungefähr", "fast") kann ein mittleres Maß des Zutreffens verbalisiert werden, mit Elementen der zweiten (z.B "genau") das Zutreffen in sehr hohem Maße. Damit wird es dem Hörer ermöglicht, bestimmte

Bereiche von vorne herein auszuschließen bzw. seine Suche auf bestimmte Bereiche einzuschränken. Dies kann ebenso durch Steigerungspartikel respektive Intensifikatoren bzw. Desintensifikatoren erreicht werden.

Um der im Modell (vgl Abschnitt 5.1) beschriebenen Trennung zwischen konzeptueller und semantischer Ebene gerecht zu werden, wurde bei der Realisierung eine Untergliederung in *konkrete* und *abstrakte Hecken* vorgenommen. Während erstere die Lexeme darstellen, die zur Verbalisierung von Heckenausdrücken verwendet werden und damit sprachabhängig sind, stellen die abstrakten Hecken sprachunabhängige Konzepte dar, welche durch Modifikationsoperatoren definiert sind. Hervorzuheben ist, daß zwischen diesen beiden Gruppen *keine* Eins-zu-Eins-Abbildung stattfindet. Dies liegt darin begründet, daß zum einen bestimmte Lexeme (z.B. "ziemlich") in verschiedenen Funktionen gebraucht werden können (als Grad- oder Steigerungspartikel) und zum anderen bestimmte abstrakte Hecken (z.B. `sehr` als Quadrierung) unterschiedlich verbalisiert werden (in diesem Fall als "sehr" zusammen mit "links" oder als "genau" mit "an"). In Abschnitt 5.6 finden sich hierzu weitere konkrete Beispiele.

5.4 Ein beschränkt-optimaler Lokalisationsagent

Das System BOLA (Beschränkt-Optimaler Lokalisations-Agent) [Wahlster et al. 98] hat die Beantwortung von Wo-Fragen unter besonderer Berücksichtigung von Ressourcen-Beschränkungen zum Ziel. Seine konsequente Ausrichtung auf Anytime-Verhalten gestattet es, die Berechnung jederzeit zu unterbrechen, wobei die Qualität der Ausgabe mit zunehmender Berechnungsdauer (bzw. der zur Berechnung zugestandenen Zeit) kontinuierlich wächst. Die weitgehende Parallelisierung unabhängiger Teilaufgaben ermöglicht eine sehr genaue Kontrolle über die Zuweisung von Ressourcen an bestimmte Teilprozesse.

In Abbildung 5.25 ist eine Übersicht über den Aufbau des BOLA-Systems zu sehen. Dabei ist deutlich zu erkennen, daß die Generierung einer Ortsbeschreibung in verschiedene Teilaufgaben (M_{Int} bis M_{GenPP}) untergliedert ist, die als Anytime-Prozesse realisiert sind und selbst wieder aus mehreren Subprozessen bestehen können. Die Performanz dieser Module wird von einer Anytime-Prozeß-Kontrolle überwacht und in der Form von Performanz-Profilen (PP) aufgezeichnet. Die so gewonnenen Erfahrungswerte können zu einem späteren Zeitpunkt verwendet werden, um möglichst gute Strategien zur Handhabung bestimmter Ressourcen-Beschränkungen auszuwählen.

Experimentelle und kognitionspsychologische Erkenntnisse fließen zum einen in die Modellierung der an der Generierung von Ortsbeschreibungen (bei dem Menschen) beteiligten Prozesse im System ein. Zum anderen wird versucht, sich der Arbeitsweise des menschlichen Gehirns anzunähern. Wie in der Psychologie seit langem bekann ist, werden viele kognitive Prozesse erste durch massige Parallelverarbeitung möglich. Es ist weiterhin davon auszugehen, daß ein Teil der Leistungsfähigkeit des Menschen durch eine Interaktion verschiedener Prozesse bedingt ist. Diesem Umstand wird durch die Aufspaltung des Gesamtsystems in Teilprozesse Rechnung getragen.

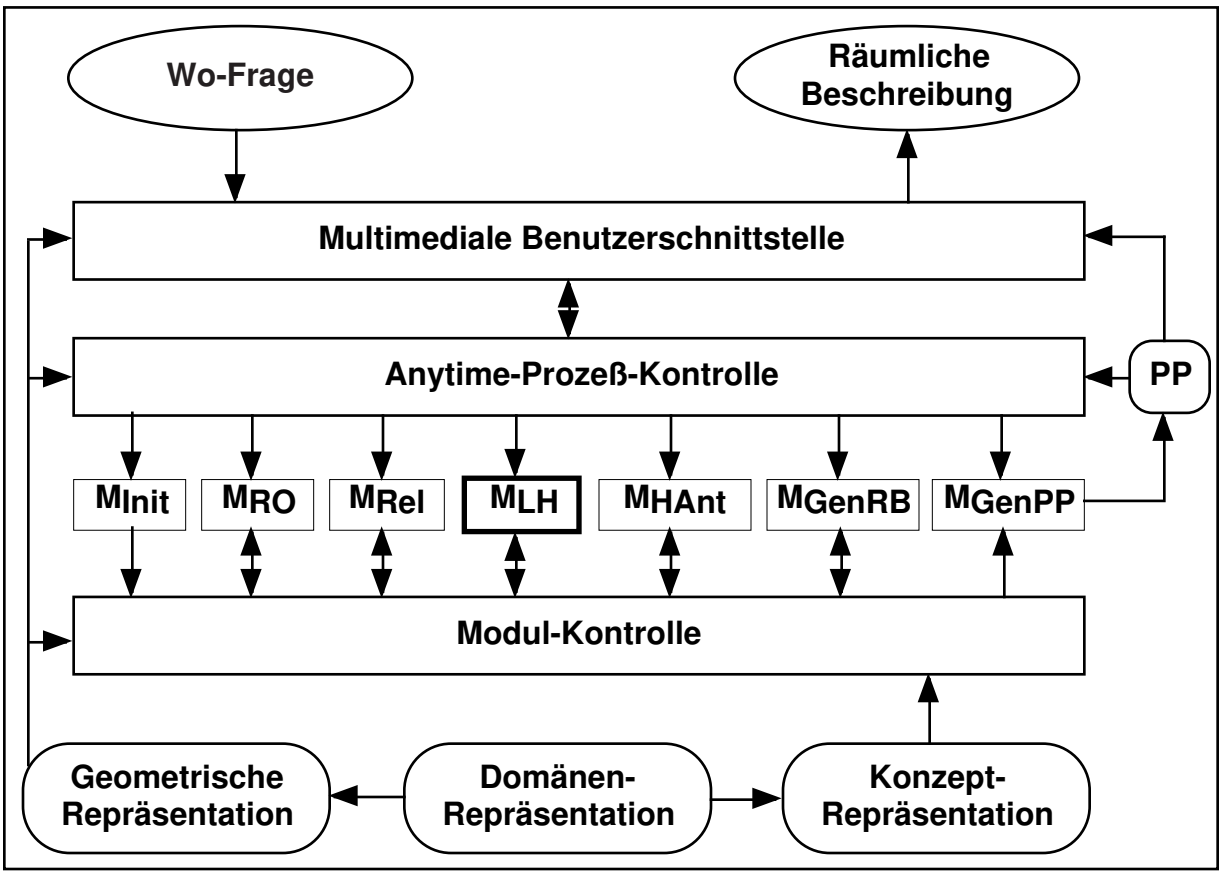

Abbildung 5.25: Architektur des BOLA-Systems

Für die Koordination der Komponenten ist in dem System die *Modul-Kontrolle* zuständig: sie wertet anfallende (Teil-)Ergebnisse aus und sorgt für den Datenaustausch zwischen den einzelnen Modulen. Außerdem hält sie das zum jeweiligen Zeitpunkt beste Ergebnis der Generierung bereit, um es im Unterbrechungsfall oder nach dem Aufbrauchen aller vorhandenen Ressourcen auszugeben.

Die in der Abbildung zu sehenden Module stellen keine vollständige Auflistung dar, sie stellen aber die wichtigsten Funktionalitäten bereit. Das Modul M_{Init} ist für die Initialisierung zuständig, die für die in den anderen Modulen durchgeführten Berechnungen erforderlich sind. M_{RO} hat die Auswahl eines geeigneten Referenzobjekts zur Aufgabe. Dazu greift es - wie auch andere Module - mittels verschiedener Idealisierungen auf die geometrische Repräsentation der Diskurs-Welt zu. Im Modul M_{Rel} erfolgt die Berechnung von räumlichen Relationen, die zwischen Referenzobjekt(en) und zu lokalisierendem Objekt bestehen. Hier finden die in Kapitel 3 vorgestellten Berechnungsmodelle für Präzision Eingang. Das Modul M_{LH} stellt ein direktes Ergebnis der in Abschnitt 5.1 beschriebenen Erkenntnisse dar. Die Antizipation des Hörerverständnis der geplanten Raumbeschreibung ist Gegenstand von M_{HAnt}, wohingegen das Modul M_{GenRB} auf einer höheren Ebene für die konkrete Verbalisierung der gefundenen Raumbeschreibung zuständig ist. Auf dem selben Niveau sorgt M_{GenPP} für die Erstellung der aktuellen Performanzprofile und ergänzt die zugehörige Wissensbasis ständig.

Die *Prozeß-Kontrolle* ist im Gegensatz zur Modul-Kontrolle für die Zuweisung von verfügbaren Ressourcen an die einzelnen Module verantwortlich. Sie tut dies unter Berücksichtigung der in [Zilberstein 93] formulierten Konzepte und unter Beachtung des aktuellen Berechnungszustand. Zilberstein greift zur Ermittlung der optimalen Ressourcenverteilung auf die bereits erwähnten Performanzprofile - die Aufzeichnungen der in vorherigen Durchläufen erbrachten Ergebnisse und Qualitätssteigerungen - zurück Mithilfe dieser kann abgeschätzt werden, ob durch weitere Ressourcenzuteilung an einen bestimmten Subprozeß weitere Verbesserungen erzielt werden können, und wenn ja, wie groß diese Zuteilung ausfallen sollte, um eine möglichst gute Kosten-Nutzen-Relation zu erzielen. Desweiteren tragen auch die in der Modul-Kontrolle erfaßten Zwischenergebnisse zur Verteilung bei, ebenso wie die Constraints, die durch die konzeptuelle Repräsentation der entsprechenden Domäne auferlegt werden. Eine Besonderheit des realisierten Anytime-Systems ist die Berücksichtigung von *Transaktionen [Görz 94]* auf unterster Ebene. Dies sind ununterbrechbare Kommandofolgen, wie beispielsweise die Berechnung eines der Präzisionsgrade für einen bestimmten Fall.

Da momentan im Wesentlichen *(Rechen-)Zeit* als die Beschränkungen unterworfene Ressource behandelt wird, orientiert sich die Prozeßkontrolle bei der Zuweisung von Ressourcen an der Einheit *Zyklus*. Unter einem Zyklus versteht man hierbei die Zeitdauer, die eine bestimmte Ressource (Rechenzeit) auf die beteiligten Prozesse verteilt werden kann. Seine genaue Länge hängt zum einen von den Performanzprofilen kombinierter Prozesse ab, zum anderen von der Verfügbarkeit von Zwischenergebnissen, die Voraussetzung für die Ausführung bestimmter Teilprozesse sind. Innerhalb eines Zyklus wird die Verteilung der Ressourcen dann (u. a.) durch die Performanzprofile der jeweiligen Subprozesse bestimmt.

Der Zugang zu dem Gesamtsystem erfolgt über eine plattformunabhängige graphische Benutzeroberfläche, die als Werkbank konzipiert ist: JAMES (Java Anytime Management & Editor System) ermöglicht neben der Behandlung von Benutzeranfragen (und der entsprechenden Systemausgaben) auch tiefere Eingriffe in das Gesamtsystem. So sind beispielsweise Simulationen und Modifikationen von Ressourcenbeschränkungen, Manipulationen an ihrer Verteilung sowie Betrachtung von Performanzprofilen möglich.

Ein Beispiel für die das System generierten Ressourcenverteilungen ist in Abbildung 5.26 dargestellt. Die aktuelle Anfrage lautet "Wo ist der schwarze Fleck?". Der relevante Weltausschnitt ist oben links in der Abbildung zu sehen. In dem Hauptteil des darunterliegenden Schaubildes ist die Verteilung der Ressourcen auf verschiedene Prozesse zu erkennen. Die Höhe der Y-Achse steh dabei für die Gesamtheit der pro Zyklus zur Verfügung stehenden Ressourcen, auf der X-Achse ist die Zeit zwischen dem Beginn der Berechnung und der maximalen Laufzeit aufgetragen. Nach der Berechnung des Halbraummodells (einer Vorraussetzung, um überhaupt Aussagen über das Zutreffen von Relationen machen zu können), ist deutlich zu erkennen, wie in den einzelnen Zyklen (durch vertikale Linien markiert) die Ressourcen flexibel aufgeteilt werden. Die Punkte auf der Zeitachse markieren Zeitpunkte, zu denen das System eine bessere Beschreibung als die bis dahin gültig gefunden hat. Das für diese Verbesserung verantwortliche Modul ist ebenfalls mit einem Punkt gekennzeichnet. Die Ausgabe am Ende der Berechnung lautet schließlich: "Er ist genau links oben auf dem Würfel."

