

Seminararbeit Granularität & Vagheit

Stefan Westerfeld <stefan@space.twc.de>

Zusammenfassung

In dieser Seminararbeit untersuche ich, welche Aspekte des Papers 'A Unified Theory of Granularity, Vagueness, and Approximation' für die Konstruktion künstlicher intelligenter Systeme interessant sind. Indem ich die Perspektive eines Konstrukteurs einnehme, ist es möglich, einerseits einen Eindruck davon zu bekommen, wie Menschen im Alltag mit Granularität umgehen, wie Vagheit und Granularität ineinandergreifen, andererseits aber auch die Verbindung herzustellen zur tatsächlichen Realisierbarkeit. Ich stelle hierbei nach und nach eine eigene, umfassende Sicht auf intelligente Systeme dar, in die ich die Analyse einbette, sodaß ich auch Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Wahrheit, Kommunikation und Lernen berücksichtige, und somit die Gesamtaufgabe eines Konstrukteurs eines intelligenten Systems umreiße.

1 Einleitung

1.1 Granularität und Vagheit

Menschen können Beschreibungen der Realität abgeben, über sie reden und Urteile darüber abgeben, ob eine Beschreibung der Realität zutreffend ist, oder nicht. In der Tat macht es Sinn anzunehmen, daß ein Kernbestandteil menschlicher Intelligenz diese Fähigkeit ist. Über das nachzudenken, zu schliessen und zu reden, was sich in der Welt abspielt. Dies ist deshalb eine erstaunliche Fähigkeit, weil die Realität, soweit wir wissen, eine sehr große Phänomenmenge umfaßt. Nehmen wir an, daß eine der physikalischen Deutungen mehr oder minder richtig ist, verteilen sich wahrnehmbare winzige Bausteine der Realität in einem riesigen Raum, und interagieren miteinander. Die zu beschreibende Phänomenmenge ist also sehr groß, und trotzdem können Menschen mit so einfachen Sätzen wie 'ich komme aus Freiburg' oder 'ich bin 1.80 gross' Urteile über diese Realität abgeben, und diese sogar kommunizieren, und damit anderen relevante Information über die Realität mitteilen.

Im Kern dieser Fähigkeit findet sich zunächst Granularität. Die Welt wird mit einer Unzahl von kommunizierbaren Begriffen schematisiert. Gerade bei Beschreibungen, die sich auf zeitliche und räumliche Gegebenheiten beziehen findet man Begriffssysteme, die zunächst sehr grob, dann immer feiner schachtelnd, Realitätsausschnitte bezeichnen. Es gibt Kontinente, Länder, Bundesländer, Städte, Stadtteile, Strassen, mit denen man (fast) jeden relevanten Ort bezeichnen kann. Bei Abständen werden auch Einheitensysteme von Lichtjahren, Kilometern, Metern, Zentimetern usw. verwendet, um jede der möglichen Grössen repräsentieren zu können.

Oftmals jedoch ist die Abgrenzung der Begriffe und damit der Bedeutung in solchen Sätzen nicht scharf. Man kann zwar beispielsweise sagen, daß es einen

zentralen Teil gibt, der sicherlich zu 'Freiburg' gehört. Aber wenn man immer weiter von diesem Kern weggeht, dann gibt es irgendwo eine Grenze, wobei man nicht sagen würde, daß dieses Molekül noch zur Stadt gehört, und jenes nicht mehr. Eine derart scharfe Trennung ist weder möglich noch notwendig, und dieses Phänomen bezeichnet man als Vagheit. Der Begriff ist sozusagen unscharf. Ähnliches gilt für die Grössenangabe. Zwar kann man hier physikalisch präzise Messungen angeben, aber das würde dazu führen, daß kein Mensch jemals behaupten könnte, exakt 1.80 gross zu sein, da er entweder etwas grösser oder etwas kleiner ist. Vielmehr beschreibt die Äusserung nur vage die Grösse, und auch wenn jemand 1799 mm gross ist, wird er von sich behaupten können, daß er 1.80 ist, ohne der Lüge bezichtigt zu werden. Im allgemeinen gilt jedoch nicht, daß man beliebig oft einen Millimeter übertreiben darf, aber wo die Grenze verläuft ist nicht scharf definiert.

Im folgenden werde ich die mir wichtig erscheinenden Aspekte des Papers von Smith und Bittner 'A Unified Theory of Granularity, Vagueness, and Approximation' darstellen und kommentieren, sowie meine eigenen Gedanken zu Granularität und Vagheit weiter präzisieren.

1.2 Meine Perspektive

Ich werde dabei die Perspektive eines Konstrukteurs intelligenter Systeme annehmen. Smith und Bittner präsentieren in ihrem Paper im wesentlichen eine Theorie, die eine Aussage darüber macht, wie man Granularität und Vagheit auf einer formalen Ebene abbilden kann, sodaß man beispielsweise eine Aussage darüber machen kann, welche formalen Kriterien erfüllt sein müssen, damit ein Urteil wie 'ich bin 1.80 gross' zutrifft. Die Details werde ich später darstellen.

Als Informatiker interessiert mich jedoch vor allem die Frage nach der Implementierbarkeit. Es ist schön einen Formalismus zu haben, der Kriterien für das Zutreffen von Urteilen angibt, aber letztlich nützlich ist das für die Konstruktion nur, wenn dieser Formalismus auch implementierbar ist. Insofern nehme ich an, ich wollte ein System implementieren, was sich ähnlich wie ein Mensch mit Urteilen über die Realität beschäftigen kann. Damit erweitert sich das Problem um drei Dimensionen. Zunächst stellt sich natürlich die Frage, was für Eingaben ein solches System bekommen würde, um irgendwann die Fähigkeit zum Umgang mit Granularität und Vagheit auf einer Domäne zu erwerben. Weiterhin stellt sich die Frage nach einer Repräsentation. Wie würden die Eingaben auf Dauer eine Repräsentation aufbauen, auf denen tatsächlich und effektiv das Zutreffen eines Urteils überprüft werden könnte? Und schließlich, welche Ausgaben sollte das System machen?

Ich orientiere mich hierbei am Menschen als "Referenzsystem", wohlwissend, daß es in absehbarer Zukunft nicht möglich sein wird, einen Menschen nachzubauen. Aber auch wenn das Ziel weit weg ist, ist es doch eine interessante Perspektive, aus der man drei Dinge erkennen kann. Erstens, welcher Anteil der dafür notwendigen Arbeit ist schon getan oder zumindest einigermaßen absehbar einfach zu lösen. Zweitens, welche Teile sind noch zu erledigen oder werden zumindest in dem Paper von Smith und Bittner vollkommen ausgeklammert. Und drittens, wie - zumindest in grober Näherung - funktioniert eigentlich menschliche Intelligenz, das menschliche Begriffssystem, menschliche Kognition und menschliche Kommunikation, speziell bezüglich der behandelten Themen.

1.3 Struktur der Arbeit

Um diese Fragen zu beantworten, werde ich zunächst im Abschnitt *Granularität in intelligenten Systemen* etwas genauer skizzieren, wie ich mir Granularität beim Menschen in etwa vorstelle. Daraus ergeben sich dann auch einige eigene thematische Schwerpunkte dieser Arbeit, namentlich die Frage nach Lernverfahren und folglich der Verwendung von Sinneseindrücken als Eingabe eines intelligenten Systems. Dann werde ich in den Abschnitten *Ontologien als Bäume, Kontext, Vagheit, Repräsentationen und Urteile* die Ideen von Smith und Bittner darstellen und in jeweils gesonderten Unterabschnitten Gedanken aus der verwendeten Perspektive eines Konstrukteurs hinzufügen.

Schliesslich werde ich mit einigen Betrachtungen in den Abschnitten *Wahrheit* und *Kommunikation von Urteilen/Wahrheit* einige weitere Gedanken entwickeln, die sich der Frage widmen, was Wahrheit denn aufbauend auf allen vorangegangenen Überlegungen überhaupt ist, denn wenn man ein System bauen möchte, welches intelligent ist, möchte man wohl eines bauen, was sich mit Wahrheit beschäftigen kann.

Abschliessend möchte ich die Überlegungen im Abschnitt *Architektur eines Alternativmodells* nochmal unter der Fragestellung der Konstruierbarkeit beleuchten, und mit einer *Zusammenfassung* schliessen.

2 Granularität in intelligenten Systemen

2.1 Notwendigkeit granularer Repräsentationen

Zunächst nochmal zu der Frage, warum wir überhaupt granulare Repräsentationen beim Menschen finden. Man kann, wenn man die Datenmenge eines Films auf einer DVD betrachtet, und später jemanden, der sich diesem Film angesehen hat, bittet, den Inhalt als Text zusammenzufassen sehr gut sehen, wie die riesig erscheinende Datenmenge (mehrere Gigabytes) auf einen winzigen Bruchteil davon zusammengefasst werden. Es kann also eine sehr effiziente Form der Repräsentation generiert werden. Zwar bleibt bei solchen Repräsentation vieles offen, in dem Sinne, als daß diese Art der Repräsentation zwar eine Abbildung der DVD auf einen Text ist, wobei aber die Menge der möglichen DVDs sehr viel größer ist, als die Menge der möglichen Texte. Man kann auch nicht aus der DVD auf den Text schließen, da dies von der Person abhängt, welche die Zusammenfassung erstellt. Noch weniger jedoch kann man von der Zusammenfassung auf jedes Byte auf der DVD schliessen, da die Repräsentation nicht vollständig ist. Es werden immer ganze Klassen von Phänomenen auf denselben Begriff oder Begriffszusammenhang abgebildet.

