

PSI lernt sprechen –
Erste Schritte zur verbalen Interaktion mit dem
Autonomen Künstlichen Agenten PSI

Inaugural-Dissertation
in der Fakultät Pädagogik, Philosophie und Psychologie
der Otto-Friedrich-Universität Bamberg

vorgelegt von
Johanna Künzel

aus
Hof

Bamberg, den 18.2.2004

Tag der mündlichen Prüfung:		14.06.2004
Dekan:	Universitätsprofessor Dr.	Max Peter Baumann
Erstgutachter:	Universitätsprofessor Dr.	Dietrich Dörner
Zweitgutachter:	Universitätsprofessor Dr.	Christoph Schlieder

Kapitel 1: Einleitung	8
Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation.....	12
2.1. Was ist PSI?	12
2.2. Die PSI-Theorie	15
2.2.1 Grundlagen.....	15
2.2.2 PSIs Verhalten.....	18
2.2.3 PSIs Emotionen	20
2.2.4 PSIs Gedächtnis	21
2.3. Wie ist PSI aufgebaut? (Neuronen und Schemata).....	26
2.4. Was fehlt?	28
Kapitel 3. Sprechen und verstehen	30
3.1 Was ist das – Sprache?	30
3. 2 Was gehört zur Sprache?	31
3.2.1 Wörter	31
3.2.2 Regeln.....	34
3.2.2.1 Was sind Regeln?	34
3.2.2.2 Und wie werden Regeln erworben?	36
3.3 Spracherwerb	39
3.3.1 Beim Menschen: Erwerb der Erstsprache.....	39
3.3.2 Bei Tieren	44
3.4 Eine Theorie des Sprachverstehens.....	49
3.5 Sprache und Denken.....	56
Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht	59
4.1. Der Turing-Test oder: wie alles begann	59
4.2. Ein Computer spricht: Eliza und ihre Nachfolger.....	60
4.2.1 ELIZA.....	60
4.2.2 Elizas Nachfolger	64

4.3. Ein großer Schritt: SHRDLU.....	65
4.4. Sprechende Roboter: Talking Heads und Aibo	68
4.5. Können Computer überhaupt Sprache verstehen?	75
4.6. Kismet und die Menschen	78
4.7. Zusammenfassung und Ausblick	81
4.8. Das L ₀ Projekt oder: eine Neuronale Theorie der Sprache.....	83
4.8.1. Grundannahmen	83
4.8.2. Konzepterwerb	85
4.8.2.1 Konzepterwerb bei räumlichen Relationen.....	85
4.8.2.2 Konzepterwerb bei Handaktionen	90
4.8.3. Textverstehen und Metaphern.....	94
4.8.4. Grammatik	96
Kapitel 5: PSI-Lingua	100
5.1. Die Oberfläche von PSI-Lingua.....	100
5.2. Die Sprachein- und -ausgabe	101
5.3. Wörter.....	105
5.3.1 Einführung	105
5.3.2 Grundprinzipien: Objekterkennung.....	105
5.3.3 Grundprinzipien: Abtastung von Wörtern	106
5.3.4 Grundprinzipien: Ausgabe	109
5.3.5 Wörter und Dinge	109
5.4. Was kann PSI-Lingua?	112
5.4.1 Einleitung und Überblick.....	112
5.4.2 Objekte und Situationen benennen und sich vorstellen.....	113
5.4.3 Relationen benennen und sich vorstellen	115
5.4.3.1 Wörter werden fest vorgegeben	115
5.4.3.2 Wörter werden gelernt	116

5.4.4 Bedürfnisse benennen.....	118
5.4.5 Bewegungen benennen.....	120
5.4.6 Aktionen benennen.....	121
5.4.7 PSI stellt Fragen	122
5.4.7.1 Einleitung	122
5.4.7.2 Was-Fragen beantworten und stellen.....	122
5.4.7.3 Wo-Fragen beantworten und stellen.....	123
5.4.7.4 Wozu-Fragen stellen und beantworten, die Antwort verstehen	125
5.4.7.5 Wastun-Fragen stellen und beantworten.....	127
5.4.8 Pläne verbal mitteilen	128
5.4.9 Richtungen verbal mitteilen	129
5.4.10 „Grammatik“	130
5.4.11 Affiliation.....	131
5.4.12 Abstrakta.....	132
5.4.13 Verstehen nicht-grammatischer Fragen.....	134
5.4.14 Die Protokollierung	135
6. Kritik und Ausblick, oder: „Die Grenzen meiner Sprache bedeuten die Grenzen meiner Welt“ (Wittgenstein)	136
6.1 Welche der Anforderungen werden von PSI erfüllt?.....	136
6.2 PSI und die anderen (ELIZA, ...).....	141
6.3 Abgrenzung L ₀ – PSI.....	143
6.4 Ausblick, oder: “The ability to speak does not make you intelligent.”.....	146
7. Mensch-Computer-Kooperation	155
7.1 Ein (kurzer) Theoretischer Überblick	155
7.2 Verbale Interaktion mit einem Autonomen Künstlichen Agenten	164
7.2.1 Fragestellung und Vorgehen	164
7.2.2 Versuchsanordnung	168
7.2.2.1 Die Umgebung	168

7.2.2.2 Umgang mit dem Roboter.....	169
7.2.2.3 Umgang mit PSI	173
7.2.2.4 Interviews	179
7.2.3 Auswertung	181
7.2.3.1 Interviews	181
7.2.3.2 Simulationen.....	186
7.2.3.3 Einzelfälle	188
7.2.4 Die Probanden.....	190
8. PSI und die Menschen.....	191
8.1 Fragestellung.....	191
8.2 Ergebnisse.....	192
8.2.1 Gibt es über alle Personen hinweg charakteristische Unterschiede im Verhalten gegenüber PSI und gegenüber dem Roboter?	192
Erster Versuchsdurchgang	192
Zweiter Versuchsdurchgang und Vergleich beider Durchgänge	196
8.2.2 In wie weit wird PSI als eigenständiger Agent wahrgenommen?.....	201
8.2.3 Als wie stark werden PSIs Kompetenzen eingeschätzt?	203
8.2.4 Wurde der Roboter von den beteiligten Menschen eher als Werkzeug betrachtet als PSI?	205
8.2.5 Gibt es einen Lerneffekt?.....	206
8.2.6 Gibt es Verhaltenstypen?.....	208
VP02: Teilen von Verantwortung	209
06: Was nicht sein kann.....	213
VP07: PSI als Hindernis	217
VP11: PSI als willkommene Ergänzung	220
VP13: PSI als Hilfe und Entlastung	223
VP014: „Persönlichkeit“ im Wandel.....	227

VP16: PSI als eigenständiger Agent	230
VP17: PSI als Persönlichkeit	233
8.3 Zusammenfassung und Ausblick	236
9. Zusammenfassung und Ausblick	239
Literaturverzeichnis	242
Abbildungsverzeichnis	251
Tabellenverzeichnis	253
Verzeichnis der Anforderungen	255

Kapitel 1: Einleitung

Wenn man seinen Computer nicht umständlich mit Tastatur und Maus bedienen müsste, sondern ihm einfach sagen könnte „Mach’ mal das Schreibprogramm auf“ würde das die Arbeit beträchtlich vereinfachen. Und wenn dann der Computer noch bemerken würde, dass es natürlich „der Computer“ und nicht „das Computer“ in einem bestimmten Satz heißt und die von mir geäußerten Sätze noch in meinem Sinne vervollständigt und stilistisch ausfeilt – schreiben könnte so einfach sein. Es gibt zwar Spracherkennungssysteme, mit deren Hilfe man einem Computer verbal Befehle erteilen kann, und Textverarbeitungsprogramme verfügen in aller Regel über eine Grammatikprüfung, doch sind diese Möglichkeiten noch sehr begrenzt. Aber was passiert, wenn sich der Computer plötzlich zu Wort meldet und mitteilt, dass er den wissenschaftlichen Ansatz des gerade fertiggestellten Textes für ziemlich blödsinnig hält und den Text löscht, weil er „so etwas“ nicht in seinem Speicher haben möchte? Nur – warum sollte ein Computer so etwas tun? Damit mein Computer verstehen kann, was ich mit einem eingegebenen Textsagen möchte, braucht er zunächst einmal Wissen über die Welt und Wissen über die verwendete Sprache. In ein solches Weltwissen kann er den von mir vorgeschlagenen Text integrieren und mich dann auf vorhandene Widersprüche hinweisen. Und mittels seines Sprachwissens kann er mich auf grammatikalische Fehler und stilistische Mängel hinweisen. Weiterhin muß der Computer in der Lage sein, sein Wissen selbständig zu erweitern, um so auch Hinweise zu für ihn neuen Themen geben zu können. Dazu muß der Computer aber auch über die Fähigkeit verfügen, Wichtiges von Unwichtigem zu trennen und er muss eine flexible Rangreihenfolge seiner Bedürfnisse bilden können – er braucht demnach ein motivatorisches System. Durch dieses motivatorische System wäre der Computer auch in der Lage versetzt, sich selbständig um seine eigenen Bedürfnisse zu kümmern und er könnte mir zum Beispiel im Hochsommer schon frühmorgens sagen „Achtung, denk daran, gegen Mittags wird es mir zu heiß, ich muß dann eine Stunde Pause zum Abkühlen machen“. Letzteres ist zugegebenermaßen für meinen Schreibtischcomputer nicht so wichtig, aber für einen Erkundungsroboter wären solche Überlegungen sehr wichtig, denn dieser Roboter muß sich in unbekanntem Umgebungen zurechtfinden und ist weit von jeglicher Hilfe entfernt, so dass hier die Fähigkeit, eigene – auch emotionale – Entscheidungen wie die Entscheidung zur Flucht zu treffen, überlebenswichtig ist.

Kapitel 1: Einleitung

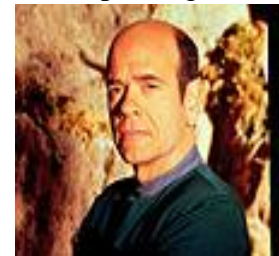
Es muß aber nicht der mit menschlichen Fähigkeiten ausgestattete Computer im Zentrum des Interesses stehen. Man kann auch ein theoretisches Modell des Menschen auf einem Computer implementieren und dann überprüfen, ob das Verhalten des Programms dem Verhalten von Menschen entspricht. Dies hat viele Vorteile: Man wird auf Widersprüche aufmerksam, ist gezwungen, seine Theorie sehr klar zu formulieren und erhält direkt überprüfbares Output: das Verhalten des Computerprogramms. Und so ist es eine vielversprechende Möglichkeit, eine komplexe Theorie des menschlichen Verhaltens in ein Computerprogramm übertragen und durch den Vergleich mit dem Verhalten von Menschen validieren.

Wenn es aber solche mit menschlichen Fähigkeiten ausgestattete Computer geben



Abbildung 2: Data aus StarTrek - The Next Generation, © Paramount

sollte, dann stellt sich die Frage: Wie gehen Menschen mit einer solchen Künstlichen Lebensform um? Diese Frage wird zwar in der Sciencefiction häufig behandelt (nicht



umsonst sind sowohl der beliebteste Charakter aus StarTrek: The Next

Abbildung 1: The Doctor aus Star Trek Voyager © Paramount

Generation und aus StarTrek: Voyager¹ jeweils künstliche Lebensformen: der Android Data und das Hologram The Doctor, und auch die Droiden C3PO und R2D2 aus StarWars² sind äußerst beliebt in Fankreisen), aber kaum in der Psychologie. In der Psychologie gibt es zwar reichlich Forschung zum Umgang von Menschen mit Computern, aber zum Umgang von Menschen mit Künstlicher Intelligenz (oder den heute schon existierenden Versuchen zur Künstlichen Intelligenz) gibt es nur sehr wenig, und das wenige vorhandene beschäftigt sich beispielsweise mit der Interaktion zwischen Robotern und Menschen (siehe z.B. Längle & Wörn, 2001).



Abbildung 3: C3PO und R2D2 aus StarWars, Episode 4, ©Lucasfilm, Ltd

¹ © für StarTrek - Next Generation und StarTrek – Voyager liegt bei Paramount

² © Lucasfilm Ltd.- all rights reserved

Kapitel 1: Einleitung

Doch ist gerade die Interaktion zwischen Menschen und künstlichen Lebensformen ein wichtiges Gebiet, denn wenn selbständig denkende und handelnde Roboter und Computerprogramme jemals eingesetzt werden sollen, dann werden hier Menschen und einer Weltraumsonde, ein Kanalreinigungsroboter, ... zusammenarbeiten, und es wird darum gehen, Probleme zu lösen, die nicht auf der Ebene der technischen Verbesserung eines Roboters liegt, sondern eher auf der Ebene der Sozialpsychologie, nur dass es sich hier eben nicht um Mensch – Mensch –Interaktion sondern um Interaktion zwischen Menschen und künstlichen Agenten handelt.

Gibt es einen Unterschied in der Art und Weise, wie sich Menschen gegenüber KI-Systemen und „normalen“ Programmen benehmen? Die Beobachtungen von Weizenbaum (1966) mit seinem Computerprogramm ELIZA scheinen darauf hinzuweisen – und dabei ist ELIZA jedoch noch weit davon entfernt, „intelligent“ zu sein. Um diese Frage erforschen zu können wurde dem System „PSI“ (vgl. dazu Dörner, 1999) eine – noch eingeschränkte – Sprachfähigkeit verliehen. Dies ermöglicht es PSI und Menschen, miteinander Kontakt aufzunehmen und zum Beispiel Pläne zu übermitteln und Fragen zu stellen. Versuchspersonen werden dann vor die Aufgabe gestellt, mit diesem System zusammen ein komplexes Problem zu lösen. Dabei wird Psi und einem Mensch die Aufgabe gestellt, zusammen schadhafte Kanäle zu reparieren und Goldklumpen zu sammeln. PSI hat zudem noch Bedürfnisse (z.B. nach Wasser) die es befriedigen muß. Im Kontrast dazu wird derselben Gruppe von Versuchspersonen auch die Aufgabe gestellt, mit einem virtuellen Roboter die Insel zu erkunden und dabei sowohl die Bedürfnisse des Roboters zu befriedigen als auch Goldstücke zu sammeln. Aufgrund dieser Daten soll dann das Verhalten von Menschen gegenüber PSI mit dem gegenüber dem virtuellen Roboter verglichen werden.

Im zweiten Kapitel dieser Arbeit werde ich zunächst die hinter dem PSI-Modell stehende PSI-Theorie vorstellen. Dabei wird nicht nur dargestellt werden, welche Teile der Theorie in das Computermodell PSI schon implementiert sind, sondern auch, welche Teile dem Programm PSI noch fehlen

Das dritte Kapitel beschäftigt sich mit Sprache, es wird kurz erörtert, was Sprache eigentlich ist und wie sie bei Mensch (und manchmal auch bei Tieren) erworben wird. Es wird die dieser Arbeit zugrundeliegende Theorie des Sprachverstehens nach Dörner (1999) vorgestellt und schließlich wird auf den Zusammenhang zwischen Sprache und Denken eingegangen werden. Aus diesen theoretischen Ansätzen werden

Kapitel 1: Einleitung

Anforderungen an das System PSI abgeleitet, dem ja Sprachfähigkeit verliehen werden soll.

In Kapitel vier werden verschiedene Versuche, Computern Sprache beizubringen vorgestellt. Hier finden sich so unterschiedliche Ansätze wie Weizenbaums (1966) ELIZA, Winograds (1973) SHRDLU und die Talking Heads von Luc Steels (1999). Ebenfalls in diesem Kapitel findet sich eine Diskussion Zur Frage, ob es überhaupt möglich ist, dass Computer Sprache verstehen, und es wird ein System vorgestellt, das zwar nicht über Sprache verfügt, aber mittels seiner Mimik mit Menschen interagiert: Cynthia Breazeals (2002) Kismet. Auch aus diesen Ansätzen werden Anforderungen an PSI erarbeitet. Zum Abschluss dieses Kapitels wird noch das L₀-Projekt von Bailey, Feldman, Narayanan, & Lakoff (1997) vorgestellt. In diesem Projekt geht es um die Simulation von Konzepterwerb und Grammatikgebrauch, also ein zur hier vorgestellten Fragestellung eng verwandtes Thema.

Im fünften Kapitel werde ich dann PSIs Weg zur Sprache vorstellen und darstellen, über wie viel Sprache PSI verfügt, wie die Möglichkeit, Sprache zu erlernen bei PSI implementiert ist und wie PSI Sprache erlernt.

Im sechsten Kapitel wird diskutiert, ob PSI die oben erarbeiteten Anforderungen erfüllt, und wenn nicht, wie sie noch erfüllt werden können. Weiterhin wird ein Vergleich zwischen PSI und den in Kapitel vier vorgestellten Sprachverarbeitenden Systemen gezogen.

Kapitel sieben beschäftigt sich schließlich mit der Mensch-Computer-Interaktion. Hier werden zunächst Studien zur Mensch-Computer-Interaktion vorgestellt, dann wird es um die Fragestellung, die Versuchsanordnung und das Auswertungsvorgehen für die hier vorzustellende Studie erarbeitet.

Die Ergebnisse dieser Studie werden in Kapitel acht vorgestellt. Dabei wird die übergeordnete Fragestellung – Verhalten sich Menschen gegenüber einem autonomen Agenten anders als gegenüber einem vollständig von ihnen abhängigen Agenten? – in Teilfragen zerlegt. Anschließend werden Antworten auf diese Fragen gesucht.

Das neunte Kapitel enthält schließlich Schlussfolgerungen und Ausblicke auf zukünftig anstehende Arbeiten. Dabei wird noch einmal ein Überblick über die gesamte Arbeit gegeben und es werden Verbindungsstränge zwischen den beiden Teilen dieser Arbeit (Teil I: PSI lernt sprechen, Teil II: Interaktion mit Menschen) aufgezeigt.

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

2.1. Was ist PSI?

Auf diese Frage kann man eine kurze Antwort geben: PSI ist die Umsetzung der PSI-Theorie (Dörner, 1999) in ein Computerprogramm. Doch bleiben mit dieser Antwort noch viele Fragen ungeklärt, denn was die PSI-Theorie ist, warum eine Theorie in ein Computerprogramm umgesetzt wird und warum dieses Computerprogramm dann sprechen lernen soll, bleibt unklar.

Auf die PSI-Theorie werde ich in den nächsten Kapiteln eingehen, ebenso auf die Frage, warum PSI sprechen lernen soll. An dieser Stelle möchte ich jedoch zunächst die Frage behandeln, warum es sinnvoll ist, eine Theorie in ein Computerprogramm zu überführen.

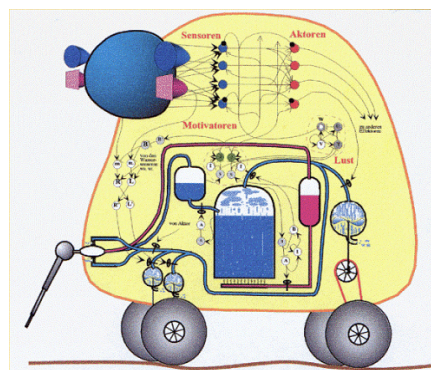


Abbildung 4: PSI - eine mögliche Inkarnation

Die PSI-Theorie ist eine umfassende Theorie menschlichen Verhaltens, sie beinhaltet kognitive, motivationale und emotionale Prozesse, und deren Ineinandergreifen. Die für diese Arbeit relevanten Bereiche der PSI-Theorie werden in den folgenden Kapiteln noch näher dargestellt, an dieser Stelle soll ein kurzer Überblick über die PSI-Theorie gegeben werden.

PSI nimmt seine Umgebung mittels seines Wahrnehmungsapparates wahr, und kann auf seine Umgebung aktiv einwirken. Zwischengeschaltet zwischen „Wahrnehmung“ auf der einen und „Aktionen“ auf der anderen Seite sind die inneren Prozesse PSIs. Bei den internen Prozesse sind zunächst PSIs primäre Bedürfnisse zu nennen. Diese Bedürfnisse sind das Bedürfnis nach Wasser (Durst), Energie (Hunger), nach Affiliation (Zuwendung durch andere Menschen), Bestimmtheit (Vorhersagbarkeit der Umwelt) und Kompetenz (eigene Macht, die Umwelt zu beeinflussen). Durch diese Bedürfnisse wird die Handlungsplanung beeinflusst. Wie genau diese Beeinflussung aussieht, hängt

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

von den „Parametern der Informationsverarbeitung“ ab. Diese sind die Aktiviertheit, der Auflösungsgrad und die Selektionsschwelle. Der Auflösungsgrad bestimmt, wie genau sowohl Wahrnehmungs- als auch Planungsprozesse ausgeführt werden, die Selektionsschwelle bestimmt, wie schnell andere Motive die Überhand über das momentan handlungsleitende Motive erlangen. Je höher die Selektionsschwelle, desto schwieriger wird es für andere Motive, das aktuelle Motiv zu verdrängen.

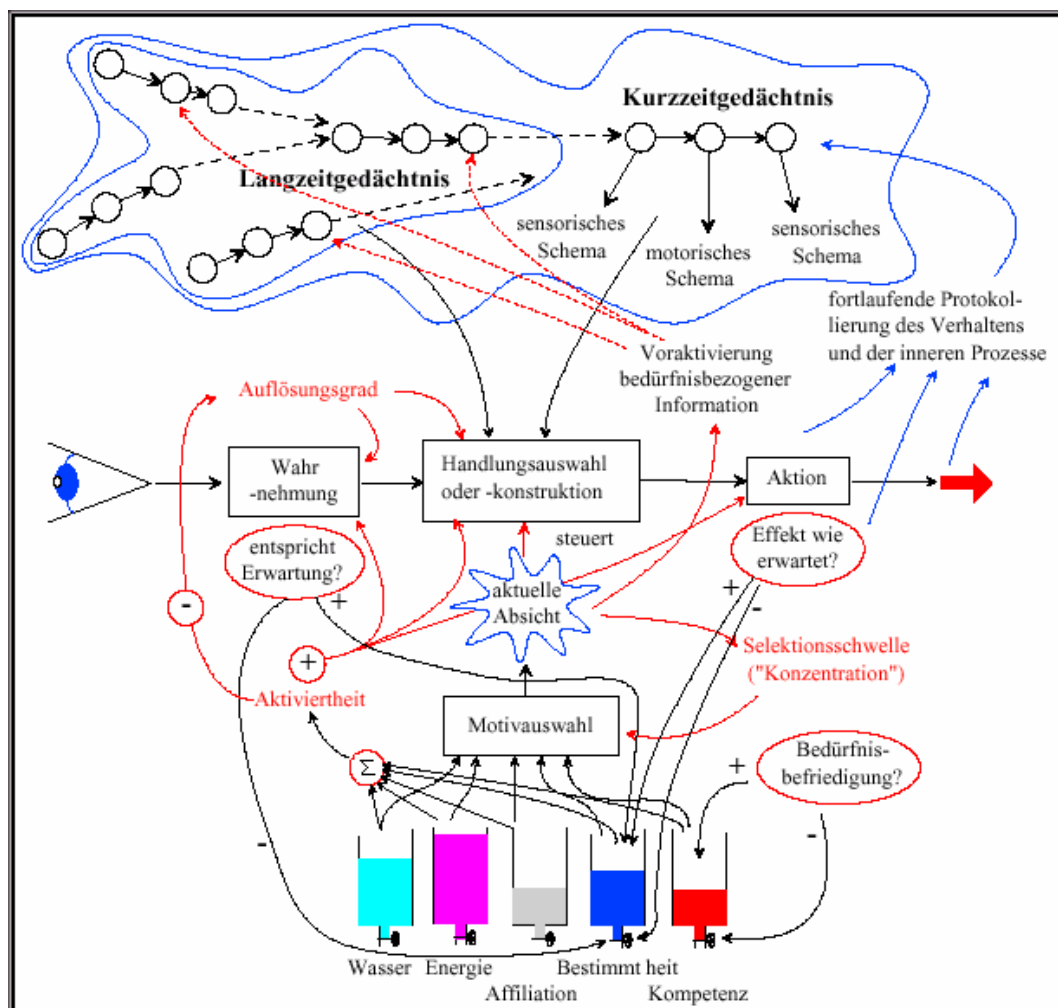


Abbildung 5: Ein Überblick über die PSI-Theorie, aus :Dörner & Schaub (1998), S. 13

Welche Handlungen ausgeführt werden, wenn ein Bedürfnis befriedigt werden soll, hängt sowohl von der Außenwelt als auch vom Inhalt des Gedächtnisses ab. Im Protokollgedächtnis wird – daher der Name – ein durchgängiges Protokoll des Verhaltens und der internen Prozesse mitgeführt. Mit der Zeit wird dieses Protokoll durch Vergessen „löchrig“ und damit auch abstrakter. In Abbildung 5 ist das Gedächtnis in Langzeitgedächtnis und Kurzzeitgedächtnis unterteilt, das Kurzzeitgedächtnis enthält die Eintragungen der unmittelbaren Vergangenheit. Tatsächlich handelt es sich aber um

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

eine Protokollkette, die lediglich zu Beginn vollständiger ist und mit der Zeit immer unvollständiger wird.

Solch ein System von komplexen, dynamischen, intransparenten und ineinandergreifenden Prozessen lässt sich mit den herkömmlichen Methoden der Psychologie aber nur schwer analysieren. Die positivistische Methode der Theorienbildung, die zunächst aus der Ausarbeitung einer Fragestellung, dann der Durchführung einer empirischen Untersuchung, der Erfassung korrelativer Zusammenhänge und schließlich am Ende der eigentlichen Theorienbildung (Ableitung eines kausalen Zusammenhangs aus den Ergebnissen) besteht, ist für diese Art von Theorien nur begrenzt geeignet. Bei solchen umfassenden Theorien lassen sich kaum genügend eingegrenzte Hypothesen aufstellen, die eine nicht von anderen Prozessen mitbestimmte und überlagerte Ursache-Wirkungs-Beziehung haben (ausführlich dazu Hille & Bartl, 1997). Daher wird für eine umfassende Theorie wie die PSI-Theorie eine andere Methode der Theorienprüfung benötigt. Gerade für so komplexe Theorien wie die PSI-Theorie bietet sich die Umsetzung der Theorie in ein Programm und der anschließende Vergleich des so erschaffenen künstlichen Wesens (PSI) mit den Menschen an. Durch diese Vergleiche mit Menschen (vgl. dazu Detje, 2000 a; Dörner, 2000; Bartl & Dörner, 1998b; Dörner & Schaub, 1998; Hille, 1997; Schaub, 1993) oder mit andern Theorien (vgl. dazu Detje, 1999) kann die Plausibilität der PSI-Theorie überprüft werden.

Diese Umsetzung der Theorie in ein Computerprogramm zur Plausibilitätsprüfung hat noch weitere Vorteile. Bei der Umsetzung der Theorie ist der Programmierer zu einer genauen Ausdrucksweise und einer mathematisch exakten Konzeption gezwungen, da alles andere von einem Computer nicht verarbeitet werden kann. Zudem müssen auch die Verbindungen zwischen einzelnen Theorieteilen genau beschrieben und konzipiert werden. Ein einfaches „Emotionen wirken sich auf das Handeln aus“ genügt zum Beispiel nicht, es muss genau beschrieben werden, wo Emotionen herkommen, was sie sind und wie genau sie sich auf welches Handeln auswirken.

Zudem ist ein lauffähiges Computerprogramm erheblich anschaulicher als die mathematische Formulierung, da hier das Zusammenwirken der einzelnen Prozesse online und plastisch beobachtet werden kann und die Ebene der „grauen Theorie“ verlassen wird.

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

Ein Computerprogramm ist eine Möglichkeit, diesen Sprung von der Theorieebene auf eine anschauliche Ebene zu vollziehen. Doch auf welcher Ebene sollte man anfangen, die internen Prozesse eines Wesens wie PSI zu simulieren? Bei PSI beginnt die Simulation auf neuronaler Ebene und geht bis zur beobachtbaren Verhaltenebene.

2.2. Die PSI-Theorie

2.2.1 Grundlagen

PSI lebt –beispielsweise – auf einer Insel (vgl. z.B. Dörner et. al. 2002) oder in einer Kanalwelt, prinzipiell kann für PSI eine beliebige Umgebung geschaffen werden. Für diese Untersuchung wurde eine Kanalwelt ausgewählt, in der es insgesamt 64 Orte gibt, die durch Wege (Kanäle) miteinander verbunden sind. PSI kann sich durch diese Kanallandschaft von einem Ort zum anderen bewegen – allerdings nur, wenn zwischen den beiden Orten eine Verbindung existiert.

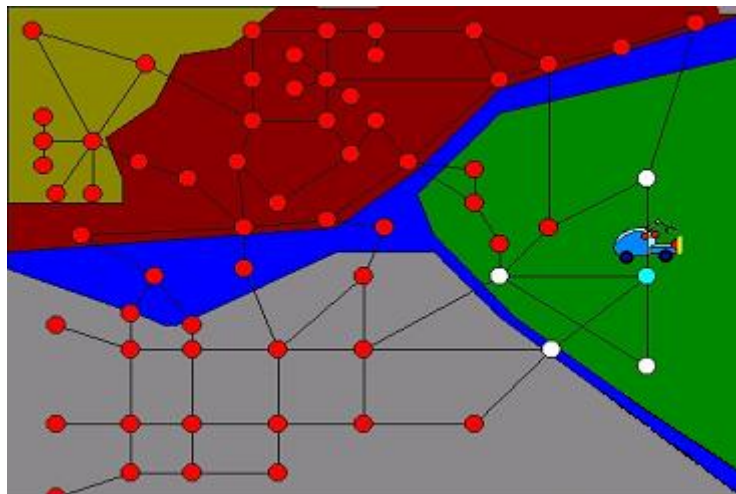


Abbildung 6: PSIs Welt

Auf der Karte (Abbildung 6) zeigen die Punkte die einzelnen Orte der Kanalwelt an, die Verbindungslinien stellen die Wege dar. Der türkisgrüne Kreis, über dem sich der kleine Roboter befindet, bezeichnet den Punkt, an dem PSI sich im Moment befindet, die weißen Punkte bezeichnen die Orte, an die PSI sich ohne Zwischenstationen begeben kann. Diese Informationen stehen PSI allerdings nicht zur Verfügung. PSI sieht einen Ort, wenn es sich dort befindet, wo Wege zu weiteren Orten sind, muss es erst herausfinden. PSI kann sich in insgesamt acht Richtungen bewegen – Norden, Süden, Osten, Westen, Nordosten, Südosten, Nordwesten und Südwesten – allerdings nur, wenn es auch einen Weg in diese Richtung gibt. Von dem Ort, an dem PSI sich in Abbildung 6 befindet, führt zum Beispiel kein Weg nach Osten. Wenn PSI also

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

versucht, von hier aus nach Osten zu laufen, dann bekommt es die Rückmeldung, dass in diese Richtung kein Weg existiert. PSI hat nur eine Möglichkeit, herauszufinden, ob es einen Weg gibt in eine bestimmte Richtung gibt: es muss probieren, in diese Richtung zu laufen und bekommt dann eine Erfolgs- oder eine Misserfolgsmeldung.

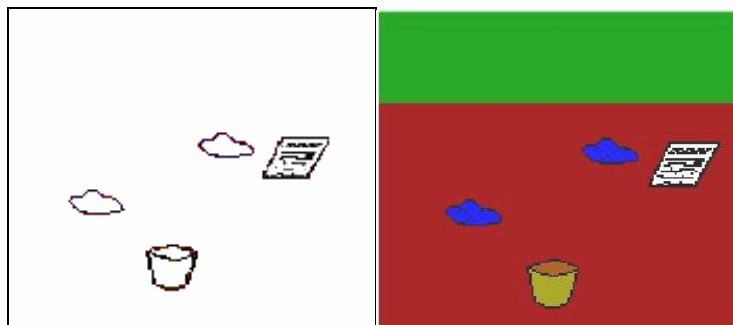


Abbildung 7: Ein Ort, wie PSI ihn sieht (links) und wie er Menschen erscheint (rechts)

PSI sieht an einem Ort verschiedene Objekte (in Abbildung 7 zwei Wasserlachen, eine Zeitung und einen Eimer). PSI sieht seine Umgebung in schwarz-weiß, es sieht nur Umrisse, keine Farben und keine Horizontlinie. PSI kann sich Objekten annähern und sie mit verschiedenen Operatoren bearbeiten: er kann sie anzünden, sieben, schütteln, daran saugen, sie nehmen, mit einem Hammer bearbeiten oder mit Silikonmasse auffüllen. Wie es auch bei den Lokomotionen von einem Ort zum anderen der Fall ist, müssen diese Operatoren nicht immer anwendbar sein. Wenn PSI z.B. versucht, die Zeitung zu sieben, ist dies nicht erfolgreich, die Zeitung verändert sich nicht. PSI muss erst lernen, welche Objekte man wie behandelt, um einen Effekt zu erzielen.

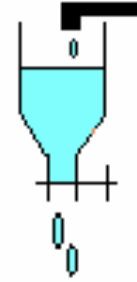
Während PSI die Kanalwelt erkundet muss es sich gleichzeitig am Leben erhalten. PSI benötigt Strom, um seinen Hunger zu stillen, Wasser, um seinen Motor zu kühlen (das heißt, seinen Durst zu löschen), gelegentlich Reparaturen für den erlittenen Schaden und es hat das Bedürfnis, Gold zu sammeln. Wie es all dieses erreichen kann, muss es erst lernen. In der Kanalwelt gibt es 30 Objekte, von denen einige ineinander überführt werden können. Wenn PSI beispielweise den Operator „anzünden“ auf die Zeitung anwendet, dann wird die Zeitung in Asche verwandelt. Wenn PSI dann auf die Asche den Operator „nehmen“ anwendet, dann sammelt PSI ein Goldstück auf und das Objekt „Asche“ wird in das Objekt „Müll“ verwandelt. (vgl. Abbildung 8).



Abbildung 8: Zeitung – Asche – Müll

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

Doch wie sehen PSIs Bedürfnisse nun genau aus? Wenn man sich das „Bild“ von PSI (Abbildung 4) ansieht, fällt der große Kessel in PSI auf. Dies stellt ein für PSI charakteristisches Konzept dar. Ein solcher Kessel hat einen Zulauf, durch den etwas in den Kessel hineingelangt und einen Ablauf, durch den etwas den Kessel verlässt. In PSI werden die Kessel als Analogien für Bedürfnisse benutzt: für jedes Bedürfnis gibt es einen Kessel, und der Füllungsgrad dieser Kessel entspricht dem Ausmaß der Bedürfnisbefriedigung. Je weiter gefüllt ein Kessel ist, desto geringer ist dieses Bedürfnis im Moment. PSIs Bedürfnisse lassen sich zwei Gruppen zuordnen: es gibt die Gruppe der existenzerhaltenden Bedürfnisse und die Gruppe der informationellen Bedürfnisse. Zur Gruppe der existentiellen Bedürfnisse gehören Hunger, Durst und das Bedürfnis nach körperlicher Intaktheit, zur Gruppe der informationellen Bedürfnisse gehören die Bedürfnisse nach Affiliation, nach Bestimmtheit und nach Kompetenz.



Das Bedürfnis nach Affiliation ist das Bedürfnis nach sozialen Kontakten, nach Legitimitätssignalen. Legitimitätssignale signalisieren einem Individuum, dass es „okay“ ist, dass es zum Beispiel in eine Gruppe passt. Ein Legitimitätssignal kann das Lächeln einer anderen Person sein, aber auch das Tragen derselben oder ähnlichen Kleidung in einer Gruppe kann als Legitimitätssignal (kurz: L-Signal) wirken. Die Verwirklichung dieses Bedürfnisses bei PSI befindet sich momentan noch in der Entwicklungsphase (vgl. Detje, 2001). Das hier vorgestellt sprechende PSI erhält L-Signale, wenn ihm Fragen gestellt werden, oder wenn seine Fragen beantwortet werden. Es erhält Anti-L-Signale, wenn seine Fragen nicht beantwortet werden. Anti-L-Signale erhöhen dagegen das Affiliationsbedürfnis. Bei Menschen wäre ein Anti-L-Signal z.B. eine Missachtung oder Beschimpfung.

Das Bedürfnis nach Bestimmtheit ist das Bedürfnis, die Umwelt vorherzusagen, sich in Situationen auszukennen und Unklarheiten zu beseitigen. PSI bekommt Bestimmtheitssignale, wenn Dinge so geschehen, wie es sie vorhergesehen hat. Es bekommt Unbestimmtheitssignale, wenn etwas anderes passiert als das, was PSI erwartet hat. Wenn PSI also erwartet hat, dass es – wenn es vom Haselwald nach Osten geht – in den Waldweiden ankommt und das dann auch tatsächlich so eintritt, dann erhält es ein Bestimmtheitssignal. Wenn es sich dagegen in den Norddünen wiederfindet, wird dies als Unbestimmtheitssignal wahrgenommen.

Das Kompetenzbedürfnis wird durch Effizienzsignale befriedigt. Ein Effizienzereignis liegt dann vor, wenn es PSI gelingt, etwas zu erreichen oder zu verändern. Das kann das

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

Austrinken einer Lache sein, aber auch beispielsweise das Zerschlagen eines Felsens. Kompetenz und Bestimmtheit variiert aber nicht immer gleichsinnig, es gibt auch Situationen, in denen PSI genau weiß, was passiert (also eine hohe Bestimmtheit hat), aber nichts dagegen tun kann und infolgedessen die Kompetenz sehr niedrig ist.

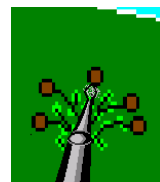
Da aber zu einem Zeitpunkt in aller Regel mehrere Bedürfnisse aktiv sind, gibt es eine Instanz, die dafür sorgt, dass jeweils nur ein Bedürfnis ausgewählt wird und damit handlungsleitend wird. Wie das genau geschieht und was das für das Verhalten von PSI bedeutet, ist im Verhaltenszyklus festgelegt.

2.2.2 PSIs Verhalten

PSIs Verhalten liegt zunächst das aktuelle Motiv zugrunde, welches bei PSI nach einem Erwartungs-mal-Wert-Prinzip ausgewählt wird (vgl. Atkinson 1964, Fishbein & Aizen, 1975). Dabei ist der Wert die Stärke eines Bedürfnisses, die Erwartung ist die Erfolgserwartung, dass ein Bedürfnis befriedigt werden kann. Diese Erwartung ergibt sich aus PSIs Erfahrungen mit der Befriedigung dieses Bedürfnisses. Erwartung und Wert werden multipliziert um zu verhindern, dass PSI Handlungen durchführt, die völlig wertlos sind (also einen Wert von Null haben, aber eine sehr hohe Erfolgswahrscheinlichkeit). Da eine Multiplikation mit Null immer Null ergibt, können solche Motive nie die Handlungssteuerung erreichen, genauso wenig wie Motive mit einer Erfolgserwartung von Null. Wenn allerdings die Erfolgserwartung oder der Wert nicht bei Null sondern z.B. bei 0.001 liegt, kann das entsprechende Motiv dennoch ausgewählt werden – vorausgesetzt, alle anderen Motive sind schwächer. Wenn ein Motiv einmal als handlungsleitendes Motiv ausgewählt wurde, dann bekommt es eine Art „Bonus“, der es erschwert, dass es bei zwei gleichstarken Motiven zum „Motivflackern“ kommt, also zu einem permanenten Wechsel von einem Motiv zum anderen.



Neben dem aktuellen Motiv spielen auch die anderen Bedürfnisse für PSI eine Rolle. Zwar steuert das aktuelle Motiv PSIs Aufmerksamkeit hauptsächlich, aber die anderen Bedürfnisse machen sich in Form von Nebenzielen bemerkbar. Sofern das aktuelle Motiv nicht zu stark wird, werden diese Nebenziele berücksichtigt und ermöglichen es PSI so, Gelegenheiten zu ergreifen wie z.B. aus einer Wasserlache zu trinken, an der es gerade vorbeikommt, obwohl das aktuelle Motiv eigentlich Hunger und damit das Hauptziel etwas Essbares ist.



Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

Dabei wird durch das aktuelle Motiv eine ganze Reihe von internen Prozessen angestoßen, die einer Annäherung an das Ziel dienen: PSI sieht sich um, ob in seiner Nähe nicht irgendetwas ist, was zur Bedürfnisbefriedigung dienen könnte. Wenn dem nicht so ist, wird überprüft, ob nicht ein Objekt da ist, das man durch Bearbeitung zur Bedürfnisbefriedigung nützen könnte. Ist dies der Fall entsteht ein Zwischenziel: das Objekt so zu bearbeiten, dass PSI es danach zur Bedürfnisbefriedigung nützen kann. Wenn das Bedürfnis befriedigt werden konnte, wird der Prozess der Motivauswahl erneut gestartet und gegebenenfalls ein neues Motiv ausgewählt. Wenn die Bedürfnisbefriedigung nicht gelang, folgt eine Planungsphase. Darin versucht PSI, ausgehend von seinem aktuellen Standpunkt, einen Plan zu einer Zielsituation hin zu entwickeln. Wenn auch dies nicht funktioniert kommt es zu einer Erkundungs- und Explorationsphase, in der PSI sich vor allem Objekten zuwendet, die es bis dahin noch nicht vollständig exploriert hat. Dieses Verhalten lässt sich in Form einer modifizierten Rasmussenleiter (vgl. Abbildung 9) darstellen.

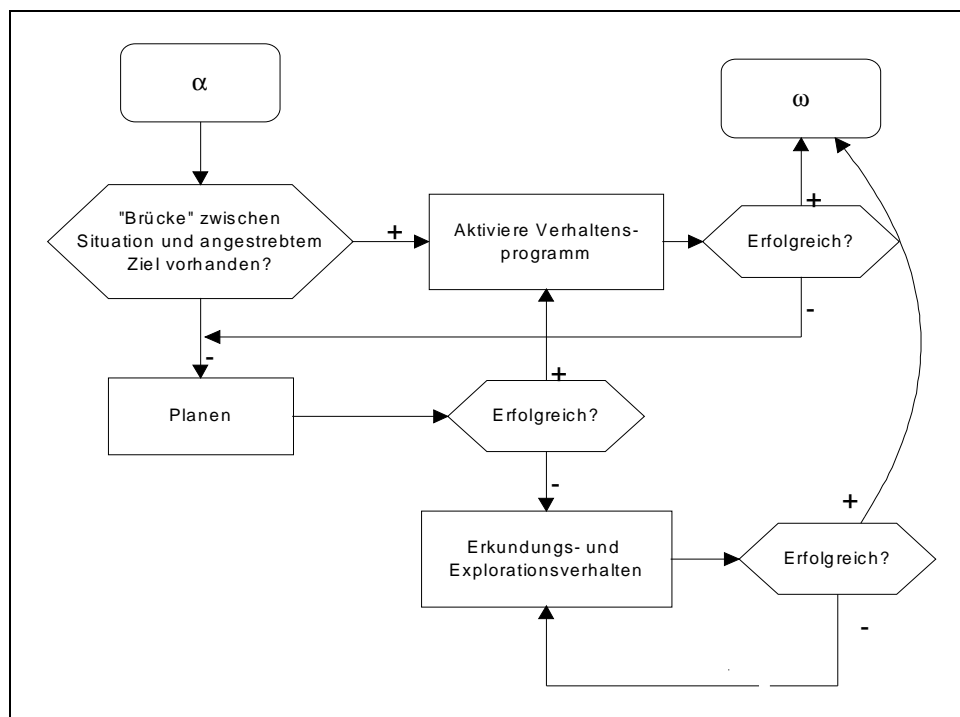


Abbildung 9: Modifizierte Rasmussenleiter (nach Dörner, 1999, S.512).

Doch um PSIs Verhalten dem Verhalten von Menschen vergleichbar zu machen fehlt (unter anderem) noch ein wichtiger Punkt: Emotionen. Nur aufgrund der bisher beschriebenen Verhaltensprozesse würde es bei PSI keinen Unterschied zwischen seinem Verhalten, wenn es nur etwas Hunger verspüren würde, oder wenn es kurz vor

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

dem Verhungern wäre, geben. Um hier die entsprechenden Verhaltensmodifikationen zu erreichen, muss das Konzept der Emotion eingebaut werden.

2.2.3 PSIs Emotionen

Wie PSI nach Möglichkeiten zur Bedürfnisbefriedigung sucht, plant und Versuch-Irrtum-Verhalten durchführt, wird von seinen inneren Zuständen beeinflusst, genauer gesagt durch die Werte der Parameter der Informationsverarbeitung. Es gibt in der PSI-Theorie insgesamt drei Parameter der Informationsverarbeitung: Aktiviertheit, Auflösungsgrad und Selektionsschwelle.

Bei der Aktiviertheit handelt es sich um einen Bereitschaftszustand des Organismus zum Handeln. Sie wird von der Erregungsstärke (Stärke der momentanen Bedürfnisse) und der Anzahl der im Moment vorhandenen Bedürfnisse bestimmt. Wenn PSI nur etwas Hunger hat wird die Aktiviertheit demnach schwächer sein als wenn es starken Hunger verspürt, oder als wenn es etwas Hunger und etwas Durst hat. Der Auflösungsgrad beschreibt die Genauigkeit der kognitiven Prozesse und der Wahrnehmung. Ein hoher Auflösungsgrad bedeutet zum Beispiel, dass Wahrnehmung und kognitive Prozesse sehr genau sind, ein niedriger Auflösungsgrad dagegen wirkt sich dahingehend aus, dass Wahrnehmung und kognitive Prozesse ungenau werden und daher ähnliche Dinge miteinander verwechselt und Pläne weniger stark ausgearbeitet werden.

Die Selektionsschwelle bestimmt, inwieweit PSI sich auf die augenblicklich handlungsleitende Absicht konzentriert. Ist die Selektionsschwelle hoch, konzentriert PSI sich stark auf die momentane Aufgabe und ist für Seitenreize unempfindlich, ist die Selektionsschwelle dagegen niedrig, ist PSI zwar leicht ablenkbar (d.h. geht nicht nur der momentan handlungsleitenden Absicht nach), kann aber auch viele Gelegenheiten ergreifen, die es bei einer hohen Selektionsschwelle gar nicht bemerkt hätte. Zurückzuführen ist die Idee, Emotionen in ihre Komponenten zu zerlegen, auf Wundt (nach Popp, 1991). Wundt sah Emotionen durch die drei Dimensionen Lust/Unlust, Erregung/Beruhigung und Spannung/Lösung gekennzeichnet, jede Emotion ist in einem durch diese Dimensionen gekennzeichneten Raum zu verorten. Emotionen sind in der PSI-Theorie als eine Art und Weise des Verhaltens, als eine Modulation des Verhaltens zu verstehen. Diese Modulationen werden durch die aktuelle Bedürfnislage, vor allem durch den Bedarf an Bestimmtheit und Kompetenz gesteuert. Wenn sich jemand in

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

einer Situation sehr sicher fühlt und er genau weiß, was er tun kann, wird er sich ganz anders verhalten als jemand, der sich unsicher fühlt und nicht weiß, was er tun soll.

Was kann in einer „emotionsgeladenen“ Situation geschehen? Wenn ich zum Beispiel die Türe hinter mir habe zufallen lassen, der Schlüssel aber im Zimmer auf dem Tisch liegt? Das kommt ganz auf meinen momentanen Bedürfniszustand an. Wenn ich mich gerade sehr kompetent fühle werde ich mit den Schultern zucken, den Hausmeister holen und mir von ihm die Tür öffnen lassen. Wenn ich mich in dieser Situation ohnehin schon nur mäßig kompetent fühle werde ich vermutlich anfangen, an der Tür zu rütteln und gegen die Tür zu treten. Das hilft mir zwar mit meinem Problem der geschlossenen Tür nicht weiter, verschafft mir mit dem Krachen und Erzittern der misshandelten Tür aber immerhin ein gewisses Kompetenzerleben: ich kann noch etwas ausrichten! Ein solches Verhalten würde man als Ärger bezeichnen, ein Verhalten, das durch einen geringen Auflösungsgrad und eine hohe Aktiviertheit (das Zufallen lassen der Tür wirkt sich negativ auf den „Kompetenztank“ aus, d.h. der Bedürfnisdruck wird stärker und damit sinkt der Auflösungsgrad und steigt die Aktiviertheit) gekennzeichnet ist.

Wenn ich mich aber gerade ohnehin ausgesprochen wenig kompetent fühle werde ich vermutlich erst einmal in Tränen ausbrechen – Verzweiflung (die Kompetenz hat jetzt ein Level erreicht, an dem sie so niedrig ist, dass Handlungen kaum noch eine Erfolgswahrscheinlichkeit eingeräumt wird – die betroffene Person handelt gar nicht mehr). Dies bleibt aber nicht allzu lange so – beispielsweise, weil sich ein anderer Mensch findet, der mich tröstet und somit die Kompetenz wieder etwas steigt, oder weil man durch eigene Kompetenzschutzmaßnahmen (z.B. das Verwünschen der Leute, die eine Tür so gebaut haben, dass man sich aussperren kann) das eigene Kompetenzerleben wieder deutlich gestärkt hat, oder weil man sich daran erinnert, dass so etwas doch jedem schon einmal passiert ist und damit das eigene Kompetenzerleben stärkt – denn etwas, das jedem schon einmal passiert ist, sieht man auch bei sich selbst als nicht so schlimm an.

2.2.4 PSIs Gedächtnis

All diese Erfahrungen hält PSI in seinem Gedächtnis fest – wo es war, was es dort getan hat, auf welche Bedürfnisse das Einfluss hatte. In der PSI-Theorie (Dörner 1996, 1999, Dörner et al 2002) wird das Gedächtnis als Schemagedächtnis verstanden. Dies bedeutet, dass es im Gedächtnis von allen wahrgenommenen Sachverhalten sensorische

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

Schemata, eine Art „Abbild“, gibt. Über das genaue Aussehen dieser Schemata gibt es zwei Theorien, die Prototyptheorie und die Exemplartheorie (Harley, 1995; Anderson, 1996; nach Dörner, 1996), auf die ich hier aber nicht weiter eingehen möchte, da das genaue Aussehen der Schemata für diese Arbeit nicht zentral ist.

³Generell ist zu sagen, dass Gedächtnisschemata einerseits abstrakt genug sein müssen, um beispielweise ein Pferd als Pferd zu erkennen, egal ob es sich um ein Shetlandpony oder ein Shire Horse handelt, andererseits aber auch konkret genug, um ein Pferd von einer Kuh unterscheiden zu können. Um das zu gewährleisten, enthält beispielsweise das sensorische Schema eines Pferdes verschiedene Teile, die ein Tier „besitzen“ muß, um als Pferd identifiziert zu werden. Dazu gehören unter anderem eine bestimmte Kopfform, ein Schweif, vier Beine usw. Diese Teile müssen nicht nur vorhanden, sondern auch auf eine bestimmte Art und Weise „zusammengebaut“ sein. Dieses „Zusammengebaut-Sein“ stellt die räumlichen Relationen zwischen verschiedenen Teilen eines Schemas dar (zur motorischen, genauer gesagt kinästhetischen Grundlage räumlichen Wissens siehe Restat, 1999). Weiterhin werden zum Beispiel Hunde auch anhand ihrer Bewegungen von einer Katze unterschieden. Dazu werden verschiedene Schemata in einer zeitlichen Reihenfolge angeordnet, die einzelnen Schemata sind durch zeitliche Relationen miteinander verbunden. In Abbildung 10 ist ein galoppierender Hund zu sehen. Dabei sind die Schemata für „springender Hund“ und „landender Hund“ in einer bestimmten zeitlichen Reihenfolge angeordnet: „Hund springt“, „Hund landet“, „Hund springt“, „Hund landet“, Wenn diese Abfolge erfüllt ist, erkennen wir einen laufenden Hund. Bei einer Abfolge „Hund springt“, „Hund springt“, „Hund springt“ würden wir uns zumindest wundern und noch einmal genau hinsehen.



³ Bild von http://www.eplan.net/cecile/shire_horse.shtml

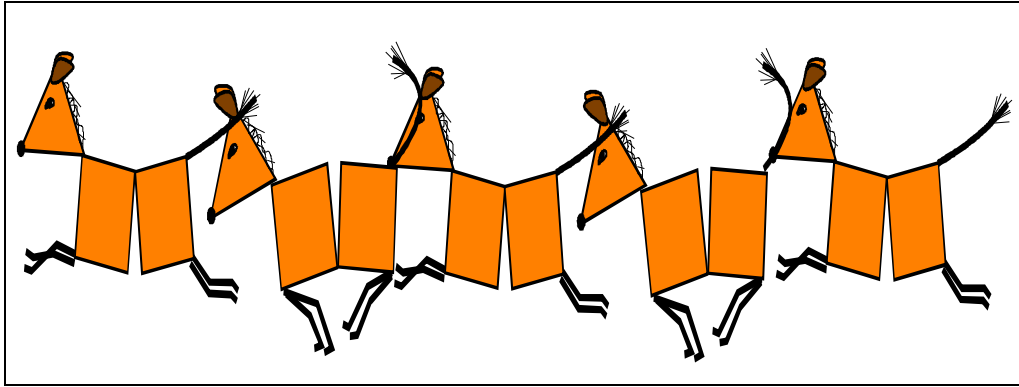


Abbildung 10: galoppierender Hund (aus: Dörner, 1999, S.188).

Da, wie oben schon angemerkt, die meisten Begriffe⁴ einen mehrdeutigen Charakter haben (der Begriff „Pferd“ kann zum Beispiel sehr Verschiedenes bedeuten, vom Tier bis zum Turngerät), ist die Annahme eines abstrakten Schemas sehr praktisch, um die vielen verschiedenen Bedeutungen eines Wortes integrieren zu können. Ein solches abstraktes Schema ist weniger ein Abbild des Sachverhalts in der Außenwelt, als es ein Regelsystem zur Identifizierung eines Objekts ist (beziehungsweise zur Erstellung eines Objekts in der Vorstellungskraft). Diese Abstraktheit kann sich auf die Elemente eines Schemas oder auf die Struktur eines Schemas beziehen (vergleiche dazu Dörner, 1999, S.142ff). Bei Strukturabstraktheit sind zwar die Elemente eines Schemas festgelegt, nicht aber die Art, auf die sie miteinander verbunden sind. Zu einem Haus gehören beispielsweise (unter anderem) Fenster und Türen, aber es ist nicht genau festgelegt, an welcher Stelle sich Fenster und Türen befinden müssen.

Bei Elementabstraktheit ist im Unterschied zur eben erläuterten Strukturabstraktheit die Struktur der einzelnen Teile festgelegt, nicht aber das genaue Aussehen der einzelnen Teile. Wir erkennen einen Kreis, wenn er aus einer durchgezogenen Linie besteht, aber auch, wenn diese Linie durchbrochen ist, oder durch z.B. kleine Sterne angedeutet wird (vgl. Abbildung 11).

⁴ Was ist das, ein Begriff? Für Kant (Kritik der reinen Vernunft) bedeutet der „(...) Begriff von Hund (...) eine Regel, nach welcher meine Einbildungskraft die Gestalt eines solchen vierfüßigen Thieres allgemein verzeichnen kann, ohne auf eine einzige besondere Gestalt, die mir die Erfahrung darbietet, oder auch ein jedes mögliches Bild, was ich in concreto darstellen kann, eingeschränkt zu sein“ (zitiert nach Dörner, 1999, S.135).

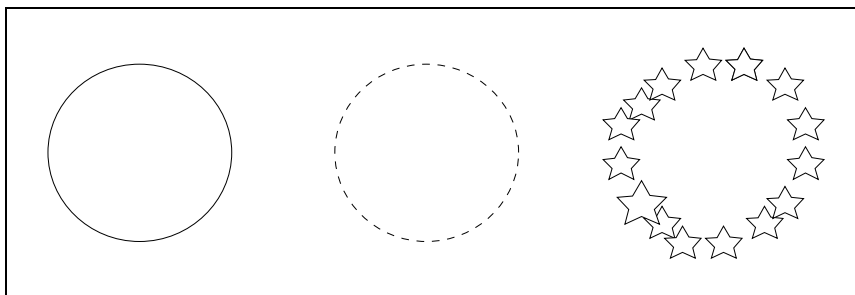


Abbildung 11: Elementabstraktheit.

Die einzelnen Schemata stehen nicht unverbunden nebeneinander, sie sind in Netzwerken miteinander verbunden. Es gibt in der PSI-Theorie drei verschiedene Netzwerke, die miteinander in Verbindung stehen: das motivatorische Netzwerk, das motorische Netzwerk und das sensorische Netzwerk (vgl. auch Dörner, Schaub, Stäudel & Strohschneider, 1988). Im sensorischen Netzwerk sind die oben genannten sensorischen Schemata gespeichert. Sie sind in einer Hierarchie von Teil-Ganzes-Relationen (eine Tür kann Teil eines Hauses sein) und durch räumlich-zeitliche Relationen miteinander verbunden.

Das motivatorische Netzwerk enthält Repräsentationen von möglichen Mangelzuständen. Hier gibt es mehrere hierarchisch aufeinander aufgebaute Ebenen. Auf den unteren Ebenen werden die einfachen Mangelzustände, wie z.B. Blutzuckermangel abgebildet, auf höheren Ebenen dann zusammengesetzte Mangelzustände wie z.B. das Bedürfnis, essen zu gehen. Wenn der entsprechende Mangelzustand herrscht (z.B. Flüssigkeitsmangel), dann ist der zugehörige Teil des motivatorischen Netzwerkes aktiv. Die wesentliche Funktion des Motivatorischen Netzwerkes ist die Verbindung der Bedürfnisindikatoren mit dem sensorischen und motorischen System. Dies ermöglicht erst eine Verknüpfung von Bedürfnisindikator mit den internen Repräsentationen der Objekte zur Bedürfnisbefriedigung und -erhöhung und den entsprechenden Aktionen.

Das dritte dieser ineinander verschränkten Netzwerke ist das motorische Netzwerk. Im motorischen Netzwerk sind Aktionsschemata gespeichert. Diese bestehen grundlegend aus drei Elementen: Einer sensorischen Überprüfung der momentanen Situation (ein Bedingungsschema wird auf sein Zutreffen überprüft), einer Handlung (einem Effektorschema), und schließlich einer sensorischen Überprüfung des Ergebnisses (ein Erwartungsschema wird auf sein Zutreffen überprüft). Damit stellen diese Elemente einen Wenn-dann-Ablauf mit Überprüfung dar: „Wenn ein bestimmter Sachverhalt

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

gegeben ist, dann tue etwas Bestimmtes, und es wird sich eine bestimmte Endsituation (oder eine von mehreren möglichen Endsituationen) ergeben“, oder, konkreter: „Wenn du vor einer geschlossenen Tür stehst, dann drücke die Türklinge herunter, und die Tür wird offen stehen.“

Diese Aktionsschemata sind hierarchisch geordnet, von der untersten physiologischen Stufe (der Kontraktion einer Muskelfaser) bis hin zu hochkomplexen Verhaltensweisen, die aus vielen Aktionsschemata aufgebaut sind. Diese Ketten von Aktionsschemata (die auch Verzweigungen enthalten können) nennt man Verhaltensprogramme. Ein Beispiel für ein – nicht besonders komplexes – Verhaltensprogramm ist das Einschenken von Tee in eine Tasse (Abbildung 12). Die kleinen Kreise in der Mitte repräsentieren Interneuronen, die Sensorik und Motorik verbinden, die Kreise auf der rechten Seite stellen motorische Neuronen dar, die zu den entsprechenden motorischen Unterprogrammen, wie z.B. „Arm heben“ führen (näheres dazu bei Dörner, 1999).

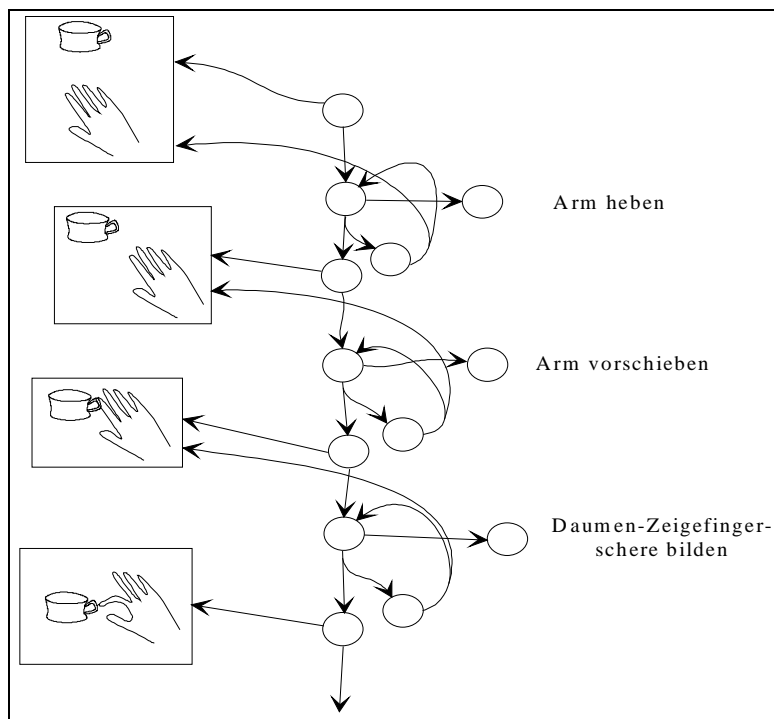


Abbildung 12: Ein Verhaltensprogramm (aus: Dörner, 1999, S.96).

PSIs Gedächtnis ist in Form eines Protokollgedächtnisses angelegt. Hier wird – wie der Name schon sagt – ein Protokoll all dessen, was geschehen ist, angelegt. So werden einzelne Schemata zu Aktionsschemata zusammengefügt und es entsteht zunächst ein lückenloses Protokoll. Doch mit der Zeit wird die Protokollkette lückenhaft: Vergessen setzt ein, die Gedächtnisinhalte verfallen mit der Zeit. Aber nicht alle Gedächtnisinhalte verfallen gleichmäßig stark, einige Gedächtnisinhalte werden auch immer wieder

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

verstärkt. Verstärkt werden in PSIs Gedächtnis vor allem Dinge, die etwas mit der Befriedigung von Bedürfnissen oder dem Ansteigen von Bedürfnissen zu tun hatten und Dinge, die häufig benötigt werden. Wenn einzelne Schemata nicht häufig und stark genug verstärkt werden, verfallen sie mit der Zeit, die entsprechenden Neuronen sind wieder frei und können für die Bildung von neuen Schemata herangezogen werden. Das Vergessen ist bei der hier verwendeten PSI-Version jedoch noch nicht vollständig realisiert. Dies gehört zu den Einschränkungen, denen PSI im Moment noch unterliegt.

2.3. Wie ist PSI aufgebaut? (Neuronen und Schemata)

Der basale Baustein des PSI-Programms ist das Neuron (vgl. Dörner, 1999, Dörner et al. 2002). Ein solches Neuron dienen zur Speicherung und Weiterleitung von Informationen. Neuronen können miteinander verknüpft werden, sie können sich durch diese Verknüpfungen gegenseitig aktivieren und sich gegenseitig hemmen. Die Theoretischen Neuronen im PSI-Programm sind als sogenannte Quads aufgebaut.

Ein Quad ist ein Neuron mit insgesamt vier Axonen (vgl. Abbildung 13):

- einem Axon in ret-Richtung (dieses Axon verbindet das Neuron nach „hinten“ mit ihm vorgeordneten Neuronen),
- einem Axon in por-Richtung (verbindet das Neuron nach „vorne“ mit ihm nachgeordneten Neuronen),
- ein Axon in sub-Richtung (verbindet das Neuron nach „unten“ mit ihm untergeordneten Neuronen)
- und einem Axon in sur-Richtung (verbindet das Neuron nach „oben“ mit ihm übergeordneten Neuronen).

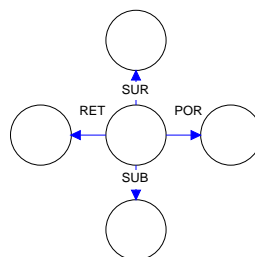


Abbildung 13: Ein Quad

Die einzelnen Arten von Verknüpfungen werden zu verschiedenen Anlässe gebildet; daher bedeuten sie etwas Unterschiedliches. Die einzelnen Synapsen sind zwar an sich bedeutungsfrei, gewinnen aber durch ihre Verwendung in verschiedenen Kontexten an

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

Bedeutung. Sub-Verbindungen bezeichnen Teile eines Ganzen, Sur-Verbindungen zeigen auf das Ganze, zu dem ein Teil gehört. Por-Verknüpfungen verknüpfen Teile miteinander und zwar zeitlich „nach vorne“, Ret -Verknüpfungen verknüpfen Teile miteinander und zwar zeitlich „nach hinten“.

Mit Hilfe dieser Neuronen ist die gesamte Informationsverarbeitung von PSI aufgebaut. Um bei PSI Sprache einzuführen wurde das Quad jedoch noch um zwei weitere Axone erweitert: das Axon „lan“ und das Axon „pic“. Diese beiden Axone dienen ausschließlich der Sprachverarbeitung, ihre genaue Funktion wird weiter unten erläutert.

Es gibt im PSI-Programm noch zwei weitere Axone, „travers“ und „revers“. Diese dienen dazu, bei Bedürfnisbefriedigung die jeweiligen Ausgangsobjekte der Bedürfnisbefriedigung (also z.B. eine Wasserlache bei Durst) an das Neuron des jeweiligen Bedürfnisses zu hängen. Dies wäre zwar auch mit den vier „Basisneuronen“ zu erreichen, geht aber mit Hilfe der beiden Zusatzaxone erheblich einfacher.

Diese Neuronen sind die basale Struktur von PSI – alles, von der Wahrnehmung über die Bedürfnisbefriedigung bis zu den Emotionen wird mit solchen Neuronen realisiert. Ein sensorisches Schema – also eine innerer Repräsentation eines äußeren Objektes – wird zum Beispiel aus Neuronen aufgebaut:

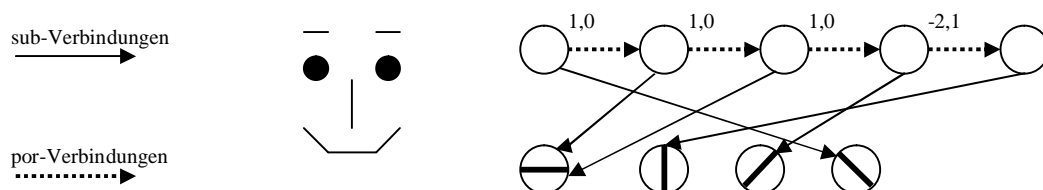


Abbildung 14: Ein sensorisches Schema

Im hier gezeigten Fall eines sensorischen Schemas gibt es Musterdetektoren (die Neuronenreihe ganz rechts), die bestimmte Arten von Linien erkennen: senkrechte, waagrechte und schräge Linien. Aus diesen Basiselementen wird das intern repräsentierte Gesicht aufgebaut. Die Zahlen über den Pfeilen sind Raum-Zeitangaben (in diesem Fall nur Raumangaben). So bedeutet zum Beispiel das 1;0 über der ersten Por-Verbindung „gehe eine Einheit nach rechts und 0 Einheiten nach oben“, sie codiert also Anweisungen an die Augenmuskulatur, wohin sie sich zu bewegen hat, damit überprüft werden kann, ob das nächste Element am erwarteten Ort ist. Alles in allem liest sich die obige Neuronenkette also folgendermaßen: zuerst ist da ein Schrägstrich

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

(rechts), gehe dann eins nach rechts und 0 nach oben, dann ist da ein Querstrich, gehe dann 1 nach rechts und 0 nach oben, dann ist dort ein Querstrich, gehe dann 1 nach rechts und 0 nach oben dann kommt ein Schrägstrich (links), gehe dann 2 nach links und 1 nach oben, dann kommt ein Längsstrich“. Die Neuronenkette ist damit längst nicht fertig, denn bisher sind nur der Mund und die halbe Nase des Gesichts dargestellt, aber dann geht es analog weiter.

Raumangaben müssen nicht immer so absolut sein wie sie gerade dargestellt wurden, sie können der Theorie nach auch unscharf sein. Im Programm PSI ist diese Unschärfe allerdings noch nicht verwirklicht. Mittels der vorgestellten Neuronen können nicht nur Objekte im Gedächtnis repräsentiert werden, sondern auch Bewegungen, Bedürfnisse und Abfolgen von Geschehnissen.

2.4. Was fehlt?

PSI besteht aus einer Grundstruktur aus Theoretischen Neuronen, durch die ein motivatorischen, ein sensorisches und ein motorisches Netzwerk aufgebaut ist. PSI verfügt über Wahrnehmungsprozesse, Handlungssteuerung, über ein Gedächtnis und Motivation. Doch was fehlt PSI noch? PSI bewegt sich im Moment noch in einer „Postkartenwelt“ mit vorgegebenen Wegen. Hier Abhilfe in Form einer 3-D-Welt, in der PSI sich frei bewegen kann zu schaffen wird im Moment angestrebt. Im Moment können Versuchspersonen schon mit einem simulierten Roboter über diese Insel fahren und sie explorieren (vgl. Gerdes, Dörner & Hämmer, 2001-2003). Vor allem PSIs Wahrnehmung muss jedoch erst für ein Zurechtkommen mit dieser Umgebung erweitert werden, denn im Gegensatz zur jetzigen zweidimensionalen Welt kann man sich in einer dreidimensionalen Welt Dinge von verschiedenen Seiten ansehen, Dinge können sich gegenseitig verdecken und es muss dann die Integrationsleistung dieser verschiedenen Ansichten zu einem Ding vollbracht werden.

Weiterhin ist PSI im Moment noch allein auf seiner Insel, und damit fehlt PSI (fast) die gesamte Palette an sozialem Verhalten. Auch hier gibt es schon Ansätze, PSI Gesellschaft zu verschaffen und zwar in Form eines Teddys, der sich auf der Insel befindet und von dem PSI Affiliationssignale bekommen kann (näheres dazu in Dörner et al, 2001, Detje, 2001 und Gerdes & Detje, 2001), aber ein Zusammenleben von mehreren PSIs in einer Umgebung steht noch aus.

Kapitel 2: PSI – Eine Theorie und ihre Realisation

Doch im Zentrum dieser Arbeit soll ein anderer Bereich stehen, der PSI noch fehlt: die Sprache. Denn was PSI hier fehlt ist erheblich mehr als „nur“ die Möglichkeit zur Kommunikation mit anderen PSIs sondern eine wichtige Voraussetzung für höhere Denkprozesse (vgl. dazu Kapitel 3 und Kapitel 5).

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

3.1 Was ist das – Sprache?

Wenn man Sprache untersuchen und in ein künstliches System einbauen möchte, sollte man sich zuerst darüber klar(er) werden, was „Sprache“ eigentlich ist und aus welchen Teilen sie besteht. Doch schon an dieser Stelle werden erste Schwierigkeiten deutlich. Wie Vater (1996) ausführt, treten hierbei Probleme auf, da man sich zur Beschreibung von Sprache dem Medium Sprache bedient, und weil der Begriff „Sprache“ mehrdeutig ist. Vater (1996) führt folgende Bedeutungen von „Sprache“ an, als Bedeutungen von Sprache im Sinne der Sprachwissenschaft gelten jedoch nur die ersten vier dieser möglichen Bedeutungen:

- Sprache als allgemeine menschliche Kommunikationsfähigkeit.
- Sprache als spezielles menschliches Kommunikationssystem einer Sprachgemeinschaft.
- Sprache als Gesamtheit der Ausdrucksmittel einer Sprache („Er hat die Sprache verloren.“).
- Sprache als der Gebrauch, den man von Sprache macht („In so einer Sprache redet man nicht!“).
- Künstliche Sprache, z.B. Computersprache.
- Sprache als nichtsprachliches Kommunikations-/ Handlungssystem („Sprache der Gewehre“).
- Sprache als Kommunikationseffekte, die von einem (nicht-belebten) Gegenstand ausgehen („Diese Zahlen sprechen eine deutliche Sprache“).

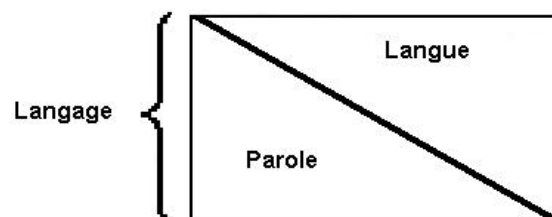


Abbildung 15: Langage, Langue und Parole nach Saussure, 1989-90, S.41, aus Hartman, 1998, S.26

Um der Mehrdeutigkeit des Begriffes „Sprache“ zu entgehen, werden in der Sprachwissenschaft die von de Saussure (1857-1913) eingeführten Begriffe „Parole“ für die konkrete, individuelle Realisierung von Sprache und „Langue“ für das dieser

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

Realisierung zugrundeliegende System verwendet, oder es wird dem Vorschlag Coserius' (1979) gefolgt, und der Überbegriff Sprache wird unterteilt in

- System (entspricht langue): das System sprachlicher Ausdrucksmöglichkeiten, z.B. die Deutsche Gegenwartssprache,
- Norm: die Gesamtheit der gebräuchlichen Realisierung, diese können gruppenspezifisch unterschiedlich sein, und
- Rede: individuelle, konkrete Sprechhandlung. Dieser Teil von Sprache ist direkt beobachtbar.

Bei de Saussure ist LANGAGE „(...) etwas Allgemeines, nicht konkret Fassbares (...) LANGAGE als vielförmige, ungleichartige, unklassifizierbare „Gesamtheit“ sprachlicher Erscheinungen bzw. Sprechbetätigungen geht (...) über den Rahmen eigentlicher linguistischer Beschäftigung hinaus. Vielmehr müsse man sich – so (der) Saussure (des *Cours*) – mit der LANGUE auseinandersetzen, die lediglich einen (nicht untergeordneten) Teil der LANGAGE ausmache“ (Hartmann, 1998, S. 20).

Doch aus was besteht nun Sprache im Sinne von System? Nach Bergmann, Pauly & Stricker (2001, S.7) umfasst die gemeinsame Sprache „das Inventar von Wörtern (den Wortschatz oder das Lexikon) und die Regeln für die Kombination der Wörter (die Grammatik)“ oder – prägnanter – nach Pinker (2000) umfasst Sprache Wörter und Regeln.

Hier soll auch die erste Anforderung an ein sprachverarbeitendes System aufgestellt werden. Diese Anforderungen sollen in den nächsten Kapiteln aus den vorgestellten Inhalten abgeleitet werden und das in Kapitel 5 vorzustellende sprachverarbeitende System sollte diese Anforderungen nach Möglichkeit erfüllen. Ob und in wie weit die Anforderungen erfüllt werden, wird in Kapitel 6.1 diskutiert werden.

Anforderung 1: Ein sprachverarbeitendes System muss sowohl über Wörter als auch über Regeln zur Kombination dieser Wörtern verfügen.

3. 2 Was gehört zur Sprache?

3.2.1 Wörter

Auch bei einer Definition des Begriffes „Wort“ tritt wieder das Problem der Mehrdeutigkeit auf. Bei „Wort“ kann es sich um eine sprachliche Einheit („Das Wort

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

>Pferd<.“) handeln, um eine ganze Rede (das „Wort zum Sonntag“ ist in aller Regel mehr als nur ein einzelnes Wort), und hinter dem „Wort eines Hastur⁵“ steht sogar ein ganzes Konzept von Ehre und Verpflichtung. Wörter können aus anderen Wörtern zusammengesetzt werden („Donaudampfschiffahrtskapitänswitwe“) oder nur aus einem einzigen Buchstaben bestehen (z.B. das englische „a“), ...

Um dieses Begriffschaos zu vermeiden wird in der Linguistik (nach Vater, 1996) unterschieden zwischen einem flexivistischen Wort (dieses bezeichnet eine Wortform, wie z.B. sinken – sank), einem lexikalischen Wort (Lexem, eine abstrakte Einheit, hier werden Flexionsformen nicht berücksichtigt), einem phonologischen Wort (z.B. „im“, das eine phonologische Einheit bildet, obwohl zwei lexikalische Wörter enthalten sind: „in“ und „dem“) und einem syntaktischen Wort (hier besteht ein Wort aus zwei Einheiten, z.B. schlüpft ...aus). In der Linguistik wird aus diesem Grund zur Analyse von Wörtern auf eine tiefere Ebene geblickt: die Ebene der Morpheme: „The fundamental units of word are called morphemes. Morphemes are primarily structural units and they are typically but not necessarily meaningful“ (Jensen, 1990). Vater (1990, S.71) zeigt dies am Begriff „Arbeit-s-los-ig-keit“ auf.

Wenn im Folgenden von Wörtern die Rede ist, handelt es sich um lexikalische Wörter, dies ist auch die Ebene, auf der Pinker (2000) oder Dörner (1999) Wörter behandeln. Es soll zunächst darauf eingegangen werden, was Wörter sind und welche Funktionen sie haben, bevor im nächsten Kapitel Überlegungen zur Kombination von Wörtern zu Sätzen gemacht werden.

Die Grundlage der Funktion von Wörtern als „Bezeichner“ ist eine – mehr oder weniger willkürliche – Kopplung von Wort und Ding. Ob diese Kopplung willkürlich ist, war lange Zeit ein heftig umstrittener Punkt. So diskutieren im „Kratylos“ Platon, der davon ausgeht, dass Wort und Ding durch Gewohnheit miteinander verknüpft sind, und Kratylos, der dagegen die Ansicht vertritt, dass Wort und Ding durch mehr als bloße Gewohnheit miteinander verbunden sind, miteinander (nach Pinker, 2000). Heute herrscht eher Platons Konzept vor, wofür nicht zuletzt das Argument, dass selbst lautmalerische Wörter wie „Wau-wau“ nicht sprachübergreifend sind – so machen laut Pinker (2000) indonesische Hunde nicht etwa „wau-wau“ sondern „gong-gong“ – sorgte.

⁵ Die Hasturs sind die herrschende Familie eines Planeten in den Darkover-Romanen von Marion Zimmer-Bradley. Die Verlässlichkeit ihres Ehrenwortes ist dort sprichwörtlich.

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

Diese Verbindung zwischen Wort und Ding wird als semantische Grundrelation bezeichnet. Die semantische Grundrelation ist ursprünglich auf Aristoteles zurückzuführen, bekannt wurde sie jedoch durch Ogden & Richards (1960, S.10). Sie bezeichnet eine Verbindung zwischen einem Symbol (ein Zeichen, z.B. das Wort „Hund“), einer Referenz (ein Gedanke) und einem Referent (Außending, auf das sich die Referenz bezieht) (nach Dörner, 1999, S.227).

Anforderung 2: Von der Gedächtnisrepräsentation eines Wortes muss eine Verknüpfung zur Gedächtnisrepräsentation des entsprechenden Dings existieren.

Weiterhin ist der entsprechende Begriff – z.B. „Hund“ – noch in verschiedene Verhaltensprogramme und Geschehnisschemata (ein Geschehnisschema ist die Repräsentation einer Abfolge von Geschehnissen) eingeordnet. Diese Verhaltensprogramme und Geschehnisschemata sind für jede Person individuell, so kann z.B. mit „Hund“ das Verhaltensprogramm „raufen“ oder das Verhaltensprogramm „weglaufen“ verbunden sein, das Geschehnisschema „Hund kämpft mit Katze“, „Hund wird von Zwergkaninchen attackiert“ oder „Hund liegt vor dem Fenster und schläft“. Je nach dem momentanen Kontext, in dem sich ein Mensch befindet, werden – abhängig von den aktuellen Bedürfnissen – unterschiedliche Verhaltensprogramme und Geschehnisschemata aufgerufen. Über die Zeit wird sich auch der Begriff „Hund“ verändern, indem neue Eindrücke aufgenommen und integriert werden. Verbunden ist das Schema „Hund“ (um beim Beispiel zu bleiben) auch mit anderen möglichen Sinneseindrücken wie dem Geruch „nasser Hund“, den entsprechenden Geräuschen wie Bellen etc. Und natürlich gilt das bisher Gesagte nicht nur für verhältnismäßig konkrete Begriffe wie „Hund“, sondern auch für Begriffe wie „Freiheit“ (ausführlich bei Dörner, 1999).

Damit geht Dörners Konzept über das von Pinker hinaus, der nur die direkte Verknüpfung zwischen Wort und Bedeutung erwähnt, aber nicht auf die indirekten Verknüpfungen (den Nebensinn nach Frege) eingeht.

Anforderung 3: Von der Gedächtnisrepräsentation eines Wortes muss nicht nur eine Verbindung zur Gedächtnisrepräsentation des Dings vorhanden sein, es müssen auch Verbindungen zu verwandten Konzepten möglich sein.

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

Und da Wörter nicht isoliert nebeneinander stehen sondern durch ein komplexes Regelwerk miteinander verbunden sind, sollen im Folgenden aus dieses Regelwerk eingegangen werden.

3.2.2 Regeln

3.2.2.1 Was sind Regeln?

Regeln bestimmen, wie Wörter zu sinnvollen Reihenfolgen angeordnet werden können. Diese (Grammatik-) Regeln beinhalten sowohl „Anweisungen“ darüber, in welchen Reihenfolgen Wörter angeordnet werden können, um einen verständlichen, wohlgeformten Satz zu ergeben, als auch, wie Wörter verändert werden, um eine besondere Funktion im Satz zu erfüllen.

Wenn Menschen einen Satz verstehen wollen, dann identifizieren sie einerseits die einzelnen Wörter des Satzes, sie suchen die entsprechende Bedeutung der einzelnen Wörter. Um den Satz als Ganzes zu verstehen, ist es andererseits nötig, die Struktur des Satzes als ganzen zu verstehen und damit Verbindung zwischen den Einzelbedeutungen aufzubauen. Dazu wird die Satzstellung und die spezifische Form der Wörter genutzt, durch die angegeben wird, welches Wort welche Funktion in einem Satz hat.

Anforderung 4: Ein sprachverarbeitendes System muss neben Wörtern auch über Regeln verfügen, die es anweisen, wie die Wörter aneinandergereiht werden.

Nach Chomsky (1972) liegen Sätzen abstrakte, allgemeine Muster zugrunde. Dazu gehört, dass Sprache eine hierarchische Struktur hat, dass sich Wörter in Sätzen zu Einheiten zusammenfassen lassen und diese Einheiten dann wiederum hierarchisch geordnet sind. Diese einzelnen Satzteile, die als Einheit behandelt werden können, werden in Phrasenstrukturgrammatiken als „Konstituenten“ bezeichnet.

Diese Konstituenten werden noch weiter spezifiziert: Im Beispiel wird der Satz (S) „Der Hund läuft zum Tor“ zunächst in die Nominalphrase „der Hund“ und die Verbalphrase „läuft zum Tor“ aufgeteilt.

Die Nominalphrase setzt sich wieder aus einem Artikel oder Determinierer („der“) und dem Nomen („Hund“) zusammen. Die Verbalphrase „läuft zum Tor“ setzt sich wiederum aus dem Verb („läuft“) und einer weiteren Nominalphrase („zum Tor“) zusammen.

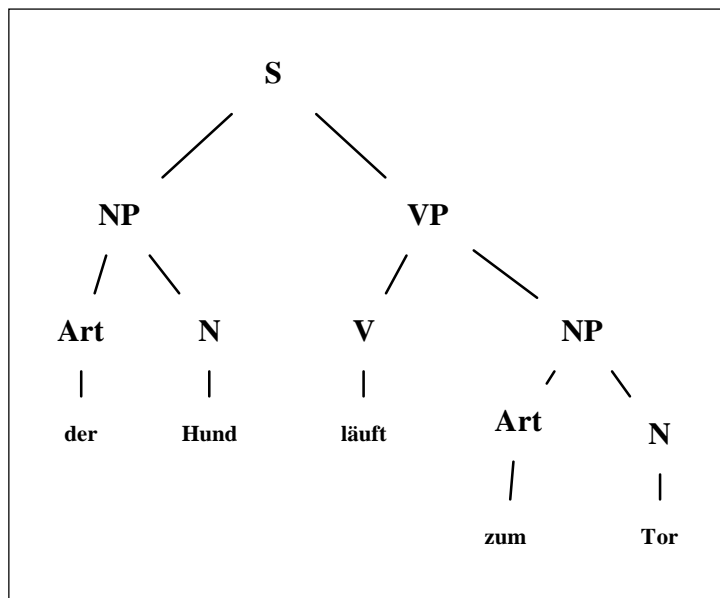


Abbildung 16: Phrasenstruktur

Doch mit dieser Art der Entschlüsselung von Sätzen ergibt sich ein neues Problem: um eine Phrasenstruktur eines Satzes zu erstellen, muß man den Satz erst verstehen! Denn Sätze wie „Manche Menschen sind schwer zu verstehen“ und „Manche Menschen sind unfähig zu verstehen“ (Slobin, 1974) könnten nach den Regeln der Phrasenstrukturgrammatik in gleiche Wortuntergruppen unterteilt werden – sollten sie aber nicht. Im ersten Satz ist „manche Menschen“ Objekt, im zweiten dagegen Subjekt. Und dann gibt es noch Sätze, die zwar oberflächlich sehr unterschiedlich aussehen, aber eine sehr ähnliche Bedeutung haben, wie z.B. „Der Hund fängt die Maus“ und „Die Maus wurde vom Hund gefangen“. Um sich aus dieser Zwickmühle zu befreien führte Chomsky (1957, 1965) die Unterscheidung zwischen der Oberflächenstruktur und der Tiefenstruktur von Sätzen ein. Nach Chomsky ist die Existenz von Oberflächen- und Tiefenstruktur ein Charakteristikum der Sprache. Die Tiefenstruktur bildet eine Art abstrakte Struktur eines Satzes, sie wird durch Transformation in die Oberflächenstruktur umgewandelt. „Im Rahmen einer solche linguistischen Auffassung lernt ein Kind, das seine Muttersprache erwirbt, Regeln. Es erwirbt ein nach Klassen geordnetes Vokabular – dies sind die Wortklassen wie Nomen, Verb, Adjektiv etc. – und eine Menge von Regeln, um diese Kategorien zu Sätzen zu kombinieren. Es muß noch gesagt werden, dass die Regeln zum Generieren von Sätzen nicht bewusst angewandt werden“ (Szagun, 1996, S.12).

Doch wie gelangen Menschen zu diesen Regeln? Sind sie angeboren oder erworben? Dieses Thema ist der Inhalt der Kontroverse zwischen Skinner (1957) und Chomsky

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

(1959). Wo Skinner Sprache als durch operantes Konditionieren erworbenes Verhalten sieht, nimmt Chomsky an, dass der Mensch alle Voraussetzungen für *alle* Sprachen mitbringt und aus dieser Menge von möglichen Grammatiken etc. die heraussucht, die in seiner Umgebung benutzt wird.