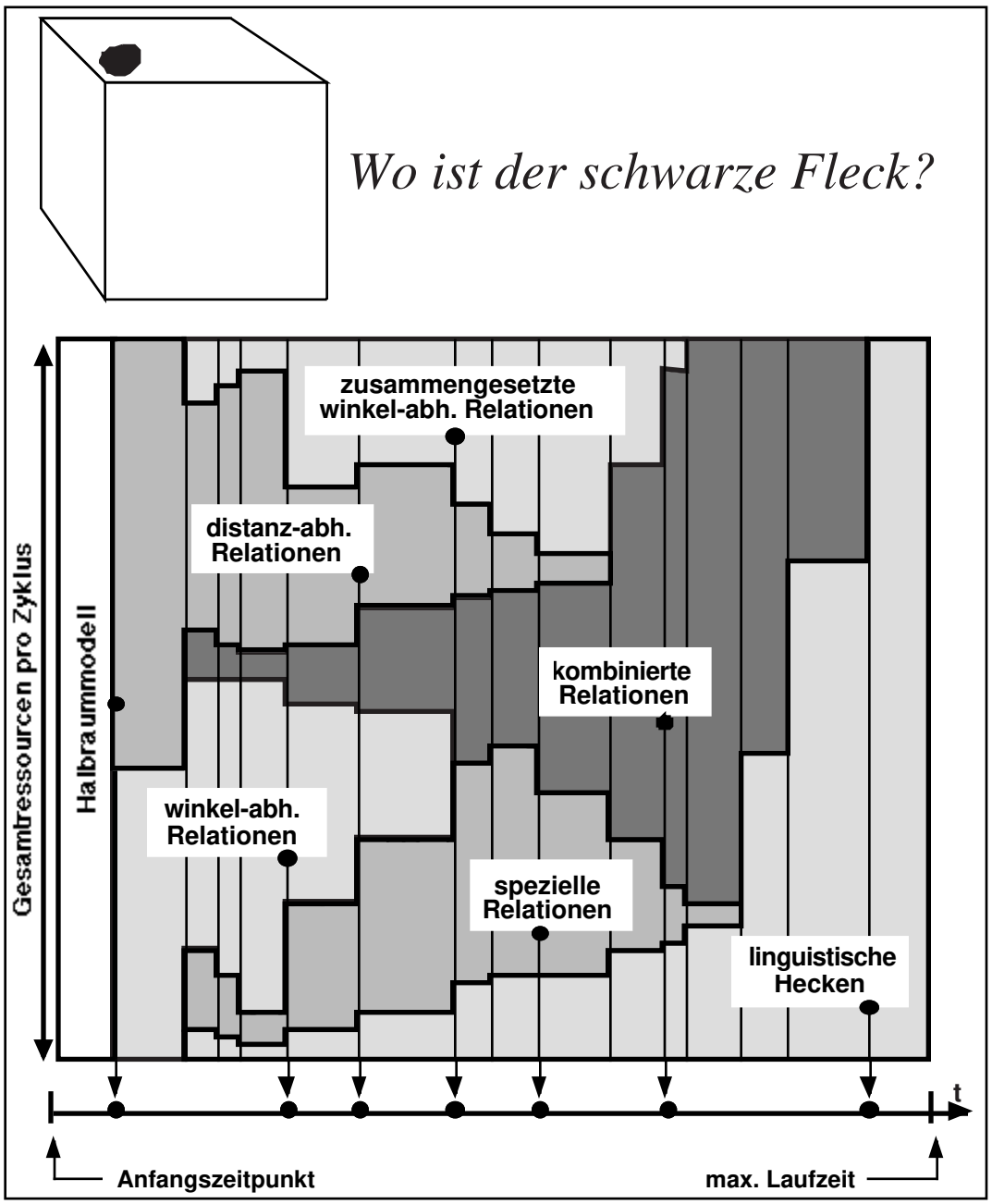

Abbildung 5.26: Beispiel für die Ressourcenverteilung nach [Wahlster et al. 98]

5.5 Implementation

Bei der Implementation des vorgeschlagenen Modells zur Behandlung von linguistischen Hecken sowie der präsentierten Formalisierung vager Konzepte wurde großer Wert darauf gelegt, die Eigenschaften des Modells bei der Realisierung zu wahren. Wie bereits in Abschnitt 5.3 beschrieben wurde dazu unter anderem das Konzept der abstrakten Hecke eingeführt, daß auch auf Implementationsebene eine Trennung zwischen konzeptueller und semantischer Ebene ermöglicht.

5.5.1 Entwicklungs- und Laufzeitumgebung

Die Implementation des Systems erfolgte unter Lucid Common Lisp Version 4.1 bzw. Allegro Common Lisp Version 4.3, die auf SPARC-Arbeitsplatzrechnern von SUN, auf Workstations der 700er-Baureihe von Hewlett-Packard und auf Pentium-PCs unter Linux liefen. Bei der Entwicklung wurden die Prinzipien der objektorientierten Programmierung befolgt und großer Wert auf die leichte Portierbarkeit des erzeugten Programmcodes gelegt.

Der gesamt Source-Code umfaßt etwa 100 KByte und gliedert sich in die drei Hauptteile Präzisionsgrad-Berechnung, Verwaltungsfunktionen und Anbindung an die Oberfläche. Da die Benutzerschnittstelle in JAVA programmiert wurde, wurde ein auf Dateiebene arbeitender Mechanismus realisiert, der die Kommunikation zwischen JAVA und Lisp ermöglicht und durch seine klare Struktur auch in anderen Kontexten einsetzbar ist.

Die graphische Oberfläche wurde plattformunabhängig in JAVA implementiert und auf einem Apple Macintosh PowerBook 3400c unter dem Java Development Kit 1.0.2 von SUN entwickelt. Der Quell-Code umfaßt ca. 15 KByte und kommt dank der hochentwickelten Objekthierarchie von JAVA mit nur einer eigenen Klasse aus.

Das gesamte Modul wurde in das System BOLA integriert, das ebenfalls in den Sprachen Lisp bzw. JAVA realisiert wurde. Die Einbindung gestaltete sich durch die strenge Einhaltung der objektorientierten Philosophie und der Ausrichtung auf den Einsatz auch in anderen Systemen problemlos.

5.5.2 Anforderungen

Um in das System BOLA (vgl. Abschnitt 5.4) integriert werden zu können, aber auch aus grundsätzlichen Überlegungen heraus, mußte das zu erstellende System bestimmten Anforderungen genügen. Die Integration der Präzisionsmaße war dabei das geringere Problem, da die Berechnungsverfahren in das Modul zur Relationenberechnung eingebunden werden konnten. Das Modul zur Behandlung von linguistischen Hecken hingegen mußte vollständig neu entwickelt werden und unterlag somit den im folgenden aufgelisteten Anforderungen:

- **Übereinstimmung mit den Prinzipien der Anytime-Berechnung**
  Dies bedeutet zum einen, daß innerhalb des Moduls bestimmte Stellen definiert werden müssen, an denen die Berechnung unterbrochen werden kann, falls eine bestimmte Ressource verbraucht ist oder der Benutzer unterbrochen hat. Desweiteren soll die Qualität des Ergebnisses mit der Zuteilung von mehr Ressourcen wachsen.

- **Weitgehende Kapselung der Funktionalität**
  Nicht nur die Anytime-Architektur sondern auch die Wartbarkeit verlangen die Minimierung von Interpedenzen zwischen einzelnen Modulen. Würden diese ungehindert auf Teile anderer Module zugreifen, wäre eine effektive Ressourcenzuteilung unmöglich und der Aufwand für eventuell nötige Änderungen sehr groß.

- **Ressourcenadaptierendes Verhalten**
  Das zu erstellende Paket sollte Strategien beinhalten, die es erlauben, auf bestimmte Ressourcenbeschränkungen adäquat zu reagieren.

- **Leichte Erweiterbarkeit**
  Zur Integration experimenteller Befunde ist es zwingend nötig, daß zumindest die zur Modellierung bestimmter Hecken verwendeten Modifikationsoperatoren leicht abänderbar sind. Zudem sollte das Hinzufügen neuer linguistischer Hecken problemlos möglich sein.

- **Einfacher Zugang zu den Ergebnissen**
  Die erzielten Ergebnisse sollten über eine graphische Schnittstelle leicht zugänglich sein.

Weitere Ziele, die zum Teil implizit in den oben aufgelisteten Punkten enthalten sind bzw. für die meisten Systeme wünschenswert sind, sollten natürlich auch erreicht werden. Zu nennen sind hier beispielsweise die leichte Verständlichkeit des erstellten Programms bzw. die Wiederverwendbarkeit in anderen Systemen. Inwiefern und in welchem Maße den aufgestellten Forderungen Genüge getan wurde, ist Abschnitt 5.5.4 zu entnehmen.

5.5.3 Aufbau

Die wesentlichen Komponenten des Systems sind in Abbildung 5.27 (grau hinterlegte Teile) zu sehen. Als Eingabe wird ein Prädikat erwartet, daß aus einer oder mehreren abstrakten Hecken[20] (AH), einer abstrakten räumlichen Relation (AR) sowie dem Referenzobjekt RO und dem zu lokalisierenden Objekte (LO) besteht. Zusätzlich kann dem System mitgeteilt werden, nach welcher Methode (M) der Präzisionsgrad berechnet werden soll.

In einem ersten Schritt findet dann die Dekomposition der eingegebenen Hecken zu Modifikatoren statt. Dazu wird auf ein Lexikon zugegriffen, daß abstrakte Hecken auf Mengen von Präund/oder Postmodifikatoren abbildet. Wenn eine Kombination aus mehreren Hecken vorliegt, werden die jeweiligen Modifikatormengen zu einer zusammengefaßt, so daß in den Prozeß der Methodenauswahl stets eine Eingabe desselben Typs eingeht

Dort wird dann anhand der spezifizierten Methode M die Berechnung des Präzisionsgrads (PG) gemäß einer der in Kapitel 3 vorgestellten Varianten selektiert. Das entsprechende Resultat stellt dann die Ausgabe des Systems dar und kann z.B. in einer Verbalisierungskomponente weiterverarbeitet werden. Darunter wird in diesem Zusammenhang ein einfacher Abbildungsmechanismus von abstrakten auf konkrete Hecken bzw. Relationen verstanden. Diese wählt im Falle eines ausreichend hohen Präzisionsgrades anhand der abstrakten Hecken und Relationen konkrete Lexeme (wie z.B. "genau hinten rechts") für die Verbalisierung aus.

Eine weitere Komponente, die nicht in der Abbildung dargestellt ist, da sie für die Funktion des Systems nicht zwingend notwendig ist, enthält einen ressourcenschonenenden Mechanismus. Dieser sorgt dafür, daß bereits (evtl. auch in anderem Zusammenhang) bekannte Ergebnisse wiederverwendet werden können und nicht erneut berechnet werden. Liegt beispielsweise nach einer Evaluierung gemäß der lokalen Flächenmethode die Unterteilung einer Kurve in Relevanzbereiche vor, muß diese zur Berechnung nach der Intervallmethode nicht erneut ermittelt werden.

---

[20]Es ist auch möglich, keine Hecke anzugeben. Dann wird der Präzisionsgrad nur für die Raumrelation berechnet.

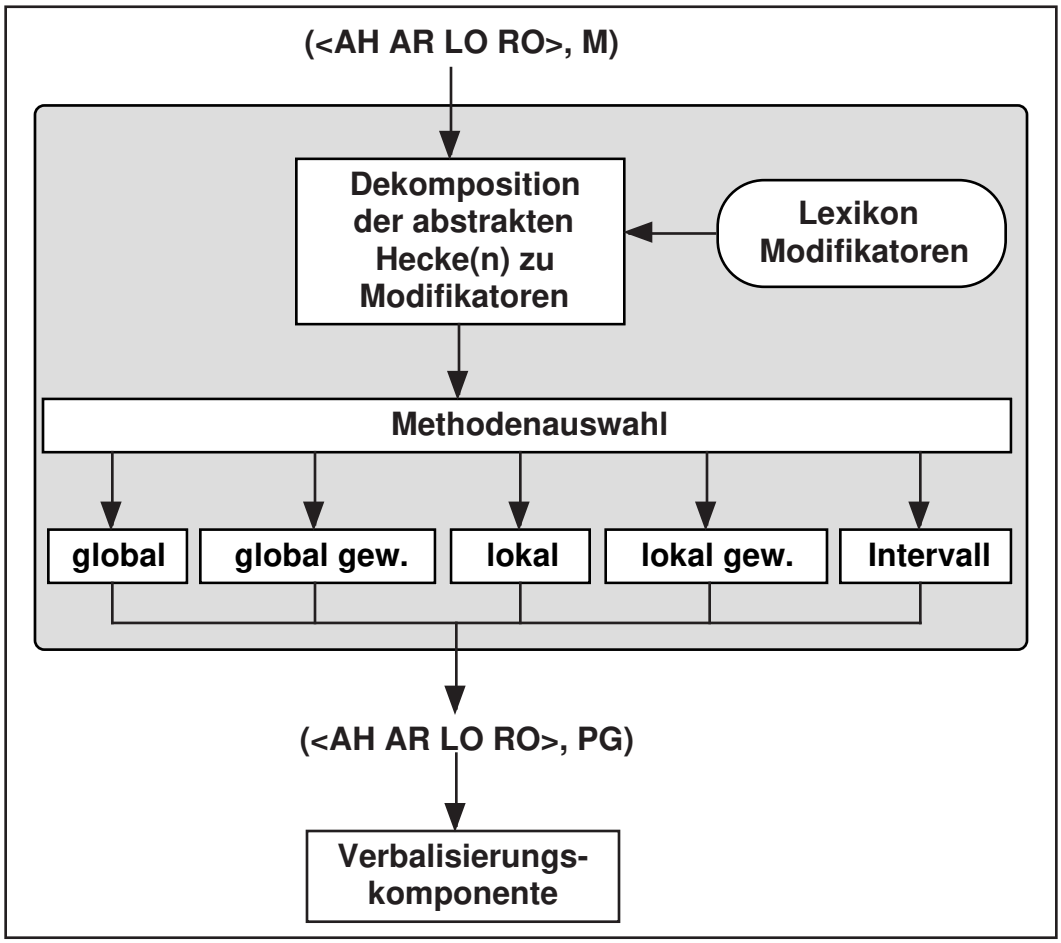

Abbildung 5.27: Aufbau des Systems

Um die Ergebnisse des Systems einfach zugänglich zu machen, wurde eine plattformunabhängige Oberfläche in der Programmiersprache JAVA realisiert (vgl. Abbildung 5.28). Mit ihrer Hilfe können die Ergebnisse verschiedener Berechnungen betrachtet und verglichen werden. Sie gestattet neben der graphischen Darstellung der Resultatkurven auch einfache Analysen. So können Hilfslinien zur Kennzeichnung der Neutralpunkte sowie der Punkte maximaler Anwendbarkeit angezeigt werden. Desweiteren kann mithilfe einer verschiebbaren Ableselinie die Kurven an bestimmten Stellen exakt verglichen werden, da die entsprechenden Funktionswerte in numerischer Form (im rechten Teil des Displays) angezeigt werden.

Für eine weitere Ausbaustufe ist die Erweiterung der Funktionalität auf die Manipulation und das Management von Splines geplant.