Trotzdem ist diese Form der Repräsentation *relevant und adäquat* in dem Sinne, daß man aus ihr noch wesentliche Fragen nach der Handlung, nach dem Genre des Films, nach den Intentionen der vorkommenden Personen, dem Ablauf des Geschehens, der zentralen Fragestellungen usw. zumindest einigermaßen gut beantworten kann. Man kann in diesem Sinne auch *Schlüsse* über den Film ziehen, ohne ihn gesehen zu haben (beispielsweise: dieser Film könnte mir gefallen). Weiterhin bildet die Repräsentation alle in dem Film auftretenden Sinneseindrücke, in diesem Fall auditive und visuelle ab. Sie ist eine *Abstraktion*. Diese Abstraktion ist der Kern des effizienten Verarbeitens der Datenflut einer DVD.

Granularität spielt hierbei insofern eine Rolle, als daß ein granulares, hierarchisches Begriffssystem verwendet wird, um diese Repräsentation zu erstellen. Es wird in einer Zusammenfassung vielleicht von einem 'Fluchtwagen' oder 'Juwelendieb' oder 'New York' die Rede sein, wobei jeweils eine ganze Klasse von Sinneseindrücken zu diesen Ausdrücken kristallisiert werden. Ein 'Fluchtwagen' ist ein 'Wagen' ist in diesem Kontext wohl ein 'Auto' mit dem 'geflohen' wird. Es wird hierbei immer eine Aussage über die (im Film dargestellte) Realität gemacht, die so präzise wie für eine relevante Beschreibung der Welt notwendig ist, jedoch nicht wesentlich genauer. Eine Umkehrabbildung kann es also nicht geben.

Ich vertrete die These, daß das Leben eines Menschen in ähnlicher Form repräsentiert wird. Zwar ist die Flut der einströmenden Sinneseindrücke hier noch ein wenig höher als bei der DVD, weil es noch andere als auditive und visuelle Eingaben gibt. Aber im wesentlichen erinnert man sich nicht mehr an jeden einzelnen Tag und jede einzelne Sekunde seiner Schulzeit. Vielmehr weiß man nur noch, daß man zu dieser oder jener Schule gegangen ist, diese und jene Personen mit diesen und jenen Eigenschaften getroffen hat, und so weiter. Es wird also eine erheblich kleinere Repräsentation erstellt, als die Eingabemenge. Und die Eingabemenge wiederum ist ein erheblich kleinerer Teil, als die gesamte Realität.

Aber gerade deshalb, weil diese Repräsentation sich nämlich zum darüber nachdenken und darauf schließen eignet, können Menschen intelligent handeln. Intelligent sind sie dabei in dem Sinne, indem sie zunächst ein Bild der Realität entwickeln können, daß die für Handlungen relevanten Aspekte repräsentiert, und die für Handlungen irrelevanten Aspekte unterdrückt. Schließlich funktioniert dies so gut, daß Handlungen, die lediglich auf der Repräsentation der Welt geplant werden, in der Welt tatsächlich die Konsequenzen haben, die mit der Repräsentation der Konsequenzen übereinstimmt. Womit intelligentes Handeln ermöglicht wird, in dem Sinne, als daß bestimmte Ziele verfolgt werden, die Menschen erreichen können, indem sie Umformungen auf dem Weltmodell vornehmen (Gedanken), und diese schließlich in Form von Handlungen (aktorischen Ausgaben) umsetzen können.

2.2 Adaptive Quantisierung

Zusammenfassend kann man die beiden Formen der Repräsentation, die DVD und den Text, der sie beschreibt, wie folgt zusammenfassen: eine DVD verwendet im wesentlichen *Quantisierung*, um die Realität zu repräsentieren, wohingegen ein Text eine *adaptive Quantisierung* verwendet. Quantisierung ist das hierbei Phänomen, daß man gewisse Messwerte, zum Beispiel den Schalldruck, oder die Helligkeits- und Farbverteilung nur an gewissen Stellen abtastet, im Falle einer DVD eben soundsooft pro Sekunde, soundso genau.

Hierbei wird, von einigen technischen Details abgesehen, keine weitere Abstraktion vorgenommen, sondern die Sinnesdaten werden in einer Form repräsentiert, daß sie ein Betrachter "mit eigenen Augen und Ohren" verfolgen kann. Die Abstände zwischen einzelnen Bildpunkten sind immer gleich, genauso die Abstände zwischen einzelnen Schalldruckmesswerten. Die Realität wird also mit einem starren Gitter überzogen, welches nicht von der Realität und den vorkommenden Objekten abhängt, sondern immer gleich ist.

Im Gegensatz dazu verwendet der Text eine adaptive Quantisierung. Wenn

es für die Handlung und den Inhalt relevant ist, daß es sich um ein Auto von dem und dem Typ handelt, dann wird der Text vermutlich diese Information enthalten, wenn damit geflohen wird, wird der Text vielleicht von einem 'Fluchtwagen' sprechen, sonst eventuell nur von einem 'Auto'. Wenn ein Auto am Strassenrand steht, wird es einfach nicht in die Repräsentation mit aufgenommen, denn die Handlung hätte genausogut ohne dieses Auto stattfinden können.

Die Quantisierung ist also in dem Sinne adaptiv, in dem nicht immer die gleichen Größeneinheiten, Beschreibungsgenauigkeiten verwendet werden, sondern sich die Beschreibung dem was sinnvoll und relevant ist anpasst. Umgekehrt kann man dies auch für das Repräsentationssystem behaupten. Während es im Deutschen für die Konsistenz Schnee nur einige Ausdrücke gibt, können gewisse Eskimostämme mit sehr feinen Detaillierungsstufen die Art des Schnees angeben. Insofern ist was sinnvoll und relevant ist ein kulturelles Phänomen, und für jeden Menschen nochmals ein subjektives Phänomen, und die adaptive Quantisierung richtet sich nach beidem.

2.3 Vagheit

Mit diesem Bild von granularen Repräsentationen ist es leicht zu sehen, daß eine eindeutige Umkehrabbildung von der Repräsentation auf das Objekt nicht existiert. Es ist klar, daß der Satz: 'ich bin 1.80 gross' in vielen verschiedene Realitäten wahr sein kann, in denen eine Person sich selbst beschreibt, und sich die Größe von 180 cm zuspricht, obwohl sie in (fast) keiner dieser Welten exakt diese Größe haben wird. Trotzdem reicht die Repräsentation ja aus, um jemandem eine relevante Information zu geben, in dem Sinne, als daß er viele andere, ebenfalls mögliche Welten dabei ausschliessen kann.

Wenn auch Smith und Bittner die These vertreten, daß alle die Welten, in denen die Aussage 'ich bin 1.80 gross' wahr ist, mit gleichem Recht beanspruchen können, als "die beschriebene Realität" infrage zu kommen, möchte ich doch annehmen, daß mit steigender Abweichung vom exakten Wert diese Aussage immer weniger plausibel erscheint, bis sie schließlich falsch wird.

2.4 Sinnesdaten

Einen wesentlichen Beitrag bei der Frage, wie unser Bild der Welt aussieht, und was demzufolge repräsentiert werden muß, leistet das Studium des Zusammenhangs mit den Sinnesdaten. Menschen nehmen die Welt über ihre Sinne wahr. Eine Repräsentation der Dinge der Welt sollte daher Begriffe verwenden, um Sinneseindrücke zu gruppieren. Beispielsweise ist mit dem Begriff 'Auto' ein gewisser optischer Eindruck assoziiert, ein gewisses Gefühl, welches das äußere eines Autos auf unserer Haut verursacht, ein gewisser Geruch, den ein neues Auto im allgemeinen hat, und ein Geruch der Abgase, ein Geräusch, ein "Fahrgefühl", und vieles andere mehr.

Granularität ist also das Zusammenfassen von Klassen von Sinneseindrücken zu Begriffen. Selbst abstrakte Maßbegriffe wie 'Meter' lassen sich doch auf optische Eindrücke zurückrechnen, den ein ein Meter grosses Objekt erzeugt, wenn man es mit einer Armlänge Entfernung betrachtet, auf das Gefühl, wie weit man die Hände auseinander hat, und so weiter. Trotzdem muß man sagen, daß die Sinneseindrücke im allgemeinen subjektiv geprägt sind, und von mehr

als nur dem Objekt abhängen. In der Tat spielen sowohl Lichtverhältnisse und Umgebungsbedingungen, als auch subjektive Faktoren, wie beispielsweise ein ausgeprägtes Interesse an Autos oder Bäumen, eine Rolle. Auch gibt es sicherlich Meßfehler, die beim Beobachten der Sinnesdaten auftreten, sodaß Menschen immer nur auf Eindrücken operieren können, die ohnehin schon keinen präzisen Schluß auf genau eine Realität ermöglichen (vgl. Vagheit).

Ein Begriffssystem muß also Klassen von ähnlichen Sinneseindrücken bilden, den Eingabedatenstrom strukturieren und sinnvoll gruppieren. Es muß die Realität in solcher Weise beschreiben, daß gleiche begriffliche Ausgangssituationen zu gleichen oder ähnlichen begrifflichen Konsequenzen führen, sodaß sinnvolles handeln und planen möglich ist. Es muß Redundanz vermeiden.