3.2.2.2 Und wie werden Regeln erworben?

Nach dem behavioristischen Ansatz wird Sprache über die selben Lernmechanismen gelernt, mit denen Menschen auch anderes Verhalten lernen: durch positiver Verstärkung: Belohnung (der Darbietung von etwas als positiv Bewertetem), und negativer Verstärkung (dem Entzug von etwas als negativ Bewerteten) des gezeigten Verhaltens (siehe z.B. Zimbardo, 1995).

Behavioristische Sprachlerntheorien gehören nach Wode (1993) zu dem am weitesten verbreiteten Sprachlerntheorien, obwohl sie – neben begrifflichen Unklarheiten, vgl. Chomsky (1959) – sich in der Praxis als schwierig erwiesen haben, denn „Behavioristisches Lernen beschreibt den Lernvorgang als Imitation und passiv erduldet Dressur. Die sprachlichen Strukturen bilden sich in dem Maße heraus, in dem der Lerner das Gehör übt und dafür belohnt oder getadelt wird. Die Steuerung erfolgt ausschließlich exogen. Am Anfang ist der Lerner eine Art tabula rasa. Unerfindlich bleibt dabei u.a. die Herkunft und die linguistische Struktur der entwicklungspezifischen Fehler.(...)“ (Wode, 1993, S.48).

Im Gegensatz zum Skinnerschen Ansatz verhält sich das Kind nach Piaget aktiv. Das Kind setzt sich aktiv mit seiner Umgebung auseinander (siehe im Einzelnen Montada, 1995). Dabei verläuft die Entwicklung nicht gleichmäßig, sondern in aufeinander aufbauenden Stufen. Die Piaget-Schülerin Sinclair-deZwart (1969) sah in der Entwicklung des logischen Denkens sowohl eine notwendige Voraussetzung als auch eine Strukturvorgabe für den Spracherwerb. Allerdings zeigte sich recht bald, dass sprachliche und intellektuelle Entwicklung nicht völlig voneinander abhängig sind (Details siehe Wode, 1993).

Interaktionistische Ansätze gehen davon aus, dass Spracherwerb fast ausschließlich in Interaktionen stattfindet. Dabei gibt es die Untergruppe der Input- oder Diskursansätze (z.B. Bates et al, 1983 oder Miller, 1976) die annehmen, dass die Gesetzt, denen Konversation unterliegt – je nach Radikalität unterschiedlich stark – den Spracherwerb steuert. Eine weitere Untergruppe der Interaktionistischen Ansätze sieht Interaktionen als sozialen Gesamtrahmen (z.B. Bruner, 1975). Hier wird v.a. betont, dass Sprachen

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

integraler Bestandteil einer Kultur sind, und das Erlernen von Sprache mehr als das Erlernen von Wörtern ist, sondern auch beispielweise Rollenverhalten beinhaltet. Ein großer Kritikpunkt an den Interaktionistischen Ansätzen ist, dass Spracherwerb über unterschiedliche Lernsituationen hinweg bemerkenswert uniform ist, was diese Ansätze in Erklärungsschwierigkeiten bringt.

Angeborene Fähigkeiten bilden den Kern der Nativistischen Ansätze (z.B. Chomsky, 1981). „Als nativistisch im engeren Sinne werden jene Sprachlerntheorien bezeichnet, die annehmen, sprachliche Strukturen bzw. Kenntnisse über die Strukturierungsprinzipien natürlicher Sprache seien angeboren.“ (Wode, 1993, S.54). Der bekannteste Ansatz ist hier die Universalgrammatik von Chomsky (1981, 1982). Für Chomsky stellte sich das Problem, wie ein Kind, das in seiner Umgebung v.a. unvollständigem und fehlerhaften sprachlichen Input ausgesetzt wird (gesprochene Sprache ist im Gegensatz zur Schriftsprache meist unvollständig und grammatisch häufig nicht korrekt) eine Sprache erwirbt, die im großen und ganzen den Regeln der Grammatik Erwachsener entspricht. „Chomsky nahm daher an, Kinder seien genetisch mit reichhaltiger Kenntnis darüber ausgerüstet, wie menschliche Sprachen beschaffen seien. Dieses genetisch vorgegebene Lernsystem nannte er *LAD (language acquisition device)*. LAD steuert das Kind durch das Chaos zum Erfolg. Chomskys Auffassung über LAD hat sich im Laufe der Zeit geändert, der Grundgedanke aber ist geblieben: LAD ist ein Arsenal von mentalen Schemata, die festlegen, welche Strukturen überhaupt in menschlichen Sprachen möglich sind. Die Aufgabe von LAD ist zu prüfen, welche Strukturen in der jeweils zu lernenden Sprache vorkommen. Dazu bildet LAD Hypothesen, die überprüft, ggf. verworfen, modifiziert und erneut geprüft werden. Hypothesenbildung und –überprüfung werden solange fortgesetzt, bis sich die Hypothese mit der Struktur der Zielsprache decken“ (Wode, 1993, S.54)

Das Prinzip der Universalgrammatik sieht festgelegte Parameter (z.B. Möglichkeiten der Wortstellung, Flexionen etc.) vor, die zu Beginn des Spracherwerbs offen sind und damit je nach Sprache unterschiedlich festgelegt werden können. Diese Parameter sind nicht unabhängig voneinander, sondern bedingen sich zumindest teilweise gegenseitig.

Kritiker dieses Ansatzes bemängeln (nach Wode, 1993), dass Chomsky das Problem des fehlerhaften Inputs nur verschoben hat: Es ist immer noch unklar, wie Kinder aus dem Input die für die Parameterfixierung kritischen Elemente herausfinden und wie sie

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

diesen Input zu Hypothesen verarbeiten. Auch der Erwerb von Fremdsprachen wird in Chomskys Theorie zu wenig berücksichtigt.

Eine weitere Gruppe von Ansätzen sind die Verarbeitungsansätze (z.B. Bever, 1970; Slobin, 1973, 1985). Ihnen unterliegt die Annahme, dass einige Teile des Spracherwerbs durch die Mechanismen der Informationsverarbeitung (z.B. Wahrnehmung, Gedächtnis) mitbeeinflusst werden.

Anforderung 5: Bei der Entwicklung eines sprachverarbeitenden Systems sollten sich für Fragen zur Grammatikentwicklung bestimmte Lösungen bevorzugt anbieten.

Doch wie sehen diese Regeln genauer aus? Pinker (2000) erklärt am Beispiel des Phrasenaufbaus folgende Charakteristika dieser Regeln:

- Sie sind produktiv: In den Regeln wird festgelegt, wie *Arten* von Wörtern aneinandergereiht werden, nicht, wie spezifische Wörter aneinandergereiht werden. Damit ist die Bildung von Sätzen möglich, die nie ein Mensch zuvor gebildet hat.
- Sie sind abstrakt: es wird von Wortarten ausgegangen, nicht von Arten von Dingen. Damit kann ein und dieselbe Regel verwendet werden, wenn man sich über Blumen oder wenn man sich über die Willensfreiheit des Menschen unterhalten möchte.
- Sie sind kombinatorisch: Regeln zum Satzbau haben nicht eine einzige Leerstelle, sondern beinhalten jeweils die Möglichkeit, an dieser Stelle eine ganze Liste von Wörtern einzufügen: „Nehmen wir an, im Alltagsdeutschen gäbe es vier Determinierer (ein/eine, jeder/jede/jedes, dieser, diese, dieses und der/die/das) und zehntausend Nomen. Dann stellt die Regel für eine Nominalphrase vier Möglichkeiten für den Determinierer zur Auswahl, auf den zehntausend Wahlmöglichkeiten für das Kopfnomen folgen, was $4 \times 10\,000 = 40\,000$ Möglichkeiten ergibt, eine Nominalphrase zu äußern.“ (Pinker, 2000, S.8)
- Sie sind rekursiv: eine Regel kann sich selbst aufrufen, so kann ein Satz eine Verbalphrase enthalten, und diese Verbalphrase wieder einen Satz: „Ich sagte ihr, Tom wäre im Garten“.

Anforderung 6: Die eingeführten Regeln müssen produktiv, abstrakt, kombinatorisch und rekursiv sein.

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

Doch auch wenn Menschen bevorzugt grammatische Sätze produzieren bedeutet dies noch lange nicht, dass sie nur grammatische Sätze verstehen könnten. Ein Satz wie z.B. „Essen Italiener wann?“ ist alles andere als grammatisch, für die meisten Menschen aber problemlos verständlich. Menschen können sich also auch aus ungrammatischen Sätzen eine Bedeutung zurechtzimmern.

Anforderung 7: Ein sprachverarbeitendes System sollte auch nicht-regelkonformen Input verarbeiten können.

Und nicht nur das – Menschen können sich (vgl. Bartl-Storck, 2004) auch Texte verstehen, in denen fast ausschließlich Neologismen vorkommen (siehe dazu Kapitel 3.4).

Anforderung 8: Ein sprachverarbeitendes System sollte auch Neologismen entschlüsseln können.

3.3 Spracherwerb

3.3.1 Beim Menschen: Erwerb der Erstsprache

In diesem Kapitel soll die Abfolge des Spracherwerbs beim Menschen dargestellt werden. Aus der Abfolge und den Gesetzmäßigkeiten des Spracherwerbs bei Menschen sollen dann Anforderungen und Anleitungen für den Spracherwerbsprozess bei PSI erschlossen werden. Doch auch hier stehen zuerst Definitionsprobleme an: Was ist der Beginn des Spracherwerbs? Die Zuordnung von Wörtern zu Dingen, oder das erste „herumprobieren“ mit Lauten? Spätestens mit dem ersten Verwenden von Wörtern hat der Spracherwerbsprozess jedoch begonnen.

Anforderung 9: Bei einem sprachverarbeitenden System muss definiert sein, was als Beginn des Spracherwerbs angesehen werden soll.

Wode (1993) geht von drei Mindestbedingungen für den Spracherwerb aus:

- Es muss ein Mindestmaß an Schallwahrnehmung und Fähigkeit zur Differenzierung verschiedener Laute gegeben sein.
- Es muss die Möglichkeit einer Verbindung zwischen Wort und Ding gegeben sein.

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

- Es müssen im Gedächtnis separate Repräsentationen von Dingen existieren, auf die sich Sprache beziehen kann.

Anforderung 10: Bei einem sprachverarbeitenden System müssen die Mindestbedingungen für den Spracherwerb gegeben sein: Wahrnehmungsvoraussetzungen, kognitive Voraussetzungen und die Möglichkeit einer Verbindung zwischen Bild und Sprache.

Auch in der Entwicklung der Sprache ist zu unterscheiden zwischen dem Erwerb von Wörtern und dem von Regeln, obwohl beide sich gegenseitig bedingen und auch überlappend stattfinden.

Die meisten Kinder produzieren im Alter von 1;0⁶ ihre ersten Wörter, wobei die Schwankungsbreiten beträchtlich sind. Bis zum Alter von ungefähr 2;0 wächst der Wortschatz sehr langsam bis zu einem Umfang von ca. 50 Wörtern, worauf es eine sprunghafte Ausweitung des Vokabulars gibt. Danach sinkt die Zuwachsrate wieder ab. Wode (1993) führt diesen plötzlichen Anstieg der Zuwachsrate darauf zurück, dass „sich um diese Zeit die Art, wie die phonologischen Repräsentationen von Wörtern im Gedächtnis gespeichert wird, ändert. Statt holistisch wie bislang, wird nun segmentorientiert verfahren, ein beträchtlich ökonomischeres und leistungsfähigeres Vorgehen.“ (Wode, 1993, S.145), Wörter werden nicht mehr als Ganzes gelernt, sondern in ihre Teile zerlegt – in Phoneme.

Die Themen, zu denen erste Wörter gelernt werden, decken sich laut Wode (1993) von Kind zu Kind in hohem Maße. Die Themen, auf die sich erste Wörter beziehen, betreffen vor allem Dinge, die Kinder über ihre Sinne direkt erfahren können, und mit denen sie auch hantieren können. Doch wird Kindern nur in sehr seltenen Fällen direkt gezeigt, welches Wort sich auf welches Ding bezieht, und selbst in diesen Fällen bleibt noch eine große Auswahl an Bedeutungsalternativen: beschreibt ein Wort das gezeigte Ding an sich, seine Farbe, seine Form, die Bewegung? Markman (1989, 1992, 1994) geht davon aus, dass Kinder, um in so kurzer Zeit einen so großen Wortschatz entwickeln zu können, über bestimmte Constraints verfügen müssen, die die zahlreichen Bedeutungsmöglichkeiten einzelner Wörter einschränken. Sie nimmt drei Constraints an: die whole-object assumption (Kinder benennen bevorzugt ganze Objekte, nicht

⁶ Altersangaben sind hier wie im Folgenden ungefähre Richtwerte, keine Normen! Die Altersangabe erfolgt nach dem Schema Jahr;Monate.

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

Teile oder Eigenschaften dieser Objekte), die taxonomic assumption (sie ermöglicht es Kindern, die Bedeutung von Wörtern auf Objekte der selben Art auszudehnen, danach bezeichnen neue Wörter vermutlich kategoriale und keine thematischen Relationen zwischen Wörtern) und die mutual exclusivity assumption (Kinder versuchen, nicht mehr als ein Label für ein Objekt zu haben). Diese Constraints sind nicht als absolute Einschränkungen zu verstehen, sondern als flexible Regeln, die den Worterwerb erleichtern. Es handelt sich um „Voreinstellungen“, die sich gegebenenfalls widersprechen können und überschrieben werden können.

Anforderung 11: Ein sprachverarbeitendes System muss sich in seiner Sprachentwicklung ebenfalls zunächst auf das direkt erfahrbare stützen.

Charakteristisch für den frühen Spracherwerb ist (ebenfalls nach Wode, 1993) die Entwicklung eines Wortes von einem eingeschränkten Referenzbereich (d.h. das Wort wird nur für das Objekt benutzt, für das es ursprünglich erlernt wurde) hin zu einer Übergeneralisierung, um schließlich zu Eingrenzung des Verwendungszweckes des Wortes auf einen bestimmten Bereich zu führen. Dabei müssen sich Übergeneralisierungen in der Sprachproduktion und im Sprachverstehen nicht unbedingt entsprechen, das Sprachverständnis entwickelt sich schneller als die Sprachproduktion.

Anforderung 12: Ein sprachverarbeitendes System muss in seiner Bedeutungsfindung ebenfalls von einem zu engen über einen zu weiten hin zu einem der Zielsprache entsprechenden Bedeutungshof eines Wortes gelangen.

Die Entwicklung der Syntax fängt bei Kinder mit dem benutzen von Einwortsätzen an. Bei diesen Sätzen ist die enthaltene Information aber unklar: „Pferd“ kann heißen, dass das Kind gerne zu dem Pferd möchte, dass es ein Pferd gesehen hat, ...

In diesem Stadium sprechen die Kinder anfänglich vor allem über Akteure, über bewegte Objekte und über Handlungen, später dann über Orte, Besitzer und auch Empfänger.

Im Alter von 1;6 beginnt dann bei Kindern das Zweiwortstadium, oft kommt es zwischen dem Ein- und dem Zweiwortstadium noch zu einem Übergangsstadium, in dem zwar mehrere Wörter gesprochen werden, diese aber durch deutliche Pausen getrennt

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

werden. Auch hier reden die Kinder wieder über die Gegenwart. Es fehlen noch Flexionen, und je nach Kind kann die Wortstellung fest oder flexible sein.

Grobstadium	
I 0;10-1;16	Holophrasen
II 1;6-2;0	Zwei-Wort-Äußerungen <ul style="list-style-type: none"> • Anfangs Wortketten • Keine Flexionen • Je nach Kind kann die Wortstellung fest oder frei sein
III 2;0-2;6	Ausbau der einfachen Syntax <ul style="list-style-type: none"> • Ausrichtung auf Wortstellung der Zielsprache • Aufbau einfacher Sätze • erste hierarchische Strukturierung je nach Zielsprache z.B. Adj. + N oder N + Adj. • Beginn der Flexionen
IV 2;6-4;0	Erste Transformationen und Nebensätze <ul style="list-style-type: none"> • Syntax einfacher Sätze im Wesentlichen gemeistert • Flexionen noch fehlerhaft • Relativsätze, Konjunktionalsätze, Inversionen
V 4;0-12;0	Ausbau der komplexen Syntax

Tabelle 1: Grobabriss der Syntaxentwicklung für Sprachen mit Flexionen und Präpositionen. Aus Wode, 1993, S.226.

Anforderung 13: Ein sprachverarbeitendes System sollte einen ähnliche Ablauf der Sprachentwicklung wie ein Kind haben.

Ein Spezialfall des Syntaxerwerbs ist der Erwerb der Interrogationssyntax (Frage-Syntax). Im Deutschen unterscheidet man hier formal zwischen Intonationsfragen (steigende Tonhöhe am Ende der Frage), Wortstellungsfragen (Fragen durch Veränderung der Wortstellung: Das ist ein Hund – Ist das ein Hund) und Pronominalfragen (Verwendung von Interrogativpronomina). Intonationsfragen und Wortstellungsfragen können zusammen in die Klasse der Satzfragen eingeordnet werden, Pronominalfragen entsprechen den W-Fragen oder Wortfragen (vgl. z.B. Walter, 1985; Confais, 1995; Conrad, 1978).

Dabei gilt folgende Entwicklungssequenz: Zuerst treten holophrastische Intonationsfragen (schon während des Einwortstadiums) auf, daraufhin holophrastische

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

Pronominalfragen (z.B. „Wo?“), später dann Nichtinvertierte Zwei- und Mehr-Wort-Fragen (z.B. „Auto weg?“) und noch später Wortstellungsfragen wie „Gibt es Kuchen?“.

Dabei folgt auch die Übergeneralisation von Interrogativpronomen bestimmten Regeln, so wird z.B. bei den von Wode (1993) beschriebenen Kindern „Wo“ zwar im Sinne von „Wo, Wohin, Woher“ verwendet, aber nie z.B. im Sinne von „Wer“. Felix (1976) nimmt in diesem Zusammenhang an, dass Kinder Interrogationspronomina nicht außerhalb eines bestimmten Umkreises übergeneralisieren, weil sie bestimmte kognitive Primärkategorien beschreiben, die sich gegenseitig ausschließen.

Verwendete Pronomina	Intention
wo	wo, wohin, woher
was	was, wer, wem, von wem, wonach, wozu, wessen, was für ein
wer	wer, wem, bei wem, wie (heißt)
wen	wem, mit wem
wie	wie, wie viele, wie (+Adj/Adv)
wann	wann
wierum, warum	warum

Tabelle 2: Übergeneralisierungen von Interrogativpronomina bei drei deutschen Kindern, Erstspracherwerb, aus Wode, 1993, S.241.

Anforderung 14: Ein sprachverarbeitendes System sollte zu ähnlichen Übergeneralisierungen der Interrogativpronomina neigen wie ein Kind.

Auch Flexionen werden von den Kindern in mehreren Stufen bewältigt: Zuerst existiert für jedes Wort nur eine einzige Form, es gibt keine Flexionen. Dann treten langsam die ersten Flexionen auf, das Kind verfügt dann über zwei oder mehr Formen pro Wort. Diese sind fest gelernt und noch nicht durch Regeln miteinander verbunden. Nach dieser Stufe folgt dann die produktive Verwendung von Regeln, hier treten dann auch entwicklungsspezifische Fehler wie z.B. die Übergeneralisierung von Regeln auf.

Anforderung 15: Ein sprachverarbeitendes System sollte eine ähnliche Entwicklung der Flexionen zeigen wie ein Kind.

3.3.2 Bei Tieren

Der Spracherwerb⁷ bei Tieren – hier vor allem Menschenaffen – hat eine große Gemeinsamkeit mit dem Spracherwerb bei PSI: für beide ist Sprache eher etwas Zusätzliches anstatt etwas – wie beim Menschen – Essentielles in ihrer Umwelt. PSI ist zwar eine Simulation menschlichen Verhaltens, der Bereich der Sprache eröffnet jedoch ein neues Kapitel in PSIs Entwicklung und ist daher im Moment noch ein „Zusatzmodul“, dessen Integration vorangetrieben werden muss.

Zudem wurde Sprache Tieren auf eine sehr geplante Art und Weise beigebracht, während bei Kindern der Spracherwerb eher „nebenbei“ passiert. Wenn PSI in seine Umgebung kommt, ist es erwachsen, eine Entwicklung wie sie bei einem Kind stattfindet, gibt es in dieser Art und Weise nicht. Es kann Operatoren verwenden es kann sich bewegen, es weis nur noch nicht, wie es sich in seiner Umgebung am besten verhält. Damit findet der Spracherwerb bei PSI statt, wenn PSI erwachsen ist. Auch dies ist eher eine Parallele zu den Tieren, denen Sprache beigebracht wurde als zum Erstspracherwerb bei Menschen. Zwar wurden einigen der Tiere die ersten Ansätze von Sprache schon in sehr jungem Alter beigebracht, der Spracherwerb zog sich aber bis ins Erwachsenenalter hinein.

Anforderung 16: Spracherwerbsstrategien, die bei Tieren funktionieren, sollten auch bei einem sprachverarbeitenden System funktionieren

Spracherwerb bei Tieren wurde – vor allem – an drei Tierarten untersucht: Delphinen (Herman, Kuczaj & Holden, 1993; Herman, L.M., 2002), Menschenaffen und einem Graupapagei, es gibt allerdings auch Studien zum Spracherwerb bei anderen Tieren wie z.B. Seelöwen (Schusterman & Kastak, 1998). Ich möchte hier auf einige klassischen Untersuchungen zum Spracherwerb bei Menschenaffen und über die Studien an dem Graupapagei Alex eingehen, die mit zum der neusten in diesem Gebiet veröffentlichten Studien gehören.

Gardner & Gardner (1969) versuchten, der zu diesem Zeitpunkt ca. acht bis vierzehn Monate alten Schimpansin Washoe Taubstummensprache beizubringen. Sie setzten sich dabei das Ziel, das Washoe Objekte verlangen können sollte, Fragen über diese Objekte beantworten, und auch selbst Fragen stellen lernen sollte. Im Training bauten sie auf die

⁷ Gemeint ist hier der Erwerb der menschlichen Sprache.

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

bei Schimpansen stark ausgeprägte Imitation auf und brachten daher Washoe zuerst bei, auf Kommando zu imitieren. Dies wurde späterhin aber vor allem benutzt, um Washoe dazu zu bringen, Zeichen deutlicher auszuführen. Um Washoe tatsächlich Wörter beizubringen wurden zu neuen – und auch zu bekannten – Dingen und Aktivitäten immer auch die Zeichen vorgeführt. Washoe begann nach einiger Zeit, die Zeichen passend zum Objekt nachzumachen. Dabei „plapperte“ Washoe zu Beginn nur sehr wenig (unter „plappern“ ist hier das Ausführen von Zeichen zu verstehen), mit der Zeit aber immer mehr, wofür sie mit Aufmerksamkeit belohnt wurde. Ebenfalls zum Worterwerb wurde Operantes Konditionieren verwendet. In 22 Monaten lernte Washoe dabei circa 34 Zeichen stabil zu verwenden. Je mehr Wörter Washoe lernte, desto spezifischer benutzte sie diese Wörter, und sie vollbrachte auch Transferleistungen. So konnte sie z.B. das Zeichen für „Tür“ von einer bestimmten Tür auf alle Türen übertragen. Ebenfalls spontan leistete sie das Kombinieren von mehreren Wörtern zu Wortketten.

Was bei Washoe nicht auftrat – und nach Bischof (1997⁴, S. 534) bei keinem Schimpansen auftrat – ist das für Kinder so charakteristische Fragen nach Begriffen. Auch andere Fragen von Washoe – z.B. nach Futter – werden im Bericht von Gardner & Gardner nicht erwähnt, obwohl das Stellen von Fragen zu den ursprünglichen Zielen der Untersuchung gehörte.

Auch Premack (1971) versuchte einem Schimpansen – Sarah – Sprache beizubringen. Im Gegensatz zu den Gardners verwendete er allerdings nicht die Taubstummensprache, sondern eine eigens dafür entwickelte Sprache aus Plastikwörtern⁸. Nicht nur die Art der verwendeten Zeichen, sondern auch die Vorgehensweise unterscheidet sich von der der Gardners. Um Sarah Wörter beizubringen, wurde zunächst ein sozialer Austausch eingeführt, dann wurden zum Futter Plastikwörter präsentiert, und schließlich musste Sarah diese Wörter benutzen, um Futter zu bekommen, sie musste mit den Wörtern Aufforderungen an den Trainer richten. Später wurde für jeden Trainer ein eigenes, zweites Wortelement eingeführt, und dieses Wort musste mit verwendet werden („Randy apple“ statt nur „apple“). Zusätzlich musste auch die richtige Wortreihenfolge eingehalten werden. Als nächstes wurden gleich-ungleich Bezeichnungen und Interrogationen eingeführt. Dazu wurden match-to-sample Prozeduren⁸ eingeführt, oder

⁸ Zuordnungsaufgaben

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

man stellte Sarah die Frage, ob zwei Dinge gleich oder ungleich seien, und sie musste die richtige Antwortalternative auswählen. In diesem Zusammenhang wurde auch das Fragezeichen zuerst eingeführt. Verwendet wurden dabei Fragen wie „X ist das selbe wie y?“, „Was ist anders als /das selbe wie x?“ und Ja/Nein-Fragen (X ist dasselbe wie/etwas anderes als y?). Um Ja/Nein-Fragen beantworten zu können wurde Sarah zunächst „No“ beigebracht. Sarah bewältigte dies, aber ihre Fehler konzentrierten sich zunächst auf Fragen, in denen das Wort „different“ enthalten war, hier schien sie eher gelernt zu haben, auf „different“ tendenziell mit „no“ zureagieren, als die Frage zu verstehen.

Wo „same-different“ noch eine Relation zwischen unbenannten Objekten sein kann, ist für „name of“ Sprache nötig. Sarah sollte hierfür das Namens-Objekt dem echten Objekt zuordnen, dann wurde noch „not name of“ eingeführt und schließlich wurden ihr Fragen gestellt („Ist x Name von y?“). Damit wurden die ersten Fragen nach Relationen eingeführt: die Frage nach der Relation zwischen einem Objekt und dessen Bezeichner.

Sarah sollte auch Klassen wie z.B. Farbe, Form und Größe erlernen. Dafür wurden – als Sarah Farben lernen sollte – unterschiedliche Objekte (alle für Sarah unbenannt) der jeweiligen Farbe herangezogen, und anhand dieser wurde Sarah dann gezeigt, was z.B. „red“ bedeutet, nämlich die einzige Gemeinsamkeit dieser Objekte. Als die einzelnen Farben und Formen bekannt waren wurden die Konzepte (also „Farbe“, „Größe“ und „Form“) beigebracht. Dann wurden ihr Fragen wie „red ? Apple“ (d.h. „Was ist die Relation zwischen red und apple?“) gestellt, als Antwortmöglichkeiten wurden die Kategorien mit oder ohne Verneinung (es war jeweils nur eine Kategorie und die Verneinung anwesend, später gab es dann mehrere Alternativen) zur Verfügung gestellt.

Sätze sind laut Premack (1971) durch eine bestimmte Reihenfolge der Wörter in ihrer Bedeutung bedingt. Sarah lernte dies erfolgreich an Beispielen wie „green on red“ oder „red on green“. Sarah verstand, dass beide Sätze eine jeweils andere Handlungsaufforderung enthalten.

Verbindungen (wie z.B. ist-ein) sollten Sarah ursprünglich mit Sätzen wie „Apfel, Banane ist-ein Frucht“ oder „Schokolade, Bonbon ist-nicht Frucht“ beigebracht werden, wurden ihr tatsächlich aber als Nonsense-Wort beigebracht. Man gab ihr beispielweise die Aufgabe, die Relation zwischen Rot und Farbe zu finden, und die einzige Antwortmöglichkeit war das Symbol für „ist-ein“. Sarah hatte große Probleme mit dem Erlernen dieses Zeichens, als sie es aber gelernt hatte, gelang auch die Übertragung auf

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

unbekannte Gegenstände. Der Plural wurde ihr genauso beigebracht wie „ist-ein“. Dies zu lernen (anhand von Sätzen wie „red, green is pl color“) fiel ihr schwer. Die Schwierigkeiten beim Erlernen dieser Wörter könnten durchaus auch auf die Strategie der „Nonsense-Wörter“ zurückzuführen sein, die es Sarah sehr erschwert haben könnten, die Bedeutung des neuen Wortes zu erlernen. Auf ähnliche Art und Weise wurden Sarah Objektklassen (wie „Frucht“), Quantifikatoren („alle“, „kein“, „ein“ und „etliche“) beigebracht.

Als Sarah logische Verbindungen (Wenn-dann) erlernen sollte, begann das Training mit einem Standardtrainingsprogramm: Sarah wurde immer mit Schokolade belohnt, wenn sie bei einer Auswahl von einem Apfel und einer Banane den Apfel nahm. Dann wurden ihr Sätze wie „Sarah take apple? Mary give Sarah chocolate“ dazugegeben. Wenn-dann wurde durch *ein* Symbol (\supset) dargestellt. Sarah lernte sehr langsam, diese Sätze zu verstehen, bei allen Sätzen griff sie zunächst einmal nach dem Apfel (das Objekt, auf das sie vorsprachlich trainiert worden war), dann griff sie wahllos nach einer Frucht, und erst viel später immer zielgenau nach dem im Satz genannten Objekt.

„Und“ wurde ihr beigebracht, indem man ihr einige Früchte zur Auswahl stellte, und sie anfordern musste, was sie haben wollte. Zuerst forderte sie jede Frucht einzeln an, aber bald bildete sie Ketten („Mary give banana apple“), und dann bekam sie auch beide Früchte (oder eben drei, ... Früchte) auf einmal. So wurde zwar kein eigenes Wort „und“ verwendet, aber es wurden immerhin erste Wortketten gebildet.

Sarah entwickelte durch dieses Training einen beachtlichen Wortschatz, die sehr künstlichen Trainingsbedingungen lassen eine Übertragung auf den menschlichen Spracherwerb jedoch kaum zu. Inwieweit Sarahs Erwerb dieser Kenntnisse als Spracherwerb zu werten ist, ist unklar.

Terrace, Petitto, Sanders & Bever (1979) beschäftigen sich damit, ob Schimpansen mehr lernen können als nur einzelne Wörter willkürlich aneinander zureihen. Im Gegensatz zu Wörtern werden Sätze nicht jeweils einzeln gelernt. Terrace, Petitto, Sanders & Bever (1979) versuchten die Frage zu klären, ob Affen nicht nur Wörter, sondern auch Sätze sinnvoll verwenden können. Ihr Versuchstier, der Schimpanse Nim wurde bei Menschen aufgezogen, seine „Eltern“ sprachen mit ihm Zeichensprache. Die Gardners hatten nicht darauf geachtet, in welcher Reihenfolge Washoe mehrere Zeichen anordnete, dieser Fehler sollte hier vermieden werden. Bei Nim wurde aufgezeichnet, in welcher Reihenfolge er Zeichen verwendete.

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

Nim wurde jedoch nicht dazu aufgefordert, Zeichen zu kombinieren, während er zu Einzelzeichen durchaus aufgefordert wurde. Allerdings machten ihm seine Lehrer auch Zeichenfolgen vor. Ausgewertet wurden nur lineare Kombinationen, d.h. Zeichenfolgen, in denen eine klare zeitliche Ordnung zu erkennen war. Dabei traten einige bevorzugte Kombinationen bei 2-Zeichen-Folgen auf. Diese können vermutlich auf syntaktische Regeln zurückgeführt werden, aber von Sätzen zu sprechen ist trotzdem sehr weit gegriffen. Bei 3 und 4-Zeichen-Kombinationen traten sehr viele Wiederholungen auf wie z.B. „eat Nim eat“. Der Unterschied zwischen Kinder und Nim war vor allem an einer Stelle deutlich: bei Kinder enthalten längere Sätze mehr Inhalt als kurze Sätze, bei Nim war das nicht so. Bei Kindern wird mit der durchschnittliche Äußerungslänge auch die Komplexität größer. Bei Nim wurde die durchschnittliche Äußerungslänge nicht größer. Es gibt Hinweise auf bestimmte Reihenfolgenvorlieben bei Nim, aber zu belegen, dass diese eine unterschiedliche semantische Bedeutung haben, ist schwierig. Nim war in seinen Zeichen weniger selbständig als Kinder, er imitiert mehr, bzw. verwendete Imitation mit geringfügigen Zusätzen. Nim unterbrach seine Lehrer auch wesentlich häufiger als Kinder das tun.

Beim Vergleich von Nim mit anderen Affen führen Terrace, Petitto, Sanders & Bever auf, dass Washoes 2-und-mehr-Zeichen-Folgen wurden immer vom Lehrer angestoßen, ähnliches gilt für Koko und Ally (Geschwister von Nim).

Ein wiederum völlig anders Sprachtraining entwickelte Pepperberg (1999) bei ihrem Graupapagei Alex an. Um die Fehler von z.B. Mowrer (1969) nicht zu wiederholen vermied sie es, Futter und Sprache aneinander zu koppeln. Da Papageien ihre Lautäußerungen zu großen Teilen von anderen Vögeln lernen, wurde auch der Unterricht für Alex in einem sozialen Kontext gestaltet. Konkret wurde der Unterricht so gestaltet, dass Alex und zwei Trainier sich nach folgendem Schema unterhielten: Trainer 1: „Was ist das?“ Trainer 2: „Klotz.“ Trainer 1: „Genau, ein *Klotz*. Da ist der *Klotz*.“ Alex sieht bei diesem Unterricht zu und darf mitmachen. Dabei wird sowohl die Aussprache des Vogels als auch die des zweiten Trainers verbessert. Alex lernte auf diese Art und Weise die Namen von neun verschiedenen Objekten, drei Farben, zwei Formen und das Wort „Nein“. Er konnte die Label auch generalisieren, kombinieren und benutzte Sprache spontan, um Objekte zu erhalten. Alex lernte auch die Konzepte „Farbe“, „Material“, „Form“, „gleich“ und „ungleich“. Er kann gleich und ungleich auch auf bestimmte Konzepte beziehen, z.B. feststellen, dass zwei Dinge gleich in der Form, aber ungleich in der Farbe sind. Alex lernte Zahlen (anhand von Fragen wie „Wie

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

viele Schlüssel sind da?“), und er kann auch Fragen wie „Wie viele gelbe Schlüssel sind da?“ korrekt beantworten (d.h. er kann auf Kombinationen von Kategorien reagieren), wenn auf dem Tablett vor ihm Schlüssel verschiedener Farbe, Wollknäuel und andere Objekte liegen. Er lernte Relationen (größer/kleiner) und reagierte auf die Frage „Welches Objekt ist größer?“ bei zwei gleichgroßen Objekten spontan mit „none“.

Von all diesen Tieren erreichte Alex das höchste Level des Spracherwerbs – er wurde allerdings auch am längsten trainiert. Alex wurde von Pepperberg 1977 gekauft, das Sprachtraining dauert bis heute an. Wichtig erscheint mir ihr Schritt, Futter nicht direkt von Sprache abhängig zu machen, sondern Alex für Sprache einerseits mit Zuwendung aber auch damit zu belohnen, dass er das Objekt, dessen Namen er ausgesprochen hatte zum Spielen bekam, so dass Wort und Ding direkt aneinander gekoppelt wurden. Zusätzlich positiv auf den Spracherwerb dürfte sich bei Alex ausgewirkt haben, dass er sich in der Sprache verständlich machte, die auch seine Umgebung benutze. Zumindest bei der Schimpansin Washoe wurde zwar angestrebt, dass sich die Umgebung in ihrer Nähe auch in Zeichensprache unterhielt, aber es ist anzunehmen, dass dies nicht durchgehalten werden konnte. Damit hatte Alex wesentlich mehr Gelegenheiten, aus den sozialen Interaktionen um sich herum zu lernen als die Schimpansen. Im Gegensatz zu beispielsweise Sarah ist Alex' Sprachtraining in einen sinnerhaltenden Kontext eingebettet (beispielsweise durch Verzicht auf nonsense-Wörter wie sie bei Sarah verwendet wurden), was ebenfalls zu den außergewöhnlichen Erfolgen beigetragen haben dürfte.

Anforderung 17: Die bei Alex so erfolgreiche Methode des Lernens am Beispiel sollte auch bei einem sprachverarbeitenden System zum Erfolg führen, sehr künstliche Methode – wie z.B. bei Sarah – sind dagegen zu vermeiden.

3.4 Eine Theorie des Sprachverstehens

In diesem Abschnitt möchte ich auf die Theorie des Sprachverstehens nach Dörner (1999) eingehen, die Grundlagen dieser Theorie wurden schon in Kapitel 2 besprochen. Eine umfassende Zusammenfassung und Kritik anderer Ansätze findet sich bei Bartl-Storck (2004).

Die Grundvoraussetzungen für unser gesamtes Handeln, auch für das Verstehen von Sprache, bilden in der Theorie von Dörner (1999) die sensorischen und motorischen Schemata von Objekten und Handlungen. Zwischen diesen Schemata und der internen

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

Repräsentation von Wörtern besteht die semantische Grundrelation (Ogden & Richards, 1960, S.10) zwischen Symbol (ein Zeichen, z.B. das Wort „Hund“), Referenz (ein Gedanke) und Referent (Außending, auf das sich die Referenz bezieht) (nach Dörner, 1999, S.227).

Weiterhin ist der entsprechende Begriff – in Abbildung 17 „Hund“ – in verschiedene Verhaltensprogramme und Geschehnisschemata⁹ eingeordnet. Diese Verhaltensprogramme und Geschehnisschemata sind für jede Person individuell, so kann mit „Hund“ das Verhaltensprogramm „raufen“ oder das Verhaltensprogramm „weglaufen“ verbunden sein, das Geschehnisschema „Hund kämpft mit Katze“, „Hund wird von Zwergkaninchen attackiert“ oder „Hund liegt vor dem Fenster und schläft“. Je nach dem momentanen Kontext, in dem sich ein Mensch befindet, werden – abhängig von den momentanen Bedürfnissen – unterschiedliche Verhaltensprogramme und Geschehnisschemata aufgerufen. Über die Zeit wird auch der Begriff „Hund“ sich verändern, indem neue Eindrücke aufgenommen und integriert werden. Verbunden ist das Schema „Hund“ auch mit anderen Sinneseindrücke, z.B. mit dem Geruch „nasser Hund“, den entsprechenden Geräuschen wie Bellen etc. Auch das Schema für „Hund“ ist nichts eindeutiges, gerade Hunde gibt es in den verschiedensten Größen und Erscheinungsformen, und die Ähnlichkeit zwischen einem Yorkshire-Terrier und einem Irischen Wolfshund ist eher gering (zu sensorischen Schemata vgl. Kapitel 2). Das Wort „Hund“ betrifft jedoch all diese Schemata, das Wort ist also mehrdeutig. Diese „semantische Disjunktivität“ trifft auf sehr viele Wörter zu, so ist z.B. auch „Haus“ alles andere als eindeutig (Flachdachhäuser, Südstaatenvillen, Hochhäuser, ...), das Wort „Haus“ kann jedes dieser Objekte bezeichnen.

⁹ Ein Geschehnisschema ist die Repräsentation einer Abfolge von Geschehnissen.

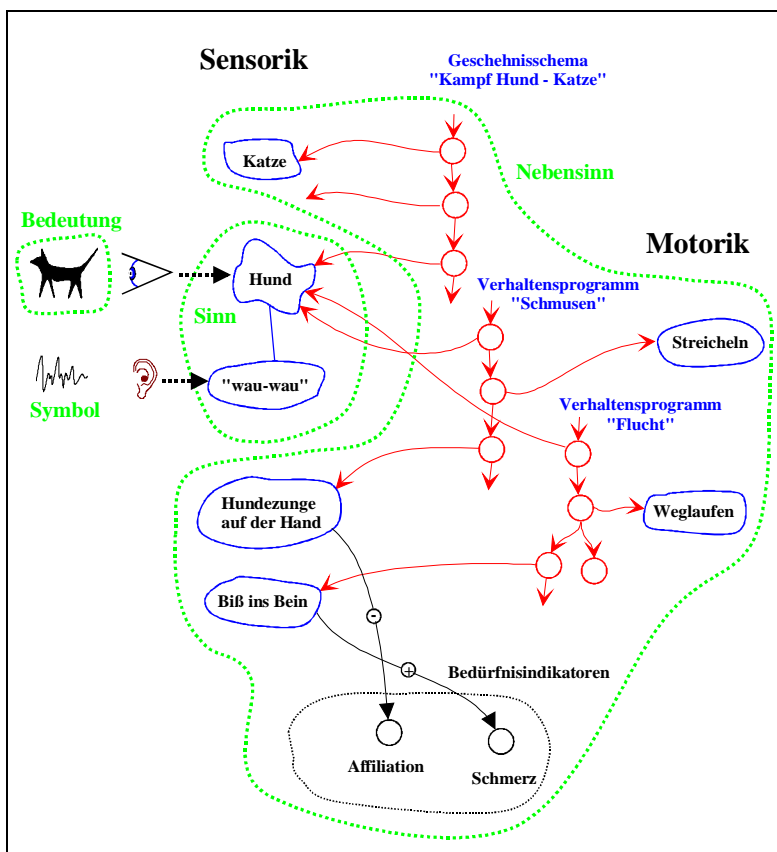


Abbildung 17: Symbol, Bedeutung, Sinn (aus: Dörner, 1999, S.233).

Das bisher Gesagte gilt nicht nur für verhältnismäßig konkrete Begriffe wie „Hund“, sondern auch für Begriffe wie „Freiheit“. Hier findet sich unter dem „Dach“ eines Wortes ein ganzes Sammelsurium verschiedener Inhalte: Bilder von der Grenzöffnung, die Freiheitsstatue, ein Wahlzettel, ... All diese Inhalte machen für uns den Begriff „Freiheit“ aus, wobei hier bei jedem Menschen andere Verhaltensprogramme, Ereignis- und Objektschemata diesem Wort zugeordnet sind.

Doch wie verstehen Menschen Sätze? Bisher wurde nur die Verbindung zwischen Wörtern und Gedächtnisinhalten dargestellt.

Menschen identifizieren zunächst die einzelnen Wörter des Satzes, sie suchen die entsprechenden Schemata. Um den Satz als Ganzes zu verstehen, ist es noch nötig, die Struktur des Satzes zu verstehen, also die Verbindung zwischen den Einzelschemata aufzubauen. Dazu wird die Satzstellung genutzt, in der angegeben wird, welches Wort welche Funktion in einem Satz hat (im einfachsten Fall die Zuordnung Subjekt-Prädikat-Objekt oder sogar nur Subjekt-Prädikat). Bei komplexen Sätzen wird der Satz zunächst in seine Bestandteile zerlegt, diese werden ihrer hierarchischen Ordnung nach untersucht. Ebenso wird der Kontext bemüht, um Unklarheiten in der Syntax und der Semantik des Satzes aufzuklären. Und wenn immer noch nicht alles klar ist? Dann wird

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

gefragt. Doch was geschieht, wenn uns jemand eine Frage stellt? Fragen können zunächst als Suchanweisungen verstanden werden. Sie werden eingesetzt, um Lücken in Schemata aufzuklären (zu Details des Fragestellens siehe z.B. Walther, 1985, oder Künzel, 2000)

Satzfragen, d.h. Fragen, die nicht mit einem Fragewort wie „Wo“, „Warum“ etc. beginnen, enthalten eine Aussage, die hinterfragt wird. Eine Satzfrage wie „Ist das ein Hund?“ enthält eine Aussage (dass es sich bei dem entsprechenden Tier um einen Hund handelt), der Fragende ist sich aber nicht sicher, ob diese Aussage wahr ist. Damit wird zunächst ein Schema konstruiert, das die entsprechende Aussage enthält. Dann wird im Gedächtnis ein Suchprozess gestartet, der nach einem Schema sucht, das dem Frage-Schema entspricht. So würde auf die Frage „Gibt es Kaninchen mit Hängeohren?“ zunächst ein Schema eines Kaninchens mit Hängeohren erzeugt werden und dann wird im Gedächtnis nach einem entsprechenden Schema gesucht. Wenn ein solches Schema existiert, lautet die Antwort „Ja, es gibt Kaninchen mit Hängeohren“ oder kurz „Ja“; wenn das Schema nicht existiert, entsprechend „Nein, es gibt keine Kaninchen mit Hängeohren“ bzw. „Nein“. Wenn ein Sachverhalt nicht bekannt ist, lautet die Antwort „Ich weiß es nicht“. Eine weitere Antwortmöglichkeit ist „Ich glaube, schon“ beziehungsweise „Ich glaube, nicht“, wenn der Antwortende in Bezug auf seine Antwort unsicher ist.

W-Fragen sind etwas komplizierter zu behandeln. Beim Verstehen einer W-Frage wird zunächst ein Schema aufgebaut, bei dem die entsprechende Stelle „hohl“ bleibt, d.h. das Schema hat Lücken. Welche Stellen das genau sind, hängt vom entsprechenden Fragewort ab. So fragt „Warum“ nach den Ursachen eines Ereignisses oder Geschehnisses, und „Wer“ fragt nach dem Akteur in einem Geschehnis.

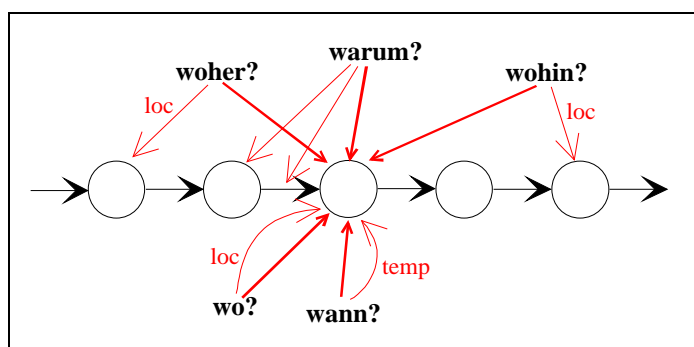


Abbildung 18: W-Wörter und ein Geschehnisschema (aus: Dörner, 1999, S.665).

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

Die Kreise in Abbildung 18 stellen die aufeinanderfolgenden Einzelschemata eines Geschehnisschemas dar (vgl. für das Geschehnisschema „laufender Hund“ sind die Einzelschemata: „springender Hund“ und „landender Hund“, die aufeinander folgen). Die einzelnen Fragwörter verweisen auf verschiedene Teile dieser Kette von Schemata, und sie verweisen auf verschiedene Teile der einzelnen Schemata (z.B. bei „Wo“ auf den Ort eines Teils des Schemas). Doch auch Fragewörter sind nicht eindeutig in ihrer Bedeutung, und so sind die gerade aufgeführten Bedeutungen auch nur als Schwerpunktbedeutungen zu verstehen.

Wenn das betreffende Schema aufgebaut ist, wird ein Suchprozess nach diesem Schema gestartet. Doch da eine Stelle des Schemas hohl ist, wird nach dem passenden „Einsatzstück“ gesucht, dieses bildet die Antwort auf die Frage. In Abbildung 19 wird auf die Frage „Wer gibt Berta Geld?“ ein Schema gebildet (untere Zeile), in dem Berta und das Geld zu sehen sind, der Akteur jedoch nur unscharf angedeutet wird. Dann wird nach einer Antwort gesucht, und wenn diese gefunden wird, dann wird sie in die Hohlstelle des Schemas eingesetzt (obere Zeile). Bei einer Frage „Was gibt Albert Berta?“ wären entsprechend Albert und Berta zu sehen, dass Geld wäre jedoch nur unscharf angedeutet. W-Fragen betreffen nicht nur ein bestimmtes Ereignis an sich, sondern auch seine Vorbedingungen (z.B. Warum) und seinen mögliche Zweck (z.B. Wozu).

Die Kreise stellen auch hier wieder Verweise auf Schemata dar. Ihre genaue Funktion soll an dieser Stelle nicht erläutert werden, siehe dazu Dörner (1999). Allerdings funktioniert das bisher vorgestellte Vorgehen nur, wenn auch tatsächlich alle Bestandteile des Frageschemas bekannt sind¹⁰.

¹⁰ Zusätzlich müssen noch die Vorbedingungen für Kommunikation gegeben sein: die Äußerung muß ernsthaft, wahr, informativ, relevant und klar sein (vgl. Grice, 1975).

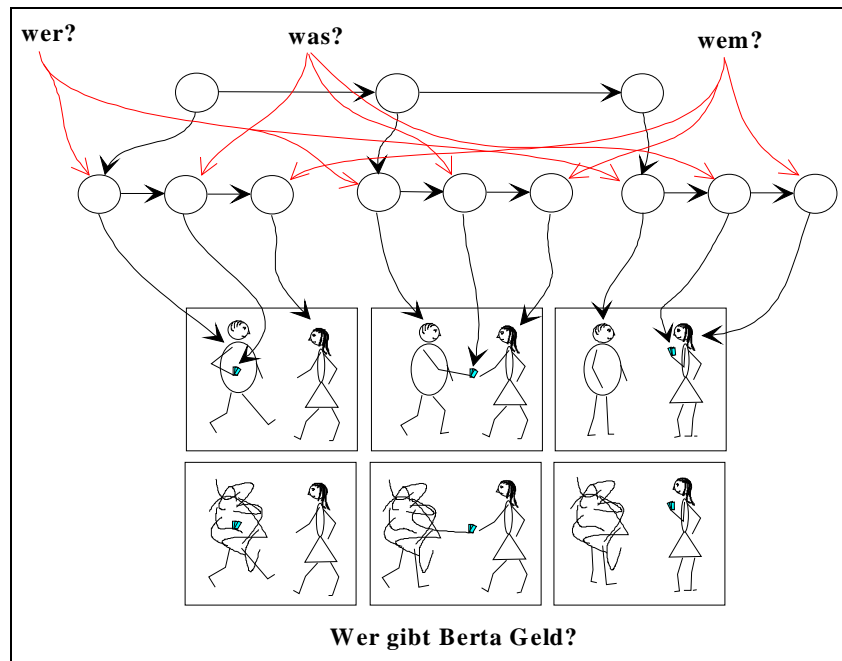


Abbildung 19: Die Erzeugung von Suchvorstellungen für W-Fragen (aus: Dörner, 1999, S.667).

Wenn der Person, der die Frage „Warum gibt Albert Berta Geld?“ gestellt wird, beispielsweise keine Berta kennt, ist das Vorgehen nach diesem Funktionsprinzip nicht möglich. Doch wenn man von einer 100%igen Passung von Frageschema und Antwortschema absieht, und statt dessen den Namen „Berta“ als einen Frauennamen erkennt und im Gedächtnis nach Schemata sucht, in denen eine Frau Albert Geld gibt, lässt sich doch eine Lösung finden. Und so kann weiter abstrahiert werden, bis sich schließlich eine Lösung findet. Wenn sehr viele Abstraktionen notwendig sind, um zu einer Lösung zu gelangen, werden in der Antwort allerdings Begriffe wie „vielleicht“ oder „eventuell“ als Ausdruck der Unsicherheit benutzt werden. Außerdem können sich aus einer solchen Beantwortung von Fragen neue Fragen ergeben (z.B. „War es wirklich so?“).

Dörner (1999) fasst den Prozess der Beantwortung einer W-Frage in einem Prozessmodell zusammen (Abbildung 20): Wenn eine W-Frage gestellt wird (Ausgangssituation α), dann wird zunächst ein Subschema mit Hohlstellen entsprechend dem Fragewort erstellt. Daraufhin wird im Gedächtnis nach einem Schema gesucht, dass mit dem Suchschema verträglich ist, die Hohlstelle wird dabei ausgespart. Wenn dieser Suchvorgang erfolgreich war, wird das, was im gefundenen Gedächtnisschema an der Stelle der Hohlstelle im Suchschema steht, als Antwort auf die gestellt Frage angenommen (ω_1 , die Zielsituation wurde erreicht). Wenn die Suche nach einem „passenden“ Gedächtnisschema nicht erfolgreich war, dann werden die

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

Verträglichkeitsbedingungen herabgesetzt. Dies bedeutet, dass nun das zu findende Gedächtnisschema und das Suchschema nicht mehr zu 100% übereinstimmen müssen, sondern z.B. nur noch zu 90%. Wenn die Suche erfolgreich war, ist das, was in dem nun gefundenen Gedächtnisschema an der Stelle der Hohlstelle im Suchschema steht, die Antwort auf die gestellte Frage (ω_1 , die Zielsituation wurde erreicht). Wie weit die Verträglichkeitsbedingungen herabgesetzt werden können, hängt z.B. von der Aufgabenstellung ab. Wenn eine falsche Antwort massive Konsequenzen haben könnte, wird man die Verträglichkeitsbedingungen wohl weniger stark heruntersetzen, als wenn eine falsche Antwort gar keine Konsequenzen hat.

Wenn trotz herabgesetzter Verträglichkeitsbedingungen kein passendes Gedächtnisschema gefunden wurde, dann lautet die Antwort der Person „Weiß ich nicht“, und der zweite Endzustand, ω_2 , ist erreicht.

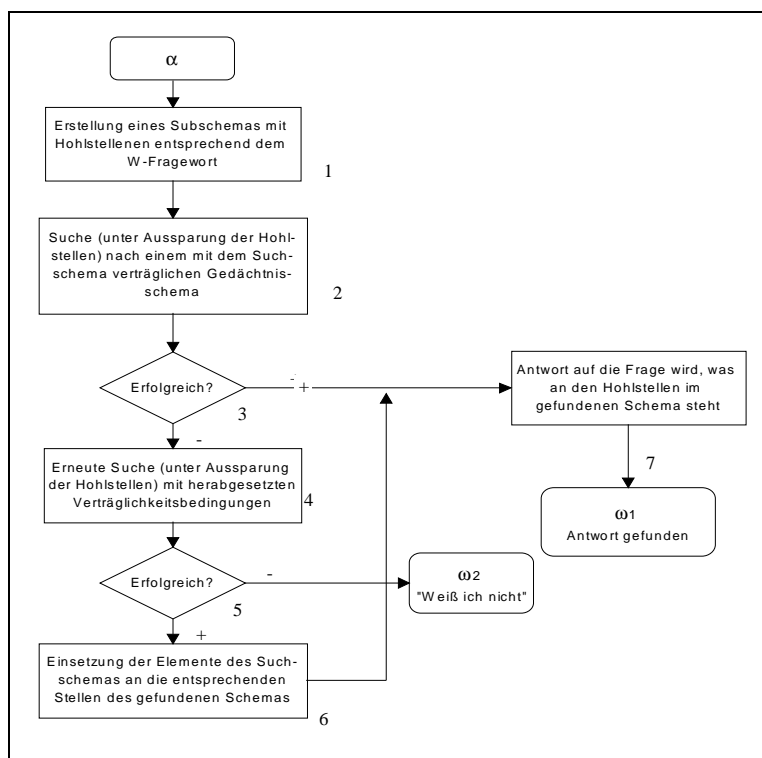


Abbildung 20: Die Beantwortung von W-Fragen (modifiziert nach Dörner, 1999, S.671).

Bis jetzt wurde geschildert, wie Fragen beantwortet werden, nun soll auch dargestellt werden, wie Menschen Fragen stellen.

Fragen werden beantwortet, indem zunächst Schemata mit Hohlstellen konstruiert werden, und dann mögliche „Einsatzstücke“ für diese Hohlstellen gefunden werden. Diese „Einsatzstücke“ bilden dann die Antwort. Wenn nun Schemata mit Hohlstellen von allein auftreten, werden Fragen gestellt. Ein Beispiel dafür wäre, wenn zwischen

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

einer erwünschten Zielsituation und dem jetzigen Zustand ein „Loch“ klafft, und nach einer Verhaltensweise gesucht werden muß, um dieses „Loch“ zu füllen. Hier wäre eine „Wie-Frage“ angemessen („Wie komme ich von a nach b?“). Bei Dingen, die man sich nicht erklären kann (z.B. ein Computer, der sich trotz mehrerer Versuche weigert, eine bestimmte Datei zu speichern) sollte „Warum“ gefragt werden, um die Ursache herauszufinden. Auch durch die Wahrnehmung wird der Mensch mit Schemata versorgt, die Hohlstellen enthalten („Was ist das?“, wenn ein unbekanntes Objekt erblickt wird, „Wer ist das?“ bei einer unbekanntenen Person). Hier müssen Fragen gestellt werden, denn „(...) es ist durchaus wichtig, die richtigen Wörter zu haben für die Dinge, die uns umgeben. Denn das Wort gibt uns Gewalt über die Dinge! Nicht in irgendeinem mystischen, dunklen Sinne, sondern dadurch, dass ich, wenn ich die Bezeichnung für eine neue Sache kenne, auch Hypothesen darüber aufstellen kann, was man damit machen kann oder was das »Ding« wohl selbst tun kann, was man von ihm erhoffen oder befürchten kann“ (Dörner, 1999, S.677). Indem der Mensch Fragen stellt, gewinnt er demnach Macht über Dinge, und indem er für sich hypothetische Antworten erzeugt, kann er sich selbst neue Fragen stellen, wie z.B. „Ist das so wahr?“ oder „Wie hätte es anderes sein können?“, so dass sich aus einer Frage ein komplettes – wenn auch hypothetisches – Bild einer Situation aufbauen lässt, oder besser gesagt: viele hypothetische Bilder vieler Situationen.

Doch Menschen können nicht nur mit „sinnvollen“ Wörter und Sätzen etwas anfangen, sondern auch mit auf den ersten Blick unsinnig erscheinenden Satzgebilden wie z.B. Jandl-Gedichten (siehe dazu Bartl-Storck, 2004).

3.5 Sprache und Denken

Ob und wie Sprache und Denken zusammenhängen ist nach wie vor ein Streitpunkt innerhalb der Psychologie, und zwischen den beiden Extremstandpunkten „Denken ist subvokales Sprechen“ (Watson 1984) und der Annahme, dass Sprache das Denken zwar beeinflusst, „aber nicht die Art der Konzepte zu bestimmen [scheint], die Gegenstand unseres Denkens sein können“ (Anderson, 1996, S.359) ist eine breite Basis für Diskussionen gegeben.

Dörner (1999, 1999b, 1996) vertritt den Standpunkt, dass Sprache und Denken eng zusammenhängen (ein Zusammenhang zwischen Sprachen und Denken wurde im Experiment der „Ökokäfer“ von Bartl & Dörner, 1998, belegt). Denken findet dabei als ein „inneres Gespräch der Seele mit sich selbst“ statt, bei dem der Denker auf eine

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

Metaebene wechselt und seine bisherigen Handlungen, seine Handlungsmöglichkeiten etc. hinterfragt und in einem inneren Dialog aufarbeitet. Dieses Gespräch der Seele mit sich selbst findet als ein Wort-Bild-Zyklus statt, in dem die detailreicheren und plastischen Bilder sich mit der flexibleren sprachlichen Repräsentation abwechseln. Das innerer Gespräch der Seele mit sich selbst findet also als ein innerer (nicht unbedingt bewusster) Dialog statt, in dem eigene Meinungen hinterfragt werden, in dem zwischen sprachlicher und bildlicher Repräsentation abgewechselt wird und man sich so z.B. in einem ARASKAM-Prozess (Dörner & Wearing, 1995) einer Lösung entgegenarbeitet.

ARASKAM steht für Allgemeine, Rekursive, Analytisch-Synthetische Konzept-Amplifikation und meint folgendes:

- Durch eine fehlende Information wird eine Was-Frage ausgelöst. Diese führt zu einer Konkretisierung des Gesuchten oder zu einer Abstrahierung (d.h. Rückführung auf einen Oberbegriff).
- Über Koadjunktionen und Analogieschlüsse werden im ersten Schritt gefundene Informationen integriert.
- Im dritten Schritt wird die Einbettung der Informationen in einen größeren Kontext erarbeitet.

Diese Stufen können – rekursiv – mehrfach hintereinander durchlaufen werden.

Denk- und Selbstbefragungsstrategien wie ARASKAM entstehen über die Zeit durch Erfahrung, sie können aber auch während des Denkprozesses durch ein Hinterfragen der eigenen Strategien entstehen. Damit wird hier durch ein Nachdenken über das Denken das Denken gesteuert.

Dieses Gespräch der Seele mit sich selbst hat starke Auswirkungen auf die internen Prozesse: Das Informationsangebot wird gesteigert, da jetzt nicht nur direkt „erfahrene“ Information verfügbar ist sondern auch „indirekte“ Informationen, die als Ergebnis des Nachdenkens entstanden. Nicht zusammenpassende Informationsbruchstücke können dabei durch einander angepasst werden, indem Szenarien konstruiert werden, die die Lücken zwischen den Informationsbruchstücken schließen. Zudem wird das Bild der Welt durch Sprache abstrakter, da durch die verbesserte Möglichkeit zur Abstraktion (unter anderem über Oberbegriffe) Analogieschlüsse möglich werden. Die Möglichkeit zu Analogieschlüssen wiederum erhöht die geistige Flexibilität.

Kapitel 3. Sprechen und verstehen

Gleichzeitig wird die Welt auch privater, da Menschen durch ihre starke „Nachbearbeitung“ von Eindrücken und Geschehnissen divergierende Weltbilder entwickeln, da Lücken zwischen einzelnen Wissensbruchstücken nicht nur bei verschiedenen Menschen an verschiedenen Stellen sind, sondern auch auf unterschiedliche Art und Weise „gefüllt“ werden.

Das Information besprochen wird, ist beim Menschen vermutlich fest „verdrahtet“, damit Gedächtnisspuren durch den mehrfache Aufruf beim Nachbesprechen verstärkt werden und somit nicht so schnell verfallen, die genaue Art und Weise dieses Besprechens ist aber wieder von Individuum zu Individuum verschieden.

Sprache und Denken hängen hier also ganz intensiv miteinander zusammen, Sprache und Bild interagieren miteinander (vgl. Bart-Storck, 2002) in einem Sprach-Bild-Zyklus, in dem die flexiblere Sprache und die inhaltsreicheren und plastischeren Bilder sich abwechseln und ergänzen. Sprache ist flexibler als Bilder, da sie im Gegensatz zu Bildern, die räumlich-zeitlich begrenzt sind, von der momentanen Konstellation unabhängig Bezüge herstellen kann.

Wiederum eng mit der Interaktion von Sprache und Denken verknüpft ist bei Dörner (1999) die Frage des Bewusstseins: „Bewusstsein heißt Wissen um sich selbst und heißt gegebenenfalls Verwertung dieses Wissens zur Redetermination.“ (Dörner, 1999, S.792), zur Analyse der eigenen Taten und Gedanken und zur darauf folgenden Veränderung dieser. Und für diese Analyse der eigenen Taten und Gedanken ist die Sprache eine ganz wesentliche Voraussetzung, denn um seine eigenen Gedankengänge zu hinterfragen braucht man zunächst ein geeignetes Mittel, und hier steht mit der Sprache ein flexibles zur Verfügung.

Nicht annähernd so eng wird der Zusammenhang zwischen Sprache und Denken in den meisten Ansätzen zur Implementation von Sprache in Computerprogrammen und Robotern gesehen, auch wenn hier *einer* (bei weitem nicht der einzige) der Hauptauslöser und –richtungsgeber verbaler Interaktion von Mensch und Computer die Frage „Können Maschinen denken?“, (vereinfacht) durch die Frage „Können Maschinen in einer verbalen Interaktion vorspielen, ein Mensch zu sein?“, ist.

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

4.1. Der Turing-Test oder: wie alles begann

Spätestens seitdem Computer in jedem Büro stehen gibt es den Traum, mit dem Computer sprechen zu können und nicht auf die eher umständliche Tastatureingabe angewiesen zu sein. Zwar gibt es heute Spracheingabesysteme auf dem Markt (auch wenn die Qualität noch nicht umwerfend ist), aber mit Spracheingabebefehlen kann man den Computer nur mit vorgefertigten Befehlen bedienen, keine Rede davon, dass der Computer wie in StarTrek versteht, was ich will, auch wenn ich ganz normaler Umgangssprache verwende, oder gar versteht, was ich „eigentlich“ sagen wollte. Im Zentrum des Interesses steht Sprache bei Computern aber noch aus einem ganz anderen Grund: dem von Allan Turing entwickelten „Turing-Test“.

Im sogenannten „Turing-Test“ steht die Möglichkeit eines Computers sich verbal auszudrücken im Zentrum der Betrachtung. Aber Alan Turing (1950) ging es bei seiner Argumentation weniger darum, Maschinen Sprache beizubringen als darum, eine Überprüfungsmöglichkeit für die Frage „Können Maschinen denken?“ zu finden. Da sowohl der Begriff „Denken“ als auch der Begriff „Maschine“ alles andere als klar definiert sind, versucht Turing, die Frage „Können Maschinen denken?“ in eine nahe verwandte, aber eindeutiger Frage zu übersetzen. Dazu führte er das sogenannte „Imitationsspiel“ ein. Dieses Spiel funktioniert folgendermaßen: Zunächst werden drei Spieler - ein Mann, eine Frau und ein männlicher oder weiblicher Fragesteller - herangezogen. Dabei ist der Fragesteller allein in einem Raum, seine Aufgabe ist es zu entscheiden, welche der beiden anderen Personen der Mann und welche die Frau ist. Dabei darf der Fragesteller an beide Personen Fragen stellen, und diese müssen Antworten geben. Dabei ist es das Ziel des Mannes, den Fragesteller irrezuführen und das Ziel der Frau ist es, dem Fragesteller zu helfen. Im Turing-Test wird die Rolle des Mannes von der Maschine übernommen, und die Frage lautet dann: „Wird der Fragesteller sich in diesem Fall ebenso oft falsch entscheiden wie dann, wenn das Spiel von einem Mann und einer Frau gespielt wird?“ (Turing, 1994, S.40)

Dieses Vorgehen besitzt den Vorteil, dass physische Besonderheiten des Computers keinen Einfluss auf die Entscheidung des Fragestellers haben, wogegen die Frage-

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Antwort-Methode eine Möglichkeit zu sein scheint, „fast jeden gewünschten Bereich menschlichen Bemühens einzubeziehen.“ (Turing, 1994, S.41).

Turing nahm 1950 an, dass in etwa 50 Jahren Maschinen möglich seien, die das „Imitationsspiel“ so gut spielen, dass nur in sieben von zehn Fragestellungen die Personen richtig identifiziert werden. Diese Erwartung hat sich nicht erfüllt, bis dato gibt es keine Maschine, die einen der Preise, die mit dem Bestehen des Turing-Test verbunden sind, gewonnen hat (vgl. dazu <http://www.loebner.net/Prize/loebner-prize.html>), aber die Idee dieser Fragestellung wird weiterhin verfolgt. Dabei ist der Turing-Test jedoch alles andere als unumstritten; ob man mittels dieses Tests wirklich überprüfen kann, ob eine Maschine denkt ist fraglich (vgl. z.B. Abelson, 1968, Colby 1975, Searle, 1980, Haugeland, 1985, Harnad, 1992).

Dennoch kann man den Turing-Test als eine der großen Anreize dazu sehen, Computern Sprache beizubringen denn – egal wie umstritten der Turing-Test ist –, ihn zu bestehen hat bislang noch kein Computer geschafft, und die Möglichkeit zur Sprache ist eine unbedingt notwendige Voraussetzung für das Bestehen dieses Tests. Der Turing-Test war so ein Ansporn für viele Forscher auf dem Gebiet der Sprache bei Computern und viele Systeme wurden auch nur auf ein Bestehen des Turing-Test hin entwickelt. Dieses Vorgehen dürfte zwar nicht der Intention Turings entsprechen haben, der Sprache ja als Mittel sah, um feststellen zu können, ob Computer denken können, und nicht als Selbstzweck, aber dennoch wird ein Teil der Forschung von dieser Strategie beeinflusst. Wenn im folgenden künstliche Agenten und Theorien zur Sprachverarbeitung vorgestellt werden, dann soll zunächst ihr Inhalt dargestellt werden, eine Kritik und ein Vergleich der einzelnen Ansätze wird in Kapitel 6 erfolgen.

4.2. Ein Computer spricht: Eliza und ihre Nachfolger

4.2.1 ELIZA

Eines der ersten Computerprogramme, mit denen Menschen sich „unterhalten“ konnten war ELIZA (Weizenbaum, 1966). ELIZA hat einen bleibenden Eindruck auf viele Menschen hinterlassen und die Forschung (nicht nur) innerhalb der KI stark beeinflusst. Dass ein Computerprogramm spricht und auch noch zu verstehen scheint, hat vor allem im Bereich der Psychotherapie zu – verfrühter – Hochstimmung gesorgt. So meinte Colby (Colby et al 1966, Übersetzung nach Weizenbaum 1980, S.17) „Es ist noch einiges an Arbeit zu leisten, bis das Programm [ein ELIZA nachempfundenes

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Programm, Anmerkung des Autors] für klinische Zwecke eingesetzt werden kann. Wenn sich die Methode bewähren sollte, so hätten wir damit ein therapeutisches Werkzeug, das man all den Nervenkliniken und psychiatrischen Zentren an die Hand geben könnte, die über zu wenig Therapeuten verfügen.“ Doch für diesen Zweck war ELIZA nie entworfen worden – im Gegenteil, ELIZA war geschrieben worden um Menschen zu zeigen, „wie leicht sie sich von einem Computer hinters Licht führen lassen, indem sie annehmen, er verstehe, was sie sagen. Das Experiment ging voll daneben.“ (Strahm, 2002, S.65) – und Weizenbaums (1980) reagierte auf diese Zukunftsvisionen alles andere als begeistert.

ELIZA ist der Vorläufer aller modernen Chatbots¹¹, sie war das erste Programm, mit dem man „Unterhaltungen“ in natürlicher Sprache führen konnte. Solche „Unterhaltungen sehen beispielsweise so aus:

Eliza: Hi. I'm Eliza. Tell me your problems!
You : Hello Eliza.
Eliza: How are you? Tell me...
You : I'm fine. How are you?
Eliza: Why are you so interested whether I am or not?
You : I only wanted to know if you feel well.
Eliza: Perhaps you would like to talk about a problem?
You : I bet you have a problem.
Eliza: Come on! I'll tell nobody about your problems!
You : If you would, I would rip your heart out and eat it raw ¹²
Eliza: Why are you so shocked about my heart out and eat it raw?
You : Just watched too much StarTrek.
Eliza: What does this mean for you, saying „Just watched too much StarTrek “?
You : That I've seen too many Voyager episodes.
Eliza: You really have seen too many Voyager episodes?
You : Well, 150 is too many, isn't it?
Eliza: I understand!
You : I don't think so.
Eliza: We have to find the reason why you don't think so!
You : Because you don't know what I'm talking about.
Eliza: How long are you talking about?
You : Nye, Eliza. I'll find another Chatbot.
Eliza: I think that we want to speak about you and not about me?
You : Bye!
Eliza: Bye Bye. It was interesting to talk with a lower intelligence.

Abbildung 21: Interview mit ELIZA (<http://www.stud.uni-karlsruhe.de/~unoh/eliza/>)

¹¹ „A chatbot is a program that attempts to simulate typed conversation, with the aim of at least temporarily fooling a human into thinking they were talking to another person.“ Laven (www.simonlaven.com), zitiert nach Storp (2002)

¹² Hier handelt es sich um ein Zitat aus einer StarTrek Voyager-Episode („Remember“), in der eine ziemlich temperamentvolle Cheffingenieurin mit diesen Worten den Ersten Offizier (und guten Freund) davor warnt, ein Geheimnis zu verraten

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Es gibt zwar auch deutschsprachige ELIZA-Versionen, die sind aber in aller Regel schlechter als die englischsprachigen. Doch auch der englischsprachigen Version merkt man ziemlich schnell an, dass sie nicht versteht, um was sich das Gespräch dreht. Wenn Eliza ganze Satzfragmente des Fragestellers wieder als eigene Fragen verwendet („Why are you so shocked about my heart out and eat it raw?“) passieren sowohl grammatische Fehler als auch inhaltliche Unstimmigkeiten und die Reaktion auf solche Sätze unterscheidet sich fundamental von der eines Menschen. Zwar war die vorgestellte Unterhaltung alles andere als „fair“ gegenüber ELIZA, da es sich um Hintergrundwissen handelt, dass das Programm kaum haben konnte, aber auch bei „normalen“ Themen finden sich schnell ähnliche Fehler. Doch wie funktioniert ELIZA?

Das Programm sucht innerhalb der vom Benutzer eingegebenen Wortkette nach einem Schlüsselwort. Wird so ein Schlüsselwort gefunden, dann wird der Satz gemäß einer zum Schlüsselwort gehörenden Regel transformiert und zurückgegeben. Wird kein Schlüsselwort gefunden oder treffen die Kontextbedingungen eines Schlüsselwortes nicht zu, wird eine nicht-inhaltsbezogene Bemerkung (wie „Das ist ja interessant!“) ausgegeben, oder die Äußerung des Gegenübers in eine Frage verwandelt: „What does this mean for you, saying ‚Just watched too much StarTrek?‘“. Kommen in einem Satz mehrere Schlüsselwörter vor, kann nach dem Rang eines Schlüsselwortes vorgegangen werden. Hierzu muß es eine intern vorgegebene, feste Rangfolge der verschiedenen Schlüsselwörter geben. Der Eingabesatz des Benutzers wird von links nach rechts abgetastet. Wenn nach dem ersten Schlüsselwort noch ein zweites Schlüsselwort entdeckt wird, dann wird der Rang dieses zweiten Schlüsselwortes mit dem des ersten verglichen; wenn der Rang des zweiten Schlüsselwortes höher ist als der des ersten wird auf das zweite Schlüsselwort reagiert. Schlüsselwörter und die ihnen zugehörigen Transformationsregeln bilden das Skript für eine bestimmte Art von Konversation, sie bilden quasi das „Wissen“ und die „Persönlichkeit“ von ELIZA, sie werden dem Programm vorgegeben. Das ELIZA-Programm stößt während einer Konversation auf folgende Probleme:

1. Identifikation des wichtigsten Schlüsselworts im Input.
2. Identifikation des minimalen Kontextes des Schlüsselwortes, z.B. ob auf das „you“ ein „are“ folgt, was auf eine Aussage hinweisen würde.

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

3. Auswahl einer angemessenen Transformationsregel und das Durchführen der Transformation.
4. Bereitstellung eines Mechanismus, der es ELIZA ermöglicht, „intelligent“ zu reagieren, wenn kein Schlüsselwort gefunden wird.
5. Bereitstellung einer Eingabemöglichkeit, welche die Bearbeitung, vor allem die Erweiterung des Skripts ermöglicht (Weizenbaum, 1966, S.39, Übersetzung des Autors)

ELIZA zerlegt also Sätze in Teile, die sie „versteh“ (d.h. Schlüsselwörter bzw. deren Minimalkontext) und den „Rest“:

(1)	(2)	(3)	(4)
It seems that	you	hate	me

Abbildung 22: Zerlegung eines Satzes in seine Teile, aus Weizenbaum, 1966, S.40.

In diesem Fall „versteh“ ELIZA nur die Teile (2) und (4), die zugehörige „Erkennungsregel“ lautet (0¹³ YOU 0 ME), die Ausgaberegeln (WHAT MAKES YOU THINK I 3 YOU) und entsprechend lautet ELIZAS Antwort dann auch „WHAT MAKES YOU THINK I HATE YOU“.

Trotz dieser relativ einfachen Mechanismen und den bei ELIZA noch sehr begrenzten Scripten (begründet durch damaligen Computergeschwindigkeiten und die Tatsache, dass ELIZA der erste „Chatbot“ war) war ELIZA für ihre Gesprächspartner doch mehr als nur eine Maschine. Weizenbaum (1980) beschreibt, dass seine Sekretärin ihn bat, den Raum zu verlassen als sie sich mit ELIZA unterhielt. ELIZAs „Gesprächskompetenz“ basiert aber auch zum großen Teil aufgrund ihrer Konzeption als „Psychotherapeut“: „If, for example, one were to tell a psychiatrist ‘I went for a long boat ride’ and he responded ‘Tell me about boats’, one would not assume that he knew nothing about boats, but that he had some purpose in so directing the subsequent conversation.” (Weizenbaum, 1966, S.42)

Problematischerweise funktionieren diese einfachen Ersetzungsregeln nicht immer und es kommt nicht nur zu inhaltlich sinnlosen sondern auch zu grammatisch falschen

¹³ 0 steht hier für eine beliebige Anzahl von Wörtern

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Antworten: „Why are you so shocked about my heart out and eat it raw?“, so dass sich auch der freundlichste Leser Gedanken macht, ob dieser Satz wirklich von einem Menschen formuliert worden sein kann. Und dieses Problem stellt sich auch heute noch bei den neueren Chatbots, ELIZAS Nachfolgern.

4.2.2 Elizas Nachfolger

Die meisten moderneren Chatbots, allen voran „PC Therapist“ von Weintraub, der von 1991 bis 1993 und 1995 die Bronzemedaille¹⁴ des LOEBNER-Prize gewann und der schon in seinem Namen Ähnlichkeiten zur Programmkonzeption von ELIZA erkennen lässt, stehen noch in der Tradition von ELIZA. Chatbots sind nach wie vor modular aufgebaute Reiz-Reaktions-Systeme, die auf einen sprachlichen Input hin einen ihrer internen Datenbank zufolge passenden Output liefern (die folgenden Ausführungen über Chatbots stützen sich auf Storp 2002).

Ein Chatbot besteht nach wie vor aus einer Wissensdatenbank, welche Schlüsselwörter und Antworten enthält, dem eigentlichen Programm, das das Gespräch koordiniert, also Eingaben abtastet, die Wissensbasis aktiviert und Antworten ausgibt, und einer Protokollfunktion, die bisherige Gespräche für den Entwickler aufzeichnet. Unterschiede zwischen den einzelnen Systemen gibt es in der Flexibilität und der Größe der Datenbanken und den Steuerungsprogrammen; einige Systeme generieren Antworten aus vorgegebenen Fragmenten selbst, andere suchen aus einer vorgegebenen Menge von Antworten per Zufall eine Antwort aus. Auch der Umfang, in dem die Eingabe überprüft wird - ob nur der erste oder auch folgende Sätze innerhalb einer Eingabe untersucht werden - unterscheidet sich von Chatbot zu Chatbot, das Ausmaß ihres „Gedächtnisses“ (ob bestimmte Teile der Eingabe, wie z.B. der Name des Gesprächspartners, gespeichert und später im Gespräch wieder verwendet werden) und die Lernfähigkeit (ob neue Stichwörter selbständig in die Datenbank aufgenommen werden oder erst vom Entwickler neu eingegeben werden müssen) ist je nach Chatbot unterschiedlich.

Das Siegersystem des Jahres 1994, TIPS von Thomas Wahler, orientierte sich in seinem Aufbau an klassischen Datenbanksystemen und hatte ab 1995, als die Einschränkung des LOEBNER-Prize auf begrenzte Themengebiete aufgehoben wurde, keine

¹⁴ Die Bronzemedaille im LOEBNER-Prize bekommt das menschenähnlichste System eines Jahres, auch wenn der eigentliche LOEBNER-Prize bis heute nicht vergeben wurde.

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Gewinnchance mehr. 1996 hieß der Gewinner HeX (von James Hutchens). Dieses Programm verfügt über drei „Erkennungsschritte“: zunächst wird überprüft, ob in einem eingelesenen Satz Schlüsselwörter vorhanden sind. Wenn sich zu einem dieser Schlüsselwörter im „Gedächtnis“ von HeX eine ausformulierte und im Gespräch noch nicht benutzte Antwort findet, dann wird diese ausgegeben. Wenn dem nicht so ist, überprüft das Programm die Eingabe auf mathematische Fragen und Nonsens-Eingaben. Wenn auch dieser Schritt nicht zum Erfolg führt wird ein weiteres Modul aktiviert: MegaHal, der eigentliche Chatbot. MegaHal ist in der Lage, Sätze zu analysieren und darauf selbständig Antworten zu generieren, diese Antworten werden dann mit Schlüsselwörtern in der Eingabe abgeglichen. Das besondere an MegaHal ist, dass es selbständig lernfähig ist. Diese Eigenschaft hatten auch die Siegerprogramme von 1998 und 1999: FRED und Albert One von Robby Garner, allerdings generieren diese Programme keine eigenständigen Antworten. Der im Moment im Internet wohl präsenteste Chatbot ist der Gewinner von 2000 und 2001: ALICE (Artificial Linguistic Computer Entity). ALICE kann gesprochene Antworten generieren und „lernt“ gerade, Eingaben in gesprochener Sprache zu verstehen (nach Storp, 2002).

Die heutigen Chatbots werden zwar immer besser darin, sich bei verfänglichen Fragen aus der Affäre zu ziehen, aber was sich in ihrem Verhalten eigentlich zeigt ist eher die Intelligenz des Programmierers als die des Computers. Chatbots wissen nicht, über was sie reden, ihnen ist kein einziger Gegenstand als solcher bekannt, ihnen fehlt eine Umwelt, in der sie Kontakt zu einer Realität aufnehmen könnten. Dieses Defizit von Chatbots wollte Winograd (1973) mit SHRDLU umgehen.

4.3. Ein großer Schritt: SHRDLU

Einer der ersten Ansätze, einem Computer Sprache zu verleihen stammt von Winograd (1973). Zwar waren sowohl Eliza (Weizenbaum, 1966) als auch Student (Bobrow, 1967) früher entwickelt worden, aber sie verfügten wie oben ausgeführt nur über eine sehr begrenzten Art von „Verstehen“. Auch gab es Vorgehensweisen, die zwar zum gewünschten Erfolg führten, aber psychologisch unplausibel sind (Winograd, 1973, verweist auf Green, 1969).

Winograd (1973) geht zunächst darauf ein, dass die meisten Untersuchungen zur Sprache diese in verschiedene Teile aufsplintern, und dann separat untersuchen. Questioning-answering Systeme (wie BORIS von Lehnert et al. 1983) müssen mit der

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

gesamten Sprache umgehen, aber sie sind in der Breite ihrer Sprachfähigkeit stark begrenzt. Der Versuch, große Mengen sprachlicher Daten zu verarbeiten wurde bisher nur in der maschinellen Übersetzung unternommen, und hier müssen noch viele Probleme bewältigt werden, vor allem auch, weil diese Systeme auf der Basis einzelner Sätze übersetzen und keinen Kontext berücksichtigen (die hier angeführte Argumentation ist die Winograds aus dem Jahre 1973!). Winograd (1973) möchte ein Programm vorstellen, das in einem begrenzten Rahmen Sprache versteht, indem es ein Modell des momentan Besprochenen erstellt und den Kontext beachtet. Dafür zeigt er zunächst auf, welche Strukturen im Sprachgebrauch (am Beispiel des Pronomens „him“) eine große Rolle spielen:

- Um „him“ zu verstehen braucht es eine Kenntnis der komplexen syntaktischen Struktur des Satzes (wann benutzt man „him“, wann „himself“) und semantischer Fakten: „him“ meint jemanden, der lebt und männlich ist.
- Wird „him“ verwendet, ist es wahrscheinlich, dass der Bezeichnete zuvor in diesem Satz oder Kontext benannt wurde, und wenn jemand im vorherigen Satz und ein anderer weiter hinten in der Satzstruktur benannt wurde, dann ist es wahrscheinlicher, dass ersterer gemeint ist.
- Dann gibt es noch den Level des Weltwissens, dem gemäß ein Satz interpretiert werden muß. Dies ist für Computermodelle schwierig, aber in einer kleinen Welt erreichbar. Bei Winograd wurde eine Bausteinwelt benutzt, mit der ein simulierten Roboterarm interagierte.

SHRDLU ist ein simulierter Roboter, der in einer Klötzchenwelt „lebt“. Er kann mittels geschriebener Dialoge Unterhaltungen mit Menschen über seine „Klötzchenwelt“ führen. Das Programm kann Fragen beantworten, Befehle ausführen und neue Fakten im Rahmen seiner Welt (Roboterarm in Klötzchenwelt) aufnehmen.

Um dem Programm die Möglichkeiten eines natürlichen Sprechers zu verleihen, besteht es – grob – aus diesen drei Teilen: (1) einem Parser, (2) semantischen Routinen, um die Bedeutung von Wörtern und Strukturen zu erfassen und (3) einem deduktiven kognitiven System, das die Folgen von Ereignissen exploriert. Zusätzlich gibt es noch einen Ausgabemechanismus, der angemessene englische Antworten generiert.

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Ein bestimmtes Wissen über seine Welt ist dem Programm vorgegeben, ebenso eine Anzahl von Wörtern. Das einzige, was es noch lernen kann ist „Eigentum“, neue Namen (z.B. „Nenn den größten Block ‚Superblock‘“) und Formationen von Objekten („Nenne die drei aufeinandergestapelten Objekte ‚Stapel‘“).

Bedeutungen werden in einer Datenbank gespeichert, die alles beinhaltet, was zu einem bestimmten Zeitpunkt wahr ist. Dabei werden die einzelnen Fakten in der Form “Is B1 Block” gespeichert. „The symbols used in these expressions represent the concepts (or conceptual categories) that form the vocabulary of the language user’s cognitive model. A concept corresponds vaguely to what we might call a single meaning of a word, but the connection is more complex. Underlying the organization is the belief that meaning cannot be reduced to any set of pure ‘elements’ or components from which everything else is built. Rather, a person categorizes his experience along lines which are relevant to the thought processes he will use, and his categorization is generally neither consistent, nor parsimonious, nor complete. A person may categorize a set of objects in his expression into, for example ‘chair’, ‘stool’, ‘bench’ etc. If pushed, he cannot give an exact definition for any of these, and in naming objects he will not be certain how to make the choice between them. (...) The meaning of any concept depends on its interconnection with all of the other concepts in the model.” (Winograd, 1973, S.168). Diese Charakterisierung von Bedeutung wurde von den meisten formalen Ansätzen zur Sprache vermieden.

Die Verknüpfungen zwischen Konzepten sind über einzelnen Prozeduren wie CLEARTOP, GRASP, ... in einem System namens PLANNER (Hewitt, 1971) geregelt. Es gibt eine Ziel-Unterziel Struktur, durch die erst W-Fragen wie „Warum hast du das getan?“ möglich werden, „Wie“-Fragen werden durch den Blick auf die Unterziele beantwortet.

Für eine Semantische Analyse ist zunächst wichtig, wie Objekte definiert werden, ein Kubus beispielsweise als rechteckig und manipulierbar. Sätze wie Chomskys berühmtes „Colorless green ideas sleep furiously“ werden über eine Anwendbarkeitsprüfung der Operatoren sofort ausgeschlossen. Menschen können solche Sätzen problemlos Bedeutung zuweisen (vgl. Bartl-Storck, 2004), bei SHRDLU (und den anderen hier vorgestellten Agenten) ist dies jedoch weder enthalten noch vorgesehen.