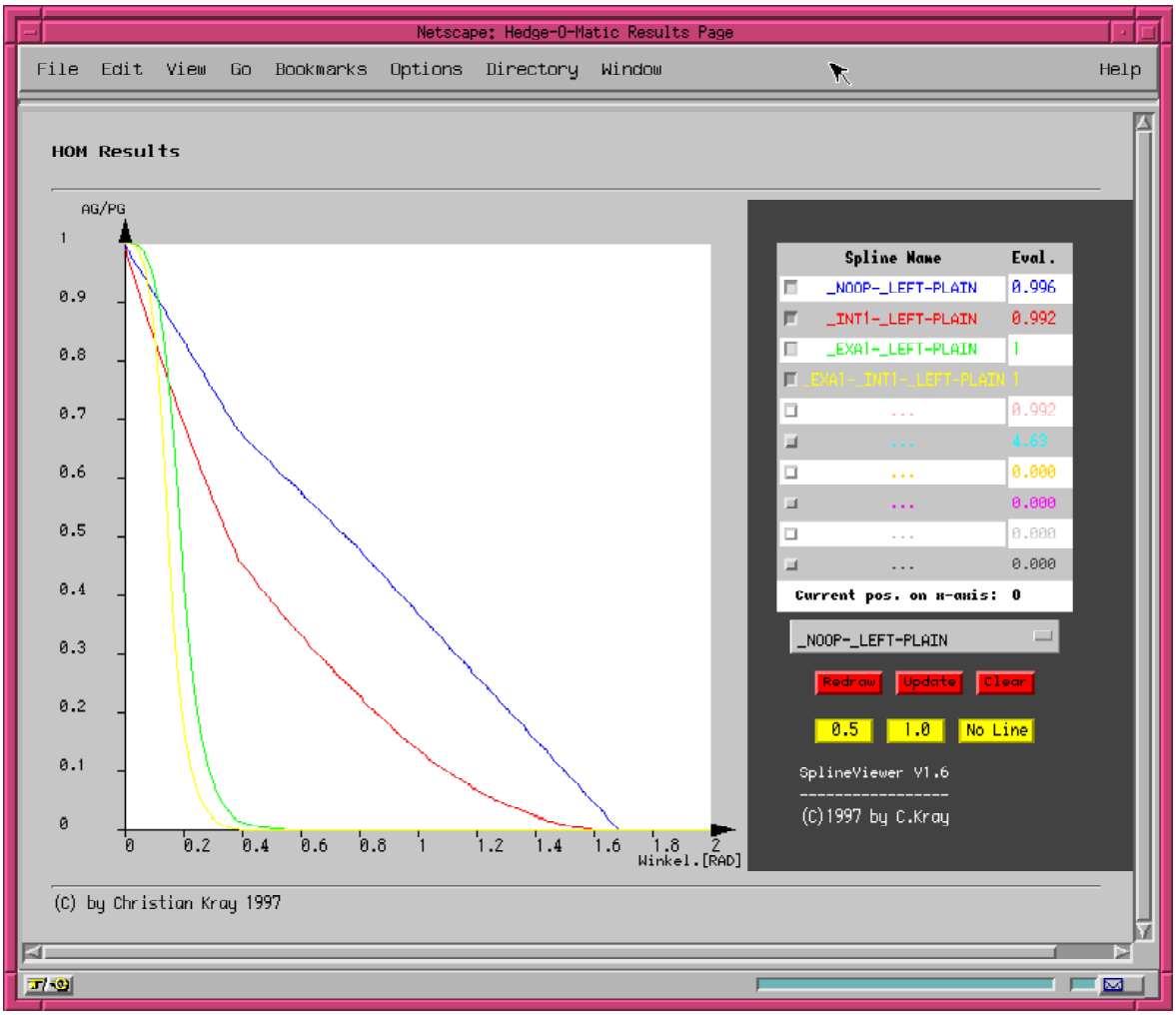

Abbildung 5.28: Oberfläche des Systems

5.5.4 Leistungen

Trotz seines relativ einfachen Aufbaus besitzt das realisierte System einige Eigenschaften und Leistungscharakteristika, die es von anderen (vgl. Abschnitt 4.2) abheben und die hier nun im Einzelnen erläutert werden sollen.

Ein wesentlicher Aspekt ist die weitgehende *Ressourcenadaptivität*. Diese wird durch mehrere ineinandergreifende Faktoren erreicht: Zum einen kann der Aufwand (und damit die Güte der Ergebnisse) über die Wahl verschiedener Methoden (vgl. Kapitel 3) gesteuert werden. Aber auch innerhalb der einzelnen Verfahren kann eine Anpassung an knappe Ressourcen stattfinden, indem beispielsweise die Anzahl der Teilintervalle zur Flächenberechnung variiert wird. Zum anderen kann der Mechanismus zur Speicherung von wiederverwertbaren Ergebnissen dazu dienen, nach Abschluß einer Berechnung eventuell noch verfügbare Ressourcen effizient zu nutzen.

Im Rahmen des Gesamtsystems BOLA (vgl. Abschnitt 5.4) werden durch das Modul zur Heckenverarbeitung bzw. Präzisionsberechnung zwei weitere Anpassungsmöglichkeiten geschaffen: Bei knapperen Ressourcen kann erst auf die Generierung von Hecken verzichtet werden, wobei weiterhin die Präzisionsevaluierung der reinen Raumrelationen stattfindet. Diese kann im nächsten Schritt ebenfalls entfallen, da der Anwendbarkeitsgrad allein als Vergleichskriterium dienen kann.

Aus der Trennung von abstrakten und konkreten Hecken erwächst ein weiterer wesentlicher Vorteil. Damit wird nämlich eine *einfache Erweiterbarkeit* ermöglicht, da beispielsweise bei dem Hinzufügen neuer Relationen nur sehr geringe Änderungen an dem Modifikatoren-Lexikon nötig sind.[21] Lediglich das Lexikon der Verbalisierungskomponente muß modifiziert werden, was aufgrund der neuen Relation ohnehin nötig ist.

Desweiteren bietet das System ein gegenüber bisherigen Ansätzen großes Maß an *Flexibilität.* Dies trifft in mehrerlei Hinsicht zu: Einerseits ist es durch die Realisierung der abstrakten Hecken als Menge von atomaren Modifikatoren leicht möglich, die Auswirkung einer Hecke an neue Gegebenheiten (wie beispielsweise experimentelle Ergebnisse) anzupassen. Andererseits erlaubt die fehlende Beschränkung auf Prä- bzw. Postmodifikation (im Gegensatz zu beispielsweise [Lakoff 73] oder [Cleeren et al. 93]) das Hinzufügen neuer Modifikatoren, ohne daß dies Änderungen am Gesamtsystem erfordern würde.

Durch die *Kapselung der Funktionalität* in einzelnen Komponenten kann leicht eine Übertragung auf andere Domänen erfolgen. Für die Bewertung der Präzision ist es letztlich ohne Bedeutung, ob Raumrelationen oder andere Prädikate beurteilt werden sollen. Solange diese über Mengenzugehörigkeitsfunktionen ähnlich dem Anwendbarkeitsgrad modelliert sind, können über diesen sowohl Hecken generiert als auch Präzisionsgrade berechnet werden.

Ein weiterer Punkt betrifft die *Modellierung der Heckenausdrücke.* Neben den bereits genannten Aspekten, verfügt das System über zwei Eigenschaften, die es von den in Abschnitt 4.2 beschriebenen Ansätzen abheben. Dies ist zum einen die Einbindung eines Abschwächungseffekts für die Mehrfachanwendung derselben bzw. verschiedener linguistischer Hecken. Danach nimmt die Stärke der durch die Hecke verursachten Modifikation mit der Anzahl der angewendeten Hecken ab. Dies entspricht erheblich mehr dem natürlichen Sprachgebrauch, der die Verwendung allzuvieler Heckenausdrücke auf ein Prädikat ohnehin meidet (vgl. [Pinkal 85]). (Ein Beispiel hierfür findet sich in Abschnitt 5.6.) Zum anderen wird die starre Eins-zu-Eins-Zuordnung von Lexemen zu Modifikationsfunktionen aufgehoben.[22] Damit kann (in einer Verbalisierungskomponente) dasselbe Lexem aufgrund verschiedener Modifikationen ausgewählt werden, je nachdem welches Prädikat damit versehen werden soll. Gleichfalls ist es möglich, daß dieselbe Modifikation durch unterschiedliche Lexeme verbalisiert wird.

Schließlich ermöglicht die *plattformunabhängige Oberfläche* einen einfachen Zugang zu den berechneten Resultaten. Auch sie ist unabhängig von der aktuellen Domäne und kann ohne Veränderungen übernommen werden, wenn das System in anderen Kontexten eingesetzt werden soll.

---

[21] Dies ist lediglich der Fall, wenn die Relation auf abstraktem Niveau die Anwendung einer bestimmten Hecke ausschließt, wie dies beispielsweise auf `genau` und `fern` zutrifft.

[22] In Falle von [Novák 89] handelt es sich um eine Eins-zu-Zwei-Zuordnung, da dort je nach Lage des semantischen Zentrums eine von zwei (symmetrischen) Modifikationen angewendet wird.

5.5.5 Beschränkungen

Wie es bereits in der Einleitung angeklungen ist, erhebt das vorgeschlagene Modell keinen Anspruch darauf, den Komplex der linguistischen Hecken bzw. der Präzision in Sprechakten lückenlos zu erfassen. Dementsprechend unterliegt auch seine Implementation gewissen Beschränkungen. Zunächst einmal wurden nur einige exemplarische Vertreter aus den für BOLA (bzw. die dort realisierten Raumrelationen) relevanten Untergruppen der linguistischen Hecken realisiert. Es sind dies vor allem Grad- und Steigerungspartikel (in Abbildung 4.19 grau unterlegt) sowie Modalworte, insgesamt etwa 10 Lexeme und circa 20 verschiedene Modifikatorenmengen.[23] Aufgrund mangelnder experimenteller Befunde wurden die jeweiligen Modellierungen introspektiv gewählt. (Zwar wurden in [Kipper 95] Modalworte und Abtönungspartikeln untersucht, nicht aber die für diese Arbeit interessanten Grad- und Steigerungspartikeln.)

Desweiteren wurde die Negationspartikel wegen der ihr innewohnenden großen Komplexität (vgl. Abschnitt 4.1.5) als einfache Inversion realisiert. Da der Aufwand, der zu einer besseren Realisierung nötig gewesen wäre (z.B. durch explorative Studien und Ansammlung von relevantem Kontextwissen), den Rahmen dieser Arbeit deutlich überstieg, wurde davon abgesehen.

Ein weiterer Punkt betrifft die Anzahl der Kriterien, die in die Berechnung von Präzisionsgraden eingehen. [Lakoff 73] hat vier verschiedene Kriterientypen definiert und vermutet darüber hinaus die Notwendigkeit weiterer Unterscheidungsmerkmale. Im vorgestellten System geht als einziges Kriterium der (evtl. modifizierte) Anwendbarkeitsgrad ein. Zur Einbindung weiterer Faktoren wären Modifikationen am System und an den Berechnungsverfahren nötig.[24]

5.6 Beispiele

In diesem Abschnitt sollen die in Abschnitt 5.5.4 beschriebenen Leistungen anhand einiger Beispiele illustriert werden. Desweiteren soll die Tauglichkeit des in Abschnitt 5.1 vorgeschlagenen Modells demonstriert werden. Allen Beispielen ist gemein, daß sie Ergebnisse realer Systemläufe sind; lediglich die abgebildeten Kurven wurden zum besseren Verständnis beschriftet. Dabei ist zu beachten, daß die Annotationen lediglich Verbalisierungs*möglichkeiten* der abstrakten Hecken bzw. Relationen sind, die den Kurven zugrunde liegen. Auf der Y-Achse sind entweder der Anwendbarkeits- oder der Präzisionsgrad oder beide abgetragen, auf der X-Achse entweder die Winkelabweichung in Grad Bogenmaß (bei der Betrachtung projektiver Relationen) oder die Distanz (bei topologischen Relationen) in der Einheit "Ausdehnung des Referenzobjektes".

---

[23]Eine konkrete Hecke kann in verschiedenen Kontexten unterschiedliche Auswirkungen haben; daraus resultiert die unterschiedliche Anzahl von Lexemen und Modifikatorenmengen.

[24]Wenn man die verschiedenen Faktoren mit Gewichten belegen könnte, wäre dies einfach zu realisieren, indem man den Präzisionsgrad für jeden Faktor separat berechnet und dann anhand der Gewichte zu einem Präzisionsmaß zusammenfaßt.

Unterschied Anwendbarkeitsgrad - Präzisionsgrad

In Abbildung 5.29 sind zum Vergleich die Kurven sowohl des Anwendbarkeitsgrades (AG) als auch des Präzisionsgrades (PG) - in diesem Fall: des lokalen Flächen-Präzisionsgrades - für "sehr rechts" und "rechts" dargestellt. Dabei ist zum einen deutlich der unterschiedliche Kurvenverlauf für den AG und den PG derselben Raumrelation zu erkennen, ob mit oder ohne linguistischer Hecke. Zum anderen zeigt die Abbildung, daß der PG von "sehr rechts" den von "rechts" für Winkelabweichungen unterhalb ca. 0,18 Grad majorisiert. Ein auf diesem Maß arbeitender Entscheidungsmechanismus würde in dieser Region also die Beschreibung "sehr rechts" wählen, was ja auch der Intuition entspricht. Der AG von "sehr rechts" hingegen liegt an allen Stellen außer Null unter dem von "rechts".

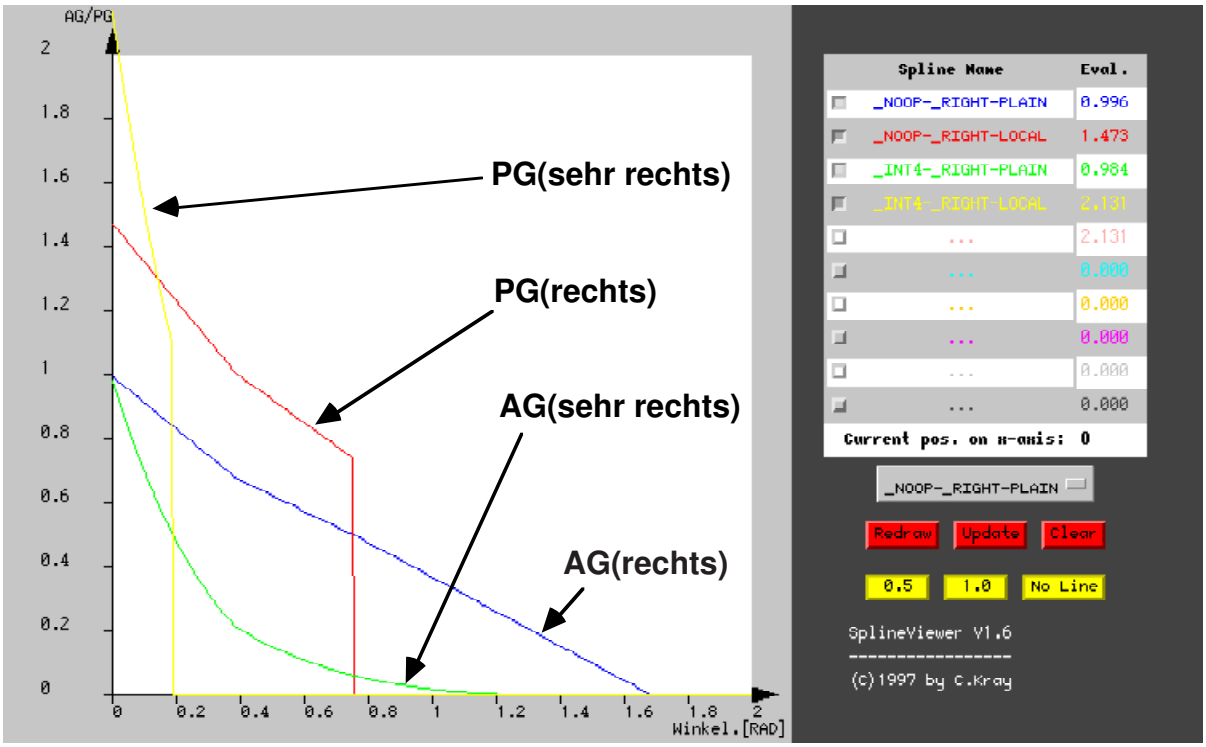

Abbildung 5.29: Anwendbarkeits- und Präzisionsgrad

Unterschied der globaler Flächen-Präzisionsgrade

Abbildung 5.30 zeigt die Kurven des globalen (ungewichteten) Präzisionsgrades für die Lokalisationen "links", "ungefähr links", "sehr links" und "genau links". In Abbildung 5.31 sind dieselben Raumbeschreibungen für den gewichteten Fall dargestellt. Während sich die Kurven auf den ersten Blick stark ähneln, offenbart eine genauere Betrachtung deutliche Unterschiede. Unterhalb der Y-Achse sind die Intervalle aufgetragen, innerhalb derer eine bestimmte Beschreibung den höchsten Präzisionsgrad liefert. Eins steht für "genau links", zwei für "sehr links", drei für "links" und vier für "ungefähr links". Diese Intervalle unterscheiden sich in der ungewichteten Variante erheblich von der gewichteten: Während im ersten Fall die Bereiche eins bis drei in etwa die gleiche Ausdehnung besitzen, ist dies im zweiten Fall nicht so. Das bedeutet beispielsweise, daß mit dem Übergang von der ungewichteten zur gewichteten Bewertung eine Ausweitung und Verschiebung des Intervalls einhergeht, in dem die Beschreibung "links" präferiert wird.