2.5 Lernen und Experimente

Menschen lernen meiner Meinung nach, eine solche adäquate Repräsentation der Realität zu erstellen, indem sie zunächst Beobachtungen anstellen, und versuchen, ein Weltmodell aufzubauen, in dem die Zuordnung zu den Sinnesdaten entsprechend stimmig ist. Manche Dinge mögen dabei von der Evolution sozusagen eingebaut sein, z.B. das Operieren mit dreidimensionalen Objekten und eine zugehörige "naive Physik", eine Idee davon, wie Sprache und Kommunikation funktionieren (vgl. Chomsky), gewisse basale emotionale Empfindungen, die gewissen Gesichtsausdrücken (also visuellen Eindrücken) zuzuordnen sind, und vieles andere.

Im wesentlichen wird ein Begriffssystem aber auch durch Lernen mit der Realität in Beziehung gesetzt. Dies beginnt, wenn Kinder anfangen nach einer Bezeichnung für gewisse Objekte zu fragen, und führt weiter über die Schulbildung, in der systematisch Begriffssysteme vermittelt und erklärt werden, und anhand derer allgemeine Beziehungen über die Realität vermittelt werden. ("Jedes Tier mit einem Herz hat auch eine Lunge"). Wichtig ist dabei, daß diese Entwicklung schon auf Vorwissen aufsetzt, was beispielsweise gewisse Beobachtungen von konkreten Tieren und die dabei auftretenden Sinnesdaten angeht.

Auch kann über Experimente versucht werden, daß Wissen an den Stellen, wo es noch unvollständig ist, zu erweitern. Menschen können Fragen stellen, oder Konsequenzen von Handlungen voraussagen und diese mit den tatsächlich eintretenden Folgen vergleichen, wenn sie diese Handlungen durchführen. Meiner Meinung nach bleibt eine reine Beschreibung der Realität, die sich nicht auf Sinnesdaten stützt unvollständig, und den Begriff des 'Mount Everest' oder von 'Freiburg' zu erfassen, ist nicht möglich ohne zu wissen was ein 'Berg' oder eine 'Stadt' ist, und wie diese sich in Sinnesdaten äußern.

3 Ontologien als Bäume

3.1 Zellsysteme nach Smith und Bittner

Smith und Bittner nennen einen Ausschnitt des Weltmodells, also den z.B. für die Semantik einer Aussage relevanten Teil, *Partition*. Eine Partition besteht zunächst aus denen im Weltmodell vorkommenden Begriffen, den *Zellen* der Partition, andererseits aus einer Beziehung dieser Zellen mit der Realität. Dafür

geben die Autoren zwei getrennte Theorien an, die (A) Zellsysteme und (B) den Bezug zur Welt beschreiben. Für das Einführen von vagen Begriffen kann dann die B-Theorie separat erweitert werden. Doch zunächst zur Theorie der Zellen.

Eine Zellstruktur A einer Partition besteht aus den Zellen z_0, z_1, \dots und einer Relation die das Enthaltensein von Zellen beschreibt. Die Zellsystemsrelation beschreibt, welche Zellen zu einer Zellstruktur gehören. Es gilt $Z(z, A)$ für die Zellen des Zellsystems. Weiterhin gilt $z_1 \subseteq_A z_2$, wenn die Zelle z_1 in der Zelle z_2 enthalten ist, was man ggf. von den Zellen 'Freiburg' und 'Deutschland' einer geographischen Repräsentation der Welt sagen würde. Es gelten hierbei nach Smith und Bittner folgende Axiome:

- MA1** Die Unterzellenrelation \subseteq ist reflexiv, transitiv und antisymmetrisch.
- MA2** Die Zellstruktur einer Partition ist so, daß alle Ketten echter Unterzellen eine endliche Länge haben.
- MA3** Wenn zwei Zellen sich überlappen, ist eine Unterzelle einer anderen.
- MA4** Jede Partition enthält eine eindeutige, maximale Zelle.

Damit kann die Zellstruktur immer als ein Baum dargestellt werden. Die granulare Repräsentation besteht also immer aus verschachtelten Begriffssystemen.

3.2 Stärken und Schwächen

Die Stärke eines solchen Ansatzes ist es, daß er zunächst einfache Implementierbarkeit verspricht. Wenn man seine Ontologie als Baum aufbaut, dann kann man auf einer sehr einfachen Datenstruktur operieren. Auch gibt es für jeden Begriff nur wenige Parameter, die man wissen muß, um zumindest die Einordnung in das Begriffssystem richtig zu machen. Im Prinzip reicht es, für jede Zelle den Vater zu kennen (als die Zelle, die diese Zelle enthält).

Als Nachteil liesse sich anführen, daß für die Beziehung der Begriffe 'Sache', 'reale Sache', 'erfundene Sache', 'Lebewesen', 'Moby Dick' und 'Napoleon' keine Zellstruktur aufgebaut werden kann, die diese Dinge intuitiv in einem Baum anordnet. Idealerweise sind nämlich 'Moby Dick' und 'Napoleon' beides 'Lebewesen', wobei das eine jedoch eine 'erfundene Sache', das andere eine 'reale Sache' darstellt. Es scheint also, als wäre es manchmal notwendig, Dinge in mehr als einem Knoten unterzuordnen. Auch schon für das weniger exotische Beispiel von Jahren, Monaten, Wochen und Tagen ist die Abbildung auf einen Baum mit den genannten Axiomen unmöglich, da sich die Wochen nicht immer in die Monate unterordnen lassen, sodaß sowohl Wochen als auch Monate gleichberechtigt als Väter von Tagen infrage kommen.

3.3 Lernbarkeit

An dieser Stelle sei für die Lernbarkeit angemerkt, daß die Fähigkeit zu Assoziationen, die meiner Meinung nach eine wesentliche Rolle für Lernverfahren spielt wird, im Formalismus bisher nicht auftaucht. Wie, wenn nicht durch einfache Eingabe von 'ist-ein' Beziehungen soll ein System jemals ein Begriffssystem

lernen können, soll es dieses erweitern und überprüfen können. Auf dem bisher erreichten Abstraktionsniveau gibt es kein Optimalitätskriterium, nach dem ein Lernverfahren arbeiten könnte.

Zum Beispiel kann man wohl annehmen, daß zwischen den Zellen einer Hierarchieebene eine gewisse Ähnlichkeit besteht. Z.B. könnte man bei einer Aufteilung Deutschlands in Bundesländer, Städte usw. beobachten, daß die einzelnen Bundesländer sich ähneln, eine ähnliche Grösse und einen ähnlichen Status haben, daß die einzelnen Städte sich ähneln, eine ähnliche Grösse und ähnlichen Status haben. Beim Aufbauen, Lernen und Verwenden solcher Repräsentationen erlaubt dies Analogieschlüsse zwischen Zellen, die hierbei nicht erfasst sind.

4 Kontext

4.1 Urteile und deren Kontext

Ein Satz, anhand dem Smith und Bittner den Begriff des Kontexts erklären, lautet

Satz A Dieses Glas ist leer.

der von verschiedenen Menschen geäußert werden könnte. Ein Trinker in einer Bar könnte mit diesem Satz etwas wahres sagen, weil für ihn die Zelle einer Partition, die sich auf "trinkbare Mengen von Bier" bezieht, leer ist. Ein Hygieneinspektor könnte jedoch beim gleichen Glas zum gegenteiligen Schluß kommen, da es in dem Glas bestimmte Verunreinigungen, Bakterien usw. gibt. Insofern sind Urteile wie dieses immer in einem Kontext zu sehen. Der Kontext bestimmt die Abbildung auf die Welt. Smith und Bittner versuchen die Rolle des Kontextes durch Partitionen zu formalisieren. Sie schreiben: "[partitions] . . . serve as formally tractable surrogates for those features of contexts which are relevant to the understanding of vagueness as a semantic (*de dicto*) phenomenon".

4.2 Partitionen nach Smith und Bittner

Eine einfache (B)-Theorie, die die Beziehung zwischen einem Zellsystem und Realität beschreibt, ohne Vagheit zu berücksichtigen geht davon aus, daß es Relationen L und P gibt, die Lokation und Projektion. Eine Partition ist also ein Tripel $Pt = (A, P, L)$. Wenn eine Zelle z sich auf ein Objekt der Welt o bezieht, gilt $P(z, o)$. Wenn ein Objekt der Welt in einer Zelle liegt, gilt $L(o, z)$. Nach einigen Gedanken über fehlerhafte Repräsentation, bei denen man ggf. Objekte intendiert mit einer gewissen Zelle zu beschreiben (also $P(z, o)$ gilt), aber die Objekte "in Wirklichkeit" nicht in dieser Zelle liegen (also nicht $L(o, z)$ gilt), gehen Smith und Bittner im folgenden von Partitionen aus, für die keine Fehlbeschreibung vorliegt (*Transparenz*). Es gilt dann:

$$\text{MB1} \quad L(o, z) \rightarrow P(z, o)$$

$$\text{MB2} \quad P(z, o) \rightarrow L(o, z)$$

Weiterhin wird bezieht sich jede Zelle nur auf ein Objekt, und jedes Objekt nur auf eine Zelle:

$$\mathbf{MB3} \quad P(z, o_1) \vee P(z, o_2) \rightarrow o_1 = o_2$$

$$\mathbf{MB4} \quad L(o, z_1) \vee L(o, z_2) \rightarrow z_1 = z_2$$

Schliesslich soll gelten, daß keine Zelle leer ist, sondern in jeder Zelle des Zellsystems A ein Objekt liegt (*Vollständigkeit*):

$$\mathbf{MB5} \quad Z(z, A) \rightarrow \exists o : L(o, z)$$

Natürlich erlaubt das andersrum, daß es Objekte gibt, die nicht von einer Zelle erfasst werden, da die Realität niemals vollständig segmentiert wird. Ein weiteres Axiom betrifft die mereologische Struktur. Wenn es eine solche gibt, wenn also in der Realität Zusammenhänge der Form $o_1 < o_2$ gelten, dann sollen diese auch im Zellsystem entsprechend abgebildet werden, sodaß dann auch $z_1 \subset z_2$ ist.