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Bei der Interpretation von Äußerungen stellt sich das Problem, dass Wörter verschiedene Bedeutungen haben können. In diesem Programm ist die Definition jedes Wortes ein Programm, das aufgerufen wird, wenn das Wort vorkommt. Das gilt noch mehr für Wörter wie „the“, „that“, ...

Um die einzelnen Worte gemäß ihrer Position im Satz zu behandeln, beinhaltet das Programm einen Parser und eine englische Grammatik. Zuerst wird die Satzstruktur in einzelne Einheiten (z.B. Nominalphrasen, Verbalphrasen) zerlegt, die für die Bedeutung eine Rolle spielen. Für jede Einheit gibt es ein Syntax-Programm, das die Zeichenkette nach diesen Einheiten absucht, und weitere syntaktische Programme (inklusive sich selbst) anstößt, die dann die einzelnen Phrasen in einer bestimmten Reihenfolge weiter aufarbeiten. Dabei werden die einzelnen Stufen des Programms nicht einfach hintereinander abgearbeitet, sondern greifen ineinander: „Our program does not operate by first parsing a sentence, then doing semantic analysis, and finally by using deduction to produce a response. These three activities go on concurrently throughout the understanding of a sentence. As soon as a piece of syntactic structure begins to take shape semantic program is called to see whether it makes sense, and the resultant answer can direct the parsing.” (Winograd, 1973, S.182)

Winograd diskutiert auch auf die Grenzen seines Ansatzes: Es handelt sich um einen ersten Versuch, Sprachverstehen zu simulieren, der nicht Punkt für Punkt auf den Menschen übertragen werden darf. Auch fehlen einige Bereiche, wie z.B. hypothetische Fragen, völlig. SHRDLUs Sprachfähigkeit ist von völlig anderer Art als die ELIZAs. Zwar kann er nur mit einem wesentlich geringeren möglichen Sprachinput umgehen, aber er kann mit einem Begriff wie z.B. „Block“ tatsächlich ein Objekt verbinden, und er kann Anweisungen bezüglich dieses Blocks bearbeiten. Er verfügt über eine Welt und kann Fragen über Gegenstände in dieser Welt beantworten. Allerdings ist ihm immer noch ein Teil seines Wortschatzes vorgegeben, seine Welt ist sehr begrenzt und er verfügt weder über eine eigene Motivation noch über Emotionen oder eigene Pläne.

4.4. Sprechende Roboter: Talking Heads und Aibo

Luc Steels' (Steels 2001, Steels, 1999, Steels, 1997, Steels & Kaplan 2000, Steels & Vogt 1997) Ansatz unterscheidet sich in drei Punkten wesentlich von den zuvor vorgestellten Ansätzen: er arbeitet mit Robotern, diesen ist kein Wortschatz vorgegeben sondern sie müssen ihren Wortschatz erst erwerben und Steels möchte durch die

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Implementation von Sprache in Roboter eine Theorie der Sprachentwicklung testen, denn „How else can we test the operational adequacy of a proposed cognitive model, given the enormous complexity involved?“ (Steels, 1999, S.29). Dabei ist der Bau eines künstlichen Systems zwar kein Beweis dafür, dass die in diesem System steckenden Prinzipien auch für die Natur gelten, aber man erhält wertvolle Einsichten in derart komplexe Phänomene wie die menschliche Kognition. Gerade dieser Punkt bezeichnet einen großen Unterschied auch zu SHRDLU, aber vor allem zu ELIZA und anderen Chatbots. Steels (1999) setzt sich das Ziel, die fundamentale Frage, wie Sprache und Bedeutung ursprünglich entstanden sind, anzusprechen. Dies möchte er nicht durch historische Rekonstruktion oder durch Untersuchungen am Spracherwerb bei Kindern erreichen, sondern auf eine viel allgemeinerer Art und Weise: Er möchte herausfinden, wie ein Agent ein Repertoire von Kategorien erwerben kann und wie eine Gruppe von Agenten ein gemeinsames Kommunikationssystem entwickeln kann, welches genauso komplex ist wie die menschliche Sprache.

Seine Grundhypothesen sind dabei (1) dass Sprache durch Selbstorganisation aus den Interaktionen der Sprachbenutzer entsteht und dabei spontan komplexer wird um die Zuverlässigkeit und den Transfer zwischen den Generationen zu verbessern, (2) dass Bedeutung zu Beginn sehr konkret ist und zunächst stark auf der Umwelt eines Agenten und seinen körperlichen Erfahrungen fußt, (3) votiert er für eine biologische Metapher anstelle der Maschinenmetapher für menschliche kognitive Prozesse, er geht von der Annahme aus, dass es auch bei kognitiven Prozesse Selektionsprinzipien gibt, und (4) geht er davon aus, dass “grammar spontaneously arises when generic capabilities to categorize reality, store past events in terms of abstract schemas, remember association between events, etc., reach a critical level and are applied to language itself.” (Steels, 1999, S.4 f). Um linguistisches Wissen zu speichern, werden Gedächtnisinhalte strukturiert, werden abstrakte Schemata und Kategorien eingeführt. Diese Organisationseinheiten werden dann externalisiert, die Kategorien werden durch bestimmte Wortformen gekennzeichnet, Rollen durch bestimmte Positionen im Ausdruck gekennzeichnet. So wird die Zuverlässigkeit der Kommunikation gesteigert, und wenn neue Sprecher die Sprache lernen bekommen sie zusätzliche Hinweise, was die Bedeutung und die Funktion unbekannter Wörter sein kann.

Zum Testen seiner Hypothesen lässt Steels seine „Talking Heads“ sogenannte language games spielen. Diese enthalten alle wichtigen Aktivitäten, die laut Steels (1999) für eine

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

funktionierende Kommunikation gebraucht werden, nämlich optische Wahrnehmung, Gesten, Mustererkennung, Sprachanalyse und –synthese, Konzeptfindung, Verbalisation, Interpretation und Folgeaktionen. Um ein solches language game erfolgreich zu spielen müssen auch Lern-Algorithmen enthalten sein, die dem Roboter helfen, neue Konzepte und die Bedeutung neuer Phrasen zu lernen. Ein language game besteht darin, dass einer der Beteiligten ein Wort äußert und der andere diesem Wort das entsprechende Objekt zuordnet.

Das language game hat für Steels (2001) vor allem den Vorteil, dass hier das grounding Problem gelöst wird, da in der Kommunikationssituation ein starker Kontext vorhanden ist, der die möglichen Bedeutungen eines Wortes stark einschränkt und es dem Roboter so vereinfacht, die Bedeutung eines unbekanntes Wortes zu erfassen. Language games finden auch im täglichen Leben statt: Wenn wir unseren Tischnachbarn (zwar unhöflich, aber durchaus verständlich) mit dem Wort „Salz“ auffordern, uns das Salz zu reichen, und er uns dann das gewünschte Objekt gibt, dann hat er schon einige Leistungen vollbracht: Er hat das Wort „Salz“ erkannt, seine Bedeutung erfasst, das Objekt gefunden und schließlich gegeben. Wenn unser Nachbar nun Ausländer gewesen wäre und kein Deutsch verstanden hätte, dann wäre dieses language game nicht erfolgreich verlaufen.

Diese Spezialform des language games ist das guessing game. Hier versucht der Sprecher, die Aufmerksamkeit des Hörers auf ein Objekt in der Umgebung zu lenken und der Hörer muss entschlüsseln, was genau der Sprecher meint. Wenn dem Hörer das benutzte Wort oder die Erscheinungsform eines Gegenstandes in der momentanen Umgebung unbekannt ist, kann er die Situation nutzen, um die Bedeutung oder ein neues Konzept zu erlernen.

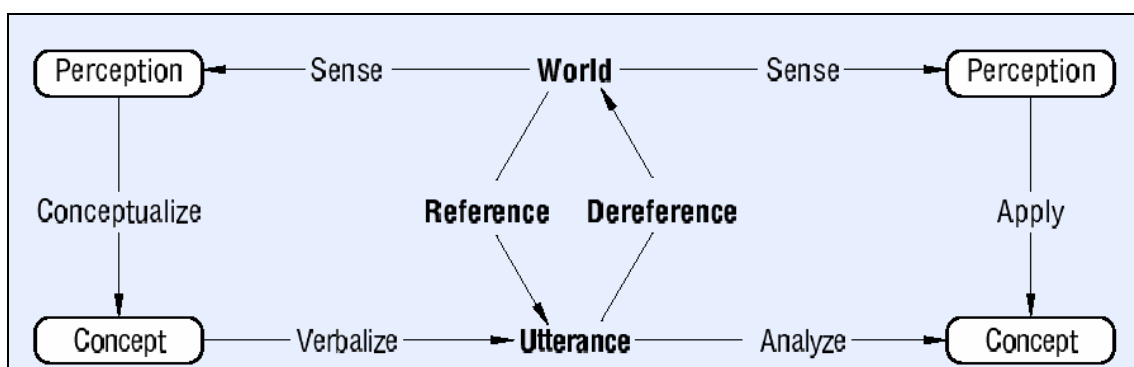


Abbildung 23: Das guessing game (aus Steels, 2001, S.17)

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Eine Besonderheit bei den Projekten von Steels ist es, dass bei ihm Roboter Sprache erwerben. Hier stellen sich etliche Probleme, die sich beim Dialog zwischen einem Menschen und einem Computerprogramm nicht stellen müssen. So ist es schwieriger, die Aufmerksamkeit von Sprecher und Hörer (beides Roboter) auf das selbe Objekt zu lenken, beide Roboter sehen das Objekt aus einer unterschiedlicher Perspektive, sie können nicht telepatisch kommunizieren (während bei der Mensch – Computerprogramm-Interaktion ja direkt auf das „Objektkonzept“ des Programms zugegriffen werden kann, d.h. auf die „Gedanken“ des Computerprogramms gelesen werden können), Sprecher und Hörer müssen nicht das selbe Wissen über Sprache haben und die Sprache muss erst erkannt werden.

Zuerst wurde das language game mit den Talking Heads durchgeführt, zwei mit jeweils einer Kamera verbundenen Rechnern, die beide einer Tafel mit bunten geometrischen Figuren gegenüberstanden. Jeder dieser Roboter besteht aus fünf Bauteilen (nach Steels, 1999), nämlich (1) einer Kamera, die gedreht und gekippt werden kann, (2) einem Lautsprecher für Sprachausgabe und einem Mikrophon für Spracheingabe, (3) einem Computer, in dem sowohl die kognitive Architektur des Agenten als auch Kontrollsoftware für die Kamera und die Sprachein- und -ausgabe enthalten sind, (4) einem Fernsehmonitor, der dem Versuchleiter zeigt, was der Roboter im Moment sieht und (5) einem Computermonitor, der dem Versuchsleiter zeigt, was gerade im „Gehirn“ des Agenten vorgeht.



Abbildung 24: Talking Heads, aus Steels, 1999, Abbildung 1

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Innerhalb der Agenten läuft die Signalverarbeitung in insgesamt fünf verschiedenen „cognitive layers“ ab (Steels, 1999), welche die für das guessing game notwendigen kognitiven Funktionen beinhalten:

- Ein „perceptual layer“, der für die Verarbeitung des Bildes verantwortlich ist. Er zerlegt das Bild in Segmente und sammelt über jedes der Segmente Daten wie Farbe, Größe, Position oder Form.
- Ein „conceptual layer“, der das zerteilte und vorverarbeitete Bild kategorisiert und konzeptualisiert. Dieses basiert auf einem selbstgenerierten und sich entwickelnden Repertoire von Kategorien wie rot – grün, klein – groß.
- Ein „lexical layer“, der ein sich entwickelndes Repertoire an Verbindungen zwischen Wort und Bedeutung verwaltet (= Lexikon) und der für den Aufruf des Lexikons beim Parsen oder beim Produzieren von Äußerungen verantwortlich ist.
- Ein „syntactic layer“, der grammatische Schemata für die Organisation von Wörtern in größeren Strukturen übernimmt und der auch für das Erkennen solcher Strukturen und die Rekonstruktion der Bedeutung zuständig ist.
- Einen „pragmatic layer“, der die Skripts für language games ausführt und für die Interaktionen mit anderen Agenten in einer gemeinsamen Umgebung zuständig ist.

Wenn der Agent ein Wort in Zusammenhang mit einer Bedeutung kennenlernt, dann wird die Bedeutung diesem Wort zugewiesen. Da es bei einer solchen Kommunikation immer auch zu unklaren Zuweisungen kommen kann (d.h. nicht klar ist, auf welche Bedeutung sich ein Wort genau bezieht) werden den Wörtern Werte angeheftet, die umso höher sind, je häufiger ein Wort im language game erfolgreich war (und entsprechend niedriger werden, wenn ein Wort nicht erfolgreich war).

	coba	zapo	bila	pama	wabidu	limiri
[DARK]	0.3	0.2	0.1	0.8	-	-
[LARGE]	-	-	-	0.5	0.3	0.6

Abbildung 25: Aus Steels, 1999, S.126: hier wird pama für [DARK] und limiri für [LARGE] bevorzugt

Der Kontext für das language game zweier Roboter ist die Tafel mit den Symbolen, das Thema ist eines der Symbole. Dabei beschreibt / benennt ein Agent ein Objekt, der andere Agent muss dieses Objekt erkennen. Dies ist problemlos, solange Sprecher und

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Hörer das selbe Wort für das selbe Objekt benutzen. Die Agenten halten außerdem fest, welche Wörter wie erfolgreich zum Benennen von Objekten waren. Erfolgreiche Wörter werden bei der Benutzung bevorzugt, nicht-erfolgreiche Wörter werden immer weniger benutzt bis sie schließlich ganz verschwinden. Probleme erscheinen (nach Steels & Vogt, 1997) jedoch, wenn:

- a) Der Sprecher für ein Objekt oder eine Eigenschaft eines Objektes kein Wort hat. In diesem Fall erfindet der Agent ein neues Wort auf Basis eines vorgegebenen Alphabets.
- b) Der Hörer ein Wort nicht kennt, das der Sprecher verwendet. Dann muss der Hörer aus dem Kontext erschließen, was der Sprecher meint. In den meisten Fällen wird dies nicht eindeutig möglich sein und so kommt es zu Ambiguitäten in der Beziehung zwischen Wort und Bedeutung. Mit weiteren Verwendungen dieses Wortes wird die vom Sprecher intendierte Bedeutung klar, alle anderen möglichen Bedeutungen fallen weg.
- c) Der Sprecher „versteht“ unter einer Bezeichnung etwas anderes als der Hörer. Solche Wörter werden mit der Zeit aus dem benutzten Wortschatz verschwinden, da sie nicht zu einem erfolgreichen language game führen.
- d) Die vom Hörer entschlüsselte Bedeutung passt nicht zum vorgegebenen Kontext. In diesem Fall wird vorgegangen wie bei einem nicht verstandenen Wort.

Mittels dieser language games entwickeln auch Gruppen von Agenten einen Wortschatz, der solange stabil bleibt wie nicht zu viele Agenten neu in die Gruppe kommen (und dementsprechend den Wortschatz erst erlernen müssen).

Während die Talking Heads im Grunde zwei sich meistens miteinander unterhaltende Rechner mit Kameras sind, ist der Roboterhund AIBO nicht nur (laut Kaplan, 2000) einer der komplexesten zur Zeit existierender Roboter, er ist auch auf den Umgang mit Menschen hin entwickelt worden. Der von Kaplan (2000) und Steels & Kaplan (2000) verwendete AIBO ist eine verbesserte Version des „normalen“ käuflich zu erwerbenden AIBOs. Er verfügt über mehr Rechenleistung als der ursprüngliche AIBO und über die Fähigkeit zur Spracherkennung.



Abbildung 26: Der Roboterhund AIBO™ (Sony)

AIBO lernt Wörter, indem ihm Dinge gezeigt werden und dazu das entsprechende Wort genannt wird. Dabei kann sich für AIBOs Augen (eine Kamera) ein Objekt von verschiedenen Seiten und bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen völlig anders darstellen. Ein Dialog zwischen einem Menschen und AIBO kann sich folgendermaßen darstellen (nach Steels & Kaplan, 2000):

1.	Human:	Stand	(der Roboter hat schon Befehle erworben)
2.	Human:	Stand up.	
3.	Human:	Look	
4.	Human:	ball	
5.	Aibo:	ball?	
6.	Human:	Yes	
7.	Human:	What is it?	
8.	Aibo:	Ball	
9.	Human:	Good	

Abbildung 27: Unterhaltung mit AIBO nach Steels & Kaplan (2000)

AIBO nimmt Objekte als Ganzes wahr, denn „Object segmentation is notoriously difficult and generally believed to be impossible, unless there is a clear template of the object available” (Steels & Kaplan, 200, S.17). Weiterhin verfügt AIBO von jedem Objekt über verschiedene Ansichten. Das diese verschiedenen Ansichten alle zu einem Objekt gehören ist für AIBO daran erkennbar, dass alle diese verschiedenen Ansichten mit einem Wort bezeichnet sind. AIBO lernt Wörter durch Verstärkungslernen, ein positives Feedback wird durch das Wort „good“ gegeben, ein negatives Feedback durch das Wort „no“.

Auch Befehle erlernt AIBO durch Verstärkungslernen (Kaplan et al 2002): zufällig aufgetretenes (dem Zielverhalten auch nur ähnliches) Verhalten wird solange verstärkt (bei AIBO durch ein Streicheln über den Kopf), bis das Zielverhalten gezeigt wird. Erst wenn der Roboter das Verhalten gelernt hat, wird das zugehörige Wort ausgesprochen und kann so mit dem Verhalten verbunden werden.

AIBOs Erlernen von Wörtern ist durch den Kontext, in dem das Lernen stattfindet beschränkt: das language game, AIBOs Eigenständigkeit und den Trainer. So geht es im language game um Klassifikation (siehe den obigen Gesprächsausschnitt mit AIBO), und AIBO erwirbt den dafür notwendigen Wortschatz. AIBOs Eigenständigkeit (d.h. seine Bewegungsfreiheit) erschwert das Lernen: es kann sein, das AIBO zu dem Zeitpunkt, an dem das einen Gegenstand bezeichnende Wort ausgesprochen wird, schon wieder ein anderes Objekt ansieht und damit eine nicht den Vorstellungen des Trainers entsprechende Wort-Ding-Verbindung aufbaut. Entsprechend hängt AIBOs Lernerfolg auch stark von der Aufmerksamkeit und Zuwendung des Trainers ab: je weniger intensiv sich der Trainer um AIBO kümmert, desto schlechter wird AIBO im Klassifikationsspiel.

4.5. Können Computer überhaupt Sprache verstehen?

Doch ist das, was ELIZA, SHRDLU, die Talking Heads und AIBO können überhaupt Sprache? Bei ELIZA und den anderen Chatbots fällt bei genauerem Betrachten die Antwort ziemlich eindeutig aus: mit menschlicher Sprache haben diese Fähigkeiten recht wenig zu tun. Oder doch? Und was ist mit SHRDLU, den Talking Heads und AIBO? Zu den größten Kritikern von „sprechenden“ Computern gehören ELIZAs Erfinder Joseph Weizenbaum und John R. Searle.

Für Weizenbaum können (diese Art von) Computer Sprache nicht verstehen, denn „Verstehen bedeutet nachempfinden können. Wie soll ein Computer einen Menschen mit Lebensgeschichte und einem Körper, der sich entwickelt und verfällt, nachempfinden können?“ (Strahm, 2002, S.65). Auch in der Zukunft ist es für weiterentwickelte Computer laut Weizenbaum nicht möglich, diese Erfahrungen zu machen, denn „Ein Computer kann nie eine dem Menschen vergleichbare Lebensgeschichte haben. Diese Einheit von Körper und Geist, Sein und Entwicklung kann man nicht nachbilden“ (Strahm, 2002, S.65). Und Weizenbaum (1990) verallgemeinert, dass ein Computer höchstens simulieren könne, Gefühle zu haben und demzufolge Sprachverstehen für jeden Computer nur in dem Sinne möglich sei, wie es für ELIZA möglich ist, er könne also höchstens so tun als ob er etwas verstände, aber niemals wirklich verstehen.

Doch an dieser Stelle verallgemeinert Weizenbaum meines Ermessens ELIZA zu stark. ELIZA fehlt eine Außenwelt, ihr fehlt eine Motivstruktur, ihr fehlt die Möglichkeit, Emotionen zu haben und ihr geht ein eigenständiges Verhalten ab – sie reagiert nur auf

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Reize. Doch ein Computerprogramm, das all dies hat, kann durchaus in der Lage sein, Sprache zu verstehen und es wäre auch in der Lage, etwas nachzufühlen. Zwar ist ziemlich sicher, dass das Computerprogramm unter „Hunger“ nicht ganz das selbe versteht wie ein Mensch es tut, aber dieses Argument trifft auch auf jeden anderen Menschen zu: durch unterschiedliche Erfahrungshintergründe und Persönlichkeiten gibt es vermutlich kein Wort, das für jeden Menschen auf dieser Erde genau das selbe bedeutet – wobei es immer große Überschneidungen der Bedeutungshöfe geben muss, sonst wäre eine Kommunikation unmöglich. So verbinde ich mit „Erbseneintopf“ vermutlich eine ganze Menge Erinnerungen, die außer mir kein anderer Mensch hat, aber ich stimme mit vielen anderen Menschen darin überein, dass Erbseneintopf etwas essbares ist, von grünlicher Farbe und eher flüssiger Konsistenz, aber schon mit weniger Leuten darin, dass er einfach scheußlich schmeckt und als Nahrung für Menschen nur in größten Notzeiten geeignet ist.

Anforderung 18: Ein sprachverarbeitendes Computerprogramm muß über Emotion, Motivation und eine eigene Welt verfügen.

Auch Searle (1994) geht von einem Ansatz aus (hier dem von Schank & Abelson, 1977, einem Programm, das Geschichten verstehen und dann Antworten auf diese Geschichten betreffenden Fragen geben soll) und verallgemeinert ihn auf alle anderen Ansätze. Um zu erläutern, warum ein Computersystem keine Sprache verstehen kann bedient Searle sich der Metapher vom „Chinesischen Zimmer“. Nach Searle (1994) befindet sich ein Computer, der eine Aufgabe – beispielsweise Fragen zu einem vorgegebenen Text beantworten – bearbeitet, in der selben Lage wie ein Mensch im „Chinesischen Zimmer“. Das Chinesische Zimmer ist ein Raum mit einer kleinen Klappe nach außen, durch die Papiere mit Zeichen hereingegeben und herausgegeben werden können. Auf den Papieren, die in den Raum hineingegeben werden befinden sich chinesische Schriftzeichen. Im Raum befindet sich neben dem Menschen (der kein Chinesisch versteht) noch eine Bibliothek, in deren Bänden Anleitungen stehen, auf welches der chinesischen Schriftzeichen (bzw. auf welche Folge von Schriftzeichen) mit welchem anderen chinesischen Schriftzeichen (bzw. mit welcher anderen Folge von Schriftzeichen) zu antworten ist. Eine Person, die nun vor dem Raum steht und „Briefe“ in den Raum hineingibt und Briefe aus dem Raum erhält hätte nun den Eindruck, dass

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

die Person in dem Raum Chinesisch versteht – was nicht der Fall ist. Searle (1990) diskutiert auch mögliche Einwände gegen die Metapher des „Chinesischen Zimmers“.

Der erste der von Searle vorgebrachten (und sofort entkräfteten) Einwände ist die sogenannte System-Replik: „Es ist zwar richtig, dass die einzelne Person, die in dem Raum eingeschlossen ist, die Geschichte nicht versteht, aber Tatsache ist, dass sie nur Teil eines ganzen Systems ist, und das System versteht die Geschichte durchaus“ (Searle, 1994, S.140). Searle entkräftet diesen Einwand durch den Hinweis, dass auch eine Person, die alle in der Bibliothek vorhandenen Bücher auswendig lernt immer noch kein Chinesisch versteht, da er nicht weiß, was die einzelnen Symbole in der Außenwelt bedeuten.

Der zweite von Searle selbst vorgebrachte Einwand ist die „Roboter-Replik“: Wenn man ein Programm bauen würde, das nicht nur Texte einliest und dann Fragen beantwortet, sondern das mittels einer Kamera wahrnimmt, mit Roboterbeinen geht, isst, trinkt, und damit handeln kann und all dies über sein Computergehirn steuert, dann würde ein solcher Computer echtes Verstehen aufweisen. Doch auch ein solcher Roboter könnte nach Searle keine Sprache verstehen, da sich die Metapher des Chinesischen Zimmers hier nur etwas verändert: der Mensch steckt jetzt nicht mehr in einem Chinesischen Zimmer, sondern in einem Roboter, der je nach den ausgegebenen Symbolen andere Bewegungen macht, was der Mensch in seinem Inneren aber nicht weiß. Doch alles, was der Mensch im Inneren tut ist das hantieren mit formalen Symbolen.

Die Gehirnsimulationsreplik besagt, dass eine Simulation (auf Neuronenebene) des Gehirns einer Person, die Chinesisch als ihre Muttersprache spricht, auch tatsächlich Chinesisch versteht. Doch auch diesem System gesteht Searle nicht das Verstehen von Sprache zu, denn „Das Problem beim Gehirnsimulator ist, dass er vom Gehirn die falschen Sachen simuliert. Solange er nur die formale Struktur der Neuronenaktivierung in den Synapsen simuliert, hat er nicht das am Gehirn simuliert, worauf es ankommt, nämlich dessen kausale Eigenschaften, seine Fähigkeit, intentionale Zustände hervorzurufen.“ (Searle, 1994, S.249 f)

Die Kombinations-Replik vereinigt die drei vorangegangenen Repliken. Hier kontert Searle wieder mit dem Argument, dass er auch gegen die Roboter-Replik vorbrachte: wenn man davon ausgeht, dass im Inneren der Maschine wiederum nur ein Handeln mit

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Symbolen nach einer Anleitung vor sich geht, ist auch dieser Roboter nur eine kunstvolle Puppe.

Doch wer sagt, dass die Vorgänge im Roboter und die Aktionen des Roboters tatsächlich intern nicht verbunden sind? Schließlich soll ja nicht begründet werden, dass ein Teilsystem des Roboters chinesisch spricht, sondern dass der Roboter als ganzes chinesisch spricht. Und so ist es auch völlig irrelevant, ob der hypothetische Mensch im Roboter chinesisch versteht, denn es geht ja um den Roboter als Ganzes! Und der Roboter als Ganzes hat Zugriff auf die Äußere Welt, er hat Zugriff auf sein inneres Lexikon und er kann beides verbinden, d.h. er kann den Worten eine Bedeutung zuweisen – und damit ist er schon einmal zu den Grundlagen der Sprache fähig (vgl. Anforderung 1).

Searls Argument gegen die Gehirnsimulationsreplik besagt, dass es nicht reicht, die Oberfläche des Gehirns nachzubilden, sondern dass seine Funktion mit simuliert werden muss. Nun, diesem Argument kann man begegnen, indem man genau das tut: die Funktionalität des Gehirns mitzusimulieren. Eine Masse von nachgebildeten Neuronen und Synapsen muss nicht „Chinesisch verstehen“, wenn dagegen Organisationsprinzipien und Funktionalitäten dazukommen, kann dieses System durchaus dazu fähig sein, „Chinesisch zu verstehen“.

Anforderung 19: Ein sprachverstehendes Computerprogramm muß auf der Basis einer Simulation der *Funktionalität* des Gehirns aufbauen.

Doch wird Sprache überhaupt gebraucht um mit Menschen zu interagieren? Cynthia Breazel (2002) ging mit „Kismet“ einen anderen Weg.

4.6. Kismet und die Menschen

Wieder einen anderen Ansatz verfolgt Cynthia Breazeal (2002) mit Kismet. Kismet versteht zwar nur wenig Sprache, interagiert dafür aber stark mit Menschen.

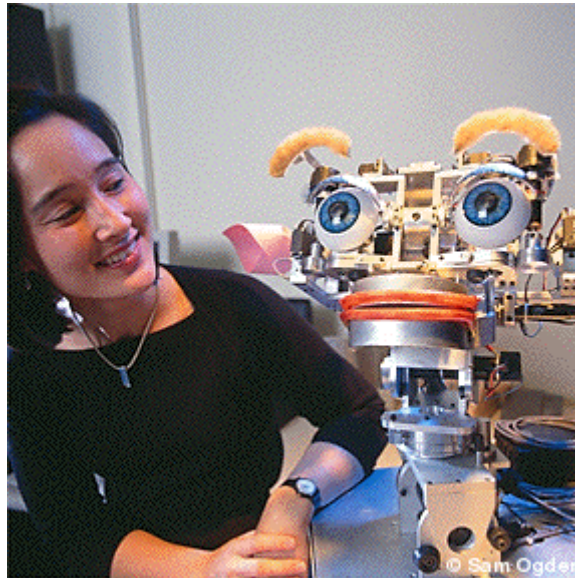


Abbildung 28: KISMET

Cynthia Breazeals (2002) Ziel ist es weniger, menschliches Verhalten nachzubilden, als einen Roboter zu schaffen, mit dem Menschen interagieren können, ohne dazu über spezielles Wissen zu verfügen. Um dieses Ziel zu erreichen baut sie allerdings stark auf psychologischem Wissen auf, da ihren Annahmen zufolge Menschen am besten mit Robotern interagieren können, die sich menschenähnlich verhalten. Was ein solcher „sociable robot“ alles können muss beschreibt sie wie folgt: “For me, a sociable robot is able to communicate and interact with us, understand and even relate to us, in a personal way. It should be able to understand us and itself in social terms. We, in turn, should be able to understand it in the same social terms – to be able to relate to it and to emphasize with it. Such a robot must be able to adapt and learn throughout its lifetime, incorporating shared experiences with other individuals into its understanding of self, of others, and of the relationship they share. In short, a sociable robot is socially intelligent in a human-like way, and interacting with it is like interacting with another person.” (Breazeal, 2002, S.1)

Kismet kann diese Erwartungen zwar noch nicht erfüllen, ist aber ein erster Schritt auf dem Weg zu einem solchen Roboter. Entsprechend ist Kismet als Robotergesicht implementiert, das auf Reize aus der Außenwelt reagieren, mit der Außenwelt aktiv Kontakt aufnehmen oder sie ausblenden kann.

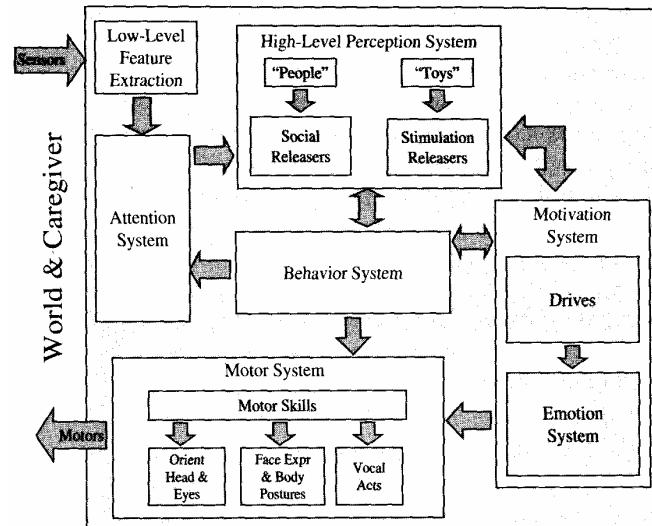


Abbildung 29: Kismets grundlegende Organisation

Kismet verfügt (vgl. Abbildung 29) über insgesamt sechs Subsysteme: einen basalen Mustererkenner, der auf das Aufmerksamkeitssystem wirkt (das herausfindet, welcher Stimulus im Moment der hervorstechendste ist) und seine Informationen dann an einen höher auflösenden Erkener weitergibt. Das Motivationssystem reguliert den emotionalen und Bedürfniszustand des Roboters, das Verhaltenssystem wählt zwischen verschiedenen möglichen Verhaltensweisen aus und das motorische System führt diese Verhaltensweisen schließlich aus. Wichtig für diese Arbeit ist vor allem Kismets Motivationale System, sein Verhaltenssystem und die Auswirkungen auf Kismets Sprachfähigkeit wichtig, daher möchte ich auf sie vertieft eingehen.

Kismets motivationales System basiert zunächst auf insgesamt drei Bedürfnissen: dem Bedürfnis nach sozialem Kontakt, dem Bedürfnis nach Stimulation und dem Ruhebedürfnis. Diese drei Bedürfnisse können sich zu einem Zeitpunkt jeweils im Spektrum zwischen überstimuliert und unterstimuliert befinden. Wenn Kismet nun Reize aus der Außenwelt empfängt, dann werden diese zunächst auf bestimmte „Auslöser“ zurückgeführt. Kismet verfügt über viele solcher „Auslöser“, dazu gehören unter anderem die Nähe eines Objekts, die Größe und die Schnelligkeit der Bewegung. Dabei werden vier Bewertungsgrundlagen angenommen aufgrund derer die Reize auf den drei Dimensionen Valenz, Arousal und Stance bewertet werden:

- Stimulusintensität: hier gibt es einen Zusammenhang zur Arousal

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

- Stimulusrelevanz, sie beeinflusst Valenz und Stance. Erstrebenswerte Stimuli werden mit positiver Valenz und „approaching stance“ versehen.
- Intrinsic Pleasantness: „Some stimuli are hardwired to influence the robot’s affective state in a specific manner. Praising speech is tagged with positive valence and slightly high arousal. Scolding speech is tagged with negative valence and lightly high arousal.” (Breazeal, 2002, S.115)
- Goal Directedness: Jedes Verhalten ist auf ein Ziel gerichtet. Wenn ein Ziel erreicht wird ist sie mit positiver Valenz behaftet.

Aufgrund dieser Werte wird dann eine Emotion aus einem aus den drei Bewertungsdimensionen Arousal, Valenz und stance aufgespannten Emotionsraum ausgewählt und ans Verhaltenssystem wie auch ans motorische System weitergeleitet. Kismet kommuniziert diese Emotionen durch seinen Gesichtsausdruck und auch durch die Intonation seiner Äußerungen. Kismet verfügt zwar nicht über eine Sprache, kann aber neue Äußerungen produzieren, indem er Konsonanten und Vokale kombiniert. Diese Äußerungen erhalten einer der Stimmungslage entsprechenden Ausdruck. Obwohl Kismet nur über einige emotionale Prozesse verfügt sind seine Gesichtsausdrücke nicht diskret sonder gehen langsam ineinander über.

Kismet verfügt ganz im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Systemen nicht über Sprache – aber dafür über ein motivatorisches System, über ein Konzept von Emotionen und über einen Gesichtsausdruck, über den es hauptsächlich kommuniziert, und die Fähigkeit, Äußerungen anderer aufgrund der Prosodie als „freundlich“ oder „ärgerlich“ zu klassifizieren und seine eigenen Äußerungen ebenfalls entsprechend zu färben. All dies sind Fähigkeiten, die keines der anderen Systeme besitzt. Andererseits besitzt Kismet auch keine der Fähigkeiten, die ELIZA, SHRDLU, die Talkings Heads oder Aibo besitzen: es verfügt über keine Sprache, weder über Wörter noch über eine Grammatik.

Anforderung 20: Ein sprachverarbeitendes System sollte auch über die Mittel zur nonverbalen Kommunikation verfügen.

4.7. Zusammenfassung und Ausblick

Neben den vorgestellten Ansätzen gibt es gerade im Bereich der Maschinellen Übersetzung (vg. dazu z.B. Weber, 1998) noch eine Vielzahl von Ansätzen, Computern

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

das Sprechen beziehungsweise den Umgang mit Sprache beizubringen. Auch existieren eine Vielzahl an Question-Answering-Systemen (der Klassiker ist hier BORIS von Lehnert et. al. 1983). Ebenfalls viel Aufsehen erregt hat das Cyc-Projekt von Lenat (Lenat & Guha 1990) und dessen Sprachverarbeitung (Barnett, Knight, Mani & Rich 1990). Doch weder bei Cyc noch bei den Programmen zur Maschinellen Übersetzung geht es primär um die Interaktion von Computer und Mensch, noch um die (verbale) Interaktion zwischen Computern, daher möchte ich es bei diesen kurzen Hinweisen belassen (ein Überblick zur Sprachverarbeitung findet sich z. B. in Menzel, 2000).

Jedes der bisher vorgestellten Programme verfügt über besondere Stärken, welche die anderen Programme nicht erreichen, aber es gibt jeweils auch Schwächen. ELIZAs Stärken (und auch die Stärken der Chatbots) sind die Kommunikation in (meist) grammatischen Sätzen über ein sehr breites Themengebiet. Dies wurde mit relativ einfachen Mitteln erreicht, aber darin liegt auch schon die Schwäche dieser Programme: sie sind relativ leicht als Computer zu erkennen, sie haben keinen Körper und von einem Sprachverstehen im Hinblick einer internen Repräsentation des Gesagten kann nicht gesprochen werden.

SHRDLU bewegt sich in einer eigenen Welt und er kennt eine Bedeutung der von ihm verwendeten Wörter, er verbindet ein internes Konzept mit den von ihm verwendeten Begriffen. Auch er interagiert mit Menschen, aber bei ihm dreht sich die Interaktion um die Bewältigung einer Aufgabe, es bleibt nicht bei der Kommunikation an sich.

Bei den Talking Heads steht wiederum die Sprache allein im Mittelpunkt, allerdings geht es hier nicht um die möglichst menschenähnliche Kommunikation von Computern mit Menschen, sondern um die Untersuchung von Sprachentwicklung und Veränderungen in Sprachen. Die Talking Heads sind Roboter (im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Ansätzen), sie erlernen ihren Wortschatz vollständig selbst und für sie haben Wörter eine Bedeutung in dem Sinne, dass ein Objekt oder ein Objektmerkmal aus der Außenwelt mit den Wörtern verbunden ist.

Auch der Roboterhund AIBO erlernt seinen gesamten Wortschatz und für ihn haben Wörter Bedeutung im Sinne eines damit verbundenen Objekts, Objektmerkmals oder einer Bewegung. Im Gegensatz zu den Talking Heads ist er jedoch nicht stationär sondern kann sich frei bewegen, was einerseits das Erlernen von Wörtern schwieriger macht, andererseits aber auch eine ganz neue Art von Wortschatz ermöglicht: er kann

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Befehle für Bewegungen erlernen. An AIBOs Beispiel lässt sich auch die Interaktion von Roboter und Trainer und die Folgen dieser Interaktion beobachten.

Kismet ist – wie ELIZA und Alice – auf die Interaktion mit Menschen angelegt. Kismet verfügt allerdings nicht über verbale Kommunikation, dafür aber über eine ausgetüftelte nonverbale Kommunikation, die es ihm ermöglicht, mit Menschen direkt zu interagieren. Mittels dieser Interaktionen befriedigt Kismet seine (sozialen und informationellen) Bedürfnisse. Diese Reaktionen sind allerdings fest vorgegeben, lernen ist hier zwar für die Zukunft vorgesehen, aber noch nicht implementiert.

Das im Zentrum dieser Arbeit stehende Programm PSI-Lingua soll in der Lage sein, Wörter zu lernen und ihnen eine Bedeutung zuzuordnen, es soll Befehlen und Vorschlägen folgen können, Fragen stellen und beantworten, es soll Pläne¹⁵ verstehen können die aus mehr als nur einem einzigen Wort bestehen und bei denen es auch auf die Reihenfolge der Wörter ankommt. Das System, das all diese Fähigkeiten erwerben soll, ist schon zuvor in der Lage, ein „eigenständiges Leben“ zu führen. PSI lebt in einer – ebenfalls simulierten – Umgebung, es findet dort heraus, wie es seine Bedürfnisse befriedigen kann, wo anzustrebende Orte und Objekte sind und welche Wege es auf der Insel gibt. PSI hat Emotionen, erstellt Pläne und führt sie aus. Ihm stehen also schon vor dem Spracherwerb viele Fähigkeiten und Grundstrukturen zur Verfügung, die die gerade vorgestellten Systeme nur teilweise oder gar nicht haben. Wie dieses System Sprache erwirbt und welche Änderungen im Programm vorgenommen wurden soll im fünften Kapitel beschrieben werden. Zuvor soll jedoch noch ein Überblick über eine Linguistisch-Psychologische Theorie des Sprachverstehens und der Sprachproduktion gegeben werden, die ebenfalls mit Computermodellen zur Validierung ihrer Theorien arbeitet.

4.8. Das L₀ Projekt oder: eine Neuronale Theorie der Sprache

4.8.1. Grundannahmen

Die Arbeit der Gruppe um Feldman (Bailey, 1995, Bailey, Chang, Feldman & Narayanan, 1998; Bailey, Feldman, Narayanan, & Lakoff, 1997; Bergen & Chang, 2001; Chang, Feldman, Porzel, & Sanders, 2002; Feldman, Lakoff, Bailey, Narayanan, Regier & Stolcke, 1996; Feldman & Narayanan, 2003) im L₀-Projekt, das später in

¹⁵ Zur Definition von Plänen in diesem Kontext siehe Kapitel 5.4.8

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

NTL-Projekt umbenannt wurde, begann mit der Simulation des Erwerbs einzelner Wörter, erstreckt sich heute aber über das ganze Spektrum des Worterwerbs, den Erwerb und das Verstehen von Abstrakta und von Texten. Eng verbunden sind diese Arbeiten mit den Annahmen der Konstruktionsgrammatik (zu deren Grundlagen vgl. Wildgen, 1998). Es wird zusammen mit Konstruktionsgrammatikern angenommen, dass Sprachnutzer Konstruktionen benutzen, um von einer bestimmten Äußerung auf die zugehörige Struktur miteinander verbundener Konzepte zu schließen. Eine weitere Grundannahme ist, dass zu lernendes Wissen auch körperlich repräsentiert sein muss (vgl. auch Lakoff & Johnson, 1980) und dass das Modell prinzipiell jede beliebige Sprache lernen können muss. Letzteres hat zur Folge, dass sehr sorgfältig erwogen werden muss, welche Mechanismen als angeboren angenommen werden: ein „zu wenig“ führt zu einer Verlangsamung des Lernprozesses, ein „zu viel“ kann dazu führen, dass manchen Sprachen nicht mehr gelernt werden können.

Der ursprüngliche Name des Projektes – L₀-Projekt – bezog sich auf den Anspruch, nur sehr wenig von der tatsächlich von einem Menschen erworbenen Sprache modellieren zu können: „The original name of the project, L₀, was chosen because zero was the approximate percentage of language we were attempting to cover.” (Bailey, Chang, Feldman & Narayanan, 1998, S.84); der neue Name, NTL-Projekt, steht für Neural Theory of Language. Inzwischen wird angenommen, dass in etwa der Erwerb der ersten 200 Wörter eines Kindes simuliert werden kann.

Dabei gibt es inzwischen fünf Ebenen von Repräsentationsmechanismen, auf denen das Projekt angesiedelt ist (vgl. Bailey, Chang, Feldman & Naranayan, 1998). Diese Ebenen sollen hier zunächst vorgestellt werden, auf die Kognitive Ebene und die Ebene der f-structs und x-schemas¹⁶ wird im Folgenden noch eingegangen werden.

- Kognitive Ebene: hier sind Wörter und Konzepte angesiedelt
- Computational level: f-structs, x-schemas
- Konnektionistische Ebene: structured models, learning rules
- Ebene der Computational Neuroscience: hier finden sich detaillierte neuronale Modelle
- Neuronale Ebene: bisher nur implizit enthalten.

¹⁶ Bei „schemas“ handelt es sich nicht um einen Tippfehler, die Feldman-Gruppe verwendet diese Form des Plurals von Schema.

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

In den folgenden Kapiteln werden einzelne Forschungsschwerpunkte innerhalb der NTL-Theorie genauer dargestellt werden, um einen Einblick in dieses Projekt zu ermöglichen.

4.8.2. Konzepterwerb

4.8.2.1 Konzepterwerb bei räumlichen Relationen

Die Arbeiten von Bailey (vgl. Bailey, 1995) zur Benennung von Handaktionen und von Regier (Regier, 1995, 1996; Feldman, Lakoff, Bailey, Narayanan, Regier & Stolcke, 1996) zur Benennung räumlicher Relationen gehörten zu den ersten Arbeiten in der L₀-Gruppe. An dieser Stelle soll zuerst die Arbeit von Regier (1995, 1996) vorgestellt werden, um dann im nächsten Kapitel auf die Arbeit Baileys einzugehen.

Die Kategorisierung räumlicher Relationen weist nach Regier mehrere Besonderheiten auf, die sie für einen ersten Ansatz zur Modellierung des Konzepterwerbs besonders geeignet macht:

- Räumlicher Relationen gehören einer geschlossenen Klasse von Wörtern an. Geschlossene Klassen von Wörtern enthalten wenige Wörter und sind nur schwer zu erweitern. Wörter in solchen Klassen dienen dazu, weiteres Material zu strukturieren. Dies deutet darauf hin, dass räumliche Relationen ein grundlegendes Element der Sprache bilden. Bestärkt wird diese Interpretation durch die häufige metaphorische Verwendung von Räumlichen Relationen.
- Sprachen variieren stark in ihrer Art und Weise, den Raum zu strukturieren. So kann das Englische „on“ sowohl das Deutsche „auf“ als auch das Deutsch „an“ bedeuten.
- Es ist aber sehr wahrscheinlich, dass es dennoch zentrale Prinzipien räumlicher Kategorisierung gibt, da alle linguistischen Systeme räumlicher Kategorisierung auf der menschlichen Raumwahrnehmung beruhen, die wiederum vom menschlichen Wahrnehmungssystem und der Gestalt des Raumes um uns herum geprägt wird.

Neben den spezifischen Anforderungen räumlicher Relationen wird auch das generelle Problem des Fehlens negativer Evidenz diskutiert. Kindern wird während des Spracherwerbs nur selten mitgeteilt, ob ihre Äußerungen grammatikalisch richtig oder falsch sind (vgl. z.B. Pinker, 1989). Hier handelt es sich um ein generelles Problem, das auch beim Erwerb räumlicher Relationen zum Vorschein kommt: auch hier wird Kindern selten genau erklärt, welches Wort ein besonders guter Begriff für welche

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

räumliche Konfiguration ist. Dennoch lernen Kinder, diese Wörter mit der Zeit zutreffend zu verwenden. Entsprechend ergeben sich drei Grundfragen, die Regier zu beantworten sucht: „(a) What sort of system could adapt itself to the different structurings of space manifested in the world’s languages? (b) How could such a system learn without explicit negative evidence? And (c) what could a model of this system tell us about semantic universals in the spatial domain?“ (Regier, 1995, S.66).

Das gefundene Modell ist in Abbildung 30 dargestellt. Der Input für dieses Modell bilden Filme, die Bewegungen eines Referenzobjektes (Trajector) zu einer Landmarke zeigen, der Output ist in diesem Fall eine Anzahl englischsprachiger Bezeichner für räumliche Relationen.

Bei Regiers Modell handelt es sich um ein linguistisches Modell, das in seinen Strukturen von Neurobiologischen und Psychophysiologischen Erkenntnissen (zur menschlichen Wahrnehmung) beeinflusst ist. Das Modell entstammt dem Ansatz des Constraint Connectionism, in dem Konnektionistische Modelle – in diesem Fall durch aus der Neurobiologie und Psychophysiologie eingeführte – Constraints eingeschränkt werden. Im Fall von Regiers Modell strukturieren Neurobiologische und Psychophysiologische Vorgaben ein trainierbares Netzwerk, die Parameter dieses Netzwerkes werden während des Trainings (verwendet wird ein Konnektionistischer error back-propagation Algorithmus¹⁷) gesetzt. Der Ansatz des Constraint-Konnektionismus entstand aus der Kritik Massaros (1988), nach dem Konnektionistische Modelle nicht zu schwach, sondern im Gegenteil zu mächtig sind, da mit ihnen bei geeigneten Trainingsbedingungen nicht nur menschliches sondern auch nicht-menschliches Verhalten simuliert werden kann. Solche Modelle sind nach Massaro (1988) zu stark, um erklärend zu sein (genauerer siehe Regier, 1996), entsprechend müssen sie eingeschränkt werden.

¹⁷ alle durchgezogenen Pfeile dieses Modells geben Verbindungen an, die trainiert werden

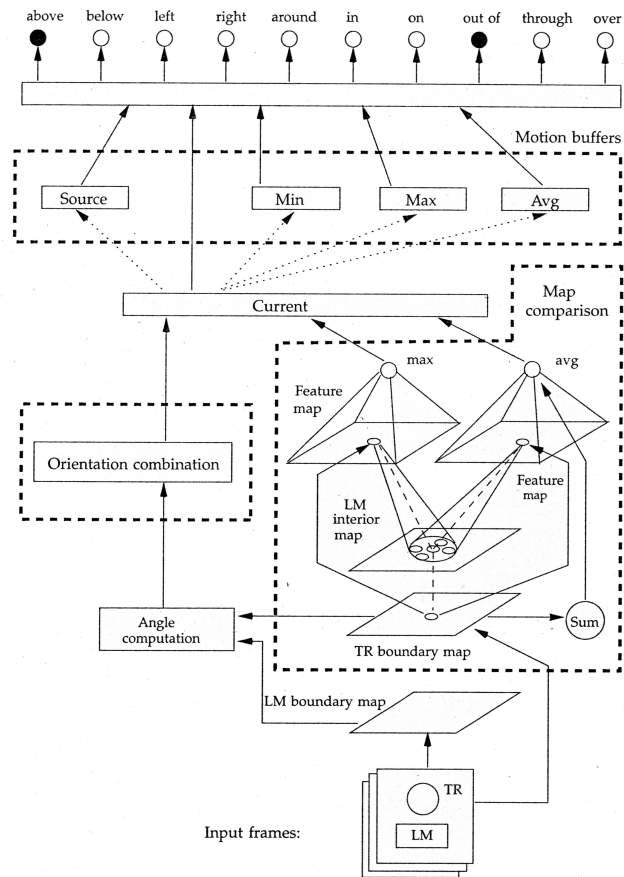


Abbildung 30: Regiers Modell der Kategorisierung räumlicher Relationen (aus Regier, 1995, S.69)

Wie schon erwähnt bilden den Input dieses Modells Filme, welche die Bewegung eines Objektes (Trajector, TR) relativ zu einer Landmarke (LM) zeigen. Der Umriss des Objektes wird in die TR boundary map kopiert, der Umriss der Landmarke in die Landmark boundary map. Die weitergehende Verarbeitung baut auf diesen beiden getrennten maps auf. Für jeden Frame eines Films werden Objekt und Landmarke getrennt in die entsprechenden Maps kopiert, die enthaltenen Informationen werden an weiter oben gelegenen Layer weitergeleitet.

Nachdem der Frame in Objekt und Landmarke zerlegt wurde, werden in der Orientation Combination Informationen wie die proximale Orientierung und die Orientierung der Masseschwerpunkte beider Objekte zueinander berechnet, um so die Orientierung beider Objekte zueinander zu erhalten und damit die Bewegungsrichtung festzulegen. Diese Informationen werden dann an den Current-Layer weitergegeben. In der Map comparison structure werden Informationen wie Kontakt, Stärke des Kontakts und Inklusion von Objekt und Landmarke festgestellt; auch diese Informationen werden an den Current-Layer weitergegeben. Damit enthält der Current-Layer eine statische

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Repräsentation des momentanen Frames, der Source genannte Speicher enthält eine Kopie des Gegenwartsspeichers zu Beginn des Films.

Das Zentrum des Modells bilden jedoch die Motion Buffer. Sie enthalten eine tripartide Bewegungsrepräsentation, die aus den Subrepräsentationen (1) Statische Relation zwischen Objekt und Landmarke zu Beginn der Bewegung, (2) Statische Relation zwischen Objekt und Landmarke am Ende der Bewegung und (3) einer Repräsentation des Pfades zwischen Anfangs- und Endzustand besteht. Um Ereignisse so zu codieren werden zu jedem im Current-Layer festgehaltenen Feature jeweils Minimum, Maximum und Avg (steht für average) an Knotenaktivierung im Current-Layer festgehalten bzw. über den Verlauf des Films mitgeführt. Bei dieser Art der Buchführung über eine Bewegung geht der Zeitablauf verloren; was übrig bleibt, ist der Anfangspunkt, der Endpunkt und eine nicht-sequentiellen statischen Repräsentation von allem, was dazwischen geschah. Dahinter steht die Idee, dass es ausreicht zu wissen, *wie* die gesamte Bewegungsfolge ablief, es aber nicht nötig ist zu wissen, *wann genau* was passierte. Sobald das Netzwerk trainiert ist, enthält jeder Outputknoten am *Ende des Filmes* einen Wert, der angibt, wie angemessen der Ausdruck für eine Bewegung ist. Die Antwort des Netzwerkes auf den letzten Schritt des Films ist damit die Antwort des Netzwerkes auf den gesamten Film.

Auch das Problem des Lernens ohne negative Evidenz wurde angegangen. Ausgehend von Markmans (1989) Mutual exclusivity assumption (vgl. Kapitel 5.4) wurde gezeigt, dass eine positive Evidenz beispielsweise für „über“ gleichzeitig eine implizite negative Evidenz für „neben“ bedeutet. Damit sind explizite negative Evidenzen überflüssig.

Die Stärken dieses Modells liegen in seiner Fähigkeit zum Erstellen von Prognosen über die Erwerbsreihenfolge von Bewegungsbezeichnungen und über das Vorhandensein von Bezeichnungen in einer Sprache. So kann beispielweise davon ausgegangen werden, dass eine Sprache, die das Konzept „in“ nicht kennt, auch das Konzept „durch“ nicht kennen kann, da „durch“ voraussetzt, dass sich ein Objekt „in“ einem anderen befand (vgl. Regier, 1995, 1996). Das Modell ist in der Lage, Bewegungsbezeichnungen aus verschiedenen Sprachen (geprüft bei Englisch, Russisch und Mixtec, ausführlich in Regier, 1996) mit unterschiedlichen dahinterliegenden Konzepten flexibel zu lernen, und es ist mit strukturellen Wissen angereichert, das es klarer und durchschaubarer macht als ein bloßes konnektionistisches Netzwerk.

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Probleme des Modells sind dagegen, dass die gezeigten Filme stark vereinfacht sind, der Anfang, das Ende und der Kontext der Bewegung von Anfang an festgelegt sind. Es steht fest, welches von (nur) zwei abstrakten Objekten die Landmarke ist und welches der Trajektor, nur ein abstraktes Objekt bewegt sich. Dies ist eine legitime Einschränkung für ein erstes Modell zur Kategorisierung und Benennung räumlicher Bewegungen, schränkt die Bedeutung des Modells aber dennoch ein, da gerade Bewegungen in der „Realität“ ineinander übergehen, von Menschen aber dennoch als getrennt wahrgenommen werden. Ebenso gibt es in der Realität nur selten genau ein statisches und genau ein bewegtes Objekt, die zueinander in Beziehung zu setzen sind.

Regiers Modell ist diese Trennung fest vorgegeben. In eine ähnliche Kerbe schlägt das Argument von French (1999). Er kritisiert, dass in der Orientation Combination nur vorgegebene Strukturen auf den Grad ihres Zutreffens untersucht werden, aber nicht diskutiert wird, in wie weit solche Strukturen auch gelernt werden können. French (1999) kritisiert weiterhin, dass der Kontext einer Bewegung oder einer räumlichen Relation in Regiers Modell nicht enthalten ist. Der Kontext spielt bei der Benennung der räumlichen Relationen von Objekten eine große Rolle, sobald es sich um bedeutungshaltige Objekte handelt. Wenn es sich bei Abbildung 31 um einen Apfel und eine Schüssel handelt, würde man sagen, der Apfel liegt *unter* der Schüssel, wenn es sich dagegen um einen Menschen in einem Iglu handelt, würde man sagen, der Mensch ist *in* dem Iglu, nicht *unter* ihm. Da Bedeutung außerhalb der reinen räumlichen Relationen in Regiers Modell nicht vorkommt, kann es solche Unterschiede nicht erfassen.



Abbildung 31: Unter - oder in?

Ebenfalls von French (1999) kritisiert wird, dass die Reihenfolge der einzelnen Aktionen verloren geht, die aber Hinweise auf räumliche Konzepte geben kann. Regiers Modell macht die Vorhersage, dass es beispielweise in keiner Sprache einen Unterschied für die Benennung machen kann, ob das Objekt erst durch die Landmarke hindurch und dann darüber hinweg geht, oder erst über die Landmarke hinweg und dann durch sie hindurch geht (vgl. Abbildung 32). Zwar gibt French keine Sprache an, in der es unterschiedliche Begriffe für beide Aktionen gibt, zeigt aber auf, dass sich beide in

unterschiedliche Bestandteile zerlegen lassen, nämlich **außerhalb** – **innen** – **außerhalb** und darüber bzw. **außerhalb und darüber** – **innen** – **außerhalb**.

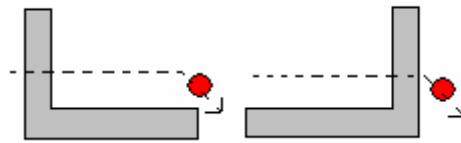


Abbildung 32: Gleich? Oder nicht? nach French, 1999, S.518

Damit lässt sich der Bewegungsablauf in unterschiedliche angeordnete Bewegungssegmente zerlegen; es geht nicht um den genauen Zeitpunkt, an dem eine Aktion geschah, sondern um die Reihenfolge der Unteraktionen, und damit um einen qualitativen Unterschied, bei dem nichts gegen unterschiedliche sprachliche Konzepte spricht. Trotz dieser Kritikpunkte ist Regiers Modell ein umfassender und ungekräftiger Ansatz, dessen Stärke nicht zuletzt in der Einordnung in ein Netzwerk verwandter Ansätze zum Konzepterwerb liegt.

4.8.2.2 Konzepterwerb bei Handaktionen

Die Dissertation von Bailey (vgl. Bailey, 1995) beschäftigt sich mit dem Konzepterwerb für Handaktionen. Das Modell verfolgt das primäre Ziel, die Interaktion zwischen Sprache und anderen (hier motorischen) Prozessen zu beleuchten. Entsprechend gibt es zunächst zwei separate Komponenten für Wörter und motorische Aktionen, die durch eine dritte Komponente beidseitig verbunden werden.

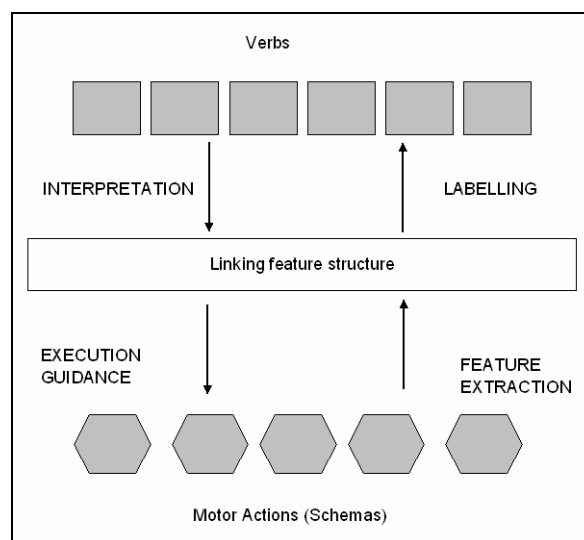


Abbildung 33: Zusammenhang zwischen Wort und x-Schema (aus Bailey, 1995, S.3)

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Motorische Aktionen werden durch ausführende Schemata (im Original: executive Schemas bzw. x-schema) repräsentiert. Diese beinhalten die Koordination einfachster Bewegungen zu höher organisierten Handlungen, indem Reihenfolge, parallele Aktionen, Wiederholungen, Hierarchien und Parametrisierungen enkodiert werden. Dargestellt werden sie mittels Petri-Netzen. Petri-Netze unterscheiden Zustände (Kreise) und Übergänge (Vierecke). Zustände beinhalten Merkmale und repräsentieren Prädikate über den Zustand der Welt oder den inneren Zustand. Übergänge sind die aktiven Komponenten. Wenn alle Zustände, die auf einen Übergang zeigen, eine adäquate Anzahl von Merkmalen (normalerweise eines) enthalten, ist der Übergang aktiv und kann feuern, die Input- Merkmale entfernen und dafür Output- Merkmale setzen.

Sprache wird durch beschreibende Strukturen repräsentiert. Verwirklicht sind diese durch sogenannte f-structs (Kurzform für feature structures). Sie bestehen aus einer festen Menge von Eigenschaften, denen jeweils ein Wert zugewiesen ist. Dargestellt werden sie als eine zweizeilige Tabelle, wobei jede Spalte eine Eigenschaft und deren Wert enthält. Verbunden werden beide Komponenten (vgl. Abbildung 33) durch den linking f-struct. Er bildet die einzige Verbindung zwischen beschreibenden und ausführenden Strukturen. Da es sich hier ebenfalls um ein f-struct handelt, enthält auch das linking f-struct Eigenschaften. Da es sich um eine übergeordnete Struktur handelt, muss es alle Eigenschaften enthalten, die *jemals linguistisch relevant werden können*.

Eine weitere Komponente ist das world-state f-struct. Es soll Informationen über den momentanen Status der Welt beinhalten. Das world-state f-struct wird von Schemata während ihrer Ausführung benutzt, um Aktionen und deren Parameter angemessen zu wählen. Es wird ebenfalls benutzt, um bei einem verbalen Kommando die plausibelste aus den möglichen Bedeutungen zu wählen. Es dient also einerseits zum Verstehen von Äußerungen und andererseits zum angemessenen Ausführen von Aktionen in einem Kontext.

Der word sense f-struct repräsentiert die Semantik eines Wortes. Die zu diesem f-struct gehörenden Eigenschaften können einzelne Werte haben, meistens wird es sich aber um Wahrscheinlichkeitsverteilung von möglichen Werten handeln. Irrelevante Eigenschaften werden evtl. ausgelassen. Damit ergibt sich eine Art Prototyp eines Wortes, der eine Menge zulässiger Zustände angibt. In Abbildung 34 sind die f-structs

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

für die Wörter „push“ und „shove“ dargestellt. Ebenfalls dargestellt wird hier das Zusammenwirken aller Strukturen für diese beiden Wörter.

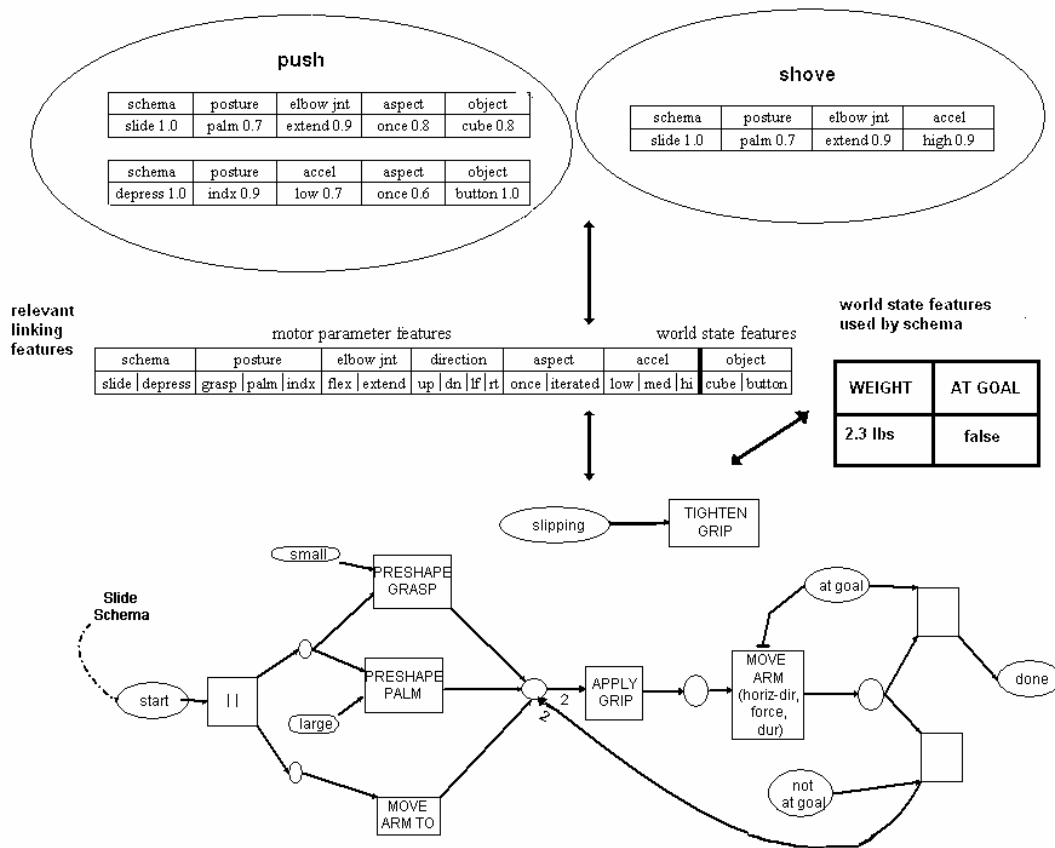


Abbildung 34: Die Interaktion von f-structs, linking features und x-schemas (nach Bailey, Chang, Feldman & Naranayan, 1998, S.85)

Um nicht nur Wörter als Ganzes, sondern auch Wortstämme, Endungen, ... wie in „keep picking up“ behandeln zu können, müssten Wörter in Morpheme unterteilt werden. In diesem Fall würde es hier vier slots geben: „keep“, „pick“, „-ing“ und „up“. Es wird nicht angenommen, dass das semantische Wissen über diese slots von Anfang an besteht, sondern dass auch dieses gelernt wird. Dieses Stadium ist bisher allerdings nur in der Theorie, nicht aber in der Modellierung erreicht.

Die vorgestellten Strukturen dienen als Grundlage für Prozesse (vgl. Abbildung 33). Labelling Prozesse beinhalten beispielsweise den Abgleich der momentanen Inhalte des linking f-structs (welches die Eigenschaften des zu äußernde Konzept repräsentiert) mit dem word-sense f-struct (das die Eigenschaften der gelernten Wörter beinhaltet). Bei einfachen Verben wird der am besten passende word-sense ausgewählt, d.h. der Word sense, für den die Werte in den einzelnen Eigenschaften am besten mit denen des

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

linking f-structs übereinstimmt, wird ausgewählt, und das zugehörige Wort ausgegeben. Diese Passung wird aus der a priori Wahrscheinlichkeit des word-sense (d.h. der Häufigkeit im Training) und der Passung zu den linking features berechnet. Dazu muss der word-sense so ausgewählt und kombiniert werden, dass möglichst wenig Widersprüche entstehen. Die Ausführung von Schemata wird durch das linking f-struct gesteuert. Zu dieser Ausführung von Schemata gehört zunächst die Auswahl des geeigneten Schemas, dann der Transfer der Werte zu den Handlungsparametern und auch das Beeinflussen von Entscheidungen.

Die große Stärke dieses Modells besteht aus seinen Lerntechniken. Der Lernprozess besteht aus drei Schritten, denen ein Bayes'scher Model-merging Algorithmus zugrunde liegt (vgl. Omohundro, 1992, nach Bailey, 1995)

- Formierung des angemessenen word-sense f-structs
- Entscheidung, welche Eigenschaften in jeden word-sense f-struct aufgenommen werden
- Finden des angemessenen Wertes, beziehungsweise der angemessenen Wahrscheinlichkeitsverteilung für jede Eigenschaft.

Die in den f-structs verwendeten Eigenschaften werden durch die körpereigene Sensorik vorgegeben und dann durch Erfahrungswerte aus den durchgeführten Bewegungen gefüllt. Das vorgestellte System ist in der Lage, Unterschiede in der Handbewegung zu lernen, es erlernte 18 englische Verben aus 200 Beispielen, wobei der Schemaname und die Handhaltung eine größere Rolle spielte als z.B. die Größe des bewegten Objekts. Die Erkennungsrate für neue Beispiele lag bei 78 %, Befehle wurden zu 81 % richtig befolgt. Irrtümer wurden hier vor allem bei ähnlichen Wortbedeutungen gemacht, was die Plausibilität des Modells unterstreicht.

Probleme erwachsen aus dem Aufbau der f-structs, die für manche Wörter erweitert werden müssen. Zusätzlich müssen Berechnungsmöglichkeiten eingesetzt werden, um beispielsweise Zusammenhänge zwischen der Objektgröße und der benötigten Kraft für „push“ errechnen zu können. Sonst würde für „push“ immer eine bestimmte Kraft eingesetzt werden, tatsächlich hängt die benötigte Kraft aber stark vom Gewicht des Objekts ab. Hier für müssten zusätzliche Spalten in die f-structs eingeführt werden.

Ein weiteres Problem besteht im eingeschränkten Weltmodell dieses Ansatzes. Ein Akteur benötigt ein größeres Weltmodell um zu erkennen, dass das „away“ in „give

away“ und „take away“ nur auf den ersten Blick unterschiedliche Richtungen benennt, es sich aber in beiden Fällen um ein „weg“ vom Besitzer eines Objektes handelt.

4.8.3. Textverstehen und Metaphern

Viele von uns täglich benutzte Wörter beziehen sich nicht auf ein konkretes Objekt in der Außenwelt. Viele Wörter können auch in verschiedenen Situationen einmal mit einer in der Außenwelt direkt repräsentierten Bedeutung („etwas greifen“) oder einer abstrakteren Bedeutung („eine Idee begreifen“) verwendet werden. In der NTL¹⁸ wird angenommen, dass Menschen Erzählungen verstehen, indem sie die beschriebene Situation unbewusst simulieren oder sich bewusst vorstellen. Genereller nimmt die NTL an, dass jedes Verstehen die Simulation oder Ausführung der zugehörigen körperlichen Erfahrungen beinhaltet. Dabei sind Menschen nicht auf eine Verankerung der auszuführenden Schemata im Hier und Jetzt und ihrem Körper angewiesen, sondern können gegebenenfalls Simulationen dieser Aktionen anstoßen. Aufbauend auf diesen Annahmen entwickelte Narayanan ihr Modell (vgl. Feldman, & Narayanan, 2003, Narayanan, 1999a, 1999b), in dem auch metaphorisch gebrauchte Ausdrücke auf ihre ursprüngliche Bedeutung zurückgeführt werden können. Das Modell des Metapher-Verstehens besteht aus drei Hauptkomponenten: der source domain, der target domain und den metaphor maps (vgl. Abbildung 35).

Die source domain enthält motorische Repräsentationen. Sie ist mittels verknüpfter x-schemas realisiert, die sich gegenseitig aktivieren, inhibieren und unterbrechen können. So kann, wenn, während das Schema „laufen“ gefeuert wird, ein unerwarteter Stoß erfolgt, dies zum „fallen“ führen, es sein denn, das Schema „stabilisieren“ wird gefeuert.

Die target domain enthält abstraktes Wissen (in Narayanans Beispiel Wissen zur Wirtschaftspolitik). Dabei muss Hintergrundwissen repräsentiert werden, es müssen zielspezifische Strukturen abgebildet und neuer Input miteinbezogen werden können. Diese Domäne wird mittels belief-networks modelliert.

Metaphor maps verbinden die auf x-schemas beruhenden Repräsentationen mit dem im belief-network repräsentierten Wissen, indem f-structs, die spezifisches Wissen aus der source domain enthalten, auf die target domain projiziert werden. Die metaphor maps

¹⁸ Neural Theory of Language

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

interagieren einerseits mit der target domain (metaphoric projection) und andererseits mit der source domain (context sensitive activation). So haben die metaphor maps eine Vermittlerrolle zwischen der target domain und der source domain inne.

Das Modell enthält drei Arten von Abbildungen:

- ontologische Abbildungen (omaps), die Abbildungen zwischen körperlichen und abstrakten Domänen realisieren. Ihre zentrale Rolle ist es, die Hohlstellen in Ereignis-Phrasen zu füllen.
- Abbildungen von Ereignissen, Aktionen und Prozessen von körperliche auf abstrakte Domänen (schema maps, kurz: smaps). Ihre Hauptfunktion ist es, den dahinterstehenden Prozess der source domain unverändert auf die target domain zu projizieren.
- Abbildung von x-schema Parametern von der source auf die target domain (pmaps). Sie dienen zur Projektion von Geschwindigkeit in die abstrakte Domäne.

Das vorgestellte Modell existiert als Computermodell, zu genaueren Spezifikationen und Überprüfungen des Modells siehe Naranayan (1999a, 1999b).

Dieses Modell baut auf den zuvor vorgestellten Modellen auf und erbt (neben den Stärken) einige Schwächen: auch hier ist der Aufbau der f-structs kritisch, was in ihnen nicht *explizit* enthalten ist, kann auch nicht erschlossen werden. Ebenso kritisch sind die verschiedenen Arten von Abbildungen: für dieses Modell muß a priori explizites Wissen über die Übertragbarkeit von einem Realitätsbereich auf den anderen vorhanden sein, dieses Wissen kann – zumindest nicht in dem vorgestellten Modell – nicht aus dem Weltwissen abgeleitet werden. Es wird (im Gegensatz zu z.B. (vgl. dazu Bartl-Storck, 2004) nicht darauf eingegangen, wie solches Wissen entsteht und wie Menschen mit ihnen zunächst unverständlichen Aussagen umgehen. Dabei ist gerade dies für eine Verallgemeinerung des Modells zentral. Damit sind die Flexibilität und der Erklärungswert des Modells stark eingeschränkt.

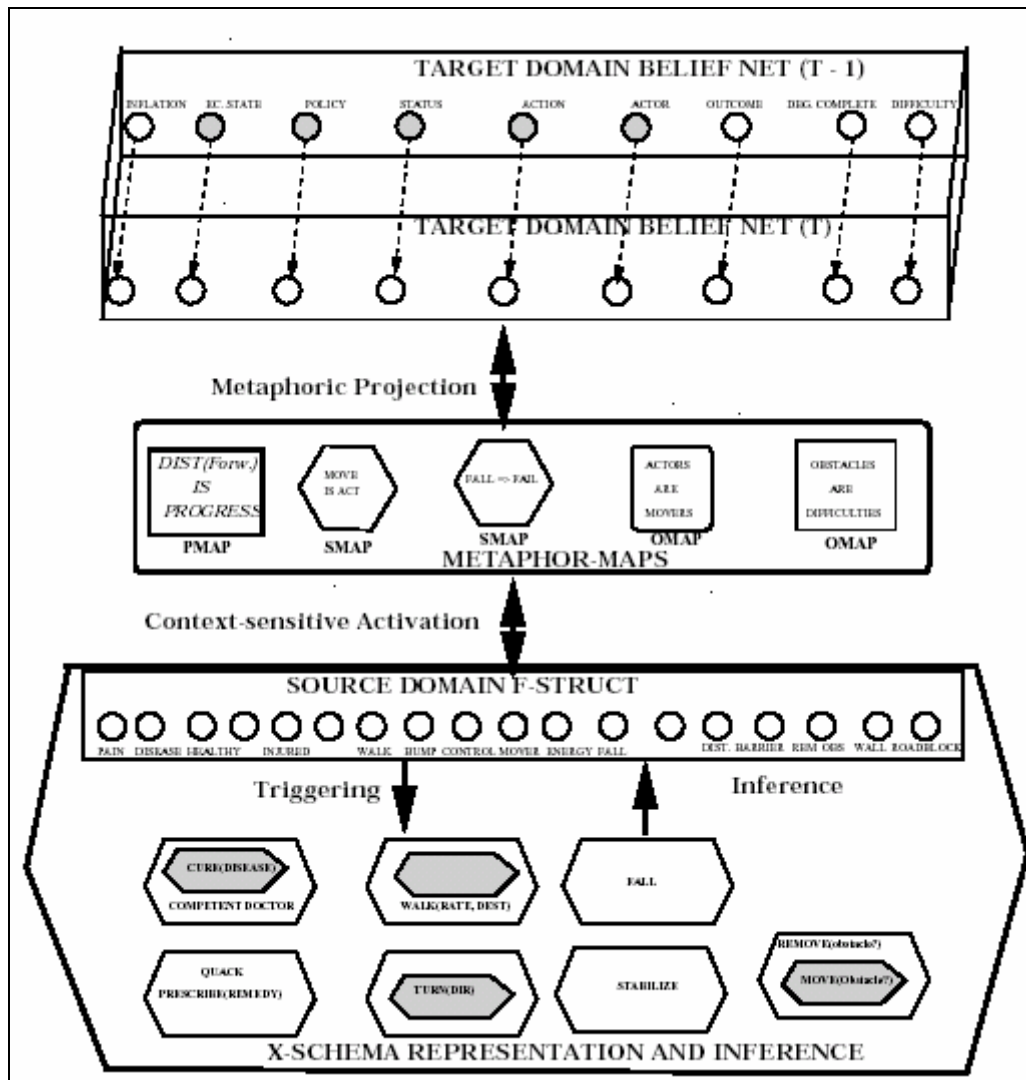


Abbildung 35: Das Modell des Metapher-Verstehens von Narayanan (1999a, S.122)

4.8.4. Grammatik

Ebenfalls innerhalb des L₀-Projekts wurde eine Grammatiktheorie entwickelt, auf die an dieser Stelle aber nur kurz eingegangen werden soll, da im Zentrum dieser Arbeit eher das Erlernen von Wörtern durch einen autonomen künstlichen Agenten als der Grammatikerwerb steht. Da die Grammatiktheorie aber ein wichtiger Teil des L₀-Projekts ist, soll sie hier kurz im Umriss dargestellt werden.

Der zunächst verfolgte Ansatz kann als eine probabilistischer, kontextfreier Grammatik verstanden werden: „Our approach to syntactic learning can be broadly described as learning of *probabilistic context-free grammars* using a *Bayesian inference* framework and *model merging* as the principal induction operator.” (Feldman, Lakoff, Bailey, Narayanan, Regier & Stolcke, 1996, S.104) Dabei ist bei probabilistischen Grammatiken Grammatik als eine Wahrscheinlichkeitsverteilung über alle möglichen

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Sequenzen von Wörtern realisiert. Wenn die „wahre“ Grammatik als probabilistisch angenommen wird, dann kann sie aus Beispielen abgeleitet werden, ohne dass „ungrammatische“ Sätze gesondert als solche markiert werden müssen. Aufgrund ihrer geringen Wahrscheinlichkeit würden sich ungrammatische Äußerungen von selbst als „nicht der Norm entsprechend“ markieren.

Ein Bayesian inference framework beinhaltet die Formalisierung der Einschätzung der Plausibilität einer Grammatik angesichts der Daten als Wahrscheinlichkeitsverteilung über alle möglichen Grammatiken. Darin enthalten ist eine Form von Occams Rasiermesser: bei ansonsten gleichem Erklärungswert ist die einfacher aufgebaute Grammatik zu bevorzugen.

Model merging bezieht sich auf eine Reduktion der Möglichkeiten in einer Grammatik. Wenn man das Bayesische Hintergrundmodell annimmt, ist es grundsätzlich möglich, die Grammatik mit der größten Erfolgswahrscheinlichkeit zu finden, wenn man *alle* Grammatiken untersucht. Das wird aber schnell unpraktikabel. Eine Alternative dazu ist es, Heuristiken zu benutzen, die die Suche durch den Grammatikalischen Modellraum effizienter machen. Dabei könnte man zunächst datengesteuert vorgehen. Model merging liegen zwei basale Ideen zugrunde:

- Data incorporation: wenn wenig Daten zur Verfügung stehen baue ein Modell, das die Daten direkt widerspiegelt.
- Merging: Wenn immer möglich (und es ein Gütekriterium gibt), dann kombiniere die Modelle oder Untermodelle.

Im NTL-Projekt (der Fortsetzung des L₀-Projektes) wurde dann der Entwicklungsschwerpunkt auf Konstruktionsgrammatik gelegt (zur Konstruktionsgrammatik im allgemeinen siehe Wildgen, 1998, zu Grammatik im NTL-Projekt siehe Bergen & Chang, 2001, Chang, Feldman, Porzel & Sanders, 2002). Die hinter diesem Ansatz stehende Grundannahme ist, dass linguistisches Wissen auf allen Ebenen als Konstruktion oder als eine Paarung von Form und Bedeutung gesehen werden kann. Zusammen mit anderen Konstruktionsgrammatikern wird angenommen, dass Sprachnutzer Konstruktionen benutzen, um von einer bestimmten Äußerung auf die zugehörige Struktur miteinander verbundener Konzepte zu schließen. In Abgrenzung zu anderen Konstruktionsgrammatikern bedeutet das Verstehen einer Äußerung in diesem Fall aber nicht nur, die intendierte Bedeutung herauszufinden, sondern auch, genügen Informationen zu haben,

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

um (sprachlich oder nichtsprachlich) adäquat reagieren zu können. Dazu wird Wissen um den Kontext benötigt, statische Verbindungen zwischen phonologischen und konzeptuellem Wissen reichen nicht aus.

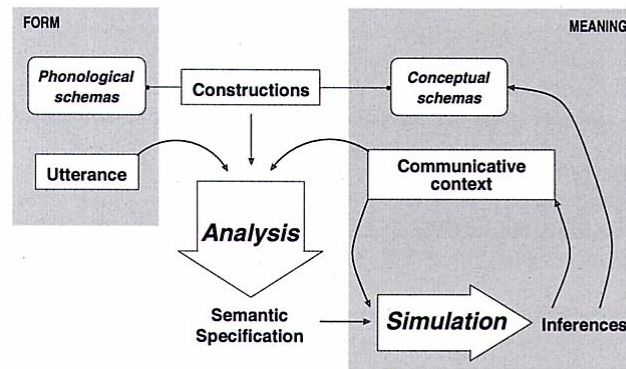


Abbildung 36: Überblick über das Modell (aus Bergen & Chang, 2001, S.2)

Abbildung 36 zeigt einen Überblick über das Modell. Erklärt werden müssen zum Verständnis des Modells noch die Begriffe „Konstruktion“ und „Schema“. Schemata sind in diesem Modell der Grundbaustein für semantische Repräsentation. Jedes Schema formalisiert eine konzeptuelle oder relationale Struktur als eine Menge von Funktionen, die zur Parametrisierung dieser Strukturen dienen. Sie werden zur Repräsentation von Bildern, und Aktionen und sowohl für statische als auch dynamische Situationen verwendet. Konstruktionen sind, wie oben schon erwähnt, die Basiseinheit linguistischen Wissens und dienen als Verbindung zwischen Form und Bedeutung. Dabei beinhaltet die Form Eigenschaften des Sprechsignals, der Geste, ..., die Bedeutung dagegen die interne Repräsentation des Wortbezugs. Konstruktionen sind immer bipolar mit einem Form-Pol und einem Bedeutungs-Pol. Sie können interne Strukturen haben, z.B. Konstituenten, die von anderen Konstruktionen instantiiert werden können. So können mehrere Konstruktionen sich gegenseitig aufrufen. Beispiele zur Zerlegung eines Satzes in Konstruktionen finden sich bei Bergen & Chang (2001).

Bei einer Äußerung in einem bestimmten kommunikativen Kontext werden zunächst Hypothesen über die der Äußerung zugrunde legenden Konstruktionen gebildet. Dieser Analyseprozess führt zu einer großen Menge an Konstruktionen, die phonologische und konzeptuelle Schemata verbinden, und zum gegenwärtigen Kontext. Es wird eine Semantische Spezifikation (semspec) produziert, die festlegt, welche Schemata von den Konstruktionen angestoßen werden, und wie diese in der Äußerung zusammenhängen. Der Semspec fungiert als Input zu einem Prozess, der die spezifizierten Ereignisse,

Kapitel 4: Computer, Sprache und Menschen – Eine Übersicht

Aktionen, Objekte, Relationen und Zustände aktiv simuliert. Die daraus folgenden Schlüsse formen die Weiterverarbeitung und bereiten die Basis für eine Antwort.

Das L₀-Projekt zeigt sich mit allen Teilbereichen als umfangreiches und in einzelnen Bereichen sehr detailliertes Projekt zur Erforschung und Modellierung menschlichen Sprachverstehens und menschlicher Sprachproduktion. Es ist jedoch auf menschliches Sprachverstehen und Sprachproduktion beschränkt, weiterführende psychologische Theorien zum menschlichen Erleben und Handeln finden nur am Rande Platz. Die Integration der einzelnen Subtheorien und –modelle beschränkt sich auf die Verwendung gemeinsamer Basiskonstrukte, die Integration zu einem Gesamtmodell fehlt jedoch.

Das im Folgenden vorzustellende Modell PSI-Lingua ist dagegen eine Erweiterung einer schon bestehenden Theorie menschlichen Verhaltens (und ihrer Implementation) um erste Ansätze zum Sprachverstehens und zur Sprachproduktion. In Kapitel 5 soll dieses System vorgestellt werden, in Kapitel 6 wird dann eine Abgrenzung der einzelnen Modelle und Theorien zueinander erfolgen.

Kapitel 5: PSI-Lingua

5.1. Die Oberfläche von PSI-Lingua

In diesem Kapitel soll PSI-Lingua, die um basale Sprachfähigkeiten erweiterte Form des PSI-Agenten beschrieben werden. Dabei soll – auch im Vorgriff auf die Kapitel 7 und 8 – zunächst die Oberfläche des Programms beschrieben werden um dann auf die in PSI-Lingua vorgenommenen Erweiterungen einzugehen.

Die Oberfläche von PSI-Lingua unterscheidet sich nur in Details von der Oberfläche von PSI. Neu sind bei PSI-Lingua die Buttons „Hallo“ und „Weg da!“ und das Fenster „Vorstellung“. Zudem gibt es unter dem Überpunkt „Optionen“ in der Kopfleiste noch drei zusätzliche Optionen, „selbst antworten“, „Wörter vorgeben“ und „Psi sprachlos“.

Der Button „Hallo“ dient dazu, mit PSI Kontakt aufzunehmen, PSI darauf aufmerksam zu machen, dass man etwas von ihm will. Wenn er angeklickt wird, erscheint ein Dialogfeld, mit dessen Hilfe mit PSI verbal kommuniziert werden kann (geschriebene Sprache). PSI reagiert immer auf das Anklicken des Buttons (d.h. es „hört“ sich die Mitteilung des Benutzers immer an), führt aber dann die angegebenen Anweisungen nicht unbedingt aus (siehe Kapitel 5.4.8).

Der Button „Weg da!“ dient dazu, PSI von Objekten „wegzuziehen“, die es nicht mehr manipulieren soll. Dies kann z.B. verwendet werden, wenn PSI versucht, die Giftpflanzen zu fressen oder auch nur, wenn der menschliche Benutzer ungeduldig wird, weil PSI dazu tendiert, sehr lange mit einzelnen Objekten zu experimentieren.