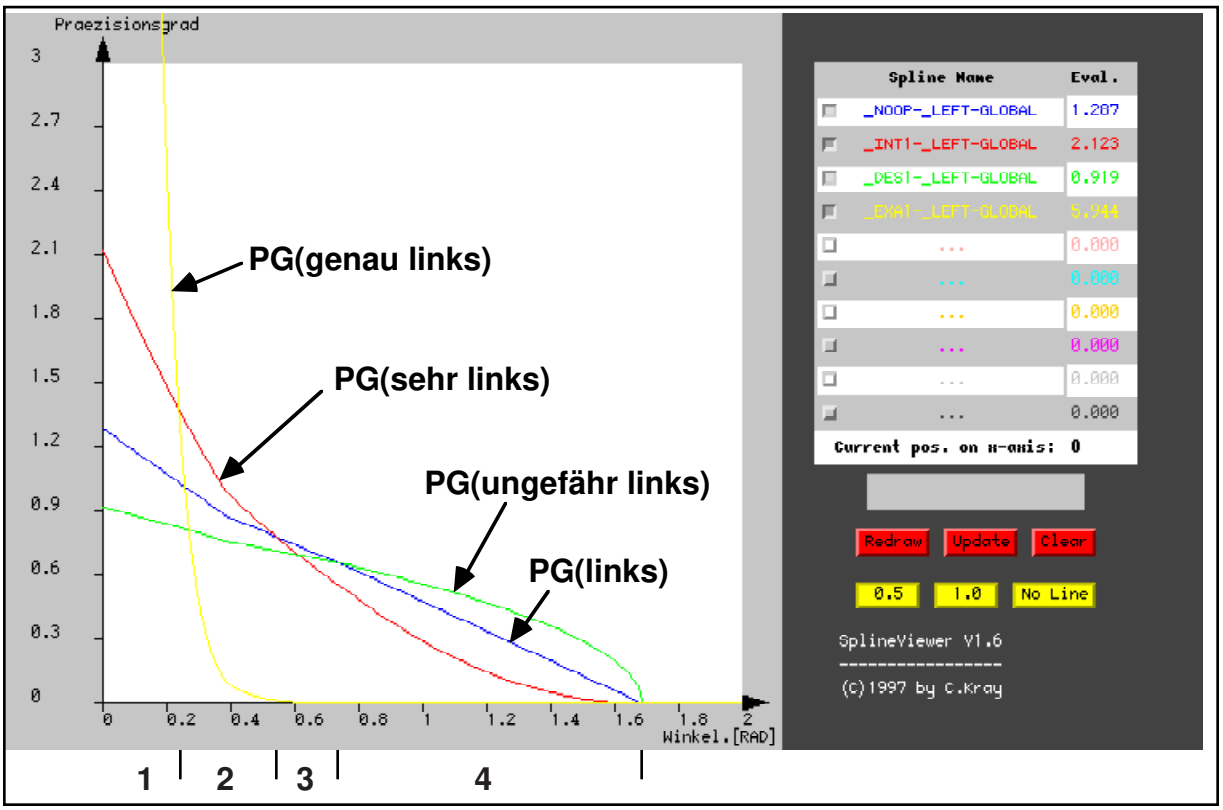

Abbildung 5.30: Globaler Flächen-Präzisionsgrad

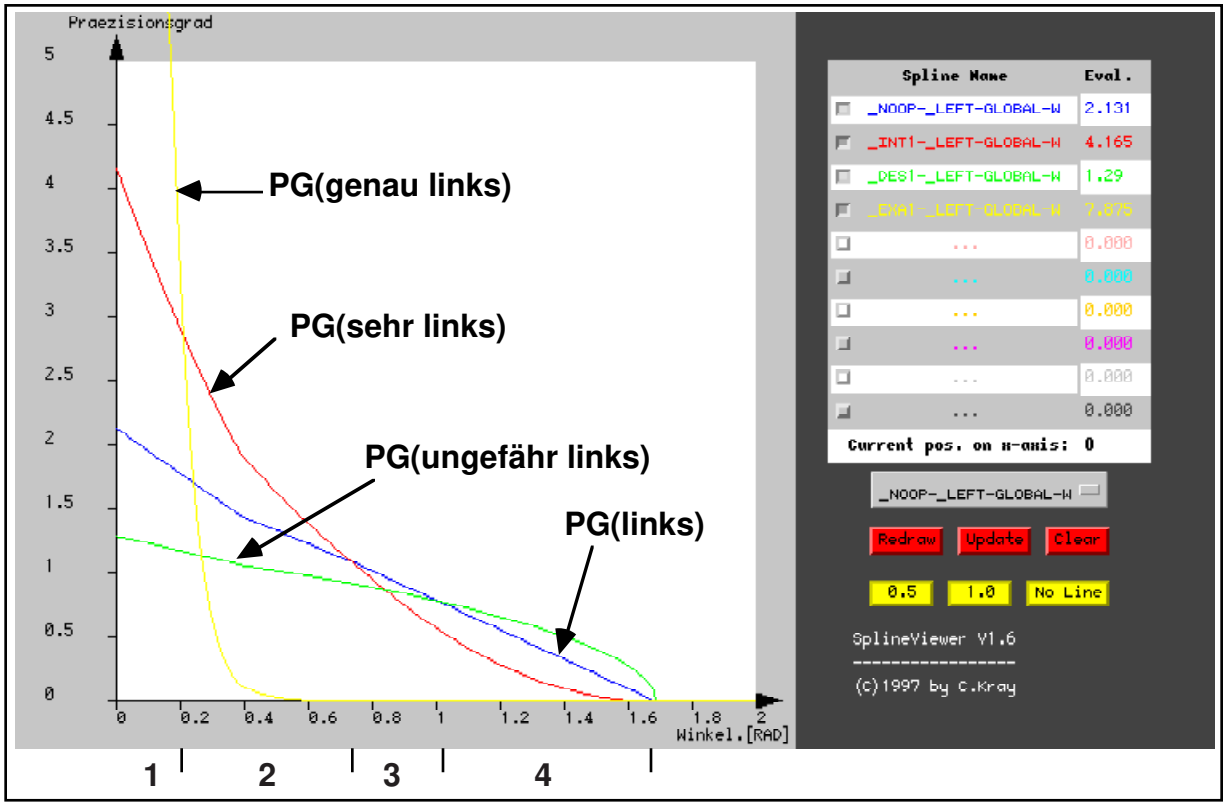

Abbildung 5.31: Globaler gewichteter Flächen-Präzisionsgrad

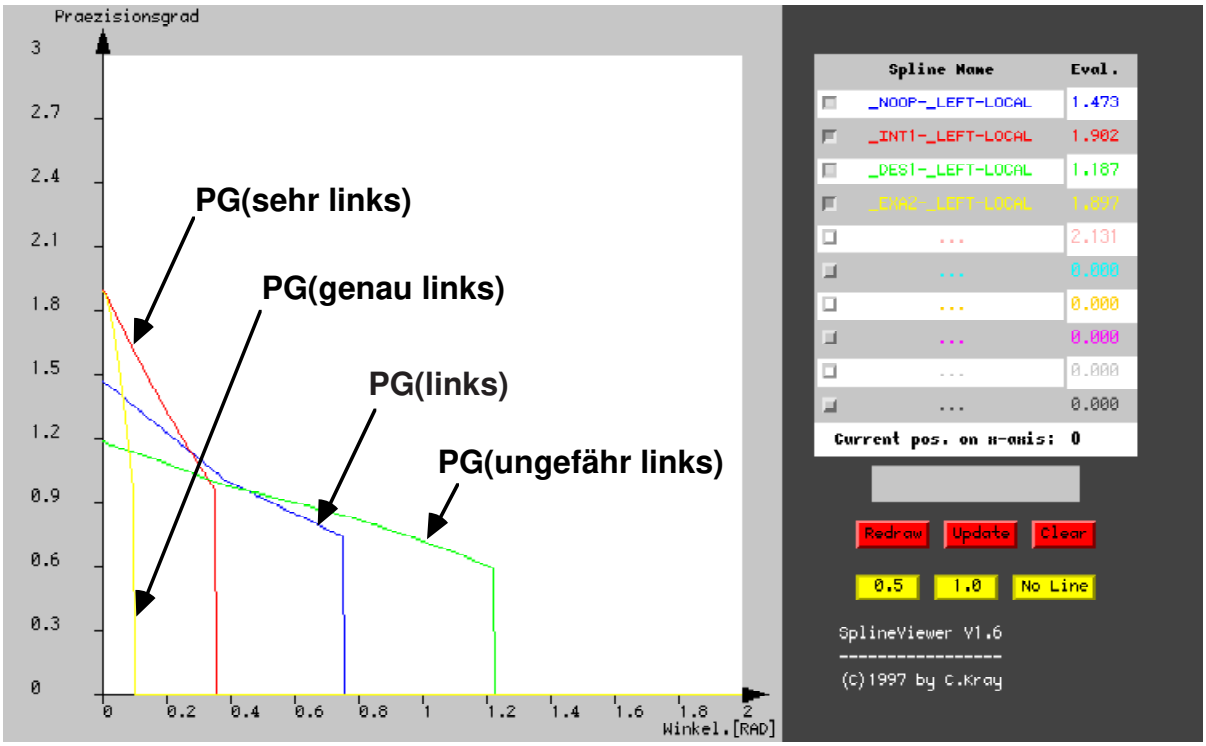

Abbildung 5.32: Lokaler (ungewichteter) Flächen-Präzisionsgrad

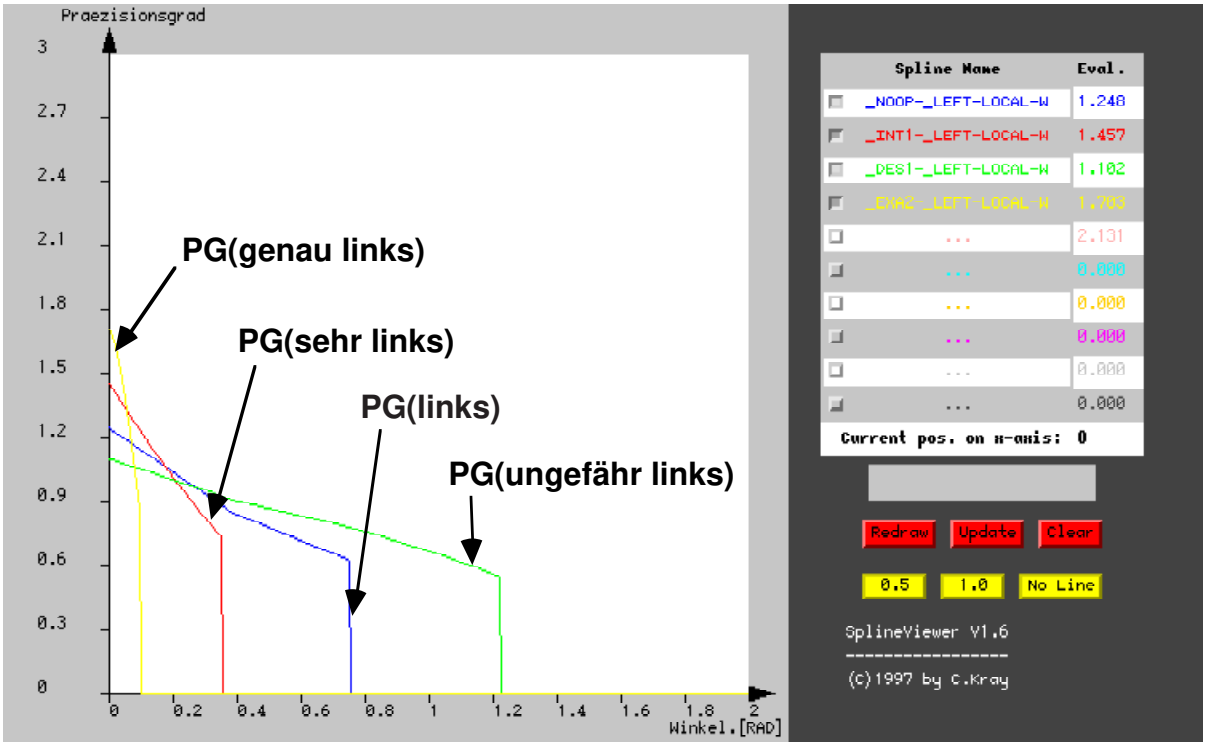

Abbildung 5.33: Lokaler gewichteter Flächen-Präzisionsgrad

Unterschied der lokalen Flächen-Präzisionsgrade
Ebenso wie die die verschiedenen globalen Flächenmaße unterscheiden sich auch die lokalen. In den Abbildungen 5.32 und 5.33 sind die Bewertungen derselben Raumbeschreibungen dargestellt wie auch im vorherigen Beispiel: "genau links", "sehr links", "ungefähr links" und "links".