MB6, MB6+ Zellen sollen dann und nur dann Unterzellen sein, wenn auch ihre Objekte mereologisch enthalten sind.

Auf die formalen Details für dieses Axiom möchte ich auf dieser Stelle verzichten, da sie wenig erhellend aber ein wenig technischer sind, man kann sie in dem Paper nachlesen.

4.3 Stärken und Schwächen

Zunächst zur Frage des Kontextes. Ich denke, daß Smith und Bittner gut erklären können, wie der Kontext die Bedeutung einer Aussage beeinflusst. Je nach Intention und Rolle des Sprechers und der Situation, in welcher ein Satz geäußert wird, wird damit eine andere Aussage getroffen. Dies ist verständlich, weil jeweils nur ein Teil eines globalen Weltmodells aktiviert ist, auf den sich eine Aussage bezieht, und Wahrheit und Relevanz nur bezüglich dieses Teils behauptet werden.

Eine wichtige Frage für die Implementation eines Systems ist hierbei jedoch ungeklärt: woher kommt der Kontext? Während Smith und Bittner behaupten, daß es einen Kontext für jede Aussage gibt, geben sie kein Verfahren an, wie man diesen berechnen könnte. Das wiederum heißt aber, daß es mit den Aussagen von Smith und Bittner alleine unmöglich ist, ein System zu konstruieren, welches ein Urteil wie *Satz A* versteht, bewertet oder generiert. Im nächsten Abschnitt werde ich noch einige eigene Ideen dazu darstellen.

Weiterhin zu der Definition von Projektion und Lokation. Es ist gut, daß Smith und Bittner zwischen einer Welt "da draussen" und einer Welt "da drinnen" unterscheiden, wobei eines die granulare Repräsentation ist, und das andere die Realität. Es erscheint mir jedoch fraglich, inwiefern man eine Trennung in zwei verschiedene Relationen wirklich braucht. Vielmehr scheint es mir, als würde die Implementation, also das (menschliche) System, welches zum Beispiel mit dem Finger auf einen Gegenstand zeigt, und sagt "dies ist ein Auto", die Bedeutung für den Begriff in diesem Weltmodell festlegen. Fehlprojektion kann es nur bezüglich eines Bezugspunktes geben. Was dieser Bezugspunkt sein sollte, ist mir aber unklar. Wenn ein Individuum auf ein Haus zeigt, und sagt: "dies ist ein Auto", dann liegt Fehlprojektion vor, würde man meinen. Aber ist dies nicht nur ein Konsens? Vielleicht dann, wenn das gleiche Individuum

fünf Minuten später seine Sonnenbrille abnimmt, nochmals genau hinsieht, und dann urteilt "nein, es ist doch ein Haus". Auf jeden Fall erscheint mir dies ein schwieriges Problem zu sein, da ein zwischen der Menschheit bestehender Konsens, was ein Auto ist, und was nicht, schwer zu formalisieren ist, und noch dazu dynamisch in dem Sinne, als daß er sich über die Zeit hin ändert.

Ein weiterer Aspekt, der zu hinterfragen wäre, besonders im Hinblick auf die Konstruktion solcher Systeme ist ob es nicht weitere wünschenswerte Eigenschaften gibt, denen Zellsysteme folgen sollten. Die Axiome MB6 / MB6+ geben uns ein Hilfsmittel an die Hand geben, wann Zellen in der Unterzellenrelationen stehen. So ist klar, daß bei Massgrößen, wie z.B. bei der Länge die Kilometer, Meter, Zentimeter eine mereologische Anordnung erfolgen soll.

Aber anzunehmen, daß Katzen nur deshalb in einer Unterrelation zu Wirbeltieren stehen, weil die mereologische Summe des von allen Katzen umfassten Raums echt in der mereologischen Summe des von allen Wirbeltieren umfassten Raums enthalten ist (zu welchem Zeitpunkt?) ist unplausibel. Hier muß es weitere Optimalitätskriterien geben, die angeben, wann eine Begriffsbildung gut und zulässig ist, und wann nicht. Auch ist diese Projektion und Lokation in keinem Masse hinreichend um das Phänomen zu beschreiben, welches beim Lesen von Romanen auftritt. In diesem werden ja auch Urteile von Personen abgegeben, wobei die hier vorkommenden, erdachten Katzen nicht in der mereologischen Summe aller real existierenden Katzen enthalten ist.

4.4 Aufmerksamkeit

Meiner Meinung nach liegt ein wichtiger Ansatz zum Verständnis des Kontextes in der Beschreibung und Untersuchung der Aufmerksamkeit. Die Aufmerksamkeit ist meiner Meinung nach diejenige Komponente im menschlichen Denken, die zu jedem Zeitpunkt eine Untermenge des Gesamtweltmodells selektiert. Schlüsse werden immer nur bezüglich diese Untermenge berechnet, und Urteile nur bezüglich dieser Untermenge abgegeben.

Für *Satz A* heißt dies, daß der Trinker die Intention hatte, Bier zu trinken, und daß er in die Bar gegangen war, um dies zu tun. Insofern war seine Aufmerksamkeit auf Bier fokussiert, und in seinem Weltmodell waren die Aspekte selektiert, die sich mit dem Erzeugen und Geniessen von Rauschzuständen in Bars beschäftigten. Bezüglich dieses Untermodells seines Weltmodells werden in dieser Situation Urteile gebildet, und in diesem Fall führt dies, obwohl der Trinker vermutlich weiß, daß es noch Reste im Glas gibt, zu einem Urteil, daß das Glas leer sei.

Der Hygieneinspektor jedoch war zu diesem Zeitpunkt hinreichend auf seine Arbeit konzentriert, um seine Sinneseindrücke in anderer Weise zu strukturieren. Es scheint also, als wäre es für den Hörer eines Urteils beim Verständnis und bei der Bewertung eines Urteils notwendig, seine Aufmerksamkeit auf ähnliche Aspekte seines Gesamtweltmodells zu richten, um eine adäquate Vorstellung davon zu bekommen, was gesagt wurde. Da sich die Weltmodelle nie völlig gleichen, wird dies nie völlig gelingen, zumindest aber zu dem Grad, daß normalerweise Aussagen im Rahmen der impliziten Vagheit (vgl. nächster Abschnitt) mehr oder minder zutreffend sind.

5 Vagheit

5.1 'De dicto' oder 'de re' Phänomen?

Smith und Bittner folgen in ihrer Darstellung Varzi (2001), der den Begriff der '*de dicto*'-Sicht auf Vagheit geprägt hat. Es handelt sich bei Vagheit demnach um eine semantische Eigenschaft von Namen, in dem Sinne, daß jedem Namen mehrere mögliche scharf definierte Kandidaten zugeordnet werden können, die mit gleicher Wahrscheinlichkeit den Anspruch darauf erheben können, die Extension des Begriffes zu sein. Im Gegensatz dazu verfolgen andere, beispielsweise Tye (1990), eine '*de re*'-Sicht auf Vagheit, in der es Objekte gibt, die an sich vage sind.

Supervaluationismus ist ein Auswertungsverfahren, in dem eine Aussage *superwahr* ist, wenn sie für alle möglichen Referenten zutrifft, *superfalsch*, wenn sie für keinen möglichen Referenten zutrifft, und *indefinit* sonst. In realen Kontexten scheint es, nach Smith und Bittner, praktisch nicht vorzukommen, daß indefinite Aussagen gemacht werden. Die '*de dicto*'-Sicht passt sehr gut zu meiner zuvor vertretenen Idee von Vagheit als *adaptiver Quantisierung*, denn auch hier war ja eine Rückprojektion vom Begriff auf das Objekt nicht möglich.

5.2 Vage Partitionen nach Smith und Bittner

Um den Partitionsbegriff entsprechend zu erweitern, wird die Idee einer 1:1-Zuordnung zwischen Partition und Projektion und Lokation aufgegeben. Stattdessen gibt es eine Vielzahl von *crispings* $Pt_{ij} = (A, P_i, L_j)$, die jeweils die Axiome $MB1 - MB6^+$ erfüllen. Diese werden dann in einer granularen Partition $Pt^V = (A, P^V, L^V)$ zusammengefasst, wobei es eine 1:1-Zuordnung zwischen Projektionen P_i und Lokationen L_j gibt.