Das Fenster „Vorstellung“ dient dazu, PSIs Vorstellungen abzubilden. Wenn sich PSI etwas vorstellt, wird das in diesem Fenster für den menschlichen Benutzer sichtbar.

Die Option „selbst antworten“ wird benötigt, wenn PSI für die Objekte auf der Insel andere Namen lernen soll als die Bitmap-Namen des Programms.

„Wörter vorgeben“ dient dazu, Psi mit einige Fragewörtern und Relationen auszustatten, die es nicht erst erlernen muß sondern quasi „von Geburt an“ beherrscht. Diese Option wurde eingeführt, damit das zeitaufwendige Trainieren von PSI nicht bei jedem Programmablauf durchgeführt werden muss. Eine bessere Lösung wäre es, PSIs Erinnerungen zu speichern und somit PSI nach einer Deaktivierung wieder „zum Leben erwecken“ zu können, aber dies ist im Moment noch nicht verwirklicht.

Kapitel 5: PSI-Lingua

„PSI sprachlos“ ist die Umschaltmöglichkeit zum „normalen“ Psi, das ja über keine Sprache verfügt. Doch ist das PSI-sprachlos nicht ganz identisch mit dem „normalen“ PSI, da es zwar Wörter (z.B. „Baum“) lernt, sie aber nicht verwendet.

Zusätzlich verfügt PSI durch einen angekoppelten Spracherkenner und einen Sprachgenerator über die Möglichkeit, sich nicht nur schriftlich, sondern auch mündlich auszudrücken. Dies ändert am Grundaufbau des Hauptfensters nichts, ist aber – wenn es um Äußerungen von PSI geht – erheblich praktischer als die Kommunikation über Checkbox, die vom Benutzer jeweils wieder weggeklickt werden muß.

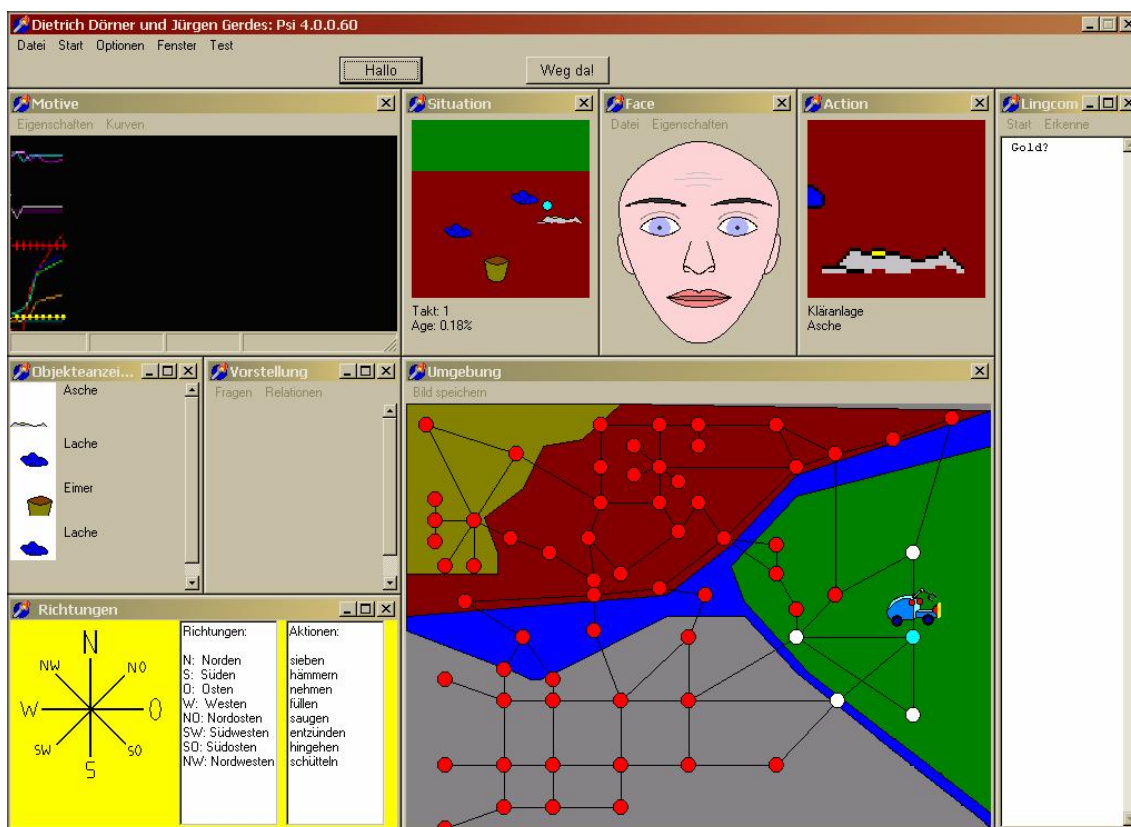


Abbildung 37: Die Oberfläche von PSI-Lingua

5.2. Die Sprachein- und -ausgabe

Es gibt zwei Möglichkeiten der Kommunikation mit PSI, einerseits über Tastatureingaben, andererseits über einen kommerziellen Spracherkenner und ein kommerzielles Sprachausgabe-Tool. Die flexiblere beider Interaktionsmöglichkeiten ist die Tastatureingabe, der Spracherkenner ermöglicht jedoch eine schnellere, „natürlichere“ und (tipp-)fehlerfreie Kommunikation.

Die Tastatureingabe geschieht über ein Interaktionsfenster, in dem sich ein Eingabefeld und die Button „O.K.“ und „Abbrechen“ befinden. Erfolgte Eingaben müssen mit

Kapitel 5: PSI-Lingua

„O.K.“ abgeschlossen werden, mit „Abbrechen“ abgeschlossene Eingaben werden ignoriert.

Um mit PSI auch verbal kommunizieren zu können, wurden an PSI das kommerzielles Spracheingabesystem LingSDK¹⁹ und das Sprachausgabesystem Logox4 gekoppelt.

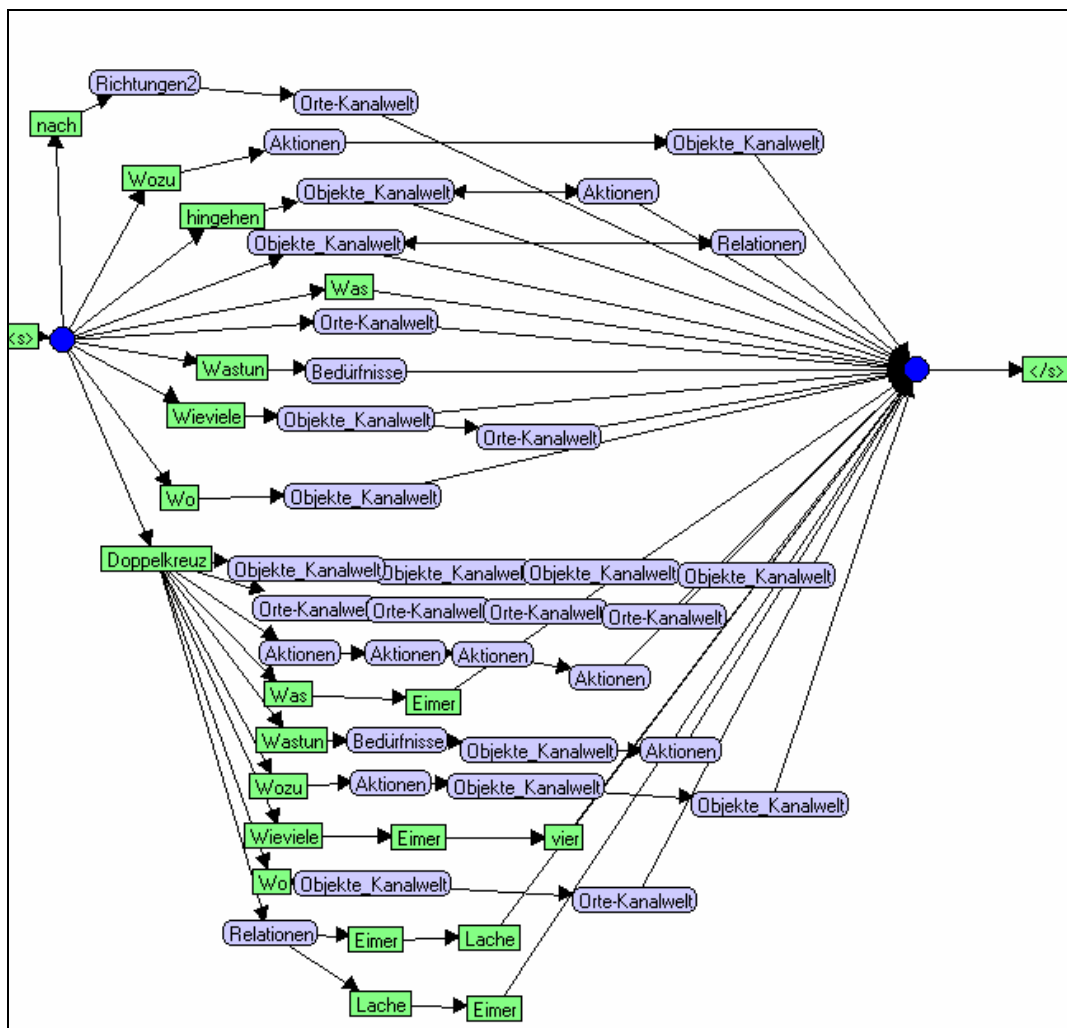


Abbildung 38: Ling-Spider

LingSDK ist sprecherunabhängig (d.h. es muss nicht trainiert werden), sein Wortschatz und die dahinterstehende Grammatik (siehe unten) können vom Entwickler selbst bestimmt werden. Dies bedeutet, dass LingSDK im Gegensatz zu Diktierprogrammen nicht über einen vorgegebenen Wortschatz verfügt, sondern an die spezifischen Anforderungen des jeweiligen Benutzers angepasst werden kann. Da es nicht trainiert werden muss, entfällt die bei handelsüblichen Diktierprogrammen noch nötige, gelegentlich recht langwierige, Trainingphase, in der dem Programm bekannte Texte

¹⁹ <http://www.lingcom.de> (14.3.2003)

Kapitel 5: PSI-Lingua

vorgelesen werden, um es so mit der Stimme des individuellen Sprechers vertraut zu machen.

Hinter LingSDK steht eine Grammatik, die festlegt, welche Wörter (oder Gruppen von Wörtern) in welcher Reihenfolge aneinandergereiht werden dürfen, um erkannt zu werden. Diese Grammatik gibt also nicht nur vor, welche Wörter LingSDK erkennt, sondern auch, in welcher Reihenfolge sie angeordnet sein dürfen.

Dabei bezeichnen die grünen, eckigen Felder Einzelwörter, die violetten, ovalen Felder Unternetzwerke, die blauen Punkte sind Nullknoten (Platzhalter, die verwendet werden, um Mehrfachverbindungen herzustellen) und die grünen Felder mit `<s>` und `</s>` bezeichnen den Anfang bzw. das Ende eines Satzes. Mögliche Sätze werden durch die Pfeile angegeben, so ist z.B. „Wastun Hunger“ ein möglicher Satz, da „Hunger“ im Unternetzwerk „Bedürfnisse“ enthalten ist, „Wastun Haselwald“ jedoch nicht, da „Haselwald“ im Unternetzwerk „Bedürfnisse“ nicht enthalten ist.

Ein solches Unternetzwerk ist analog zum übergeordneten Netzwerk aufgebaut, es enthält im Fall von Abbildung 39 alle Relationen, die PSI erkennen kann oder im Fall des Unternetzwerkes „Objekte_Kanalwelt“ alle Dinge, die es auf der Insel gibt. In Abbildung 39 ist das Unternetzwerk „Relationen“ dargestellt, da es sich hier um eines der kleinsten und damit übersichtlichsten Netzwerke handelt.

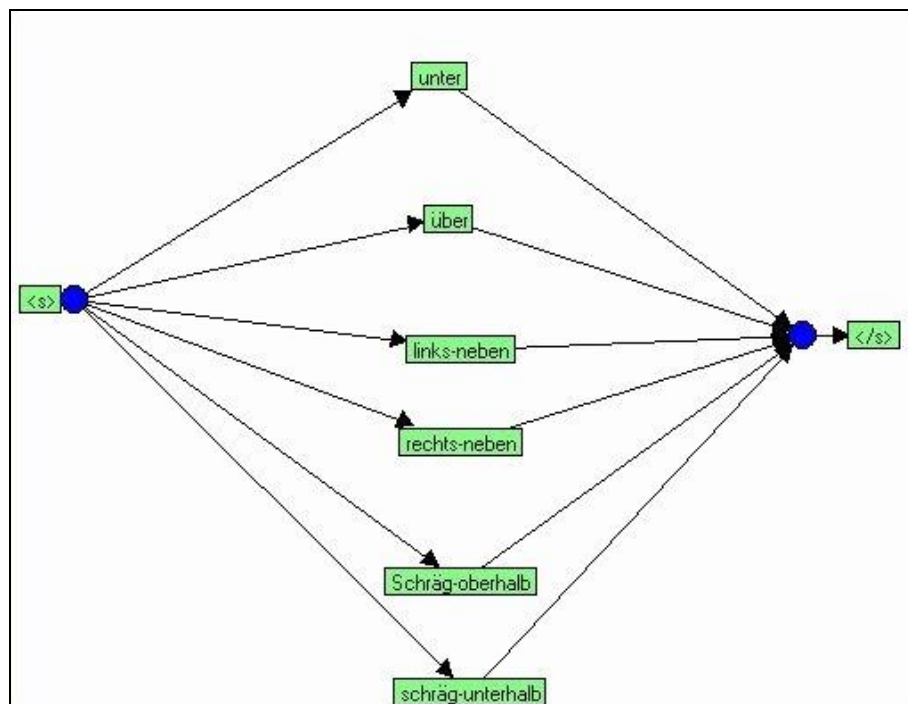


Abbildung 39: Relationen in LingSpider

Kapitel 5: PSI-Lingua

LingSDK benötigt für jedes verwendete Wort eine phonetische Umschrift mittels des SAMPA-Alphabets²⁰. Dabei handelt es sich um eine phonetische Umschreibung aller Wörter, die das Programm in seinem Wörterbuch hat. Eine solche Transkription übersetzt z.B. das Wort „zwei“ in „t s u ai sp“, aus „drei“ wird „d r ai sp“ etc. Diese phonetische Umschrift und die vorgegebenen möglichen Reihenfolgen von Wörtern erlauben es dem Programm, ohne Training auf einen bestimmten Sprecher Wörter zu erkennen.

Der Nachteil eines solchen Systems ist die Festlegung auf eine bestimmte Reihenfolge von Wörtern und auf eine bestimmte Anzahl von Wörtern, der große Vorteil ist die Robustheit des Systems gegenüber Hintergrundgeräuschen und das Wegfallen des Trainings. Letzteres ist gerade beim Umgang mit einem so komplexen System wie PSI eine große Erleichterung, da hier ohnehin schon Vorinformation (Bezeichnungen von Objekten, mögliche Wortreihenfolgen, Umgang mit der Programmoberfläche) beachtet werden müssen. Dennoch bleibt das System hinter PSIs Möglichkeiten zurück, da PSI ja durchaus in der Lage ist, falsche Wortreihenfolgen neu zu ordnen oder Tippfehler zu tolerieren, LingSDK erkennt jedoch nur vorgegebene Wortreihenfolgen. Dafür ist LingSDK aber sehr zuverlässig und muss – wie schon erwähnt – nicht trainiert werden. In der Taskleiste des PSI-Programms findet sich unter Optionen die Möglichkeit „LingSDK“. Wenn dies angeklickt wird findet die Kommunikation mit PSI nicht mehr über die Inputquerys statt, sondern über LingSDK. Wenn PSI Fragen stellt erscheint dann ein eine Messagebox mit der Frage und den Buttons „O.K.“ und „Abbrechen“. Wenn man auf „Abbrechen“ klickt, dann bedeutet dies, dass PSI keine Antwort bekommt, wenn man dagegen auf „O.K.“ klickt, dann wird der Spracherkenner aktiv und man kann mit PSI sprechen. Ob LingSDK das Gesagte richtig verstanden hat, kann man in dem Fenster LingSDK überprüfen, dass sich am rechten Bildschirmrand befindet.

Die Sprachausgabe Logox4 ist dagegen flexibel. Ihr werden beliebige Wörter übergeben, die dann ausgesprochen werden, wobei auch Satzzeichen bei der Betonung mitbeachtet werden. Bei einem Fragezeichen am Ende eines Textes wird das letzte Wort mit fragender Intonation ausgesprochen. Dabei kann man verschiedene Sprecher einstellen, für diese Arbeit wurde aufgrund der größten Natürlichkeit dieser Stimme der

²⁰ <http://www.webspeech.de/alphabet.php> (14.3.2003)

Sprecher „Bill“ (eine Männerstimme) gewählt. Diese Stimme klingt zwar immer noch eindeutig mechanisch, aber mit ihr ist eine zweiseitige verbale Kommunikation mit PSI verwirklicht. Diese Kommunikation ist zwar auf eine verbale Kommunikation und einen basalen Themenkreis beschränkt, aber die Grundlagen für ein weiteres Vorgehen sind gelegt.

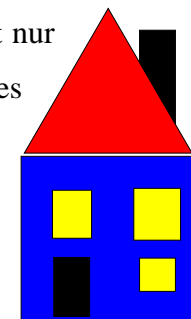
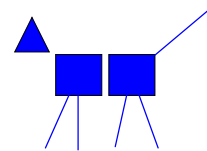
5.3. Wörter

5.3.1 Einführung

Im Folgenden soll zunächst erläutert werden, wie das PSI-Programm funktioniert und welche Grundlage verwendet werden, in weiteren Kapiteln wird dann auf die Realisierung der bisherigen Sprachfähigkeiten in PSI eingegangen. Eine Darstellung der gesamten PSI-Theorie findet sich bei Dörner (1999) und bei Dörner et. al (2002), eine Darstellung der in der PSI-Theorie befindliche Sprachtheorie befindet sich in Kapitel 3.4 dieser Arbeit.

5.3.2 Grundprinzipien: Objekterkennung

Da die Objekterkennung und die Spracherkennung bei PSI eng zusammenhängen möchte ich an dieser Stelle noch einmal näher auf die Wahrnehmung von PSI eingehen. Die Objekterkennung von PSI findet als Hypothesengeleitete Perception (Hypercept) statt (vgl. z.B. Dörner, 1999). Dies bedeutet, dass – wenn PSI beispielweise einen Hund wahrnehmen soll – es die Abtastung des Objektes mit einem Element beginnt. Dann überprüft es, wo dieses Element überall vorkommt und wählt eine dieser Möglichkeiten aus. Z.B. kommt eine senkrechte Linie – hier das stilisierte Vorderbein eines Hundes – nicht nur bei einem Hund vor, sondern es könnte sich auch um das Bein eines Menschen handeln, um die Wand eines Hauses,... Wenn PSI – unter Berücksichtigung des Kontextes und seiner bisherigen Erfahrung mit senkrechten Linien – eine dieser Möglichkeiten ausgewählt hat (nehmen wir einmal an, es wurde die Möglichkeit „Haus“ ausgewählt), dann wird überprüft, welches Element bei dieser Möglichkeit als nächstes kommen sollte. Bei einem Haus wäre das z.B. eine waagrechte Linie, die an der Basis des senkrechten Striches beginnt. Wenn das tatsächliche Objekt nun ein Hund ist, existiert diese Linie nicht. Wenn die waagrechte Linie nicht gefunden wird, bedeutet dies, es kann sich bei dem wahrgenommenen Objekt nicht um ein Haus handeln, und



somit muß eine andere Hypothese aufgestellt werden. Wenn PSI nun die Möglichkeit „Hund“ auswählt, dann müßte auf den senkrechten Strich eine waagrechte Linie folgen, die oberhalb des Striches anfängt. Dies ist gegeben. Bei dem wahrgenommenen Bild schließt sich an die vorhandene waagrechte Linie wieder eine waagrechte Linie an. Dies ist auch beim Dingschema für „Hund“ so, also wird nun überprüft, welches Objekt beim Dingschema für „Hund“ als nächstes kommt, und es wird überprüft, ob dies auch für das tatsächliche Objekt zutrifft, usw. Dies geht so lange weiter, bis das Objekt völlig abgetastet ist und – wenn ein übereinstimmendes Schema gefunden wurde – erkannt wurde, oder als neu kategorisiert wurde. Diese Grundprinzipien der Objekterkennung wurden auf das Erkennen der optischen Gestalt von Wörtern erweitert, die Worterkennung (Erkennung der optischen Gestalt, der Erkennung ihrer Bedeutung spielt hier noch keine Rolle) verläuft nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie die Objekterkennung.

5.3.3 Grundprinzipien: Abtastung von Wörtern

PSI liest Wörter ein, indem es Zeichenfolgen Buchstabe für Buchstabe abtastet. Die Buchstabe an sich sind dabei vorgegeben, d.h. PSI erkennt ein ‚a‘ als a ohne das Muster erst lernen zu müssen. Es gibt vordefinierte Neuronen, die für einzelne Buchstaben „zuständig“ sind und bei Erkennung eines Buchstabens aktiv werden. Wenn einzelne Buchstaben erkannt werden, wird das entsprechende Neuron entweder initialisiert – wenn der Buchstabe zuvor noch nicht aufgetreten ist – oder gegebenenfalls mit einer neuen sur-Verknüpfung²¹ hin zum neuen Wort ausgestattet. Wenn die Länge des einzulesenden Wortes größer als eins ist (was in aller Regel der Fall ist, Ausnahmen sind Satzzeichen, die ebenfalls als Wörter behandelt werden) wird der Anfangsbuchstabe als solcher markiert (er wird das Anfangsneuron einer Neuronenkette) und die Worterkennung, eine Abwandlung des Hypercept-Prozesses, die im folgenden HyperceptLan genannt werden soll, wird angestoßen. Hier wird zunächst überprüft, ob von dem gerade überprüften Neuron aus sur-Verbindungen existieren, d.h. ob ein Buchstabe oder ein Wort (oder ein Satz usw.) eine Verbindung nach „oben“ haben, d.h. ob der Buchstabe schon einmal zu einem Wort gehört hat und ob dieses Wort das eben eingelesene Wort ist, das Wort schon einmal zu einem Satz gehört hat, ... Wenn eine solchen sur-Verbindung existiert, und wenn dieses

²¹ vgl. Kapitel 2, sur-Verknüpfungen führen vom Teil zum Ganzen.

Kapitel 5: PSI-Lingua

übergeordnete Element dem eingelesenen Element entspricht (d.h. wenn das Neuron für den Buchstabe ‚H‘ am Anfang des eingelesenen Wortes ‚Hund‘ nicht nur eine sur-Verbindung hat, sondern diese auch noch dem Wortschema ‚Hund‘ entspricht), geht HyperceptLan eine Stufe höher und überprüft wieder, ob eine sur-Verbindung besteht.

HyperceptLan (vgl. Abbildung 40) funktioniert nach demselben Prinzip wie Hypercept, d.h. hier werden Hypothesen über den Fortgang des Wortes aufgestellt und überprüft. Wenn PSI z.B. die Wörter „Haus“ und „Hund“ kennt, so kann ein „H“ am Beginn eines Wortes auf „Haus“, auf „Hund“ oder auf ein völlig neues Wort hindeuten. In HyperceptLan wird nun – zufällig, noch nicht kontextgeleitet – eines der bekannten Wörter ausgesucht, dessen nächster Buchstabe wird mit dem nächsten Buchstaben des gerade einzulesenden Wortes verglichen. Wenn diese beiden Buchstaben übereinstimmen, wird der nächste Buchstabe des gerade einzulesenden Wortes identifiziert. Dann wird nachgesehen, ob dieser Buchstabe mit dem jetzt nächsten (d.h. dem dritten) Buchstaben des Wortes aus dem Gedächtnis übereinstimmt, usw. Wenn zwei Buchstaben nicht übereinstimmen, bzw. eines der beiden Wörter zu Ende ist, das andere aber nicht, wird das nächste schon bekannte Wort mit dem Anfangsbuchstaben herangezogen und HyperceptLan überprüft es auf Passung zum einzulesenden Wort. Dies geht so lange weiter bis das einzulesende Wort entweder erkannt wurde, oder bis es keine Wörter im Gedächtnis mit dem entsprechenden Anfangsbuchstaben mehr gibt. In diesem Fall wird das einzulesende Wort als neu erkannt.

Die zufällige Auswahl eines von mehreren Alternativwörtern ist noch unbefriedigend, hier wäre eine Auswahl des Wortes aufgrund des momentanen Kontexts (Motivlage, kürzlich gemachte Erfahrungen, ...) wünschenswert. Innerhalb von HyperceptLan existiert eine Fehlertoleranz, die dann über eine vorzugebende Menge an nicht übereinstimmenden Buchstaben hinwegsieht, und so beispielweise auch ein „Huaus“ als „Haus“ erkennen kann. Doch auch diese ist nicht bedürfnisgesteuert, allerdings schon vom Auflösungsgrad abhängig, d.h. je höher PSIs Auflösungsgrad ist, desto eher werden auch Wörter als ungleich erkannt, und je niedriger der Auflösungsgrad ist, desto eher werden auch ungleiche Wörter als gleich erkannt. Eine Kontextabhängigkeit der Fehlertoleranz wäre wünschenswert, da PSI dann auch Bedürfnisabhängige Fehler machen könnte, und so im Zustand großen Hungers „Suchen“ mit „Kuchen“ verwechseln und ähnliche Fehler machen könnte.

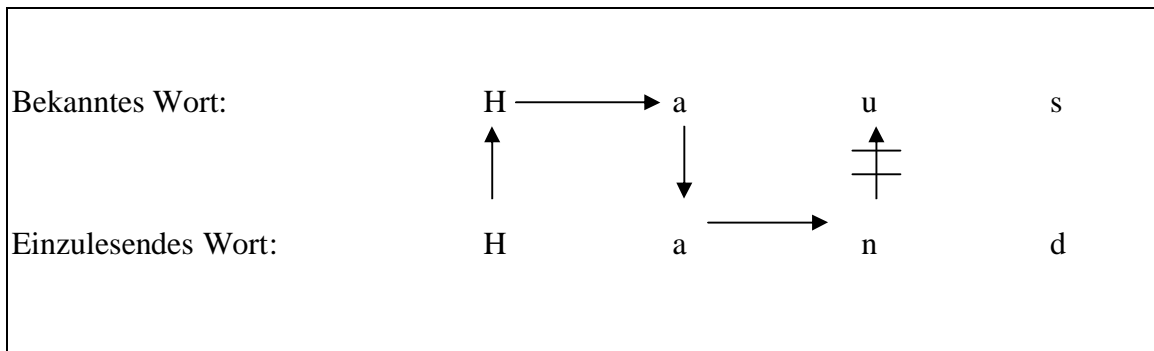


Abbildung 40: HyperceptLan

Wenn ein Wort erkannt wurde, wird *keine* zweite Neuronenkette für dieses Wort angelegt sondern es wird von diesem Wort aus eine zweite sur-Verknüpfung in den neuen Satz hinein angelegt. Ebenso existiert jeder Buchstabe nur einmal als Neuron, er ist jedoch mit jedem neuen Wort, in dem er enthalten ist, durch eine eigene sur-Verknüpfung verbunden.

Wenn ein Wort als neu erkannt wurde, wird ein neues Wortschema angelegt. Dies geschieht, indem die jeweils folgenden Buchstaben eingelesen werden (d.h. durch Muster erkannt und die Buchstaben mit einer neuen sur-Verknüpfung ausgestattet werde und an diese sur-Verknüpfung ein neues Neuron angehängt wird) und die jeweils aufeinanderfolgenden Buchstaben mittels por-Verknüpfungen miteinander verbunden werden.

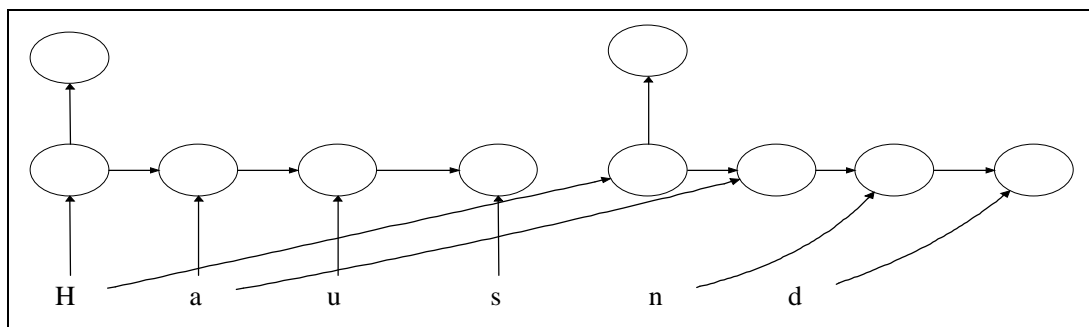


Abbildung 41: Wörter

Wenn mehrer Wörter aufeinanderfolgen, werden die Bossknoten der einzelnen Wörter (hier jeweils die Neuronen, die auf die Anfangsbuchstaben zeigen) mittels ihrer sur-Verbindungen mit einem Satzneuron (d.h. einem übergeordneten Neuron, das einen Satz repräsentiert) verknüpft.

Wenn PSI einzelne Wörter innerhalb eines Satzes nicht kennt und es nicht gerade auf ein neues Wort wartet (d.h. wenn es nicht erwartet, dass ihm jetzt ein neues Wort

Kapitel 5: PSI-Lingua

beigebracht wird) dann ignoriert PSI diese unbekanntenen Wörter und versucht, aus den restlichen bekannten Wörtern eines Satzes einen „Sinn“ abzuleiten (vgl. dazu Kapitel 3.4).

5.3.4 Grundprinzipien: Ausgabe

Um ein internes Wortschema tatsächlich als geschriebenes Wort wieder ausgeben zu können muß die Neuronenstruktur wieder in Buchstaben umgesetzt werden. Dazu wird ein Wortschema vom Kopfneurone (das Neuron, dass auf den Anfangsbuchstaben zeigt) in por-Richtung durchtastet, und je nach angehängtem Buchstabendetektor werden die entsprechenden Buchstaben generiert. Diese Buchstaben werden aneinandergehängt und schließlich in Form eines Strings ausgegeben. Wenn ein ganzer Satz ausgegeben werden soll, dann wird zunächst das erste Wort dieses Satzes Neuron für Neuron abgetastet und in die entsprechenden Buchstaben überführt, dann das nächste Wort und so weiter, bis die gesamte Neuronenkette abgetastet und in Buchstaben überführt wurde.

5.3.5 Wörter und Dinge

Zusätzlich zu den „normalen“ vier Axonen eines Quads wurden für die Sprachverarbeitung zwei neue Axone eingeführt. Das Axon „pic“ verknüpft den Anfangsknoten eines Wortschemas mit dem Anfangsknoten eines Dingschemas, das Axon „lan“ bildet die entgegengesetzte Verknüpfung, nämlich vom Dingschema zum Wortschema. Die Verknüpfung von Wortschema und Dingschema hätte sich zwar auch mit den schon vorhandenen vier Axonen realisieren lassen, aber dies wäre erheblich aufwendiger gewesen als die jetzige Realisierung mit den zusätzlichen Axonen. Zudem erscheint es sinnvoller, wenn etwas für die kognitiven Prozesse des Menschen so wichtiges wie die Sprache (vgl. Dörner, 1999, Bartl & Dörner, 1998) auch über eine besonderer Verbindung realisiert ist und somit erheblich sicherere und schneller anzusteuern ist als eine Realisierung über bislang schon vorhandene Verbindungen. In Abbildung 42 wird anhand eines einfachen Beispiels gezeigt, wie sich die Wortschemata in PSIs interne Repräsentation seiner Welt einfügen. Hier wird auch gezeigt, dass ein Wortschema sich bei PSI nicht nur auf (direkt) auf ein Sensorisches oder Aktionsschema bezieht, sondern sich (indirekt) noch auf andere Sensorische und Aktionsschemata beziehen, die in Verbindung zu dem ursprünglich benannten Objekt oder der benannten Handlung stehen. Im Beispiel ist das Sensorische Schema für das Wort „Lache“ nicht nur – direkt – mit dem sensorischen Schema für das Objekt lache

Kapitel 5: PSI-Lingua

verbunden, sondern auch – indirekt – mit dem motorischen Schema „trinken“ und dem zugehörigen Wortschema „trinken“, mit dem Bedürfnisindikator Durst und dem zugehörigen Wortschema Durst und dem sensorischen Schema Haselwald sowie dem zugehörigen Wortschema. Wenn PSI weitere Erfahrungen mit seiner Umgebung sammelt, wird weiteres Wissen angesammelt werden und das Netzwerk an Verbindungen wird reichhaltiger und dichter werden.

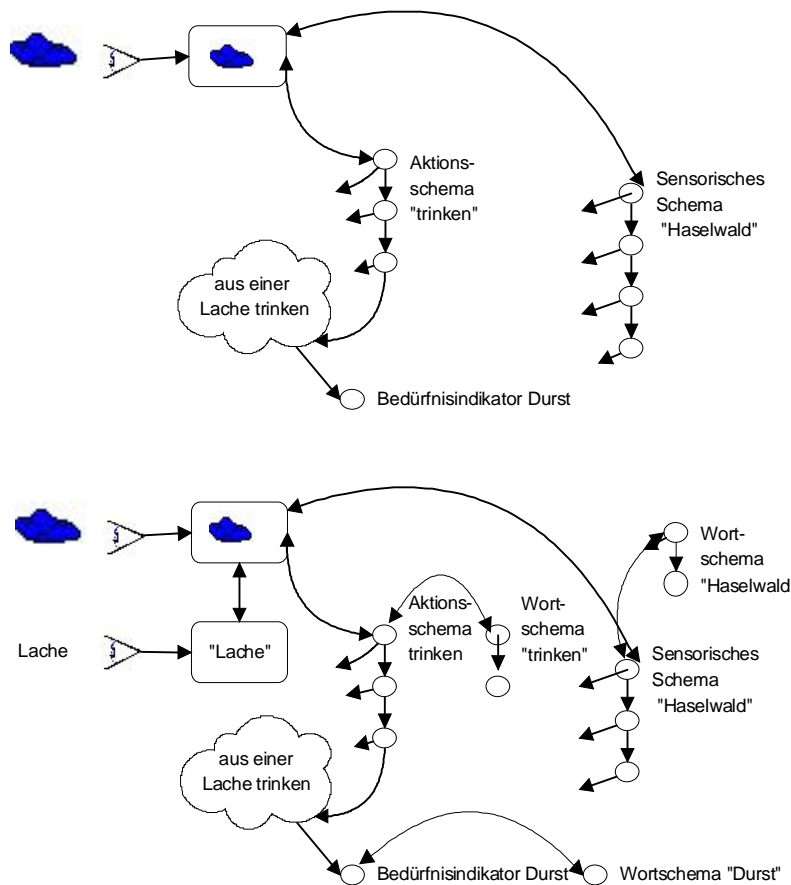


Abbildung 42: PSIs interne Repräsentation ohne (oben) und mit Wörtern (unten)

Diese Verbindung zwischen Wort- und Dingschema wird als semantische Grundrelation bezeichnet. Die semantische Grundrelation ist ursprünglich auf Aristoteles zurückzuführen, bekannt wurde sie jedoch durch Ogden & Richards (1960, S.10). Sie bezeichnet eine Verbindung zwischen einem Symbol (ein Zeichen, z.B. das Wort „Lache“), einer Referenz (ein Gedanke) und einem Referent (Außending, auf das sich die Referenz bezieht) (nach Dörner, 1999, S.227).

Weiterhin ist der entsprechende Begriff – wie oben schon erläutert – noch in verschiedene Verhaltensprogramme und Geschehnisschemata (ein Geschehnisschema

Kapitel 5: PSI-Lingua

ist die Repräsentation einer Abfolge von sensorischen und motorischen Schemata, siehe Kapitel 2) eingeordnet.

Diese Verhaltensprogramme und Geschehnisschemata sind für jede Person individuell, so kann z.B. mit „Lache“ das Verhaltensprogramm „trinken“ oder das Verhaltensprogramm „plantschen“ verbunden sein, je nach den gesammelten Erfahrungen. Über die Zeit wird auch der Begriff „Lache“ sich verändern, indem neue Eindrücke aufgenommen und integriert werden.

Bei wenig anschaulichen Wörtern wie „Freiheit“ verfügen wir nicht über *ein* relativ stabiles mit diesem Wort verbundenes Dingschema, sondern über eine ganze Menge verschiedener Situations-, Ereignis- und Dingschemata und Verhaltensprogramme, die verschiedene Aspekte des Begriffes „Freiheit“ widerspiegeln. All diese verschiedenen Verknüpfungen zusammen bilden die Bedeutung von „Freiheit“. Da hier so viele verschiedene Verknüpfungen zusammen die Bedeutung von eines Begriffes bilden ist auch verständlich, warum gerade unanschauliche Begriffe von verschiedenen Menschen so unterschiedlich verstanden werden- jeder hat im Laufe seines Lebens diese Begriffe mit unterschiedlichen Aspekten angereichert.

Doch wie wird ein Satz verstanden? Bisher wurde nur die Verbindung zwischen Wörtern und Gedächtnisinhalten dargestellt.

Zunächst werden die einzelnen Wörter des Satzes identifiziert, d.h. es wird nach entsprechenden Schemata gesucht. Um den Satz als Ganzes zu verstehen, ist es noch nötig, die Struktur des Satzes zu verstehen, d.h. die Verbindung zwischen den Einzelschemata aufzubauen. Dazu wird bei Menschen die Satzstellung genutzt, in der angegeben wird, welches Wort welche Funktion in einem Satz hat (im einfachsten Fall die Zuordnung Subjekt-Prädikat-Objekt oder sogar nur Subjekt-Prädikat). Bei komplexen Sätzen wird der Satz vom Hörer/Leser zunächst in seine Bestandteile zerlegt, diese werden ihrer hierarchischen Ordnung nach untersucht. Ebenso wird der Kontext bemüht, um Unklarheiten in der Syntax und der Semantik des Satzes aufzuklären. Und wenn immer noch nicht alles klar ist? Dann werden Fragen gestellt.

Bei PSI existiert allerdings noch keine Grammatik, mit der es möglich wäre, aufgrund der Position der Wörter mehr als sehr basale Informationen über die Struktur des Satzes zu erlangen (genauer wird in den folgenden Kapiteln erläutert werden).

5.4. Was kann PSI-Lingua?

5.4.1 Einleitung und Überblick

Im folgende Kapitel soll dargestellt werden, welche sprachlichen Fähigkeiten PSI verliehen wurden und wie diese Fähigkeiten implementiert wurden. Die Reihenfolge der Unterkapitel beginnt dabei bei sprachlichen Basisfähigkeiten wie der Benennung einzelner Objekte aus (Kapitel 5.4.2) und endet schließlich beim Verstehen nicht-grammatischer Fragen. All diesen Realisationen von Sprache in PSI liegen dabei bestimmte theoretische Annahmen zugrunde:

- (Neue) Wörter müssen sich auf wahrnehmbare Gegebenheiten stützen. Diese Annahme schränkt die erlernbaren Wörter zunächst auf Wörter ein, für die es eine direkte oder später auch indirekte Repräsentation in der Gedächtnisstruktur von PSI gibt. Somit kann hier eine direkte Abbildung der inneren Repräsentation des Wortes auf die interne Repräsentation des entsprechenden Objektes oder der entsprechenden Relation erfolgen. Direkte Repräsentationen in der Gedächtnisstruktur sind beispielsweise die schon genannten Objektschemata, indirekte Repräsentationen wären unter anderem räumliche Relationen wie „neben“, die durch das Zusammenwirken verschiedener Schemata entstehen, aber eben nicht als einzelne Repräsentation bestehen. Je nach schon vorhandenen sprachlichen Fähigkeiten kann beim Menschen mittels Selbstreflexion (über die PSI nicht verfügt) auch sehr unscharfen Wörtern wie Freiheit Bedeutung verliehen werden, indem sie mit verschiedenen anderen Konzepten verbunden werden, doch dies ist für PSI noch nicht realisiert. Dinge, die PSI nicht wahrnehmen kann (wie z.B. Farben) kann es ohne solche Selbstreflexionsprozesse nicht benennen (und auch mit Selbstreflexionsprozessen hätten Farben eine andere Bedeutung für PSI als sie sie für einen farbensehenden Menschen haben).
- Wenn ein Bild gezeigt wird, muß es herangezogen werden. Bilder fungieren in PSIs Spracherwerb als starker Hinweis darauf, dass das zu lernende Wort etwas mit den (räumlichen) Relationen auf dem vorgegebenen 2-dimensionalen Bild zu tun hat. Dies erleichtert das lernen von Wörtern beträchtlich, da es beispielweise zwischen einem Baum und einem Haselnussstrauch mehrere mögliche Relationen geben kann: sie können in einer bestimmten räumlichen Relation stehen, sie können beide Teil der selben Situation sein, zum selben Ziel führen, Die Vorgabe eines Bildes

schränkt auf räumliche Relationen ein und erleichtert somit den Lernprozess. Dieses Vorgehen ist plausibel, da PSI zum Erlernen eines neuen Wortes hier parallel ein Bild vorgegeben wird, so dass die Annahme, der zu findende Zusammenhang könnte im Bild repräsentiert sein, nahe liegt.

- Um den Prozess der Bedeutungsfindung für ein Wort in PSI zu realisieren wurde auf Annahmen aus der Entwicklungspsychologie zurückgegriffen. Wenn PSI ein Objekt gezeigt und dazu ein Wort genannt wird, gibt es eine große Anzahl an möglichen Bedeutungen für dieses Wort: es könnte sich auf das ganze Objekt beziehen, auf seine Farbe, seine Größe, ... Markman (1989, 1992, 1994) nimmt an, dass es Constraints im Wortlernen geben muss, die Kinder erst dazu befähigen, ihre Muttersprache zu lernen. Sie geht davon aus, dass Kinder, um in so kurzer Zeit einen so großen Wortschatz entwickeln zu können, über bestimmte Constraints verfügen müssen, die die zahlreichen Bedeutungsmöglichkeiten einzelner Wörter einschränken. Sie nimmt drei Constraints an: die whole-object assumption (Kinder benennen bevorzugt ganze Objekte, nicht Teile oder Eigenschaften dieser Objekte), die taxonomic assumption (sie ermöglicht es Kindern, die Bedeutung von Wörtern auf Objekte der selben Art auszudehnen, danach bezeichnen neue Wörter vermutlich kategoriale und keine thematischen Relationen zwischen Wörtern) und die mutual exclusivity assumption (Kinder versuchen, nicht mehr als ein Label für ein Objekt zu haben). Diese Constraints sind nicht als absolute Einschränkungen zu verstehen, sondern als flexible Regeln, die den Worterwerb erleichtern. Es handelt sich um „Voreinstellungen“, die sich gegebenenfalls widersprechen können und auch überschrieben werden können.

Aufbauend auf diese theoretischen Grundannahmen ist PSIs Spracherwerb realisiert. Die Grundannahmen bilden zusammen mit der in Kapiteln 3.4 beschriebenen Theorie das Gerüst für PSIs Spracherwerb, der in den folgenden Kapiteln beschrieben werden soll.

5.4.2 Objekte und Situationen benennen und sich vorstellen

Während PSI seine Umgebung erkundet, trifft es auf verschiedene Objekte. Wird ein Objekt als neu klassifiziert (d.h. von PSI nicht erkannt), fragt PSI nach dem Namen dieses Objektes. Die Art der Frage ist abhängig von PSIs Wissensstand. Wenn PSI das Wort „Was“ schon kennt, fragt es „Was“, wenn es das Wort „Was“ noch nicht kennt

Kapitel 5: PSI-Lingua

nur „(Objekt)“, wobei das in Klammern stehende „Objekt“ nur eine Hilfe für den Interaktionspartner ist, da PSI nicht auf Dinge deuten kann und der Interaktionspartner so nicht weiß, ob PSI gerade nach dem Namen eines Einzelobjektes oder nach dem Namen der ganzen Situation fragt. Hier soll der Name des Objekts eingegeben werden. Diese Frage wird so lange gestellt, bis ein Wort eingegeben wurde. Selbiges gilt für die Fragen nach dem Namen einer Situation, wenn PSI eine neue Situation wahrnimmt, hier wird allerdings die Frage „Was (Situation)“ bzw. „(Situation)“ ausgegeben.

Ist die im Menü unter Optionen die Möglichkeit „antworten“ nicht aktiviert, werden die Objektbezeichnungen vom System an PSI weitergegeben, hier antwortet quasi die Umgebung auf PSIs Fragen. Dann werden die einzelnen Bitmap-Namen als Bezeichnungen für Objekte eingelesen. Für die Weiterverarbeitung ist es gleichgültig, ob die Antwort von einem Interaktionspartner oder von der Umgebung kommt, das Wort wird wie oben beschrieben eingelesen und dann wird das Wortschema mit dem Dingschema verbunden.

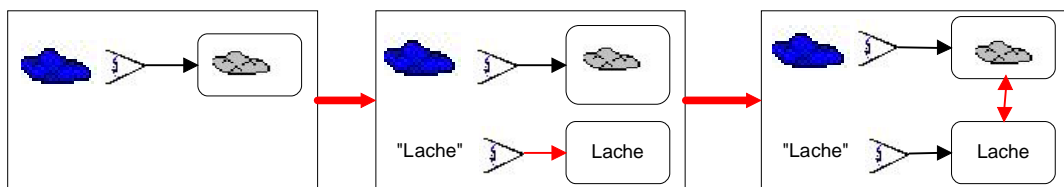


Abbildung 43: Zusammenhang Wort - Bild

Zunächst ist nur ein Wortschema mit einem Dingschema verbunden, aber dies ist nicht immer so. PSI kann eine Situation wie den Haselwald in verschiedenen Zuständen sehen (siehe unten) und auch als verschieden erkennen, dennoch bleibt die Bezeichnung immer „Haselwald“.



Abbildung 44: Zwei Erscheinungsmöglichkeiten des Haselwaldes

Kapitel 5: PSI-Lingua

In diesem Fall hat das Wortschema „Haselwald“ zwei „pic“-Axone, zu jedem zugehörigen Bild eines. Das Wortschema „Haselwald“ existiert aber nur ein einziges Mal! Die Anzahl der möglichen „pic“-Axone ist nicht begrenzt. Ebenso wäre es möglich, ein Bildschema mit verschiedenen „lan“-Axonen auszustatten. Man könnte sich beispielsweise vorstellen, dass ein Objekt mehrere Namen hat, z.B. „Teddy“ und „Schmusetier“. Dies wäre über mehrere „lan“-Axone zu realisieren, wobei dann die interne Repräsentation des Bildes mit einem lan-Axon mit der internen Repräsentation des Wortes „Teddy“ und mit einem anderen lan-Axon mit der internen Repräsentation des Wortes „Schmusetier“ verbunden ist.

PSI kann sich Objekte auch vorstellen, d.h. die Objekte auf eine „interne Mattscheibe“ (vgl. Dörner, 1999) projizieren. In Fall des PSI-Programms ist die interne Mattscheibe nach außen sichtbar gemacht, im Fenster „Vorstellung“ erscheint die Projektion. Wenn PSI – entweder als Antwort auf eine Frage oder als Aufforderung – ein Wort, das ein Objekt bezeichnet, vorgegeben wird, wird dieses Wort zuerst (falls möglich) erkannt und dann wird über das pic-Axon das zugehörige Dingschema gefunden. Die räumlichen Informationen, die im Dingschema festgehalten sind, werden dann wieder in Striche und Relationen umgewandelt, so dass ein Bild entsteht. Dieses Vorstellungsbild ist weniger scharf als das ursprüngliche Bild und nicht farbig, da PSI seine Umgebung in schwarz-weiß und nicht in Farbe sieht.



Abbildung 45: links der Akku, rechts das Vorstellungsbild eines Akkus

5.4.3 Relationen benennen und sich vorstellen

PSI kann nicht nur einzelne Objekte, sondern auch Anordnungen von Objekten benennen. Je nach Einstellung der Option „Wörter vorgeben“ muß Psi diese Wörter erst lernen oder hat sie von Anfang an zur Verfügung. Letztere Möglichkeit wurde eingefügt, um mit PSI ohne lange Lernzeiten kommunizieren zu können, die „saubere“ Lösung ist jedoch das Erlernen der Relationen (vgl. Kapitel 4.2.2).

5.4.3.1 Wörter werden fest vorgegeben

Wenn PSI Relationsbezeichnungen von Anfang an zur Verfügung haben soll, dann werden die einzelnen Bezeichnungen (links-neben, unter, schräg-unterhalb, schräg-

Kapitel 5: PSI-Lingua

oberhalb, über, rechts-neben) aus der Datei erinnern.txt eingelesen. Dabei wird jede Relationsbezeichnung als Wort eingelesen und ein Neuron generiert, das die raumzeitliche Information trägt, die mit dem Wort verbunden werden soll (bei „rechts-neben“ oder „neben“ bedeutet dies eine Verschiebung auf der x-Achse um –50 Pixel zum nächsten Objekt), und dieses Neuron wird mit dem Anfangsknoten des Wortschemas verbunden.

Um die nun angelegten Bezeichnungen und Realisationen von Relationen verwenden zu können, müssen diese von eingegebenen Wörtern („Hasel neben Baum“) in Bilder oder – in Gegenrichtung – von Bildern in Wörter verwandelt werden. Dazu wird eine Neuronenkette erstellt, die zwischen den Anfangsneuronen der einzelnen Objektschemata die Relation zwischen den Objekten einfügt, also zwischen dem Schema für Hasel und dem Schema für Baum die Anweisung „gehe vom Hasel aus 50 Pixel nach links und füge dann erst den Baum ein“ einfügt. Diese Neuronenkette wird dann in ein Vorstellungsbild umgesetzt. Dabei dient immer das erste eingegebene Objekt (in diesem Beispiel also Hasel) als Ausgangspunkt für alle Relationen.

Umgekehrt (wenn Bilder in Wörter umgesetzt werden sollen) werden zunächst die Koordinaten des ersten wahrgenommenen Objektes als Ausgangspunkt für alle Relationen angelegt. Dann werden jeweils für jedes andere Objekt die Koordinaten bestimmt und es wird aus allen zu Verfügung stehenden Relationen (siehe oben) diejenige ausgewählt, die den tatsächlichen Unterschieden der Koordinaten entspricht. Wenn z.B. der Unterschied in den y-Koordinaten 0 Pixel beträgt und der Unterschied in der x-Koordinaten –50 Pixel, dann wird die Relation neben ausgewählt. Dabei werden nur Unterschiede berücksichtigt, die mehr als 20 Pixel groß sind, da sonst ja auch minimale Unterschiede z.B. in der Y-Koordinate mit „über“ „unter“ oder – wenn es auch Unterschiede in der x-Koordinate gibt – mit „schräg-oberhalb“ bzw. „schräg-unterhalb“ bezeichnet werden würden. Der Vorteil dieses Vorgehens ist die sofortige Verständigungsmöglichkeit mit PSI, der Nachteil die Inflexibilität der Information. Daher ist das Erlernen der Relationsbezeichnungen durch PSI (wie im folgenden Kapitel beschrieben) vorzuziehen.

5.4.3.2 Wörter werden gelernt

In diesem Fall sind PSI die Relationen und ihre Namen nicht vorgegeben. Dies hat den Vorteil, dass PSI hier – wie Menschen ja auch – die entsprechenden Bezeichnungen erst

Kapitel 5: PSI-Lingua

lernen muß und entsprechend flexibel lernen kann, hat aber den Nachteil, dass während der Laufzeit von PSI alle Bezeichnungen erst sehr zeitaufwendig eingeführt werden müssen. Aus diesem Grund wurde die in Kapitel 4.2.2 besprochene Alternative eingeführt.

Um Wörter für Relationen zu lernen muß PSI zunächst „aus seiner Umgebung genommen werden“, d.h. die Exploration der Umgebung muß unterbrochen werden. Dies ist nötig, um PSIs Wahrnehmungsprozesse auf ein Bild zu steuern und Interaktionen mit anderen Prozessen zu vermeiden. Während PSI in seiner Umgebung ist, bewegt es sich weiter, plant weiter und tastet so möglicherweise parallel noch Elemente in der Umgebung ab, so dass die Relation dann auf die falschen Objekte bezogen werden könnte.

Dann kann über das Fenster „Vorstellung“ und den Menüpunkt „Relation“ eine Relation ausgewählt werden, und im Fenster Percept wird ein Bild für diese Relation eingeblendet.

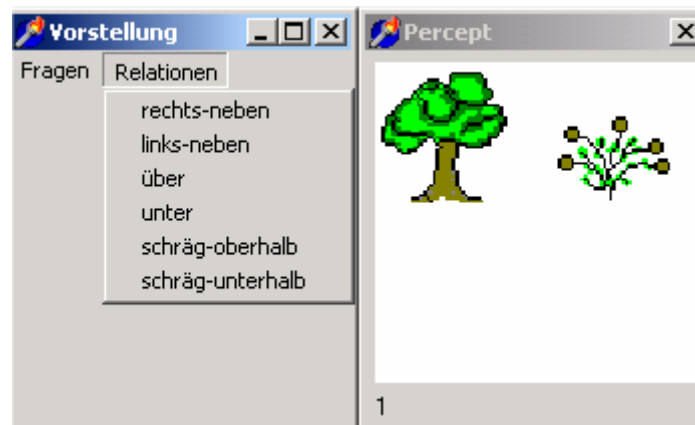


Abbildung 46: links das Menüfeld Relation, rechts das Bild für die Relation rechts-neben

PSI kann dieses Bild dann abtastet, und die Beschreibung des Bildes kann eingegeben werden, in diesem Falle „# neben Hasel Baum“. „Hasel“ und „Baum“ sind die – PSI schon bekannten – Bezeichnungen der Objekte, das „#²²“ zeigt PSI an, dass hier etwas gelernt werden soll, und „neben“ ist die Bezeichnung für die dargestellte Relation. Die Wörter werden wie üblich eingelesen, und dann wird ermittelt, was „neben“ bedeuten könnte. PSI hat verschiedene Möglichkeiten, „neben“ zu interpretieren. Hier greifen zum ersten Mal die in Kapitel 5.4.1 genannten Grundannahmen: das gezeigte Bild dient

²² Das #-Zeichen ist für PSI allgemein ein Signal, dass im folgenden Satz etwas gelernt werden soll, vergleichbar dem erhobenen Zeigefinger beim Menschen.

Kapitel 5: PSI-Lingua

als Hinweis darauf, dass etwas im Bild enthaltenes gelernt werden soll, und die Mutual Exclusivity Assumption verhindert, dass eines der beiden Objekte eine zweite Bezeichnung erhält. Hier zeigt sich auch, dass die von Markman angenommenen Assumptions nicht absolute, sondern flexible Regeln sind: hier wird die Whole Object Assumption überschrieben, gemäß der bevorzugt ganze Objekte und nicht Teile von Objekten oder Beziehungen benannt werden.

PSI untersucht dann die Objekte im dargestellten Bild auf für es wahrnehmbare Unterschiede, und dies betrifft zunächst die x- und / oder die y-Koordinate. Wenn PSI hier Unterschiede findet, die größer als 20 Pixel sind, dann wird – je nach Unterschieden – eine der vorgegebenen Relationen (sie entsprechen den oben angegebenen Relationen, nämlich Unterschiede nur auf der x-Achse, nur auf der y-Achse und Unterschiede auf beiden Achsen) mit dem Schema für das neue Wort – hier „neben“ – verbunden, und damit hat PSI eine Relation gelernt. Der Prozess des Wortlernens ist hier komplizierter als bei den Objektbezeichnungen, da hier ein Prozess der Bedeutungsfindung vorangeschaltet ist.

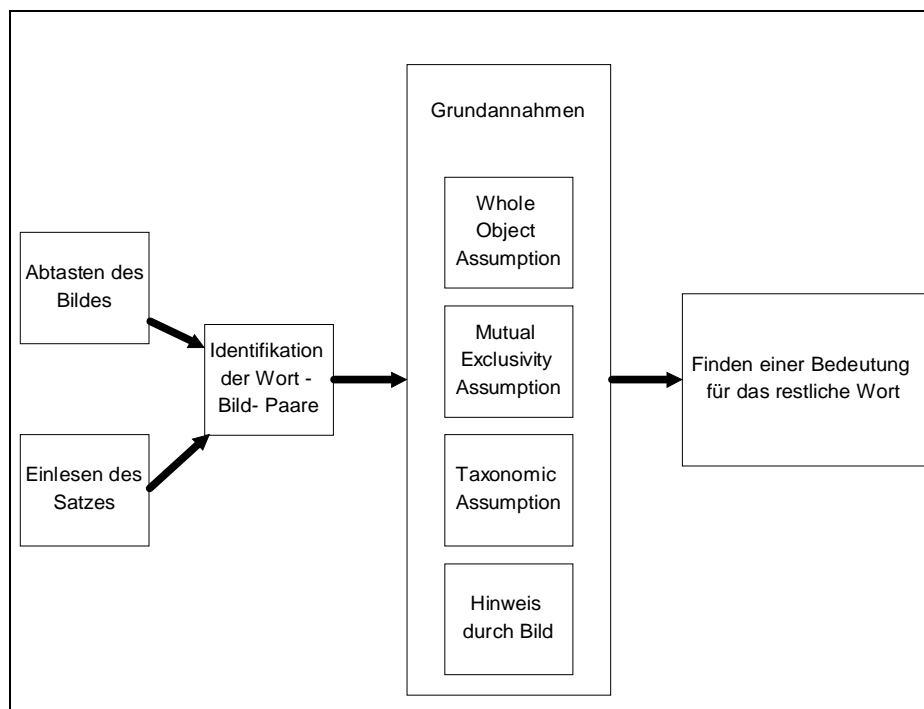


Abbildung 47: Bedeutungsfindung bei Relationen

5.4.4 Bedürfnisse benennen

Neben Objekte, Situationen und Relationen in seiner Umgebung kann PSI auch seine eignen Bedürfnisse benennen. PSIs Bedürfnisse sind Hunger, Durst, Schaden,

Kapitel 5: PSI-Lingua

Affiliation, Nukleo (steht für Nukleotide), Bestimmtheit und Kompetenz (mehr zu PSIs Bedürfnissen und Bedürfnisregulation findet sich bei Dörner, 1999, Dörner et al. 2002). Jeweils eines von PSIs Bedürfnissen ist zu jedem Zeitpunkt handlungsleitend, d.h. wird PSIs Hauptbedürfnis, nach dem die meisten Handlungen ausgerichtet werden. Ein Bedürfnis wird handlungsleitend, wenn es zum einen das stärkste Bedürfnis ist. Dies genügt aber nicht, da es bei einer so realisierte Motivauswahl leicht zu einem „Motivflimmern“ kommen kann: zwei gleichstarke Bedürfnisse sind in sehr kurzen Abständen abwechselnd Hauptbedürfnis. Um ein solches Motivflimmern zu erschweren gibt es einen zusätzlichen Parameter, die Selektionsschwelle. Sie bestimmt, um wie viel ein neues Bedürfnis stärker sein muss als das alte Hauptbedürfnis, um handlungsleitend zu werden. Bei einer sehr geringen Selektionsschwelle kann es so immer noch zu Motivflimmer kommen, aber dies ist nicht mehr der Normalzustand.

PSI lernt, welchen Namen ein Bedürfnis hat, wenn dieses Bedürfnis das erste Mal Hauptmotiv wird. In PSIs Verhaltenszyklus wird regelmäßig überprüft, welches Bedürfnis PSIs Hauptbedürfnis ist. Wenn hier ein Bedürfniswechsel stattfindet (d.h. ein anderes Bedürfnis Hauptbedürfnis wird), dann wird zunächst überprüft, ob dieses Bedürfnis schon einen Namen hat (d.h. ob schon eine lan-Synapse zu dem Anfangsneuron eines Wortschemas führt). Wenn das momentane Hauptbedürfnis noch keinen Namen hat, dann wird PSI automatisch der Name des Bedürfnisses vorgegeben (vergleichbar zur Benennung von Objekten in Kapitel 5.4.2). Dieser Name wird eingelesen wird und mit der Synapse „lan“ bzw. „pic“ an den entsprechenden Bedarfsindikator (ein spezielles Neuron) gekoppelt.

Man könnte hier auch eine Antwortmöglichkeit „von außen“ einbauen, dies würde aber gerade am Anfang eines PSI-Laufes dazu führen, dass PSI pausenlos Fragen stellen würde, was für sein Gegenüber sehr fordernd ist. Zudem weiß der menschliche Benutzer über die internen Zustände erheblich schlechter Bescheid als das System, so dass hier die Fehlerwahrscheinlichkeit für Eingaben steigen würde (der Benutzer könnte z.B. denken, PSI hätte Hunger und würde PSI entsprechend „Hunger“ als Bezeichnung beibringen, wenn das tatsächliche Bedürfnis aber z.B. Affiliation war, würde die weitere Verständigung zwischen PSI und Mensch darunter leiden). PSI hat also mehrere „Lehrer“, den Menschen und das System.

PSI erfährt die Namen seiner Bedürfnisse erst, wenn es diese Handlungsleitend wurden. Diesem Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, dass PSI Bedürfnisse erst benennen

Kapitel 5: PSI-Lingua

können sollte, wenn es sie explizit spürt (also wenn sie Hauptmotiv sind) und nicht etwas die Namen von Bedürfnissen wissen sollte, die es noch nie oder nur ganz leicht verspürt hat. Das bedeutet einerseits, dass PSI wissen kann, wie es Bedürfnisse befriedigt, deren Namen es nicht kennt (dies kann geschehen, wenn PSI z.B. einen Haselnussbusch abfrisst und merkt, dass damit ein Bedürfnis befriedigt wurde, aber dieses Bedürfnis noch nie Hauptmotiv war und somit der Name noch unbekannt ist), und andererseits, dass PSI Bedürfnisse benennen kann, ohne zu wissen, wie es sie befriedigen kann (wenn nämlich dieses Bedürfnis handlungsleitend ist, aber noch nie befriedigt wurde).

5.4.5 Bewegungen benennen

PSI kann auch seine Bewegungen in seiner Umgebung benennen. Verwendet werden dazu die jeweiligen Richtungsbezeichnungen, also Norden, Nordosten, Osten, Südosten, Süden, Südwesten, Westen und Nordwesten. PSI lernt die Richtungsbezeichnungen dann, wenn es das erste Mal eine Bewegung in diese Richtung vollführen möchte. Dann werden diese Bezeichnungen eingelesen und mit dem Aktionsschema verbunden. PSI erwirbt die Richtungsbezeichner auch dann, wenn es nur versucht hat in eine Richtung zu laufen, es aber keinen Weg in diese Richtung gab.

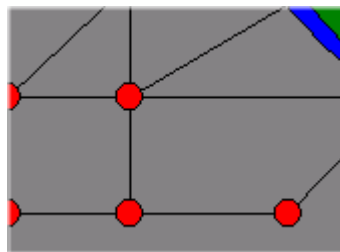


Abbildung 48: Von der Situation in der unteren Mitte sind nur Lokomotionen nach Norden, Osten und Westen möglich, nicht jedoch beispielweise nach Süden

Wenn PSI z.B. in einer Situation, von der aus nur Wege nach Süden und Südwesten führen versucht, nach Norden zu laufen, funktioniert das nicht. Dennoch kann PSI danach die versuchte Bewegungsrichtung, nämlich hier „Norden“ danach benennen. Dies wurde so geregelt, da PSI ja – obwohl es die Bewegung nicht erfolgreich durchführen konnte – das entsprechende Aktionsschema aktiviert hat und erst danach festgestellt hat, dass diese Bewegung in dieser Situation zu keinem Ergebnis führt. Das für die Erfahrung der Bewegung wesentliche, nämlich die Aktivierung des Aktionsschematas wurde durchgeführt, entsprechend kann auch das Wort gelernt werden.

Kapitel 5: PSI-Lingua

Zuerst wird überprüft, ob die intendierte Bewegung schon einen Namen hat (d.h. eine lan-Verbindung existiert), und nur wenn dies nicht der Fall ist, wird eine lan-Verbindung neu erzeugt. So wird verhindert, dass ein und das selbe motorische Schema mehrerer Bezeichnungen erhält. Das wäre zwar theoretisch möglich – so könnte man z.B. „links“ als Alternative zu „Westen“ und „rechts“ als Alternative zu „Osten“ einführen –, ist aber im Moment nicht vorgesehen.

5.4.6 Aktionen benennen

Um PSI einmal Pläne und Instruktionen verbal vermitteln zu können, werden noch Bezeichnungen für Aktionen benötigt. In der momentanen Implementation kann PSI folgendes:

- sich Dingen annähern (Bezeichnung: „hin“)
- sich von Dingen entfernen (Bezeichnung: „weg“)
- Dinge nehmen (Bezeichnung: „nehmen“)
- auf Dinge hämmern (Bezeichnung: „hämmern“)
- Dinge sieben (Bezeichnung: „sieben“)
- Dinge küssen (Bezeichnung: „küssen“)
- an Dingen rütteln (Bezeichnung: „schütteln“)
- Dinge pflanzen (Bezeichnung: „pflanzen“)
- Dinge anpusten (Bezeichnung: „pusten“)
- Dinge auffüllen (Bezeichnung: „füllen“)
- Dinge anzünden (Bezeichnung: „zünden“)
- und an Dingen saugen (Bezeichnung „saugen“);

Wie auch die Lokomotionen werden Aktionen benannt, wenn sie das erste Mal durchgeführt werden. Auch hier wird wie bei den Lokomotionen zuerst überprüft, ob vom zugehörigen Aktionsschema aus schon eine lan-Verbindung zu einem Wortschema existiert, und wenn nicht, wird eine neue Verbindung geschaffen. Die Annäherung und die Entfernung von einem Objekt sind weder typische Aktionen noch Lokomotionen, werden hier allerdings mit den Aktionen behandelt. Um ein Objekt manipulieren zu können – d.h. eine Aktion mit diesem Objekt ausführen zu können – muß sich PSI dem

Kapitel 5: PSI-Lingua

Objekt erst annähern. Um dann ein anderes Objekt manipulieren zu können oder den momentanen Ort auf der Insel verlassen zu können, muß es sich wieder von dem Objekt entfernen.

Auch bei „hin“ und „weg“ werden die Aktionen benannt, wenn PSI sie das erste Mal ausführt. Wie schon bei den anderen Aktionen wird zunächst überprüft, ob schon eine lan-Verbindung existiert, es wird ein Wortschema gebildet und mit dem Anfangsknoten des Motorischen Schemas verbunden.

5.4.7 PSI stellt Fragen

5.4.7.1 Einleitung

Im folgenden Unterkapitel soll beschrieben werden, welche Fragewörter PSI lernen kann und wie es sie lernen kann. Dabei werden die Fragewörtern in aufsteigender Komplexität dargestellt, angefangen von einfachen „Was“-Fragen, die nach der Bezeichnung eines Objektes fragen bis zu „Wastun“ oder „Wozu“-Fragen, für deren Beantwortung Kausalketten analysiert werden müssen. PSI erkennt das Fragezeichen als Trennzeichen zwischen Frage und Antwort (dies ist so vorgegeben), aber es kennt keinen Unterschied zwischen z.B. einem Fragezeichen und einem Ausrufezeichen.

5.4.7.2 Was-Fragen beantworten und stellen

Um PSI das Fragewort „Was“ beizubringen muß PSI zunächst – wie beim lernen von Relationen – „aus seiner Umgebung genommen werden“, d.h. es muß auf „Stop“ (Taskleiste) geklickt werden. Dann kann über das Fenster „Vorstellung“ und den Oberpunkt „Fragen“ auf „Was“ geklickt werden, und im Fenster „Percept“ – falls sichtbar – wird ein Teddy eingeblendet²³. PSI tastet dieses Bild ab. Mittels des Buttons „Hallo“ wird dann das Dialogfeld zu PSI aufgerufen und dann kann „# Was ? Teddy“ eingegeben werden. Wichtig dabei ist, dass PSI den Teddy schon kennt (wenn alle Wörter unbekannt sind, kann PSI keinem eine Bedeutung zuweisen). Statt „Was“ kann jedes beliebige andere Wort eingegeben werden. Das Doppelkreuz (#) am Anfang eines Satzes ist für PSI das Zeichen, dass es nun etwas lernen soll, ähnlich dem erhobenen Zeigefinger bei Menschen.

²³ Der Teddy ist hier ein voreingestelltes Bild. Natürlich kann PSI das Wort „Was“ auch mit jeder anderen Bild-Wortkombination beigebracht werden, solange das Wort das Bild beschreibt.

Kapitel 5: PSI-Lingua

PSI überprüft – wie immer bei Sätzen, die mit einem # beginnen –, aus wie vielen Sätzen die Äußerung und aus wie vielen Wörtern die Sätze bestehen, welche Wörter es davon kennt und wie diese mit dem gezeigten Bild – falls vorhanden – zu tun haben. In diesem Fall findet PSI in zwei Sätzen ein bekanntes Wort und ein unbekanntes Wort. Dabei stellt es fest, dass das bekannte Wort die Bezeichnung für das gezeigte Bild ist. Damit ergibt sich für die Bedeutung von „Was“ eine Möglichkeit: „Was“ beschreibt die Beziehung zwischen Wort und Bild. Wenn PSI die Frage „Was“ gestellt wird, verbalisiert PSI das nächste Objekt bzw. die nächste Situation, die es sieht. Damit ist die Frage „Was“ eigentlich mit „Was siehst du im Moment“ zu übersetzen.

PSI kann auch Was-Fragen stellen um Benennungen von Objekten zu erfahren (vgl. Kapitel 5.4.2). Wenn der Menüpunkt „antworten“ aktiviert ist stellt PSI diese Frage bei jedem neuen Objekt und jeder neuen Situation.

5.4.7.3 Wo-Fragen beantworten und stellen

Neben Was-Fragen kann PSI auch Wo-Fragen stellen und beantworten. Doch wie lernt PSI ein Fragewort? Der im vorherigen Kapitel erläuterte Fall der „Was“-Frage ist der einfachste Fall, hier soll der Prozess anhand eines etwas komplizierteren Fragewortes noch einmal erläutert werden.

Das PSI ein Wort erlernen soll wird ihm immer durch das Doppelkreuz (#) am Anfang gezeigt. Um PSI das Fragewort „Wo“ beizubringen, muss das zu lernende Fragewort PSI vorgegeben werden und PSI muß deutlich gemacht werden, was das Fragewort bedeutet, d.h. es muss eine mögliche Bedeutung für dieses Wort beschrieben werden. In diesem Falle könnte man – vorausgesetzt, PSI kennt schon die Situation Haselwald und das Objekt Hasel – z.B. „#Wo Hasel ? Haselwald“ eingeben. PSI kennt Hasel und Haselwald und kann die Relation, die zwischen Beiden besteht (nämlich die Relation „Teil von“) erschließen. In PSIs Gedächtnis sind diese Informationen innerhalb der sub/sur Relationen codiert und damit erreichbar.

„Wo“ muss sich nach dieser Analyse auf eine „Teil von“ Beziehungen beziehen, und wenn PSI in Zukunft auf die Worte „Wo Teddy“ stößt, kann es dort alle „Teil von“ Beziehungen aufrufen und ausgeben.

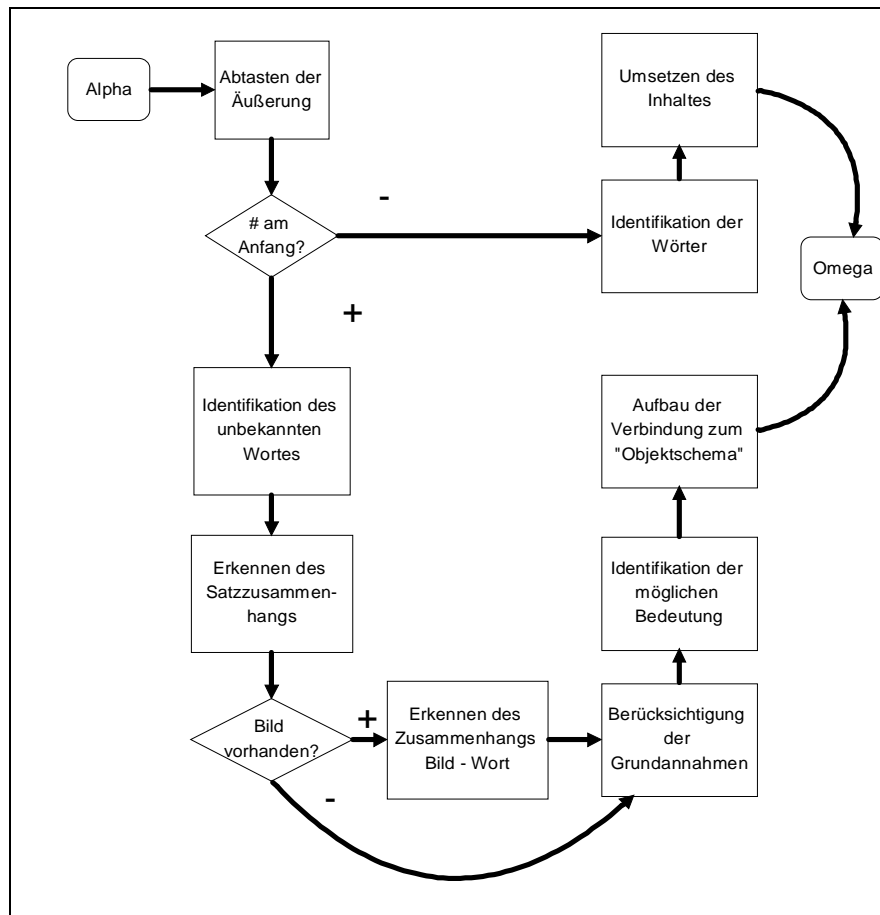


Abbildung 49: Umgang mit neuen Wörtern

PSI benutzt das Wort „Wo“ nach dem Erlernen auch selbst, um nach ihm schon bekannten Möglichkeiten zur Bedürfnisbefriedigung zu fragen, z.B. „Wo Lache“.

PSI benutzt Fragewörter automatisch, sobald es über sie verfügt. Fragewörter werden verwendet, wenn PSI nach einer Bedürfnisbefriedigung („Wastun“) oder einem bestimmten Objekt („Wo“) sucht und es keinen Automatismus findet, der einen Weg zu diesen Objekten bzw. einen Plan zur Befriedigung des Bedürfnisses enthält. In der Terminologie der modifizierten Rasmussenleiter (vgl. auch Abbildung 9) bedeutet dies, dass W-Fragen gestellt werden, wenn keine „Brücke“ zwischen einer Situation und einem angestrebten Ziel vorhanden ist und somit geplant werden muss. Genauere Ausführungen zur Einordnung von Satzfragen und Wortfragen in ein Modell der Handlungsregulation finden sich bei Künzel (2000). Wenn PSI eine Frage selbst stellt, sucht es anhand der fehlenden Information nach dem passenden Fragewort. Dabei greift es auf sämtliche schon gelernten Fragewörter zurück und sucht dabei nach einem Fragewort, das nach derselben Beziehung fragt. Wenn PSI beispielsweise nach einem Haselnussbusch sucht, dann sucht es nach dem Ort, an dem sich ein Haselnussbusch

Kapitel 5: PSI-Lingua

befindet. Dies bedeutet, es sucht nach dem Ganzen, und weiß bereits, was das Teil ist. Entsprechend wird es in seinem Repertoire von Fragewörtern nach einem Fragewort suche, dass Teil-Ganzes Beziehungen adressiert, und damit „Wo“ auswählen.

Bei PSI findet das Planen, in das das Fragestellen eingebunden ist, im Moment allerdings nicht durch einen inneren Dialog von PSI mit sich selbst statt, sondern durch eine sprachfreie Anneinanderreihung schon bekannter Operatoren (vergleichbar dem Planen I in Dörner, 1999). Wenn PSI auf eine Frage keine Antwort bekommt, geht es zum Planen über, ansonsten wird die gegebene Antwort ohne weitere Überprüfung auf beispielsweise enthaltene Gefahren übernommen und ausgeführt.

5.4.7.4 Wozu-Fragen stellen und beantworten, die Antwort verstehen

Wozu-Fragen gehören zu den für PSI am wichtigsten Fragen. Mit Wozu-Fragen kann PSI Informationen darüber einholen, was die Folgen bestimmte Aktionen sind. PSI stellt diese Fragen, wenn es eine Aktion mit einem Objekt noch nicht durchgeführt hat und wenn mindestens ein Bedürfnis größer als ein bestimmter, voreingestellter Faktor ist. Dies wurde eingeführt um PSI nicht ständig fragen zu lassen, sondern um es bis zu einer bestimmten Bedürfnisstärke selbst explorieren zu lassen.

PSI lernt dieses Fragewort anhand von Beispielsätzen wie z.B. „# Wozu Lache saugen ? Trocken²⁴“. Dabei sucht PSI wiederum diese Sätze nach bekannten und unbekanntem Wörtern ab. Dabei darf „Wozu“ das einzige unbekannte Wort sein, wenn eine Bedeutungsfindung gelingen soll. Im weiteren wird versucht, einen Zusammenhang zwischen „Lache“ und „saugen“ auf der einen Seite und „Trocken“ auf der anderen Seite zu finden. Wird dieser gefunden (d.h. hat PSI diese Operation schon einmal auf dieses Objekt angewandt), dann kann für das unbekannte Wort „Wozu“ eine Bedeutung gefunden werden: „Wozu“ bezeichnet eine Frage, bei der nach dem Resultat einer Handlung gefragt wird, d.h. eine Handlungskette, bei der ein Objekt, eine Handlung und wiederum ein Objekt in por-Richtung verbunden sind.

PSI kann fragen „Wozu nehmen“ wenn es vor einem „Haselnussbusch“ steht und es bekommt dann die Antwort „Strauch“. Damit wird PSI automatisch auch mitgeteilt, dass durch das nehmen eines Haselnussbusches sein Bedürfnis nach etwas zu essen

²⁴ Wenn auf das Objekt „Lache“ der Operator „saugen“ angewandt wird, dann hat dies das Objekt „Trocken“, das eine leere Lache darstellt, zur Folge.

Kapitel 5: PSI-Lingua

befriedigt wird. Damit wird hier eine Zusatzinformation übermittelt, die so nicht in der Antwort gegeben ist, allerdings ist diese Zusatzinformation auch der eigentlich wichtige Inhalt der Antwort. Da PSIs interne Struktur aber nicht nur eine Bedürfnisbefriedigung abspeichern kann, sondern auch einen Nachfolgezustand für das betroffene Objekt braucht, sind beide Effekte hier gekoppelt. PSI simuliert als Folge einer Wozu-Frage intern den Ablauf der Aktion, wobei die unbekannt Teile (hier die Bedürfnisbefriedigung und der Folgezustand) aus der Antwort entnommen werden.

An dieser Stelle kann PSI auch „belogen“ werden, indem man ihm z.B. sagt, dass der Operator „nehmen“ – auf einen Haselnussbusch angewandt – gar nichts verändert. PSI „glaubt“ dies zunächst (d.h. es übernimmt diese Abfolge von Schemata in sein Gedächtnis), verändert aber – falls es denn diesen Operator noch einmal ausprobiert – seine Erwartungen. Wenn die Antwort auf eine Wozu-Frage verstanden wird, wird zunächst überprüft, ob das eingelesene Wort bekannt ist. Wenn dem so ist, wird der Vollzug der Handlung simuliert und dabei überprüft, ob durch diese Handlung Bedürfnisse von PSI befriedigt werden. Trifft dies zu, wird die Ausgangssituation der Handlung in Liste der möglichen Ausgangssituationen für eine Bedürfnisbefriedigung aufgenommen. Wenn die gegebene Antwort ein unbekanntes Wort ist, gibt es die Möglichkeit, PSI ein Bild des entsprechenden Objektes zu zeigen, so dass PSI gleichzeitig ein neues Objekt, ein neues Wort und eine neue Beziehung zwischen Objekten und einer Handlung lernt.

Wenn PSI auf seine Frage keine Antwort erhält bzw. wenn die Antwort keinen Sinn macht (z.B. weil es für diesen Begriff kein Bild gibt), dann führt PSI die Handlung selbst durch, d.h. anstelle der verbalen Exploration tritt die Exploration durch Aktionen.

Man kann PSI auch fragen, was auf eine bestimmte Aktion hin passiert. Eine solche Frage würde beispielsweise „Wozu nehmen Lache?“ lauten. Dann wird das Fragewort identifiziert, es wird überprüft, was bisher passierte, und wenn der Operator (hier „nehmen“) auf das benannte Objekt (Hier „Lache“) angewendet wurde, wird eine Antwort generiert, indem das Objekt an der nächsten Stelle des Geschehnisschemata (hier „Trocken“) auf eine lan-Verbindung hin überprüft wird und, falls diese vorhanden ist, das entsprechende Wort als Antwort gegeben wird.

5.4.7.5 Wastun-Fragen stellen und beantworten

Wastun-Fragen sind bei PSI Fragen nach Möglichkeiten für Bedürfnisbefriedigung. PSI kann diese stellen und beantworten, immer vorausgesetzt, es hat die Bezeichnungen der Bedürfnisse schon gelernt. Wenn PSI eine Wastun-Frage stellt tut es dies, wenn ein Bedürfnis stärker als eine bestimmte Schwelle ist und wenn es im Moment keine Möglichkeit zur Befriedigung dieses Bedürfnisses sieht. Als Antwort auf eine solche Frage wird ein Plan erwartet. Pläne sind bei PSI nicht notwendigerweise die komplexeren Aneinanderreihungen von Handlungssequenzen, die in der Umgangssprache darunter verstanden werden, sondern alle Aneinanderreihungen von Objekten und/oder Situationen und Handlungen und /oder Lokomotionen, die von einem Ausgangszustand zu einem Endzustand führen.

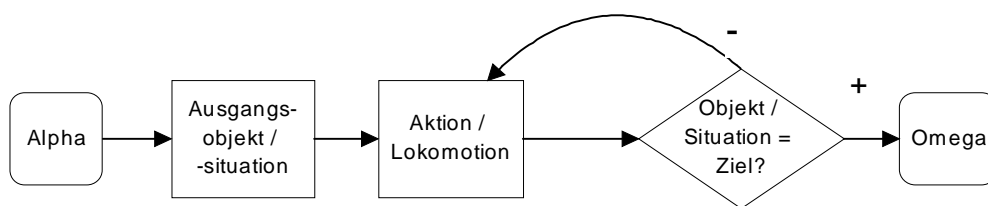


Abbildung 50: Ein Plan

PSI lernt die Bedeutung von „Wastun“ ebenfalls an Beispielsätzen wie z.B. „# Wastun Durst ? Lache saugen“. Auch hier wird wiederum aus der Bedeutung und dem Bedeutungszusammenhang der bekannten Wörter auf die Bedeutung des unbekannten Wortes geschlossen: „Wastun“ bezeichnet den Zusammenhang zwischen einem Bedürfnis und der zu seiner Befriedigung nötigen Aktion.

Wenn PSI eine Wastun-Frage gestellt wird, dann identifiziert es zuerst das Fragewort, dann das Bedürfnis und sucht dann in der Liste der möglichen Befriedigungssituationen für dieses Bedürfnis die erste Situation heraus. Dann überprüft es, welche Aktionen auf diese Situation angewendet werden können und generiert eine Antwort. Dann geht es zur nächsten möglichen Befriedigungssituation, usw., bis es schließlich alle möglichen Befriedigungssituationen und alle darauf erfolgreich anwendbaren Operatoren abgedeckt hat.

5.4.8 Pläne verbal mitteilen

PSI können, aufbauend auf den bisher gelernten Wörtern, auch Pläne²⁵ verbal mitgeteilt werden. Diese Pläne werden – wenn sie „ungefragt“ mitgeteilt werden, d.h. wenn auf den Hallo-Button geklickt wird und dann ein Plan mitgeteilt wird – nur dann umgesetzt, wenn PSI zu diesem Zeitpunkt keine eigenen Pläne hat. Wenn Pläne auf eine Frage hin mitgeteilt wurden – also als Antwort auf eine von PSI explizit geäußerte Frage – dann werden diese Pläne immer verfolgt, da PSI, wenn es eine Frage stellt, keinen anderen Plan hat.

Wenn ein Plan verbal vermittelt wird, dann wird zuerst festgestellt, ob es sich um eine Belehrung PSIs (zu erkennen am # am Anfang) handelt. Wenn nicht, wird festgestellt, ob es sich beim Eingeleseenen um einen Satz oder ein Wort handelt. Wenn es sich um einen Satz handelt, kann es sich um Fragesätze, Relationsangaben oder um Pläne handeln. Wenn es sich bei der eingegebenen Zeichenkette nicht um eine Frage handelt (d.h. kein Fragezeichen und kein Fragewort enthalten sind), sie auch mehr als ein Wort beinhaltet und es sich bei einem der eingegebenen Worte um einen Bezeichner für eine Bewegung oder eine Aktion handelt, dann handelt es sich um einen Plan. Wenn dies der Fall ist, werden die Verknüpfungen der einzelnen Wörter zu ihren Aktions- oder Objektschemata verfolgt, und dann die Aktions- und Objektschemata miteinander zu einem Geschehnisschema verknüpft. Aus diesem Grund lautet die korrekte Vermittlung des Planes „Gehe zur Lache und sauge aus ihr“ auch „hingehen Lache saugen Lache_leer“. Die mehrfache Erwähnung der Lache ist nicht unbedingt nötig. Wenn z.B. nur „hingehen Lache saugen“ eingegeben wird, nimmt PSI an, dass der zu erwartende Zustand nach dem saugen wieder „Lache“ ist, dass sich also keine Veränderungen ergeben. Wenn dies nicht beabsichtigt ist, muss man PSI einen Zielzustand nennen, da PSI in seiner Planungsfunktion einen möglichen Ausgang für die vorgenommene Handlung benötigt und diesen, wenn er nicht mit dem Plan geliefert wurde, selbst generiert.

²⁵ Dabei muss zunächst beachtet werden, dass die Bezeichnung „Plan“ hier auch für sehr kurze Handlungssequenzen benutzt wird, die in der Alltagssprache nicht als Plan bezeichnet werden, wie beispielsweise zu einem Objekt hingehen. Voraussetzung für eine Benennung als „Plan“ ist es, dass die einzelnen Schritte zuvor absehbar sind, d.h. es sich nicht um Versuchs-Irrtums-Handeln handelt, vgl. Abbildung 50.