Diesmal geben die Kurven allerdings den lokalen ungewichteten bzw. den lokalen gewichteten Präzisionsgrad wieder. Auch in diesem Fall zeigt sich ein deutlicher Unterschied: Wie Abbildung 5.32 zu entnehmen ist, liegt der lokale ungewichtete Präzisionsgrad von "sehr links" an allen Stellen über dem von "genau links"; diese Beschreibung würde also nie gewählt werden. Anders ist dies bei der Betrachtung des lokalen gewichteten Präzisionsgrades (Abbildung 5.33): Hier ist zu erkennen, daß bei Winkelabweichungen kleiner als 0,1 Grad die Kurve zu "genau links" die höchsten Funktionswerte liefert.

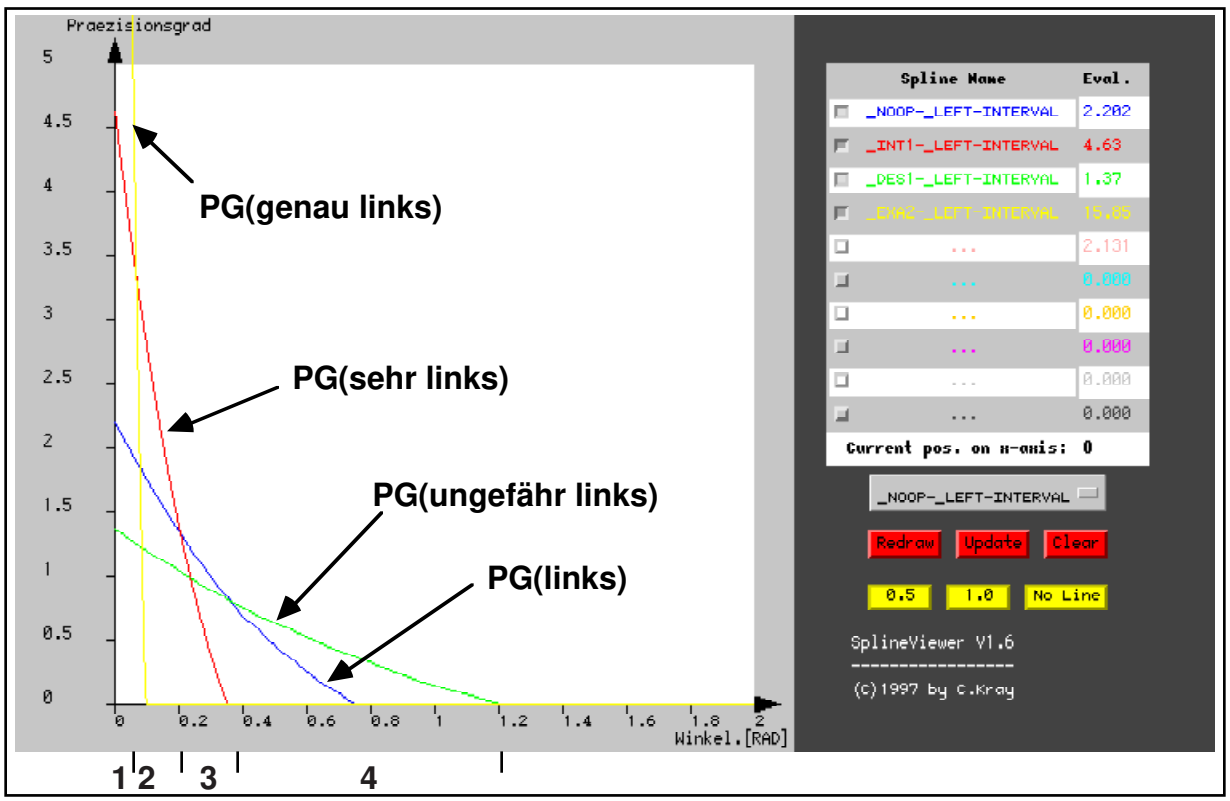

Abbildung 5.34: Lokaler Intervall-Präzisionsgrad

Lokaler Intervall-Präzisionsgrad

Vergleicht man die Bewertungen, die durch den Intervall-Präzisionsgrad generiert wurden (Abbildung 5.34), mit denen, die durch die Anwendung der lokalen bzw. globalen Flächenmaße (Abbildung 5.30 bis 5.33) erzeugt wurden, zeigt sich der unterschiedliche Verlauf der jeweiligen Kurven zu den angegebenen Lokalisationen. Damit einher geht eine andere Aufteilung der Intervalle, in denen bestimmte Raumbeschreibungen favorisiert werden: "Genau links" wird lediglich für sehr geringe Winkelabweichungen toleriert (Intervall eins). Für etwas größere Abweichungen, aber auch nur in einem engen Bereich, liefert der Term "sehr links" die besten Werte (Intervall zwei). Zwischen 0,2 und 0,4 Grad (Intervall drei) wird "links" als Beschreibung präferiert. Wird der Winkel noch größer, liegt der Präzisionsgrad von "ungefähr links" am höchsten.

Diese Aufteilung entspricht in hohem Maße dem natürlichen Sprachgebrauch, der "genau" lediglich für solche Prädikate zuläßt, die fast vollständig zutreffen. Für "sehr" hingegen sind die Toleranzen etwas weiter gefaßt, während ab einem bestimmten Maß an Nicht-Zutreffen dieser Umstand mit "ungefähr" kommentiert wird.

Vergleich globaler Flächen-Präzisionsgrad - lokaler Intervall-Präzisionsgrad

Wie bereits angesprochen ergeben sich für die Bewertungen nach dem globalen PG bzw. nach dem Intervall-PG deutliche Unterschiede. In Abbildung 5.35 sind die Kurven zu "über" und "genau über" jeweils für den globalen gewichteten Flächen-Präzisionsgrad und den lokalen Intervall-Präzisionsgrad aufgetragen. Neben dem unterschiedlichen Kurvenverlauf fallen zwei Punkte auf: Zum einen wird nach der Intervall-Methode die Präzision von "genau über" bzw. "über" für Winkelabweichungen über 0,4 bzw. 0,8 Grad mit Null bewertet, während der globale PG bis zum Rand des Definitionsbereichs bei 0,5·π zwar geringe Werte liefert, die aber über Null liegen. Zum anderen liegen die Schnittpunkte der Graphen zu "genau über" und "über" für die beiden Präzisionsgrade an unterschiedlichen Stellen. Während nach der globalen Methode "genau über" für Winkelabweichungen unter 0,8 Grad bevorzugt wird, tritt dies nach der Intervall-Methode erst für Winkel kleiner 0,2 Grad zu. In beiden Punkten entspricht die Bewertung nach dem Intervall-Präzisionsgrad also stärker dem natürlichen Sprachgebrauch.

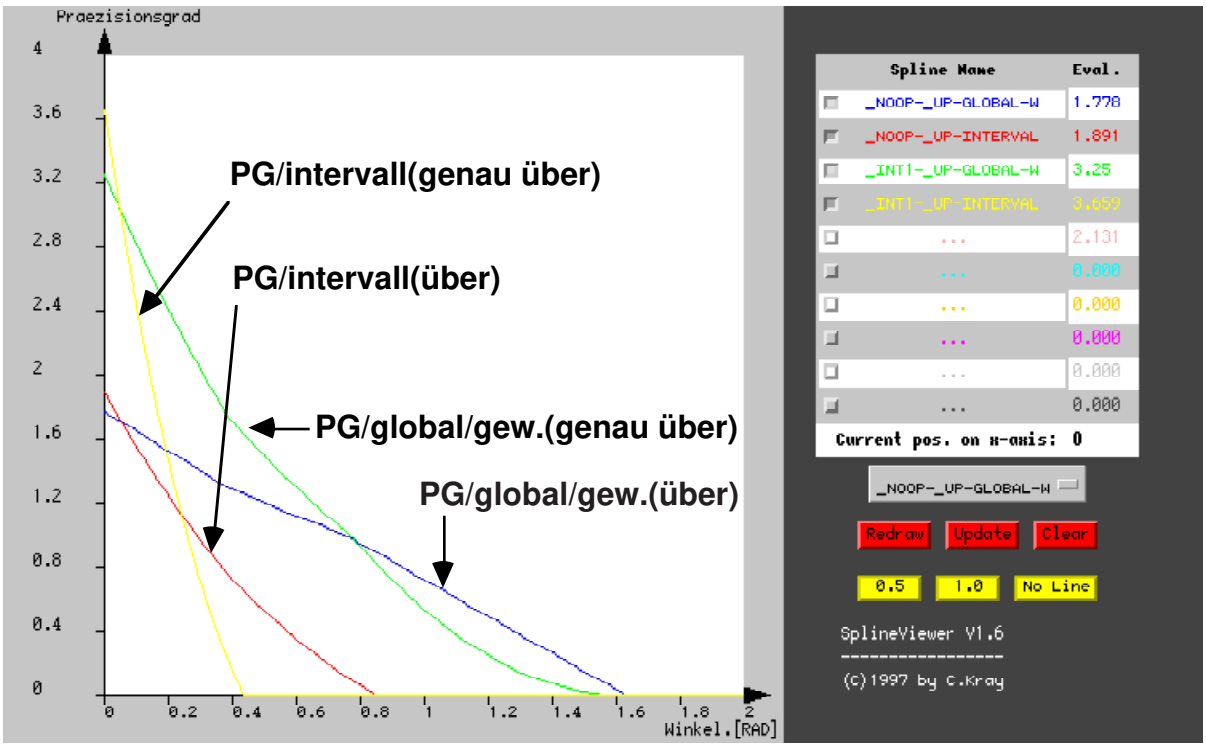

Abbildung 5.35: Globaler PG und Intervall-PG

Vergleich lokaler Flächen-Präzisionsgrad - Intervall-Präzisionsgrad
Auch die Bewertungen durch den lokalen (gewichteten) Präzisionsgrad unterscheiden sich von denen, die auf dem lokalen Intervall-Präzisionsgrad basieren. Zwar ist beiden gemein, daß die Präzision für Winkelabweichungen über einem bestimmten Wert mit Null bewertet wird (vgl. Abbildung 5.36). (Dies grenzt sie von den globalen Maßen ab, die über den gesamten Definitionsbereich Werte größer Null liefern.) Aber nichtsdestotrotz ergeben sich Bewertungsdifferenzen. Wie in Abbildung 5.36 (neben der unterschiedlichen Kurvenform) zu erkennen ist, liegen beispielsweise die Schnittpunkte der Graphen zu "links" und "ungefähr links" für die beiden Präzisionsgrade an unterschiedlichen Stellen. Während für Winkelabweichungen kleiner als 0,25 Grad nach der Intervall-Methode "links" bevorzugt wird, ist dies nach der lokalen Flächen-Methode nur für Abweichungen kleiner als 0,1 Grad der Fall.

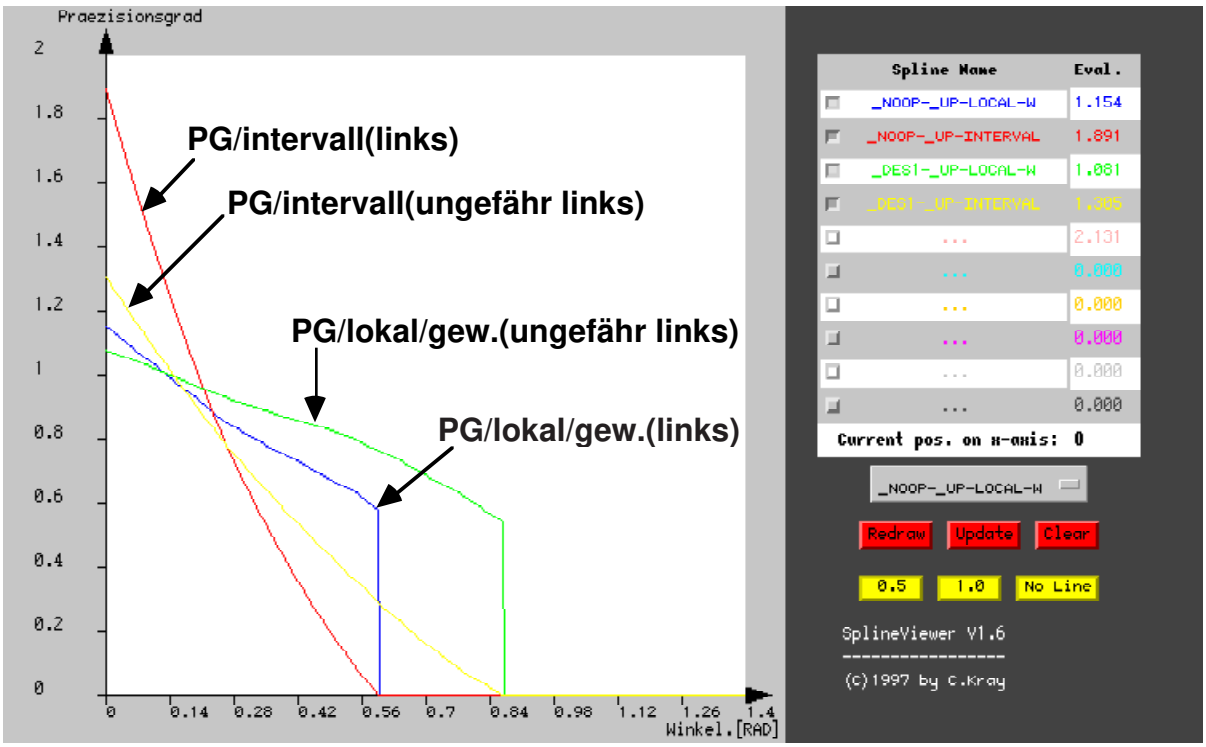

Abbildung 5.36: Lokaler PG und Intervall-PG

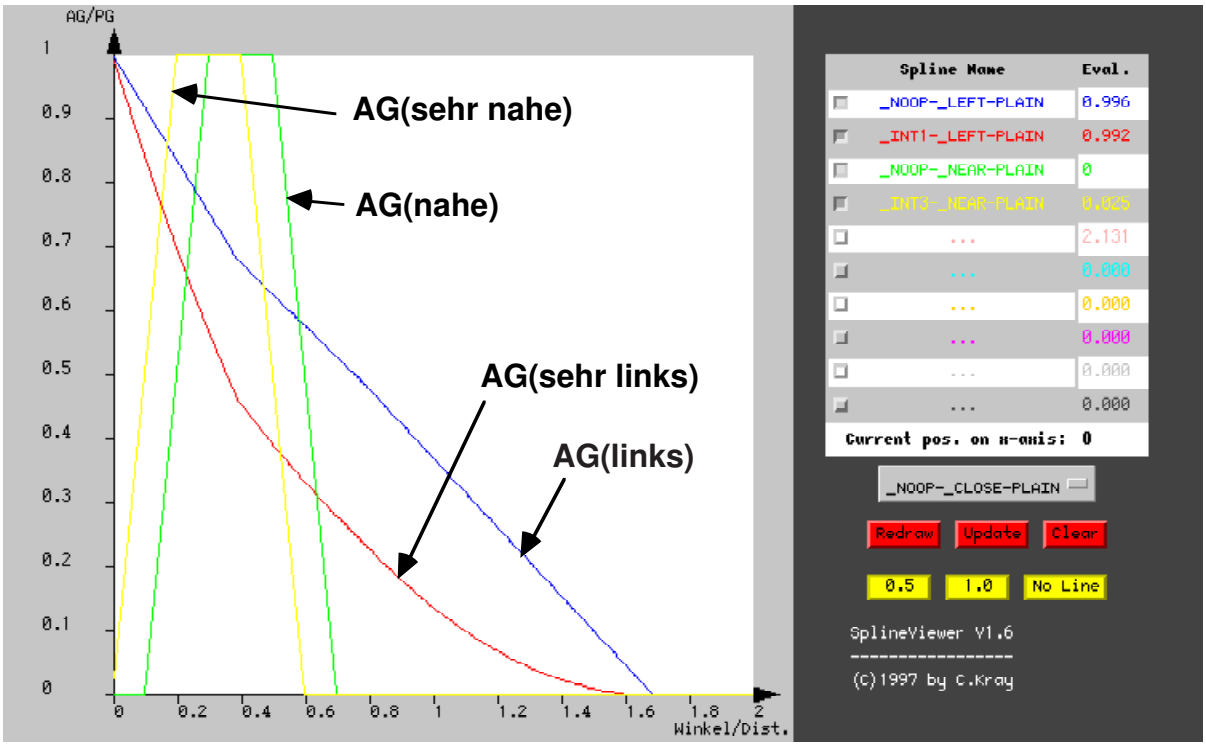

Abbildung 5.37(a): Modifikationsfunktionen zu "sehr"