5.3 Stärken und Schwächen

Insgesamt fragt man sich als Konstrukteur natürlich sofort, inwieweit es wirklich notwendig ist, neben der Tatsache, daß schon eine Projektions- und Lokationsrelation möglicherweise unendliche viele Daten erfordern würde, um sie zu repräsentieren (da ja der Rand beliebig gezackt sein kann), jetzt auch noch mit potentiell unendlich vielen davon umgehen zu müssen. Da diese nämlich alle in irgendeinem Sinne ähnlich sind, könnte es doch ausreichen, die "Natur der Sache" zu beschreiben, statt eine Aufzählung aller möglichen Einzelwerte zu betrachten. In gewisser Weise werden Smith und Bittner sich aus Effizienzgründen aber selbst dazu noch Gedanken machen, die ich später darstelle.

Es bleibt also zu klären, ob der Formalismus, wenn schon nicht effizient implementierbar, dann wenigstens adäquat ist. Eine wichtige Hypothese, die zu hinterfragen ist, ist dabei die des gleichen Rechtes der einzelnen *crispings*, als Referent zu gelten. Hier scheint mir eher eine Ähnlichkeit mit einem Prototyp ausschlaggebend zu sein, sodaß man durchaus ein Distanzmaß finden kann. Wenn ich zum Beispiel sage 'ich bin 1.80 gross', dann gibt es einen genau definierten Prototyp für die Länge, den man physikalisch ziemlich exakt bestimmen kann. Weiterhin gibt der Kontext aber vor, wie genau diese Aussage gemeint ist, was beispielsweise davon abhängt, wer diese Äußerung wozu

macht. Es läuft aber im Endeffekt darauf raus, daß man als Interpret eine Gesamtwahrscheinlichkeit, daß dies keine Lüge war, von beispielsweise 95%, die ebenfalls aus dem Kontext ermittelt wird, zu verteilen hat. Dabei ergibt sich eine wie auch immer geartete Verteilung, die sicherlich beim Prototyp die größte Wahrscheinlichkeitsdichte hat, und zum Rand hin abnimmt, wobei sie irgendwo (vielleicht bei 1.74, weil alles darunter kann man definitiv nicht mehr 1.80 nennen) 0 erreicht.

5.4 Lernbarkeit

Im wesentlichen ist die Frage also, wie die Projektion und Lokation repräsentiert werden können. Es bieten sich hier meiner Meinung nach Klassifikationsverfahren an, seien es nun Support Vector Machines oder neuronale Netze, die in gewisser Weise die "Assoziation" von Begriff und Extension nachahmen können. Es entstehen dann zwar nicht notwendigerweise gleichwahrscheinliche Zuordnungen, aber dies ist hier glaube ich auch nicht erstrebenswert. Wichtig wäre, daß ein Verfahren für das Teilen von Information zwischen Zuordnungen unterschiedlicher Zellen im Zellsystem gefunden werden kann. Ich stelle mir das so vor, daß aus den Informationen, die man über typische Abweichungen/Messfehler die Sprecher verwenden, wenn sie über die Klasse der 1.80 grossen Menschen reden, auch Informationen erhalten kann darüber wie die Abweichungen sein werden, wenn jemand sagt, er sei 1.90.

Komplizierter wird dies natürlich bei 'realen Sachen', wie Tieren. Das Klassifikationsverfahren sollte hier aus dem Begriff eines 'Lebewesens' gewisse Beschreibungen des Prototypes und gemeinsamer Eigenschaften extrahieren, was dann dazu führen sollte, daß das Beobachten eines 'Vogels' nicht nur die Projektion/Lokation des Vogels schärfer fasst, und damit die Klassifikationsleistung verbessert, sondern auch die von anderen 'Lebewesen'. Sogar Informationen über solche Lebewesen, die keine reale Ausdehnung mehr in der Welt haben, wie erfundene Lebewesen wie 'Moby Dick' sollte noch zur Verbesserung und Verfeinerung des Begriffes der anderen Lebewesen führen.

5.5 Integration mit Sinnesdaten

Interessant bei der Frage, wie dies alles mit Sinnesdaten zu integrieren ist, erscheint mir zunächst die ständige Beobachtung und Synchronisation mit der Realität zu sein, die Menschen durchführen. Hierbei wird mehr oder minder aktiv ständig eine komplette Repräsentation der Außenwelt aufgebaut. Alles was wir sehen wird ständig mit einem adaptiven Netz von Begriffen schematisiert, geordnet und strukturiert. Falls das gut klappt, werden die Daten meiner Meinung nach als Trainingsdaten für ein unüberwachtes Lernverfahren verwendet, welches dafür sorgt, daß die Projektion/Lokation ständig mit der Welt synchronisiert bleibt.

Treten bei diesem Prozeß Fehler auf, wird im Zweifelsfall die Aufmerksamkeit auf die Sache gelenkt, um das Problem der Fehlrepräsentation zu beseitigen. Bei kleinen Kindern kann man dies in Experimenten und Rückfragen selbst bei alltäglichen Begriffen beobachten. Um technischen Systemen ein ähnlich gutes Verständnis unserer Repräsentation der Welt zu geben, müßten sie vermutlich ähnlich funktionieren, da ein nicht selbstlernendes System eine solche Fülle von

Trainingsbeispielen benötigen würde, daß es kaum möglich wäre, diese Daten bereitzustellen.

Ein weiterer Aspekt ist, daß die Abbildungen jeweils in beide Richtungen funktionieren, Menschen können aus der Repräsentation von Dingen wieder Dinge herstellen, die ähnliche Sinnesdaten hervorrufen, indem sie beispielsweise etwas Zeichnen, was wie ihre Vorstellung eines Autos aussieht. In der Vorstellungskraft ist dieser Prozess meistens noch intensiver, als er externalisiert werden kann. Insofern sind für die Implementation auf jeden Fall beide Richtungen relevant, und ein Klassifikationsverfahren, welches einfach nur eine Aufzählung aller Referenten kennt, oder einige einfache Kriterien kennt, um diesen anhand von Merkmalen zu erkennen, kann die Synthese nicht in der Form leisten (ein typisches 'Auto' zeichnen).

Dafür sind im übrigen noch die von den Sinnesdaten selbst vorgenommenen typischen Projektionen von 3D- auf 2D-Daten und ihre Eigenschaften notwendig, sowie einige andere Eigenschaften der Welt, wie beispielsweise Licht und Schatten, um beispielsweise gleichzeitig die abstrakte dreidimensionale Form zu kennen aber auch eine Projektion davon berechnen zu können, sowie die Rückrechnung vornehmen zu können.

6 Repräsentationen und Urteile

6.1 Approximation nach Smith und Bittner

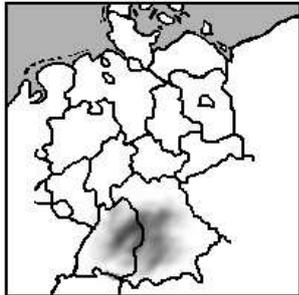


Abbildung 1: Schlechtwettergebiet, welches von Satz B beschrieben wird

Approximation ist das Beschreiben von Relationen zwischen einem vagen Begriff und einem Referenzsystem. Beispielsweise setzt das Urteil

Satz B Das Schlechtwettergebiet liegt über Bayern und Baden-Württemberg.

das 'Schlechtwettergebiet' in Bezug zu einem Referenzsystem, nämlich der Aufteilung Deutschlands in Bundesländer. Für eine formale Beschreibung ist es zunächst nötig, *Referenzpartitionen* einzuführen. Diese lassen sich als Quadrupel $Pt^R = (A, P^R, L^R, \Omega)$ schreiben. Hierbei ist A das übliche Zellsystem. Neu sind die ungefähre Lokation/Projektion, die von Objekten nicht mehr aussagen, daß diese genau einen Bereich der Realität umfassen, sondern sie in einer der räumlichen Relationen aus der Menge Ω bezüglich der Zellen beschreiben. Beispielsweise könnte $\Omega = \{fo, po, no\}$ sein, um die räumlichen Relationen *full overlap*, *partial overlap* und *no overlap* zu beschreiben.

Im Beispiel würden die Referenzpartition alle Objekte bezüglich der Bundesländer einteilen, sodaß für jedes Objekt gewisse räumliche Beziehungen zur Referenzpartition gelten würden. Zwei Objekte sind dann *ununterscheidbar* bezüglich der Referenzpartition, wenn gilt:

$$o_1 \approx_R o_2 \equiv \forall z : L^R(z, o_1, \omega) \leftrightarrow L^R(z, o_2, \omega)$$

Es gibt ähnliche Axiome wie bei normalen Partitionen, und zwar einerseits passen wieder Projektion und Lokation zueinander, sodaß es keine Fehlprojektion gibt:

$$\mathbf{MB1}^R \quad L^R(o, z, \omega) \rightarrow P^R(z, o, \omega)$$

$$\mathbf{MB2}^R \quad P^R(z, o, \omega) \rightarrow L^R(o, z, \omega)$$

Andererseits gibt es keine Zellen, die sich bezüglich aller Objekte räumlich gleich verhalten:

$$\mathbf{MB3}^R \quad \forall o : L^R(o, z_1, \omega) \vee L^R(o, z_2, \omega) \rightarrow z_1 = z_2$$

und schließlich folgt aus der Ununterscheidbarkeit bezüglich der Projektion auch die Ununterscheidbarkeit bezüglich der Lokation:

$$\mathbf{MB4}^R \quad \forall z : P^R(o_1, z, \omega) \vee P^R(o_2, z, \omega) \rightarrow o_1 \approx_R o_2$$

Während generell beliebige Objekte in einer Referenzpartition eingeteilt werden können, ist es doch sinnvoll zu sehen, daß diese Einteilung in Wirklichkeit dadurch vollständig bestimmt ist, wie die Ausdehnung der einzelnen Zellen ist, bezüglich der die Objekte klassifiziert werden. Man kann dann aus der Referenzpartition das *crisp skeleton* erhalten, welches eine Partition der Realität ist, die aus denjenigen kleinsten Objekten besteht, welche mit einer Zelle in der *full overlap* Relation stehen.