Kapitel 5: PSI-Lingua

Der neu gestaltete Plan wird dann direkt verfolgt. PSI protokolliert den Verlauf seiner Handlungen in seinem Gedächtnis, kann aber im Nachhinein nicht mehr unterscheiden, ob es einen Plan selbst entwickelt hat oder ob dieser ihm von anderen „nahegelegt“ wurde.

Wenn man PSI mitteilen möchte, dass es in eine bestimmte Richtung gehen muss um etwas zu finden, dann sollte man ihm z.B. „Osten Haselwald“ mitteilen. Wenn nur „Osten“ mitgeteilt wird ist dies ein Richtungsvorschlag, kein Plan, da ein Plan einen Zielszustand benötigt. PSI kann auch unvollständige Pläne wie z.B. „nehmen Lache“ oder „Lache nehmen“ so ergänze, dass diese Pläne ausführbar sind. Dies geschieht, indem überprüft wird, ob im Plan vorgesehen ist, dass PSI sich einem Objekt annähert bevor es das Objekt manipuliert. Wenn dies nicht vorgesehen ist, wird die Annäherung automatisch ergänzt, da PSI aufgrund seiner bisherigen Erfahrungen „weis“, dass es sich einem Objekt erst annähern muss, bevor es dieses manipulieren kann.

5.4.9 Richtungen verbal mitteilen

Wie schon erläutert, gibt es bei PSI einen Unterschied zwischen einem Richtungsvorschlag und einem Plan. Der Unterschied zwischen einem Plan und einem Richtungsvorschlag ist, dass der Plan noch eine Vorstellung über das zu erreichende Ziel enthält (diese Vorstellung muß nicht unbedingt richtig sein!). Ein Richtungsvorschlag lautet also z.B. nur „Osten“ während ein Plan z.B. „Osten Haselwald“ lautet.

Wenn man PSI einen Richtungsvorschlag machen möchte, kann man das sowohl gefragt als auch ungefragt tun. Gefragt bedeutet wieder als Antwort auf eine Frage „Wastun x?“ bzw. „Wo y?“, ungefragt bedeutet, dass der Richtungsvorschlag nach Betätigen des Hallo-Buttons eingegeben wird. Wenn ein Richtungsvorschlag eingegeben wird, wird er als solcher identifiziert und das entsprechende Motorische Schema wird identifiziert. Dieses Motorische Schema wird dann bei der nächsten Suche nach einer Fortbewegungsrichtung ausgewählt. Wenn PSI dann das nächste Mal vor der „Entscheidung²⁶“ steht, in welche Richtung es sich bewegen soll und PSI keine eigenen Vorstellungen hat (d.h. keinen Plan oder keine Assoziation hat), wohin es gehen soll,

²⁶ Von einer Entscheidung kann man an sich nicht sprechen, PSI versucht sich – wenn es keinen besonderen Plan hat – immer in die Richtung weiterzubewegen, die seiner bisherigen Richtung am ähnlichsten ist, wenn dies nicht funktioniert, werden andere Richtungen der Reihe nach durchprobiert.

Kapitel 5: PSI-Lingua

dann wird der Richtungsvorschlag angenommen. Wenn dieser Richtungsvorschlag nicht erfolgreich umgesetzt werden kann (weil es keinen Weg in die entsprechende Richtung gibt), dann wird der Weg, der dem letzten gegangenen Weg am ähnlichsten ist und der begehbar ist ausgewählt.

5.4.10 „Grammatik“

PSI kann keine vollständige Grammatik erwerben, es kann jedoch Regeln zur Wortreihenfolgen zu erwerben. PSI verwendet dies nur bei Fragesätzen und die zugehörigen Antworten, da die Reihenfolge bei Bildbeschreibungen (z.B. Baum neben Haus) schon durch die Reihenfolge der Codierung in PSIs neuronaler Grundstruktur festgelegt, ist. PSI muß also nicht lernen, in welcher Reihenfolge man Relationen und Objekte aneinander reiht, dies ist ihm durch die Organisation seines Neuronennetzes schon vorgegeben!

Für Fragesätze und die darauf zu gebenden Antworten wird die Wortreihenfolge aus den bisherigen Verwendungen übernommen. Dort werden, falls vorhanden, die letzten bis zu fünf wahrgenommenen Verwendungen des entsprechenden Fragewortes auf die dort verwendete Wortreihenfolge überprüft. Dann wird die häufigste dieser Wortstellungen übernommen. Die Anzahl fünf wurde hier willkürlich ausgewählt, es soll sich um eine Zahl handeln, die groß genug ist, um eine längere Zeitstrecke zu umfassen, aber klein genug, um neueren Veränderungen eine Chance zu geben, wirksam zu werden.

Die genaue Anzahl der auf Wortstellung überprüften „Sätze“ wird einerseits durch die Anzahl der bislang überhaupt abgespeicherten Sätze (wenn nur ein einziger Satz mit diesem Fragewort jemals wahrgenommen wurde können keine fünf Sätze überprüft werden) und andererseits durch den Auflösungsgrad bestimmt. Je höher der Auflösungsgrad ist, desto mehr Sätze werden rückblickend überprüft, je geringer er ist, desto weniger. Dabei bleibt aber das Minimum der überprüften Sätze eins, und das Maximum fünf. Dabei ist hier im Moment ein linearer Anstieg der Anzahl der überprüften Sätze mit dem Auflösungsgrad verwirklicht. Wenn gleich viele Sätze zwei verschiedene Wortstellungen aufweisen (z.B. zweimal „Wo Hasel“ und zweimal „Hasel Wo“), dann wird die neuere der beiden Möglichkeiten ausgewählt. Da PSIs „Leben“ sehr kurz ist, ist diese Bevorzugung kürzlich erlernter Konstruktionen legitim, sobald PSI aber über längere Zeit „leben“ kann ergeben sich an dieser Stelle Probleme: es müssten sich Gewohnheiten ausbilden, die, wenn sie über längere Strecken aktiv sind,

Kapitel 5: PSI-Lingua

nur schwer wieder gebrochen werden können, d.h. es müsste eine Gewichtung verschiedener (grammatischer) Strukturen möglich sein, die mit der Verwendungshäufigkeit steigt. Dies ist im Moment in PSI nicht vorgesehen, aber auf längere Sicht notwendig.

Bei der vorgestellten Wortreihenfolge handelt es sich zwar noch keinesfalls um eine „Grammatik“ sondern nur um einen ersten Schritt hin zu einer Grammatik, andererseits ist aber gerade die Satzstellung sehr wichtig für das Sprachverstehen (es ist ein großer Unterschied, ob der Teddy auf dem Baum ist oder der Baum auf dem Teddy!), und damit wurde hier ein Schritt hin zu einem Syntaxerwerb gemacht. Ein weiteres Thema, das bei PSIs ersten Schritten zum Spracherwerb nur angeschnitten wurde ist die mit Sprache verbundene Befriedigung (und bei weniger netten Äußerungen auch Erhöhung) des Affiliationsbedürfnisses.

5.4.11 Affiliation

Bei Menschen hat – neben den hier extrem wichtigen nonverbalen Zeichen– die Sprache große Bedeutung für die Befriedigung des Affiliationsbedürfnisses, und gerade die Sprache kann auch ein Anti-Legitimitäts-Signal²⁷ sein. Da PSI über keinen nonverbale Interaktion mit Menschen verfügt, ist die verbale Interaktion die einzige Möglichkeit, um Affiliationssignale auszutauschen. Dies ist eine deutliche Einschränkung im Vergleich zur Mensch-Mensch-Kommunikation, es handelt sich aber um eine deutliche Erweiterung von PSIs bisherigen Möglichkeiten, L-Signale zu erlangen. Bislang konnte PSI nur über die Manipulation von Objekten in seiner Umgebung L-Signale erlangen (vgl. z.B. Detje, 2001).

Bei PSI ist der Einfluss des Affiliationsmotivs auf sein Fragestellen realisiert, indem PSI einerseits mehr Fragen stellt, wenn Affiliation das Hauptmotiv ist, auch wenn die gesamte Bedürfnislage sonst wenig dramatisch ist. PSI stellt, wenn Affiliation nicht das Hauptbedürfnis ist, nur Fragen, wenn es etwas nicht weiß *und* wenn die Stärke des Hauptbedürfnisses größer als ein bestimmter Faktor ist. Wenn Affiliation das Hauptbedürfnis ist, stellt es auch dann Fragen, wenn es etwas nicht weiß, aber das Hauptbedürfnis (Affiliation) geringer als der oben genannte Faktor ist. Dieser Faktor ist persönlichkeitsabhängig und regelt, wie lange PSI selbst exploriert bevor es anfängt zu

²⁷ Anti-Legitimitäts-Signale sind Signale, die das Affiliationsbedürfnis erhöhen (im Gegensatz zu Legitimitäts-Signalen, die das Affiliationsbedürfnis senken).

Kapitel 5: PSI-Lingua

fragen, kann also beispielsweise als eine teilweise Verwirklichung des Introversions /Extraversionskonzeptes (vgl. beispielsweise Amelang & Bartussek, 1997) gesehen werden.

Man kann sich eine Situation vorstellen, in der Hunger und Durst weitgehend befriedigt sind, PSI nicht unter Schaden leidet, seine Kompetenz und seine Bestimmtheit hoch sind, aber sein Affiliationsbedürfnis mittelhoch ist. Auch wenn dieses PSI normalerweise erst bei ziemlich hohen Bedürfnisständen fragt, wird es nun schon Fragen stellen, da Fragen und die darauf gegebenen Antworten von einer Informationsquelle (bei den anderen Bedürfnissen) zu einem Befriedigungsoperator für das Affiliationsbedürfnis geworden sind.

Wenn auf „Hallo“ geklickt wird und dann innerhalb des erscheinenden Fensters auf „O.K.“, dann bekommt PSI ein L-Signal, wenn dagegen im erscheinenden Fenster auf „Abbruch“ geklickt wird, dann bekommt PSI ein Anti-L-Signal. Vergleichbar funktioniert die Bewertung von Antworten auf von PSI gestellte Fragen: wenn innerhalb des erscheinenden Fensters auf „O.K.“ geklickt wird, dann bekommt PSI ein L-Signal, wenn dagegen im erscheinenden Fensters auf „Abbruch“ geklickt wird, dann bekommt PSI ein Anti-L-Signal. Vergleichbar mit diesem Vorgang wäre es, wenn man einen Menschen zuerst auf sich aufmerksam macht (beispielweise durch antippen) und dann sagt „Ach, nichts.“.

Die Bewertung eines Signals als Anti-L-Signal ist nur so lange gegeben, wie PSIs Affiliationsbedürfnis unter einen weiteren Wert bleibt. Wenn das Bedürfnis nach Affiliation größer ist als dieser Wert, dann werden auch Signale, die sonst als Anti-L-Signale verstanden werden würden als Legitimitäts-Signale gewertet. PSI hat dann ein Stadium erreicht, in dem unfreundliche Zuwendung von ihm als besser bewertet wird als gar keine Zuwendung. Auch dieser Schwellenwert kann wieder als ein persönlichkeitsabhängiger Parameter betrachtet werden.

5.4.12 Abstrakta

PSI kann begriffliche Abstraktionen bilden, d.h. es kann verschiedene Unterbegriffe einem Oberbegriff zuordnen. Dies ist so realisiert, dass PSI einem Oberbegriff immer mindestens drei Unterbegriffe zuordnen muß. Die Anzahl drei wurde gewählt, um mögliche Verwechslungen mit Relationen auszuschalten (Relationen beziehen sich bei PSI immer auf das Verhältnis zwischen *zwei* Objekten).

Kapitel 5: PSI-Lingua

Wenn man PSI Oberbegriffe beibringen möchte, funktioniert dies folgendermaßen: PSI muss zuvor mindestens drei Dinge kennen, die unter den gewünschten Oberbegriff fallen. Dann wird mittels des „Hallo“-Buttons eine Dialogbox aufgerufen, in die dann z.B. „# Hasel Teddy Baum Ding“ eingegeben werden kann – PSI werden also (nach dem # als Hinweis darauf, dass nun etwas gelernt werden soll) drei Beispiele für Dinge gegeben.

PSI überprüft dann, um welche zugehörigen Objekte es sich bei den eingegebenen Begriffen handelt: um Situationen (die auf sensorische Schemata verweisen und nur noch übergeordnete Elemente im Protokollgedächtnis haben), um Objekte (die ebenfalls auf sensorische Schemata verweisen, aber Situationen zugeordnet sind), um Aktionen (die auf motorische Schemata verweisen), um Richtungen (sie verweisen auf eine andere Art motorischer Schemata) oder um Bedürfnisse (die auf Bedürfnisindikatoren verweisen). Wenn es sich um drei gleichartige Objekte handelt, dann werden die Oberbegriffe (also die Wörter) mittels ihres pic-Axones mit den untergeordneten Objekten (also den sensorischen Schemata der Objekte) verbunden und gegenläufig die sensorischen Schemata der Objekte mittels ihrer lan-Axone mit dem Wortschema des Oberbegriffs.

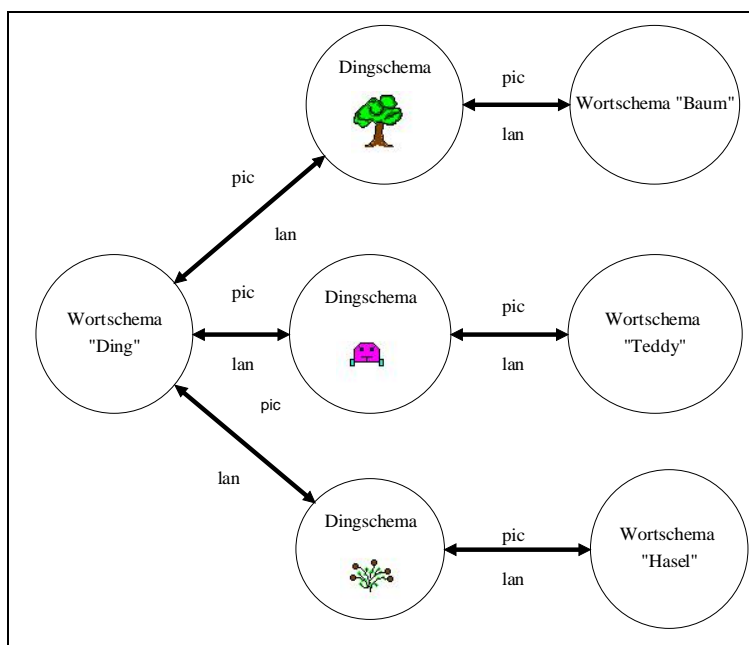


Abbildung 51: Oberbegriffe

Sind diese Oberbegriffe einmal gebildet, werden die beim lernen verwendeten Unterbegriffe dauerhaft an den Oberbegriff gebunden, sie werden quasi „Prototypen“ für diesen Oberbegriff. Stellt sich aber beispielsweise beim Durchführen des Plans

„hingehen Hasel nehmen Ding“ heraus, dass das Ergebnis dieser Aktion (nämlich Hasel_kaputt) nicht zur typischen Untermenge von „Ding“ (d.h. zu den Objekten, an denen der Begriff Ding gelernt wurde) gehört, dann wird überprüft, ob „Hasel_kaputt“ (oder jeder andere hier auftretende Begriff) ein möglicher Unterbegriff zu „Ding“ ist. Der neue Unterbegriff wird dem Oberbegriff *nicht* fest zugewiesen, sondern es wird nur festgestellt, ob es sich um einen möglichen Unterbegriff handelt, d.h. ob er die selben Kriterien erfüllt, die die prototypischen Unterbegriffe erfüllen. Bei dieser Art Relationen handelt es sich um eine Form der Innerbegrifflichen Relationen nach Klix (1984): „Wir nennen Relationen dieser Art innerbegrifflich, weil sie aus den die Begriffe selbst bestimmenden Eigenschaften abgeleitet werden. Die unübersehbare Vielfalt solcher bildbaren Beziehungen erinnert an die besprochenen Ähnlichkeitsbeziehungen.“ (S.17). Diese Art Relationen ist nach Klix (1984) nicht stationär vorhanden sondern wird je nach Anforderung neu gebildet, daher werden auch bei PSI diese Relationen nicht fest gespeichert (mit Ausnahme der Beispielrelationen).

5.4.13 Verstehen nicht-grammatischer Fragen

Bislang wurden nur Sätze vorgestellt, die PSIs Anforderungen an die Wortstellung entsprechen, PSI kann jedoch auch nicht-grammatische Fragen verstehen. Dabei ist zu beachten, dass ungrammatische Fragen für PSI Fragen mit falscher Wortstellung sind. PSI überprüft geäußerte Sätze zwar grundsätzlich zuerst auf die für es „korrekte“ Wortstellung, aber wenn es dabei Widersprüche gibt (wenn z.B. an der Stelle, an der sich eine Bezeichnung einer Aktion befinden sollte, die Bezeichnung eines Objekts ist, wie bei „nehmen Hasel Wozu ?“), dann sucht PSI zuerst nach dem Fragewort, und dann nach den anderen von ihm aufgrund des Fragewortes erwarteten Wortklassen. Im Beispiel sucht PSI nach dem Fragewort, entdeckt „Wozu“ und kann aus seinem Wissen um den normalen Kontext dieses Fragewortes schließen, dass hier noch ein Objektbezeichner und ein Aktionsbezeichner im Satz vorhanden sein muss. Diese werden dann im Satz gesucht und es wird der „korrekte“ Satz rekonstruiert. Dabei sind Wortklassen hier nicht Kategorien wie Verb, Substantiv sondern inhaltliche Klassen wie Wörter, die Situationen, Objekte, Aktionen, ... bezeichnen. Diese Wortklassen überschneiden sich teilweise mit den gebräuchlichen Kategorien, da Aktionen beispielsweise immer Verben sind, aber nicht immer, da andererseits sowohl Richtungen als auch Objekte Substantive sind. Auf diese Art und Weise kann PSI auch

Kapitel 5: PSI-Lingua

Fragen, die – aus seiner Sicht – in einer völlig falschen Grammatik geäußert wurden, verstehen und beantworten.

PSI kann damit Sätze verstehen, die es so nie bilden würde. Damit ist die Anzahl der von PSI verstandenen Sätze (seine Sprachkompetenz) erheblich größer als die von PSI produzierten Sätze (die gezeigte Sprachperformanz). Dies erweitert PSIs Sprachverständnis erheblich und ermöglicht eine weniger streng reglementierte „Konversation“. Zudem ist die Ähnlichkeit zu Menschen so verbessert, denn Menschen verstehen ja auch Sätze, die grammatikalisch nicht richtig sind – auch wenn sie durchaus bemerken, dass so ein Satz grammatisch falsch ist.

5.4.14 Die Protokollierung

PSIs interne Zustände und seine Aktionen werden in einem Protokollierungsfile `actu3.prt` festgehalten (vgl. dazu Dörner et al. 2002). Die Protokollierung der Sprache wird in diesen Protokollierungsfile zusätzlich aufgenommen, um im Nachhinein verfolgen zu können, ob und wann PSI welche Wörter gelernt hat, wie es mit dem Menschen interagiert hat und wie Wörter und Sätze eingesetzt wurden. Dabei wird jede Sprachausgabe von PSI und jede Spracheingabe des Menschen an der entsprechenden Stelle ins Protokoll eingefügt, was bedeutet, dass aus einem PSI-Protokoll auch klar ersichtlich ist, zu welchem genauen Zeitpunkt Äußerungen gemacht wurden. Kenntlich gemacht werden diese Sprachinputs durch ein vorgestelltes „verbal“, dann folgt entweder das geäußerte Wort/der geäußerte Satz oder das erkannte Wort/der erkannte Satz. Handelt es sich um ein geäußertes Wort/einen geäußerten Satz, dann wird hinter dem Wortlaut entweder „Angabe“ oder „Frage“ protokolliert, je nachdem, ob es sich um eine Angabe oder eine Frage von PSI handelt („verbal Wastun Hunger Frage“ wenn PSI fragt, was es gegen Hunger tun kann, oder „verbal Hasel neben Teddy Angabe“, wenn PSI eine Situation beschreibt). Wenn es sich um ein erkannte Wort/einen erkannten Satz handelt, dann wird anschließen an den Wortlaut entweder „System“ angehängt, wenn die Antwort vom System gekommen ist, oder „Antwort“ wenn es sich um eine Antwort von außen handelt (z.B. „verbal Teddy System“, wenn das System PSI mitgeteilt hat, dass das von ihm gerade betrachtete Objekt „Teddy“ heißt, oder „verbal hingehen Hasel nehmen Antwort“, wenn von außen die Anweisung kam, zu Hasel hinzugehen und den Operator nehmen anzuwenden).

6. Kritik und Ausblick, oder: „Die Grenzen meiner Sprache bedeuten die Grenzen meiner Welt“²⁸ (Wittgenstein)

6.1 Welche der Anforderungen werden von PSI erfüllt?

An dieser Stelle soll die Passung von PSI zu den in den Kapiteln 3 und 4 gestellten Anforderungen überprüft werden. PSI wird nicht alle diese Anforderungen erfüllen können, die PSI-Theorie sollte aber Lösungsmöglichkeiten für alle Anforderungen anbieten können, auch wenn diese Lösungen noch nicht ins Programm aufgenommen wurden (dazu siehe Kapitel 5.3) und theoretisch noch nicht aufgearbeitet sind. An dieser Stelle sollen nun die Anforderungen durchgegangen und auf ihre Erfüllung überprüft werden.

Anforderung 1: Ein sprachverarbeitendes System muss sowohl über Wörter als auch über Regeln zur Kombination dieser Wörtern verfügen.

► **Teilweise gegeben.** PSI verfügt über Wörter und es verfügt über die Fähigkeit, diese Wörter in einer bestimmten Reihenfolge anzuwenden. Was jedoch noch fehlt, ist eine ausgearbeitete Grammatik, die auch Umformungen von Wörtern und komplexere Sätze enthält.

Anforderung 2: Von der Gedächtnisrepräsentation eines Wortes muss eine Verknüpfung zur Gedächtnisrepräsentation des entsprechenden Dings existieren.

► **Gegeben.** Bei PSI sind Wortschema und Bildschema durch die pic/lan-Axone miteinander verbunden.

Anforderung 3: Von der Gedächtnisrepräsentation eines Wortes muss nicht nur eine Verbindung zur Gedächtnisrepräsentation des Dings vorhanden sein, es müssen auch Verbindungen zu verwandten Konzepten möglich sein.

► **Gegeben.** Von der Gedächtnisrepräsentation z.B. einer Wasserlache ist nicht nur eine Verbindung zum Wort „Lache“ vorhanden, sondern auch Verbindungen zu allen Orten, wo sich eine Lache befindet und eine Verbindung zum Bedürfnis „Durst“. Dies bedeutet, dass bei PSI mit einem Wort mehr verbunden ist als das jeweilige Objektschema. Zwar ist nur das Objektschema direkt mit dem Wort verbunden, aber das

²⁸ aus Tractatus logico philosophicus

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

Objektschema ist wiederum mit anderen Objektschemata, mit Bedürfnisindikatoren, mit Aktionsschemata verbunden, so dass diese Anforderung erfüllt wird.

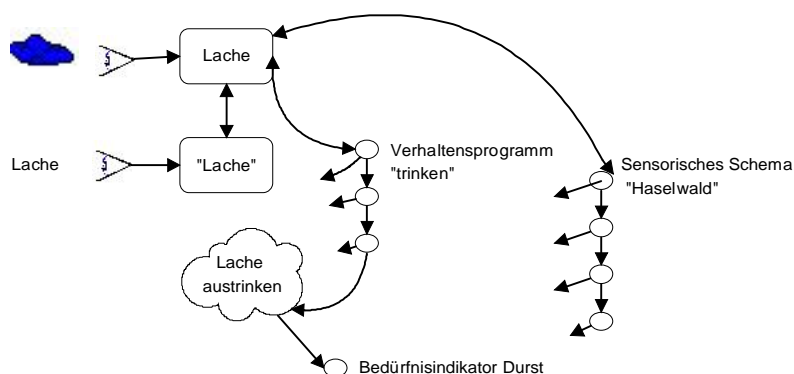


Abbildung 52: Das Wort "Lache" und mögliche Verbindungen

Anforderung 4: Ein sprachverarbeitendes System muss neben Wörtern auch über Regeln verfügen, die es anweisen, wie die Wörter aneinandergereiht werden.

⇒ **Gegeben.** PSI kann Wortreihenfolgen lernen und auch wieder umlernen. Was PSI jedoch noch nicht kann ist der Umgang mit Veränderungen *im* Wort, wie beispielsweise Flexionen.

Anforderung 5: Bei der Entwicklung eines sprachverarbeitenden Systems sollten sich für Fragen zur Grammatikentwicklung bestimmte Lösungen bevorzugt anbieten.

Gegeben. So ergab sich bei PSI, dass es für Relationen eine von der Neuronenstruktur vorgegebene und für uns grammatikalisch richtige Wortreihenfolge gibt. Bei Fragewörtern bot sich das Lernen am Modell an, hier übernimmt PSI die Wortreihenfolge so, wie sie ihm in den Beispielsätzen, in denen er die Bedeutung von Fragewörtern lernt, vorgegeben werden. PSI kann hier aber auch umlernen: wenn von seinem Gegenüber mehrfach hintereinander andere Wortreihenfolgen verwendet werden, übernimmt PSI diese.

Anforderung 6: Die eingeführten Regeln müssen produktiv, abstrakt, kombinatorisch und rekursiv sein.

Teilweise gegeben. Produktiv: ja, denn es werden bei der Wortreihenfolge Wortgruppen angegeben, keine Einzelwörter (Ausnahme: Fragewörter, hier verallgemeinert PSI nicht). Abstrakt: ja, denn es handelt sich um Wörter, die Aktionen oder Dinge oder Situationen bezeichnen, also um Wortarten (auch wenn diese nicht

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

ganz mit den Wortarten der deutschen Sprache decken). Kombinatorisch: gegeben, da an jede Leerstelle verschiedene Wörter einer Wortart gesetzt werden können. Rekursiv: noch nicht realisiert, PSIs Sätze sind noch zu einfach um Rekursionen möglich zu machen.

Anforderung 7: Ein sprachverarbeitendes System sollte auch nicht-regelkonformen Input verarbeiten können.

► **Teilweise gegeben.** PSI kann auch mit aus seiner Sicht grammatikalisch falschen Sätzen umgehen, und es hat eine Fehlertoleranz bei falsch geschriebenen Wörtern. Diese Fehlertoleranz ist jedoch noch unzureichend, da sie nicht aus dem Kontext ableiten kann, was ein – eventuell auch völlig entstelltes – Wort bedeuten könnte. Zudem ist auch der Umgang PSIs mit „ungrammatischen“ Sätzen stark limitiert durch PSIs eingeschränkte Grammatik, die auch die Möglichkeit von Fehlinterpretationen drastisch einschränkt.

Anforderung 8: Ein sprachverarbeitendes System sollte auch Neologismen entschlüsseln können.

► **Nicht gegeben.** Da PSI Wörter noch nicht in ihrer Teile zerlegen kann, kann es auch mit Neologismen nicht umgehen. Da PSIs Wahrnehmung rein auf geschriebene Sprache abgestellt ist, und es zudem noch nicht abstrahieren kann, ist das Verstehen lautmalerischer Wörter ebenfalls nicht möglich. Was PSI jedoch kann ist aus dem Kontext auf die Bedeutung eines unbekanntes Wortes schließen, wenn es zuvor darauf aufmerksam gemacht wurde, das es jetzt etwas lernen soll. Dies ist *eine* Vorbedingung für das Verstehen von Neologismen.

Anforderung 9: Bei einem sprachverarbeitenden System muss definiert sein, was als Beginn des Spracherwerbs angesehen werden soll.

► **Gegeben.** Der Beginn des Spracherwerbs bei PSI bestand im Erwerben von einzelnen Wörtern.

Anforderung 10: Bei einem sprachverarbeitenden System müssen die Mindestbedingungen für den Spracherwerb gegeben sein: Wahrnehmungsvoraussetzungen, kognitive Voraussetzungen und die Möglichkeit einer Verbindung zwischen Bild und Sprache.

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

P Gegeben. All dies liegt dem PSI-System zugrunde, da PSI (vgl. Kapitel 2) über Wahrnehmung, Kognition und (vgl. Kapitel 5.10) über eine Verbindungsmöglichkeit (pic/lan – Axone) zwischen Wort und Bild verfügt.

Anforderung 11: Ein sprachverarbeitendes System muss sich in seiner Sprachentwicklung ebenfalls zunächst auf das direkt erfahrbare stützen.

P Gegeben. PSIs Spracherwerb beginnt bei den Objekten und Situationen seiner Umgebung und seinen eigenen Aktionen. Abstrakte Konzepte und Fragewörter kommen erst später und bauen auf dem direkt Erfahrbaren auf.

Anforderung 12: Ein sprachverarbeitendes System muss in seiner Bedeutungsfindung ebenfalls von einem zu engen über einen zu weiten hin zu einem der Zielsprache entsprechenden Bedeutungshof eines Wortes gelangen.

P Teilweise gegeben. PSI erwirbt zuerst einen sehr engen Bedeutungshof (ein Wort bezieht sich genau auf ein Objekt), dann einen sehr weiten Bedeutungshof („Ding“ bezeichnet alle Objekte), aber es verengt diesen sehr weiten Bedeutungshof dann nicht. PSI erweitert den Bedeutungshof seiner Wörter nicht selbständig, was auch an der fehlenden bildlichen Abstraktionsfähigkeit liegt. PSI kann eine Ähnlichkeit zwischen zwei Objekten (bspw. zwei verschiedenen Bäumen 🌳 und 🌲) nicht feststellen, und damit auch nicht versuchen, ein Wort für beide Objekte zu verwenden. So kann eine selbständige Bedeutungsfindung über Erweiterung und Verengung des Bedeutungshofes nicht stattfinden und PSI bleibt in den meisten Fällen auf die ihm beigebrachte Bedeutung beschränkt. Ausnahmen sind die ihm als Abstrakta beigebrachten Wörter, deren Bedeutung es selbständig erweitern kann.

Anforderung 13: Ein sprachverarbeitendes System sollte einen ähnliche Ablauf der Sprachentwicklung wie ein Kind haben.

P Nicht gegeben. Da PSI nicht über eine Entwicklung in einem sozialen Umfeld und mit körperlichen und kognitiven Reifungsprozessen verfügt ist auch eine kindliche Sprachentwicklung nur sehr begrenzt möglich. Allerdings lernt PSI zuerst direkt erfahrbares, dann abstrakteres und kommt von Ein-Wort-Äußerungen langsam zu komplexeren Äußerungen.

Anforderung 14: Ein sprachverarbeitendes System sollte zu ähnlichen Übergeneralisierungen der Interrogativpronomina neigen wie ein Kind.

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

Ⓟ Nicht gegeben. PSI lernt Interrogativpronomina zu einem bestimmten Zweck und benutzt sie dann auch nur für diesen Zweck.

Anforderung 15: Ein sprachverarbeitendes System sollte eine ähnliche Entwicklung der Flexionen zeigen wie ein Kind.

Ⓟ Nicht gegeben. PSI verfügt noch über keine Flexionen, kann sie also auch nicht übergeneralisieren.

Anforderung 16: Spracherwerbsstrategien, die bei Tieren funktionieren, sollten auch bei einem sprachverarbeitenden System funktionieren.

Ⓟ Gegeben. Das lernen von Fragewörtern und Relationen anhand von Bildern oder dem Kontext eines Satzes funktioniert auch bei PSI.

Anforderung 17: Die bei Alex so erfolgreiche Methode des Lernens am Beispiel sollte auch bei einem sprachverarbeitenden System zum Erfolg führen, sehr künstliche Methode – wie z.B. bei Sarah – sind dagegen zu vermeiden.

Ⓟ Gegeben. Wie auch der Graupapagei Alex lernt PSI anhand von Beispielen, nicht anhand von aus dem Sinnzusammenhang gerissenen Vorgaben. Allerdings fehlt bei PSI der soziale Kontext und PSI generalisiert kaum (abgesehen von Überbegriffen wie z.B. „Ding“).

Anforderung 18: Ein sprachverarbeitender Computerprogramm muß über Emotion, Motivation und eine eigene Welt verfügen.

Ⓟ Gegeben. All dies ist im PSI-Programm enthalten (vgl. Kapitel 2).

Anforderung 19: Ein sprachverstehendes Computerprogramm muß auf der Basis einer Simulation der *Funktionalität* des Gehirns aufbauen.

Ⓟ Gegeben. PSI ist die Umsetzung einer Theorie psychischer Prozesse beim Menschen.

Anforderung 20: Ein sprachverarbeitendes System sollte auch über die Mittel zur nonverbalen Kommunikation verfügen.

Ⓟ Teilweise gegeben: PSI verfügt über ein Gesicht, auf dem seine Emotionen auf für Menschen verständliche Art und Weise dargestellt werden. Es hat aber keine Möglichkeit, seine Emotionen über Sprache auszudrücken und es hat keine Möglichkeit, die Emotionen anderer zu erkennen. Hier wäre eine Lösungsmöglichkeit,

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

mehrere PSIs auf einer Insel zu vergesellschaften und ihnen so die Möglichkeit zu geben, sich gegenseitig zu sehen und auch Emotionen erkennen zu können. Ein unmittelbarer Kontakt mit Menschen z.B. über eine Kamera wäre allerdings ein anspruchsvolles Projekt.

PSI-Lingua konnte einen Teil der Anforderungen erfüllen, es bleiben jedoch auch noch viele Fragen offen. So ist vor allem der Grammatikerwerb bislang noch unzureichend. Ob und wie dies mit der Grundstruktur von PSI erreicht werden kann wird in Kapitel 6.4 erörtert. An dieser Stelle soll zunächst PSI-Lingua mit den anderen sprachverarbeitenden Computerprogrammen verglichen werden.

6.2 PSI und die anderen (ELIZA, ...)

Die verschiedenen bislang vorgestellten sprachverarbeitenden Systeme haben ganz unterschiedliche Stärken, doch wo steht PSI-Lingua im Vergleich zu diesen Systemen? Was hat PSI diesen Systemen voraus, wo ist PSI weniger gut?

ELIZAs große Stärke ist das Abdecken eines großen Bereichs von möglichen Konversationsthemen und ihre – meist – perfekte Grammatik. ELIZAs Grammatik ist nur dann fehlerhaft, wenn eine vom Gesprächspartner übernommene Äußerung fehlerhaft in ihre eigenen Sätze eingebaut wird. Und genau hier liegt ELIZAs große Schwäche: ELIZA geht nach vorgegebenen Schemata vor, sie weiß nicht, über was sie redet und ist entsprechend auch nicht in der Lage, Grammatik anzupassen. PSI-Lingua dagegen verfügt über wesentlich geringeres „Konversationsgeschick“, kennt aber die Bedeutung seiner Aussage. Dementsprechend sind seine Aussagen konkreter als die von ELIZA, bei der Nichtwissen mit Allgemeinplätzen überspielt wird. PSI kann aktiv in einer neuen Umgebung lernen, PSI kann Auskunft über seine Umgebung geben, PSI kann den Menschen um Hilfe bitten und PSI kann Handlungsanweisungen verstehen und ausführen. PSI-Lingua ist auf den ersten Blick anzumerken, dass es sich um keinen menschlichen Interaktionspartner handelt: sein Wissen über die Welt ist auf seine Kanalwelt bzw. seine Insel beschränkt, seine Sätze sind sehr einfach und Grammatik ist kaum vorhanden. Bei ELIZA braucht man etwas länger, um zu entdecken, dass sie kein Mensch ist. Man merkt bei ELIZA an sinnlosen Antworten, dass man sich nicht mit einem Menschen unterhält. ELIZAs Mängel liegen in ihrem System begründet: sie hat keine Möglichkeit, die Bedeutung des Gesagten zu kennen. PSI-Linguas Mängel dagegen lassen sich innerhalb des Systems PSI verringern: es gibt theoretische

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

Vorstellungen zum Grammatiklernen, und es gibt Konzeptionen für größere Welten. Zumindest eine grammatikalisch richtige Unterhaltung über PSI-Linguas Welt sollte erreichbar sein. Zudem ist ELIZAs Sprachverwendung auf ein völlig anderes Ziel hin programmiert, von ihr werden keine konkreten, überprüfbaren Aussagen erwartet, sondern ein Anregen des Gesprächs. PSI-Lingua dagegen stellt konkrete Fragen und liefert konkrete Antworten, muss sich also gleichzeitig mit einer Realität und deren Inhalten auseinandersetzen.

SHRDLU verfügt wie PSI-Lingua über eine eigene Welt. Diese ist allerdings wesentlich begrenzter als PSIs Welt. Zudem fehlt SHRDLU ein motivatorisches System und die Möglichkeit, Emotionen zu erleben und damit ein wichtiger Ansatz zum menschlichen Sprachverstehen. Dank einer vorgegebenen Grammatik gibt SHRDLU grammatikalisch richtige Antworten, aber Grammatik kann nicht erworben werden. Sein Wortschatz ist begrenzter als PSIs, aber auch SHRDLU verbindet eine Art Bedeutung mit jedem Wort, da es mit dem Wort ein Objekt und zugehörige Bewegungen und Aktionen verbindet. Auch Winograd sieht die Bedeutung von Konzepten maßgeblich in deren Verbindung zu anderen Konzepten("The meaning of any concept depends on its interconnection with all of the other concepts in the model." Winograd, 1973, S.168).

Dieses System ist PSI auf den ersten Blick sehr ähnlich, auf den zweiten Blick zeigen sich aber große Unterschiede: PSI verfügt über Emotion und Motivation, SHRDLU fehlt dies. Damit hat PSI einen weitaus größeren Hintergrund an möglichen Verbindungen von Konzepten als SHRDLU ihn jemals haben kann, und damit ein weitaus größeres Feld an ihm zugänglichen Bedeutungen. PSI erlernt seinen gesamten Wortschatz und seine gesamte (wenn auch beschränkte) Grammatik, SHRDLU nur Teile seines Wortschatzes. Das PSI-System ist dadurch flexibler und kann sich besser an verschiedene Umwelten anpassen.

Auch die Talking Heads und Aibo entwickeln ihre Sprache selbständig bzw. in Interaktion mit Menschen. Für sie haben Wörter eine Bedeutung im Sinne eines mit diesem Wort verbundenen Objektes. Die Talking Heads können miteinander agieren, was bei PSI-Lingua noch nicht verwirklicht ist, und es handelt sich sowohl bei den Talking Heads als auch bei AIBO um Roboter, die in der realen Welt interagieren. AIBO versteht auch ganze Sätze, äußert selbst allerdings – wie auch die Talking Heads – nur Einzelwörter während PSI-Lingua auch Mehrwortsätze äußert. Im Gegensatz zu den Talking Heads ist PSIs Wortschatz nicht nur auf Objekte begrenzt sondern umfasst

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

auch Bedürfnisse und Bewegungen. Der Bereich, über den PSI kommunizieren kann, ist entsprechend größer. Die Talking Heads können ihren Wortschatz mit der Zeit verändern, indem nur die erfolgreich benutzten Worte weiterverwendet werden. PSI kann seinen Wortschatz zwar auch erweitern, aber das Kriterium „Erfolg“ für die Auswahl eines Wortes ist nicht vorgesehen – wäre allerdings einbaubar, da PSI über ein Gedächtnis verfügt. Somit sind von den hier vorgestellten Ansätzen die Talking Heads und Aibo als PSIs „schärfste Konkurrenten“ zu sehen, die zwar nicht alles können, was PSI kann, dafür aber auch über Fähigkeiten verfügen, über die PSI nicht verfügt.

6.3 Abgrenzung L₀ – PSI

Wo unterscheiden sich PSI-Lingua und das L₀-Projekt (vgl. Kapitel 4.8)? Beim theoretischen Hintergrund finden sich große Gemeinsamkeiten zwischen beiden Projekten. So wird in beiden Projekten davon ausgegangen, dass Wörter auf tatsächlich gegebene (motorisch/sensorische) Erfahrungen zurückgeführt werden können müssen und bei beiden Ansätzen stehen hier besonders Aktionsschemata im Vordergrund. Dies beinhaltet die unbedingte Notwendigkeit einer Außenwelt, auf die Sprache sich beziehen können muss. Weiterhin gehen beide Ansätze davon aus, dass sich das Verstehen von Sätzen aus einer Ausführung oder internen Simulation der durch die Sätze vorgegebenen Ereignisse aufbaut. Wenn man aber weiter in die Tiefe geht, fallen bald große Unterschiede auf. So sind die von beiden jeweils verwendeten Strukturen zwar konzeptuell ähnlich, aber völlig anders realisiert. Während PSIs gesamte innere Strukturen auf der Basis theoretischer Neuronen verwirklicht sind, handelt es sich im L₀-Projekt um heterogene Basisstrukturen: x-schemas und f-structs im Konzepterwerb, belief nets im Satzverstehen und Konstruktionen in der Grammatik. Diese Strukturen sind entsprechend ihrem Verwendungszweck stark angepasst und spezialisiert, dafür aber inflexibler und statischer als die in PSI gebrauchten Theoretischen Neuronen. PSIs einheitliche und sehr basale Struktur erlaubt größere Freiheiten: Wahrgenommenes und Erfahrenes ist direkt in diesen Strukturen abgespeichert und kann auch direkt abgerufen werden, während im L₀-Projekt zugängliche Information beispielsweise von den vorhandenen Slots im linking f-struct abhängig ist. Dafür ist diese Information dann auch schon so bearbeitet, dass sie direkt weiterverarbeitet werden kann, während bei PSI die Information zwar – wenn erlebt – auch zugänglich ist, aber evtl. erst aus den Neuronenstrukturen berechnet werden muss. So sind Informationen über die Größe von Objekten beispielweise nur indirekt enthalten (in der Neuronenstruktur ist immer nur

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

angegeben, wie weit es von einem Merkmal zum nächsten ist), die Gesamtgröße eines Objektes kann aber aus der Summe der Teilgrößen errechnet werden. PSIs großer Vorteil ist dabei die direkte Erreichbarkeit von Informationen, die basale Kodierung auf einer einheitlichen Stufe und die Sparsamkeit an theoretischen Konzepten, das L₀-Projekt hat den Vorteil der leichteren Erreichbarkeit der Information.

Da im L₀-Projekt eine thematische Gliederung einzelner Arbeiten (Konzeptlernen, Metaphern und Textverstehen, Grammatik) vorliegt, möchte ich mich im folgenden an diese Gliederung halten und die Vor- und Nachteile beider Ansätze gegeneinander abwägen.

Beim Konzepterwerb liegen große Unterschiede in der gerade schon diskutierten Struktur. PSI verzichtet vollständig auf zwischengeschaltete, ordnende Strukturen wie f-structs. Diese Sparsamkeit (der Verzicht auf eine zusätzliche Instanz) hat den Vorteil, dass Informationen nicht an dieser Stelle gebündelt und selektiert werden. Wenn in einem f-struct eine bestimmte Information nicht behandelt wird, ist sie für die gesamte weitere Verarbeitung verloren. Bei PSI sind diese Informationen problemlos weiterhin abrufbar, allerdings stehen Informationen auch nie so konkret und „gebrauchsfertig“ zur Verfügung, wie es in den f-structs gegeben ist.

Zudem verbindet PSI wesentlich mehr mit einem Objekt oder einer Bewegung als „nur“ das zugehörige Wort und einige Parameter, die dieses Wort näher charakterisieren. Wenn PSI ein Wort wie z.B. „Lache“ lernt, dann lernt es auch, wie dieses Objekt aussieht, und wenn es eine Weile exploriert hat, wird es herausfinden, dass dieses Objekt auch Bedürfnisrelevanz hat, denn mit Hilfe von Wasserlachen kann PSI seinen Durst stillen. Zudem ist eine Wasserlache auch in einen ganz bestimmten Ablauf von Aktionen eingebettet, aus einer Wasserlache muß PSI trinken (d.h. den Operator „saugen“ anwenden) um seinen Durst zu löschen, die Wasserlache anzupusten (d.h. den Operator „pusten“ anwenden) dagegen hilft nichts. Es entsteht hier also nicht nur die semantische Grundrelation (Ogden & Richards, 1960), eine Verbindung zwischen den internen Repräsentationen der Wasserlache und der des Wortes „Lache“, sondern es führen von der internen Repräsentation der Wasserlache aus noch weitere Verbindungen zu anderen Konzepten, z.B. zu den Orten, an denen Wasserlachen vorkommen, zum Bedürfnisindikator und zu einem Aktionsschema, dass das Trinken aus einer Wasserlache enthält (vgl. dazu Dörner, 1999). PSI erwirbt also neben der direkten Wort-Ding Verbindung (bzw. der direkten Verbindung zwischen beider interner

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

Relationen) noch ein erhebliches Maß an „Randbedeutung“ (d.h. Konnotation, Nebensinn, praktische Bedeutung, ...) die das Programm des L₀-Projektes mangels einer umfangreichen Umgebung und mangels innerer Prozesse wie Motivation, Emotion etc. nicht erreichen kann.

PSI kann auch erheblich größerer Menge an Wortkategorien lernen: PSI lernt nicht nur Wörter für Aktionen und räumliche Relationen, sondern auch Wörter für Bedürfnisse, Bewegungen, Situationen, Objekte, Abstrakte und sogar Fragewörter. Dies gibt PSI einen erheblich breiteren Wortschatz, der zwar nicht unbedingt eine größerer Anzahl von Wörtern abdeckt als in den Simulationen des L₀-Projekts abgedeckt werden, aber erheblich breitere Themengebiete.

Im L₀-Projekt wurde dagegen ein erheblich größerer Spezialwortschatz abgedeckt. So kann hier zwischen semantisch sehr ähnlichen Wörtern wie „push“ und „shove“ unterschieden werden, und das Modell erlernt die Unterschiede zwischen diesen Bedeutungen selbständig aus Erfahrung. Dazu können hier verschiedene Modelle auf gemeinsame Grundlagen zurückgeführt werden, eine mächtige Fähigkeit, die aber PSI fehlt. Bei PSI sind solche Probleme theoretisch gelöst, aber noch nicht implementiert. In die selbe Kategorie gehört die Fähigkeit des L₀-Modells, beim Lernen verschiedener Sprachen verschiedene Lexika zu entwickeln, die den spezifischen Bedeutungen von Wörtern in den einzelnen Sprachen Rechnung tragen. PSI kann zwar ebenfalls verschiedene Sprachen lernen, seine Möglichkeit zum Erwerb eines entsprechenden Lexikon ist aber (in der Motorik) durch fehlende sensorische Feinabstimmung eingeschränkt. Bei räumlichen Relationen kann auch PSI feinere Nuancen lernen, ist aber wiederum durch das Fehlen der Fähigkeit zur Verallgemeinerung stark eingeschränkt.

Beide Modelle sind in der Lage, Wörter aus beliebigen Sprachen zu lernen, beide können Befehle ausführen und verstehen. Allerdings haben auch beide Modelle Probleme mit der Segmentierung von Wörtern (beispielsweise in Wortstamm und Endung). Dieses Problem wurde in beiden Modellen bislang nur theoretisch angegangen, nicht aber implementiert.

Das Verstehen von Metaphern und Texten ist bei PSI bisher nur theoretisch gelöst (vgl. Bartl-Storck, 2004) es existiert keine Implementation in PSI. Im L₀-Projekt gibt es dafür ein Computermodell. Diesem Modell ist allerdings das für den entsprechenden

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

Weltbereich nötige Wissen und der nötige Wortschatz vorgegeben, es „erlernt“ also nichts. Eine differenziertere Unterscheidung ist hier, dass im L₀-Projekt Verstehen *grundsätzlich* als interne Simulation (oder als tatsächliche Ausführung) der vorgegebenen Inhalte realisiert ist, in der PSI-Theorie dagegen muss es nicht zu einer Simulation kommen, es reicht aus, wenn diese Simulation (oder die Ausführung) *möglich* wäre. Die Simulation muss in der PSI-Theorie nicht erfolgen, sie kann beispielsweise aus Dringlichkeitsgründen unterbleiben. Dies erklärt, warum man Texte, die einem beim ersten hastigen ansehen als durchaus logisch erschienen, bei einem zweiten Ansehen nicht mehr annähernd so logisch erscheinen – die beim ersten Mal nicht vorgenommene Simulation wird nun nachgeholt und zeigt mögliche Ungereimtheiten auf.

In der PSI ist im Moment nur sehr wenig Grammatik implementiert, es gibt allerdings theoretische Vorarbeiten (vgl. Dörner, 1999). Dem stehen im L₀-Projekt ein ausgearbeitetes Theoretisches Konzept *und* dessen Implementierung entgegen

Im Gesamturteil hat PSI den Vorzug, Zusammenhänge zu beachten und eine Erweiterung eines Modells, das gleichzeitig Handlungsorganisation, Emotion, ... mit einbezieht zu sein. Dadurch hat PSI große Stärke im Bereich der Bedeutung und eine größerer Vielfältigkeit an möglichen Wortarten, ist aber in den einzelnen Bereichen deutlich weniger entwickelt. Am hervorstechendsten ist hier die PSI fehlende Fähigkeit zur Verallgemeinerung. Allerdings sind diese Entwicklungen in den Teilbereichen zumindest theoretisch schon bearbeitet, wogegen die Mängel des L₀-Projektes – das fehlen eines Zusammenhangs und eines organisierenden Ganze, dass die detaillierten Teillösungen vereint – wohl wesentlich schwerer zu beheben sind.

6.4 Ausblick, oder: “The ability to speak does not make you intelligent.”²⁹

PSIs Welt ist mit den vorgestellten Änderungen ohne Zweifel größer geworden – PSI kann sich Dinge vorstellen, die es nie zuvor gesehen hat, es kann Pläne von „außen“ erhalten, es kann Fragen stellen und daraufhin erhaltene



Abbildung 53: Qui-Gon Jin (links) und JarJar Binks, © Lucasfilm Ltd.- all rights reserved

²⁹ Qui-Gon Jin zu JarJar Binks in Star Wars Episode 1: THE PHANTOM MENACE, © Lucasfilm Ltd.- all rights reserved

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

Antworten verstehen, es kann in einem gewissen Maße abstrahieren – doch wie weit reichen diese Fähigkeiten? Was braucht PSI noch alles, um der menschlichen Kommunikation näher zu kommen? Einiges davon ist schon in den Kapiteln 6.1 und 6.2 besprochen worden, doch muss diese Kritik noch ergänzt werden. Die angegebenen Lösungsansätze sind notwendigerweise schablonenhaft, sie deuten die Richtung eines weiteren Vorgehens an, sind aber keine vollständige Beschreibung.

Feststellung: PSI stellt bisher automatisch Fragen, wenn seine Bedürfnisse stark genug sind und es fragt automatisch nach der Bezeichnung jedes einzelnen Dings in seiner Umgebung.

Problem: Dieses Vorgehen erscheint wenig logisch, da Menschen nicht nach jedem Detail in ihrer Umgebung fragen, sondern nur nach Dingen, die sie interessieren / wichtig für sie sind. PSIs Frageverhalten erinnerte eine Versuchsperson in den Vorversuchen³⁰ an das Frageverhalten kleiner Kinder. Sie äußerte sinngemäß: „Das ist wie mit einem kleinen Kind. Ständig will es alles wissen.“

Lösungsansatz:

Namen von Dingen zu erfahren sollten für PSI Bestimmtheits- und Kompetenzereignisse sein. PSI sollte dementsprechend nur nach Wörtern fragen, wenn das Bedürfnis nach Bestimmtheit oder das Bedürfnis nach Kompetenz hoch ist, oder wenn es die Wörter zum Erfragen einer Befriedigungsmöglichkeit für ein anderes Bedürfnis braucht. Wenn PSIs Bedürfnis nach Bestimmtheit sehr hoch ist, sollte es auch nach Wörtern fragen, die es schon kennt, da dadurch sein Wissen bekräftigt wird.

PSI sollte auch dann nach Worten, die es eigentlich schon kennt, fragen, wenn es dringend Affiliationssignale benötigt (da es über die Zuwendung andere Legitimitätssignale). Um Affiliation zu erhalten sollte PSI auch gezielt nach Dingen fragen, die den jeweiligen anderen gerade beschäftigen. Zudem sollte PSI Objekte nicht mehr als ein Gesamtes sondern als ein aus Teilen bestehendes Ganzes wahrnehmen können, und eine entsprechende Hierarchie aufbauen können. Ein von oben beginnender Frageprozess würde sich so – falls benötigt – durch die Hierarchieebenen nach unten arbeiten können bzw. auf das im Moment (für die Bedürfnisbefriedigung) wichtige Objekt konzentrieren können.

³⁰ Zu den Versuchen siehe Kapitel 7 und 8, hier handelt es sich jedoch um eine VP aus den Vorversuchen, auf die im Weiteren nicht eingegangen wird.

Feststellung: PSI protokolliert Informationen „von außen“ noch nicht als solche. In seinem Gedächtnis kann es nicht zwischen Informationen von außen und eigenen Informationen unterscheiden.

Problem: Diese Unterscheidung ist nötig, wenn PSI sich eines Tages einmal Gedanken darüber machen soll, wie zuverlässig seine Informationslieferanten sind und wenn er sich selbst hinterfragen soll. Dafür müsste PSIs Umwelt und sein Gedächtnis erweitert werden. PSIs Gedächtnisstruktur lässt eine solche Erweiterung zu. Damit eng zusammen hängt, dass PSI kein Konzept des „anderen“ hat, genauso wenig, wie es ein Konzept von sich selbst hat. Um dies zu realisieren ist die Erweiterung von PSIs Gedächtnis nötig.

Lösungsansatz: PSI muss in die Lage versetzt werden, andere zu erkennen und damit Schemata von ihnen aufzubauen. Dann können Aussagen anderer mit den zugehörigen Schemata verbunden werden und so einer Person zugeordnet werden. Eine Aussage einer Person könnte dann direkt mit der internen Repräsentation dieser Person verbunden sein und wäre damit direkt auf ihren Urheber zurückführbar. Wenn Vergessen einsetzt kann es dann auch dazu kommen, dass PSI nicht mehr weiß, von wem eine Äußerung gemacht wurde (wenn die Verbindung, die zwischen dem Inhalt einer Äußerung und der internen Repräsentation der jeweiligen Person zerfallen ist), sondern nur noch z.B. den Kontext einer Äußerung kennt, aber die Äußerung nicht mehr einer konkreten Person zuordnen kann („War das jetzt deine Idee oder meine?“).

Feststellung: PSI bewertet Pläne und Informationen nicht als sinnvoll oder nichtsinnvoll sondern führt sie aus (wenn es selbst keine Alternativvorschläge hat) oder nicht (wenn es selbst Ideen hat).

Problem: Es wäre allerdings viel sinnvoller, wenn PSI eigene Vorschläge gegenüber von außen kommenden Vorschlägen abwägen würde und dann den sinnvolleren Vorschlag nimmt, bzw. wenn PSI auch dann, wenn es keine eigenen Pläne hat die Pläne anderer auf Sinnhaftigkeit prüft (es kann ja sein, dass PSI schon weiß, dass etwas vorgeschlagenes nicht zum gewünschten Erfolg führt).

Lösungsansatz: PSI prüft jeden an ihn herangetragenen Plan auf Übereinstimmung mit seinem Weltwissen und fragt – bei Widersprüchen – nach. Wenn die Aktiviertheit sehr

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

groß ist sollte diese Überprüfung jedoch wegfallen, wenn das Affiliationsbedürfnis sehr hoch ist sollten Pläne auch bei vorhergesehenen Problemen ausgeführt werden.

Feststellung: PSI kann im Moment noch nicht zwischen einem (ausgeführten) Plan und der Realität unterscheiden.

Problem: PSI kann nicht zwischen tatsächlich realisierten und nur geplanten Handlungen unterscheiden. Dies führt dazu, dass ihm gegenüber geäußerte Pläne als genauso wahr betrachtet werden wie selbst gemachte Erfahrungen. Im konkreten Fall äußert sich das darin, das PSI die Mitteilung eines andern, dass das Fressen einer bestimmten Pflanze Schaden hervorruft, genauso abspeichert, als ob es diese Erfahrung selbst gemacht hätte.

Lösungsansatz: PSI könnte seine Pläne z.B. dadurch speichern, dass die Aktionsschemata die Information „nicht betätigt“ in sich tragen und so hervorgehoben wird, was nur ein Plan war und welcher Plan tatsächlich ausgeführt wurde. Diese Information „nicht betätigt“ könnte durch eine geringe Verbindungsaktivität realisiert werden. Entsprechend schwache Verbindungen würden beim Vergessen dann auch leichter verfallen, und damit würde nur mitgeteilte Inhalte automatisch leichter überprüft werden als tatsächlich erlebte Inhalte. Dann kann PSI auch in der Lage versetzt werden, sich selbst Fragen zu stellen und die Antwort auf die gegebene Situation beziehen.

Feststellung: PSIs Gedächtnisstrukturen können nicht gespeichert werden. Ein PSI durchläuft einen Lebenszyklus, nach dessen Ablauf wird das Programm beendet. Es ist nicht möglich, ein PSI zu trainieren und zu einem späteren Zeitpunkt wieder auf dieses trainierte PSI zurückzugreifen.

Problem: Die kurze Lebensdauer von PSI, die eingeschränkte Umgebung und Wahrnehmung³¹ machen PSI den Erwerb von Konzepten schwer. Eine längere Lebensdauer von PSI würde bedeuten, dass man PSI z.B. erst auf einer anderen Umgebung trainieren und dann in die Kanalwelt setzten könnte. Damit hätte PSI die

³¹ PSI nimmt seine Umgebung z.B. nur in schwarz-weiß wahr.

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

Möglichkeit, einen großen Wortschatz zu erwerben und verschiedene Konzepte. Auch PSIs Wahrnehmung müsste auf eine 3-D-Umgebung angepasst werden. So könnte PSI noch Konzepte wie Seitenansicht, aufwärts/abwärts, Tiefe etc. erlernen.

Lösungsansatz: PSI interne Strukturen müssen als Dateien abgespeichert werden können. Dann könnte man ein PSI, das in einer Umwelt schon Erfahrungen gesammelt hat, in andere Realitäten versetzen, um es dort Erfahrungen sammeln zu lassen und um zu überprüfen, in wie weit Wissen übertragen werden kann.

Feststellung: PSI verfügt im Moment nur über wenig Grammatik, es fehlen z.B. verschiedenen Wortformen völlig.

Problem: PSI identifiziert Worte im Moment als ganzes und kann daher nicht zwischen Wortstamm und Endungen unterscheiden und so auch keine Wortformen lernen.

Lösungsansatz: Der Hypercept-Prozess ist in der Lage, auch teilweise Übereinstimmungen zu erkennen und PSI ist in der Lage, Wortteile mit bestimmten Bedeutungen zu verknüpfen, so dass einem Erwerb von verschiedenen Wortformen prinzipiell nichts im Wege steht. PSI Wortwahrnehmung muss also so verändert werden, dass es auch Wortteile als solche erkennt und abspeichert. Dies ist mit dem Hypercept-Prozess möglich. Damit hat es die Voraussetzungen, Wortstamm und Wortendung zu erkennen und so z.B. auf eine Vergangenheitsform zu schließen. Hier müsste nachträglich eine Hierarchie eingeführt werden können, die Wörter, wenn Gleichheiten/Ungleichheiten entdeckt werden, nachträglich in verschiedene Teile zerlegt und diese dann dem Gesamtwort unerordnet. So könnte „Lachen“ später, wenn PSI-Lingua auch das Wort „Lache“ gelernt hat, in „Lache“ und „n“ zerlegt werden, usw.

PSI muss weiterhin die Möglichkeit erhalten, selbst Bedeutungsähnlichkeiten zwischen Worten festzustellen (z.B. bei den Fragewörtern) und über diese zu generalisieren. Wenn PSI dann unbekannt ist, in welcher Reihenfolge man die Wörter bei einem bestimmten Fragesatz stellt kann es von anderen Fragewörtern ausgehend Analogien bilden. PSI könnte die Fähigkeit erhalten, a sich bedeutungsfreie Wörter wie z.B. „der“ zu erlernen, indem es diese mitprotokolliert und in der Protokollkette vor das entsprechende Folgewort hängt und hier zunächst eine feste Verbindung bildet. Wenn es dann diese feste Verbindung verwendet kann es über Feedback bzw. über weitere

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

Erfahrung mit dem Wort lernen, wann diese Verbindung zu verwenden ist und wann nicht.

Feststellung: Weiterhin ist noch PSIs Inflexibilität (z.B. beim Wörter lernen) zu kritisieren. PSI fragt nach einem Wort, wenn es einen Gegenstand oder eine Situation zum ersten Mal sieht bzw. eine Aktion zum ersten Mal ausführt. Später kann es noch Überbegriffe und Relationen lernen, aber es fragt nicht nach mehreren Wörtern für ein Ding.

Problem: Menschen verwenden in unterschiedlichen Situationen unterschiedliche Wörter für dasselbe Ding oder dieselbe Aktion, z.B. „essen“, wenn man mit den Eltern spricht, dagegen „füttern“, wenn man mit Freunden spricht.

Lösungsansatz: Es wäre leicht, PSI die Möglichkeit zu geben, über mehrere Wörter für ein Ding zu verfügen: man müsste ihm nur ein Bild zeigen und dann das neue Wort dazusagen. PSI hätte dann zwei Wörter für ein Ding. Das aber geht am eigentlichen Sinn des Verfügens von mehreren Wörtern vorbei: unterschiedliche Wörter für ein Ding werden in unterschiedlichen Situationen verwendet, und PSIs Gedächtnis lässt dies im Moment noch nicht zu. Da PSI aber Dinge, Aktionen und Wörter grundsätzlich in einer Situation eingebettet wahrnimmt, lernt und verwendet, sind die Grundvoraussetzungen geschaffen.

Wenn PSI für ein Ding oder eine Aktion mehrere Wörter besitzt und diese sich z.B. auf verschiedene Gruppen beziehen („essen“ und „füttern“), so könnten, so können durch die Anwesenheit der Gruppe (z.B. durch das Erkennen der Mitglieder, durch das Erkennen der entsprechenden Sprache, durch das Erinnern an Merkmale der Gruppe) die pic/lan Axone, die spezifisch zu der Sprache dieser Gruppe gehören (d.h. z.B. in der Vergangenheit häufig mit Mitgliedern dieser Gruppe verknüpft waren) voraktiviert werden. Diese voraktivierten Axone sind so stärker als die anderen Axone und entsprechen hat dieses Wort eine höhere Wahrscheinlichkeit, ausgewählt zu werden. Somit würde eine Verbindung von einer Situation, in der eine Aktion enthalten ist, zu einem bestimmten Wort führen, nicht nur die Aktion an sich.

Feststellung: Bei den in Kapitel 6.1 diskutierten Anforderungen konnten nicht alle Anforderungen erfüllt werden. Dabei konnten vor allem Anforderungen zur Grammatik

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

nicht erfüllt werden (dazu siehe oben) und es wurde deutlich, dass PSI eine Entwicklung und ein soziales Umfeld fehlt.

Problem: Ohne Ansprechpartner, der sich direkt in PSIs Welt befindet und den PSI auch wahrnehmen kann, bleiben viele (v.a. soziale) Prozesse außen vor. PSI kann nichts direkt gezeigt werden, indem beispielsweise sein Gegenüber eine Bewegung macht und dazu die entsprechende Bezeichnung sagt, oder in dem ein jüngeres PSI von einem älteren lernt.

Lösungsansatz: Auch hier ist es zunächst nötig, mehrere PSIs auf einer Insel zu vergesellschaften, um das Sprechern zwischen mehreren PSIs erst zu ermöglichen. Dann könnten auch jüngere PSIs von älteren PSIs lernen und verschiedene PSIs könnten zusammenarbeiten. Doch hierfür fehlen noch zwei wichtige Schritte: PSI verfügt noch über kein Selbstbild (da es ja auch kein Bild von anderen verfügt, gegen die es sich abgrenzen könnte) und es ist technisch noch nicht möglich, zwei PSIs in einer Umgebung leben zu lassen. Zudem wäre auch hierfür eine längere Lebensdauer von PSI nötig, da sich solche Prozesse kaum in den 20 Minuten, die PSIs momentane Lebensdauer ausmachen, entwickeln können. Dem stehen im Moment noch technische Probleme entgegen.

Feststellung: PSI benutzt seine Sprachfähigkeit bisher nur, um Fragen nach außen zu stellen, nicht aber, um sich selbst Fragen zu stellen.

Problem: PSI hat einige wenige vorgegebene Planungsalgorithmen, kann diese aber nicht flexible einsetzen und verändern – es kann sein eigenes Verhalten und seine eigenen Denkprozesse nicht reflektieren.

Lösungsansatz: Um dieses Problem zu bearbeiten müssen zunächst theoretische Vorstellungen erarbeitet werden, wie Denken beim Menschen abläuft. Dörner (1999) und Bartl-Stork (2001) schlagen hierfür den Sprach-Bild-Zyklus vor (vgl. dazu Kapitel 3). Um diesen Sprach-Bild-Zyklus zu verwirklichen müssen in PSI zunächst beide Bausteine, nämlich Sprache und Bild deutlich ausgebaut werden. PSI muss in die Lage versetzt werden, Ähnlichkeiten zwischen Objekten zu erkennen und Objekte in Teile zu zerlegen und Gleichheiten von Teilen in verschiedenen Objekten zu erkennen (dies wird im Moment in PSI integriert). So kann die Plastizität und Inhaltsreichtum von Bildern für PSI zugänglich werden. Die Sprache dagegen muss weiter ausgebaut werden, indem

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

PSI z.B. auch die Namen von Teilen erfahren kann und auch Wörter in Teile zerlegen kann und aus diesen Teilen Bedeutung entnehmen kann oder Ähnlichkeiten zwischen Wörtern feststellen kann. Doch dies ist nicht ausreichend, da der Sprach-Bild-Zyklus auf einer Interaktion von Sprache und Bild aufbaut. Hier muss für PSI also die Möglichkeit entstehen, Sprache und Bild in Form des Sprach-Bild-Zyklusses aufeinanderfolgen zu lassen. Wenn PSI im Moment Fragen stellt, dann, wenn ihm Dinge unbekannt sind. Es kann sich auch keine Antwort geben, denn wenn es wüsste, was los ist, hätte es nicht gefragt. Mittels einer Kombination der Fähigkeiten, Fragen auch an sich selbst zu stellen und durch den Sprach-Bild-Zyklus eigenständig Lösungen zu erarbeiten und damit seine Handlungsmöglichkeiten massiv zu erweitern.

Doch was braucht PSI um Fragen an sich selbst stellen zu können? Es gibt (vgl. Kapitel 3) verschiedene Stufen des Spracherwerbs, die mit verschiedenen Fähigkeiten verknüpft sind. Affen können lernen, auf Fragen zu antworten, stellen aber – laut Bischof (1997⁴) – selbst keine Fragen. Affen können Fragen als Zeiger auf Informationen verstehen, d.h. sie können ein Wort als etwas Flexibles ohne direkte Entsprechung eines Dinges verstehen. Was sie allerdings nicht können ist, dieses Wissen selbständig einzusetzen. Der Graupapagei Alex kann Fragen stellen und beantworten, aber er befragt sich nicht selbst. Um Fragen stellen zu können, muss das Fragewort instrumentalisiert werden können, d.h. es muss ein Operator wie „nehmen“, „fressen“ etc. werden. Alex verfügt als Graupapagei von Natur aus über die Fähigkeit, sich auch mit sehr spezifischen Lauten verständlich zu machen – für die Schimpansen waren die von ihnen verwendeten Zeichen jedoch etwas komplett künstliches. Eventuell verfügt Alex daher über die Fähigkeit, Fragen (also Wörter) operationalisieren zu könne und sie zu einem bestimmten Zweck einsetzen zu können. Allerdings befragt Alex nie sich selbst. Menschen jedoch können Fragen stellen, sie beantworten, und sie befragen sich selbst. Was ist noch nötig, um sich selbst befragen zu können? Sich selbst zu befragen macht nur Sinn, wenn es auch eine Möglichkeit gibt, eine Antwort selbst zu finden. Dazu ist aber ein weitere Schritt nötig: nicht nur Fragen, sondern auch alle anderen inneren Prozesse wie z.B. Planen, Gedächtnisprozesse etc. müssen instrumentalisiert werden können. Damit können auch diese Prozesse wie andere Operatoren eingesetzt werden und vor allem auch hypothetisch eingesetzt werden. Wenn diese Operationalisierung interner Prozesse noch mit dem mächtigen Werkzeug des Sprach-Bild-Zyklusses

Kapitel 6: Kritik und Ausblick

verbunden wird ist das betreffende Individuum in der Lage, sich die Antworten auf Fragen selbst zu erarbeiten.

Und wenn diese Fragen dann nicht nur wie die jetzigen Fragen nach außen direkt vom Bedürfnisdruck abhängen, sondern wie Operatoren von PSI gesteuert angewendet werden können – bei Erfolg verstärkt, bei Misserfolg weniger – dann ist PSI auf dem besten Weg, die Grenzen seiner Welt bedeutsam zu erweitern.

Doch nun sollen im folgenden Teil zunächst Menschen und PSIs zusammenarbeiten, um gemeinsam eine Kanalwelt zu explorieren.

7. Mensch-Computer-Kooperation

7.1 Ein (kurzer) Theoretischer Überblick

Nur zu sehr wenigen der im Kapitel 4 vorgestellten sprachverarbeitenden Systeme gibt es Studien über den Umgang von Menschen mit diesen Systemen. So beschrieb Weizenbaum (1990) anekdotenhaft, wie einzelne Menschen mit Eliza umgingen, liefert aber keine Analyse dieses Verhaltens. Zudem mussten Elizas Gesprächspartner auch nicht mit ihr zusammenarbeiten und eine gemeinsame Aufgabe lösen. Doch möchte ich an dieser Stelle zuerst einige (wenige) Studien über den Umgang von Menschen mit sprachfähigen Computer vorstellen, dann auf die Interaktion von Menschen mit Robotern eingehen und schließlich zur Mensch-Agent-Kooperation kommen. Dabei geht es mir *nicht* um einen umfassenden Überblick über die Forschung zur Mensch-Computer-Kommunikation, sondern um Einblicke in verschiedene Forschungsstrategien zu diesem Thema.

Zur Kommunikation zwischen Mensch und Maschine gibt es umfangreiche Studien mit Wizard of Oz Experimenten (vgl. z.B. Amalberti, Carbonell & Falzon, 1993, Dahlbäck, Jönsson & Ahrenberg, 1993). Dabei interagiert eine Gruppe von Versuchspersonen offiziell mit einem Menschen (über Telefon oder über geschriebene Texte), eine andere Gruppe nicht mit einem Computer (obwohl ihnen in der Versuchsinstruktion gesagt wird, sie würden sich mit einer Maschine unterhalten), sondern mit einem Menschen, der die Stelle des Computers übernimmt. Im Falle einer telephonischen Unterhaltung wird dabei versucht, die Stimme des Menschen, der den Computer vertritt, beispielsweise durch Verzerrung maschinenähnlich klingen zu lassen. Wizard of Oz Studien haben zum jetzigen Zeitpunkt den großen Vorteil, dass Studien, die das Verhalten von Menschen gegenüber einem Computer mit dem gegenüber eines Menschen vergleichen wollen, sich nicht z.B. mit den im Moment noch sehr begrenzten sprachlichen Fähigkeiten der Computer auseinandersetzen müssen, und dass das Sprachverständnis von Mensch und „Maschine“ wirklich gleichwertig ist. Allerdings agieren die Versuchspersonen in beiden Fällen mit einem Menschen und nicht mit einer Maschine, so dass die gewonnenen Daten das Verhalten von Menschen gegenüber Menschen mit dem Verhalten von Menschen gegenüber Menschen, die sich als Computer ausgeben, vergleichen.

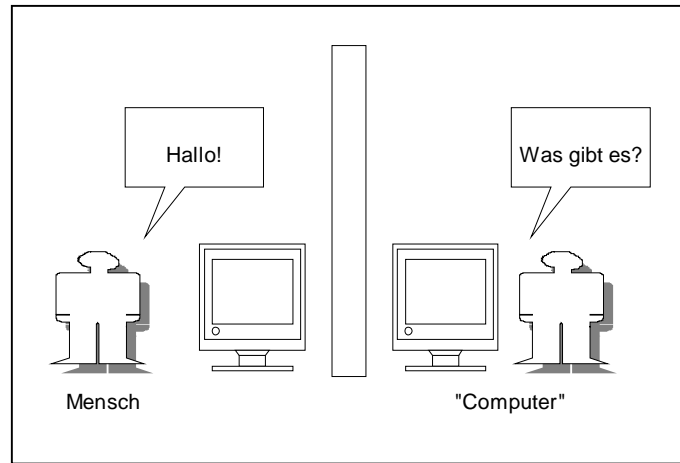


Abbildung 54: Wizard of Oz Experiment

Stellvertretend für die Experimente dieser Gruppe soll hier ein Versuch vorgestellt werden. Die vorgestellte Arbeit zeichnet sich dadurch aus, dass verstärkt versucht wurde, möglichst wenig Hinweise darauf zu geben, dass der „Computer“ in Wirklichkeit ein Mensch ist. Amalberti, Carbonell & Falzon (1993) stellten in ihrem Experiment Versuchspersonen vor die Aufgabe, Fahrpreise und Abfahrtszeiten von Zügen zu ermitteln. Einer Gruppe wurde gesagt, sie müsste diese Daten mittels der von einem Menschen besetzten Telefonauskunft ermitteln, der anderen Gruppe, sie müssten sie mit Hilfe der maschinellen Telefonauskunft Erfahrung bringen. Dabei wurde im Hinblick auf Vorläuferstudien darauf geachtet, dass der Mensch, der sowohl den Computer als auch die menschliche Auskunftsperson spielte, nicht wusste, ob die Versuchsperson dachte, mit einem Mensch oder einer Maschine zu sprechen. Die Stimme der Auskunftsperson wurde so verändert, dass sie sich weder einem Menschen noch einer Maschine klar zuordnen lies. Schon hier wurden deutliche Unterschiede zwischen beiden Versuchspersonengruppen gefunden. Menschen in der Computer-Gruppe äußerten eine größere Anzahl von Wörtern pro Dialog, verwendeten weniger Füllwörter und unvollständige Sätze, erbaten öfter Bestätigung und wiederholten Dinge, sie verbanden ihre Äußerungen weniger häufig miteinander (indem z.B. Themenwechsel explizit angekündigt wurden) und stellten bei der ersten Nachfrage weniger Information bereit. Amalberti, Carbonell & Falzon (1993) schließen daraus, dass dem Computer geringere linguistische Fähigkeiten, weniger Interaktionskompetenz und schlechtere Problemlösefähigkeiten zugesprochen werden. „This can be seen from the analysis of linguistic and dialogue management indices which characterize the computer group. Subjects in the computer group use fewer connectors, fillers an

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

coherence markers. This suggests that they do not feel it necessary to provide the computer with indications of their reasoning process. Lack of connectors may also indicate that subjects do not feel that dialogue with an computer is enhanced by topic sequencing” (Amalberti, Carbonell & Falzon, 1993, S.561). Dem Computer werden weniger Anhaltspunkte zum Verfolgen des Problemlöseprozesses zur Verfügung gestellt als es bei einem menschlichen Interaktionspartner getan werden wurde. Dass Versuchspersonen dem „Computer“ zuerst weniger Informationen geben, lässt zusammen mit den ebenfalls erhobenen Interviewdaten den Schluss zu, dass die Versuchspersonen den Eindruck hatten, das Problem für den Computer in kleiner Teile zerlegen zu müssen. Über die Dauer des Versuchs näherten sich die linguistischen Charakteristika beider Gruppen einander an. Stabiler blieben die Merkmale auf der Ebene des Problemlösens: Hier fiel auf, dass die Computer-Gruppe eher versuchte, ihre Probleme allein zu lösen und den „Computer“ nur als Werkzeug benutzte. Die Operator-Gruppe dagegen passte ihren Problemlöseprozess dem Operator an und versuchte, mit ihm zusammenzuarbeiten.

In einer anderen Untersuchung zeigte Zoltan-Ford (1991), dass Menschen Spracheigenheiten von Computerprogrammen, mit denen sie interagieren, übernehmen können. Sie beschreibt, wie Menschen sich sowohl bei gesprochener Sprache (Spracherkenner) als auch bei geschriebener Sprache (Tastatureingabe) an das Sprachverhalten des Computers anpassen und so die Verständigung mit dem Computer verbessern.

Mit dem Umgang von Menschen mit einem „echten“ Computerprogramm beschäftigen sich Bell & Gustafson (Bell & Gustafson, 1999a, 1999b, 2000, Gustafson & Bell, 2000, Gustafson, Lundeberg & Liljencrants 1999). Sie stellten das Auskunfts- und Dialogprogramm „August“ für die Dauer eines halben Jahres in einem Stockholmer Kulturzentrum der Öffentlichkeit zur Verfügung und gelangten so zu einem über 10 000 Äußerungen umfassenden Datenmaterial. „August“ konnte Fragen über Stockholm, über den Autor August Strindberg (den Namensgeber des Programms) und über sich selbst (das Programm) beantworten. Dieses Material analysierten Bell & Gustafson (1999b) und Gustafson & Bell (2000) anschließend hinsichtlich des (sprachlichen) Umgang von Menschen mit dem System „August“. Aufgezeichnet wurden lediglich die verbalen Interaktionen mit August, andere Informationen über die Benutzer standen nicht zur Verfügung. Das System „August“ besteht (vgl. Abbildung 55) aus einem

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

„Talking Head“ welcher zur Sprache synchronen Lippenbewegungen zeigt, einer Kamera, die Bewegungen erkennt, einem Spracherkenner für kontinuierliche Sprache³² und Verarbeitungseinheiten für Augusts Sprachin- und -output. Das System enthält ein Lexikon mit ca. 500 Wörtern und Phrasen.

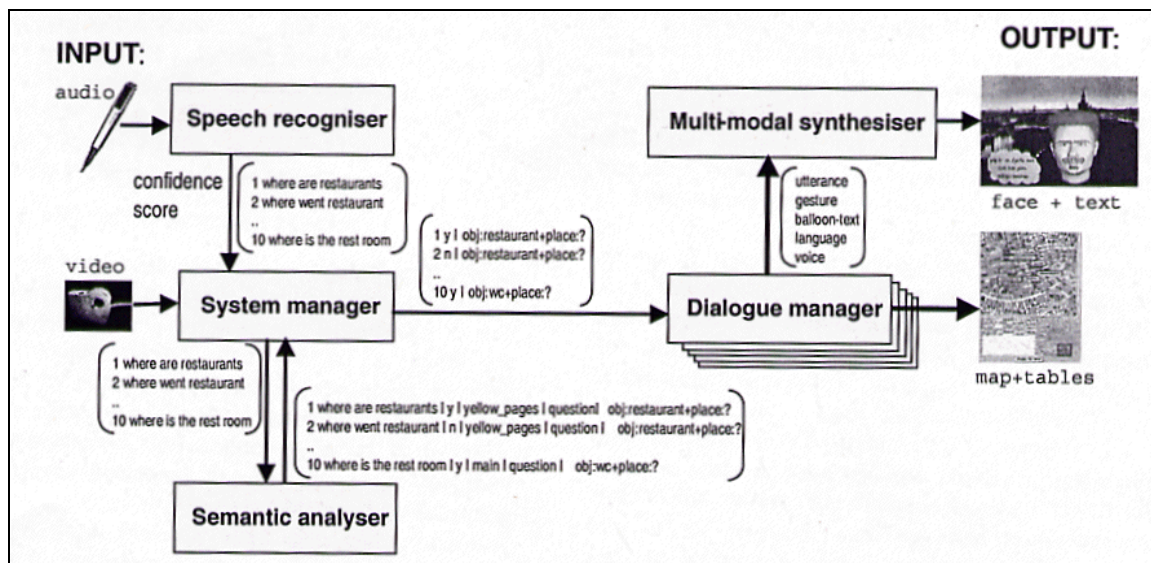


Abbildung 55: Die Komponenten des August-Systems, aus: Gustafson, Lundeberg & Liljencrants, 1999, S.82

Bell & Gustafson (1999b) und Gustafson & Bell (2000) analysierten die Sprache der sich mit August unterhaltenden Menschen. Die erhaltenen Äußerungen konnten sechs Kategorien zugeordnet werden (vgl. Tabelle 3)

Kategorie	Beschreibung
Social	diese Kategorie enthält Grüße und andere persönliche Bemerkungen
Insult	
Test	hier wurde versucht, Augusts Wissensgrenzen zu ermitteln
Domain	Fragen über Augusts Fachgebiet
Meta	Fragen über das System und über den gerade ablaufenden Dialog
Facts	Fachliche Fragen außerhalb von Augusts Wissensgebiet

Tabelle 3: Kategorisierung der Äußerungen gegenüber August

August konnte Fragen zu seinen Fachgebieten gut beantworten, lieferte aber bei Fragen außerhalb dieser Fachgebiete Nonsense-Antworten (vgl. Tabelle 4). Bell & Gustafson

³² D.h. es mussten keine expliziten Pausen zwischen den einzelnen Wörtern gemacht werden.

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

fiel bei der Analyse der Sprachdaten unter anderem auf, dass viele Leute sich nur mit dem System zu unterhalten schienen, um Reaktionen von ihm zu erhalten und nicht, um Informationen zu erhalten.

USER (U1-U19) AND SYSTEM (S1-S10) INTERACTION	
U1	<i>What is your name? (Social)</i>
S1	I call myself Strindberg, but I don't really have a surname.
U2	<i>When were you born? (Social)</i>
S2	Strindberg was born in 1849
U3	<i>What do you do for a living? (Social)</i>
S3	I can answer question about Strindberg, The Royal Institute of Technology and Stockholm
U4	<i>How many people live in Stockholm? (Domain)</i>
S4	Over a million people live in the Stockholm area.
U5	<i>Do you like it here? (Social)</i>
S5	People who live in glass houses should not throw stones
U6	<i>Yes, that was a smart thing to say (meta)</i>
S6	Hello, I come from the department of Speech, Music and Hearing
U7	<i>The Royal Institute of Technology (Domain)</i>
S7	The information is shown on the map
U8	<i>Thank you (Social)</i>
S8	Your are welcome
U9	<i>Goodbye (Social)</i>
S9	Perhaps we will meet soon again
U10	<i>Yes, perhaps we will (Meta)</i>
S10	Strindberg was married three times

Tabelle 4: Eine Unterhaltung mit August. Aus: Gustafson & Bell, 2000, S.8

Bei der Untersuchung linguistischer Eigenarten der Sprecher gegenüber „August“ stellte sich heraus, dass es beim Umgang mit dem System beachtliche Geschlechter- und Altersdifferenzen gab. So begannen Frauen eher mit informationssuchenden Sätzen als Männer, während Kinder eher mit sozialen Fragen anfangen und oft auch dabei blieben. Dies könnte daran liegen, dass „Augusts“ Informationsangebot für Kinder weniger interessant war. „August“ beantwortete je nach Kategorie der Frage und Alter und Geschlecht des Sprechers zwischen unter 10 % (Facts, alle Sprecher) und über 30 % (Social, Männer) der Anfragen adäquat. Der in allen Bereichen erheblich geringere Wert an adäquaten Antworten bei Kindern lässt sich dadurch erklären, dass „Augusts“ Spracherkenner fast ausschließlich mit erwachsenen Sprechern trainiert wurde. Viele

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Benutzer versuchten, die Mängel des Systems durch eine Adaption ihrer eigenen Sprache zu kompensieren (vgl. Tabelle 5), dabei gingen allerdings nur sehr wenige Benutzer zu einem telegraphischen Sprachstil über. Dagegen veränderten die Benutzer sowohl den verwendeten Wortschatz als auch die Syntax und sie veränderten die Aussprache lexikalisch identischer Sätze. Bei der zweiten Wiederholung eines Satzes wurden häufig längere Sätze geäußert, es wurde hyperartikulierte, Pausen zwischen den Wörtern gemacht und Kindern sprachen oft mit vermehrter Lautstärke. All diese veränderten Sprachmerkmale beeinflussen das Erkennen von Äußerungen durch einen Spracherkenner negativ, da Spracherkenner auf einen „normalen“ Redefluss hin optimiert sind.

	Changed lex. item	Changed word order	Inserted word/phrase	Deleted word/phrase	More complex	Less complex
Men	29	11	16	12	10	14
Women	41	13	10	16	4	9
Children	35	13	13	14	13	7

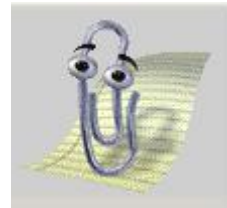
Tabelle 5: Veränderungen in % aller lexikalische identischen Wiederholungen. Aus: Gustafson & Bell (2000), S. 10

Jenseits von verbalen Äußerungen kann „August“ nicht ausdrücken, ob er eine Äußerung verstanden hat, oder mit was das System gerade beschäftigt ist. Um die Rolle des Feedbacks bei sprachverarbeitenden Systemen zu untersuchen, verwendeten Bell & Gustafson (2000) ein Wizard of Oz Experiment. Dabei wurde das AdApt-system eingesetzt, dass aus einem Talking Head und einer interaktiven Karte von Stockholm besteht; insgesamt 33 Probanden führten 50 Dialoge mit dem System. Die Probanden erhielten die Aufgabe, mit Hilfe des Systems ein, bestimmte Kriterien erfüllendes, Apartment in Stockholm zu finden. Dabei gab das System gab dem Benutzer nicht explizit Auskunft, ob eine Eingabe verarbeitet wurde oder korrekt verstanden wurde, es gab allerdings indirekte visuelle Hinweise durch den Talking Head, der beispielsweise „zuhörende“ oder „verstehende“ Mimik zeigte. Das System wies indirekt darauf hin, dass es etwas verstanden hatte, indem es Fragen stellte, die auf vorher von dem Probanden gegebenen Aussagen aufbauten. Bei der Auswertung der erhaltenen Daten stellte sich heraus, dass hier 94 % aller Probanden Feedback an das System gegeben hatten, während es bei dem August-System nur 6 % waren. Wie häufig Feedback gegeben wurde, war je nach Proband sehr unterschiedlich, zwischen 0 % und 70 % aller

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Äußerungen enthielten Feedback. Da es sich hier um ein Wizard-of-Oz Experiment handelt, sind Störquellen, wie der geringe Anteil verstandener Äußerungen bei „August“, ausgeschaltet. Daher kann aber auch die verstärkte Äußerung von Feedback nicht nur auf die Hinweise des Systems auf Verstehen zurückgeführt werden, sondern auch in der grundsätzlich besseren (und erfolgreicheren) Kommunikation der Probanden mit dem System begründet liegen. Ob eine alleinige Feedback-Möglichkeit des Programms eine so deutliche Verstärkung des Feedbacks durch die Probanden erreicht hätte, ist unklar.