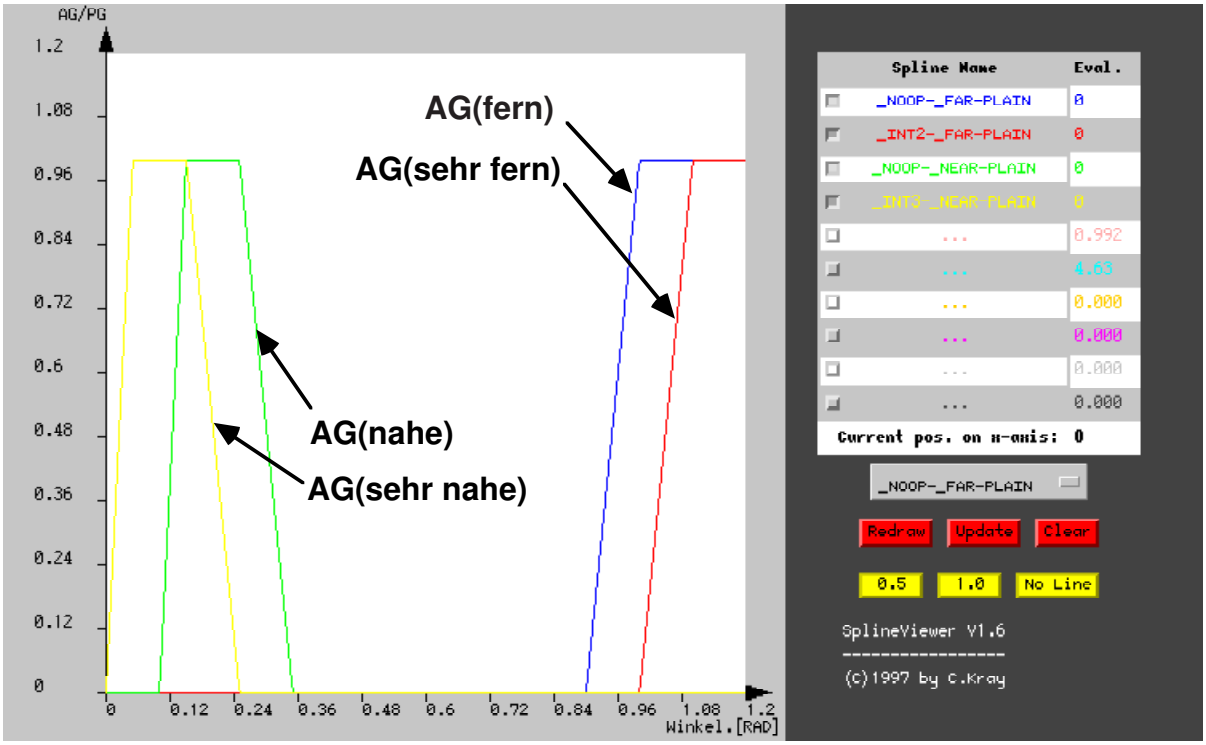

Abbildung 5.37(b): Modifikationsfunktionen zu "sehr"

Unterschiedliche Auswirkungen derselben linguistischen Hecke
Ein wichtiger Kritikpunkt an Ansätzen wie dem von [Lakoff 73] war der Umstand, daß dieselbe linguistische Hecke unterschiedliche Auswirkungen auf verschiedene Prädikate haben kann. In den Abbildungen 5.37(a) und 5.37(b) sind die Auswirkungen der linguistischen Hecke "sehr" auf die Anwendbarkeitskurven der Raumrelationen "links", "nahe" und "fern" aufgetragen. Zu erkennen ist, daß die Modifikation im Fall von "links" in einer Konzentrationsfunktion (z.B. Quadrierung) besteht, während bei "fern" und "nahe" eine Translation nach rechts bzw. links zur Anwendung kommt. Alle diese Modifikation führen jedoch zu derselben Verbalisierung "sehr".

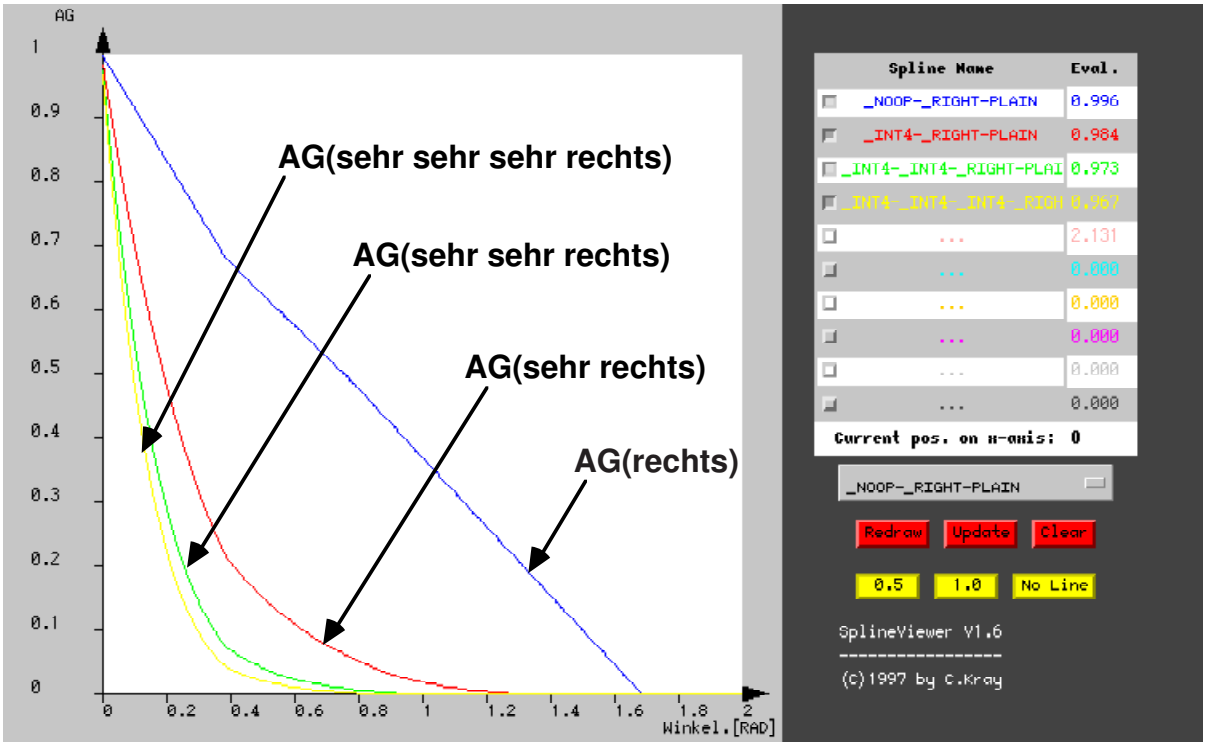

Abbildung 5.38: Mehrfachanwendung von linguistischen Hecken

Mehrfache Anwendung von linguistischen Hecken
Ein weiterer Punkt, der in bisherigen Systemen meist vernachläsigt wurde, ist der Umstand, daß die Auswirkung von Hecken schwächer wird, wenn sie mehrfach angewendet werden. Während manche Autoren soweit gehen, zu behaupten, daß mehr als zwei Heckenausdrücke unzulässig sind bzw. nicht dem natürlichen Sprachgebrauch entsprechen [Pinkal 85], ist doch zumindest festzustellen, daß die absoluten Veränderungen abnehmen. Der Unterschied von "rechts" zu "sehr rechts" beispielsweise ist sicherlich größer als der von "sehr rechts" zu "sehr sehr rechts". Diesem Faktum wird im hier vorgestellten System ebenfalls Rechnung getragen: In Abbildung 5.38 sind die Anwendbarkeitskurven zu "rechts" sowie zu den mehrfachen Anwendungen von "sehr" auf diese Raumrelation dargestellt. Dabei ist deutlich zu erkennen, daß die bewirkte Veränderung durch die zusätzliche Anwendung von "sehr" mit der Anzahl der Applikationen stark abnimmt.

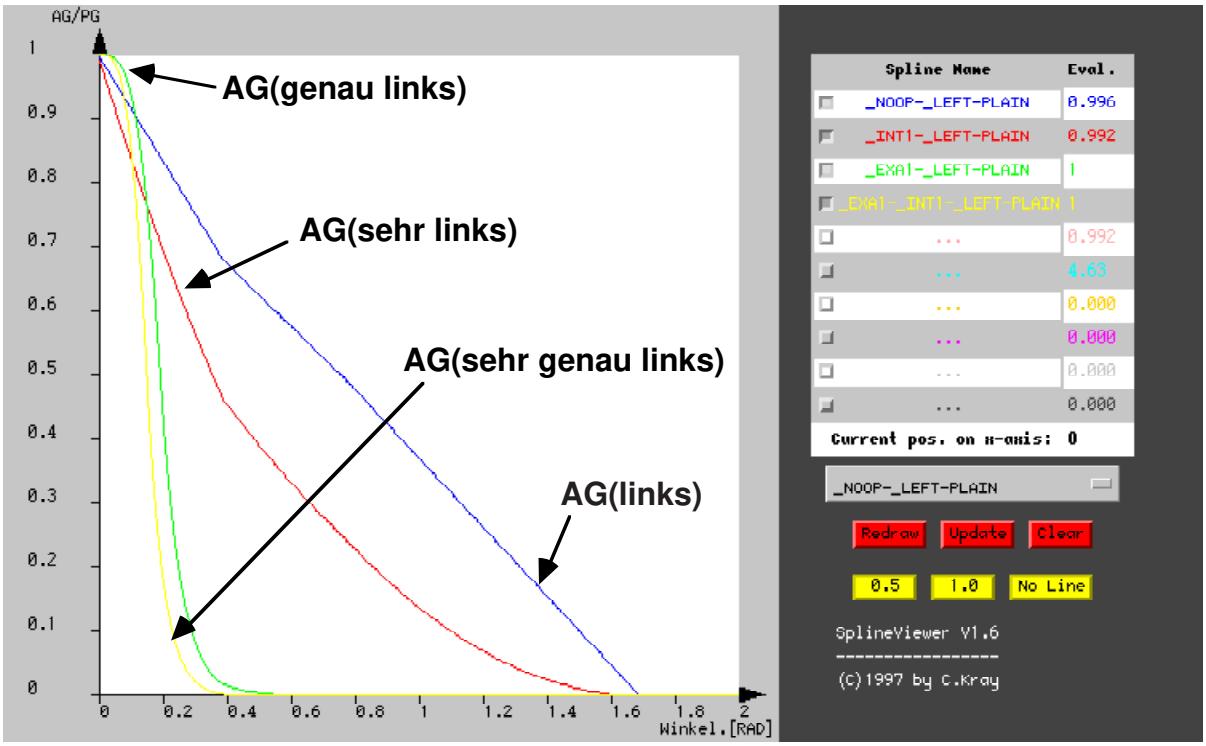

Abbildung 5.39(a): Anwendbarkeitsgrade verschiedener Heckenkombinationen

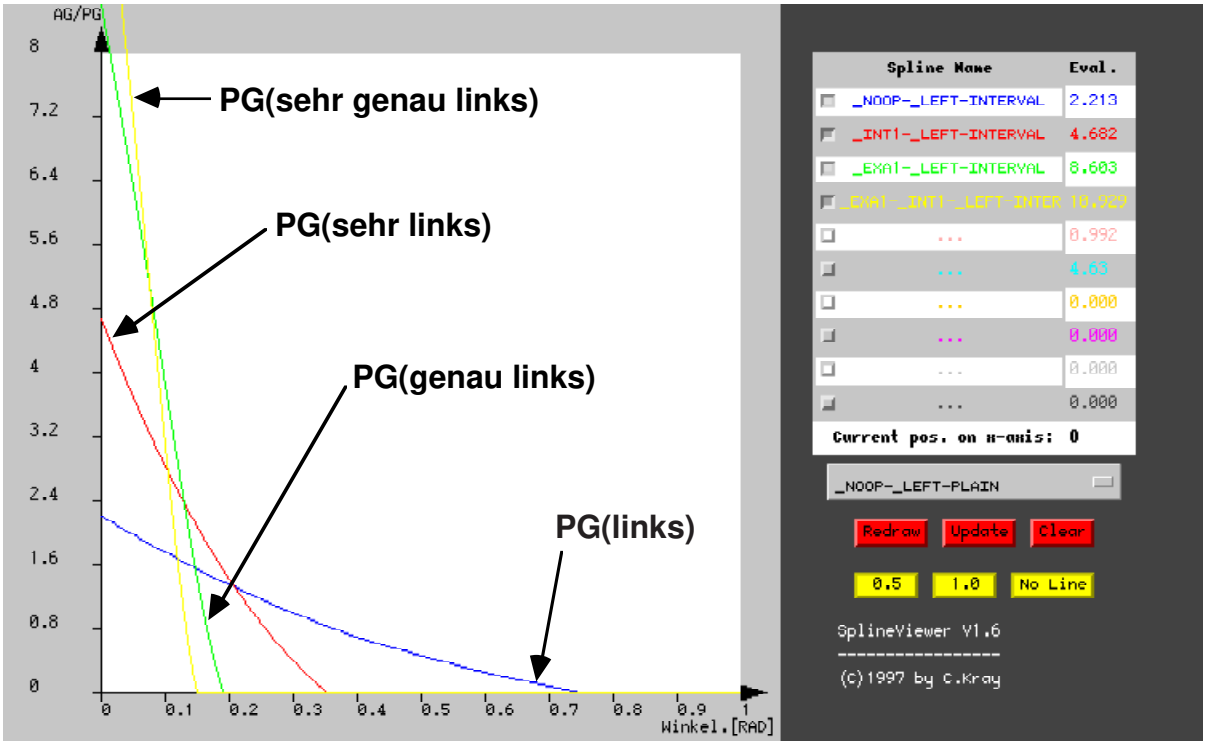

Abbildung 5.39(b): Präzisionsgrade verschiedener Heckenkombinationen

Kombination verschiedener Heckenausdrücke
Natürlich können auch unterschiedliche linguistische Hecken gemeinsam mit einer Raumrelation kombiniert werden. Dann werden die zur Modellierung bestimmter Hecken verwendeten Modifikationsfunktionen kombiniert auf die Anwendbarkeitskurve der zugrundeliegenden Relation angewendet. In Abbildung 5.39(a) ist dieser Fall exemplarisch für "links" und "sehr" bzw. "genau" illustriert. Dabei sei darauf hingewiesen, daß in diesem Fall ebenfalls der Abschwächungseffekt (vgl. Abbildung 5.38) auftritt, also zusätzliche Hecken eine geringere Auswirkung haben als die erst-applizierte.[25]

Die Bewertung der so entstandenen Graphen nach dem Intervall-Präzisionsgrad zeigt, daß auch Kombinationen von verschiedenen Hecken favorisiert werden können: So majorisiert beispielsweise der Präzisionsgrad von "sehr genau links" den von "genau links" bei sehr geringen Winkelabweichungen (vgl. Abbildung 5.39(b)). Dies entspricht auch dem normalen Sprachgebrauch.