Generell lässt sich für den obigen Satz B ein Urteilsschema finden, welches für alle solche Urteile gilt, und zwar:

$$J^A = (S = 'N \text{ steht in der Relation } R_1 \text{ zu } N_1, \dots, R_n \text{ zu } N_n', Pt^V, Pt^R)$$

N bezieht sich hierbei auf einen vagen Namen, dessen Lokation aus dem Kontext bezüglich der vagen Partition Pt^V definiert ist. In Satz B würde es sich also hierbei um das 'Schlechtwettergebiet' handeln. R_1/R_2 sind in diesem Fall 'liegt über', was mit partial overlap (po) korrespondiert und N_1/N_2 entsprechen 'Bayern' und 'Baden-Württemberg'.

Ein Urteil wie Satz B ist genau dann *wahr*, wenn

- (i) die Approximation die Vagheit von N absorbiert, das heißt, alle Projektionen von N äquivalent bezüglich \approx_R sind
- (ii) es Zuordnungsfunktionen λ^R und λ^V gibt, die den entsprechenden Namen (N, N_1, \dots, N_n) die entsprechenden Zellen der Partitionen zuordnet
- (iii) die Relationen R_i zwischen allen möglichen Objekten für N aus Pt^V und den entsprechenden Objekten für N_i aus dem *crisp skeleton* der Referenzpartition gelten

6.2 Effizientes urteilen nach Smith und Bittner

Eine zusätzliche Annahme, die man normalerweise bei vagen Begriffen machen kann, sind *Unity Conditions*, die angeben, daß es sich bei den verschiedenen Projektionen, die durch Vagheit aufgespannt werden, um zusammenhängende ganze Teile handelt. Ein Beispiel für eine Unity Condition wäre

- U** (1) Der Münsterplatz ist Teil von Freiburg; (2) wenn x ein Teil von Freiburg ist und y mit x verbunden ist dann ist y Teil von Freiburg genau dann wenn es Teil der Projektion P_i der Zelle 'Freiburg' ist.

Durch solche Unity Conditions wird sichergestellt, daß es sich bei den Referenten von 'Freiburg' um zusammenhängende Gebilde handelt. Dies wiederum heißt, daß zwischen Bereichen, die allen Projektionen gemeinsam sind, Bereichen, die nur in manchen Projektionen vorkommen, und Bereichen, die außerhalb von allen Projektionen liegen, unterscheiden kann. Man definiert:

$$\mathbf{core}_V(x, z) \equiv \forall p \in P^V : x \leq p(z)$$

$$\mathbf{boundary}_V(x, z) \equiv \exists p \in P^V : x \leq p(z) \vee \exists p \in P^V : \neg(x \leq p(z))$$

$$\mathbf{exterior}_V(x, z) \equiv \forall p \in P^V : \neg(x \leq p(z))$$

Mit diesen Begriffen kann man die *innere Grenze* als die Grenze zwischen Kernregion (core) und Randregion (boundary) und die *äußere Grenze* als die Grenze zwischen Randregion (boundary) und äußerer Region (exterior) definieren. Somit schließt die innere Grenze die Region ein, die von allen möglichen Referenten geteilt wird, wohingegen die äußere Grenze die Region einschließt, in der überhaupt Referenten liegen.

Urteile in Form von Approximationen eines vagen Namens, wie beispielsweise des 'Schlechtwettergebietes' im Satz B des letzten Abschnittes können mit diesen neuen Begriffen von einem urteilenden Subjekt relativ effizient generiert und auf Wahrheit überprüft werden. Statt wie sich aus den notwendigen und hinreichenden Bedingungen ergibt jeden einzelnen Referenzkandidaten zu prüfen, kann man neue Wahrheitsbedingungen aufstellen.

Ein Urteil wie Satz B ist genau dann *wahr*, wenn

- (i) die von der Approximation geleistete Beschreibung des Objektes den Kern unterschätzt, also eine 'zu enge' innere Grenze angibt
- (ii) die von der Aproximation geleistete Beschreibung des Objektes im Außenbereich liegt, also eine 'zu weite' äußere Grenze angibt

Wenn also ein Subjekt wie auch immer geartete, beispielsweise bildliche Vorstellung eines vagen Objekts hat, kann es die Grenzen leicht legen oder prüfen, ohne dabei sehr präzise sein zu müssen, und ohne dabei alle möglichen Kandidaten durchgehen zu müssen. Nach Smith und Bittner ist Präzision von Approximationen eine wünschenswerte Eigenschaft, weil präzise Urteile mehr Information enthalten, jedoch wird hierbei das Nützlichkeitskriterium verwendet. Es wird nur so präzise approximiert wie es nötig ist, nicht so präzise wie möglich.

6.3 Stärken und Schwächen

Die Idee der Approximation funktioniert für die Implementation wahrscheinlich gut, wenn man einige Bedingungen gegeben hat. Einerseits müssen sich die Objekte in einem festen, starren Referenzrahmen befinden, oder im Bezug auf diesen beschreiben lassen. Dieser muß dem System vorher bekannt sein, und die Welt wird, sofern es das System angeht, immer nur bezüglich dieses Referenzrahmens gesehen. Zeit eignet sich hier genauso wie ein präzise unterteilter und benannter Ausschnitt der Erdoberfläche.

Da man nicht annehmen kann, daß Kinder eine angeborene Vorstellung von Sekunden, Tagen und Jahren, beziehungsweise von Bundesländern und ähnlichem haben, stellt sich die Frage, wie der Referenzrahmen selbst gelernt wird. Die Situation vor der wir stehen scheint nicht die zu sein, wie man die Welt bezüglich von festen Repräsentationssystemen schematisiert. Dies ist ohne aufwendige Diskussion über Granularität genauso möglich, indem man eine *nicht adaptive Quantisierung*, beispielsweise in Form der Beschreibung von Schlechtwettergebieten auf Satellitenbildern, wählt.

Vielmehr scheint für eine Implementation die Frage zu sein, wie man ein adäquates Repräsentationssystem für die Welt findet und aufbaut, welches den kommunikativen und kognitiven Anforderungen, die an es gestellt werden, gewachsen ist. Die Idee der Grenzziehung um die Vagheit auszugrenzen ist hier nur bedingt geeignet, um weiterzukommen. Denn selbst wenn wir jetzt wissen, daß es Grenzen gibt und wir bezüglich derer Urteile beschreiben können, wissen wir nicht, wo sie liegen. Im nächsten Abschnitt werde ich grob skizzieren, wie mithilfe von Klassifikatoren und Sinnesdaten dieses Problem gelöst werden könnte.

6.4 Integration mit Sinnesdaten

Ich denke, wenn man ein Klassifikationsverfahren verwendet, um beispielsweise auf einem Satellitenfoto zu erkennen, welche Region schlechtes Wetter hat, und welche Region gutes Wetter, ergibt sich automatisch ein Bereich, in dem man klarerweise von schlechtem Wetter sprechen kann, ein Bereich, in dem nicht ganz klar ist, wie er zu klassifizieren ist, und ein Bereich, in dem das Wetter als gut zu bezeichnen ist. Insofern ergeben sich die Grenzen also quasi implizit durch die Art der Definition des Begriffes durch ein "weiches Verfahren".

Während Smith und Bittner davon ausgehen, daß es Grenzen gibt, und die Karten und Referenzrahmen bereits vorliegen, würde ich eher sagen, daß diese Informationen ebenso aus den Sinnesdatenströmen extrahiert werden müssen. Insofern kann man auch nicht davon sprechen, daß die Repräsentation, die ein intelligentes System von den Bundesländern haben wird, in diesem Sinne scharf ist. Vielmehr ist dieses schon eine Kombination der vielen optischen Eindrücke von Karten.

Wenn man eine derart "weiche Kombination" verschiedener Eingaben implementieren könnte, könnte man jede Eingabe als Korrekturterm für die bisherige Repräsentation ansehen. Insofern würde man Kinder, die in der Schule eine Karte betrachten so beschreiben, daß sie eine vorhandene Repräsentation der Welt nehmen, und die neue Eingabe versuchen möglichst widerspruchsfrei einzuordnen.

Diese Sicht auf das Lernen, die im Gegensatz zu der Smith und Bittner

wohl implizit zugrunde liegenden Annahme steht, daß es vorprogrammierte Referenzrahmen gibt, hat den großen Vorteil, daß sie sich auch in unüberwachter Form betreiben läßt. Während ein Prozess, der Denkprozess, ständig die Umwelt schematisiert, wird versucht, bestimmte auftretende Muster zu erklären, indem Assoziation verwendet wird. Wenn bekannte Muster gefunden werden, kann die Eingabe verwendet werden, um das Repräsentationssystem zu verfeinern, und so ein Stück der Wahrheit anzunähern.