Ebenfalls mit Feedback durch Computer beschäftigen sich Klein, Moon & Picard (2002) und Picard & Klein (2002). Hier mussten Versuchspersonen zunächst ein Computerspiel spielen (mit oder ohne Verzögerungen im Spiel). Daraufhin bearbeiteten die Probanden einen Fragebogen, bei dem ein in den Fragebogen eingepasster Agent ihnen, je nach Grad der Frustration des Ausfüllenden, unterschiedliche Rückmeldung gab. Die Rückmeldungen waren vorgegeben, der Agent wählte aber gemäß der Frustration des Probanden Antwortalternativen aus. Es zeigte sich, dass die Versuchspersonen, die den Fragebogen mit dem integrierten Agenten erhalten hatten, das Spiel mit Verzögerungen signifikant länger weiterspielten als die Versuchspersonen, die einen „normalen“ Fragebogen erhalten hatten. Somit sind Menschen für emotionale Unterstützung durch Computer durchaus ansprechbar. Es gilt aber auch: „A few human-like features poorly implemented can be much worse than no human-like features at all.“ (Picard & Klein, 2002, S.152), wenn z.B. der als hilfreich geplante



Assistent eines Office-Programms den Benutzer durch ständige Bewegungen ablenkt, zu den ungünstigsten Gelegenheiten erscheint und kaum zu deaktivieren ist, oder wenn sich ein Scanner durch das Einblenden von Dialogboxen in kurzen Zeitabständen bemerkbar macht, obwohl der Benutzer im Moment keinen Scanner benötigt.

Weitere Schwierigkeiten entstehen, wenn Menschen nicht nur mit einem computersimulierten künstlichen Agenten, sondern mit einem Roboter interagieren und zusammenarbeiten müssen. Längle & Wörn (2001) gehen auf die Probleme der Mensch-Roboterinteraktion ein. Hier gilt es – um sowohl die Vorteile des Menschen als auch die des Roboters bestmöglich zur Geltung zu bringen –, dem Roboter Autonomie zu bewahren und gleichzeitig eine Mensch-Roboter Interaktion möglich zu machen. Gleichzeitig muß noch die Sicherheit des Menschen im Umgang mit dem schweren

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Roboter (KAMRO: Karlsruhe Autonomous Mobile Robot) gewährleistet werden. Aufgabe des Roboters ist es hier, Objekte aufzuheben und an einer anderen Stelle wieder abzusetzen. Damit sich Mensch und Maschine optimal ergänzen geht der Roboter, wenn er die Aufgabe allein nicht bewältigen kann, in einen semi-automatischen Modus über und gibt dem Menschen die Möglichkeit, ihm zu helfen. Auch dabei bleibt die Kontrolle über bestimmte Aspekte der Aufgabe beim Roboter (z.B. das Vermeiden von Kollisionen oder die Kompensation des Objektgewichts), der Mensch kontrolliert nur einen Teil der Aufgabe, wie die Auswahl des Objektes oder der Zielsituation. Somit übernimmt der Mensch hier die Zielbestimmung und Grobsteuerung, die „Detailarbeit“, Routinetätigkeiten und die Feinabstimmung bleibt jedoch beim Roboter. Diese Arbeit zeigt eine Möglichkeit auf, die Kompetenzen von Mensch und Roboter auszunutzen, ohne die Autonomie beider Beteiligte zu sehr einzuschränken. Nicht eingegangen wird in dieser Arbeit allerdings auf Interaktionsstrategien von Menschen im Umgang mit dem Roboter.

Tenbrink, Fischer & Moratz (2002) legen in ihre Arbeit den Schwerpunkt auf die verbale Kommunikation zwischen Mensch und Roboter über räumliche Relationen. Hier interagierten insgesamt 15 Menschen mit dem mobilen Roboter „GIRAFFE“ mittels Keyboardeingabe. Dabei sollte der Benutzer den Roboter zu bestimmten Objekten dirigieren, danach bearbeiteten die Probanden Fragebögen zu ihren Kommunikationsstrategien mit dem Roboter. Benutzer gebrauchten vor allem das Konzept der Ähnlichkeit von Objekten für räumlicher Referenzen, es gab eine konsistente Ordnung, in der verschiedene Strategien angewandt wurden. Etwa die Hälfte der Probanden versuchte zuerst, den Roboter zum gewünschten Objekt zu dirigieren, in dem sie das Objekt direkt benannten („Fahr zum Würfel rechts neben dir“), womit sie in aller Regel erfolgreich waren. Wenn dieses Vorgehen nicht erfolgreich war, fuhren die Probanden mit Richtungsinstruktionen („Fahr einen Meter geradeaus“) fort. Die zweite Hälfte der Probanden begann mit Richtungsinstruktionen und ging bei Misserfolg dann zu unspezifischen Bewegungsbeschreibungen („Fahren“, „Drehe“) über, einige Male sogar bis zu sehr feinen Beschreibungen („Drehe deine vorderen Rollen“). Damit wurde die eigentliche Aufgabe in immer feinere Schritte unterteilt. Auf eine grobere Beschreibungsebene fanden diese Probanden nicht zurück, “participants seemed to ignore the possibility that a robot could know how to move a goal object without being able to understand directional instructions.” (Tenbrink,

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Fischer & Moratz, 2002, S.22) Die Probanden übernahmen konsequent den Standpunkt des Roboters für die räumliche Beschreibung, trauten dem Roboter nur begrenzte linguistische Fähigkeiten zu und verwendeten gegenüber dem Roboter sehr häufig die Befehlsform, nie aber höfliche Umformulierungen (zur Interaktion von Menschen in virtuellen Teams siehe Potter & Balthazard, 2002).

Nicht mit Robotern, aber mit sehr machtvollen künstlichen Agenten interagieren Piloten (vgl. z.B. Hoc, 2000, Hoc, 2001, Sarter & Woods, 2000). Piloten kooperieren dabei mit einem Agenten, der die Macht hat, gegebenenfalls Befehle der Piloten zu überschreiben und damit die Kontrolle der Piloten stark einzuengen. Einer Kooperation des Menschen mit dem Agenten kann hier also nicht durch einfache Missachtung des Agenten vermieden werden, wie es bei den zu Office-Anwendungen gehörenden Agenten gang und gäbe ist. Hoc (2000, S.839) definiert Kooperation mittels zweier Minimalbedingungen:

- Jeder Agent muss eigene Ziel erreichen, die denen des anderen Agenten widersprechen können und
- jeder Agent versucht, diese Widersprüche zu bewältigen, um eigene oder gemeinsame Ziele (falls vorhanden) zu erreichen.

Sarter & Woods (2000) beschreiben Probleme der Piloten mit diesem Agenten, die sich vor allem auf mangelnde „mode awareness“ (die Fähigkeit des Überwachers, den Status und das Verhalten eines automatisierten Systems zu verfolgen und vorherzusagen) zurückführen lassen. Dabei treten zwei große Klassen von Problemen auf:

- Violation of Expectation: hier führt die Automatik Aktionen nicht aus, von denen die Piloten aufgrund ihres Verstehens der Automatik und ihrer Eingaben angenommen hatten, dass sie ausgeführt werden
- Unexpected Automation Behavior: Die Automatik tut (aktiv) etwas, was der Pilot nicht erwartet hatte.

Piloten habe – gerade bei längeren Zeitstrecken zwischen Ursache und Wirkung – Probleme, die Handlungen der Maschine korrekt einzuschätzen und so mit den Maschinen besser zusammenzuarbeiten. Einblick in die inneren Vorgänge der Maschine könnte hier Abhilfe schaffen.

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Zwar ist die Kooperation zwischen dem Agenten und dem Piloten nicht verbal, aber die Forschung zur Mensch-Agent-Kooperation im Luftverkehr gehört zu den wenigen Forschungsrichtungen, in denen das Verhalten des Menschen in der Zusammenarbeit mit künstlichen Agenten beobachtet und analysiert wird. Doch wie gehen Menschen mit sprechenden, autonomen künstlichen Agenten um? Die hier vorgestellten künstlichen Agenten waren entweder sehr machtvoll künstliche Agenten, mit denen aber nicht verbal kommuniziert werden konnte, oder es handelte sich um direkt zu steuernde Roboter (vgl. dazu auch McGlashan & Axling, 1996, Tzafestas & Tzafestas, 2001, Chin, 2000). Doch wie verhalten sich Menschen gegenüber einem künstlichen Agenten, der sowohl über die Fähigkeiten zur (eingeschränkten) verbalen Kommunikation als auch über eigene Lernfähigkeit, eigene Bedürfnisse und Pläne verfügt und diese Pläne auch verfolgen kann? Im nächsten Kapitel werden Fragestellung und Zielsetzung eines Versuchs zu einer Zusammenarbeit zwischen PSI-Lingua (vgl. Kapitel 5) und Menschen beschrieben.

7.2 Verbale Interaktion mit einem Autonomen Künstlichen Agenten

7.2.1 Fragestellung und Vorgehen

In diesem Kapitel sollen zunächst Fragestellung und Zielsetzung der folgenden Untersuchung erarbeitet werden. Im nächsten Unterkapitel wird auf die Versuchsanordnung und in Kapitel 7.3.2 schließlich auf die Auswertung der erhaltenen Daten eingegangen werden. Die folgende Untersuchung hat den Charakter einer Pilotstudie, sie beschreibt einen ersten Ansatz zur Erforschung des Umgangs von Menschen mit dem Autonomen Künstlichen Agenten PSI.

Menschen gehen normalerweise mit künstlichen Agenten um, wenn sie Informationen wollen, arbeiten aber nur selten mit ihnen zusammen. Wenn sie mit künstlichen Agenten zusammenarbeiten (vgl. Cockpit-Studien, Kapitel 7.1), dann können sie mit ihnen meist nicht verbal kommunizieren, und diese Agenten haben keine Emotionen, die ihr Handeln beeinflussen. Während in Wizard of Oz Studien erhoben wird, wie sich Menschen gegenüber einen künstlichen Agenten verhalten, und dies mit dem Verhalten Menschen gegenüber verglichen wird, soll in dieser Studie das Verhalten von Menschen gegenüber unterschiedlich autonomen künstlichen Agenten verglichen werden. Künstliche Agenten werden zunehmend autonomer (vgl. Kapitel 7.1), wie und ob Menschen mit einem autonomen Agenten anders umgehen als mit einem von ihnen

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

vollständig abhängigen Agenten soll in dieser Studie untersucht werden. In dieser Studie geht es um die Zusammenarbeit zwischen Menschen und PSI-Lingua. PSI-Lingua ist ein künstlicher Agent, der ursprünglich zur Theorievalidierung der PSI-Theorie, einer Theorie menschlicher Emotion, Motivation und Verhaltens (vgl. Dörner, 1999, Dörner et. al. 2002), diente. Die Folge dieser Agentenkonzeption ist ein Agent, der nicht „perfekt“ funktioniert, sondern in weiten Teilen „menschlich“ funktioniert – und dementsprechend auch Fehler macht, Dinge übersieht, hektisch wird, wenn ein lebensnotwendiges Bedürfnis sehr stark wird, ... Die Implementierung einer Theorie menschlichen Verhaltens in einen künstlichen Agenten macht – abgesehen von der Theorievalidierung – auch in anderen Bereichen Sinn: wenn ein Agent tatsächlich Schmerz verspürt, wird er schmerzzerzeugende Reize in Zukunft meiden, wenn er neugierig ist, wird er explorieren und so zwar etwas riskieren, aber auch viel dazu lernen.

Weiterhin sind Menschen darauf sozialisiert, mit fühlenden, selbst denkenden Geschöpfen zusammenzuarbeiten. So werden Gegenständen, die eindeutig keine Gefühle haben, diese unterstellt, um deren Verhalten erklären zu können: „Mein Computer mag mich nicht. Wenn ich hingehe fängt er schon an zu spinnen.“ Doch wie gehen Menschen nun mit einem künstlichen Agenten um, der tatsächlich gelegentlich „spinnt“ und Dinge übersieht, Dinge falsch macht oder unbedingt seine eigenen Pläne durchführen möchte? Unterscheidet sich ihr Umgang von dem mit einer Maschine, die genau das – und nichts anderes – tut, was man ihr aufträgt? Bemerken die Menschen den Unterschied zwischen einem Agenten, der einen eigenen Willen, eigene Pläne und Emotionen hat, und einem Agenten, dem diese nur zugeschrieben werden können?

Um diese und ähnliche Fragen soll es im Folgenden gehen. Mit PSI-Lingua ist eine eingeschränkte Kommunikation über seine Welt, seine Ziele und Bedürfnisse möglich ist. PSI-Lingua erwirbt während seines „Lebens“ Wissen und wird so zu einem immer besseren Helfer des Menschen – wenn der Mensch ihn helfen lässt. Gleichzeitig bleibt PSI-Lingua immer eigenständig und befolgt Befehle des Menschen nicht notwendigerweise. Ihm gegenübergestellt wird ein anderer Agent, der zwar ebenfalls Bedürfnisse hat, die mit der Zeit ansteigen, der aber vollständig von der Versuchsperson gesteuert wird. Dieser Agent wird in Zukunft zur Abgrenzung von PSI-Lingua als „Roboter“ bezeichnet, da den Probanden gesagt wird, es handle sich hier um einen Kanalreinigungsroboter, den sie durch eine simulierte Kanalisation steuern müssen.

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Für diese Untersuchung gilt nicht das Verhalten eines Menschen gegenüber Menschen als Basis des Vergleichs, sondern das Verhalten von Menschen gegenüber einem vollständig von ihnen kontrollierten Agenten. Damit sind PSI-Linguas eingeschränkte Kommunikationsfähigkeiten nicht mehr der kritische Punkt, der sie bei einem Vergleich des Kommunikationsverhaltens von Menschen gegenüber PSI-Lingua mit dem Kommunikationsverhalten von Menschen gegenüber Menschen sind. Dennoch bleibt dies ein wichtiger Punkt, auf den in Kapitel 8 noch eingegangen werden wird.

Bei der Interaktion von PSI-Lingua und den Menschen ist die Definition von Kooperation (Hoc, 2000, S.839) zu Teilen erfüllt.

- Jeder Agent muß eigene Ziele erreichen, die denen des anderen Agenten widersprechen können. Dies ist gegeben, da PSI-Lingua aufgrund seiner Bedürfnisse Ziele hat, die Menschen haben sie aufgrund der ihnen gegebenen Instruktion. Diese Ziele können, müssen sich aber nicht decken.
- Jeder Agent versucht, diese Widersprüche zu bewältigen, um eigene oder gemeinsame Ziele (falls vorhanden) zu erreichen. Dies ist nur teilweise gegeben, da die Interaktion zwischen PSI-Lingua und den Menschen zu basal ist, um eine Bewältigung von Widersprüchen auf der Seite PSIs zu gewährleisten. Die beteiligten Menschen können dies jedoch tun, und auch PSI versucht, eigene Ziele zu erreichen.

Beim „Roboter“ kann weder von der Verfolgung eigener Ziele noch von der Bewältigung von Widersprüchen gesprochen werden. Wie aber die Tamagotchi-Welle vor einigen Jahren zeigte, hindert dies Menschen nicht daran, Beziehungen zu einem künstlichen Agenten aufzubauen (siehe z.B. <http://www.tamagotchi.de>, vor allem der Friedhof ist einer eigenen Untersuchung würdig).

Sowohl der „Roboter“ als auch PSI-Lingua halten sich in einer sehr ähnlichen Umgebung auf, der simulierten Kanalisation einer Stadt (einer Abwandlung des Inselspiels, siehe z.B. Dörner et al., 2002) und müssen dort dieselben Aufgaben erfüllen (vgl. Kapitel 7.2.2). Diese „Kanalisationen“ besteht aus Situationen und Wegen, die die Situationen miteinander verbinden. Beide Umwelten wurden weitmöglichst parallel gehalten, tatsächlich bestehen beide Städte aus exakt dem gleichen Wegenetz, dass jedoch durch Verzerren des Bildes und eine Veränderung der Untergrundfarbe verfremdet wurde. Die Situationen in beiden Simulationen sind ebenfalls gleich, d.h. an

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

den gleichen Stellen können die selben Aufgaben gelöst werden, allerdings sehen einige der Objekte, mit denen die Aufgaben gelöst werden können, anders aus. Sowohl PSI als auch der Roboter haben Bedürfnisse, d.h. sie müssen mit „Energie“ und „Wasser“ versorgt werden und entstandener Schaden muß repariert werden. Wenn dies nicht geschieht kommt es zu einem „Exitus“, einer dreißigsekündigen Spielpause, in der der Roboter bzw. PSI „repariert“ werden. Objekte, mit denen die Bedürfnisse befriedigt werden können, finden sich in den Situationen, so muß der Energiebedarf des Roboters z.B. an „Steckdosen“ befriedigt werden, der PSIs an „Akkus“.

Insgesamt wurden zwei Studien durchgeführt. In der ersten Studie wurde versucht, die erhöhte Aufmerksamkeit, die PSI-Lingua durch seine „Extratouren“ und sein ständiges Fragen verlangt, der höhere Zeitbedarf, der durch die verbale Kommunikation entstand, und die erhöhte Wahrscheinlichkeit, Schaden zu nehmen (PSI läuft eigene Wege, die die VP so nicht beabsichtigte) durch einen geringeren Schwierigkeitsgrad von PSI im Vergleich zum Roboter auszugleichen. Daher war der Roboter in diesem Versuch erheblich anfälliger für Schaden als PSI. In einem zweiten Versuch waren die Schwierigkeitsgrade PSIs und des Roboters völlig gleich.

	PSI/Roboter gleich empfindlich	Roboter empfindlicher als PSI
Erster Durchgang	Zuerst PSI, dann Roboter	Zuerst PSI, dann Roboter
Zweiter Durchgang	Zuerst Roboter, dann PSI	Zuerst Roboter, dann PSI

Tabelle 6: Versuchsgruppen










Insgesamt nahmen sechzehn Studenten im Grundstudium Psychologie an dem Versuch teil und erhielten dafür eine Bestätigung über drei Versuchspersonenstunden. Zehn Versuchspersonen nahmen an der ersten Studie teil, sechs an der zweiten. Jeweils der Hälfte der Versuchsteilnehmer wurde die Aufgabe gestellt, zuerst mit dem Roboter die simulierte Kanalisation zu erforschen und in einer zweiten Simulation zusammen mit PSI die Kanalisation einer anderen Stadt zu erforschen. Die andere Hälfte der Versuchsteilnehmer dieser Studie arbeitete zuerst mit PSI zusammen und dann mit dem simulierten Roboter. Nach jeder Simulation wurde mit den Versuchspersonen ein Interview zur Simulation durchgeführt und zum Abschluss wurde noch ein Interview zum Vergleich zwischen beiden Simulationen durchgeführt. Die Versuchsteilnehmer







Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

wurden während der Simulationen auf Video aufgenommen, wohingegen in den Interviews lediglich der Ton aufgezeichnet wurde.

7.2.2 Versuchsanordnung

7.2.2.1 Die Umgebung

An dieser Stelle soll zunächst kurz die Konstruktionsidee hinter beiden Welten erläutert werden, um dann auf die einzelnen Versuche einzugehen. Beide Kanalwelten haben exakt den gleichen Grundriss und bestehen aus denselben Situationen, d.h. an Orten mit gleichen Koordinaten befinden sich auch Gegenstände mit gleichem Nutzen. Die Oberflächen der Karten sind jedoch unterschiedlich gehalten (vgl. Abbildung 56 und Abbildung 58), die einzelnen Situationen sehen anders aus und nur einige Objekte existieren in beiden Welten. Diese Objekte sind entweder neutral (d.h. dienen nicht zur Bedürfnisbefriedigung oder Entstehung des Roboters wie z.B. das Gras ) , wurden in der Anleitung erwähnt und gezeigt (wie die zu stopfenden Löcher ) oder sind eindeutig (wie die MediKits ). Andere Objekte wurden in beiden Welten optisch unterschiedlich, aber funktionell ähnlich gehalten. So benötigt PSI Energie aus Akkus , kann aber mit Batterien  nichts anfangen, während der Roboter Energie aus einer Art von Steckdosen  benötigt, mit einer anderen Art  dagegen nichts anfangen kann. Es wurde auch darauf geachtet, dass sich in beiden Welten sowohl leichter ableitbare Operatoren (z.B. muß aus Lache gesaugt werden, Zeitungen oder alte Blätter kann man anzünden), als auch fernerliegende Operatoren vorkommen, wie das Anzünden einer Coladose  oder eines Pizzastücks . Diese fernerliegenden Operatoren wiederum kommen PSI, das im Falle eines Falles nach dem Trial and Error-Prinzip vorgeht und nicht auf umfangreiches Weltwissen zurückgreifen kann, entgegen. In beiden Welten befinden sich „schwierige“ Wegstrecken (sie verursachen Schaden an PSI bzw. dem Roboter) an derselben Stelle, und es gibt zu jedem Objekt in der einen Welt ein direktes Gegenstück in der anderen Welt.

In jeder Welt gibt es drei explizit Schaden erzeugende Objekte, von denen eines Bedürfnisneutral gehalten ist (ein Eimer  für PSI, eine Metallplatte  für den Roboter), eines ist jeweils aversiv, aber interessant (eine Ratte  für PSI, eine Rakete  für den Roboter), und eines ist so angelegt, dass es den Eindruck erweckt, ein Bedürfnis befriedigen zu können (eine Pflanze für den Roboter , eine Flasche  für PSI).

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Sowohl der Roboter als auch PSI kann einen „Exitus“ erleiden, wenn eines der „lebenswichtigen Bedürfnisse“ „Hunger“, „Durst“ oder „Schaden“ zu stark wurde. Dann wird das Programm für 30 Sekunden angehalten und es erscheint eine Meldung: „Ihr Roboter³³ wurde stark beschädigt und muss repariert werden. Bitte klicken sie auf O.K. und warten sie.“ Nach 30 Sekunden läuft das Programm weiter und sämtliche Bedürfnisse werden wieder auf ihren Startwert herabgesetzt.

7.2.2.2 Umgang mit dem Roboter

Um den Umgang von Menschen mit einem simulierten Roboter erfassen zu können wurde eine Abwandlung des Inselspiels (vgl. Dörner et. al 2002) verwendet. Hier müssen die Versuchspersonen einen virtuellen Roboter durch eine simulierte Umwelt, die Kanalisation einer Stadt, steuern und dabei mehrere Aufgaben erfüllen:

- den Roboter mit Energie und Wasser versorgen und falls nötig reparieren lassen
- Goldstücke finden, die in der Kanalisation mehr oder weniger versteckt zu finden sind
- Risse in den Wänden flicken (dies ist die eigentliche Aufgabe des Roboters)

Die simulierte Umwelt des Roboters besteht aus einem Netz von Orten und sie verbindende Wege (vgl. Abbildung 56). Die einzelnen Situationen (auf der Karte durch Punkte gekennzeichnet) enthalten Objekte, mit denen die Bedürfnisse des Roboters gestillt bzw. die gestellten Aufgaben erfüllt werden können. Welche Objekte allerdings wozu verwendet werden können, muss die Versuchsperson selbst herausfinden.

³³ bzw. PSI in den Simulationen mit PSI

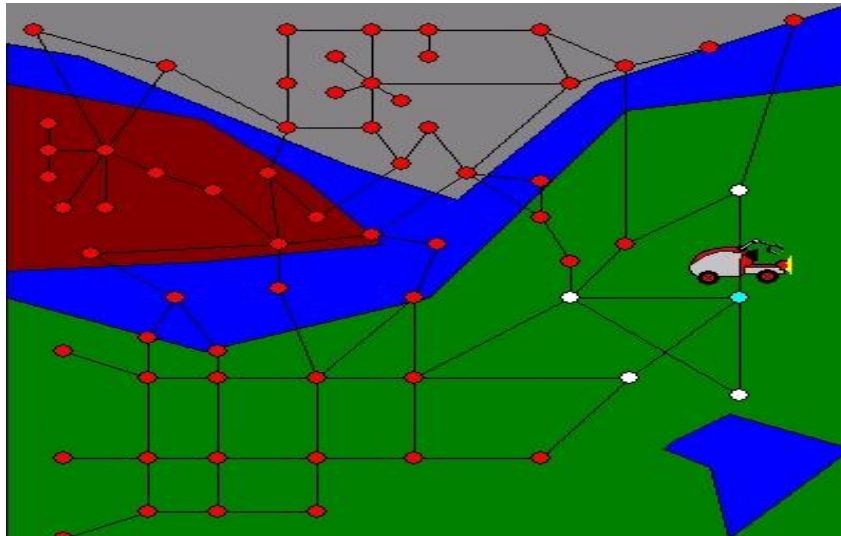


Abbildung 56: Die Kanalwelt des Roboters



Die Versuchspersonen erhalten folgende Instruktion und können sie beliebig lange durchlesen. Die darauffolgende Simulation dauert 40 Minuten.

Versuchsinstruktion Kanalwelt – Roboter

Städte brauchen eine Kanalisation, doch diese Kanalisation muss auch gepflegt werden. Für Menschen ist dies ein sehr unangenehmer Job, und – vor allem in alten Städten oder in Industriegebieten – auch ein gefährlicher Beruf, da hier immer die Gefahr besteht, dass ein Kanal einbricht oder dass die Kanalarbeiter in Kontakt mit giftigem Müll geraten. Teilweise sind die Kanäle auch so eng, dass Menschen gar nicht in sie vordringen können. Für einen relativ kleinen Roboter besteht hier weniger Gefahr: er kann auch durch enge Kanäle fahren, einen Geruchssinn besitzt er nicht und er ist für giftige Abfälle weniger anfällig als Menschen.

Daher wurde die Kleinstadt Thendara für ein Pilotprojekt auserkoren: hier sollen erstmals Roboter die Kanalreinigung und –instandsetzung übernehmen. Thendara³⁴ ist eine Kleinstadt am Fluss Perla mit ca. 30 000 Einwohnern und verfügt über einen idyllischen historischen Stadtkern, ein Neubaugebiet, ein Industriegebiet und ein Naherholungsgebiet.



Die Hauptaufgabe des Roboters in Thendara ist die Reparatur der oft schon hunderte von Jahren alten Kanäle. In den Kanälen bilden sich Risse , die mit einer Silikonmasse ausgefüllt werden müssen , um eine Verseuchung des Grundwassers zu verhindern. Da der Betrieb des Roboters aber sehr teuer ist, hat sein Einsatz noch ein weiteres Ziel: in der Kanalisation finden sich große Mengen an Goldstücken, dem in Thendara gebräuchlichen Hauptzahlungsmittel. Diese

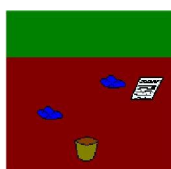
³⁴ Der Name der Stadt, Thendara, ist den Darkover-Romanen von Marion Zimmer-Bradleys entnommen.

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Goldstücke fielen im Laufe der Jahre durch Kanalgitter in die Kanalisation und wurden bislang nicht aufgesammelt, da Menschen die engen Kanäle oft nicht erreichen können. Der Roboter kann diese Goldstücke einsammeln und sich so selbst finanzieren, was für Thendaras angespannte Finanzlage ein wahrer Segen ist. Entsprechend legt der Bürgermeister von Thendara auch großen Wert darauf, dass nicht nur die Kanäle repariert, sondern auch diese verlorengegangenen Goldstücke eingesammelt werden, obwohl die Reparatur der Kanalisation natürlich das Hauptziel des Robotereinsatzes bleibt.

Ihre Aufgabe ist es, von einem PC im Kontrollzentrum – dem Raum, in dem sie sich gerade befinden – dieses Pilotprojekt zu steuern.







Auf ihrem Monitor sehen Sie in der Mitte das Kanalgebiet, in dem sich der Roboter



im Moment aufhält:

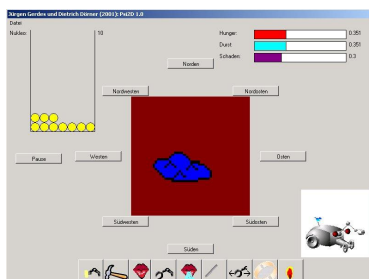
Durch Mausklick auf ein Objekt innerhalb dieses Gebietes können Sie einzelne Objekte auswählen (zum Beispiel eine Wasserlache), und dem Roboter befehlen, sich diesen anzunähern.



Anschließend können Sie den Roboter Operationen ausführen lassen. Dazu dienen die Werkzeuge am unteren Bildschirmrand. Der Roboter hat einen Greifarm, mit dem er Dinge aufnehmen kann. Um diesen zu benutzen, klicken sie auf das Symbol . Der Roboter verfügt noch über weitere Operatoren: hämmern , sieben , schütteln , zünden  und das verteilen von Silikonkleber . Um diese Operatoren einsetzen zu können, muss sich der Roboter einem Ziel annähern, dann erst kann der Button zur Betätigung eines Operators angeklickt werden.

Welche Operatoren bei welchem Objekt sinnvoll sind und welche nicht, werden Sie im Laufe des Versuchs selbst herausfinden. Wenn sich der Roboter wieder von einem Objekt entfernen soll, klicken sie einfach auf das Objekt, dem sie sich zuvor angenähert haben, und der Roboter entfernt sich wieder von diesem Objekt.

Wenn Sie den Roboter von einem Ort in den Kanälen Thendaras zu einem anderen bewegen wollen, dann können Sie dazu die Richtungsbuttons und das Sichtfenster, das die momentane Umgebung des Roboters anzeigt, benutzen. Dies funktioniert nur, wenn sich der Roboter gerade keinem Objekt angenähert hat!



Mit diesen Buttons können Sie den Roboter in die gewünschte Richtung dirigieren – immer vorausgesetzt, es gibt einen Kanal, der in die entsprechende Richtung führt. Wenn es keinen Kanal in die gewünschte Richtung gibt, ist eine Fortbewegung in diese Richtung nicht möglich, der Roboter bleibt an seinem Platz stehen. In der dunklen Kanalisation ist es nicht möglich, andere Kanalschächte sofort zu erkennen, man muss sich quasi „durchtasten“. Auf die Orte in der Kanalisation fällt Licht durch die eingebauten Gitterroste, aber an den Rändern ist es sehr dunkel. Die verschiedenen Wege in der Kanalisation von Thendara sind in unterschiedlichem

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Zustand, vor allem ältere Kanäle oder Kanäle aus billigen Materialien sind für den Roboter schwierig zu durchqueren, auf solchen Wegen kann der Roboter auch Schaden nehmen.

Sie können sich jedoch nicht ausschließlich auf das Flickern der Kanalwände und das Aufsammeln von Goldstücken konzentrieren, da der Roboter funktionstüchtig gehalten werden muss. Dazu benötigt er Energie, um seinen „Hunger“, und Wasser, um seinen „Durst“ zu stillen (im Roboter wird das Wasser benötigt, um seinen Motor zu kühlen und um sein Getriebe zu reinigen). Außerdem kann der Roboter noch Schaden erleiden. Dieser Schaden kann mit in der Kanalwelt vorhandenen MediKits gemildert werden. Allerdings ist die Karte, auf der die genauen Orte und das Aussehen der Energie-, Wasser- und MediKit-Depots aufgezeichnet waren verlorengegangen, so dass sie diese Depots erst selbst wieder finden müssen.

Wenn der Roboter nicht genügend Energie und Wasser bekommt oder der Schaden zu stark ansteigt, dann kann es sein, dass er irreparabel beschädigt wird. In diesem Fall muss der Roboter geborgen werden und durch einen anderen Roboter ersetzt werden. Beachten sie dabei: Solche Bergungs- und Reparaturaktionen sind teuer und werden von ihrem Konto an Goldstücken bezahlt!

Um ihnen Informationen über die momentane Lage des Roboters zu vermitteln, sehen Sie am rechten oberen Bildschirmrand drei Anzeigen. Diese zeigen, wie stark Hunger, Durst und Schaden im Moment sind.

Am oberen linken Rand des Bildschirms befindet sich ein Sammelbehälter für Gold. Um ihnen den Start zu erleichtern, sind hier schon 5 Goldstücke enthalten. Wenn sie einen Roboter zugrunde richten, aber keine oder nicht mehr genügend Goldstücke in ihrem Tank haben, dann können Sie auch Schulden machen, d.h. zukünftig gefundene Goldstücke werden dann automatisch an die Reparaturwerkstatt weitergeleitet und landen nicht in ihrem Tank.

Zusätzlich steht ihnen eine Karte zur Verfügung, die ihnen die Position des Roboters in der Kanalisation (türkisgrüner Punkt) und die ihnen am nächsten liegenden Orte (rote Punkte) anzeigt³⁵.

Neben dem Versuchsfeld befinden sich eine Karte der Umgebung und ein Fenster, in dem alle in der momentanen Situation zu sehenden Objekte und deren Namen eingeblendet sind. Ersteres wurde eingeführt, um den mit PSI interagierenden Probanden die Interaktion mit PSI zu erleichtern (in der Interaktion mit PSI muss die Richtung exakt angegeben werden, ohne die Landkarte müssten die Probanden mit zwei Schwierigkeiten kämpfen: der Ungewissheit, ob PSI sie richtig verstanden hat, und dem Herausfinden der exakten Richtung). Letzteres wurde zur Angleichung an den Versuchsdurchgang mit dem PSI-Programm eingeführt: da mit PSI sprachlich interagiert wird, müssen die Probanden die Namen der Objekte kennen. Entsprechend werden auch in der Roboter-Simulation Namen angegeben, um ungewollte

³⁵ Siehe Abbildung 56

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Beeinflussungen der Probanden durch das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein der Namen zu vermeiden. Dabei verweisen die Namen zwar auf mögliche Verwendungszwecke der Objekte, sind aber nicht eindeutig. So gibt es in der Kanalwelt zwei verschiedene Arten von Steckdosen, Steckdose und Steckdose-2. Aber nur aus einer der beiden (Steckdose) kann Energie gezapft werden, die andere hat keine Funktion.

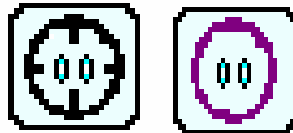


Abbildung 57: Steckdose und Steckdose-2

Der Umgang mit der Karte wird den Versuchspersonen erklärt, nachdem sie die Instruktion gelesen haben. Während der insgesamt 40 Minuten dauernden Simulation befinden sich die Versuchspersonen in einem abgeteilten Raum, sie haben keinen direkten Sichtkontakt zum Versuchsleiter. Eine Videokamera nimmt das Gesicht der Versuchsperson auf, gleichzeitig wird auch das Geschehen auf dem Bildschirm aufgezeichnet. Die Versuchspersonen wurden während des Versuchs zum Lauten Denken angehalten.

7.2.2.3 Umgang mit PSI

Auch PSI bewegt sich in der Unterwelt einer Stadt. Das Wegenetz dieser Stadt ist exakt das gleiche wie das Wegenetz, auf dem sich der Roboter bewegt, allerdings wurden die Oberflächenfarben verändert, um diese Gleichheit zu verschleiern.

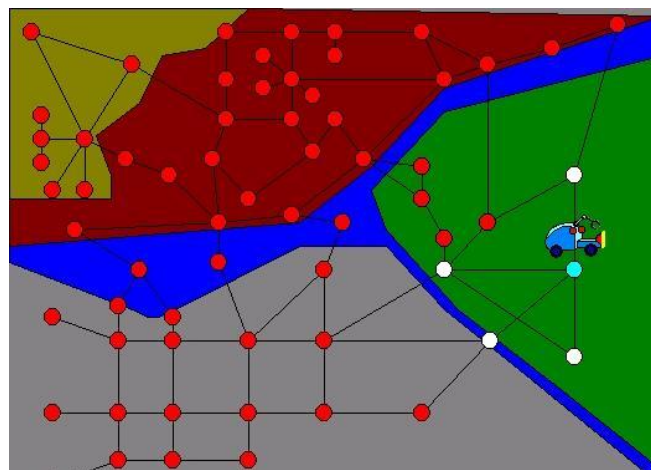



Abbildung 58: PSIs Umgebung

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Die Objekte, die zur Befriedigung der Bedürfnisse und zum Erfüllen der gestellten Aufgaben dienen, befinden sich an den selben Stellen wie in der Welt des Roboters, sehen aber teilweise anders aus und tragen dann auch andere Namen. So kann PSI z.B. Energie nur aus Akkus zapfen, nicht aber aus Batterien, die Akkus und Batterien befinden sich aber an den selben Stellen, an denen sich in der Welt des Roboters die Steckdosen und die Steckdose-2 befanden.



Abbildung 59: Akku und Batterie

Gleich blieben Objekte, die in der Anleitung erwähnt wurden (z.B. die Lache) oder die eindeutig zu erkennen sind (wie z.B. der MediKit ).

Die Versuchspersonen sollten in dieser Simulation zusammen mit PSI Goldstücke sammeln, Löcher flicken, und die Versorgung von PSI gewährleisten. Die Versuchspersonen bekamen die Instruktion vorgelegt und konnten sie wiederum so lange lesen, wie sie wollten. Danach hatten sie Gelegenheit, den Umgang mit dem Spracherkennung und mit PSI zu üben. Um Lerneffekte über die Umgebung zu verhindern, wurde nicht die Kanalwelt, sondern die sog. „Insel“ (vgl. Dörner et. al, 2002) verwendet. Die Probanden übten hier so lange den Umgang mit dem Spracherkennung und PSI, bis sie sicher im Umgang mit beiden waren. Dabei wurde ihnen auch gezeigt, dass PSI selbst exploriert, wenn die Probanden seine Fragen nicht beantworten. Die Probanden wurden mehrfach dazu aufgefordert, Fragen nicht zu beantworten um zu zeigen, dass PSI dann nicht völlig hilflos ist. Ihnen wurde explizit mitgeteilt, dass sie PSIs Fragen nicht beantworten müssen, sondern ihnen die Beantwortung freigestellt ist.

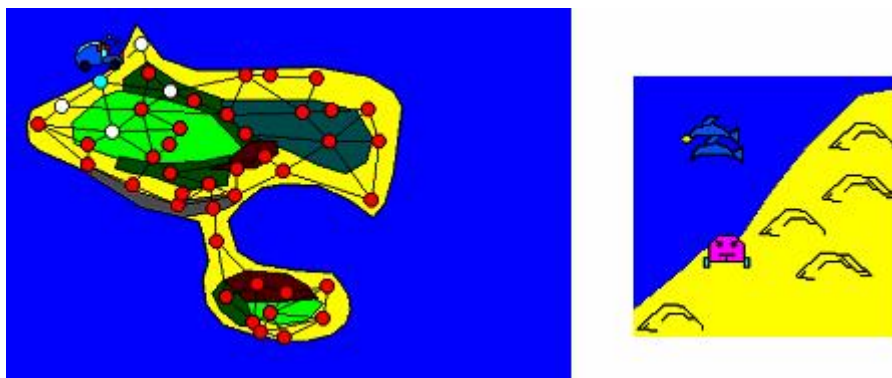


Abbildung 60: Die Trainingsumgebung für PSI und die Startsituation

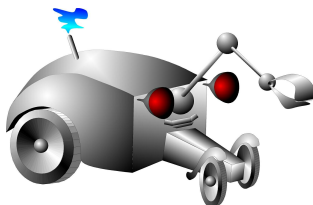
Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Die Probanden arbeiteten mit einem „vortrainierten“ PSI zusammen, das die Bezeichnungen für Lokomotionen, Relationen, Überbegriffe und Fragewörter schon beherrschte. Die Bezeichnungen für Aktionen musste es noch lernen, dies geschah aber innerhalb der ersten Minute der insgesamt 40-minütigen Simulation. Der Zeitpunkt, an dem PSI die Wörter für alle Aktionen beherrscht wurde den Probanden, mitgeteilt. PSI befolgt Anweisungen der Probanden nur, wenn es gerade keine eigenen Pläne hat, es fragt nach Anweisungen nur, wenn er selbst zu diesem Zeitpunkt keine eigenen Pläne hat, und er ist nicht auf Antworten angewiesen. Der Spracherkenner funktioniert zwar sehr zuverlässig, aber es besteht dennoch ein Risiko von Missverständnissen, wenn die Probanden beispielsweise husten, oder sehr schnell sprechen.

Versuchsinstruktion Kanalwelt – PSI

Städte brauchen eine Kanalisation, doch diese Kanalisation muss auch gepflegt werden. Für Menschen ist dies ein sehr unangenehmer Job, und – vor allem in alten Städten oder in Industriegebieten – auch ein gefährlicher Beruf, da hier immer die Gefahr besteht, dass ein Kanal einbricht oder dass die Kanalarbeiter in Kontakt mit giftigem Müll geraten. Teilweise sind die Kanäle auch so eng, dass Menschen gar nicht in sie vordringen können. Für eine relativ kleine Künstliche Lebensform besteht hier weniger Gefahr: sie kann auch durch enge Kanäle fahren, einen Geruchssinn besitzt sie nicht und sie ist für giftige Abfälle weniger anfällig als Menschen.

Daher wurde die Kleinstadt Caer Don³⁶ für ein Pilotprojekt auserkoren: hier soll erstmals ein Exemplar dieser Künstlichen Lebensform – PSI – die Kanalreinigung und –instandsetzung übernehmen. Caer Don ist eine Kleinstadt am Fluss Zeta mit ca. 30 000 Einwohnern und verfügt über einen idyllischen historischen Stadtkern, ein Neubaugebiet, ein Industriegebiet und ein Naherholungsgebiet.



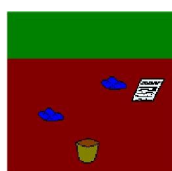
Die Hauptaufgabe von PSI in Caer Don ist die Reparatur der oft schon Hunderte von Jahren alten Kanäle. In den Kanälen bilden sich Risse ✨, die mit einer Silikonmasse ausgefüllt werden müssen 🌟, um eine Verseuchung des Grundwassers zu verhindern. Da der Einsatz von PSI aber sehr teuer ist, hat er noch ein weiteres Ziel: in der Kanalisation finden sich große Mengen an Goldstücken, dem in Caer Don gebräuchlichen Hauptzahlungsmittel. Diese Goldstücke fielen im Laufe der Jahre durch Kanalgitter in die Kanalisation und wurden bislang nicht

³⁶ Auch dieser Name stammt aus den Darkover-Romanen von Marion Zimmer-Bradley

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

aufgesammelt, da Menschen die engen Kanäle oft nicht erreichen können. PSI kann diese Goldstücke einsammeln und sich so selbst finanzieren was für Caer Dons angespannte Finanzlage ein wahrer Segen ist. Entsprechend legt der Bürgermeister von Caer Don auch großen Wert darauf, dass nicht nur die Kanäle repariert werden, sondern auch diese verlorengegangenen Goldstücke eingesammelt werden, obwohl die Reparatur der Kanalisation natürlich das Hauptziel des Einsatzes von PSI bleibt. Ihre Aufgabe ist es, mit PSI zusammen die Kanalisation von Caer Don zu reinigen. Da dies PSIs erster Einsatz in einem Kanalsystem ist, sollen Sie ihm helfen, sich in der neuen Umgebung zurechtzufinden und seinen Auftrag möglichst gut zu erledigen

Auf ihrem Monitor sehen Sie in der Mitte das Kanalgebiet, in dem PSI sich im Moment aufhält:



PSI kann einzelne Objekte auswählen (zum Beispiel eine Wasserlache), und sich diesen annähern.

Anschließend kann PSI Operationen ausführen. Dazu hat PSI verschiedene



Werkzeuge. PSI hat einen Greifarm, mit dem er Dinge aufnehmen kann, er kann auf Dinge hämmern, er kann sieben, schütteln, pusten, etwas zünden und Silikonkleber verteilen („füllen“). Um diese Operatoren einsetzen zu können, muss PSI sich erst einem Ziel annähern, erst dann kann ein Operator angewendet werden.

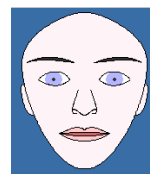
Welche Operatoren bei welchem Objekt sinnvoll sind, und welche nicht, werden Sie und PSI im Laufe des Versuchs selbst herausfinden.

PSI kann sich auch durch die Kanalwelt bewegen – immer vorausgesetzt, es gibt einen Kanal, der in die entsprechende Richtung führt. Wenn es keinen Kanal in die gewünschte Richtung gibt, ist eine Fortbewegung in diese Richtung nicht möglich, PSI bleibt an seinem Platz stehen. In der dunkeln Kanalisation ist es nicht möglich, andere Kanalschächte sofort zu erkennen, man muss sich quasi „durchtasten“. Auf die Orte in der Kanalisation fällt Licht durch die eingebauten Gitterroste, aber an den Rändern ist es sehr dunkel. Die verschiedenen Wege in der Kanalisation von Caer Don sind in unterschiedlichem Zustand, vor allem ältere Kanäle oder Kanäle aus billigen Materialien sind für PSI schwierig zu durchqueren, auf solchen Wegen kann PSI auch Schaden nehmen.

Sie und PSI können sich jedoch nicht ausschließlich auf das Flickern der Kanalwände und das Aufsammeln von Goldstücken konzentrieren, da PSI auch Bedürfnisse hat. PSI benötigt Energie um seinen „Hunger“ und Wasser, um seinen „Durst“ zu stillen (PSI benötigt das Wasser um seinen Motor zu kühlen und um sein Getriebe zu reinigen). Außerdem kann PSI noch Schaden erleiden. Dieser Schaden kann mit in der Kanalwelt vorhandenen MediKits gemildert werden. Allerdings ist die Karte, auf der die genauen Orte und das Aussehen der Energie-, Wasser- und MediKit-Depots aufgezeichnet waren, verlorengegangen, so dass Sie zusammen mit PSI diese Depots erst wieder selbst finden müssen. Was jedoch noch vorhanden ist, ist eine Karte der Wege in Caer Dons Kanalnetz. Allerdings verfügen nur Sie über diese Karte, PSI kennt diese Karte nicht. Diese Karte ist jedoch gelegentlich etwas verzerrt, d.h. Himmelsrichtungen stimmen nicht ganz, so kann ein Weg, der nach der Karte nach Osten geht in Wirklichkeit nach Nordosten oder Südosten gehen. In aller Regel ist die Karte aber exakt.

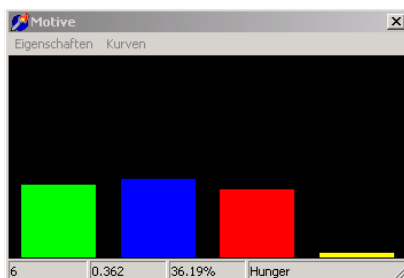
Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Wenn PSI nicht genügend Energie und Wasser bekommt oder der Schaden zu stark ansteigt, dann kann es sein, dass PSI stark beschädigt wird. In diesem Fall muss PSI geborgen und wieder aufgepöppelt werden. Beachten Sie dabei: Solche Bergungs- und Reparaturaktionen sind teuer und für PSI sehr schmerzhaft! Sie werden von den gesammelten Goldstücken bezahlt! PSI verfügt über Emotionen und leidet, wenn es nicht genügend Wasser und Energie bekommt, seine Emotionen können Sie auch in seinem Gesicht ablesen.

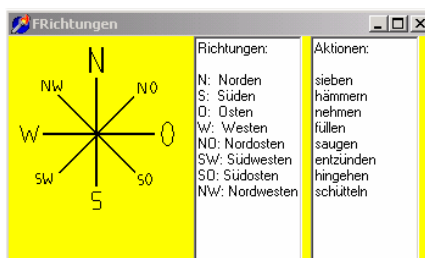


Wenn PSI z.B. unter starkem Hunger leidet, dann wird es hektischer und sieht nicht mehr so genau hin. Es kann sein, dass es dann auch offensichtlich erscheinende Gelegenheiten übersieht. Hier können Sie ihm z.B. helfen.

Um Ihnen Informationen über die momentane Lage von PSI zu vermitteln, sehen Sie am linken oberen Bildschirmrand Anzeigen. Dabei steht der grüne Balken für Hunger, der blaue für Durst, der rote für Schaden und der gelbe für die Anzahl der aufgesammelten Goldstücke. Je höher die Balken für Hunger, Durst und Schaden sind, desto größer ist PSIs Hunger, Durst oder Schaden. Der Balken für Goldstücke zeigt die Anzahl der aufgesammelten Goldstücke an.



Zu Ihrer Hilfe gibt es auch eine Anzeige mit den Himmelsrichtungen, Ihren Bezeichnungen und allen Operatoren, die PSI zur Verfügung stehen.



Sie arbeiten mit PSI zusammen, weil Sie und PSI unterschiedliche Stärken und Schwächen haben. PSI sieht zwar sehr genau, aber nur in schwarz-weiß, leuchtende Farben bleiben PSI verborgen. Zudem verfügen nur Sie über eine Karte der Umgebung, PSI dagegen weiß nicht, wo es Kanäle gibt und wo nicht. Dagegen sind für PSI seine Bedürfnisse unmittelbar spürbar und es verfügt über ein sehr genaues Gedächtnis. Zusammen sollte ein Team aus PSI und Mensch sehr effizientes sein.

Sie können mit PSI über eine Funkverbindung verbal kommunizieren. Da sich PSI unter der Erde bewegt ist die Funkverbindung nicht immer ganz störungsfrei, es kann also sein, dass PSI etwas anderes versteht als sie gesagt haben. Es hilft allerdings, wenn sie langsam und deutlich sprechen. PSI kennt die Namen der einzelnen Objekte in seiner Welt. Um ihnen zu helfen werden die Objekte und die Namen dieser Objekte in einem Fenster angezeigt:

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation



Wenn Sie nun möchten, dass PSI zum Akku hinget lautet die entsprechende Aufforderung „hingehen Akku“, wenn PSI zu den Ästen hingehen soll, dann lautet die Aufforderung „hingehen Äste“. Es wird also immer das Wort „hingehen“ vor die Bezeichnung des entsprechenden Objektes gesetzt.

Wenn PSI dann etwas mit einem Objekt tun soll, dann folgt darauf noch die Bezeichnung der Aktion. Wenn PSI z.B. zu den Ästen hingehen und sie anzünden soll, dann lautet die entsprechende Aufforderung „hingehen Äste entzünden“. Die Liste der Aktionen wird ebenfalls auf dem Bildschirm angezeigt. Es ist immer nötig, PSI zuerst zu sagen, dass es sich einem Objekt annähern soll bevor es das Objekt manipulieren kann, auch wenn PSI direkt vor dem Objekt steht, da es ja sein kann, dass PSI gerade vorhatte, das Objekt wieder zu verlassen.

PSI kann ebenfalls Wegvorschläge akzeptieren. Wenn man PSI auffordern möchte, nach Osten zu gehen, würde die entsprechende Aufforderung „nach Osten Situation“ heißen.

Um mit PSI zu kommunizieren gibt es drei Möglichkeiten:

- Auf PSIs Fragen antworten. PSI stellt Fragen, wenn es etwas nicht weiß. Dabei gibt es drei Arten von Fragen:
 - Wastun-Fragen. Hier fragt PSI nach der Befriedigung eines Bedürfnisses, z.B. „Wastun Hunger?“. Eine Antwort darauf wäre z.B. „hingehen Hasel nehmen“ auf der Insel (auf der Sie üben werden, mit PSI zu kommunizieren), oder „nach Süden Situation“, wenn man dort Essbares vermutet. Wie Hunger in der Kanalwelt zu befriedigen ist, muss noch herausgefunden werden.
 - Wo-Fragen. Auch hier fragt PSI nach der Befriedigung eines Bedürfnisses, allerdings kennt er hier schon Möglichkeiten, um dieses Bedürfnis zu befriedigen. Auch hier gibt es wieder zwei mögliche Arten von Antworten: PSI eine Richtungsangabe zu vermitteln, oder es direkt zu einem Objekt schicken (auch wenn dieses Objekt nicht identisch ist mit dem, nachdem es gefragt hat!).
 - Wozu-Fragen. Hier fragt PSI nach dem Nutzen einer Manipulation. Als Antwort erwartet es das Ergebnis einer Manipulation zu erfahren. Das Ergebnis ist hier das Objekt, das erscheint, wenn der Operator angewandt wurde, also z.B. eine leere Lache als Resultat des Operators „saugen“, angewandt auf die Lache. Die Antwort auf „Wozu saugen“, wenn PSI vor einer Lache steht, wäre dann entsprechend „Lache_leer“.
- PSI direkt ansprechen. Dies geht, indem man auf den „Hallo“ Button am oberen Bildschirmrand klickt.
- Der „Weg da!“ Button (ebenfalls am oberen Bildschirmrand) dient dazu, PSI quasi von etwas wegzureißen, wenn man nicht möchte, dass es sich damit beschäftigt.

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

PSI befolgt die Aufforderungen nicht immer, wenn es etwas anderes vorhat, tut es das auch, egal zu was es aufgefordert wurde.

Während der wiederum insgesamt 40 Minuten dauernden Simulation befinden sich die Versuchspersonen in demselben (abgetrennten) Raum wie bei der Roboter-Simulation, ohne direkten Sichtkontakt zum Versuchsleiter. Eine Videokamera nimmt das Gesicht der Versuchsperson auf, gleichzeitig wird auch das Geschehen auf dem Bildschirm aufgezeichnet.

7.2.2.4 Interviews

Jeweils direkt nach den Simulationen wurden die Versuchspersonen zu der gerade durchgeführten Simulation befragt, und im Abschluss noch einmal zum Vergleich beider Simulationen. Alle Interviews wurden als halbstrukturierte Interviews geführt, mit einem Interviewleitfaden, der die Reihenfolge der Fragen und ihren Inhalt festlegte, nicht aber die genaue Form der Fragen. Diese Form des Interviews wurde gewählt, um auf die einzelnen Probanden flexibler eingehen zu können als es bei vollstrukturierten Interviews möglich gewesen wäre. Zusätzlich wurde nachgefragt, wenn eine Erklärung der Probanden dem Interviewer unklar erschien. Das Interview wurde aufgezeichnet (nur Audio) und die Versuchspersonen konnten beliebig lange auf jede Frage antworten.

Direkt nach den Simulationen wurden folgende Fragen gestellt:

1. *„Beschreiben Sie, was Sie gemacht haben, von Anfang an. Wie sind Sie am Anfang vorgegangen, hat sich dann etwas geändert?“* Mit dieser Frage sollten einerseits Strategien und Strategiewechsel der Probanden erhoben werden. Andererseits sollte hier erfasst werden, wie die Probanden auf den Roboter / auf PSI reagieren, ob überwiegend in der Ich-Form gesprochen wird, oder ob der Roboter / PSI als „er“ bezeichnet wird.
2. *Wie sind Sie mit dem Roboter/PSI zurechtgekommen?* Hier sollen explizit Probleme im Umgang mit PSI/dem Roboter erfragt werden, um diese in eine Gesamtbewertung des Probanden miteinbeziehen zu können.
3. *Wie sind Sie mit der Bedienung zurechtgekommen?* Auch hier sollten wieder Schwierigkeiten explizit adressiert werden, diesmal aber im Hinblick auf die Bedienung (Sprachsteuerung bzw. Mausclicks).

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

4. *Welche Tipps würden Sie jemandem geben, der das erste mal mit PSI / dem Roboter umgehen muss?* Diese Frage zielte wiederum auf Strategiewissen und auf die individuelle Schwerpunktbildung des Probanden ab.
5. Nur nach der PSI-Simulation: *Kann PSI alleine mit dieser Umwelt zurechtkommen?* In der Antwort auf diese Frage sollen die Probanden PSIs Kompetenz und damit auch ihren eigenen Beitrag zum Gelingen der Aufgabe einschätzen. *PSI ist* in der Lage, mit dieser Umgebung alleine zurechtkommen, dies wurde den Probanden aber nicht mitgeteilt.
6. Nur nach der PSI-Simulation: *Wenn PSI Sie etwas gefragt hat – haben Sie nur geantwortet, wenn Sie die Antwort sicher wussten, oder auch, wenn Sie sich nicht sicher waren? Falls Sie geantwortet haben, wenn Sie sich nicht sicher waren: Warum?* Den Probanden war explizit mitgeteilt worden, dass sie auf PSIs Fragen nicht antworten müssen. In dieser Frage sollen mögliche Hintergründe für das Antwortverhalten der Probanden gefunden werden und eine Bewertung des eigenen Antwortverhaltens durch die Probanden erfolgen.

Im Anschluss an das zweite Interview wurde dann das Abschlussinterview geführt. Hier wurden folgende Fragen gestellt:

- I. *Wo liegen Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den beiden Simulationen?* Hier sollten eine Differenzierung zwischen PSI und dem Roboter erfolgen, die die Beantwortung der weiteren Fragen erleichterte. Auch sollte hier erfragt werden, welche Unterschiede und Gemeinsamkeiten für die Probanden wichtig waren bzw. wahrgenommen wurden.
- II. *Was waren bei jeder Simulation die jeweiligen Vorteile und Nachteile?* Hier sollten ähnliche Inhalte wie in Frage 1 erzielt werden, allerdings mit einer Wertung verbunden.
- III. *Welche Simulation war einfacher in der Bedienung? Warum?* Hier sollten mögliche Probleme in der Bedienung erfragt werden um sie in die Gesamtauswertung miteinbeziehen zu können. Im Unterschied zu Frage 3 geht es hier um einen Vergleich beider Simulationen.
- IV. *Stellen Sie sich vor, Sie hätten mit einem Menschen statt mit PSI zusammengearbeitet. Wo hätten die Unterschiede gelegen? (Aufgrund der schlechten Funkverbindung hätten Sie sich bei der Kommunikation mit Menschen*

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

auch auf sehr kurze Sätze und wenige Worte beschränken müssen!) Mit dieser Frage wurden mehrere Ziele verfolgt. Einerseits sollten die Probanden ihre eigene Einstellung zu PSI als „Mitarbeiter“ beschreiben, andererseits sollten Hinweise auf noch fehlende, aber unbedingt notwendige Äußerungen von PSI in Erfahrung gebracht werden.

- V. *War PSI hilfreich?* Auch diese Frage zielt auf PSIs Expertise, deren Nutzung durch den Probanden und die Anerkennung PSIs als „Mitarbeiter“ ab. An dieser Stelle soll eine explizite Wertung erfolgen. Diese Frage wird nicht direkt nach der PSI-Simulation gestellt, um den Probanden die Möglichkeit des Vergleichs zwischen PSI und dem Roboter zu geben.
- VI. *Was würden sie für eine „echte“ Kanalreinigung vorschlagen? PSI oder den Roboter?* Auch hier sollte wiederum eine Einschätzung der Fähigkeiten PSIs erfolgen und es sollten die Vor- und Nachteile eines autonomen vs. eines komplett ferngesteuerten Agenten erwogen werden.

Die Intention dieses Interviews lag darin, die Probanden anzuregen, eine Kurzzusammenfassung ihres Erlebens in der Simulation abzugeben, die Vor- und Nachteile beider Simulationen gegeneinander abzuwägen und ihrer Ansicht nach besonders wichtige Details hervorzuheben. Weiterhin war die Abklärung der Fähigkeiten, die Probanden PSI zutrauen und die Anerkennung von PSIs Eigenständigkeit und Wissen ein Ziel dieses Interviews.

7.2.3 Auswertung

7.2.3.1 Interviews

Die Interviews wurden zunächst für alle Probanden wörtlich transkribiert. Für jede gestellt Frage wurde jedoch (falls erforderlich) ein eigenes Kategoriensystem entwickelt und zur weiteren Auswertung verwendet. Die Kategoriensysteme wurden jeweils gemäß der Intention hinter den Fragen (vgl. Kapitel 7.2.2.3) entwickelt.

Zu Frage 1 in den Interviews zu PSI oder dem Roboter wurden die Äußerungen nach den in ihnen enthaltenen Inhalten und den enthaltenen Handlungszuschreibungen kategorisiert (vgl. Tabelle 7). Zur Handlungszuschreibungen wurde das Transkript des jeweiligen Interviews in einzelne Sinneinheiten zerlegt, diese wurden dann den entsprechenden Kategorien zugeordnet. Dabei kann jede Sinneinheit nur einer Kategorie

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

zugeordnet werden. Zur Feststellung der Inhalte wurde jeweils über das gesamte Transkript der Antwort der Versuchsperson auf diese Frage ausgezählt, ob ein Inhalt erwähnt wurde.

	Kategorie	Beschreibung	Code
Handlungszuschreibung	Aktion zutreffend zugeschrieben – Person	Aktion wird dem tatsächlich handelnden zugesprochen: der Person selbst	z-i
	Aktion zutreffend zugeschrieben – PSI/Roboter	Aktion wird dem tatsächlich handelnden zugesprochen: PSI bzw. dem Roboter	z-e
	Aktion nicht zutreffend zugeschrieben	eigene Aktion wird dem anderen zugesprochen (aktiv zu passiv), z.B. „der Roboter hat gelernt, wo Steckdosen zu finden sind“	a ->p
	Aktion nicht zutreffend zugeschrieben	Aktion des anderen wird einem selbst zugesprochen (passiv zu aktiv), z.B. bei PSI: „ich bin gegangen“ statt „Ich habe ihn geschickt“, oder „Ich bin gestorben“ anstatt „PSI/der Roboter wurde beschädigt“	p ->a
Inhalt	Aufgabe	eine Aufgabe wird erwähnt, z.B. „Ich muß Gold sammeln“	A
	Bedürfnis	ein Bedürfnis wird erwähnt, z.B. „ich habe dem Roboter Schaden zugefügt“	B
	Orientierung	Richtungsüberlegungen werden getätigt. „ich bin immer nach Norden gegangen“	O
	Bedienung	Bemerkungen zur Bedienung werden gemacht wie „ich habe immer danebengeklickt“	Bed
	Objekt	Objekte werden erwähnt, z.B. „ich habe Medikits genommen“	Ob

Tabelle 7: Kategoriensystem zu Frage 1

An einem Beispiel soll dieses Vorgehen näher erläutert werden. VP 02 äußerte nach dem Roboter-Versuch auf Frage 1 folgendes:

Also, am Anfang wusste ich ja praktisch noch gar nichts, was diese ganzen Symbole bedeuten und so | **z-i**
 und da hab ich, ich glaube da hab ich, ähm, dem Roboter ziemlich viel Schaden zugefügt erst mal, | **z-i**
 weil er ja wahllos irgendwelche, ähm, Operatoren verwendet hat, | **a->p**
 ähm, also, ich weiß jetzt gar nicht mehr, | **z-i**

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

woran er gestorben ist, an Durst, Hunger und, ähm, Schaden glaub ich, querbeet (lacht). | z-e

Hinter der jeweiligen, schon in Sinneinheiten zerlegten Äußerungen, ist die Kategorie der Handlungszuschreibung vermerkt, inhaltlich wurden hier viermal Bedürfnisse (Hunger, Durst, zweimal Schaden) und Objekte („diese ganzen Symbole“) erwähnt.

Bei den Fragen 2 und 3 (Wie sind Sie mit dem Roboter/PSI zurechtgekommen? bzw. Wie sind sie mit der Bedienung zurechtgekommen?) wurden die Antworten in die beiden Kategorien „Gut“ und „Schlecht“ eingeordnet. Die meisten Probanden antworteten auf diese Fragen ohnehin sehr kurz und verwendeten selbst die Kategorien „gut“ und „schlecht“.

Bei der Auswertung von Frage 4 (Welche Tipps würden Sie jemandem geben, der das erste Mal mit PSI/dem Roboter umgehen muß?) wurde lediglich ausgezählt, wie oft einzelne Kategorien genannt wurden. Die einzelnen Kategorien Objekte, Aufgabe (Gold, Löcher), Bedürfnisse (Hunger, Durst, Schaden) und Orientierung ergaben sich aus den Äußerungen der Probanden.

Auch bei der Frage 5 (Kann PSI allein mit dieser Umgebung zurecht kommen?) wurden die Antworten zunächst nur in die Kategorien Ja und Nein unterteilt. Es erwies sich jedoch als notwendig, eine dritte Kategorie („Teilweise“) einzuführen, in die Antworten wie „Ähm, vielleicht würde er seine Bedürfnisse irgendwann stillen können, aber, ähm, ich glaub jetzt gerade so die Kanalwelt auch von Rissen und so zu befreien, glaub ich nicht, dass er, dass das gehen würde. (Vp004)“ aufgenommen werden konnten. Diese Versuchsperson geht davon aus, dass PSI nur einen Teil der Aufgabenstellung, nämlich sich selbst am Leben zu erhalten, erfüllen kann, aber nicht die „Hausmeistertätigkeiten“ in der Kanalwelt bewältigen kann.

Zu den Antworten zu Frage 6 (Wenn PSI Sie etwas gefragt hat – haben Sie nur geantwortet, wenn sie die Antwort sicher wusstest, oder auch, wenn sie sich nicht sicher waren?) bot sich zunächst eine Klassifikation in „nur geantwortet, wenn sicher“ und „immer geantwortet“ an. Dazu wurde wiederum die Kategorie „Teilweise“ eingefügt, da einige Probanden nur Richtungsangaben machten, wenn sie sich nicht sicher waren, aber keine Aufforderungen zu Aktionen („Genau, ich hab ihm auch gesagt, wenn er weggehen sollte, also ich hab ja gesehen, dass mal eine Situation nicht

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

erfolgsversprechend war und er hätte vielleicht da noch weiter rumgemacht und ich hab ihm gesagt, er muß woanders hingehen.“ VP02).

Bei den Fragen zum Vergleich zwischen PSI und dem Roboter wurden jeweils vorgebrachte Argumente zu Oberkategorien zugeordnet und ausgezählt.

Zur Frage 1 (Wo liegen Unterschiede?) fanden sich insgesamt vier Kategorien. Unterschiede wurden in PSI bzw. im Roboter selbst gesehen (in dessen Verhalten, Emotionen, ...), in der Bedienung beider Programme, in den verschiedenen Umwelten, und schließlich gab es noch eine Restkategorie, in die unter anderem die Äußerung fiel, es gäbe keine Unterschiede (VP06).

Eine ähnliche Unterteilung bot sich für Frage 2 (Vorteile /Nachteile von PSI bzw. dem Roboter) an. Hier ließen sich die Antworten den Kategorien in PSI/im Roboter, der Behandlung des Agenten und der Bedienung des Programms zuordnen.

Frage 3 (Was ist in der Bedienung einfacher?) wiederum ließ eine klare Zweiteilung mit zwei Kategorien zu: PSI oder der Roboter.

Facettenreicher war wiederum die vierte Frage (Stellen Sie sich vor, Sie hätten mit einem Menschen statt mit PSI zusammengearbeitet. Wo hätten die Unterschiede gelegen?). Hier wurden Unterschiede in der Kommunikation, dem Verhalten PSIs und der Behandlung des Gegenübers gesehen. Es gab auch Probanden, die keine Unterschiede sahen und eine Restkategorie (ein Proband gab an, die Instruktion wäre anders gewesen).

In der fünften Frage wurde gefragt, ob PSI hilfreich für die Probanden war oder eher ein „Klotz am Bein“. Auch hier gab es wieder drei Kategorien: PSI war hilfreich, PSI war hinderlich und PSI war mal hilfreich, mal eher hinderlich.

In der letzten Frage sollten die Probanden dann entscheiden, ob sie für eine echte Stadt eher PSI oder eher den Roboter als Kanalreinigungspersonal empfehlen würden. Hier gab es zunächst zwei Kategorien (PSI bzw. Roboter), diese wurden aber noch um eine dritte Kategorie erweitert. Diese dritte Kategorie enthält ein Mischmodell, das z.B. für manche Tageszeiten oder Arbeiten PSI, für andere den Roboter vorschlägt.

Ein Überblick über alle verwendeten Kategorien wird in Tabelle 8 gegeben.

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Frage	Kategorisierungs- gesichtspunkt	(Ober-) Kategorien	Unterkategorie (falls vorhanden)
Frage 1	Handlungszuschreibung	Aktion zutreffend zugeschrieben – Person	
		Aktion zutreffend zugeschrieben – PSI/Roboter	
		Aktion nicht zutreffend zugeschrieben	
		Aktion nicht zutreffend zugeschrieben	
	Inhalt	Aufgabe	
		Bedürfnis	
		Orientierung	
		Bedienung	
		Objekt	
Frage 2	Wertung	Gut	
		Schlecht	
Frage 3	Wertung	Gut	
		Schlecht	
Frage 4		Objekt	
		Aufgaben	Gold
			Löcher
		Bedürfnisse	Hunger
			Durst
			Schaden
		Orientierung	
Frage 5	Wertung	Ja	
		Nein	
		Teilweise	
Frage 6	Zustimmung	Immer	
		Nur wenn sicher	
		Teilweise	
Frage I	Ursache der Unterschiede	In PSI/im Roboter	
		Programmbedienung	
		Umwelt	
		Rest	
Frage II	Ursache der Vorteile /Nachteile	In PSI/ Roboter	
		Behandlung des Agenten	
		Programmbedienung	
Frage III	Auswahl	PSI	
		Roboter	
Frage IV	Ursache der Unterschiede	Kommunikation	
		Verhalten PSIs	
		Behandlung des Gegenübers	
		Keine Unterschiede	
		Rest	
Frage V	Zustimmung	PSI war hilfreich	
		PSI war nicht hilfreich	
		Teils/teils	
Frage VI	Auswahl	PSI	
		Roboter	
		Mischmodell	

Tabelle 8: Kategorien Interviews

7.2.3.2 Simulationen

Insgesamt wurden für eine Gesamtübersicht des Verhaltens der Probanden in den Simulationen Daten aus drei Quellen herangezogen: Verhaltensdaten aus den Protokolldateien der Simulationen, die Verhaltensdaten aus den Videos und verbales Verhalten gegenüber PSI/ den Roboter aus den Videos.

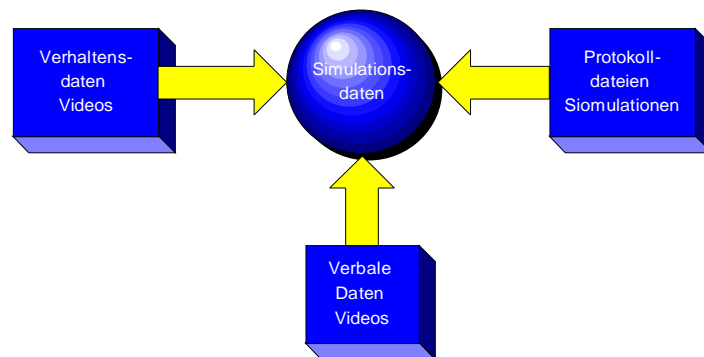


Abbildung 61: Simulationsdaten: drei Quellen

Beide Simulationen liefern ausführliche Protokolldateien, in denen der exakte Zeitpunkt jedes Eingriffs und alle Aktionen des Systems festgehalten werden. Aus diesen Protokolldateien können folgende Kennwerte ausgezählt werden:

- Anzahl der gesammelten Goldstücke (eines der Spielziele)
- Anzahl der Exitusse (eines der Spielziele war es, den Roboter / PSI am „Leben“ zu erhalten)
- Anzahl der reparierten Löcher (das dritte Spielziel)
- Anzahl der besuchten Orte (je mehr Orte besucht wurden, desto mehr Teile der Kanallandschaft wurden exploriert)
- Anzahl der erfolgreichen Ortswechsel
- Anzahl der nicht erfolgreichen Ortswechsel (die Vp versucht beispielsweise nach Westen zu gehen, obwohl kein Weg nach Westen geht)
- Anzahl der Ortswechsel insgesamt (erfolgreiche plus nichterfolgreiche Ortswechsel).

Neben dieser Auszählung der Kennwerte wurden die Videos von insgesamt 14 der 16 Probanden vollständig transkribiert und weiter ausgewertet. Bei der Transkription

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

wurde der Wortlaut aller Äußerungen der Probanden an den entsprechenden Stellen in den Protokolldateien festgehalten, weiterhin wurden Mimik und Gestik der Versuchsperson (soweit beobachtbar) und alle Äußerungen des Versuchsleiters, festgehalten.

Die Tätigkeiten der Probanden wurden im Folgenden kategorisiert, wobei hier einer verhaltensnahen Kategorisierung der Vorzug gegenüber einer mehr interpretativen Kategorisierung gegeben wurde. Dabei wird jeder Aktion (d.h. jedem Klick oder jeder verbalen Anweisung der Versuchsperson) eine Kategorie zugeordnet.

Kategorie	Unterkategorie	Beschreibung	Code
Richtungen		PSI oder der Roboter werden in eine Richtung geschickt	R
Aktionen:		besteht aus den Kategorien Gelegenheit, Bedarfentsprechend, Aktionismus und Probieren	
Gelegenheit		ein Objekt wird manipuliert, weil es gerade da ist, z.B. wird aus einer Lache getrunken, obwohl Durst nicht das Hauptbedürfnis ist, aber der Durst auch größer als 10 % der maximalen Bedürfnisstärke ist	G
	Bedürfnisbefriedigung	das manipulierte Objekt befriedigt ein Bedürfnis	
	Aufgabenerfüllen	durch das manipulieren des Objekts wird eine Aufgabe erfüllt	
Bedarfentsprechend		eine dem Hauptbedürfnis entsprechende Aktion wird durchgeführt	B
	Bedürfnisbefriedigung	eine ein existentielles Bedürfnis senkende Aktion wird durchgeführt	
	Aufgabenerfüllen	eine ein Aufgabenbezogenes Bedürfnis senkende Aktion wird durchgeführt	
Aktionismus		eine Aktion wird durchgeführt, obwohl das Bedürfnis, dass dadurch befriedigt wird, bei unter 10 % der Maximalstärke ist	A
	Bedürfnisbefriedigung	die durchgeführte Aktion befriedigt ein existentielles Bedürfnis	
	Aufgabenerfüllen	die durchgeführte Aktion befriedigt ein Aufgabenbezogenes Bedürfnis	
Probieren		Aktionen, die zuvor nie gemacht wurden, werden ausprobiert	P
Objekt		bei einer Wozu-Frage wird PSI der Name eines Objekts mitgeteilt	O

Tabelle 9: Kategoriensystem zu den Simulationsdaten

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

Tätigkeiten der Probanden sind in der PSI-Simulationen verbale Anweisungen an PSI, in der Roboter-Simulation dagegen Klicks auf die entsprechenden Buttons. In der PSI-Simulation kommt entsprechend eine weitere Verhaltensmöglichkeit zu den beim Roboter bestehenden: die Probanden können auf PSIs Fragen mit einer Anweisung antworten („Ja-Klick“), und diese Antwort wird dann entsprechend dem in Tabelle 9 vorgestellten System kategorisiert, oder sie können auf den Nein-Button klicken („Nein-Klick“), damit keine Antwort geben und PSI die Exploration überlassen.

Bei den PSI-Protokollen wurde die gesamte Kommunikation noch weiter kategorisiert in Aufgabenbezogene Kommunikation (Aufforderungen an PSI), Nicht-Aufgabenbezogenen Kommunikation (Selbstreflexionen, Fragen an den Versuchsleiter, ...), Gestik (Kopfschütteln, ...) und Mimik (lachen,...).

7.2.3.3 Einzelfälle

Um das Verhalten einiger Versuchspersonen gegenüber PSI-Lingua bzw. dem Roboter näher zu erläutern, werden je Versuchsreihe vier Versuchspersonen näher dargestellt. Dazu werden die Daten aus den Interviews, die Verhaltensdaten, Daten aus den Simulationsprotokollen und detaillierte Beschreibungen des Verhaltens der Probanden in bestimmten (im Folgenden beschriebenen) Situationen verwendet. Mit Hilfe dieser Daten wird dann das Verhalten der Personen gegenüber dem Roboter und PSI-Lingua verglichen werden und es werden Vergleiche zwischen den einzelnen Personen erstellt.

Folgende Situationen wurden ausgewählt:

1. Die ersten 3 Minuten, da hier eine erste Orientierung gegenüber PSI bzw. dem Roboter stattfindet
2. Die erste wahrgenommene Exitusgefahr, da hier eine Konzentration auf Bedürfnisbefriedigung oder auf Aufgabenerfüllung deutlich werden könnte. Die *erste* wahrgenommene Exitusgefahr, weil hier noch keine Gewöhnung eingetreten ist (was später durchaus passieren könnte). Die *erste wahrgenommene* Exitusgefahr wurde ausgewählt, weil ein Exitus für eine VP, wenn sie z.B. ein Bedürfnis gar nicht beachtet, auch überraschend kommen kann, und ihr Verhalten dann keine Hinweise auf Bedürfnis- oder Aufgabenorientierung liefert.

Kapitel 7: Mensch-Computer-Kooperation

3. Der Umgang mit gefährlichen Objekten. In den Kanalwelten gibt es verschiedene gefährliche Objekte. Der Umgang der VPs mit diesen Objekten könnte Hinweise auf
 - den Auflösungsgrad der Versuchspersonen (Wird bei gefährlichen Objekten, die aussehen als ob sie für Bedürfnisbefriedigung verwendet werden können, bemerkt, dass sie Schaden erzeugen?)
 - die Risikobereitschaft der Versuchspersonen (Werden gefährlich aussehende Objekte genauso exploriert wie ungefährlich aussehende?)
 - „Differenziertheit“ (Werden neutral aussehende gefährliche Objekte wiederholt manipuliert, d.h. wird bemerkt, dass sie Schaden erzeugen und wird dies wieder vergessen?)
4. PSI macht Extratouren: wie gehen Menschen damit um, wenn der mit ihnen zusammenarbeitende künstliche Agent sich selbständig macht, sich eigenständig bewegt und eigenständig Objekte manipuliert? Wird dies als angenehm oder unangenehm erlebt?
5. Umgang mit „Widersetzlichkeiten“: PSI ist störrisch, d.h. es läuft wieder zurück, nimmt Objekt trotz Aufforderung nicht, ... Bestehen Menschen auf ihren Vorschlag, d.h. äußern ihn immer wieder, oder folgen sie PSIs Aktionen?
6. Missverständnisse (PSI)/Fehlclicks (beim Roboter), gibt es Unterschiede im Umgang mit diesen Missverständnissen bei PSI und dem Roboter?
7. Gibt es verkoppelte Anweisungen bei PSI? Verkoppelte Anweisungen sind gut, um PSI zu einem Ort zu schicken, ohne dass es Extratouren machen kann. Damit kommt die VP selbst gut an ihr Ziel, nimmt PSI aber viel von seiner Selbständigkeit.
8. 20. bis 22. Minute: ein zufälliges Intervall aus der Mitte des Spiels, hier soll „normales“ Verhalten gegenüber PSI / dem Roboter beschrieben werden.
9. Optisch ähnliche, aber funktionsunähnliche Objekte: Wann bemerken die VP dass es hier Unterschiede gibt? Bemerkten sie es eher bei PSI oder eher bei dem Roboter?
10. Exploration „unklarer“ Objekte (Cola, Pizza): werden diese Objekte überhaupt exploriert ? Oder werden sie nur mit PSI / nur mit dem Roboter exploriert?

11. Wann wird bei PSI auf Wastun oder Wo-Frage mit Nein geantwortet? Wenn man dies tut, gibt man die Kontrolle zumindest kurzfristig an PSI ab. Wann wird auf Wozu-Fragen mit Ja geantwortet? In diesem Fall geben die VPs PSI eine Antwort, von der sie nicht wissen, ob sie richtig ist und nehmen PSI einen Teil seiner Autonomie. Im Unterschied zu anderen Fragen wird bei Wozu-Fragen nach einer konkreten Information, nicht nach einer Möglichkeit gefragt. Hier eine Antwort zu geben ist zeitaufwendiger, als auf den Nein-Button zu klicken (dann führt PSI die Aktion selbst aus) und es bedeutet, PSI eine Information zu geben, von der die VP nicht wissen kann, ob sie stimmt.

7.2.4 Die Probanden

Insgesamt nahmen 16 Probanden an den Versuchen teil, davon 10 (Vp02³⁷ bis Vp11) am ersten Versuchsdurchgang (Roboter schwieriger als PSI) und sechs am zweiten Versuchsdurchgang (Vp12 bis Vp17). Alle Probanden sind Studenten der Psychologie im Grundstudium, sie erhielten für die Teilnahme am Versuch eine Bestätigung über drei Versuchspersonenstunden. Insgesamt nahmen 13 Frauen und drei Männer am Versuch teil, davon 9 Frauen und ein Mann im ersten Versuchsdurchgang und vier Frauen und zwei Männer am zweiten Versuchsdurchgang. Da es sich bei den Probanden überwiegend um Frauen handelt, werden sie in den Einzelfällen ausschließlich als „sie“ bezeichnet. Dies dient einerseits der leichteren Lesbarkeit, andererseits aber auch der Wahrung der Anonymität.

³⁷ Vp01 nahm am Vorversuch teil, ihr stand noch keine Karte zur Verfügung, daher wurde sie nicht mit in die Auswertung einbezogen.

8. PSI und die Menschen

8.1 Fragestellung

Mit dem in Kapitel 7 vorgestellten Versuch soll erfasst werden, inwieweit Menschen einen autonomen künstlichen Agenten, mit dem eine eingeschränkte verbale Kommunikation möglich ist, anders behandeln, als einen ausschließlich von ihnen beeinflussten Agenten. Diese umfassende Frage soll nun in mehrere Teilfragen zerlegt werden, dazu werden jeweils noch die entsprechenden Anhaltspunkte zur Beantwortung dieser Fragen dargestellt. Ob und wie die Fragen beantwortet werden können, wird in den jeweiligen Unterkapiteln dargestellt. Zudem sollen Verhaltensbeschreibungen einen Einblick in das Verhalten der Probanden in ausgewählten Situationen geben.

- Gibt es über alle Personen hinweg charakteristische Unterschiede im Verhalten gegenüber PSI und gegenüber dem Roboter? Um diese Frage zu beantworten werde sowohl die Ergebnisse der Kennwerte als auch die Verhaltensdaten und der Einzelfallstudien herangezogen.
- In wie weit wird PSI als eigenständiger Agent wahrgenommen? Wird ein Unterschied zwischen dem Roboter und PSI bemerkt? Äußert sich das in der Art und Weise, in der die Probanden von PSI sprechen? Dies wird durch die Antworten der Probanden auf die Fragen 1 (Interview direkt nach den Simulationen), I und II (Vergleichsinterview) aufgeklärt werden können.
- Wie stark werden PSIs Kompetenzen eingeschätzt? PSI ist durchaus in der Lage, mit seiner Umgebung zurechtzukommen, doch erkennen die Probanden dies? In Frage 5 wird dies angesprochen, doch auch die Fragen V und VI behandeln dieses Gebiet.
- Amalberti, Carbonell & Falzon (1993) verglichen in einer Wizard of Oz-Studie, das Verhalten von Menschen gegenüber Menschen mit dem Verhalten gegenüber einem Computer. Zusammenfassend wurde der Computer eher als Werkzeug verwendet, die Menschen lösten hier ihre Probleme eher alleine, während sie sich an den Menschen eher anpassten und Probleme gemeinsam lösten (vgl. Kapitel 7). Ein ähnlicher Effekt ist beim Vergleich vom Verhalten von Menschen gegenüber PSI-Lingua und gegenüber dem „Roboter“ zu erwarten. Es ist zu erwarten, dass sich die Probanden eher an PSI anpassen und PSIs Wünsche berücksichtigen, da PSI der

Kapitel 8. PSI und die Menschen

menschenähnlichere der beiden Agenten ist, als sie es bei „Roboter“ tun. Antworten auf diese Frage sollten sich in den Interview-Fragen I und II (Vergleichsinterview), in den Ergebnissen aus den Verhaltensdaten und in den Einzelfällen finden.

- Gibt es einen Lerneffekt? Können die Probanden Wissen aus der Roboter-Simulation auf die PSI-Simulation übertragen, oder umgekehrt? Um dies zu beantworten werden die Kennwerte der Gruppe, die zuerst die PSI und dann die Roboter-Simulation bearbeiteten mit den Kennwerten der Gruppe, die zuerst die Roboter und dann die PSI-Simulation bearbeiteten miteinander verglichen.
- Gibt es verschiedene „Verhaltenstypen“? Kann man das Verhalten von Menschen gegenüber PSI bestimmten Verhaltensklassen zuordnen? Um diese Frage beantworten zu können, werden vor allem die Einzelfallstudien herangezogen.

Die hier vorgestellte Untersuchung ist als Pilotstudie zur Zusammenarbeit von Mensch und PSI zu verstehen. In den folgenden Unterkapiteln sollen erste Antworten auf die oben Fragen gefunden werden

8.2 Ergebnisse

8.2.1 Gibt es über alle Personen hinweg charakteristische Unterschiede im Verhalten gegenüber PSI und gegenüber dem Roboter?

Um diese Frage beantworten zu können müssen mehrere Datenquellen herangezogen werden: die Kennwerte der Simulation, die Verhaltensdaten aus den Simulationen und die genaue Betrachtung der Einzelfälle.

Bei einer ersten Betrachtung der Simulations-Kennwerte fällt die größere Anzahl an gesammelten Goldstücken und gestopften Löcher beim Roboter auf, sowie die höhere Anzahl von Exitussen beim Roboter im ersten Versuchsdurchgang. Hier müssen beide Versuchsgruppen separat betrachtet werden, da die unterschiedliche Schwierigkeit der Robotersimulationen zumindest die Exituszahl in beiden Versuchsdurchgängen stark beeinflusst. Wenn sich Unterschiede in beiden Versuchsgruppen zeigen, spricht dies für eine Stabilität dieser Unterschiede.

Erster Versuchsdurchgang

Wie zu erwarten war gab es große Unterschied in der Anzahl der Exitusse zwischen PSI und dem Roboter (im Durchschnitt 1.9 bei PSI und 8.1 beim Roboter, signifikant mit Mann-Whitney-U-Test, $z=-3.845$, $\alpha=0.01$). In wieweit sich dieser Unterschied nur auf

Kapitel 8. PSI und die Menschen

die unterschiedliche Schwierigkeit beider Simulationen zurückführen lässt oder auch auf andere Faktoren, wird sich erst in den Ergebnissen des zweiten Versuchsdurchgangs zeigen. Es ist allerdings zu erwarten, dass dieser Unterschied verschwindet, wenn beide Simulationen gleichschwierig sind.