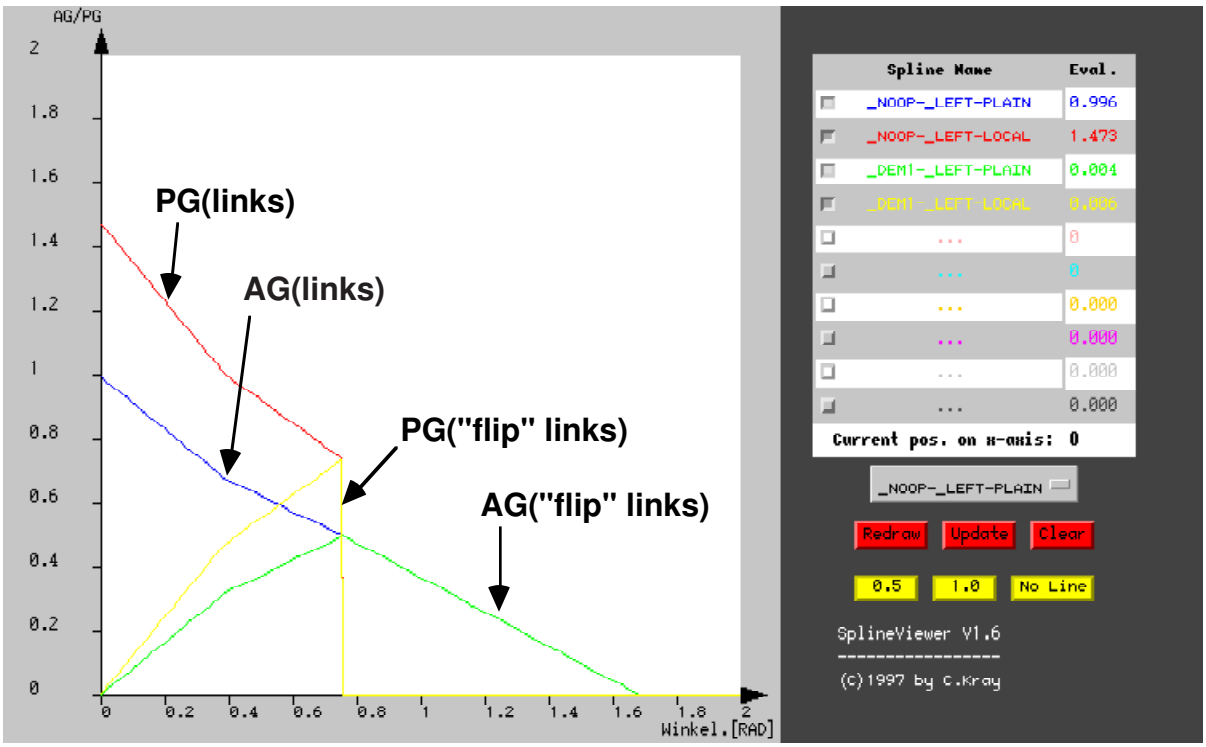

Abbildung 5.40(a): Modifikationsfunktion "flip"

Verschiedene Modifikationsfunktionen
Im Rahmen des realisierten Systems lassen sich in weiten Grenzen Modifikationsfunktionen definieren - und zwar sowohl Prä- als auch Postmodifikationen. Damit ist der Freiheitsgrad der Modellierung von linguistischen Hecken, die auf diesen Funktionen basieren, entsprechend hoch. In Abbildung 5.40(a) und 5.40(b) sind zwei solche atomare Modifikatoren dargestellt, die sich in bisherigen Systemen kaum realisieren ließen. Der Anwendbarkeitsgrad und der lokale (ungewichtete) Flächen-Präzisionsgrad der Funktion "flip" auf die Relation "links" appliziert sowie die unmodifizierten Varianten dazu sind in Abbildung 5.40(a) zu sehen.

[25]Dieser Umstand bedingt auch, daß die Reihenfolge der Hecken innerhalb einer Kombination von Bedeutung ist: Demnach wird der Kurvenverlauf zu "sehr genau links" sich von dem zu "genau sehr links" unterscheiden und folglich anders bewertet werden.

"Flip" spiegelt alle Funktionswerte oberhalb 0,5 an der Parallele zur X-Achse mit Abstand 0,5. In Abbildung 5.40(b) sind die entsprechenden Kurven für "cuttop" eingetragen. Diese Funktion bewirkt, daß alle Funktionswerte oberhalb 0,95 auf Null gesetzt werden. In diesem Fall ist statt des lokalen Flächen-Präzisionsgrades der Intervall-Präzisionsgrad abgebildet. Beide Funktionen können etwa zur Modellierung von linguistischen Hecken wie "kaum" bzw. "fast" eingesetzt werden.

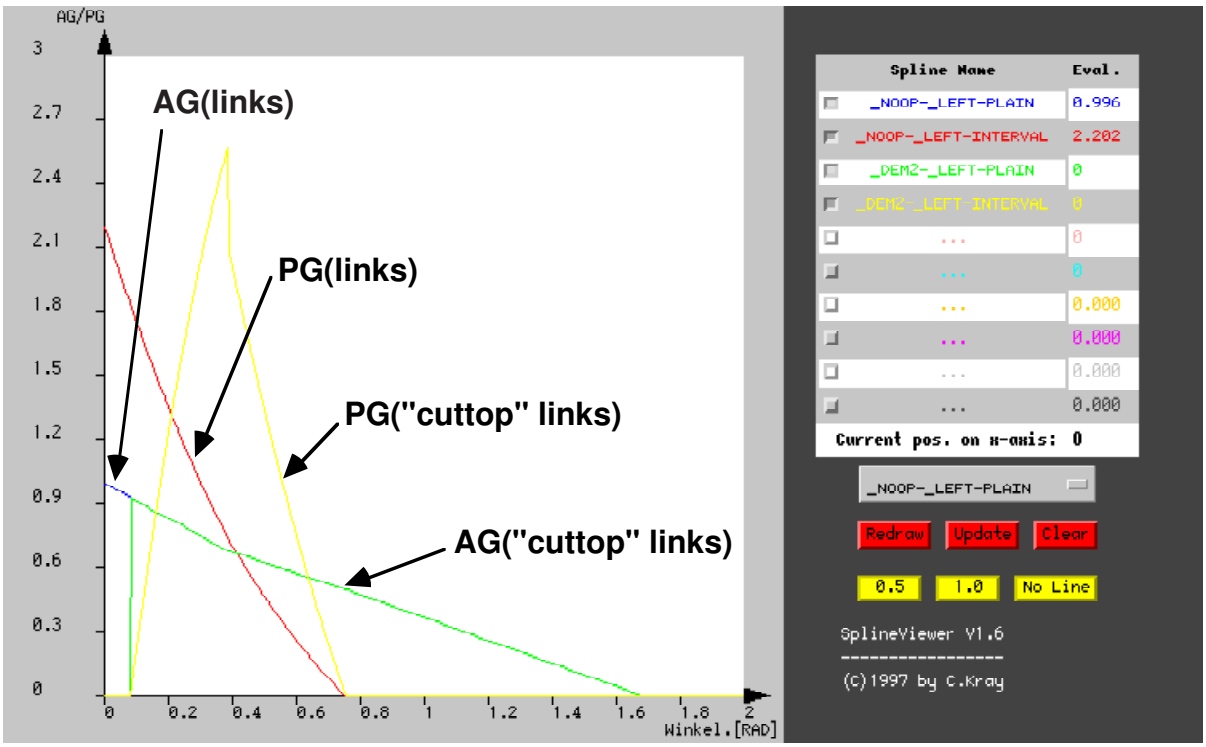

Abbildung 5.40(b): Modifikationsfunktion "cuttop"

Kapitel 6

Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

Basierend auf der Fuzzy-Mengentheorie und dem Anwendbarkeitsgrad für räumliche Relationen wurde mehrere Berechnungsverfahren für die Bewertung von Präzision in Aussagen vorgestellt. Diese Verfahren unterscheiden sich sowohl in Bezug auf die Qualität ihrer Ergebnisse als auch bezüglich des Rechenaufwandes, der zu ihrer Ausführung nötig ist. Dies kommt sowohl der Anytime-Architektur des Systems BOLA (in dessen Realisierung die Präzisionsgrade einflossen) als auch dem Gedanken der Ressourcenadaptivität entgegen.

Die Sinnhaftigkeit der Präzisionsmaße wurde im Rahmen eines Modells für linguistische Hecken demonstriert. Dazu wurden zunächst unterschiedliche Klassifikationsmöglichkeiten vorgestellt, die die Komplexität des Ausdrucksmittel linguistische Hecke aus verschiedenen Perspektiven beleuchteten. Nach der Präsentation bisheriger Modellierungsansätze und der Diskussion ihrer jeweiligen Vor- und Nachteile, wurde dann ein eigener Vorschlag unterbreitet, der durch die Trennung der Lexeme von den Funktionen der Heckenausdrücke leistungsfähiger als seine Vorgänger ist. Die Integration dieses Ansatzes in das von Gapp entwickelte Modell für Raumreferenzen lieferte ein Gesamtmodell, das die Realisierung von Raumbeschreibungen unter Einbeziehung von Heckenausdrücken gestattet und damit die Funktionalität des ursprünglichen Systems erweitert. Desweiteren erlaubt die Präzisionsbewertung die Generierung höherwertiger Verbalisierungen, als mithilfe des Ausgangssystems erzeugt werden konnten.

Die praktische Realisierbarkeit des so gewonnenen Modells wurde anschließend anhand der Implementation in Rahmen von BOLA demonstriert. Das entworfene System genügt den dort gestellten Anforderungen und erfüllt darüberhinaus wesentliche Voraussetzungen für die Integration in andere Gastsysteme. Da die beschriebenen Beschränkungen nicht modellinhärent sondern größtenteils aufwandsbedingt sind, steht einer Erweiterung nichts entgegen.

6.2 Ausblick

Wie bereits verschiedentlich im Laufe der Arbeit angedeutet, wurden im Zuge ihrer Erstellung eine Vielzahl von Fragen aufgeworfen, die sich als zukünftige Erweiterungen bzw. Forschungsgegenstände eignen. Diese sind insbesondere durch das bisher eher geringe Forschungsinteresse (in KI-nahen Bereichen) an dem Thema linguistische Hecken bedingt, gehen aber auch in andere Richtungen. Auf grundsätzlichem Niveau stellen sich einige Fragen, deren Klärung experimenteller Befunde bedarf:

- **Wirkungsweise einzelner Hecken**
  Um die genauen Auswirkungen von bestimmten Heckenausdrücken auf bestimmte Prädikate adäquat modellieren zu können, bedarf es einer empirischen Datenbasis, die als Grundlage für die zu wählenden Modifikationsoperatoren dienen sollte. Daneben bleibt zu klären, ob die Wirkung einer bestimmten Hecke über verschieden Prädikate konstant bleibt, und wenn dies nicht der Fall sein sollte, welchen Regelmäßigkeiten die unterschiedlichen Wirkungsweisen folgen. Offen ist ebenso, ob die Auswirkung von Hecken über verschiedene Subjekte konstant ist, oder ob sie variiert.

- **Anwendung von bestimmten Hecken**
  Auch die Kriterien, die der Auswahl bestimmter Heckenausdrücken zugrunde liegen, sind noch weitgehend unbekannt. Interessant wäre hierbei etwa, welche Hecken unter Zeitdruck generiert werden und für welche eine längere "Berechnungsdauer" notwendig ist. Auch die Frage, ob die Generierung von Hecken über Lexikonzugriffe hinaus kognitive Ressourcen beansprucht, ist noch offen. Desweiteren wäre der Vergleich, ob eher Kombinationen von räumlichen Relationen oder mit Hecken versehene einzelne Relationen verwendet werden, von Bedeutung (vor allem für die konkrete Implementation).

Über diese Fragen grundsätzlicher Natur hinaus bietet auch die konkrete Implementation des vorgestellten Modells einige Ansatzpunkte, die verschiedene Möglichkeiten zur Weiterentwicklung eröffnen. Diese lassen, ebenso wie die angesprochenen experimentellen Befunde, eine weitere Annäherung an das "natürliche" Sprechverhalten erwarten. Im Einzelnen bieten sich folgende Punkte für die Fortführung der Arbeit an:

- **Intelligentere Heckenauswahl**
  In der aktuellen Implementation sind recht einfache Mechanismen für die Auswahl der "optimalen" Hecke zuständig. Durch den Einsatz von intelligenterer Heuristiken könnte hier eine wesentlich effizientere Berechnung ermöglicht werden. In diesem Zusammenhang wäre eine Art von Performanzprofilen denkbar, die Erfahrungen über den Erfolg von vorhergegangenen Auswahlprozessen speichern könnten und in spätere Arbeitsschritte einfließen lassen könnten.