7 Wahrheit

7.1 Wahrheit als Korrespondenz

Eine einfache Form, Wahrheit zu definieren, ist es, eine Übereinstimmung mit dem was "der Fall ist" zu postulieren. Diese Art, über Wahrheit nachzudenken, findet sich schon bei Aristoteles. Demzufolge ist ein Urteil wahr, wenn man in ihm einem Gegenstand eine Eigenschaft zuschreibt, die der Gegenstand hat, oder eine Eigenschaft abspricht, die er nicht hat. Analog dazu ist ein Urteil falsch, wenn man einem Gegenstand eine Eigenschaft abspricht, die er hat, oder einem Gegenstand eine Eigenschaft zuspricht, die er nicht hat.

Diese Sicht ist nach den vorangegangenen Untersuchungen nur eingeschränkt haltbar. Wenn es eine Menge R von Repräsentationen gibt, und eine Menge von Tatsachen T , also Dingen, die "der Fall sind", gilt, daß es sehr viel mehr Tatsachen als Repräsentationen gibt:

$$|R| \ll |T|$$

Speziell findet man, daß bei abzählbaren Repräsentationssystemen wie der Sprache sogar R abzählbar ist, während T nach allem was die Physik postuliert überabzählbar ist. Insofern kann man, wie eingangs schon erwähnt praktisch nie einem Gegenstand eine Eigenschaft exakt zuschreiben, und somit nie eine exakte Übereinstimmung erreichen.

Es findet sich eher eine weiche Form der Übereinstimmung, in der man sagt: ein Satz ist dann wahr, wenn er in einem Kontext und vor einem Weltmodell eine *nützliche* Aussage über die Realität macht, indem die verwendeten Begriffe "tatsächlich" in einem *ähnlichen* Zusammenhang stehen, wie der Satz vorgibt. Da mit jeder Aussage in dieser Betrachtungsweise sehr viele Rückprojektionen möglich sind, die sich aus dem Weltmodell ergeben, und sich letztendlich in Vorstellungen über mögliche Sinnesdaten präzisieren lassen, ist es zentral wichtig zu wissen, wann überhaupt ein Weltmodell als solches geeignet ist, diese Rückprojektion fehlerfrei zu leisten, und wie sie aussieht.

7.2 Wahrheit als Weltmodellmaß

In der Philosophie wird klassischerweise das Weltmodell einer Person in eine diskrete Menge von Meinungen und Überzeugungen über Tatsachen angesehen, von denen man dann manche als wahr und manche als falsch bezeichnen kann. Wissen ist demnach *wahre, gerechtfertigte Meinung*.

Mir scheint es eher so, als sei ein Weltmodell dann gut, wenn es die Beobachtungsdaten gut erklärt und in einer Weise beschreibt, daß man nützliche Schlüsse ziehen kann. Wenn ich annehme, daß ich die Schuhgröße 42 habe, ist

das nicht deshalb gut oder schlecht, weil ich nicht genau die Schuhgröße 42 hat. Niemand hat das, da alle Füße unterschiedlich geformt sind, alle Schuhe unterschiedlich ausfallen, und die Zahl nur eine Repräsentation von einem sehr komplexen Sachverhalt ist. Es spielt nicht nur das Kriterium der Länge, Breite und Höhe eine Rolle bei der Frage, ob Schuhe einer bestimmten Größe passen, sondern auch die Frage nach dem Größenunterschied beider Füße, dem Gewicht, Laufstil, der Wahl der Socken, des Schürverhaltens, der Form des Schuhs, der Flexibilität des Schuhs und subjektive Faktoren wie Erwartungshaltungen an das Gefühl welches der Schuh verursachen sollte.

Vielmehr scheint es gut zu sein, wenn ich glaube, daß ich die Schuhgröße 42 habe, wenn ich beim Probieren von Schuhen am schnellsten Erfolg habe, wenn ich solche dieser Größe anprobiere. Insofern handelt es sich auch bei einer solchen Meinung, die sich wahrscheinlich auf eine exakte Definition der Schuhindustrie zurückführen läßt um eine solche, die ihren Nutzen und ihre *Wahrheit* durch die Stützung auf Beobachtungsdaten bekommt ; hierbei ist sowohl das Repräsentationssystem am Nutzen beteiligt, insofern als daß die Schuhgröße überhaupt ein praktisches Kriterium zum Kaufen von Schuhen darstellt, als auch die konkrete im Bezug auf dieses System gemachte Angabe.

7.3 Wahrheit und Lernverfahren

Wenn man Wahrheit derart als weiche Übereinstimmung begreift, welche durch einen ständigen Abgleich des Weltmodells mit den Beobachtungsdaten aufgebaut wird, ergibt sich direkt die Verbindung zu Lernverfahren. Die Dinge, die man in der Welt beobachtet, die unerwartet sind, werden als Eingabe eines Lernverfahrens verwendet, welches daraufhin das Weltmodell anpasst (oder anpassen sollte). Optimal ist es, hierbei immer die am wenigsten aufwendige Korrektur zu verwenden, wobei es nicht trivial ist, hierbei Aufwand klar zu definieren.

7.4 Wahrheit als gesellschaftliches Phänomen

Eine spannende Frage hierbei ist es, wieso überhaupt verschiedene Menschen miteinander kommunizieren können, wenn jeder ein Weltmodell hat, welches die Welt gut erklärt. Nach den vorangegangenen Überlegungen erscheint es mir zentral, daß die Weltmodelle verschiedener Personen durch gesellschaftlichen Konsens miteinander verbunden werden, um somit aus der lokalen Fähigkeit zu intelligentem Handeln, die einzelne Menschen besitzen, eine globale Fähigkeit zu intelligentem Handeln zu gewinnen.

Dafür wird das Repräsentationssystem in gewisser Weise standardisiert, sodaß verschiedene Menschen ein und denselben Sachverhalt mit den selben Begriffen beschreiben werden. In gewisser Weise ergibt sich so eine Parallelität des Denkens verschiedener Menschen. Sie denken in ähnlichen Begriffen. Zusätzlich zum ständigen Abgleich des Weltmodells mit den reinen Sinnesdaten kommt der ständige Abgleich des Weltmodells mit anderen Menschen dazu. Dies hat vor allem auch deshalb für den Einzelnen Vorteile, weil er dadurch eine sehr viel größere Menge an Sinnesdaten (nämlich die Erfahrungen der anderen Menschen) in sein Weltmodell integrieren kann.

Hierbei werden sowohl aus Effizienzgründen (da eine genaue Darstellung eines Sachverhaltes in allen Einzelheiten meistens zu lange dauern würde),

als auch für eine Art Fehlertoleranz (da man nicht möchte, daß ein Mensch mit einer nutzlosen Überzeugung das eigene Weltmodell verschlechtert) externe Repräsentationen verwendet, die eine Klasse von Phänomenen in standardisierter Weise auf einzelne Begriffe abbilden. Wahrheit und Lüge entstehen, wenn die Repräsentation nicht mit dem gesellschaftlichen Konsens für die Bedeutung des Begriffes übereinstimmt.

Granulare und vage Repräsentationen entstehen einerseits aus der Notwendigkeit knapper Repräsentation heraus. Andererseits kann man sich die konkrete, heute vorliegende Ausprägung aber auch als evolutionär entstandener Zwischenstand des seit Beginn der Menschheit stattfindenden individuellen Denkens und der Synchronisation der Weltmodelle zwischen Individuen vorstellen.

8 Kommunikation von Urteilen/Wahrheit

8.1 Sprache

Sprache ist sicherlich das wichtigste externe Repräsentationssystem, mit dem man Ausschnitte eines Weltmodells darstellen kann. Es gibt gesprochene und geschriebene Sprache, wobei erstere reicher an Ausdrucksmöglichkeiten durch das zusätzliche codieren von Emotionen, Intensionen, Sprechakten und vielen anderen Merkmalen ist, die in der Schriftsprache verlorengehen. Beide Systeme sind aber isomorph, da sie sich aufeinander abbilden lassen und die dabei verwendeten Begriffe erhalten bleiben.

Jede Schriftsprache, beispielsweise das Deutsche, ist abzählbar. Es liegt also Diskretisierung vor. Schulen, tagtägliche Kommunikation, Bücher, Forschungsgruppen und so weiter prägen die Entwicklung der Sprache zu einem universellen Repräsentationsmedium, in dem jeder Gedanke und jeder Aspekt jedes Weltmodells versprachlicht werden kann. Andererseits prägt die Sprache die Gedanken und die Weltmodelle ihrer Benutzer in hohem Maße.

Granularität und Vagheit in der Sprache, im Sinne von verschiedenen detaillierten Repräsentationsebenen für Phänomene spiegelt sich in Granularität und Vagheit des Denkprozesses wieder, und umgekehrt.

8.2 Gesten

Gesten bieten eine motorische Repräsentation an, die der Welt daher um nichts an "Überabzählbarkeit" nachsteht, weil sie in eben dieser überabzählbaren Welt stattfinden. Dies soll aber nicht heißen, daß man mit Gesten Teile der Welt perfekt beschreiben könnte, da es einen Synthetisierungsfehler gibt (den Unterschied zwischen der Handbewegung, die man machen wollte, und der Handbewegung, die man macht) und einen Messfehler beim Beobachter der Geste (der Unterschied zwischen der Handbewegung, die gemacht wurde, und der Handbewegung, die wahrgenommen wurde).