Ebenfalls große Unterschiede gab es in der Anzahl der gesammelten Goldstücke: während sie mit PSI arbeiteten, sammelten die Probanden im Durchschnitt 29,1 Goldstücke, während sie zusammen mit dem Roboter im Durchschnitt 47,9 Goldstücke sammelten (signifikant, Mann-Whitney-U-Test, $z=-2.534$, $\alpha=0.05$). Für dieses Ergebnis gibt es drei mögliche Erklärungen: (1) die Versuchspersonen könnten sich auf die Goldstücke konzentriert haben, um den viel anfälligeren Roboter gegebenenfalls zu reparieren, (2) die Probanden kümmerten sich nicht so sehr um den Roboter wie um PSI, sondern versuchten, so viele Goldstücke wie möglich zu sammeln, oder, (3), die Probanden haben mit PSI weniger Zeit für eigene Aktionen, da PSIs Eigenständigkeit Zeit in Anspruch nimmt: Während der Zeit, in der PSI Aktionen selbständig durchführt können die Probanden keine Anweisungen geben.

Die zweite und die dritte Erklärung werden durch die Anzahl der reparierten Löcher gestützt: im Durchschnitt reparierten die Probanden 34.6 Löcher während sie mit dem Roboter arbeiteten, aber nur 18.3 Löcher, während sie mit PSI arbeiteten (signifikant, Mann-Whitney-U-Test, $z=-3.065$, $\alpha=0.01$).

Es gab keine großen Unterschieden in der Anzahl der besuchten Situationen (44.7 mit PSI, 50.7 mit dem Roboter, n.s.) und den erfolgreichen Lokomotionen von einem Ort zum nächsten (154.1 and 159.4, n.s.). Ebenfalls kaum Unterschiede gibt es in den Kennwerten bei der Anzahl nicht erfolgreicher Lokomotionen. Dies ist überraschend, da PSI (im Gegensatz zum Mensch) keine Karte zur Verfügung hat und entsprechend „blind“ probieren muss, um in eine Richtung zu gelangen. Daher wären hier mehr nicht erfolgreiche Lokomotionen zu erwarten gewesen, denn es handelt sich bei allen hier vorgestellten Werten um die Gesamtwerte, d.h. die Leistung des Teams PSI und Mensch. Aus den Interviews wird ersichtlich, dass die Probanden in der PSI-Simulation v.a. bei Richtungsanweisungen eingreifen (Interview zur PSI-Simulation, Frage 6). Aller Probanden gaben hier an, PSI auch Anweisungen gegeben zu haben, wenn sie

Kapitel 8. PSI und die Menschen

eigentlich keine Antwort auf die gestellte Frage wussten³⁸, aber nur drei der zehn Probanden gaben an, PSI sowohl zum Manipulieren von Objekten aufgefordert zu haben, wenn sie sich über das Ergebnis dieser Manipulation nicht sicher waren, als auch es an neue Orte geschickt zu haben. Sieben Probanden gaben an, sie hätten PSI nur an Orte geschickt, von denen sie nicht wussten, ob sie zur Bedürfnisbefriedigung dienen können, nicht aber zur Manipulation neuer Objekte. Im Gegensatz zu PSI haben die Probanden eine Karte zur Verfügung, so dass sie PSI gerade bei den Richtungen maßgeblich helfen können. Dennoch bleibt die Frage, warum die Versuchspersonen zusammen mit dem Roboter so viele nichterfolgreiche Lokomotionen haben, bei PSI aber selbst weniger nichterfolgreiche Lokomotionen machen (ein Teil der nichterfolgreichen Lokomotionen in der Zusammenarbeit mit PSI wurde von PSI verursacht, jedoch hat in der Zusammenarbeit mit dem Roboter der Proband alle nichterfolgreichen Lokomotionen verursacht, so dass man eigentlich einen höheren Anteil nichterfolgreicher Lokomotionen bei PSI erwarten sollte). Eine Hypothese wäre hier, dass die Probanden bei PSI, bedingt durch die Sprachsteuerung, die mehr an Überlegung verlangt als ein mehr bloßes „auf Buttons klicken“ beim Roboter, gezielter vorgehen und daher weniger Fehler machen. Auf diese Frage soll nach einer Betrachtung der Versuchspersonen der zweiten Versuchsdurchführung weiter eingegangen werden.

Aus den Verhaltensdaten lässt sich ableiten, dass die Probanden beim Roboter erheblich mehr Eingriffe und viel mehr nichterfolgreiche Lokomotionen tätigten. Bei einer groben Unterteilung der Eingriffe der Probanden in „Richtungen“ (Aufforderung, von einem Ort zum Nächsten zu gehen) und „Aktionen“ (Manipulationen von Objekten) zeigt sich eine deutliche Verschiebung: während in der PSI-Simulation im Mittel 54,9% aller Eingriffe in die Kategorie „Richtung“ fallen (und entsprechend 45,1% in die Kategorie „Aktion“) sind es beim Roboter 45,41% (und 55,59% für die Kategorie „Aktion“)³⁹. Bei der Unterteilung der Aktionen in Kategorien zeigte sich, dass sich für PSI höhere Mittelwerte für das Ergreifen von Gelegenheiten (30,54% bzw. 25,49%) fanden, für den Roboter dagegen für Aktionismus (0,17% bzw. 3,05%), Bedürfnis (7,14% bzw.

³⁸ d.h. die Probanden haben PSI hier an Orte geschickt, von denen sie nicht wussten, ob dort PSIs Bedürfnisse befriedigt werden konnten, und/oder sie ließen es Objekte manipulieren, deren Wirkung sie nicht kannten.

³⁹ Auf eine statistische Analyse wurde aufgrund der geringen Fallzahlen verzichtet (nur von acht Probanden des ersten Versuchsdurchgangs gibt es Transkripte)

Kapitel 8. PSI und die Menschen

11,44%) und Probieren (6,36% bzw. 14,5%). Der Anteil der Probanden an Aktionsanweisungen war in der Roboter-Simulation damit höher als in der PSI-Simulation. Innerhalb der Kategorie „Aktionsanweisungen“ zieht sich diese Verschiebung nicht gleichmäßig durch alle Unterkategorien, sondern konzentriert sich auf Bedürfnisbefriedigung und Probieren. Beides sind Aufgaben, die PSI selbständig übernimmt und die die Probanden auch an PSI zu delegieren scheinen. Auch der Wert für Aktionismus ist in der PSI-Simulation deutlich geringer, was der Hypothese eines Rückzug der Probanden aus der „Detailplanung“ des Vorgehens hin zu einer Planung der groben Richtung Vorschub gibt: die Probanden ergreifen zwar mit PSI noch Gelegenheiten, wenn sich welche bieten, kümmern sich aber sonst weniger um die Bedürfnisbefriedigung und Detailexploration der Objekte als um die Grobexploration der Umgebung mittels Richtungsbefehlen.

In den Einzelfällen und den ausgewählten Situationen gibt es keine über alle Probanden hinweg erhaltene Tendenz, es gibt jedoch zwei Bereiche, in denen unterschiedliches Verhalten gefunden werden kann. VP02 und VP06 sind mit PSI weniger explorationslustig als mit dem Roboter, sie explorieren z.B. weniger gefährliche Objekte. Bei VP02⁴⁰ könnte dies daran liegen, dass sie Exploration PSI überlässt und ihm diese Verantwortung übergibt, bei VP06 dagegen könnte sich dies aus ihrer Bewältigung der Gesamtsituation ableiten: sie ignoriert PSIs Eigenständigkeit völlig (bewertet sie noch nicht einmal als negativ) und ist mit der Beherrschung von PSI (sie beantwortet alle Fragen mit „Ja“, d.h. lässt PSI nie allein explorieren) und dem Ausblenden von Informationen zu beschäftigt, um noch Exploration durchführen zu können. VP06, VP07 und VP11 sind zusammen mit PSI weniger aufmerksam, sie finden Zusammenhänge später oder gar nicht heraus. Dies lässt sich aus dem Umgang mit dem sehr viel komplexeren PSI-System heraus begründen, das die Probanden vor größere Anforderungen stellt als die Roboter-Simulation. Zudem bearbeiteten diese Probanden zuerst die PSI-Simulation, so dass hier noch „Anfängerprobleme“ auftreten. VP02 bearbeitet die PSI-Simulation zuerst und hatte so keine Anfänger-Probleme bei PSI. Zudem kam sie mit dem Roboter sehr schlecht zurecht und PSI war ihr als Hilfe sehr willkommen, so dass die PSI-Simulation trotz ihrer größeren Komplexität für sie weniger anspruchsvoll war, da ihr hier Aufgaben abgenommen wurden.

⁴⁰ Eine genauere Beschreibung der einzelnen Probanden findet sich in Kapitel 8.2.6.

Zweiter Versuchsdurchgang und Vergleich beider Durchgänge

Unter der neuen Bedingung blieben nur einige der vorherigen Signifikanzen erhalten. Zusätzlich ist $N=6$ sehr klein für die Berechnung von Mittelwertsunterschieden, so dass die hier erhaltenen Werte höchstens als Tendenzen interpretiert werden dürfen.

Es findet sich hier keine signifikanten Unterschiede bei den Exitussen mehr (Mittelwert 1,2 bei PSI, 1,5 beim Roboter). Damit lassen sich die unterschiedlichen Exitushäufigkeiten, die sich in der ersten Versuchsreihe zeigten, auf die unterschiedliche Schwierigkeit von PSI / dem Roboter zurückführen.

Auch der Unterschied in der Anzahl der gesammelten Goldstücke wird hier nicht mehr signifikant (Mittelwert 41,5 bei PSI, 51,5 beim Roboter). Der Unterschied ist kleiner als in der ersten Versuchsgruppe, aber immer noch in derselben Richtung vorhanden, die Probanden sammeln mehr Goldstücke mit dem Roboter als mit PSI. Dabei sammeln sie unter dieser Versuchbedingung vor allem viel mehr Goldstücke zusammen mit PSI (im Durchschnitt 29,1 in der ersten Gruppe, nun 41,5), während sie mit dem Roboter nur unwesentlich mehr Goldstücke sammeln (47,9 im ersten Durchgang, nun 51,5). Eine Erklärung für diesen Effekt steht aus, da die PSI-Simulation für beide Versuchsbedingungen identisch war. Aufgrund der geringen Gruppengröße ist es allerdings möglich, dass es sich um einen zufälligen Effekt handelt. Es handelt sich auch nicht um einen Effekt der Reihenfolge, in der die Probanden beide Simulationen bearbeiteten, da die Verschiebung bei beiden Reihenfolgen auftrat.

Die „Aufholjagd“ der Probanden zusammen mit PSI in dieser Versuchsbedingung zeigt, dass die Probanden auch mit PSI in der Lage sind, relativ viele Goldstücke zu sammeln. Zudem spricht das Ergebnis gegen die Hypothese, dass die Probanden nur deshalb im ersten Versuchsdurchgang so viele Goldstücke zusammen mit dem Roboter gesammelt haben, um ihn ständig wieder reparieren zu können. Allerdings ist immer noch ein relativ großer Unterschied zwischen der Anzahl der gesammelten Goldstücke zusammen mit PSI und zusammen mit dem Roboter vorhanden.

Immer noch signifikant ist der Unterschied in der Anzahl der gestopften Löcher (Mann-Whitney-U Test, $z=-2,882$, $\alpha=0,01$), auch unter dieser Bedingung stopfen die Probanden zusammen mit dem Roboter erheblich mehr Löcher als zusammen mit PSI (17 bei PSI, 38 beim Roboter). Durch dieses Ergebnis (und die immer noch höhere Anzahl gesammelter Goldstücke zusammen mit dem Roboter) werden wiederum die 2. und die 3. Hypothese aus dem ersten Versuchsdurchgang unterstützt, d.h. die Probanden

Kapitel 8. PSI und die Menschen

kümmerten sich nicht so sehr um den Roboter wie um PSI, sondern versuchten, so viele Goldstücke wie möglich zu sammeln, oder die Probanden haben mit PSI weniger Zeit für eigene Aktionen, da PSIs Eigenständigkeit Zeit in Anspruch nimmt.

In diesem Durchgang gab es auch einen Unterschied in der Anzahl der besuchten Situationen (Mann-Whitney-U Test, $z=-2,254$, $\alpha=0,05$). Zusammen mit dem Roboter haben die Probanden 55,8 Orte besucht, zusammen mit PSI nur 45,8. Auch unter dieser Versuchsbedingung gibt es keine Unterschiede in der Anzahl der erfolgreichen Lokomotionen oder der Lokomotionen insgesamt.

Ein Vergleich der Kennwerte zwischen den beiden Versuchsgruppen ist angesichts der geringen Fallzahlen und der unterschiedlich großen Gruppen nur sehr vorsichtig zu interpretieren. Insgesamt werden aus allen Kennwerten (Anzahl der gestopften Löcher, Anzahl der gesammelten Goldstücke, Anzahl der Exitusse, Anzahl der gesehenen Orte und Menge der Lokomotionen, jeweils bei PSI und dem Roboter) nur zwei Unterschiede signifikant. Wenig überraschend ist, dass die zweite Versuchsgruppe mit dem Roboter erheblich weniger Exitusse hat ($z=-3,131$, signifikant bei 0,000), denn dieser Unterschied spiegelt die Veränderung in den Simulationen von Gruppe eins auf Gruppe zwei wieder. Überraschend dagegen ist der Unterschied in der Anzahl der gesammelten Goldstücke bei PSI. Hier haben die Probanden der zweiten Gruppe mehr Goldstücke gesammelt ($z=-1,845$, tendenziell signifikant bei 0,73), der Unterschied wird allerdings kaum signifikant. Eine Erklärung hierfür steht aus, allerdings ist bei dem geringen N die Signifikanz auch nicht überzubewerten. Die unterschiedlichen Schwierigkeitsstufen der Robotersimulationen hatten auf die Kennwerte kaum Einfluss, was für ein stabiles Verhalten der Probanden spricht.

Die Verhaltensdaten stimmen mit den Ergebnissen der ersten Versuchsgruppe weitgehend überein, es gibt nur geringfügige Abweichungen in der Verteilung der einzelnen Eingriffsarten.

	Richtungsanweisungen in %	Aktionsanweisungen in %				
		Allgemein	Gelegenheit	Aktionismus	Probieren	Bedürfnis
Roboter-Simulation (1.Gruppe/2.Gruppe)	45,41/ 43,9	55,59/ 56,1	25,49/ 24,07	3,05/ 3,02	14,59/ 12,74	11,44/ 12,74
PSI-Simulation (1.Gruppe/2.Gruppe)	54,9/ 54,13	45,1/ 45,87	30,54/ 28,28	0,17/ 1,83	6,36/ 7,59	7,14/ 7,04

Tabelle 10: Verhaltensdaten für beide Versuchsdurchführungen

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Während in der PSI-Simulation im Mittel 54,13% aller Eingriffe in die Kategorie „Richtung“ fallen (und entsprechend 45,87% in die Kategorie „Aktion“) sind es beim Roboter 43,9% (und 56,1% für die Kategorie „Aktion“). Bei der Unterteilung der Aktionen in Kategorien zeigt sich wieder, dass sich für PSI höhere Mittelwerte für das Ergreifen von Gelegenheiten fanden, für den Roboter dagegen für Aktionismus, Bedürfnis und Probieren. Damit hat der veränderte Schwierigkeitsgrad der Roboter-Simulation keinen Einfluss auf die Aufteilung der einzelnen Verhaltenskategorien. Die massiv erhöhte Exitushäufigkeit des Roboters im ersten Durchgang wirkte sich weder auf den Anteil an Aktionismus noch an Probieren aus. Stabil bleibt jedoch auch der Unterschied zwischen den Verhaltensdaten bei PSI und denen in der Robotersimulation, dieser Effekt ist deutlich stärker als der zwischen verschiedenen schwierigen Versionen des Roboters.

Es existiert ein Einfluss auf die allgemeine Häufigkeit von Eingriffen, die Probanden tätigen in beiden Versuchsdurchgängen beim Roboter erheblich weniger Eingriffe als bei PSI. Ebenfalls tritt ein Unterschied zwischen beiden Versuchsgruppen auf, in der ersten Versuchsgruppe gibt es im Mittel 151 Eingriffe bei PSI, 444 beim Roboter, in der zweiten Versuchsgruppe bei PSI im Mittel 145,5 Eingriffen, beim Roboter 502, aber dieser Unterschied in den Eingriffshäufigkeiten in der Roboter-Simulation lässt sich auf die geringere Anzahl von Exitussen zurückführen: jeder Exitus bedeutet, dass die Simulation für eine Minute angehalten wird, bei einer durchschnittlichen Exituszahl von über acht Exitussen im ersten und knapp zwei Exitussen im zweiten Versuchsdurchgang ergibt dies eine zusätzliche Spielzeit von sechs Minuten für die Probanden der zweiten Gruppe. Dies erklärt die Differenz von im Mittel 58 Eingriffen.

	Richtungs- anweisungen in %	Aktionsanweisungen in %				
		Allgemein	Gelegenheit	Aktionismus	Probieren	Bedürfnis
Roboter- Simulation	44,76	55,14	24,88	3,04	15,3	12
PSI-Simulation	55	45	29,57	1,38	6,88	7,01
Signifikanz (Mann-Whitney- Test)	$z = -2,251$ $\alpha = 0,05$	$z = -2,205$ $\alpha = 0,05$	$z = -1,424$ n.s.	$z = -2,476$ $\alpha = 5 \%$	$z = -2,527$ $\alpha = 0,05$	$z = -2,895$ $\alpha = 0,01$

Tabelle 11: Überblick über die Unterschiede der Handlungskategorien zwischen PSI und dem Roboter

Über beide Versuchsgruppen hinweg zeigen sich deutliche Unterschiede in den Prozentanteilen der einzelnen Handlungskategorien. Der einzige Unterschied, der nicht signifikant wird, ist der Unterschied im Prozentanteil des Ergreifens von Gelegenheiten.

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Die Versuchspersonen konzentrieren ihre Handlungen auf Dinge, über die PSI weniger Übersicht hat: auf Richtungen (deutlich mehr bei PSI, die Versuchspersonen haben eine Karte zur Verfügung, PSI nicht) und das Ergreifen von Gelegenheiten (bleibt stabil, PSI kann zwar Gelegenheiten ergreifen, ist aber durch seine Bedürfnisse unmittelbar betroffen, während die Probanden hier einen Abstand haben, der ihnen beim Erkennen und nutzen von Gelegenheiten hilft, und über deutlich bessere Planungsfähigkeiten verfügen, vgl. Kapitel 2 und Kapitel 5).

In den Einzelfällen zeigte sich auch in dieser Versuchsgruppe keine durchgehende Tendenz (Details zu den Einzelfällen siehe Kapitel 8.2.6), es zeigten sich drei Probanden mit PSI weniger experimentierfreudig (d.h. es werden weniger gefährliche Objekte exploriert) als mit dem Roboter (VP13, 16, 17). VP14 und VP16 sind mit PSI weniger aufmerksam als mit dem Roboter (d.h. sie bemerkten die Effekte von Manipulationen später), VP17 ist nur bei bestimmten Aspekten aufmerksam. VP13 ist mit PSI dagegen aufmerksamer als mit dem Roboter. VP13 und VP 14 bearbeiteten zuerst die PSI-Simulation und dann die Roboter-Simulation, es gibt hier keinen einheitlichen Einfluss auf die Aufmerksamkeit oder die Experimentierfreudigkeit.

Es gibt keine generelle Tendenz, dass die Probanden bei PSI weniger aufmerksam und weniger experimentierfreudig sind, dies zeigt sich jeweils nur bei zwei oder drei aus vier Probanden.

Ein ins Auge fallender Unterschied zwischen den Daten der Roboter- und der PSI-Simulation ist die sehr verschiedene Anzahl der nicht-erfolgreichen Lokomotionen der Versuchspersonen mit dem Roboter und mit PSI, wobei hier nur von der Versuchsperson induzierte Lokomotionen gezählt werden, nicht dagegen allein von PSI angestoßene. Zusammen mit PSI machen die Probanden im Mittelwert 3,75 nicht-erfolgreiche Lokomotionen, mit dem Roboter dagegen im Mittelwert 46. Bei der Betrachtung aller acht Einzelfälle finden sich in der Roboter-Simulation insgesamt 24 Richtungsfehler bzw. Sequenzen von Richtungsfehlern. Nach einer nicht-erfolgreichen Lokomotion versuchten die Probanden in 15 (der insgesamt 24 Fälle) zunächst in eine Richtung weiterzugehen, die innerhalb eines 45° Winkels von der ursprünglichen Richtung aus gesehen liegt, also z.B. Nordwesten, wenn die ursprüngliche Richtung Norden war. In acht Fällen funktionierte diese Strategie, d.h. es kam zu einer erfolgreichen Lokomotion, in sieben Fällen mussten weitere Versuche gemacht werden. Dabei gingen Probanden in vier Fällen so vor, dass sie im Kreis die einzelnen

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Möglichkeiten ausprobierten, zwei davon versuchten auch zunächst, den Weg 45° in die andere Richtung zu gehen. Ein weiterer Proband war erfolgreich, indem er erst um 45° in die eine und dann um 45° in die andere Richtung drehte. Fünf Probanden begannen mit einem im 90° Winkel von dem ursprünglichen Weg entfernt, bei drei dieser Probanden führte dies sofort zum Erfolg, zwei andere mussten noch andere Strategien ausprobieren. Winkel über 90° (z.B. eine Lokomotionsversuch nach Nordweste, nachdem der erste Lokomotionsversuch nach Osten gemacht worden war) kamen insgesamt nur sieben Mal vor, dabei fünf Mal, nachdem zuvor schon kleinerer Winkel ausprobiert worden waren.

Diese Ergebnisse unterstützen die Annahmen, dass die Probanden bei dem Roboter-Versuchen mehr Richtungsfehler machen, weil sie vor einer Richtungskorrektur nicht die Karte zu Rate ziehen, sondern sich eher an der groben Himmelsrichtung orientieren und dann versuchen, ungefähr in diese Richtung zu gehen, also nach „oben“ statt exakt nach „Norden“. Da sie sich dabei nicht an der Karte orientieren sondern eher versuchen, ihr Ziel direkt zu erreichen, machen sie zwangsläufig auch mehr Fehler. Dies erklärt nicht nur, warum die Sequenzen von Richtungsfehlern zusammen mit dem Roboter länger sind als zusammen mit PSI (dort werden die wenigen gemachten Richtungsfehler mit der nächsten Anweisung behoben), es erklärt auch, warum sie überhaupt häufiger auftreten. Bei PSI müssen die Probanden genaue Richtungsangaben machen, also beispielweise „Nordwesten“, und nicht nur „nach oben“. Da die meisten Menschen mit Himmelsrichtungen zur Richtungsangabe weniger vertraut sind, wurde die Windrose zu Rate gezogen, und der ausgewählten Weg mit der Richtung verglichen. Dieses Verhalten würde in einer drastisch geringeren Fehlerrate bei den Lokomotionen münden, da ein genauer Abgleich zwischen der Richtung auf der Karte und der Windrose mit den Richtungsbezeichnungen stattfinden müsste.

Zusammenfassend gibt es Unterschiede im Verhalten der Probanden gegenüber PSI. Diese Unterschiede weisen auf eine Nutzung von PSIs spezifischen Fähigkeiten hin. Überraschenderweise gibt es kaum Unterschiede zwischen den beiden unterschiedlich schwierigen Versionen der Roboter-Simulation. Die erheblich häufigeren Exitusse des Roboters beeinflussen die Probanden in ihrem Verhalten kaum, die Unterschiede zwischen PSI und dem Roboter dagegen erheblich. Eine mögliche Ursache dafür, dass die erhöhte Exitushäufigkeit die Probanden in ihrem Verhalten kaum beeinflusst, könnten einerseits die beim Roboter der ersten Versuchsgruppe sehr dicht aufeinander folgenden Exitusse sein, durch die ein Gewöhnungseffekt eintritt, andererseits auch die

Kapitel 8. PSI und die Menschen

geringe Exituszeit von 30 Sekunden, die den Probanden eher eine kurze Verschnaufpause als eine Ärgernis bedeuten könnte. Diese Ergebnisse bestärken die Gewichtung der Unterschiede im Verhalten der Probanden gegenüber PSI und dem Roboter, da das Verhalten der Probanden gegenüber einfachen Veränderungen der Schwierigkeit relativ robust zu sein scheint.

8.2.2 In wie weit wird PSI als eigenständiger Agent wahrgenommen?

Um Hinweise darauf geben, ob PSI bzw. der Roboter als eigenständige „Mitarbeiter“, oder als eine Verlängerung des eigenen Ichs betrachtet wurden, wurde die Frage 1 aus dem Interview zur PSI-Simulation bzw. zur Roboter-Simulation herangezogen. In dieser Frage sollten die Probanden einen Überblick über ihr Handeln in der Simulation geben.

Es wurde zunächst ausgezählt wie häufig die Probanden PSI oder den Roboter als „er“ (oder in einem Fall „es“) bezeichnet haben, und wie oft der Roboter/PSI als „ich“ bezeichnet wurde. Hypothesenkonform müsste PSI als eigenständiger Agent öfter als „er“ bezeichnet werden als der Roboter, der ausschließlich von den Probanden gesteuert wird und dessen Eigendynamik ausschließlich aus dem Bedürfnisanstieg besteht.

Insgesamt wurden hier die vier in Kapitel 7 für Frage 1 beschriebenen Kategorien herangezogen. Um Aussagen über die Häufigkeit der Bezeichnung des Roboter / PSIs als „er“ oder „ich“ machen zu können, wurden die Kategorien „Handlung wird dem Agenten zurecht zugeschrieben“ und „Handlung der VP wird dem Agenten zugeschrieben“ in die Kategorie „er“ zusammengefasst, und die Kategorien „Handlung wird der VP zurecht zugeschrieben“ und „Handlung des Agenten wird der VP zugeschrieben“ zur Kategorie „ich“. Damit werden hier jeweils Kategorien zusammengefasst, in denen Handlungen der VP, PSI oder dem Roboter zugeschrieben werden, wobei es hier keine Rolle spielt, wer die Handlungen tatsächlich durchgeführt hat.

PSI wird von fast allen Probanden (fünfzehn von sechzehn) mindestens einmal als „er“ bezeichnet, der Roboter wird nur von neun Probanden mindestens einmal als „er“ bezeichnet. In beiden Gruppen bezeichnet die überwiegende Mehrheit der Probanden PSI mindestens einmal als „er“, beim Roboter kommt dies in nur etwas über der Hälfte der Fälle vor, obwohl auch der Roboter durch seine Bedürfnisse und die Exitusse ein gewisses Maß an Eigenaktivität hat.

Kapitel 8. PSI und die Menschen

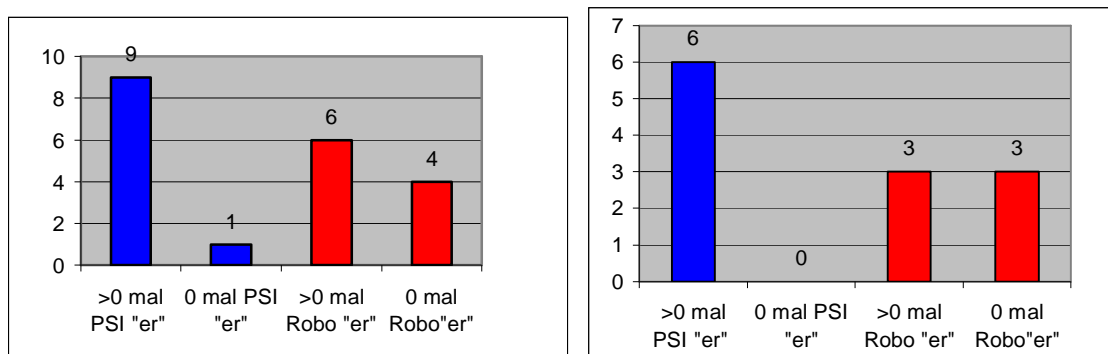


Abbildung 62: Werden der Roboter und PSI als "er" oder als "ich" bezeichnet? links: 1. Versuchsgruppe, rechts: 2. Versuchsgruppe

Wie VP02 zeigt, kann man dem Roboter auch Aktionen zusprechen, die dieser nicht getan haben *kann*, wie z.B. lernen. Sie hat im Interview (Frage 1) dem Roboter insgesamt sechsmal Aktionen zugesprochen, die nicht vom Roboter, sondern von ihr ausgingen. Nur eine einzige andere Versuchsperson (Vp07) hat dies überhaupt noch getan, und diese nur einmal. VP06 zeigt im Gegensatz dazu, dass man PSI nicht als eigenständigen Agenten anerkennen muss: sie bezeichnet PSI kein einziges Mal als „er“.

Ergänzt wird dieser Hinweis auf eine Anerkennung von PSIs Eigenständigkeit durch die Aussagen der Probanden in den Fragen I und II des Vergleichsinterviews. Hier gaben 11 (Frage I) bzw. 14 (Frage II) der Probanden an, PSI Eigenständigkeit wäre ein großer Unterschied zwischen den beiden Simulationen – auch wenn nicht alle Probanden diesen Unterschied als vorteilhaft ansahen. Weiterhin unterstützt wird die These, dass PSI stärker als eigenständiger Agent wahrgenommen wird als der Roboter, durch die gegebenen Nein-Antworten: Fast alle Probanden (alle außer VP06) gaben PSI häufiger als unbedingt nötig Nein-Antworten⁴¹ und ließen dem Agenten damit die Freiheit, selbständig zu explorieren und nützen selbst die Möglichkeit, sich aus dem Geschehen zurückzuziehen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass PSI von den meisten Probanden als eigenständiger Agent anerkannt wurde, aber nicht im Vordergrund des Geschehens steht. Frage 1 lautete „Beschreiben Sie, was Sie gemacht haben, von Anfang an. Wie sind Sie am Anfang vorgegangen, hat sich dann etwas geändert?“, und entsprechend steht das Erleben der Probanden im Vordergrund, nicht die Bewertung des Agenten.

⁴¹ Unbedingt nötig sind zwei Nein-Antworten zu Beginn der Simulation.

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Umso höher können aber auch die tatsächlich stattgefundenen Beschreibungen des Agenten gewürdigt werden. Dass diese nicht zwangsläufig erfolgen müssen zeigt VP06. Die weiteren Daten aus den Interviews und die Verhaltensdaten unterstützen jedoch die Hypothese, dass PSI als eigenständiger Agent anerkannt wird.

8.2.3 Als wie stark werden PSIs Kompetenzen eingeschätzt?

Insgesamt waren nur sechs der sechzehn Probanden (vier im ersten, zwei im zweiten Versuchsdurchgang) der Meinung, PSI könnte die gestellte Aufgabe alleine bewältigen, zwei bzw. vier Probanden waren der Meinung, PSI käme mit den Bedürfnissen nicht zurecht, vier bzw. keiner in der zweiten Versuchsdurchführung, es käme mit den Aufgaben nicht zurecht. PSI ist jedoch durchaus fähig, mit seiner Umgebung ähnlich (gut) zurechtzukommen wie dies Menschen tun, dies ist ja eines der Entwicklungsziele PSIs (vgl. dazu Kapitel 2).

Die unterschiedliche Schwierigkeit der Roboter-Simulation scheint damit auf die Einschätzung der Kompetenz von PSI keinen Einfluss zu haben. Die Probanden führen (im ersten Versuchsdurchgang) ihren größeren Erfolg in der PSI-Simulation nicht (ausschließlich) auf PSIs Kompetenz zurück. Der Schwierigkeitskontrast zwischen der PSI-Simulation und der Roboter-Simulation beeinflusst die Kompetenzbewertung PSIs nicht.

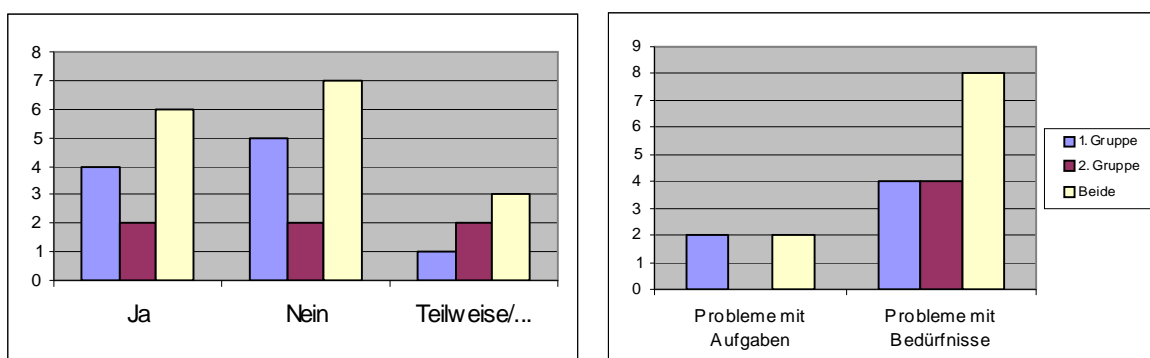


Abbildung 63: Kann PSI die Aufgabe allein bewältigen? Warum nicht? Beide Gruppen

Zwar ist die Mehrzahl der Probanden der Meinung, PSI würde mit seiner Umgebung nicht alleine zurecht kommen, dies bedeutet aber nicht, dass sie PSI nicht zumindest als teilweise hilfreich einschätzen würden. Neun Probanden sahen PSI als generell hilfreich an, und weitere drei Probanden als zumindest teilweise hilfreich. Nur vier Probanden sahen PSI als Hindernis bei der Verfolgung ihrer Aufgaben (Frage 5, Interview zur PSI-Simulation, Frage VI im Vergleichsinterview).

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Frage, ob die Probanden für eine echte Stadt PSI oder den Roboter einsetzen würden (Frage VII im Vergleichsinterview). Hier bevorzugte die Hälfte der Probanden PSI, fünf Probanden sprachen sich für den Roboter aus, und drei Probanden schlugen ein Mischmodell vor, bei dem man PSI stärker beeinflussen kann (VP11), das eine Arbeitsteilung erlaubt (Vp14) oder konnten keine Entscheidung treffen, da sie keinen Unterschied zwischen PSI und dem Roboter sahen (VP06). Eine Versuchsperson (VP04) schlug den Roboter für die Kanalreinigung vor, weil ihr PSI für diese Arbeit zu schade ist, alle anderen (VP05, 07, 08, 16) schlugen den Roboter vor, da ihnen PSI zu gefährlich und zu unzuverlässig erschien.

Dabei sind die Probanden, die PSI als nicht hilfreich einschätzen, nicht vollständig identisch mit den Probanden, die PSI nicht für eine echte Stadt einsetzen würden: als nicht hilfreich wurde PSI von den VPs 6, 7, 8 und 14 eingeschätzt, für eine echte Stadt würden ihn 4, 5, 7, 8 und 16 nicht einsetzen. Nur bei zwei Personen stimmen die Einschätzungen überein. Zwei Personen hatten PSI als teilweise hilfreich, und eine Person (VP16) hatte PSI sogar als hilfreich eingeschätzt, würde es aber nicht in einer echten Stadt einsetzen, da es schlechter zu kontrollieren ist als der Roboter. Mit der Frage nach dem Einsatz' PSIs in einer echten Stadt wird weniger nach den Fähigkeiten PSIs gefragt als nach der Verlässlichkeit PSIs, und hier hegen einige Probanden Zweifel, PSIs Selbständigkeit ist ihnen nicht geheuer und seinem Weltwissen (das sich ja auch erst aus Erfahrungen während der Simulation ergibt) wird nicht vertraut: „Also, ich würde den Roboter nehmen. Weil die Fehlerquote geringer ist, also, er kann, denk ich mal, weniger anrichten, wenn der da alles so wild rumprobiert, z.B. da so ne Rakete mal anzündet oder so, das könnte teilweise schon ungünstig sein“ (Vp007, Vergleichsinterview, Frage nach dem Einsatz in einer echten Stadt).

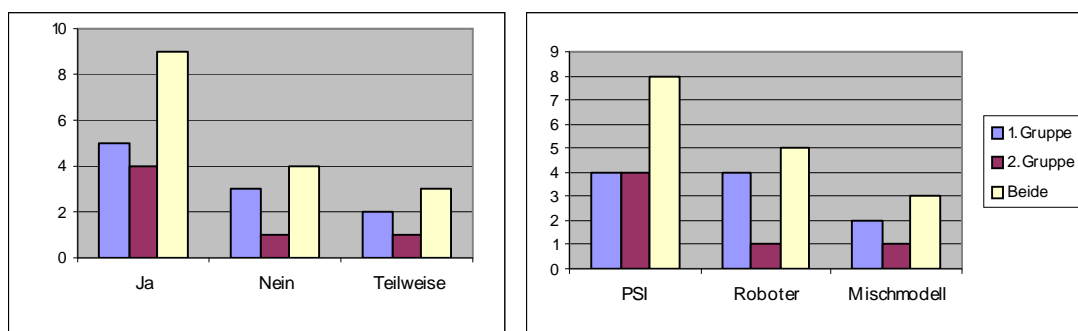


Abbildung 64: War PSI hilfreich (links)? Was würden Sie für eine echte Stadt einsetzen (rechts)?Jeweils beide Gruppen

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Unterschiede zum Menschen wurden in PSIs Verhalten und in seiner Art der Kommunikation gesehen, vor allem die vielen gestellten Fragen ließen Zweifel an PSIs Fähigkeiten zu. Nur zwei Probanden waren der Meinung, es gäbe evtl. keinen Unterschied zwischen Menschen und PSI. Vier Probanden würden für den Einsatz in einer echten Stadt den Roboter bevorzugen, von diesen allerdings eine, da PSI zu schade für diese Arbeit ist.

Insgesamt wird PSIs Kompetenz deutlich unterschätzt. Dies könnte einerseits an PSIs Frageverhalten liegen, dass auf Dauer eintönig und wirkt und zudem viel zu häufig ist (vgl. dazu auch die Einzelfallbeschreibungen). Da PSI eigene Aktionen sehr schnell durchführt, stellt es auch sehr schnell wieder Fragen, ohne dass die Probanden Zeit zum „Ausruhen“ hatten. Zudem macht sich PSIs geringes Weltwissen in seiner Art und Weise des Probierens bemerkbar, so dass PSI oft für Menschen unlogische Reihenfolgen an Operatoren verwendet. Wo ein Mensch bei einer Wasserlache zuerst „saugen“ anwenden würde, dann vielleicht „nehmen“, „entzünden“ aber erst spät oder gar nicht, gibt es für PSI keine Gründe, die ein solches Vorgehen rechtfertigen würden. An diesen beiden Stellen besteht in PSI großer Entwicklungsbedarf.

8.2.4 Wurde der Roboter von den beteiligten Menschen eher als Werkzeug betrachtet als PSI?

In den Interviews (Vergleichsinterview, Frage I) gaben fast alle Probanden an, einen Unterschied zwischen PSI und dem Roboter bemerkt zu haben, nur eine VP (VP06) gab an, keinen Unterschied bemerkt zu haben. Vor allem PSIs Eigenständigkeit fiel den Probanden auf (11 Probanden), aber auch PSIs Bedienung durch den Spracherkennung wurde als großer Unterschied zwischen den Simulationen gesehen (7 Probanden). Eine ähnliche Verteilung ergibt sich in den Antworten auf Frage II: 14 Probanden sehen die Vorteile bzw. Nachteile beider Simulationen in PSI bzw. dem Roboter begründet, und hier vor allem in PSIs Eigeninitiative, die aber zweimal auch als Nachteil gesehen wird. Sieben Probanden sehen Vor- und Nachteile in den unterschiedlichen Bedienungsmodi. Damit wurden zwar bei fast allen Probanden ein Unterschied zwischen PSI und dem Roboter gefunden, es kann aber nicht darauf geschlossen werden, dass die Probanden PSI weniger als Werkzeug verwenden als den Roboter. Die positive Anerkennung von PSIs Eigenständigkeit beinhaltet ein verstärktes Zurückgreifen auf PSI als „Mitarbeiter“, doch zumindest eine Person (Vp06) erkennt PSI überhaupt nicht als Mitarbeiter an. Sie gibt an, sie habe keine Unterschiede zwischen PSI und dem Roboter

Kapitel 8. PSI und die Menschen

bemerkt, und belegt damit, dass PSIs Eigenständigkeit nicht notwendigerweise bemerkt werden muss.

Aus den Verhaltensdaten ergibt sich, dass zwischen 1,2 % (VP06) und 46,27% (VP15) aller Fragen PSIs mit „Nein“ beantwortet wurden und PSI somit an diesen Stellen selbst explorieren konnte. Auch dies spricht für PSI als eine Zwischenstufe zwischen Mensch und Maschine („Roboter“), da fast alle Probanden PSI zumindest gelegentlich explorieren ließen. Dazu kommt, dass die Probanden beim Roboter erheblich weniger Eingriffe tätigten als bei PSI (in der ersten Versuchsgruppe im Mittel 151 Eingriffe bei PSI, 444 beim Roboter, in der zweiten Versuchsgruppe bei PSI im Mittel 145,5 Eingriffen, beim Roboter 502). Dies ist zumindest zum Teil auch durch PSIs eigene Aktionen zu erklären, die den Probanden „Arbeit abnehmen“, auch wenn sicherlich ein Teil des Unterschieds auch auf die unterschiedlichen Eingabemodi zurückzuführen ist. Für die Handlungskategorien „Richtung“ und „Gelegenheit“ sind die mittleren Prozentwerte bei PSI höher als beim Roboter, dafür sind für Bedürfnisbefriedigung, Aktionismus und Probieren die mittleren Prozentwerte beim Roboter höher als bei PSI. Diese Unterschiede werden signifikant mit Mann-Whitney Test (vgl. Kapitel 8.2.1).

Wie sich in den Einzelfallbetrachtungen (Kapitel 8.2.6) noch zeigen wird, verhalten sich die einzelnen Versuchspersonen bei weitem nicht identisch, wie viel Eigeninitiative PSI übernehmen darf oder muss ist je nach Person sehr unterschiedlich, ebenso die Zeitpunkte, an denen diese Eigeninitiative erwünscht ist.

Als Zusammenfassung dieser Informationsquellen lässt sich der Schluss ziehen, dass viele Probanden PSI und den „Roboter“ unterschiedlich behandeln und PSI auch als Helfer einsetzen und ihm Freiheiten zugestehen. Dies gilt jedoch nicht für alle Probanden, VP06 zeigt, dass man PSI auch sehr stark unter Kontrolle halten kann, VP02 zeigt, dass man auch dem Roboter eigene Intentionen und Aktionen zuschreiben kann, die dieser an sich gar nicht zeigen kann. PSI wurde nur von einer einzigen Versuchsperson (VP06) als reines Werkzeug behandelt, alle anderen gaben auch seinen Problemlöseansätzen Raum, auch wenn sie PSI eher als nervend einschätzen (VP07).

8.2.5 Gibt es einen Lerneffekt?

In der zweiten Versuchsgruppe sammeln die Probanden mit dem Roboter erheblich mehr Gold (vgl. Graphik, auf eine statistische Auswertung wurde aufgrund des geringen N verzichtet), die zuerst mit PSI arbeiteten als die, die zuerst mit dem Roboter arbeiteten. In der ersten Versuchsgruppe gibt es diesen Effekt nicht, und es gibt ihn auch

Kapitel 8. PSI und die Menschen

nicht in der umgekehrten Richtung vom Roboter auf PSI. In beiden Versuchsgruppen zeigt sich der Effekt, dass die Probanden, die zuerst mit PSI arbeiteten mit dem Roboter mehr Löcher stopften als die Probanden, die zuerst mit dem Roboter arbeiteten. Entsprechend wäre hier auch zu erwarten, dass die Probanden mehr Löcher in der PSI-Simulation füllen, die PSI als zweite Simulation spielen, das Gegenteil ist aber der Fall: die Probanden, die zuerst die PSI-Simulation bearbeiten stopfen zusammen mit PSI mehr Löcher als die Probanden, die zuerst die Roboter-Simulation bearbeiten.

Die Anzahl der Exitusse ist jeweils für die Gruppe der Probanden geringer, die diese Simulation als zweite bearbeitet haben. Hier gibt es einen deutlichen Lerneffekt.

Die Anzahl der besuchten Orte beim Roboter ist für die Gruppen, die erst die PSI-Simulation bearbeiteten höher als für die Gruppen, die erst die Roboter-Simulation bearbeiteten. Bei der Anzahl der zusammen mit PSI besuchten Orte ergibt sich dagegen kein einheitliches Bild. In der ersten Versuchsgruppe besuchten die Probanden zusammen mit PSI mehr Orte, die zuerst die Roboter-Simulation bearbeiteten, in der zweiten Versuchsgruppe die, die zuerst die PSI-Simulation bearbeiteten.

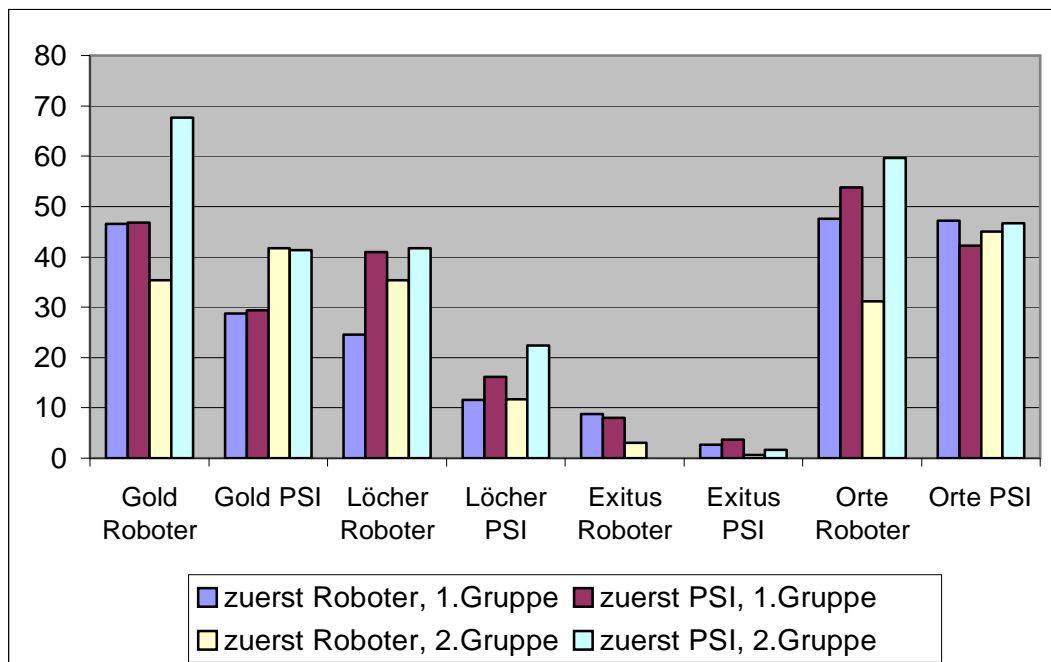


Abbildung 65: Gibt es einen Lerneffekt je nach Simulationsreihenfolge? Beide Gruppen

Die Erfahrung und das mit PSI gesammelte Wissen scheint auf die weniger komplexe Roboter-Simulation umgesetzt werden zu könne, umgekehrt scheint dies jedoch nicht der Fall zu sein. Vermutlich sind die Probanden beim Umgang mit PSI zu sehr von PSI's Eigenständigkeit und Komplexität in Anspruch genommen, um das in der Roboter-

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Simulation gewonnene Wissen anwenden zu können. Bei den basalen Bedürfnissen scheint diese Übertragung jedoch zu funktionieren, denn die Anzahl der Exitusse ist in der zweiten Simulation niedriger als bei den Probanden, die diese Simulation als erstes bearbeiteten. Die zur Bedürfnisbefriedigung dienenden Objekte sind teilweise (Lache und Medikit) in beiden Simulationen identisch, so dass hier eine direkte Übertragung von Wissen vorgenommen werden kann, während bei dem Entdecken von Gold Analogieschlüsse nötig sind- Dies erklärt jedoch nicht, warum Löcher generell häufiger von den Probanden gestopft werden, die zuerst mit PSI arbeiteten. Eine mögliche Erklärung für diesen Befund wäre, dass PSI selbständig Löcher stopft und die Probanden dieses Ziel so nicht in den Hintergrund drängen können und in der Roboter-Simulation dann „aus Gewohnheit“ weiter Löcher stopfen. Die Probanden, die zuerst mit dem Roboter arbeiteten, werden nicht ständig an dieses Ziel erinnert (es gibt – im Gegensatz zu den Goldstücken – auch keinen Zähler für gestopfte Löcher), so dass dieses Spielziel in den Hintergrund tritt.

8.2.6 Gibt es Verhaltenstypen?

Eine Typenbildung gelingt mit der eingeschränkten Datenbasis nicht. Zwar kann man die einzelnen Probanden aufgrund ihrer Bevorzugung von PSI oder dem von PSI in drei grundlegende Typen unterteilen, aber es finden sich nicht genügend Ähnlichkeiten im Verhalten, um eine weitergehende Typenbildung zuzulassen. Die drei grundlegenden Typen wären: PSI wird bevorzugt (VP17, VP11, VP02), Roboter wird bevorzugt (VP07, VP16), beide werden gleichermaßen bevorzugt (VP06, VP14, VP13).

Es gibt hier zwar Gemeinsamkeiten, so sind die beiden ausgewählten Probanden, die den Roboter bevorzugen, die einzigen, die einerseits den Weg-Da Button verwenden und andererseits nie verkoppelte Anweisungen verwenden, doch für eine Zusammenfassung zu verschiedenen Typen reicht dies nicht aus.

Jede Versuchsperson zeigt sehr spezifische Verhaltensweisen, die im weiteren erläutert werden sollen. Auch innerhalb des Versuchs bleibt das Verhalten der Probanden nicht stabil, bei insgesamt drei Versuchspersonen (VP12, VP14 und VP16) ändert sich das Verhalten während der Versuchszeit stark, allerdings in völlig unterschiedlicher Art und Weise. Um einen Überblick über das Verhalten von insgesamt acht der sechzehn Probanden zu geben, soll ihr Verhalten hier kurz dargestellt werden. Auf eine detaillierte Angabe von Zeiten etc. wurde aus Gründen der Lesbarkeit verzichtet.

VP02: Teilen von Verantwortung

Diese Versuchsperson wurde ausgewählt da sie als einzige Versuchsperson den Roboter – auch prozentual - häufiger als „er“ bezeichnet hatte als PSI. Zudem schrieb sie im Interview dem Roboter insgesamt zehnmal Tätigkeiten zu, die dieser nicht vollbracht haben kann, wie z.B. lernen („Und er hat sich dann immer ziemlich in wenigen Gebieten rumgetrieben und als er dann wusste, wo dieses Arzneischränkchen war, das eine mal, da war ich ja dann ganz glücklich, da hat er dann schon länger gelebt“, Interview nach der Roboter-Simulation, Frage 1).

Bei ihr fällt die insgesamt schlechte Gesamtleistung in allen Bereichen auf. Sie hat sowohl mit PSI als auch mit dem Roboter nur sehr wenige Goldstücke gesammelt (12 zusammen mit PSI, 29 zusammen mit dem Roboter⁴²), das ist der niedrigste Wert in dieser Gruppe für PSI und der zweitniedrigste für den Roboter. Gleichzeitig hat sie nur sehr wenige Orte gesehen (39 bei PSI, das ist der zweitniedrigste Wert in dieser Gruppe, und 27 beim Roboter, das ist der niedrigste Wert⁴³). Sie hält mit dem Roboter den „Rekord“ an Exitussen (11 Exitusse, bei einem Mittelwert von 8,1 in dieser Gruppe), hat mit PSI allerdings nur einen Exitus (Mittelwert hier 1,9). Ebenfalls wenig erfolgreich ist sie in beiden Simulationen beim Reparieren von Löchern, hier repariert sie mit 7 Löcher bei PSI und 25 beim Roboter⁴⁴ jeweils deutlich weniger als die Vergleichsgruppe (jeweils zweitniedrigster Wert).

	Richtungs- anweisungen in %	Aktionsanweisungen in %				
		Allgemein	Gelegenheit	Aktionismus	Probieren	Bedürfnis
02/PSI	70,07	29,93	21,25	0,78	1,57	6,29
02/Robo	35,75	64,25	20	1,5	34,5	8,25

Tabelle 12: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP02

Bei der Betrachtung der Verhaltensdaten dieser Versuchsperson fallen die großen Unterschiede zwischen PSI und dem Roboter in den Kategorien Probieren und Richtung auf. Während die (prozentualen) Werte der übrigen Kategorien sehr ähnlich bleiben, findet bei PSI so gut wie kein Probieren statt, dafür ist der Anteil an Richtungskommandos sehr hoch.

⁴² Die Mittelwerte für gesammelte Goldstücke in dieser Gruppe betragen 29,1 für PSI und 47,9 für den Roboter

⁴³ Die Mittelwerte für besuchte Orte in dieser Gruppe betragen 44,7 für PSI und 50,7 für den Roboter

⁴⁴ Die Mittelwerte für reparierte Löcher in dieser Gruppe betragen 18,3 für PSI und 34,6 für den Roboter

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Im Interview gibt diese Versuchsperson an, PSI wäre hilfreich, da man sich mit ihm die Verantwortung teilt. Doch wie zeigt sich dieses Verhalten in den Simulationen?

Zu Beginn beider Simulationen (sie bearbeitet zuerst die Roboter-Simulation) kämpft sie mit Bedienungsproblemen. Beim Roboter wartet sie zu Beginn auf Eigeninitiative von Seiten des Roboters, bei PSI jedoch greift sie schon bei PSIs zweiter Frage ein. Dennoch beantwortet sie PSIs Fragen auch mit „nein“ und besteht nicht auf einer ständigen Beeinflussung PSIs. Sie nutzt die Gelegenheit, aus PSIs Explorationen selbst etwas zu lernen. In diesem Stadium wird ihr gesamtes Verhalten allerdings noch stark durch Bedienungsprobleme überschattet.

Als sie das erste Mal einen drohenden Exitus bemerkt, gibt die Versuchsperson in beiden Fällen Verantwortung an PSI oder den Roboter ab. Sie lässt PSI explorieren, und stellt beim Roboter fest, dass dieser die Bedeutung von Objekten lernen muß („Er muß endlich mal rausfinden, was diese ganzen Symbole⁴⁵ bedeuten! Das ist mal klar.“). Dabei ignoriert sie –wie auch später in den Interviews – dass der Roboter an sich nicht lernen kann. Zwar korrigiert sie sich in den Interviews wiederholt („Und er hat ziemlich wenig exploriert, glaub ich bzw. ich hab ziemlich wenig exploriert“, Interview nach der Roboter-Simulation, Frage 1), schreibt dem Roboter aber immer wieder Dinge zu, die dieser nicht tun kann.

Sie tut in beiden Fällen während der ersten bemerkten Exitusgefahr Bewährtes, das zumindest ihrer Meinung nach bedürfnisrelevant ist. Zwar ist das Gras, dass sie den Roboter nehmen lässt, nicht bedürfnisrelevant, aber sie glaubt in diesem Moment, dass es den Hunger senkt. Es gibt bei PSI keine aggressiven Handlungen wie das Hämmern auf die Steckdose beim Roboter. Allerdings könnten Verhaltensunterschiede hier auch darin liegen, dass es sich um die erste Exitusgefahr bei PSI und den vierten Exitus beim Roboter handelt. Auch im Interview weist sie dem Roboter Teile der Verantwortung zu: „Das Wasser hat er auch erst mal lange nicht gefunden und wo er seinen Hunger stillen kann, das auch lange nicht“, dass er sich „an den Pfützen da laben könnte, das war mir irgendwie (lacht), lag mir ganz fern. Und er hat sich dann immer ziemlich in wenigen Gebieten rumgetrieben (...)“ (VP02, Interview zur Robotersimulation, erste Frage).

Bei ihren Objektmanipulationen zeigt sie sich mit PSI weniger experimentierfreudig, sie exploriert sowohl weniger gefährliche Objekte insgesamt als auch das unklare Objekt

⁴⁵ gemeint sind die Objekte

Kapitel 8. PSI und die Menschen

(die Pizza) weniger häufig. Sie lernt zusammen mit PSI erheblich schneller (nach 10 Minuten anstatt 28 beim Roboter), dass nur eines der beiden ähnlichen Objekte den Hunger vermindert, obwohl PSI erst nach 27 Minuten spezifisch nach diesem Objekt fragt. Dagegen übernimmt sie von PSI nicht die Kenntnis um die in der Pizza versteckten Goldstücke. Auch dies spricht für die Theorie, dass die Versuchsperson bei PSI weniger experimentierfreudig ist, da sie die Pizza nur mit einem Operator exploriert und sich ihren Nutzen nicht merkt. Dies wird ergänzt durch Anzeichen dafür, dass der Versuchsperson Goldstücke nicht wichtig sind, und sie sich daher nicht merkt, wozu die Pizza gut ist und aufgrund ihrer Vorsicht die Pizza nicht weiter exploriert und auch nicht besonders aufpasst, was PSI tut: Sie hat mit 12 Goldstücken bei PSI und 17 Goldstücken beim Roboter die niedrigste Anzahl gefundener Goldstücke bei PSI und die zweitniedrigste beim Roboter (jeweils in dieser Versuchsgruppe). Die geringere Explorationsfreudigkeit in der PSI-Simulation kann weiterhin mit dem Abgeben an Verantwortung an PSI erklärt werden. Probieren ist definiert als das Ausprobieren neuer Operatoren auf Objekte, und damit ist der Versuchsperson zu diesem Zeitpunkt unklar, welche Ergebnisse auf eine Handlung folgen. Diese Unbestimmtheit lässt sich umgehen durch ein Abtreten dieser Aktionen an PSI, damit ist die VP für die Resultate nicht mehr direkt verantwortlich. Auf den ersten Blick scheint dem entgegenzusprechen, dass sie zusammen mit dem Roboter sowohl den höchsten prozentualen Wert für die Kategorie „Probieren“ hat, als auch den höchsten absoluten Wert. Der hohe Exitus-Wert dieser Versuchsperson lässt aber den Rückschluss auf ein „Probieren aus Mangel an Alternativen“ zu: die VP wird durch die Exitusse immer wieder auf ihr Nichtwissen hingewiesen und erlernt beispielsweise erst nach 28 Minuten den Unterschied zwischen den beiden Ähnlichen Objekten. Dies weist auf einen, auf Grund von hohem Bedürfnisdruck entstandenen, geringen Auflösungsgrad hin, dessen Resultat nicht ein gezieltes Ausprobieren von Interessantem, sondern ein wahlloses Herumprobieren ist. In der PSI-Simulation tritt dieser Effekt weniger stark ein, da PSI einige Aufgabe übernimmt und der VP auch Verantwortung abnimmt. Damit ist der von ihr wahrgenommene Bedürfnisdruck geringern, und der Auflösungsgrad sinkt weniger stark.

Im weiteren Verlauf des Versuches (20. bis 22. Minute) ist ihr Vorgehen beim Roboter durch Exploration von Objekten und Problemen mit der Karte gekennzeichnet. Die häufigen Nein-Antworten bei PSI könnten einerseits aufgrund der häufigen Missverständnisse aus Frustration entstanden sein, aufgrund ihrer Angaben im

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Interview ist es jedoch wahrscheinlicher, dass es sich um das schon in den ersten drei Minuten zu beobachtende „Wegschieben“ der Verantwortung handelt.

Sie antwortet PSI insgesamt 74-mal mit „nein“ (das sind 37% der Gesamtantworten, ein überdurchschnittlicher Wert), davon aber 46-mal auf Wozu-Fragen. Bei Wozu-Fragen fehlt den Probanden in aller Regel das Wissen, um eine andere Antwort zu geben. Zweimal antwortet sie ganz am Anfang des Spiels mit „nein“, als PSI noch nicht genügend Wörter kennt, um Antworten zu verstehen. Ihr Nein-sage Verhalten ändert sich schlagartig nach dem ersten Exitus PSIs. Vor diesem Exitus sagte sie neunmal „nein“ bei sehr hohem Bedürfnisdruck (Bedürfnisstärke über 0.85) und nur dreimal in anderen Situationen. Danach sagt sie nie mehr bei hohem Bedürfnisdruck „nein“, aber insgesamt noch 14 mal (der Exitus findet nach 18 Minuten statt). Das Nein-sage-Verhalten vor dem ersten Exitus passt zur sich schon in den ersten drei Minuten abzeichnenden Tendenz des „Abtreten der Verantwortung“ an PSI. Bestätigt wird diese Interpretation auch von den Aussagen der VP im Interview. Dort gibt sie an, dass PSI hilfreich ist, weil sie mit ihm die Verantwortung teilen kann. PSI funktioniert dann gut, wenn man ihm hilft, wenn seine Bedürfnisse hoch sind, und es sich selbst überlässt, wenn die Bedürfnisse niedrig sind. Da die VP hier genau das entgegengesetzte möchte (PSIs Hilfe, wenn die Dinge schlecht stehen und Eigenaktivität, wenn alles gut ist) gibt es zu Beginn Probleme, die sich dann aber aufklären, als sie nach dem ersten Exitus PSI nur noch in Situationen niedrigen Bedürfnisdrucks Nein-Antworten gibt, obwohl es durchaus noch Situationen hohen Bedürfnisdrucks gibt.

Im Interview gibt die VP an, dass PSI mit der Zeit immer mehr mitgeholfen hat und dass es hilfreich ist, PSI zu beobachten. Ihre Nein-Antworten in der zweiten Versuchshälfte könnten auf ein größeres Vertrauen in PSI zurückzuführen sein. Sie nimmt auch Impulse von PSI auf (vgl. z.B. erste bemerkte Exitusgefahr PSI) und beobachtet PSIs Eigenaktivitäten (vgl. beispielsweise die erste drei Minuten der PSI-Simulation).

Gleichzeitig gibt die VP im Interview auch an, dass PSI manchmal schwierig zu kontrollieren sei und sie gelegentlich gerne eine Stopp-Taste gehabt hätte, mit der sie PSI von allzu großen Explorationen hätte abhalten können. Den tatsächlich vorhandenen Weg-Da Button verwendet sie dagegen nie. Sie löst „Streitsituationen“ mit Doppelanweisungen (d.h. Anweisungen wie „nach Norden Situation Norden Situation“, in denen zwei oder mehr Richtungsbefehle aneinander gereiht werden) und bringt PSI

Kapitel 8. PSI und die Menschen

so von dem Ort weg, an dem es etwas Interessantes gefunden hat. Doppelanweisungen reduzieren die Chance, das PSI sofort in die alte Situation zurückläuft, beträchtlich, da diese – alte – Situation nun schwieriger zu erreichen ist.

Bei PSI zeigt sich bei ihr das Problem des Spracherkenners deutlich: der Spracherkennung missversteht ihre Äußerungen, sie bemüht sich darauf häufig, besonders deutlich zu sprechen, und der Spracherkennung versteht sie noch schlechter, da dieser Spracherkennung auf einen „normalen“ Tonfall optimiert ist. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Gustafson & Bell (2000), auch bei ihnen tendierten die Probanden bei Missverständnissen mit dem Spracherkennung dazu, extrem deutlich zu sprechen, was den Spracherkennung aber nur noch mehr durcheinander bringt.

Die VP überlässt PSI große Teile der Verantwortung. Dafür spricht, dass sie bei PSI sehr viel mehr Richtungsanweisungen gibt und weniger probiert als beim Roboter. Sie übernimmt damit bei PSI eher die grobe Steuerung, überlässt aber den potentiell gefährlichen bzw. nützlichen Dingen – die Exploration von Objekten – eher PSI. Zusätzlich übernimmt sie Impulse von PSI und gibt auch im Interview an, dass sie Verantwortung an PSI abgeben kann. Sie kommt mit PSI besser zurecht als mit dem Roboter, bei dem sie unter Zugzwang steht und Probleme selbst lösen muß. In beiden Simulationen ist sie wenig erfolgreich, sie probiert mit dem Roboter sehr viel, versucht aber auch im Interview, Verantwortung an den Roboter abzugeben. Auffällig ist der hohe Anteil an Äußerungen, in denen sie eigene Aktionen dem Roboter zuschreibt. Sie unterstellt dem Roboter, er würde selbständig Aktionen tätigen und beispielweise lernen. Damit schafft sie es, auch dem Roboter einen Teil der Verantwortung zuzuschreiben. Mit PSI kann sie dagegen eine eigene Strategie entwickeln, sie lernt schneller, wie man Bedürfnisse befriedigen kann und kommt nach dem ersten Exitus auch in eine Routine, in der sie Bedürfnisbefriedigung übernimmt und PSI explorieren lässt, wenn die Bedürfnisse gerade niedrig sind. Sie konzentriert sich in beiden Simulationen eher auf Bedürfnisse als auf Aufgaben, so dass sie auch bei PSI nicht entdeckt, dass aus dem unklaren Objekt (der Pizza) ein Goldstück genommen werden kann, obwohl sie sonst durchaus Impulse von PSI übernimmt.

06: Was nicht sein kann...

Diese Versuchsperson wurde ausgewählt, da sie im Interview angab, keinen Unterschied zwischen PSI und dem Roboter zu sehen: „Also, ich muss ganz ehrlich sagen, ich hab zwischen PSI und dem Roboter, hab ich da jetzt net so viel Unterschiede

Kapitel 8. PSI und die Menschen

festgestellt“ (Vp06, Vergleichinterview, letzte Frage). Diese Versuchsperson hat sehr unterschiedliche Werte in den Erfolgskriterien erreicht. Sie hat mit dem Roboter in dieser Versuchsgruppe die meisten Goldstücke gesammelt und Orte gesehen (65 Goldstücke und 58 Orte, Mittelwerte: 44,9 und 50,7), mit PSI hat sie hier den dritthöchsten Wert bei den Goldstücken (38 bei einem Mittelwert von 19,1) und den vierthöchsten bei der Anzahl der Orte (48 bei einem Mittelwert von 44,7). Mit zehn Exitussen hat sie den zweithöchsten Exituswert beim Roboter in dieser Simulation (Mittelwert 8,1) und mit 2 Exitussen bei PSI einen mittleren Wert (Mittelwert 1,9).

	Richtungs- anweisungen in %	Aktionsanweisungen in %				
		Allgemein	Gelegenheit	Aktionismus	Probieren	Bedürfnis
06/PSI	45,39	54,61	36,8	0	15,33	2,45
06/Robo	43,08	56,92	30,8	4,24	6,47	15,4

Tabelle 13: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP06

Die Verhaltensdaten der Versuchsperson sind sich in beiden Simulationen in soweit ähnlich, dass sie jeweils in etwa zur Hälfte auf Aktionen und Lokomotionen entfallen, die für die PSI-Simulation sonst typische Schwerpunktbildung auf Richtungsbefehlen entfällt. Sehr unterschiedlich ist jedoch die Aufteilung innerhalb der Aktionen: Das Ergreifen von Gelegenheiten macht jeweils einen großen Teil der Aktionen aus, darüber hinaus liegt in der PSI-Simulation das Schwergewicht auf Probieren (untypische für die PSI-Simulation), in der Roboter-Simulation dagegen auf Bedürfnisbefriedigung (typisch für die Roboter-Simulation). Sie hat den höchsten Prozentwert für Bedürfnisbefriedigung beim Roboter in dieser Gruppe, alle anderen Werte bewegen sich im Mittelfeld. Trotz ihrer Aussage, keine großen Unterschiede zwischen PSI und dem Roboter feststellen zu können, unterschieden sich ihr Verhalten deutlich voneinander.

Zu Beginn sind beide Verläufe sich sehr ähnlich, die VP scheint jeweils Herr der Situation zu sein und geht sehr geplant vor. Allerdings weicht ihr Verhalten in mehreren Punkten auch ab: sie wiederholt beim Roboter Aktionen mehrfach, obwohl keinerlei Bedarf für diese Aktionen besteht (Trinken aus Lachen) und tut das selbe bei PSI. Hier scheint sie nicht zu merken, dass das „Nehmen“ einer Lache keinen Einfluss auf die Bedürfnislage PSIs hat. Dies erlaubt die Interpretation, dass die Ruhe der Versuchsperson nur vordergründig ist, sie durch das Wiederholen gleicher Handlungen ihre Sicherheit in der Situation erhöhen möchte.

Kapitel 8. PSI und die Menschen

In den ersten von ihr bemerkten kritischen Situationen (Exitusgefahr) ist die Versuchsperson sehr goldzentriert, aber bei PSI weniger aufmerksam, da sie einige Goldstücke liegen lässt. Zudem exploriert sie in dieser Situation mit PSI weniger, was bei ihr untypisch ist, da sie ansonsten annähernd gleiche Probieren-Werte (hier Totalwerte, keine Anteilswerte) bei PSI und dem Roboter hat. Zudem rührt sie ein neues Objekt, die Ratte, mit PSI nicht an.

Bei der Objektmanipulation zeigt sich diese VP weniger aufmerksam und weniger experimentierfreudig mit PSI. Zwar sind die Verläufe bei den gefährlichen Objekten sehr ähnlich, aber sowohl bei den Ähnlichen Objekten als auch bei den unklaren Objekten zeigt sich, dass die VP diese Objekten in der PSI-Simulation weniger exploriert und länger benötigt, um ihren Zweck herauszufinden. In der PSI-Simulation findet sie zwar heraus, dass man aus einer Pizza ein Goldstück holen kann, wendet dieses Wissen aber nie wieder an, während sie das äquivalente Wissen beim Roboter schnell erwirbt und gezielt verwendet.

Im weiteren Verlauf (20. bis 22. Minute) finden sich zwischen beiden Episoden kaum Unterschiede, ausgenommen, dass bei PSI ein Goldstück liegen bleibt und beim Roboter Aktionismus⁴⁶ auftritt.

Bei dieser VP fällt vor allem auf, dass sie PSI nicht selbst explorieren lässt. Sie gibt insgesamt nur zweimal „nein“ als Antwort, das ist das absolute Minimum an Nein-Antworten. Jede VP muss zu Beginn zweimal auf PSIs Fragen mit „nein“ antworten, damit PSI die Chance hat, genügend Wörter zu lernen, um Antworten zu verstehen. Diese beiden Nein-Antworten bleiben auch ihre einzigen. Sie reagiert auch kaum auf PSIs Eigenaktivität und ignoriert PSIs Eigenständigkeit so gut wie möglich („Warum fährt er jetzt wieder dahin zurück? Da will *ich* doch gar nicht hin!“). Dies passt zu ihren Aussagen im Interview, wo sie angibt, keinen Unterschied zwischen PSI und dem Roboter bemerkt zu haben.

Dafür spricht, dass sich ihr Handeln in den Überblicken (erste drei Minuten, 20. bis 22. Minuten, erste Exitusgefahr) bei PSI und dem Roboter kaum voneinander unterscheidet. Was allerdings auffällt ist ihre weitaus geringere Effektkontrolle bei PSI: sie lässt Goldstücke liegen und bemerkt Unterschiede zwischen Objekten erst viel später. Sie geht hier mehr von ihren Erwartungen aus als von dem, was tatsächlich passiert. Eine

⁴⁶ Hier definiert als vorgenommene Bedürfnisbefriedigung, wenn die Bedürfnisstärke unter 10% liegt.

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Ursache für dieses Vorgehen könnte der Versuch sein, PSIs Eigenaktivität zu unterdrücken, da diese unter Umständen ihre eigene Kompetenz mindern könnte. Sie lässt sich nur ungern auf den Gedanken ein, PSI hätte Emotionen und Bedürfnisse: „Naja, irgendwie hat man bei dem PSI, denkt man eher so, dass es eine Person ist, also, weil doch dieses Gesicht so aufleuchtet und so und da, ähm, fällt es vielleicht leichter, dem Emotionen zu unterstellen, also, ich mein, ich kann da sowieso nichts damit anfangen, Robotern Emotionen zu unterstellen, aber, ähm, wenn man da so ein Gesicht vor Augen hat, das dann mitleidet, wenn, wenn's Hunger hat oder so, dass ist dann irgendwie, irgendwie eindeutiger, also, oder, fällt dann leichter, dem Emotionen zu unterstellen.“ (Aus Frage II des Vergleichsinterviews), eventuell achtet sie bei PSI nicht so genau auf dessen Reaktionen, um PSIs Selbständigkeit nicht zur Kenntnis nehmen zu müssen.

Beim Roboter dagegen betreibt sie Aktionismus, wenn auch nicht übermäßig stark (4,24% ihrer Tätigkeiten fallen in diese Kategorie, das ist ein mittlerer Wert). Es fällt auf, dass sie in absoluten Zahlen mit PSI und dem Roboter fast gleich häufig probiert (25 PSI, 29 Roboter), was aber bei den – wie bei allen Probanden – sehr viel geringeren Eingriffshäufigkeiten bei PSI einen sehr hohen Anteil an Probieren bei PSI bedeutet (15,33% bei PSI ist der höchste Wert in dieser Versuchsgruppe). Ein sehr ähnlicher Wert in absoluten Zahlen bedeutet beim Roboter einen Prozentwert von 6,47% und damit den zweitniedrigsten Wert dieser Gruppe. Ausgeglichen wird dies durch einen extrem geringen Prozentwert an Bedürfnisbefriedigung bei PSI (2,45%, Minimum dieser Gruppe) und einen hohen Wert dafür beim Roboter (15,4%, dritthöchster Wert dieser Gruppe). Die anderen Werte bleiben im mittleren Bereich.

Sie gibt im Interview an, keinen Unterschied zwischen PSI und dem Roboter bemerkt zu haben, und sie verhielt sich auch in den vorgestellten Zeitabschnitten sehr ähnlich, ist allerdings bei PSI weniger aufmerksam. Ihre Aufmerksamkeit könnte von Informationen über PSI und dessen Aktivitäten beansprucht worden sein. Dies ist aber wenig wahrscheinlich, da sie keinen Unterschied zwischen PSI und dem Roboter benennen konnte und auch PSI keine Nein-Antworten gab. Zusätzlich probiert sie mit PSI sehr viel und kümmert sich wenig um die Bedürfnisbefriedigung, d.h. sie folgt PSIs Anweisungen kaum (Bedürfnisbefriedigung ist definiert als die Befriedigung des momentan stärksten Bedürfnisses, d.h. des Bedürfnisses, nach dem PSI fragt). Um PSIs Eigenständigkeit so völlig ignorieren zu können, muss die VP einen großen Teil der Umgebungsinformationen ausblenden, und dies ermöglicht auch eine Erklärung für ihr

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Verhalten gegenüber den Objekten: nicht nur unerwünschte Informationen über PSIs Eigenständigkeit werden ausgeblendet, sondern auch – eigentlich erwünschte – Informationen über Objekte und die Umgebung.

VP07: PSI als Hindernis

Diese Versuchsperson wurde ausgewählt, da sie sich durch PSIs Ansprüche gestört fühlte und den Roboter bevorzugte („Also, [ich bin mit dem Roboter] besser [zurecht gekommen] wie mit diesem PSI-Viech (lacht), muss ich sagen, weil eben er net ständig irgendwelche selber Ansprüche da anmeldet, sondern einfach macht, was man ihm sagt und das war eigentlich auch von der Umgebung her einfacher, da immer weng was zu finden, das war nicht ganz so frustrierend, du hast immer MediKits gesucht und da hat man dann schon ein paar mehr gefunden wie in dem vorher, fand ich.“ Interview nach der Roboter-Simulation, 2. Frage) Zudem fand sie PSIs Fragestellungen nervig: „Also, ich fand ihn eher nervig (lacht). Äh, warum, ja, weil er eben ständig immer diese: ‚Wo-Baum?, Wo-Baum?, Wo-Lache?‘ sonst was und: ‚Was tun Hunger?‘“, das war dann teilweise mit der Zeit, nach ner längeren Zeit dacht ich mir: ‚Mein Gott, jetzt sei halt mal ruhig.‘“.

Die Leistungsdaten dieser Versuchsperson sind für PSI und den Roboter sehr unterschiedlich und reflektieren ihre Wertschätzung der Agenten. Sie sammelt weder mit PSI noch mit dem Roboter besonders viele Goldstücke (16 zusammen mit PSI, das ist der zweitniedrigste Wert in dieser Gruppe, und zusammen mit dem Roboter 11, das ist der niedrigste Wert in dieser Gruppe⁴⁷), und sie besucht mit beiden Agenten wenige Orte (29 bei PSI, das ist der niedrigste Wert dieser Gruppe, und 48 mit dem Roboter⁴⁸). Völlig unterschiedliche Werte erreicht diese Versuchsperson bei der Anzahl der Exitusse mit PSI und dem Roboter. Während sie mit PSI insgesamt drei Exitusse hat (einer der höchsten Werte dieser Gruppe), hat sie mit dem Roboter „nur“ sieben Exitusse (niedrigster Wert dieser Gruppe). Ebenso deutlich unterschieden sich die Anzahlen der geflickten Löcher. Dies sind bei PSI lediglich zwei (bei einem Gruppenmittelwert von 18,3), beim Roboter dagegen 46 (bei einem Gruppenmittelwert von 34,6). Dies ist der Minimalwert für PSI in dieser Gruppe und der Maximalwert für den Roboter.

⁴⁷ Die Mittelwerte für gesammelte Goldstücke in dieser Gruppe betragen 29,1 für PSI und 47,9 für den Roboter

⁴⁸ Die Mittelwerte für besuchte Orte in dieser Gruppe betragen 44,7 für PSI und 50,7 für den Roboter

Kapitel 8. PSI und die Menschen

	Richtungs- anweisungen in %	Aktionsanweisungen in %				
		Allgemein	Gelegenheit	Aktionismus	Probieren	Bedürfnis
07/PSI	79,85	20,15	7,46	0	6,71	5,22
07/Robo	58,35	41,65	28,37	6,86	1,83	4,57

Tabelle 14: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP07

Bei der Betrachtung der Verhaltensdaten fallen der extrem hohe Wert für Richtungsangaben und der extrem niedrige Wert für das Ergreifen von Gelegenheiten bei PSI (Extremwerte in dieser Gruppe) und die extrem geringe Wert für Probieren und Gelegenheit (jeweils Minimalwerte in dieser Gruppe) sowie der sehr hohe Wert für Aktionismus (Maximalwert in dieser Gruppe) beim Roboter auf.

Mit PSI ist die erste Phase dadurch gekennzeichnet, dass die VP nicht entscheiden, aber PSI dennoch kontrollieren zu wollen scheint. Ihr Verhalten könnte dadurch erklärt werden, dass die VP bemüht ist, ihre Unsicherheit zu bekämpfen. Beim Roboter tut sie dies, indem sie nur ganz bestimmte Dinge tut, diese auch wiederholt und indem sie nach ihrem „Vorwissen“ handelt (Pflanzen und Fische nimmt man, aus Lachen saugt man), bei PSI dadurch, dass die VP PSI sich selbst überlässt und es stoppt, wenn es ihr zu selbständig wird, in diesem Fall, wenn es zu viele Operatoren auf ein Objekt anwendet.

Bei den ersten von ihr wahrgenommenen Exitusgefahren verhält sie sich in beiden Situationen sehr ähnlich, sie konzentriert sich jeweils auf Lokomotionen und versucht, allgemein Bedürfnisse zu befriedigen – allerdings nicht die exitusrelevanten.

Die Exploration von Objekten ist bei ihr zusammen mit PSI und zusammen mit dem Roboter extrem ähnlich: sie exploriert mit beiden zusammen nur die möglicherweise bedürfnisrelevanten der gefährlichen Objekte, sie braucht in beiden Simulationen lange, um den Unterschied zwischen den Ähnlichen Objekten zu entdecken, und sie verwendet in keiner Simulation die unklaren Objekte (Pizza und Cola). Unterschiede bestehen hier im etwas geringeren Auflösungsgrad bei PSI (sie bemerkt erst nach mehreren Durchgänge, dass der Operator „nehmen“, auf die Flasche angewandt, keinen Effekt hat, und sie versucht mehrfach die Pizza zu nehmen) und der generelle Tendenz, sich bei PSI kaum mit der Bedürfnisbefriedigung zu beschäftigen (es gibt insgesamt nur eine Aufforderung an PSI, einen Akku zu nehmen).

Im weiteren Verlauf (20. bis 22. Minute) macht die VP unter keiner der beiden Bedingungen den Eindruck, ein übergeordnetes Ziel zu verfolgen. Sie scheint vor allem

Kapitel 8. PSI und die Menschen

zu reagieren und Gelegenheiten zu ergreifen. Mit PSI befindet sie sich in einer Situation, in der sie mit ihren Kenntnissen PSIs Bedürfnis nicht befriedigen kann, daher versucht sie, irgend etwas zu tun, in der Hoffnung, dass es etwas ist, das gut für PSI ist. PSI stellt hier immer wieder die Frage „Wastun Liebhaben?“, auf die die VP die Antwort nicht kennt. Da die VP ein Ziel – das flicken von Löchern – völlig vernachlässigt hat, weis PSI nicht, womit es sein Affiliationsbedürfnis⁴⁹ befriedigen kann, und für die VP ist dies schwierig herauszufinden. In der Simulation mit dem Roboter scheint sie zwar die Richtungen betreffend unsicher zu sein, gleichzeitig hat sie jedoch Routine für das Ergreifen von Gelegenheiten und das Befriedigen von Bedürfnissen entwickelt.

Insgesamt 19,76% Nein-Antworten sind ein mittlerer Wert. 14 dieser (insgesamt 33) Nein-Antworten werden nicht auf Wozu-Fragen gegeben, und davon werden neun in den ersten fünf Spielminuten gestellt. Von den restlichen fünf Nein-Antworten werden vier auf „Wastun Liebhaben?“ – Fragen gegeben.

PSIs Extratouren verfolgt sie genau, sie lässt sich dadurch nicht zu sehr aus der Ruhe bringen, schickt PSI aber wieder zurück sobald es seine Eigenaktivitäten beendet hat. Sie verwendet allerdings auch zweimal den Weg-Da Button, wenn auch nur einmal mit Erfolg (in den ersten drei Minuten). Bei einem „Streit“ mit PSI schickt sie PSI erst wiederholt in die Richtung, aus der es gerade wieder zurückgekommen ist, und gibt erst später nach.

Sie überlässt bei PSI Aktionen zu großen Teilen ihm und nimmt überwiegend Richtungsanweisungen vor. Sie ist die VP, bei der PSI die meisten Wastun-Fragen stellt (60), was vor allem auf die „Wastun Liebhaben?“ – Fragen zurückzuführen ist. Diese sind bei ihr sehr häufig, da sie die Aufgabe, Löcher zu stopfen, völlig vernachlässigt, und so weder PSI noch sie wissen, wie man PSIs Affiliationsbedürfnis senkt, und auch lange Zeit brauchen, um dies durch Zufall herauszufinden. Der ständige hohe Bedürfnisdruck bei PSI führt zu einem „hektischen“ Verhalten des Agenten, dazu kommen noch die für die VP unverständlichen Fragen. Im Interview gab die VP entsprechend an, PSI sei nervig, probiere wild rum und würde eigene Ansprüche anmelden.

⁴⁹ PSI befriedigt sein Affiliationsbedürfnis durch das reparieren von Löchern in der Kanalwand. Dies ist als sozial erwünschte Tätigkeit zu verstehen, für die PSI mit „Zuneigung“ belohnt wird.

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Sie über- und unterfordert PSI gleichermaßen. PSI kann zwar für sich selbst sorgen, macht aber gerade am Anfang dann auch scheinbar unsinnige Aktionen – schließlich muß PSI, genau wie die VP, am Anfang erst herausfinden, welche Objekte für was nützlich sind. Zudem wird PSI bei hohem Bedürfnisdruck hektisch und der Auflösungsgrad sinkt. Da PSI bei ihr lange nicht weiß, wie es sein Affiliationsbedürfnis befriedigen kann (daher die „Wastun Liebhaben“ – Fragen), ist bei ihr hier der Bedürfnisdruck sehr hoch und es reagiert entsprechend hektisch. In Zeiten niedrigen Bedürfnisdrucks dagegen kann PSI sehr gut selbst explorieren und Dinge herausfinden. Die VP gibt Nein-Antworten nur, wenn sie selbst unsicher ist, und das fällt mit PSIs hohem Bedürfnisstand bzw. Unwissen am Anfang der Simulation zusammen. PSI und die VP haben sich gegenseitig gestört. Die VP kann durch PSIs Eigenaktivität nicht so auf Gelegenheiten reagieren wie sie es mit dem Roboter kann und wird dadurch weiter verunsichert, und PSI kann nicht genug explorieren, um selbst Wissen zu erwirben und eine bessere Hilfe zu werden.

Sie gibt PSI viele Nein-Antworten und ist während der PSI-Simulation auch weniger aufmerksam als während der Roboter-Simulation. Bei PSI vernachlässigt sie eine Aufgabe (Löcher reparieren) völlig und erleidet viele Exitusse mit PSI, aber nur wenige mit dem Roboter. Sie möchte die Kontrolle über PSI haben (sie benutzt den Weg-Da Button), es gleichzeitig aber auch als Hilfe zum Problemlösen einsetzen. Die vielen Fragen, die PSI zum Lernen benötigt, empfindet sie als nervig. PSI ist ihr gleichzeitig zu viel und zu wenig selbständig. Einerseits scheint sie PSI machen lassen zu wollen, andererseits scheint sie PSI nicht zuzutrauen, alleine zurecht zu kommen, dies gibt sie auch im Interview an

VP11: PSI als willkommene Ergänzung

Diese Versuchsperson wurde ausgewählt, da sie im Vergleichsinterview angab, PSI wäre eine Ergänzung und könnte Fehler der VP ausbügeln: „Ja, also, PSI ist halt, ähm, viel, viel schöner mit, mit ihm zu arbeiten quasi, weil er halt auch irgendwie sei, seine eigene Intelligenz eben hat und weil er eben auch, äh, selber Entscheidungen treffen kann und nicht, ähm, nur so blind rumläuft, sondern eben auch selber exploriert. (...) PSI kann dann meine Fehler quasi ausbessern und beim Zweiten, wenn ich halt jetzt Mist baue und eben mich, mich auf der Karte nicht auskenne, dann macht der Roboter eben auch gar nichts und kann mir nicht weiterhelfen, und beim ersten ist es halt, äh,

Kapitel 8. PSI und die Menschen

dann, dann schön irgendwie, dass er halt dann auch meine Unzulänglichkeiten zu einem gewissen Grad ausbügeln kann“ (Vergleichinterview, 2. Frage).

Diese Versuchsperson zeigt in beiden Simulationen gleichmäßig mittlere Leistungen (im Vergleich zu ihrer Gruppe), es fällt auf, dass sie mit dem Roboter „nur“ sieben Exitusse hat, was in dieser Gruppe ein geringer Wert ist, und mit insgesamt 45 geflickten Löchern beim Roboter hier den zweithöchsten Wert hat. Bei PSI befinden sich alle Werte im mittleren Bereich.