- **Verbesserte Negationsbehandlung**
  Ebenso wie die Heckenauswahl kann die Behandlung des Negationspartikel erweitert werden. Hier wären experimentelle Befunde zur Heckenwirkung besonders hilfreich, um eine effektive Anwendung der Negation zu gewährleisten. Die Komplexität der Materie läßt vermuten, daß die Realisierung in einem eigenen Modul angebracht wäre.

- **Auswahl des Präzisionsgrades**
  In Kapitel 3 wurden mehrere verschiedene Präzisionsgrade mit unterschiedichen Stärken und Schwächen vorgestellt. Während sich auf der einen Seite Aussagen darüber machen lassen, wie *genau* ein bestimmtes Verfahren ist bzw. wie groß die Wahrscheinlichkeit einer kontraintuitiven Äußerung aufgrund der jeweiligen Berechnung ist, stellt sich auf der anderen Seite die Frage, unter welchen Umständen welches Präzisionsmaß am *sinnvollsten* ist.

- **Anwendung von Hecken auf Objektcharakteristika**
  Das hohe Abstraktionsniveau der vorgeschlagenen Ansätze erlaubt den Einsatz linguistischer Hecken auch in anderen Kontexten. Im Rahmen des Projektes REAL wäre die Anwendung von Hecken auf bestimmte Eigenschaften von Objekten (wie z.B. Größe, Form oder Farbe) besonders wünschenswert. Dadurch könnten zusätzliche Informationen etwa in den Auswahlprozeß des besten Referenzobjektes einfließen oder die Lokalisierung von Objekten aufgrund von bestimmten Charakteristika ermöglicht bzw. verbessert werden.

- **Kommentierung der Gesamtaussage**
  Wie in Kapitel 4 erwähnt, eignen sich gerade die Modalwörter hervorragend zur Kommentierung der Gesamtaussage. Die Verbalisierung des Vertrauens in eine Aussage ist im Kontext ressourcenbeschränkter bzw. -adaptierender Sprachgenerierung besonders interessant, da sie dem Hörer wichtige Zusatzinformation übermittelt.

Darüber hinaus wäre es für die weitere Validierung der in dieser Arbeit präsentierten Berechnungsverfahren sowie die vorgestellten Modelle von Interesse, in andere Systeme integriert zu werden. Dies sollte wegen der weitgehenden Kapselung der Funktionalität relativ einfach möglich sein. Vorraussetzung ist, daß das Gastsystem auf einem ähnlichen Bewertungssystem (Anwendbarkeitsgrad bzw. Fuzzy-Mengen-Zugehörigkeitsfunktionen) basiert.

Literaturverzeichnis

[Ballmer & Pinkal 83] **T. Ballmer** und **M. Pinkal.** *Approaching Vagueness.* Amsterdam: North Holland, 1983.

[Biewer 97] **Bruno Biewer.** *Fuzzy-Methoden: praxisrelevante Rechenmodelle und Fuzzy-Programmiersprachen.* Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 1997.

[Black 37] **M. Black.** *Vagueness: An exercise in logical analysis.* Philosophy of Science 4: 427-455, 1937,

[Blau 78] **U. Blau.** *Die dreiwertige Logik der Sprache.* Papiere zur Linguistik 4: 20-96, 1978.

[Bolinger 72] **Dwight Bolinger.** *Degree words.* The Hague 1972 (Janua linguarum. Series major 53)

[Bouchon-Meunier 92] **Bernadette Bouchon-Meunier.** *Fuzzy logic and knowledge representation using linguistic modifiers.* In: L. A. Zadeh and J. Kacprzyk (eds.), Fuzzy Logic for the Management of Uncertainty, S. 399-414. New York: Wiley, 1992.

[Brockhaus 97] *Brockhaus - die Enzyklopädie.* 24 volumes. 20th edition. Leipzig: Brockhaus, 1997.

[Carnap 34] **R. Carnap.** Die logische Syntax der Sprache. Wien: Springer, 1934.

[Cleeren et al. 93] **R. Cleeren, R. Vandenberghe, N. Van Gyseghem** und **R. De Caluwe.** *The Modelling of Vague Predicates Used in Linguistic Expressions by Means of Fuzzy Set Theory.* In: Proceedings of the Fifth International Fuzzy Systems Association World Congress, S. 54-57, 1993.

[Erdmann 10] **K. O. Erdmann.** *Die Bedeutung des Wortes.* Leipzig, 1910.

[Ezawa & Umano 93] **Yoshinori Ezawa** und **Motohide Umano.** *Shift-type Linguistic Hedges and the Structure of the Universe of Discourse.* In: Proceedings of the Fifth International Fuzzy Systems Association World Congress, S. 227-230, 1993.

[Fine 75] **K. Fine.** *Vagueness, Truth and Logic.* Synthese 30: 265-300, 1975.

[Franklin et. al 95] **Nancy Franklin, Linda A. Henkel** und **Thomas Zangas.** *Parsing surrounding*

space into regions. Memory an Cognition 23(4): 397-407, 1995.

[van Fraassen 69] **B. van Fraassen.** *Presuppositions, supervaluations, and free logic.* In: Lambert, K. (ed.), The Logical Way of Doing Things. New Haven: Yale University Press, S. 67-91, 1969.

[Gapp 93] **Klaus-Peter Gapp.** *Berechnungsverfahren für räumliche Relationen in 3D-Szenen.* Memo Nr. 59, Sonderforschungsbereich 314. Saarbrücken: Universität des Saarlandes, 1993.

[Gapp 97] **Klaus-Peter Gapp.** *Objektlokalisation: ein System zur sprachlichen Raumbeschreibung.* Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 1997.

[Görz 94] **G. Görz.** *Anytime Algorithms for Speech Parsing?* In: Proceedings of Coling-94, S. 997-1001. Kyoto, 1994.

[Grice 75] **H. P. Grice.** *Logic and Conversation.* In: P. Cole and J. L. Morgan (eds.), Speech Acts. London: Academic Press, 1975.

[Hanßmann 80] **K.-J. Hanßmann.** *Sprachliche Bildinterpretation für ein Frage-Antwort-System.* Technical report. Hamburg: Universität Hamburg, Fachbereich Informatik, 1980.

[Helbig 90] **Gerhard Helbig.** *Lexikon deutscher Partikeln.* Leipzig: Verlag Enzyklopädie, 1990.

[Helbig & Buscha 84] *Deutsche Grammatik - Ein Handbuch für den Ausländerunterricht.* Leipzig, 1984

[Helbig & Helbig 90] **Gerhard Helbig** und **Agnes Helbig**. *Lexikon deutscher Modalwörter.* Leipzig: Verlag Enzyklopädie, 1990.

[Herrmann & Grabowski 94] **Theo Herrmann** und **Joachim Grabowski.** *Psychologie der Sprachproduktion.* Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 1994.

[Hersh & Caramazza 76] **H. M. Hersh** und **A. Caramazza.** *A fuzzy set apprach to modifiers and vagueness in natural language.* Journal of Experimental Psychology: General, 105(3): 234-276, 1976.

[Hußmann & Schefe 84] **M. Hußmann** und **P. Schefe.** *The Design of SWYSS, a Dialogue System for Scene Analysis.* In: L. Bolc (ed.), Natural Language Communication with Pictorial Information Systems, S. 143-201. München: Hanser/McMillan, 1984.

[Kamp 75] **H. Kamp.** *Two theories about adjectives.* In: E. Keenan (ed.), Formal Semantics of Natural Language. Cambridge University Press, S. 123-155, 1975.

[Kay 83] **Paul Kay.** *Linguistic competence and folk theories of language: Two English hedges.* In: Proceedings of the 9th Annual Meeting of the Berkeley Linguistic Society, S. 128-137. Berkeley, CA: Linguistic Society, 1983.

[Kipper 95] **Bernhard Kipper.** *Repräsentation und Verarbeitung propositionaler Einstellungen in natürlichsprachlichen Systemen.* Dissertation. Saarbrücken: Universität des Saarlandes, 1995.

[Kleene 52] **S. C. Kleene.** *Introduction to Metamathematics.* Amsterdam: North Holland, 1952.

[Kochen & Badre 74] **M. Kochen** und **A. N. Badre.** *On the precision of adjectives which denote*

fuzzy sets. Journal of Cybernetics: 49-59, 1974.

[Kolde 86] **Gottfried Kolde.** *Zur Lexikographie sogenannter Hecken-Ausdrücke.* In: Marga Reiss (ed.), Kontroversen, alte und neue: Akten des VII. Internationalen Germanisten Kongress, Göttingen 1985. Band 3: Textlinguistik contra Stilistik? Wortschatz und Wörterbuch. Tübingen: Niemeyer, 1986.

[Lakoff 70] **G. Lakoff.** *A note on vagueness and ambiguity.* Linguistic Inquiry 1: 357-359, 1970.

[Lakoff 73] **G. Lakoff.** *Hedges: A Study of Meaning Criteria and the Logic of Fuzzy Concepts.* In: Journal of Philosophical Logic 2: 458-508, 1972.

[Lewis 72] **D. Lewis.** *General semantics.* In: D. Davidson & G. Harman, Semantics of Natural Language, S. 169-218. Dordrecht: Reidel, 1972.

[Lukasiewicz 30] **J. Lukasiewicz.** *Philosophische Bemerkungen zu mehrwertigen Systemen des Aussagenkalküls.* Comptes rendus des séance de la Sociéte des Science de Varsovie, Classe III, 23, 51-77. 1930.

[Maaß 1996] **Wolfgang Maaß.** *Von visuellen Daten zu inkrementellen Wegbeschreibungen in dreidimensionalen Umgebungen: Das Modell eines kognitiven Agenten.* Dissertation. Saarbrücken: Universität des Saarlandes, 1996.

[Naess 75] **A. Naess.** *Kommunikation und Argumentation.* Kronberg/Ts.: Scriptor, 1975. Übers. von: A. Naess, En des elementaere Logiske emner. Oslo: Universitetsforlaget, 1975.

[Norwich & Türksen 83] **A. M. Norwich** und **I. B. Türksen.** *A model for the measurement of membership and the consequences of its empirical implementation.* In: D. Dubois, H. Prade, R. R. Yager: Readings in Fuzzy Sets for Intelligent Systems, S. 861-872. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1993.

[Novák 89] **V. Novák.** *Fuzzy Sets and their Application.* Bristol: Adam Hilger, 1989.

[Pinkal 85] **Manfred Pinkal.** *Kontextabhängigkeit, Vagheit, Mehrdeutigkeit.* In: C. Schwarze & D. Wunderlich (eds.), Handbuch der Lexikologie, S. 27-63. Königstein/Ts.: Athendum, 1985.

[REAL 97] *WWW-Seite zum Projekt REAL: Ressource-adaptive Localization.* URL: http://w5.cs.uni-sb.de/real.html, 1997.

[Rescher 69] **N. Rescher.** *Many-valued logic.* New York: McGraw-Hill, 1969.

[Retz-Schmidt 88] **G. Retz-Schmidt.** *Various Views on Spatial Prepositions.* AI Magazine, 9(2):95-105, 1988.

[Russell 23] **B. Russell.** *Vagueness.* Australesian Journal of Psychology and Philosophy 1: 84-92, 1923.

[SFB 97] *WWW-Seiten des Sonderforschungsbereichs 378: Ressourcen-adaptive kognitive Prozesse.* URL: http://www.coli.uni-sb.de/sfb378/index.html, 1997.

[Tong & Bonissone 80] **Richard M. Tong** und **Piero P. Bonissone.** *A Linguistic Approach to Decisionmaking with Fuzzy Sets.* IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics, 10:

716-723, 1980.

[Ullmann 57] **S. Ullmann.** *The Principles of Semantics.* 2nd Ed. Oxford: Blackwell, 1957.

[Wahlster et al. 98] **Wolfgang Wahlster, Anselm Blocher, Jörg Baus, Eva Stopp** und **Harry Speiser.** *Ressourcenadaptierende Objektlokalisationen: Sprachliche Raumbeschreibung unter Zeitdruck.* In: Kognitionswissenschaft, Sonderheft zum Sonderforschungsbereich 378, im Druck, 1998.

[Wahlster 77] **Wolfgang Wahlster.** *Die Repräsentation von vagem Wissen in natürlichsprachlichen Systemen der künstlichen Intelligenz.* Bericht Nr. 38, Institut für Informatik. Hamburg: Universität Hamburg, 1977.

[Weydt 69] **H. Weydt.** *Abtönungspartikel. Die deutschen Modalwörter und ihre französischen Entsprechungen.* Bad Homburg/Berlin (West)/Zürich, 1969.

[Weydt 83] **H. Weydt. (Ed.)** *Partikeln und Interaktion.* Tübingen, 1983.

[Wittgenstein 53] **L. Wittgenstein.** *Philosophische Untersuchungen.* Oxford: Blackwell, 1953.

[Wright 75] **C. Wright.** *On the coherence of vague predicates.* Synthese 30: 325-365, 1975.

[Yager 82] **Ronald R. Yager.** *Linguistic hedges: their relation to context and their experimental realization.* Cybernetics and Systems: An International Journal, 13: 357-374, 1982.

[Zadeh 65] **L. A. Zadeh.** *Fuzzy Sets.* Information and Control, 8: 338-353, 1965.

[Zadeh 71] **L. A. Zadeh.** *Quantitative Fuzzy Semantics.* Information Science, 3: 159-76, 1971.

[Zadeh 72] **L. A. Zadeh.** *A Fuzzy-Set Theoretic Interpretation of Linguistic Hedges.* Journal of Cybernetics, 2(3): 4-34, 1972.

[Zadeh 75] **L. A. Zadeh.** *Fuzzy Logic and Approximate Reasoning.* In: Synthese, 30:407-428, 1975.

[Zadeh 76] **L. A. Zadeh.** *The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning.* Information Science, 9: 43-80, 1976.

[Zadeh 93] **L. A. Zadeh.** *Fuzzy Sets.* In: D. Dubois, H. Prade, R. R. Yager: Readings in Fuzzy Sets for Intelligent Systems, S. 27-64. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1993.

[Zadeh 94] **L. A. Zadeh.** *Fuzzy Logic, Neural Networks and Soft Computing.* In: Communications of the ACM, special issue on Artificial Intelligence, 37(3): 77-84, 1994.

[Zilberstein 93] **Shlomo Zilberstein.** *Operational Rationality through Compilation of Anytime Algorithms.* Dissertation. Berkeley: University of California at Berkeley, 1993.

[Zimmermann 87] **H.-J. Zimmermann.** *Fuzzy sets, decision making and expert systems.* Boston: Kluwer Academic Publishers, 1987.

[Zimmermann 91] **H.-J. Zimmermann.** *Fuzzy Set Theory and its Application (2nd edition).* Boston: Kluwer Academic, 1991.