Dennoch können Gesten in dem selben Maße verwendet werden, um Teile des Weltmodells zu kommunizieren, wie beispielsweise bei der Beschreibung eines Weges ("wir gehen jetzt da lang, biegen dann in etwa da hinten ab und gehen dann durch dieses Haus auf die andere Seite"). Hierbei sind Gesten natürlich vage, können aber in Kombination mit Sinnesdaten auf eine der Interpretationen begrenzt werden, die der Kommunizierende intendiert hatte. Auch wenn keine

Sinnesdaten vorliegen können Gesten vage Angaben über die Realität liefern ("wenn das hier der Mount Everest ist, liegt etwa hier Tibet und da China, und dort ging unsere Reise los, dann hierlang um schließlich da zu enden").

Ähnlich wie es eine Synchronisation über die Bedeutung mancher Laut- oder Symbolkombinationen für Begriffe gibt, gibt es solche Festlegungen und einen solchen Konsens auch bei Gesten. Diese sind jedoch weniger ausgeprägt.

8.3 Externe Repräsentationen

Schließlich eignen sich für Zusammenhänge, die man im Prinzip wahrnehmen könnte, wenn man an einem bestimmten Ort wäre, alle möglichen Formen von Plänen und Karten. Hierbei wird meistens eine Isomorphie verwendet, indem bestimmte Merkmale auf ein bestimmtes System so projiziert werden, daß die Entfernungsverhältnisse erhalten bleiben. Karten sind damit ein effektiver Weg, Repräsentationssysteme von Orten aufzubauen, und diese wiederum zu standardisieren und mit Begriffen zu versehen, sodaß man darüber reden kann.

Auch hier bleibt das Weltmodell des Beobachters vermutlich hinter der Genauigkeit der Karte zurück, die wiederum hinter der Genauigkeit der Realität zurückbleibt. Es kommt ähnlich wie bei Gesten zu Synthetisierungs- und Messfehlern, die jedoch im Sinne vagen Schliessens keinen "Schaden" anrichten. Denn ein auf der Karte geplanter Weg muß beim Handeln ohnehin mit den Sinnesdaten abgeglichen werden, sodaß dabei eine Art Korrekturmechanismus greift, der die fehlende und falsche Information durch Wahrnehmung korrigiert.

9 Architektur eines Alternativmodells

9.1 Grenzen von Smith und Bittner

Smith und Bittner beschreiben in ihrem Papier einen formalen Apparat, mit dem man Granularität und Vagheit modellieren kann. Dieser Apparat läßt in sehr abstrakter Form zu, von der Semantik einer Aussage wie der zitierten Urteile zu sprechen. Supervaluation, 'de dicto'-Vagheit und Partitionen bieten sowohl ein Weltmodell, als auch einen Zusammenhang zwischen Weltmodell und Realität an, wobei ein bestimmter philosophischer Standpunkt vertreten wird, der jedoch immernoch so allgemein ist, daß man eine Abbildung vieler Phänomene auf diesen Apparat finden kann.

Für einen Informatiker ist jedoch dieser Apparat nur bedingt hilfreich, wenn es um die Konstruktion von intelligenten Systemen geht. Denn während man in einem festen Repräsentationsrahmen unterspezifizierte Informationen in irgendeiner Weise hierarchisch ablegen kann, und sich dabei auf Smith und Bittner beziehen kann, erscheint mir der Ansatz zwar für Geoinformationssysteme geeignet.

Wenn man damit aber versucht "wirklich intelligente" Systeme zu bauen, oder auch nur zu verstehen wie in ihnen Granularität und Vagheit fundamental verankert sind, ist der Ansatz bei weitem zu eng. Denn nützliche intelligente Systeme sollten eben die Abbildung von verschiedenen Repräsentationssystemen aufeinander sowie den Aufbau eines Weltmodells leisten können, ohne daß man alle dafür notwendigen Informationen einbauen muss. Denn Intelligenz ist im Kern eben auch Adaptivität, die eine ständige Angemessenheit des Systems

bezüglich seiner Umwelt garantiert, wovon bei einem Nichtlernenden System nicht auszugehen ist.

Daß Smith und Bittner Begriffe wie Lernen, Kontext, Wahrnehmung oder Aufmerksamkeit in ihrer Betrachtung komplett vernachlässigen, führt zwar zu einem begrenzten Problem, andererseits aber auch zu einer begrenzten Lösung.

9.2 Lösungsideen für diese Grenzen

Ein zentraler Punkt den ich auch schon mehrmals betont habe, scheint mir die Integration von Sinnesdaten in die Betrachtung zu sein. Ein System, welches keine räumlichen Beziehungen wahrnimmt, kann auch nur in sehr eingeschränktem Umfang für diese sinnvolle Repräsentation aufbauen. Da Granularität und Vagheit in meinem Verständnis gerade dadurch entstehen, daß eine adäquate Repräsentation für die Welt gesucht wird, und da Sinnesdaten unser primärer Zugang zur Welt ist, erscheint mir dies auch für intelligente Systeme gelten wichtig zu sein, sofern sie unsere Art von Intelligenz besitzen sollen.

Daher sind neben harten Repräsentationen in Form von Fakten, Begriffen, Grenzen und Koordinaten unbedingt weiche Repräsentationen in Form von neuronalen Netzen oder anderen Verfahren zu integrieren, zumal hierbei die Chance besteht, Lernbarkeit und Vergleichbarkeit des Modells mit der Realität zu erreichen. Wichtig wäre hierbei, daß Eingabe und Ausgabe gleichermaßen in der Architektur vorgesehen werden, sodaß das System beispielsweise Skizzen von "seiner Meinung wie die Realität seinem Weltmodell zufolge aussieht" anfertigen kann.

Die angesprochene Synchronisation von großen Gesellschaften intelligenter Systeme ist eben durch solche Schnittstellen möglich, und ich denke einer der interessanten Aspekte künstlicher intelligenter Systeme scheint ja zu sein, daß man "mit ihnen reden kann", um ihr Weltmodell in ähnlicher Weise mit unserem eigenen zu synchronisieren, wie wir dies mit anderen Menschen tun. Eine vereinfachte Alternative, falls eine Kommunikation auf einer Ebene mit einem menschlichen Partner zunächst zu schwierig erscheint, könnte es sein, Gesellschaften simulierter intelligenter Systeme aufzubauen. In diesen könnte man studieren, wie man eine Welt, die sehr sehr viel größer ist als die kognitive Kapazität eines Systemes doch durch aufgabenteiliges Denken und Handeln mit einer Weltmodellsynchronisation und darauf aufbauender Kommunikation dennoch adäquat beschreiben kann, und sodaß die Menge intelligenter Systeme in ihr global Intelligent handeln können.

Schließlich als letzter Punkt scheint mir der Kontext bei Smith und Bittner völlig unterzugehen, da sie kein Verfahren angeben können, wie dieser zu berechnen ist. Hierbei scheint mir das Studium der Aufmerksamkeit in eine interessante Richtung zu führen, da sich aus der Situation, in der sich ein Mensch oder anderes intelligentes System befindet, eine aktivierte Untermenge seines Weltmodells zu ergeben scheint, welche dann auch "den Kontext" für die Äußerung bereitstellt. Wenn die Aufmerksamkeit und das Weltmodell von Gesprächspartnern hinreichend synchronisiert ist, kann damit sichergestellt werden, daß die Äußerung auch so verstanden wird, wie sie gemeint war.

10 Zusammenfassung

In dieser Arbeit habe ich die Phänomene Granularität und Vagheit in einen größeren Kontext eingeordnet. Um die Frage zu beantworten, inwieweit eine bestimmte Beschreibung, nämlich die von Smith und Bittner, schlüssig und leistungsfähig ist, habe ich versucht eine vorläufige Antwort auf die Fragen *Was ist Intelligenz?* und *Wie kann man intelligente Systeme bauen?* zu geben.

Im Kern meiner Argumentation steht Intelligenz als nicht nur symbolisches sondern auch subsymbolisches Phänomen, welches die Fähigkeit ein *adäquates Weltmodell* aufzubauen und zu verwenden beinhaltet. Hierbei habe ich die Rolle des *Lernens* beschrieben, und die enge Verbindung zu den *Sinnesdaten*. Diese stellen die Beziehung zur *Realität* her, und eine wesentliche erwünschte Beziehung zwischen Weltmodell und Realität ist die der *Wahrheit*.

Ich habe die These vertreten, daß bei unvollständigen und ungenauen Repräsentationen der Realität, wie sie im Kontext intelligenter Systeme immer vorliegen, *Granularität und Vagheit* notwendigerweise auftreten, und zwar nicht nur als Störfaktoren, sondern als Effizienzmerkmal, welches sie einer *nichtadaptiven Quantisierung* gegenüber vorteilhaft macht.

Vor diesem Hintergrund konnte ich die Ansichten von Smith und Bittner analysieren und kritisieren, indem ich ihre Sicht von *Partitionen* und *vagen Partitionen* als mögliche Kandidaten für Weltmodelle aufgefaßt habe, und auf die aus ihren Ideen resultierenden Konsequenzen betrachtet habe. Schließlich habe ich Sprache und andere Formen der *Kommunikation* analysiert, wie dies auch Smith und Bittner in Form von Beispielsätzen und *Urteilen* tun, und die Rolle des *Kontextes* beleuchtet. Während sie in ihrem Paper kaum darauf eingehen wie dieser entsteht, habe ich die Rolle der *Aufmerksamkeit* als meiner Einschätzung nach entscheidenden Faktor beschrieben.