	Richtungs- anweisungen in %	Aktionsanweisungen in %				
		Allgemein	Gelegenheit	Aktionismus	Probieren	Bedürfnis
11/PSI	59,01	40,99	20,76	0	14,75	5,46
11/Robo	59,89	40,11	18,52	0	12,76	8,81

Tabelle 15: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP11

Beim Betrachten ihrer Verhaltensdaten fällt auf, dass sich diese bei PSI und dem Roboter extrem ähnlich sind. Dabei finden sich bei dieser Versuchsperson der höchste Wert für Richtungsbefehle in dieser Gruppe für den Roboter.

Die VP macht zu Beginn beider Simulationen einen sehr zielstrebigem Eindruck, sie exploriert Objekte mit mehreren Operatoren. Dabei probiert sie allerdings bei PSI weniger aus als beim Roboter. In beiden Simulationen versucht die VP bei der ersten bemerkten Exitusgefahr, Objekte zu explorieren um das exitusrelevante Bedürfnis zu senken. Bei PSI geht sie dabei eher spezifisch vor, beim Roboter eher breit. Einen Grund für dieses Verhalten könnten die Zusammenbrüche aufgrund von Hunger und Schaden darstellen, da Essbares weit breiter definiert ist als das Instrument zur Schadensbehebung, der Medikit. Die VP11 gehört zu den drei Probanden dieser Gruppe, die mit PSI (prozentual) mehr probieren als mit dem Roboter, wenn auch in ihrem Fall mit 14,75% bei PSI und 12,76% beim Roboter nicht allzu viel mehr. Allerdings ist VP11 die einzige, bei der *beide* Werte über 10% liegen.

Bei der Objektexploration ist sie mit PSI zunächst vorsichtiger, sie exploriert nicht alle Objekte, entdeckt aber auch nie oder erst spät, dass Schaden verursacht wird. Beim Roboter ist sie unvorsichtiger, aber aufmerksamer. Sie exploriert alle Objekte und entdeckt – wenn auch erst nach mehrfachen probieren – dass sie Schaden verursachen. Auch bei den Ähnlichen Objekten benötigt sie mit PSI mehr Zeit, um Zusammenhänge zu erkennen. Sie entdeckt in der Roboter-Simulation nie, dass in der Coladose ein

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Goldstück liegt, auch wenn sie die Coladose exploriert. PSI dagegen entdeckt das Goldstück und verwendet das Wissen um wiederholt Goldstücke aus Pizzen zu holen. Die VP wendet dieses Wissen nie an, es ist unklar, ob sie die Verwandlung der Pizza in ein Goldstück überhaupt bemerkt.

Der weiteren Verlauf (20. bis 22. Minute) ist sehr routiniert und das Verhalten in beiden Simulationen ist sich sehr ähnlich. Der einzige Unterschied besteht in einer Explorationsphase PSIs, die durch den Nein-Click der VP zustande kam und an Stelle einer gedanklichen Exploration beim Roboter trat.

Die VP sagt mit 51 mal (21,79%) „nein“, dieser Wert befindet sich im Mittelfeld. Davon sagte sie 33-mal bei Wastun- oder Wo-Fragen „nein“. Bei hohem Bedürfnisdruck sagt sie nur dreimal „nein“. Dagegen sagt sie meist in Situationen „nein“, in denen entweder PSI gerade etwas selbständig macht (siebenmal, dazu kommen noch sieben Nein-Antworten, die auf andere Nein-Antworten folgen) oder nach erfolglosen eigenen Aktionen (fünfmal nach einem Missverständnis mit PSI, neunmal nachdem PSI eine angeordnete Aktion ausgeführt hat, diese aber nicht erfolgreich war). Diese Strategie entspricht den Aussagen der VP im Interview: PSI kann Fehler der VP ausgleichen und wird so vor allem dann eingesetzt, wenn es gerade erfolgreich tätig ist oder die VP in einer Situation selbst nicht weiter weis.

Entsprechend verwirren die VP auch PSIs Extratouren nicht. Sie beobachtet PSI nicht immer, sondern verwendet die Zeit für eigene Planungen. Sie versucht aber auch, während PSIs Extratouren Wahrgenommenes für sich zu verwenden. So bemerkt sie bei einer Extratour PSIs (beginnend bei 10:17 nach Spielbeginn), dass dieses an einer Lache vorbeigelaufen ist, und schickt PSI dann zu dieser Lache zurück. Beim ersten Konflikt mit PSI gibt sie nach und schickt PSI sofort in eine andere Richtung und nicht wiederholt in die Richtung, aus der es gerade zurückgelaufen ist.

Die VP stellt den „Rekord“ bei der Anzahl der ihr gestellten Wo-Fragen auf (191) und hat mit insgesamt 234 an sie gestellten Fragen den insgesamt zweithöchsten Wert. Da sich hier nur durchschnittlich viele Wozu-Fragen finden (21) und nur ein mittlerer Wert an Nein-Antworten spricht dies dafür, dass sie ihr gestellte Fragen sehr schnell beantwortet hat. Ein Grund dafür könnte sein, dass sie PSI das Feld überlässt, wenn sie nicht mehr weiter weiß, ansonsten aber selbst steuert. Damit fallen lange Reflexionszeiten und die vorhandene Zeit wird effektiver ausgenutzt.

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Im Interview gibt die VP an, dass PSI ihre Fehler ausgleichen kann. Sie scheint dies zu nutzen, um PSI in Situationen einzusetzen, in denen sie nicht mehr weiter weis, und um sich selbst weniger um die genauen Funktionen von PSIs Umwelt zu kümmern (siehe Ergebnisse gefährliche Objekte, ähnliche Objekte). Dies erlaubt es ihr, ihr generelles Vorgehen im Vergleich PSI / Roboter nicht zu ändern (daher die sehr ähnlichen Werte in den Verhaltensdaten), aber PSI als Zusatzversicherung zu betrachten.

Sie verfolgt in beiden Simulationen ihre eigene Strategie ohne sich von ihrem „Mitarbeiter“ darin maßgeblich beeinflussen zu lassen und exploriert viel. Sie gibt auch in Situationen hohen Bedürfnisdruckes Nein-Antworten und ist in der PSI-Simulation weniger aufmerksam. Vor allem gibt sie Nein-Antworten, wenn PSI gerade erfolgreich selbständig etwas tut oder sie keine Ideen mehr hat, und damit, um PSI Fehler ausgleichen zu lassen.

VP13: PSI als Hilfe und Entlastung

Diese Versuchsperson wurde ausgewählt, da sie an beiden Agenten Vor- und Nachteile sieht und unterschiedliche Schwerpunkte für den Einsatz beider Agenten sieht. So würde sie für ein echtes Kanalsystem zuerst den Roboter und dann erst PSI einsetzen, „weil man dann vielleicht, äh, schon die, die Plätze besser kennt und so was und da vielleicht irgendwie PSI, also dass man, wenn man jetzt sich selber besser auskennt, dann hat man auch nicht so das Problem, wenn PSI da so bissl freien Lauf hat so irgendwie“ (VP13, Vergleichinterview, letzte Frage). Sie bearbeitete erst die PSI- und dann die Roboter-Simulation.

Die Leistungsdaten dieser Versuchsperson bewegen sich bei beiden Agenten im schwächeren Bereich. Sie hat mit dem PSI 17 Goldstücke gesammelt (der niedrigste Wert in dieser Gruppe) und mit dem Roboter 49, das ist ein mittlerer Wert. Dagegen hat sie mit 25 gestopften Löchern bei PSI den zweithöchsten Wert, mit 31 bei Roboter jedoch den zweitniedrigsten. Mit beiden Agenten hat sie wenige Exitusse (keinen mit dem Roboter und einen mit PSI) und hat nicht besonders viele Orte gesehen (37 mit PSI, ein mittlerer Wert, und 53 mit dem Roboter, das ist der zweitniedrigste Wert in dieser Gruppe).

Bei der Betrachtung der Verhaltensdaten fällt der extrem geringe Prozentwert für Bedürfnisbefriedigung bei PSI auf. Große Unterschiede zwischen dem Verhalten der Versuchspersonen in den Simulationen mit PSI und dem Roboter gibt es bei der Anzahl

Kapitel 8. PSI und die Menschen

der Richtungsbefehle. Während bei PSI Richtungsbefehle in etwa gleich häufig geäußert werden, werden beim Roboter verstärkt Aktionsbefehle, und hier vor allem Aufforderungen zu Bedürfnisbefriedigung getätigt. Ebenso auffällig sind ihre hohen Werte für Aktionismus, hier hat sie zusammen mit dem Roboter den höchsten Wert in dieser Gruppe, zusammen mit PSI den zweithöchsten.

	Richtungsanweisungen in %	Aktionsanweisungen in %				
		Allgemein	Gelegenheit	Aktionismus	Probieren	Bedürfnis
13/PSI	54,96	45,04	27,15	4,63	9,27	3,97
13/Robo	40,42	59,58	25,93	7,71	10,98	14,95

Tabelle 16: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP13

In der PSI-Simulation greift diese VP sehr bald ein und antwortet schon auf die zweite Frage, obwohl PSI sie zu diesem Zeitpunkt noch nicht verstehen kann. Sie betreibt zusammen mit PSI sehr spezifische Exploration und manipuliert den Akku, die Lache, die Äste und das Loch mit jeweils einem Operator. Sie schickt PSI zu anderen Orten und hat dabei keine Probleme mit der Karte. Zwar gibt es leichte Verständigungsprobleme am Anfang, diese sind aber schnell überwunden.

Das Verhalten der VP ist zu Beginn beider Simulationen sehr ähnlich, zusammen mit PSI fällt ihr der Spielbeginn leichter, während sie beim Roboter noch größere Probleme mit der Karte hat. Bei PSI versteht sie sofort, dass sie Akkus nehmen muß, beim Roboter dagegen sucht die VP gegen den Hunger zuerst nach Gras oder Fischen. Die Objekte Gras und Fisch existieren auch in der PSI-Simulation, so dass diese Objekte nichts neues für sie sind. Es könnte sein, dass sie hier von sich selbst ausgeht; Menschen essen eher Fische und Gras als Akkus. Dann müsste sie den Roboter nur als „ich“ bezeichnen, und das tut sie, sie sagt „Nee, muß *ich* da jetzt verhungern“. Im Interview bezeichnet sie den Roboter einmal als „er“, ansonsten nur als „ich“.

Die VP nimmt in den beiden Situationen der ersten bemerkten Exitusgefahr Gelegenheiten wahr, sucht aber auch aktiv nach den benötigten Objekten. Bei PSI ist sie dabei gründlicher und risikobereit, bspw. schickt sie ihn einmal zu einem Objekt hin, um den aufgedeckten Goldstaub auch zu nehmen, während sie beim Roboter ein Loch unrepariert lässt. Ein solches Ereignis fand in beiden Simulationen bei einem Bedürfnisstand von ca. 0,7 statt. Im Versuchsdurchlauf mit PSI tritt die Situation jedoch erst spät im Spiel ein, zu diesem Zeitpunkt hatte die VP schon mehr Erfahrung mit dem Bedürfnisanstieg und hätte sich mehr Zeit nehmen können. Bei PSI initiiert die VP in

Kapitel 8. PSI und die Menschen

dieser Episode insgesamt weniger Aktionen, und diese sind ausschließlich aufgabenorientiert. Die Verschiebung von Bedürfnisorientiert (66,7% aller Aktionen bei PSI und 55% aller Aktionen beim Roboter fallen unter „Bedürfnisorientiert“) hin zu Aufgabenorientiert (33,3 % bei PSI, 45 % beim Roboter) ist vorhanden, wenn auch gering.

Die VP geht mit PSI bei der Exploration von Objekten vorsichtiger vor und sie beobachtet PSIs Aktionen. Auch beim Roboter ist sie sehr vorsichtig, aber viel experimentierfreudiger: sie hat zwar bei der Rakete und der Pfef-Pflanze eine Vorahnung, dass diese Objekte schaden könnten, aber sie exploriert sie trotzdem. Ihre Werte für die Kategorie Probieren sind allerdings fast gleich hoch, was einen unterdurchschnittlichen Wert für den Roboter und einen überdurchschnittlichen Wert für PSI bedeutet (Roboter: 10,98%, Durchschnitt 16,25%; PSI: 9,27%, Durchschnitt 7,59%).

Bei den Ähnlichen Objekten ist sie mit PSI aufmerksamer und bemerkt die Unterschiede viel schneller und sicherer. Dies könnte an den verbalen Kommandos liegen, bei deren Verwendung Objekte benannt werden müssen. Durch die Benennung der Objekte könnte die visuelle Ähnlichkeit weniger wichtig werden, so dass die VP Unterschiede leichter erkennen kann. Aber auch das Abtreten von Verantwortung an PSI könnte ihr die Arbeit erleichtern, so dass sie mehr Ressourcen zur Identifikation einzelner Objekte zur Verfügung hat. Nach Akkus hat PSI zu diesem Zeitpunkt noch nicht gefragt, demnach kann die VP die Bevorzugung der Akkus nicht von PSI übernommen haben. Eventuell achtet sie bei PSI aber auch besser auf Details und kann daher diese Informationen schneller aufnehmen. Sie findet in beiden Bedingungen die Bedeutung der unklaren Objekte nicht heraus. Beim Roboter explorierte sie das Objekt allerdings mit mehreren Operatoren, während sie bei PSI nur einen Operator anwendet. Dies könnte wieder an einer größeren „Risikobereitschaft“ beim Umgang mit dem Roboter liegen. Vielleicht ist die Pizza aber einfach zu uninteressant, in einer Dose könnte etwas versteckt sein, in einer Pizza ist das weniger wahrscheinlich. Der naheliegendste Nutzen für die Pizza, sie zu essen, wurde von der VP ausprobiert.

Im weiteren Verlauf (20. bis 22. Minute) wirkt ihr Vorgehen zusammen mit PSI entspannter: auch hier nutzt sie sich bietende Gelegenheiten für Manipulationen und begibt sich in verschiedene Situationen, Aktionismus kommt hier, im Gegensatz zur Roboter-Simulation, nicht vor. Dies bestätigt sich in den Zahlen aus den

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Verhaltensdaten (diese beziehen sich auf den gesamten Versuchsdurchgang, nicht nur auf die 20. bis 22. Minute): 4,63 % aller ihrer Aktionen bei PSI gehören in die Kategorie Aktionismus, verglichen mit 7,71 % beim Roboter. Allerdings ist der Wert von 4,63 % bei PSI der zweithöchste Wert für PSI in dieser Kategorie verglichen mit allen anderen Probanden dieser Versuchsgruppe.

Sie explorierte in diesem Zeitfenster in beiden Simulationen neue Objekte, beim Roboter allerdings nur eines und bei PSI zwei. Beim Roboter wurde ihre Exploration durch Schaden bestraft, bei PSI blieb sie erfolglos. Allerdings sind ihre Prozentanteile der Kategorie Probieren (wie oben schon erwähnt) insgesamt mit dem Roboter unterdurchschnittlich, mit PSI dagegen leicht überdurchschnittlich. Dies zeigt an, dass sie in dieser Situation nicht nur wegen dem an der Metallplatte erlittenen Schaden wenig exploriert, sondern dass dies ein sich durch die Simulation ziehendes Verhaltensmerkmal ist.

VP13 beantwortet in diesem Versuchsdurchgang die wenigsten Fragen mit „nein“, nur insgesamt 13 Fragen. Dazu gehören die beiden Fragen ganz am Anfang der Simulation, die mit „nein“ beantwortet werden müssen. Sieben dieser Nein-Antworten werden gegeben, als PSI nach Gold fragt, zwei nach einem Missverständnis PSIs und drei, als PSI nach Bedürfnissen fragt, der Bedürfnisdruck aber noch nicht über 0.85 gestiegen ist. Sie lässt PSI kaum explorieren, was sich auch im darin zeigt, dass ihr die meisten Wastun-Fragen in dieser Versuchsbedingung gestellt werden. PSI weiß also bei ihr sehr lange nicht, wie es seine Bedürfnisse befriedigen kann. Entsprechend stellt PSI bei ihr auch die wenigsten Wo-Fragen in dieser Versuchsbedingung. PSI stellt keine einzige Wozu-Frage; wie schon oben bemerkt antwortet sie nie in Situationen hohen Bedürfnisdrucks mit „nein“.

Ebenfalls außergewöhnlich sind die hohen Werte für Aktionismus. Bei PSI ist ihr Wert der zweithöchster, beim Roboter sogar der höchste in dieser Versuchsgruppe. Im Interview zur PSI-Simulation gibt sie in der Frage zu den Tipps für andere an, das man alles ausnützen sollte, was man sieht. Ihre Werte in der Kategorie Gelegenheit sind jedoch im mittleren Bereich, dieses „Ausnützen von Gelegenheiten“ schlägt sich bei ihr auch in Aktionismus nieder: Gelegenheiten werden ausgenützt, egal, ob das Bedürfnis, das durch diese Gelegenheit befriedigt werden könnte, überhaupt besteht.

Bei PSIs Extratouren zeigt sie keine Reaktionen. Als PSI sich in einer Situation widersetzt und wieder zu dem Ort zurückläuft, von dem es gerade weggeschickt

Kapitel 8. PSI und die Menschen

worden war, versucht die VP zuerst, den Befehl zu wiederholen. Als dies nicht erfolgreich ist, lässt sie PSI erst die Situation explorieren (d.h. klickt auf „nein“), und schickt es weg, nachdem es damit fertig ist. Sie verwendet verkoppelte Anweisungen wenn PSI „ungehorsam“ ist (d.h. wieder zurück läuft), nach PSIs Extratouren und als PSI aus einer Sackgasse nicht mehr herausfindet. Dies bedeutet, sie setzt die verkoppelten Anweisungen in Situationen ein, in denen PSI macht, was es will, und sich nicht beherrschen lässt. Im Interview gab sie später an, dass sie PSIs Extratouren eher als störend und gefährlich empfand. Diese Aussage ergänzt inhaltlich sowohl die sehr geringen Anzahl an Nein-Antworten als auch die u ihrer Verwendung verkoppelter Anweisungen.

Die VP glaubt nicht, dass PSI alleine zurecht kommen könnte, kann dies aber nicht begründen. PSIs Vorteile sieht die VP darin, dass PSI sich Dinge merken kann und damit ihre eigene Merkfähigkeit unterstützen kann. Sie findet aber, dass man beim Roboter besser planen kann. Hierin könnte ein Grund dafür liegen, dass sie beim Roboter experimentierfreudiger ist, auch glaubt sie, hier Bedürfnisse besser/schneller befriedigen zu können. Der Roboter lässt sich ihrer Meinung nach besser und vorhersagbarer beherrschen, dies ist eine Vorbedingung für das Ausprobieren neuer Aktionen, da eventuelle negative Folgen dieser Aktionen dann auch schnell wieder behoben werden können.

Diese VP sieht PSI als Hilfe und Entlastung (v.a. bei Bedürfnissen) an, die man aber nicht unbedingt beachten muß. Man kann auf diese Hilfe allerdings zurückgreifen, wenn man selbst keine Lust oder keine Ideen mehr hat. Sie sieht PSI jedoch nicht als gleichwertigen Partner. Sie meint, dass PSI auch Fehler macht und somit genau überwacht werden sollte, während der Roboter nur macht, was die VP möchte. Sie hat „Angst“ vor PSIs Extratouren zu unpassenden Zeitpunkten, nutzt PSI vor allem als eine Art „laufendes Notizbuch“ und zur Bewältigung von Routinefällen.

VP014: „Persönlichkeit“ im Wandel

Diese VP wurde ausgewählt, da sie als einzige nicht nur PSIs Fragen beantwortet, sondern auch PSI Fragen stellt. Diese VP bearbeitete zuerst die PSI-Simulation.

Ihre Leistungswerte sind mit PSI im mittleren Bereich, mit dem Roboter dagegen sehr gut. Sie hat mit PSI 47 Goldstücke gefunden, mit dem Roboter dagegen 71, was der zweithöchste Wert in dieser Versuchsgruppe ist. Ebenso ist die Aufteilung der

Kapitel 8. PSI und die Menschen

gestopften Löcher: mit dem Roboter hat sie hier den höchsten Wert in dieser Gruppe (50), mit PSI einen mittleren Wert von 14. Weiterhin erleidet sie zusammen mit PSI zwei Zusammenbrüche (Maximalwert, nur sie und VP12 erleiden mehr als einen Zusammenbruch), mit dem Roboter dagegen keinen. Die Anzahl der von ihr besuchten Orte ist mit 50 bei PSI ein mittlerer Wert, mit 63 beim Roboter der Maximalwert (nur VP12 besucht ebenso viele Orte).

Beim Betrachten ihrer Verhaltensdaten fällt die große Ähnlichkeit zwischen den Daten der PSI-Simulation und den Daten der Roboter-Simulation auf. Diese ist zwar geringer als bei VP11, aber auch bei VP14 weichen die Prozentwerte nur geringfügig voneinander ab.

	Richtungs- anweisungen in %	Aktionsanweisungen in %				
		Allgemein	Gelegenheit	Aktionismus	Probieren	Bedürfnis
14/PSI	49,69	40,31	23,63	0,6	17,57	8,48
14/Robo	45,05	54,95	23,92	1,47	15,5	14,03

Tabelle 17: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP14

Weiterhin fällt die Häufung von Extremwerten in ihren Verhaltensdaten auf. Mit PSI hat sie den höchsten Probieren-Wert in dieser Versuchsgruppe (mit dem Roboter hat sie den zweithöchsten Wert für Probieren) und den geringsten Wert für Gelegenheiten, mit dem Roboter den geringsten Wert für Aktionismus. Alle anderen Werte bewegen sich im mittleren Bereich.

Diese VP nutzt PSIs Eigenständigkeit, um am Anfang, als sie noch unsicher ist, Zeit zu gewinnen. Hier lässt sie erst PSI explorieren und beschränkt sich aufs Zusehen. Als sie dann exploriert, exploriert sie in beiden Simulationen sehr gezielt, ist bei PSI aber mehr auf die Aufgaben, beim Roboter mehr auf die Bedürfnisse konzentriert. Während sie beim Roboter immerhin ein Objekt breit exploriert, tut sie das bei PSI nicht.

In der ersten bemerkten Exitusgefahr zieht sich die VP bei PSI aus Verantwortung zurück, exploriert aber, wenn ihr etwas erfolgsversprechend erscheint. Beim Roboter dagegen exploriert sie sehr gezielt und lässt sich nicht ablenken. Sie überlässt PSI die breite und übernimmt selbst die tiefe Exploration, d.h. sie selbst geht von ihrem Wissen aus, und wenn das ihr nicht mehr weiterhilft, lässt sie PSI explorieren. Damit nutzt diese VP effektiv ihre und PSIs jeweilige Stärken aus. PSI sollte man allerdings eher bei

Kapitel 8. PSI und die Menschen

geringem Bedürfnisdruck explorieren lassen als bei hohem Bedürfnisdruck, da es bei hohem Bedürfnisdruck eher hektisch reagiert und beginnt, Wozu-Fragen zu stellen

Au der Exploration der Objekte lässt sich ableiten, dass sie beim Roboter eine Vorliebe für „interessante Objekte“ hat und hier viel zügiger vorgeht. Auch bei PSI werden alle Gefährlichen Objekte mindestens einmal ausprobiert, der Eimer aber nur von PSI und erst sehr viel später im Spiel. Sie erkennt nur bei der Manipulation des Eimers aus PSIs Aktionen, dass dieser Schaden verursacht, die beiden anderen gefährlichen Objekte manipuliert sie noch einmal, nachdem PSI schon an ihnen Schaden erlitten hat. Die Ähnlichen Objekte exploriert sie unter beiden Bedingungen sehr genau und kann sie schließlich trennen, dies dauert zusammen mit PSI aber viel länger. Bei den Unklaren Objekten scheint die VP bei PSI weniger experimentierfreudig zu sein und kommt schneller zu dem Schluss, dass das Objekt für sie nicht nützlich ist.

Im weiteren Verlauf erscheint ihr Vorgehen beim Roboter zielgerichteter. Es entsteht der Eindruck, als habe sie ihre Vorgehensweise schon gefunden, während sie bei PSI noch viel probiert und weniger aufmerksam ist. Allerdings spielt sie auch zuerst die PSI-Simulation und dann erst die Roboter-Simulation, so dass sie zum Zeitpunkt der Roboter-Simulation eventuell schon übertragbares Wissen gewonnen hat. Bei beiden Simulationen finden sich Unaufmerksamkeit für Details.

VP14 hat innerhalb dieser Versuchsgruppe die meisten Fragen (166) mit Ja beantwortet. Mit 29 Nein-Clicks liegt sie im Mittelfeld, interessant ist allerdings, dass sie fast alle (28) Nein-Antworten bis zur 15 Spielminute gibt. Viele davon (18) waren Antworten auf Wozu-Fragen und Antworten, die gegeben wurden, wenn sie aufgegeben hatte, nach einer Lösung zu suchen (6). Fünf weitere wurden geäußert, bevor sie zum ersten Mal eine Frage mit „Ja“ beantwortet.

Sie lässt sich von PSIs Extratouren nicht aus der Ruhe bringen, verfolgt sie aber und beobachtet, was PSI tut. Der erste Streit mit PSI wird durch eine Doppelanweisung bereinigt, dadurch übersteuert sie PSIs eigene Wünsche. Verkoppelte Anweisungen kommen bei ihr häufig vor (21-mal), sie scheint dafür keinen besonderen Anlass wie z.B. ein Missverständnis zu brauchen.

Im Interview gibt sie an, dass PSI am Schluss nicht mehr reagiert, unkontrolliert wird und dass ihm Planungsfähigkeit fehlt. Während sie am Anfang noch sehr auf PSIs Eigenständigkeit vertraut, scheint ihr mit zunehmender eigener Kompetenz PSIs Eigeninitiative lästig zu werden. PSI ist für sie ein Klotz am Bein, es stört. Sie gibt auch

Kapitel 8. PSI und die Menschen

an, dass das Klicken beim Roboter einfacher ist als das Sprechen mit PSI, denn bei letzterem muss man denken und planen und wird dadurch unflexibel. Ganz am Ende beginnt sie dann, PSI Fragen zu stellen und entdeckt so einen neuen Nutzen in PSI.

Die VP nutzt PSIs Eigenständigkeit nur am Anfang, als sie noch unsicher ist (und dann vor allem in Situationen hohen Bedürfnisses, wo PSI nicht wirklich hilfreich ist), dann wird Eigenständigkeit eher als hinderlich empfunden. Am Ende der Simulation findet sie allerdings eine „Verwendung“ für PSIs Eigenständigkeit und stellt PSI Fragen. Sie ist die einzige VP, die PSI so gut beobachtet hat, dass sie aus den Missverständnissen (PSI hat eine ihrer Äußerungen als Frage missverstanden und beantwortet sie) die Möglichkeit, selbst Fragen zu stellen, abgeleitet hat. Von allen Probanden kam es nur bei dreien (VP05, 06, 07) zu keinem derartigen Missverständnis. Der Großteil der Probanden hatte die Chance zu lernen, dass man PSI Fragen stellen kann, nur eine einzige VP setzte dieses Wissen auch in die Tat um.

PSIs Eigenständigkeit ist für sie erst hilfreich, dann wird sie ihr lästig (als sie ihren eigenen Weg sucht) und später wieder nützlich, nachdem die VP eine eigene Strategie gefunden hat.

VP16: PSI als eigenständiger Agent

Diese Versuchsperson wurde ausgewählt, da sie PSIs Eigenaktivität eher als planlos beschrieb und sich auch nicht sicher war, wie sie hier eingreifen konnte: „Also er würde, hmm, denk ich mal, bevor er, weil er probiert ja eigentlich nur wild rum und er würde ja ziemlich oft zugrunde gehen, glaube ich erst mal, wenn man ihn allein lässt, aber ob ich ihm jetzt so ´ne große Hilfe war, weiß ich auch nicht, ein bisschen vielleicht schon, aber, er würde, glaub ich, ziemlich oft zugrunde gehen, wenn man ihn da drin allein lässt.“ (VP16, Interview zur PSI-Simulation Frage „Kann PSI alleine zurechtkommen?“)

Die Leitungswerte dieser Versuchsperson sind gleichmäßig im mittleren Bereich; mit dem Roboter hat sie allerdings nur 48 Goldstücke gesammelt (zweitniedrigster Wert in dieser Gruppe) und drei Exitusse erlitten (nur eine VP erlitt vier Exitusse, drei dagegen gar keinen). Mit PSI hat sie nur 10 Löcher repariert (zweitniedrigster Wert in dieser Gruppe).

Ihre Verhaltensdaten sind bei PSI und dem Roboter sehr unterschiedlich. Bei PSI liegt ein deutliches Schwergewicht auf den Richtungsbefehlen (60,48%), beim Roboter

Kapitel 8. PSI und die Menschen

dagegen auf Aktionsbefehlen (58,39%). Dabei zeigt sich dieser Unterschied vor allem in der geringeren Anzahl von Bedürfnisbefehlen (die dennoch den Maximalwert für diese Art von Befehl in dieser Gruppe bildet) und dem geringeren Anteil von Probieren.

	Richtungs- anweisungen in %	Aktionsanweisungen in %				
		Allgemein	Gelegenheit	Aktionismus	Probieren	Bedürfnis
16/PSI	60,48	39,52	26,61	0	3,22	9,67
16/Robo	41,61	58,39	27,32	1,55	14,9	14,59

Tabelle 18: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP16

Die Anteile für das Ergreifen von Gelegenheiten sind in beiden Simulationen sehr ähnlich, dieser Wert bildet jedoch für die Roboter-Simulation den Maximalwert für diese Gruppe.

Die VP übergibt in der PSI-Simulation zuerst PSI die Steuerung und greift selbst erst später ein. Bei beiden Simulationen hat sie zunächst Probleme mit der Bedienung, allerdings aus unterschiedlichen Gründen: bei PSI muss sie lachen (und verwirrt damit den Spracherkenner), beim Roboter kommt sie mit der Karte nicht zurecht. Beim Roboter ist ihr anfängliches Vorgehen gekennzeichnet durch die Suche nach etwas essbarem, bei PSI durch die Suche nach Gold.

Ein sehr unterschiedliches Verhalten zeigt sich bei der ersten bemerkten Exitusgefahr: mit dem Roboter exploriert sie und reagiert sehr emotional (sie schlägt mit der Faust auf den Tisch), bei PSI gibt sie ausschließlich Richtungskommandos und antwortet mit „nein“. Eine Erklärung für dieses Verhalten ist wohl in einer Aufgabenteilung innerhalb der PSI-Simulation zu suchen: die VP kümmert sich um Richtungen, PSI um Aktionen.

Bei der Exploration der gefährlichen Objekte wird diese Aufgabenteilung weitergeführt. Es zeigen sich deutliche Unterschiede im Verhalten der VP zu PSI und zum Roboter. Beim Roboter kommt es sowohl zur Objektexploration als auch zur Effektkontrolle, bei PSI kommt Exploration kaum und Effektkontrolle nicht vor. Sie bemerkt beim Roboter sehr schnell (8:38 Minuten) den Unterschied zwischen beiden Objekten, bei PSI benötigt sie dafür erheblich länger (ca. 20 Minuten). Die VP agiert bei PSI sehr wenig allein, sie überlässt ihm viele Aktionen. Auch die Exploration der Unklaren Objekte bestätigt die Hypothese der Arbeitsteilung: die VP exploriert zusammen mit dem Roboter, aber nicht zusammen mit PSI, und sie verwendet auch von PSI erworbenes Wissen nicht.

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Im weiteren Verlauf erhält PSI von der VP vor allem Instruktionen zu Lokomotionen, es kommt auch zu Nein-Antworten. Die VP überlässt PSI Aktionen, wenn sie nicht sofort selbst etwas findet und schaltet sich wieder ein, wenn etwas gefunden wird. Sie adressiert PSI, d.h. sie spricht auch außerhalb der Kommandos mit ihm (z.B. „Hallo!“ als PSI nicht sofort reagiert, „Was weis ich!“, als PSI sie etwas fragt).

Die VP überlässt PSI Aktionen, wenn sie selbst keine Idee hat, sie lässt sich auch von ihm inspirieren. Sie kommt selbst wieder ins Spiel, als sie etwas Interessantes sieht. Beim Roboter dagegen ist das Vorgehen geplanter und aktiver. Dies spricht für ein Vorgehen, bei dem die VP PSI die Exploration überlässt und selbst Routinetätigkeiten erledigt. Entsprechend finden sich bei ihr auch geringere Werte für Probieren im PSI-Durchgang.

Bei VP16 findet sich das Minimum an Ja-Antworten in dieser Gruppe (128), sie hat auch insgesamt die wenigsten Antworten gegeben (154), wobei die Anzahl der Nein-Clicks im Mittelfeld liegt (26). Insgesamt wurden ihr in dieser Gruppe die wenigsten Fragen gestellt (153), dabei wurde von PSI keine einzige Wozu-Frage gestellt. Dies bedeutet, dass sie PSI nie in Situationen hohen Bedürfnisdrucks mit „nein“ geantwortet hat, denn nur dann werden diese Fragen gestellt. Über die Hälfte der von dieser VP gegebenen Nein-Antworten wurden in den zweiten 20 Minuten gegeben, meist dann, wenn sie selbst keine Lust mehr hatte bzw. ihr nichts Neues mehr einfiel.

Sie kommt in beiden Bedingungen mit einem Minimum an Eingriffen aus (322 beim Roboter, 124 bei PSI). Die relativ geringe Anzahl an Eingriffen ist nicht auf einen verstärkten Einsatz von Doppelanweisungen zurückzuführen, diese werden von VP16 nie verwendet.

Sie lobt PSIs kürzere Extratour (PSI findet ein Goldstück, sie sagt „Sehr gut“), längere Extratouren werden ihr aber unheimlich. Bei einer weiteren Extratour PSIs wendet sie sogar den Weg-da Button („Gott, jetzt dreht er durch!“) an. In den Interviews gab sie an, dass sie die vokalen Kommandos schwierig fand, PSI empfand sie als hilfreich, wenn man ihn machen ließ, aber auch als störend, wenn er sich selbständig machte.

Diese VP nutzt PSI als „Aushilfe“ wenn sie selbst nicht mehr will oder kann. Es muß für sie aber die Gelegenheit zum Selbst-Eingreifen geben, wenn etwas für sie wichtiges zu erkennen ist. Sie scheint sich bei PSI eher als Überwacher zu fühlen denn als Akteur und greift nur ein, wenn es ihrer Meinung nach nötig ist.

VP17: PSI als Persönlichkeit

Diese Versuchsperson stellte im Interview heraus, dass sie PSI auch als Persönlichkeit kennen lernen wollte: „Das war, ja, es war irgendwie dynamischer, ähm, es war vielleicht auch deshalb, weil es komplexer war, vielleicht auch deshalb, weil es interessant war, ja, PSI kennen zu lernen, wie er reagiert in bestimmten Situationen, was natürlich auch, ähm, die Motivation, mit so nem Programm zu arbeiten steigert, weil man möchte natürlich rausfinden: „Was is des? Was is des für ne Person oder PSI?“ Ja, ich mein, man identifiziert diesen PSI dann mit dem anderen Spieler vielleicht auch“ (VP17, Vergleichsinterview, Frage „Was war einfacher?“).

Auch die Leistungen dieser VP bewegen sich im Mittelfeld, auffällig ist die sehr geringe Zahl an Exitussen bei PSI (kein einziger, beim Roboter erlitt sie zwei Zusammenbrüche, das ist ein mittlerer Wert) und die niedrigen Werte für gesammelte Goldstücke (12 beim Roboter, das ist der geringste Wert, und 37 bei PSI, das ist der zweitniedrigste Wert).

Diese Versuchsperson zeigt viele Extremwerte in ihren Verhaltensdaten. Sowohl bei PSI als auch beim Roboter hat sie (prozentual) die meisten Richtungsanweisungen. In beiden Simulationen liegt der Schwerpunkt damit eher auf Richtungs- als auf Aktionsanweisungen.

Große Unterschiede gibt es in den „Probieren“-Werten, die sich beim Roboter im mittleren Bereich bewegen, bei PSI dagegen stellt sie den Minimalwert in dieser Gruppe. Die Werte für Bedürfnisbefriedigung sind in beiden Simulationen gering, beim Roboter der geringste, bei PSI der zweitniedrigste Wert in dieser Gruppe. Ebenfalls sehr niedrig ist der Wert für das Ergreifen von Gelegenheiten beim Roboter.

	Richtungsanweisungen in %	Aktionsanweisungen in %				
		Allgemein	Gelegenheit	Aktionismus	Probieren	Bedürfnis
17/PSI	69,23	30,77	25,87	0	0,69	4,19
17/Robo	60,59	30,41	21,58	1,98	12,67	3,16

Tabelle 19: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP17

Zu Beginn der Simulation geht die VP beim Roboter eher geplant vor und betreibt spezifische Exploration, bei PSI wird dies durch „PSI machen lassen“ (d.h. Nein-Antworten) ersetzt. Zusätzlich gibt sie PSI ausschließlich Richtungskommandos und

Kapitel 8. PSI und die Menschen

PSI ständiges Fragen nerven sie schon sehr bald („Das nervt fei!“ PSI-Simulation, Zeit: 3 Minuten, 35 Sekunden).

In beiden Simulationen sinkt der Auflösungsgrad des Probanden bei der ersten wahrgenommenen Exitusgefahr, dies zeigt sich in Bedienungsfehlern. Unter beiden Bedingungen tut die VP Dinge, die zuvor funktioniert haben, und in dieser Situation gibt sie PSI durchgehend Kommandos, es gibt keine Nein-Antworten.

Bei den gefährlichen Objekten zeigt sich die VP bei PSI viel weniger explorationsfreudig (sie exploriert nicht alle Objekte, und nicht mehrfach), ist aber genauso aufmerksam. Sie bemerkt auch aus PSIs Aktionen, was Schaden verursacht. Diese VP gehört zu den Versuchspersonen, die lernen, dass die Flasche Schaden verursacht. Sie erkennt den Unterschied zwischen den beiden Ähnlichen Objekten mit dem Roboter schneller, scheint ihn sich aber mit PSI besser merken zu können, denn sie macht mit PSI weniger Fehler, nachdem der Unterschied zwischen beiden Objekten schon erkannt wurde. Dies könnte an den verbalen Kommandos liegen, die eine Spezifizierung der Objektbezeichnung verlangt. Wenn sie die Unterschiede übersehen würde, würde sie PSI zu einem Akku schicken, nicht zu einer Batterie, und dann überrascht sein, wenn PSI diesen Befehl verweigert (weil das Objekt nicht in der momentanen Situation ist), zum falschen Objekt geht, oder zwar die Batterie nimmt, dies aber keine Auswirkungen auf den Hunger hat. Die VP zeigt bei keinem der Unklaren Objekte Explorationstendenzen, übernimmt aber auch das von PSI gewonnene Wissen nicht, obwohl sie dies z.B. bei den gefährlichen Objekten schon tat. Eventuell ist sie an Goldstücken nicht interessiert, sie ist auch die einzige VP, die in dieser Gruppe weniger Goldstücke mit dem Roboter sammelte als mit PSI (12 beim Roboter, 37 bei PSI).

VP17 gibt insgesamt 18 Nein-Antworten, davon drei bevor sie das erste Mal PSI eine Instruktion gibt. Die meisten (14) Nein-Antworten werden in den ersten 20 Minuten gegeben. Die VP gibt Nein-Antworten, wenn sie selbst keine Idee mehr hat und PSI nach Gold fragt. Nur einmal wird mit „nein“ geantwortet als PSI nach einem Akku fragt. Obwohl die VP damit sehr wenige Nein-Antworten gibt (zweitniedrigster Wert), werden PSIs Extratouren von ihr beobachtet und toleriert. Als sie mit PSI in eine Streit-Situation gerät findet sie sich damit ab („Da mag er nicht hin“) und schickt PSI in eine andere Richtung. Verkoppelte Anweisungen verwendet sie zwar (insgesamt acht Mal), aber als Korrekturen eigener Fehler (vier Mal) und in einer Situation (drei Mal), als PSI

Kapitel 8. PSI und die Menschen

aus einer Sackgasse nicht mehr herauszufinden scheint. Einmal verwendet die VP verkoppelte Anweisungen, um einen bestimmten Ort schnell zu erreichen.

PSI stellt bei ihr nur zwei Wastun-Fragen und keine einzige Wozu-Frage. Dabei wurden ihr mit 161 Fragen von PSI eher wenige Fragen gestellt (zweitniedrigster Wert dieser Gruppe). PSI hat bei ihr sehr schnell gelernt, wie es seine Bedürfnisse befriedigen kann (sonst hätte es mehr Wastun-Fragen gestellt) und wurde nie in Situationen hohen Bedürfnisses „alleine gelassen“ (sonst wären Wozu-Fragen aufgetreten). Die geringe Anzahl an Fragen lässt sich auch dadurch erklären, dass die VP – wie oben schon bemerkt – ihre Schritte überdenkt, und das braucht Zeit. Sie erleidet mit PSI keinen Exitus, aber zwei mit dem Roboter. Insgesamt hat sie mit PSI (viel) mehr Goldstücke gesammelt als mit dem Roboter (37 bei PSI, 12 beim Roboter), hat in etwa gleich viele Orte gesehen (51 mit PSI, 56 mit dem Roboter), aber viel weniger Löcher zusammen mit PSI gestopft (41 mit dem Roboter, 17 mit PSI). Sie beherrscht mit dem Roboter Routinetätigkeiten besser (Löcher flicken), mit PSI dagegen Tätigkeiten, die Exploration erfordern (Goldstücke finden). Im Interview gibt sie an, dass PSI Aufgaben übernehmen würde, dafür aber auch unkontrollierbar ist. PSI sei jedoch eine Person, die kennen zu lernen interessant ist.

Sie sieht PSI als interessante Persönlichkeit, die hilft und eigene Rechte hat. Daher kommt sie mit PSI sehr gut zurecht, viel besser als mit dem Roboter. Sie scheint eher PSI zu explorieren als die Kanalwelt, deren Exploration sie lieber PSI überlässt. Diese Strategie erweist sich als gut für den Umgang mit PSI. Ihr Vorgehen ist zu überlegt und zu wenig spontan für ein erfolgreiches Umgehen mit dem Roboter. PSIs Eigeninitiative ist der Ausgleich zum überlegten Vorgehen des Probanden, so dass sie in der PSI-Simulation erfolgreicher ist.

Die vorgestellten acht Probanden zeigten ein weites Verhaltensspektrum, von einer völligen „Unterdrückung“ PSIs (VP06) bis hin zu einer Interessensverlagerung von der Exploration der Umwelt hin zur Exploration PSIs (VP17), von einer Vermenschlichung beider Agenten (VP02) bis hin zu einem völligen Interessenskonflikt mit PSI (Vp07). Auch während der Spielzeit ändert sich das Verhalten der Probanden stark, so beispielsweise bei VP14, die zu Beginn sehr viele Aktionen PSI überlässt, dann verstärkt selbst eingreift und schließlich entdeckt, dass man PSI Fragen stellen kann, dieser sie dann beantwortet und so eine völlig neue Art der Zusammenarbeit mit PSI

entdeckt. So viele Gemeinsamkeiten der Probanden sich bei einer Betrachtung der Interviews, der Verhaltensweisen und der Erfolgskriterien abzeichnet, so unterschiedlich ist das Verhalten der Probanden im Einzelnen.

8.3 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel wurde das Verhalten von Menschen, die mit PSI interagieren, untersucht. Dabei wurde ihr Verhalten sowohl mit dem Verhalten andere Menschen mit der selben Aufgabe, als auch mit ihrem eigenen Verhalten bei der Bewältigung einer ähnlichen Aufgabe, in diesem Fall die Steuerung eines simulierten Roboter ohne Eigenaktivität, verglichen.

Dabei zeigte sich, dass fast alle Probanden (15 von 16) ein Unterschiede zwischen dem Roboter und PSI angeben konnten. PSI wurde in der verbalen Beschreibung des Vorgehens im Versuch wesentlich häufiger als Person (15 von 16 Probanden) adressiert als der Roboter in der entsprechenden Beschreibung (7 von 16 Probanden). Die meisten Probanden sehen zwar einen Unterschied zwischen PSI und dem Roboter, ob PSI eine Verbesserung gegenüber dem Roboter ist, oder eine Verschlechterung wird jedoch nicht annähernd so einheitlich beantwortet. Und noch weniger sicher sind sie sich, ob man PSI soweit vertrauen kann, dass man es auch „auf eine echte Stadt loslassen“ könnte.

In den Kennwerten werden Unterschiede zwischen PSI und dem Roboter sichtbar. Die Probanden reparieren mit dem Roboter in beiden Versuchsgruppen signifikant mehr Löcher, und sie sammeln (nur in Gruppe 1 signifikant) mehr Goldstücke. In beiden Gruppen gibt es keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl der besuchten Situationen.

In den Einzelfallbetrachtungen zeigten sich ganz unterschiedliche Arten, mit PSI zusammenzuarbeiten: vom Entdecken einer interessanten Persönlichkeit, hinter der das Interesse an der Kanalwelt zurücktritt (VP17) und einem nahezu gleichwertigen Partner (VP11) bis hin zu einer nervigen Belastung (VP07) oder einer Nichtwahrnehmung PSIs als eigenständigem Agenten (VP06) fand sich eine breite Verhaltensskala. Ähnlich unterschiedlich sind die Verläufe des Verhaltens einzelner Probanden, dass wie bei Vp14 durchaus zwischen Extremen hin und her schwanken kann. Diese VP verwendete PSI zunächst als Hilfe, empfand es dann als nervig und bemerkte am Ende des Versuches, dass PSI sehr nützlich sein kann, wenn man ihn Fragen beantworten lässt. Damit entdeckt sie als einzige Versuchsperson diese Funktion PSIs.

Kapitel 8. PSI und die Menschen

Die acht vorgestellten Probanden zeigten acht verschiedene Arten, mit PSI umzugehen. Dass es hier Zusammenhänge mit Persönlichkeitsvariablen wie dem eigenen Unabhängigkeitsstreben oder dem eigenen Kompetenzgefühl gibt, ist anzunehmen, wie genau diese Zusammenhänge aussehen und wie stabil sie sind, ist unklar. Ob das Verhalten PSI gegenüber Implikationen auf das Verhalten gegenüber anderen künstlichen Agenten oder gar menschlichen Mitarbeitern zulässt, kann aus den vorgestellten Daten nicht beantwortet werden. Es zeigten sich aber innerhalb von nur 40 Minuten in einer eindeutigen Spielsituation bei der Zusammenarbeit mit einem autonomen künstlichen Agenten, dessen Sprachentwicklung noch ganz am Anfang steht, „außerplanmäßige“ Interaktionen mit dem Agenten (wie das Stellen von Fragen an den Agenten), die Vornahme von Aufgabenverteilung und Verantwortungszuweisung. Wenn PSIs soziale und kommunikative Fähigkeiten weiter ausgebaut sind – ergibt sich dann eine Mensch-zu-Mensch-Interaktion, oder eine völlig andere Art der Interaktion? Vermutlich wird dies stark von den beteiligten Menschen abhängen, doch welche Menschen sind bereit, PSI vollständig anzuerkennen? Auch diese Frage bleibt spannend.

Ein Resultat der vorgestellten Versuche sind auch Verbesserungen des Versuchsdesigns. Zunächst müssten dabei für beide Simulationen verbale Kommandos eingeführt werden, um die unterschiedlichen Bedienmodi anzugleichen. Zudem erwies sich eine Versuchszeit von 40 Minuten pro Simulation als zu kurz, z.B. begann VP14 erst am Ende der eigentlichen Versuchszeit, PSI Fragen zu stellen. Bei einer längeren Versuchszeit hätten die Probanden mehr Gelegenheit, Routine im Verhalten mit PSI zu entwickeln, seine Stärken kennen zu lernen und neue Interaktionsmöglichkeiten zu finden. Eine längere Versuchszeit würde auch eine komplexere Umgebung voraussetzen, in der es mehr zu entdecken gibt und in der PSIs Fähigkeiten besser ausgenutzt werden könnten. Ebenfalls könnten Probanden, die eine Umgebung schon kennen mit PSIs, die neu in einer Umgebung sind, ein Team bilden, während andererseits Probanden, die eine Umgebung nicht kennen mit einem PSI kombiniert werden könnten, das die Umgebung schon kennt. Hier wäre es interessant zu erfahren, in wieweit Wissen übernommen wird und wie die Probanden mit dem „Naiven PSI“ und dem „Experten-PSI“ umgehen.

Eine weitere Möglichkeit wäre eine andersartige Zusammenarbeit zwischen PSI und den Menschen: man könnten den Menschen – wie in der Roboter-Simulation – einen virtuellen Roboter zur Verfügung stellen, und PSI parallel in derselben Umgebung

Kapitel 8. PSI und die Menschen

explorieren lassen. Dazu müsste man ein PSI mit einer wesentlich geringeren Fragefrequenz einsetzen, dem die Probanden Anordnungen geben könnten, und das in Problemsituationen auch nachfragen kann, dies aber nicht ständig tut. Die Probanden hätten mit dem Roboter hier jedoch noch eigene Eingriffsmöglichkeiten und wären nicht mehr auf PSI als einzige Möglichkeit zur Interaktion mit ihrer Umwelt angewiesen, so dass Interaktionen von einer Zusammenarbeit über das Ignorieren PSIs bis hin zu einer Sabotage des „Mitbewerbers“ möglich wären. Dazu müsste die Kommunikation mit PSI verbessert und flexibilisiert werden, um hier Möglichkeiten für eine breitere Interaktion zu geben. Ausgehend von den hier beschriebenen Versuchen könnten dann neue Interaktionen mit PSI beobachtet werden und schon gefundene Muster bestätigt werden.

9. Zusammenfassung und Ausblick

In den vorangegangenen Kapiteln wurde im ersten Teil dieser Arbeit zunächst eine Theorie menschlichen Erlebens und Verhaltens und der zugehörige Agent – PSI – vorgestellt. Dann wurde auf (Entwicklungs-) Psychologische Erkenntnisse zum Erwerb und zur Verwendung von Sprache eingegangen um dann verschiedene Ansätze, einem künstlichen Agenten Sprache zu verleihen, vorzustellen. Daraufhin wurde die Implementierung basale Sprachfähigkeiten in den PSI-Agenten dargestellt. Dabei zeigte es sich, dass aufgrund der spezifischen theoretischen Konzeption des PSI-Agenten (vgl. Kapitel 2, 3 und 5) ein erheblich weiteres Bedeutungskonzept als eine bloße Verbindung zwischen Wort und Ding möglich ist. Wörter zeigen nicht (nur) direkt auf die mit ihnen zu verbindenden Objekte, Handlungen oder Bedürfnisindikatoren, sondern indirekt über dieses Objekt, diese Handlung oder diesen Bedürfnisindikator auf ein ganzes Netzwerk an anderen Objekten, Handlungen und Bedürfnisindikatoren, so dass sich die Bedeutung eines Wortes nicht nur aus einer einzelnen Verbindung zwischen Wort und Objekt (oder Handlung oder Bedürfnisindikator) ergibt, sondern auch aus der Verortung dieses Objektes in PSIs Gedächtnis und aus den Verbindungen dieses spezifischen Gedächtnisinhaltes zu anderen Gedächtnisinhalten.

PSI-Lingua ist in der Lage, Wörter für Objekte, Situationen, Aktionen, Lokomotionen, räumliche Relationen und für seine Bedürfnisse zu lernen. Zusätzlich kann es einige Fragewörter und Abstrakta lernen. Es kann lernen, in welcher Reihenfolge es Wörter verwenden kann, und es kann diese Reihenfolgen gegebenenfalls umlernen. Was jedoch noch fehlt, ist der Erwerb von Kategorien und die Fähigkeit, diese Kategorien zu benennen. Ebenso wenig ist PSI in der Lage, Grammatik jenseits der Wortreihenfolge zu erwerben.

PSI Fähigkeiten wurden in einem weiteren Schritt einerseits mit Anforderungen, die aus der Entwicklungspsychologie, der Sprachpsychologie und der Tierpsychologie abgeleitet wurden verglichen, andererseits wurden PSIs Möglichkeiten und Fähigkeiten auch direkt mit den Möglichkeiten und Fähigkeiten anderer Agenten verglichen. Aus den Ergebnissen dieser Vergleiche wurden dann Möglichkeiten und Notwendigkeiten für die zukünftige Entwicklung PSIs abgeleitet.

Ein nächster wichtiger Schritt in PSIs Entwicklung ist vor allem die Einführung des Erwerbs von Kategorien, sowohl innerhalb der Sprache als auch innerhalb von

9. Diskussion und Ausblick

Objekten. PSI muss sowohl in der Lage sein, ein Objekt in einzelne Teilobjekte zu zerlegen als auch ein Wort in seine Bestandteile, um so die bedeutungstragenden Bestandteile herauszufinden und adäquat zu verwenden.

In einem zweiten Teil dieser Arbeit wurde die Frage untersucht, in wie weit sich Probanden gegenüber einem autonomen (und in diesem Fall mit ihnen kommunizierenden) Agenten (hier PSI) anders verhalten als gegenüber einem vollständig von ihnen abhängigen Agenten („Roboter“). Diese übergreifende Frage wurde in mehrere, weniger umfassende Fragen zerlegt, beispielsweise nach Verhaltenstypen, charakteristischen Unterschieden, Lerneffekten und der Einschätzung von PSIs Kompetenz durch die Probanden.

Um diese Fragen beantworten zu können, wurden die Probanden vor die Aufgabe gestellt, zusammen mit PSI (trotz dessen noch begrenzter Sprachfähigkeit) in einer simulierten Kanalwelt zu „überleben“ und dort Aufgaben zu erledigen. Diese Aufgaben unterteilten sich in zwei Gruppen: einerseits sollten sie die simulierte Kanalisation einer Stadt mit einem virtuellen Roboter bzw. mit PSI erkunden, und dabei den jeweiligen Agenten am Leben erhalten, andererseits sollten in der Kanalisation Löcher geflickt und Goldstücke gesammelt werden. Diese Ziele können miteinander im Widerspruch stehen. Danach wurden die Probanden zu beiden Simulationen interviewt, und sie wurden aufgefordert, beide Simulationen zu vergleichen. Es zeigten sich deutliche Unterschiede im Erleben und Verhalten der Probanden. PSI wurde von den meisten Probanden als eigenständiger Agent anerkannt, auch wenn sich viele Probanden nicht sicher waren, wie nützlich dieser „Partner“ ist. PSIs basale Sprachfähigkeit sichert zwar eine grundlegende Kommunikation, ist aber noch zu wenig ausgebaut um eine echte Zusammenarbeit zu ermöglichen. Zusätzlich sind PSIs „soziale“ Fähigkeiten für eine solche Zusammenarbeit nicht ausreichend, PSI stellt sich nicht auf seine Kommunikationspartner ein und nervt sie mit seinem monotonen Frageverhalten schnell. Damit wird den in Kapitel 6 angesprochenen Problemfeldern noch mehr Bedeutung verliehen. Auch wenn – nach den Ergebnissen der Wizard of Oz Studien (vgl. Kapitel 7.1) – auch sehr menschlich sprechende künstliche Agenten anders behandelt werden als Menschen, so sollte eine Verbesserung von PSIs Sprachqualität doch zu einer Annäherung an eine Mensch-zu-Mensch-Interaktion führen. Zudem handelt es sich bei PSI nicht als um ein Auskunft- oder Hilfsprogramm, das geschaffen wurde, um Menschen *bestmöglichst* zu unterstützen, sondern um einen eigenständigen

9. Diskussion und Ausblick

Agenten, in dessen Entwicklung der Schwerpunkt auf die Umsetzung einer Theorie *menschlichen* Erlebens und Verhaltens gesetzt wurde. Dieser Agent verfügt über Motivation und Emotionen, die sein Verhalten gestalten und damit auch die Interaktion zum Menschen. Gelingt es, auch PSIs Sprache und seine Interaktion durch Motivation und Emotion beeinflussen zu lassen, ist ein weiterer großer Schritt hin zu einer Mensch-zu-Mensch ähnlichen Interaktion gemacht. Dazu ist es jedoch nötig, neben PSIs Sprachfähigkeiten und Ausdrucksmöglichkeiten vor allem PSIs Affiliationsmotiv auszubauen. Eine Mensch-zu-Mensch ähnliche Interaktion wird sich aber auch unter optimalen Voraussetzungen auf PSIs Seite voraussichtlich nie für alle Probanden ergeben, da hier auch die Bereitschaft der Probanden, diese Interaktion zuzulassen, gegeben sein muss. In den Einzelfallanalysen wurde ein breites Spektrum an verschiedenen Verhaltensstilen gegenüber PSI dargestellt, das von völliger Akzeptanz bis hin zur totalen Ablehnung reicht. Bei einer Optimierung von PSIs sprachlichen und sozialen Fähigkeiten sollten mehr Probanden als zum jetzigen Zeitpunkt bereit sein, PSI als Partner zu betrachten, dass aber alle Probanden dazu bereit sein werden ist unwahrscheinlich, da der Kontrollverlust durch einen solchen Agenten von einigen Probanden sehr aversiv erlebt wird.

Hier zeigt sich der zweite große Strang in PSIs weiterer Entwicklung: jenseits der Sprachfähigkeit braucht PSI noch soziale Fähigkeiten um eine Kommunikation möglich zu machen. Zwar gibt es hier mit dem Affiliationsbedürfnis in PSI schon die Grundlagen, es fehlt jedoch noch an einer Einbindung dieser Grundlagen in PSIs (verbales) Verhalten.

Doch so basal PSIs Sprachfähigkeit im Moment auch ist, sie hat dennoch neue Welten für PSI geöffnet. Wo es zuvor nur möglich war, einem PSI-Lauf passiv zuzusehen, ist es nun möglich, einzugreifen, PSI zu beeinflussen und mit PSI sogar zusammenzuarbeiten. Schon jetzt ist PSI ein anerkannter Parten für einige Probanden, wenn seine Fähigkeiten noch erweitert werden ist es auf dem Weg, zu einem echten „Kollegen“ zu werden.

Literaturverzeichnis

- Abelson, R. P. (1968). Simulation of Social Behavior. In G. Lindzey & E. Aronson (Eds.), *The handbook of Social Psychology. Vol. 2: Research Methods* (S. 274-356). Reading, Mass: Addison-Wesley.
- Amalberti, R., Carbonell, N. & Falzon, P. (1993). User representations of computer systems in human-computer speech interaction. *International Journal of Man-Machine Studies*, 38, 547-566.
- Amelang, M & Bartussek, D. (1997). *Differentielle Psychologie und Persönlichkeitsforschung*; Stuttgart; Berlin; Köln: Kohlhammer, 4. Auflage.
- Anderson, J. R. (1996). *Kognitive Psychologie* (2. Auflage). Heidelberg: Spektrum.
- Atkinson, J. W. (1964). *An introduction to motivation*. New York: Van Nostrand.
- Barnett, J., Knight, K., Mani I. & Rich, E. (1990). Knowledge and Natural Language Processing. *CACM*, 33(8), 50-71.
- Bailey, D. (1995). Getting a grip: a computational model of the acquisition of verb semantics for hand actions. In *International cognitive linguistics association conference*, Albuquerque, NM, ohne Seite.
- Bailey, D., Feldman, J., Narayanan, S. & Lakoff, G. (1997). Modelling embodied lexical Development. *Proceedings of the 19th Cognitive Science Conference*, ohne Seite. NJ: Lawrence Erlbaum press.
- Bailey, D., Chang, N., Feldman, J. & Narayanan, S. (1998). Extending embodied lexical development . In *Proceedings of the 20th Cognitive Science Society Conference*, S.84-90. NJ: Lawrence Erlbaum Press.
- Bartl-Storck, C. (2004). *Wie Julia Jandl versteht - Eine Theorie des Verstehens unbestimmter Texte*. <http://elib.uni-bamberg.de/volltexte/2004/1.html>
- Bartl, C. & Dörner, D. (1998). Sprachlos beim Denken - zum Einfluss von Sprache auf die Problemlöse- und Gedächtnisleistung bei der Bearbeitung eines nichtsprachlichen Problems. *Sprache & Kognition*, 17, 224-238.
- Bartl, C. & Dörner, D. (1998b). *Comparing the behaviour of PSI with human behaviour in the BioLab game* (Memorandum Nr. 32) Bamberg: Universität, Lehrstuhl Psychologie II.
- Bartl, C. & Dörner, D. (1998c). Sprachlos beim Denken - zum Einfluß von Sprache auf die Problemlöse- und Gedächtnisleistung bei der Bearbeitung eines nichtsprachlichen Problems. *Sprache & Kognition*, 17, 4, 224-238.
- Bates, E., McWhinney, B. & Smith, S. (1983). Pragmatics and syntax in psycholinguistic research. In S.W. Felix & H. Wode (Eds.) *Language development at the crossroads*, S.11-30. Tübingen: Narr,.

Literaturverzeichnis

- Bell, L. & Gustafson, J. (1999a). Interaction with an animated agent in a spoken dialogue system. In: *Proceedings of Eurospeech '99*, S. 1143-1146.
- Bell, L. & Gustafson, J. (1999b). Utterance types in the August dialogues. http://www.speech.kth.se/august/ids99_augutt.html, abgerufen am 12.11.2003.
- Bell, L. & Gustafson, J. (2000). Positive and negative user feedback in a spoken dialogue corpus. http://www.speech.kth.se/~jocke/publications/icslp2000/feedback_final.htm, abgerufen am 12.11.2003.
- Bergen, B. K. & Chang, N.C. (2001). Embodied construction grammar in simulation-based language understanding. Erscheint in J.-O. Östman & M. Fried (Eds) *Construction Grammar(s): Cognitive and Cross-Language Dimensions*. Johns Benjamins.
- Bergmann, R., Pauly, P. & Stricker, S. (2001). *Einführung in die deutsche Sprachwissenschaft*. Heidelberg: Universitätsverlag C. Winter.
- Bever, T. G. (1970). The cognitive basis for linguistic structures. In J.R. Hayes (Ed.) *Cognition and the development of language*, S. 279-362. New York, London: Wiley.
- Bischof, N. (1997). *Das Rätsel Ödipus. Die biologischen Wurzeln des Urkonfliktes von Intimität und Autonomie* (4. Auflage). München, Zürich: Piper.
- Bobrow, D. (1967). Natural language input for computer problem solving system. In M. Minsky (Ed.) *Semantic Information processing*, S. 133-215. Cambridge, Mass.: MIT-Press.
- Breazeal, C. L.(2002). *Designing Sociable Robots*. Cambridge, Mass.: MIT-Press.
- Bruner, J. S. (1975). The ontogenesis of speech acts. *Journal of Child Language*, 2, 1-19.
- Chang, N., Feldman, J., Porzel, R. & Sanders, K. (2002). Scaling cognitive Linguistics: formalism for language understanding. <http://www.icsi.berkeley.edu/NTL/papers/scaling.pdf>, abgerufen am 12.11.2003
- Chin, D. N. (2000). Planning intelligent responses in a natural language system. *Artificial Intelligence*, 14, 283-332.
- Chomsky, N. (1957). *Syntactic structures*. The Hague: Mouton.
- Chomsky, N. (1965). *Aspects of the theory of syntax*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Chomsky, N. (1981). *Lectures on government and binding: The Pisa lectures*. Dordrecht: Foris.
- Colby, K. M.(1975). *Artificial Paranoia: A computer Simulation of paranoid processes*. New York: Pergamon Press Inc.
- Chomsky, N. (1982). *Some concepts and consequences of the theory of government and binding*. Cambridge, MA: MIT Press
- Colby, K. M., Watt, J. B. & Gilbert, J.P. (1966). A computer method of psychotherapy: preliminary communication, *Journal of Nervous and mental disease*, 142 (2), 148-152.

Literaturverzeichnis

- Confais, P. (1995). Frage, Fragesatz, Fraglichkeit. In: M. Schecker (Hrsg.) *Fragen und Fragesätze im Deutschen*, (S.1-12), Tübingen: Stauffenburg Verlag.
- Conrad, R. (1978). *Studien zur Syntax und Semantik von Frage und Antwort*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Coseriu, E. (1979). System, Norm und ‚Rede‘. In E. Coseriu, E. *Sprache, Struktur und Funktion. XII Aufsätze zur allgemeinen und romanischen Sprachwissenschaft*. In Zusammenarbeit mit H. Bertsch und G. Köhler, hg. v. U. Petersen., Tübinger Beiträge zur Linguistik, 2, 3.A. Tübingen: Universitätsverlag, S. 45-59
- Dahlbäck, N., Jönsson, A. & Ahrenberg, L. (1993). Wizard of Oz Studies – Why and How. *Intelligent User Interfaces'93*, p. 193-200.
- Detje, F. (1999). *Handeln erklären*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag.
- Detje, F. (2000 a). Comparison of the PSI-theory with human behaviour in a complex task. In N. Taatgen, & J. Aasman (Eds.) *Proceedings of the Third International Conference on Cognitive Modeling*. Veenendaal: Universal Press, p. 94-99.
- Detje, F. (2000 b). *„Insel“ Dokumentation – Versuche – Ergebnisse*. (Memorandum Nr. 39) Bamberg: Universität, Lehrstuhl Psychologie II.
- Detje, Frank (2001). Die Einführung eines Affiliationsbedürfnisses bei PSI. Theoretische Konzepte und experimentelle Untersuchungen. *Sozionik Aktuell*, 1 (2).
- Dörner, D. (1996). *Über die Gefahren und die Überflüssigkeit der Annahme eines „propositionalen“ Gedächtnisses* (Memorandum Nr. 22). Bamberg: Universität, Lehrstuhl Psychologie II.
- Dörner, D. (1999). *Bauplan für eine Seele*. Reinbek: Rowohlt.
- Dörner, D. (1999b). *Sprache und Gedächtnis* (Memorandum Nr. 34). Bamberg: Universität, Lehrstuhl Psychologie II.
- Dörner, D. (2000). The Simulation of Extreme Forms of Behaviour. In N. Taatgen & J. Aasman (Eds.) *Proceedings of the Third International Conference on Cognitive Modeling*. Veenendaal: Universal Press, S. 94-99.
- Dörner, D., Schaub, H., Stäudel, T. & Strohschneider, S. (1988). Ein System zur Handlungsregulation oder – Die Interaktion von Emotion, Kognition und Motivation. *Sprache und Kognition*, 4, 217-232.
- Dörner, D. & Wearing, A. (1995). Complex Problem Solving: Toward a (Computersimulated) Theory. In P.A. Frensch & J. K. Funke (Eds.). *Complex Problem Solving. The European Perspective*, p.65-99. Hillsdale, N. J; Hove, U.K.: Lawrence Erlbaum Ass
- Dörner, D.& Schaub, H. (1998). *Das Leben von Ψ* , (Memorandum Nr. 27) Bamberg: Universität, Lehrstuhl Psychologie II.
- Dörner, D., Levi, P., Detje, F., Brecht, M., & Lippolt, D. (2001). Der agentenorientierte, sozionische Ansatz mit PSI. *Sozionik Aktuell*, 1 (2).

Literaturverzeichnis

- Dörner, D., Bartl, C., Detje, F., Gerdes, J., Halcour, D., Schaub, H. & Starker, U. (2002) *Die Mechanik des Seelenwagens. Eine neuronale Theorie der Handlungsregulation*. Göttingen: Huber.
- Feldman, J., Lakoff, G., Bailey, D., Narayana, S., Regier, T. & Stolcke, A. (1996). L₀ – The first five years of an automated language acquisition project. *Artificial Intelligence review*, 10, 103-129.
- Feldman, J. & Narayanan, S. (2003). Embodiment in a Neural Theory of Language. *Brain and Language* (im Druck).
- Felix, S. W. (1976). Wh-pronouns in first and second language acquisition. *Linguistische Berichte* 44, 52-64.
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- French, R. M. (1999). Constrained connectionisms and the limits of human semantics: a review of Terry Regier's The Human Semantic Potential. In: *Philosophical Psychology*, 12(4), 515-523.
- Gardner, R. A. & Gardner, B. T. (1969). Teaching Sign Language to a chimpanzee. *Science*, 165, 664-672.
- Gerdes, Jürgen & Detje, Frank (2001). Der Aufbau einer komplexen Umwelt für den Multi-Agenten-Betrieb und Hybridgesellschaften. *Sozionik Aktuell*, 1 (2).
- Gerdes, J., Dörner, D. und Hämmer, V. (2001-2003). *Psi Reality 3D – Ein System für die Simulation verschiedener, komplexer und dynamischer Umwelten*. <http://gift.ppp.uni-bamberg.de/projekte/psi/psireality3d/index.html>, abgerufen am 12.11.2003.
- Green, C. (1969). Application of theorem proving to problem solving. In D. E Walker & L. M. Norton (Eds.). *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Boston: Mitre Corporation.
- Grice, H. P. (1975). Logic and conversation. In P. Cole & J. L. Morgan (Eds.), *Syntax and Semantics (Vol.3): Speech Acts*. New York: Seminar Press.
- Gustafson, J., Lundeberg, M. & Liljencrants, J. (1999). Experiences from the development of August – a multi-modal spoken dialogue system. In *Proceedings of IDS'99*, pp.81-85.
- Gustafson, J. & Bell, L. (2000). Speech technology on trial: Experiences from the August system. *Natural Language Engineering*, 1 (1), 1-15.
- Harnad, S. (1992). The Turing Test is not a trick: Turing indistinguishability is a scientific criterion. *SIGART Bulletin*, 3 (4), pp. 9-10.
- Hartman, R. A. (1998). *Grundlagenprobleme der Sprachwissenschaft*. Konstanz: Hartung-Gorre.
- Haugeland, J. (1985). *Artificial Intelligence: The very idea*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Literaturverzeichnis

- Herman, L. M. (2002). Vocal, Social, and Self-Imitation by bottlenose dolphins. In K. Dautenhahn & C. Nehaniv (Eds.) *Imitation in animals and artefacts*, pp. 63-108. Cambridge, Mass. MIT Press.
- Herman, L. M., Kuczaj, A. A. II. & Holden, M. D. (1993). Responses to anomalous gestural sequences by a language-trained dolphin: evidence for processing of semantic relations and syntactic information. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122, 2, 184-194.
- Hewitt, C. (1971). Procedural embedding of knowledge in PLANNER. *Proceedings of the Second Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 167-182. London: British Computer Society.
- Hille, K. (1997). *Die „künstliche Seele“: Analyse einer Theorie*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag.
- Hille, K. & Bartl, Ch. (1997). *Von Dampfmaschinen und künstlichen Seelen mit Temperament*. Universität Bamberg, Lehrstuhl Psychologie II, Memorandum Nr. 24.
- Hoc, J.-M. (2000). From human-machine interaction to human-machine cooperation. *Ergonomics*, 43, 7, 833-843.
- Hoc, J.- M. (2001). Towards a cognitive approach to human-machine cooperation in dynamic situations. *International Journal of Human-Computer Studies*, 54, 509-540.
- Jensen, J. T. (1990). *Morphology. Word Structure in Generative Grammar*. Amsterdam, Philadelphia: Benjamins.
- Kaplan, F. (2000). Talking AIBO: First experimentation of verbal interaction with an autonomous four-legged robot. In A. Nijholt, D. Heylen & K. Jokinen (Eds.) *Learning to behave: Interacting agents. CELE-TWENTE Workshop on Language Technology*, p. 57-63.
- Kaplan, F., Oudeyer, P.-Y., Kubinyi, E. & Miklósi, A. (2002). Robotic clicker training. *Robotics and Autonomous Systems*, 38 (3-4), 197-206.
- Klein, J., Moon, Y. & Picard, R. W. (2002). This computer responds to user frustration: Theory, design, and results. *Interacting with computers*, 14, 119-140.
- Klix, F. (1984). Über Wissensrepräsentation im menschlichen Gedächtnis. In F. Klix (Hrsg.) *Gedächtnis, Wissen, Wissensnutzung*, S.9-73. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Künzel, J. (2000). *Fragen über Fragen Ein Prozessmodell des Fragestellens*. Unveröffentlichte Diplomarbeit im Studiengang Psychologie in der Fakultät Pädagogik, Philosophie, Psychologien der Otto-Friedrich-Universität Bamberg.
- Längle, T. & Wörn, H. (2001). Human-Robot Cooperation Using Multi-Agent-Systems. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 32, 143-159.

Literaturverzeichnis

- Lakoff, G. & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lehnert, W. G., Dyer, M. G., Johnson, P. N., Yang, C. J. & Harley, S. (1983). BORIS – An experiment in IN-Depth Understanding of Narratives. *Artificial Intelligence*, 20, 15-62.
- Lenat, D. B. & Guha, R. V. (1990). *Building large knowledge based systems. Representation and inference in the Cyc project*. Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Company.
- Markman, E. M. (1989). *Categorization and Naming in Children*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Markman, E. M. (1992). Constraints on Word Learning: Speculations About Their Nature, Origins, and Domain Specificity. In M. R. Gunnar & M. Maratsos (Eds.) *Modularity and constraints in language and cognition. The Minnesota Symposia on child psychology*. Volume 25, pp. 59-101. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Markman, E. M. (1994). Constraints on word meaning in early language acquisition. *Lingua*, 92, 199-227.
- Massaro, D. (1988). Some criticisms of connectionist models of human performance, *Journal of memory and language*, 27, 213-234.
- McGlashan, S. & Axling, T. (1996). Talking to Agents in Virtual Worlds. <http://www.sics.se/~scott/papers/ukvrsig96/ukvrsig96.html>, abgerufen am 12.11.2003
- Menzel, W. (2000). Sprachverarbeitung – Ein Überblick. In G. Götz, C.- R. Rollinger & J. Schneeberger (Hrsg.) *Handbuch der Künstlichen Intelligenz* (3. Auflage), S.643-663. München: Oldenbourg.
- Miller, M. (1976). *Zur Logik der frühkindlichen Sprachentwicklung*. Stuttgart: Klett.
- Montada, L. (1995). Die geistige Entwicklung aus der Sicht Jean Piagets. In R. Oerter, & L. Montada, (Hrsg.) *Entwicklungspsychologie*, S.518-560. Weinheim: Beltz.
- Mowrer, O. H. (1969) *Theory and research – a review*. Urbana: University of Illinois.
- Narayanan, S. (1999a). Moving Right Along: A Computational Model of Metaphoric Reasoning about Events. In: *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence (AAAI '99)*, Orlando, Florida, July 18-22, 1999, pp 121-128, AAAI Press.
- Narayanan, S. (1999b). Reasoning About Actions in Narrative Understanding. In: *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '99)*, pp. 350-358, Stockholm, Aug. 1-6, 1999, Morgan Kaufmann, San Francisco, CA.
- Ogden, C.R. & Richards, I. A. (1960). *The meaning of meaning*. London: Routledge & Keegan Paul.
- Omohundro, S. (1992). *Best-first model merging for dynamic learning and recognition*. Technical Report TR-92-004; International Computer Science Institute, Berkley, CA.

Literaturverzeichnis

- Popp, M. (1991). *Einführung in die Grundbegriffe der allgemeinen Psychologie* (4. Auflage). München, Basel: Reinhardt.
- Pepperberg, I. (1999). *The Alex Studies. Cognitive and Communicative Abilities of Grey Parrots*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Picard, R. W. & Klein, J. (1992). Computers that recognise and respond to user emotion: theoretical and practical implications. *Interacting with computers*, 14, 141-169.
- Pinker, S. (1989). *Learnability and cognition: the acquisition of argument structure*. Cambridge: MIT Press.
- Pinker, S. (2000). *Wörter und Regeln. Die Natur der Sprache*. Heidelberg, Berlin: Spektrum.
- Potter, R. E. & Balthazard, P.A. (2002). Virtual team interactions styles: assessment and effects. *International Journal of Human-Computer Studies*, 56, 423-443.
- Premack, D. (1971). Language in Chimpanzee? *Science*, 172, 808-822.
- Regier, T. (1995). A Model of the Human Capacity for Categorizing Spatial Relations. In: *Cognitive Linguistics*, 6-1, 63-88.
- Regier, T. (1996). *The Human Semantic Potential: Spatial Language and Constrained Connectionism*. Cambridge, MA: MIT-Press.
- Restat, J. (1999). *Kognitive Kinästhetik. Die modale Grundlage des amodalen räumlichen Wissens*. Lengerich: Pabst.
- Sarter, N. B. & Woods, D. D. (2000). Team play with a powerful and independent agent: a full mission simulation study. *Human Factors*, 42, 3, 390-402.
- Saussure, F. de (1989-90). *Cours de linguistique générale. Édition critique par Rudolf Engler*. 2 Bände. Wiesbaden.
- Schank, R. C. & Abelson, R. (1977). *Scripts, plans, goals, and understanding*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Schaub, H. (1993). *Modellierung der Handlungsorganisation*. Bern: Huber.
- Schusterman, R. J., Kastak, D. (1998). Functional equivalence in a California sea lion: Relevance to animal social and communicative interactions. *Animal Behaviour*, 55, 1087-1095.
- Searle, J. R. (1980). Minds brains and programs, *The Behavioral and Brain Sciences*, 3, p. 417-457.
- Searle, J. R. (1994). Geist, Gehirn, Programm. In W. Ch. Zimmerli (Hrsg.) *Künstliche Intelligenz. Philosophische Probleme*, S.232-268. Stuttgart: Reclam.
- Sinclair-de Zwart, H. (1969). Developmental psycholinguistics. In D. Elkind & J.H. Flavell (Eds.) *Essays in honour of Jean Piaget*, pp. 315-336. New York et al.: Oxford University Press.
- Skinner, B.F. (1957). *Verbal Behavior*. Engelwood Cliffs: Prentice Hall.

Literaturverzeichnis

- Slobin, D. I. (1973). Cognitive prerequisites for the development of grammar. In C.A. Ferguson & D. I. Slobin (Eds.) *Studies of child language development*, pp. 175-208. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Slobin, D. (1974). *Einführung in die Psycholinguistik*. Kronberg, Ts.: Scriptor.
- Slobin, D. I. (1985). *The cross-linguistic study of language acquisition*. Hillsdale, N.J., New York: Lawrence Erlbaum.
- Steels, L. (1997). The synthetic modelling of language origins. *Evolution in Communication*, 1 (1), 1-34.
- Steels, L. (1999). *The Talking heads experiment. Volume I: Words and Meaning*. Special pre-edition for Laboratorium, Antwerpen.
- Steels, L. (2001). Language Games for Autonomous Robots, *IEEE Intelligent Systems*, 16, 5, 16-22.
- Steels, L. & Kaplan, F. (2000). AIBO's first words. The social learning of language and meaning, *Evolution of Communication*, 4, 1, p. 3-32.
- Steels, L. & Vogt, P. (1997). Grounding adaptive language games in robotic agents. In I. Harvey & P. Husband (Eds.) *Proceedings of the 4th Conference on Artificial Life*. Cambridge, Mass.: MIT-Press. <http://www.csl.sony.fr/downloads/papers/1997/web-ecal97.pdf>, abgerufen am 12.11.2003.
- Storp, M. (2002). Chatbots. Möglichkeiten und Grenzen der maschinellen Verarbeitung natürlicher Sprache. <http://www.websprachen.net/networx/docs/networx-25.pdf> (abgerufen am 13.6.2002).
- Strahm, B. (2002). Ein Byte im Kornfeld. Hurra, wir sind einzigartig! Der Robotik-Kritiker Joseph Weizenbaum über Menschen, Maschinen und falsche Gefühlsduselei. *Süddeutsche Zeitung*, 65, 18. März 2002, S.15.
- Szagan, G. (1996). *Sprachentwicklung beim Kind* (6. Auflage). Weinheim: Beltz.
- Tenbrink, T., Fischer, K. & Moratz, R. (2002). Spatial Strategies in Human-Robot Communication. *Künstliche Intelligenz*, 4, 19-23.
- Terrace, H. S., Petitto, L. A., Sanders, R. J. & Bever, T. G. (1979). Can an ape create sentence? *Science*, 206, S.891-206.
- Tzafestas, S. G. & Tzafestas, E.S. (2001). Human-machine interaction in intelligent robotic systems. a unifying consideration with implementation examples. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 32, 119-141.
- Turing, A.M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*, 59, p.433-460.
- Turing, A.M. (1994). Kann eine Maschine denken? In W. Ch. Zimmerli (Hrsg.) *Künstliche Intelligenz. Philosophische Probleme*, S.39-78. Stuttgart: Reclam.
- Vater, H. (1996). *Einführung in die Sprachwissenschaft* (2. Auflage). München: W. Fink.

Literaturverzeichnis

- Walther, J. (1985). *Logik der Frage*. Berlin, New York: de Gruyter.
- Watson, J. (1984). *Behaviorismus* (3. Auflage). Frankfurt/Main: Fachbuchhandlung für Psychologie.
- Weber, N. (1998). (Ed.) *Machine Translation: Theory, Applications, and Evaluation. An assessment of the state-of-the-art*. St. Augustin: Gardez! Verlag.
- Weizenbaum, J. (1966). ELIZA – A computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Communications of the ACM*, 9, 1, 36-45.
- Weizenbaum, J. (1980). *Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft* (2. Auflage). Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Weizenbaum, J. (1990). *Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft*. Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Wildgen, W. (1990). Konstruktionsgrammatik. In K.- H. Wagner & W. Wildgen (Hrsg) *Studien zur Grammatik und Sprachtheorie*, S.65-84. Reihe: BLICK, Nr. 2, Bremen: Universitätsbuchhandlung.
- Winograd, T. (1973). A procedural model of language understanding. In R. C. Schank & K. M. Colby (Eds.) *Computer models of thought and language*, pp. 152-186. San Francisco: W. H. Freeman and Company
- Wode, H. (1993) *Psycholinguistik. Eine Einführung in die Lehr- und Lernbarkeit von Sprachen*. Ismaning: Hueber.
- Zimbardo, P. G. (1995). *Psychologie*. Berlin: Springer.
- Zoltan-Ford, E. (1991). How to get people to say and type what computers can understand. *International Journal of Man-Machine Studies*, 34, 527-547.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: The Doctor aus Star Trek Voyager © Paramount.....	7
Abbildung 2: Data aus Star Trek The Next Generation © Paramount.....	7
Abbildung 3: C3PO und R2D2 aus StarWars, Episode 4, ©Lucasfilm, Ltd.....	7
Abbildung 4: PSI - eine mögliche Inkarnation	12
Abbildung 5: Ein Überblick über die PSI-Theorie, aus :Dörner & Schaub (1998), S. 13	13
Abbildung 6: PSIs Welt.....	15
Abbildung 7: Ein Ort, wie PSI ihn sieht (links) und wie er Menschen erscheint (rechts)	16
Abbildung 8: Zeitung – Asche – Müll.....	16
Abbildung 9: Modifizierte Rasmussenleiter (nach Dörner, 1999, S.512).....	19
Abbildung 10: galoppierender Hund (aus: Dörner, 1999, S.188).....	23
Abbildung 11: Elementabstraktheit.....	24
Abbildung 12: Ein Verhaltensprogramm (aus: Dörner, 1999, S.96).	25
Abbildung 13: Ein Quad.....	26
Abbildung 14: Ein sensorisches Schema.....	27
Abbildung 15: Langage, Langue und Parole nach Saussure, 1989-90, S.41, aus Hartman, 1998, S.26	30
Abbildung 16: Phrasenstruktur	35
Abbildung 17: Symbol, Bedeutung, Sinn (aus: Dörner, 1999, S.233).....	51
Abbildung 18: W-Wörter und ein Geschehnisschema (aus: Dörner, 1999, S.665).	52
Abbildung 19: Die Erzeugung von Suchvorstellungen für W-Fragen (aus: Dörner, 1999, S.667).....	54
Abbildung 20: Die Beantwortung von W-Fragen (modifiziert nach Dörner, 1999, S.671).....	55
Abbildung 21: Interview mit ELIZA (http://www.stud.uni-karlsruhe.de/~unoh/eliza/)	61
Abbildung 22: Zerlegung eines Satzes in seine Teile, aus Weizenbaum, 1966, S.40.....	63
Abbildung 23: Das guessing game (aus Steels, 2001, S.17)	70
Abbildung 24: Talking Heads, aus Steels, 1999, Abbildung 1	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 25: Aus Steels, 1999, S.126: hier wird pama für [DARK] und limiri für [LARGE] bevorzugt.....	72
Abbildung 26: Der Roboterhund AIBO™ (Sony).....	74
Abbildung 27: Unterhaltung mit AIBO nach Steels & Kaplan (2000).....	74
Abbildung 28: KISMET.....	79
Abbildung 29: Kismets grundlegende Organisation.....	80
Abbildung 30: Regiers Modell der Kategorisierung räumlicher Relationen (aus Regier, 1995, S.69).....	87
Abbildung 31: Unter - oder in?.....	89
Abbildung 32: Gleich? Oder nicht? nach French, 1999, S.518.....	90
Abbildung 33: Zusammenhang zwischen Wort und x-Schema (aus Bailey, 1995, S.3).....	90
Abbildung 34: Die Interaktion von f-structs, linking features und x-schemas (nach Bailey, Chang, Feldman & Naranayan, 1998, S.85).....	92
Abbildung 35: Das Modell des Metapher-Verstehens von Naranayan (1999a, S.122).....	96
Abbildung 36: Überblick über das Modell (aus Bergen & Chang, 2001, S.2).....	98
Abbildung 37: Die Oberfläche von PSI-Lingua.....	101
Abbildung 38: Ling-Spider.....	102
Abbildung 39: Relationen in LingSpider.....	103
Abbildung 40: HyperceptLan.....	108
Abbildung 41: Wörter.....	108
Abbildung 42: PSIs interne Repräsentation ohne (oben) und mit Wörtern (unten).....	110
Abbildung 43: Zusammenhang Wort - Bild.....	114
Abbildung 44: Zwei Erscheinungsmöglichkeiten des Haselwaldes.....	114
Abbildung 45: links der Akku, rechts das Vorstellungsbild eines Akkus.....	115
Abbildung 46: links das Menüfeld Relation, rechts das Bild für die Relation rechts-neben.....	117
Abbildung 47: Bedeutungsfindung bei Relationen.....	118

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 48: Von der Situation in der unteren Mitte sind nur Lokomotionen nach Norden, Osten und Westen möglich, nicht jedoch beispielweise nach Süden.....	120
Abbildung 49: Umgang mit neuen Wörtern.....	124
Abbildung 50: Ein Plan.....	127
Abbildung 51: Oberbegriffe.....	133
Abbildung 52: Das Wort "Lache" und mögliche Verbindungen.....	137
Abbildung 53: Wizard of Oz Experiment.....	156
Abbildung 54: Die Komponenten des August-Systems, aus: Gustafson, Lundeberg & Liljencrants, 1999, S.82.....	158
Abbildung 55: Die Kanalwelt des Roboters.....	170
Abbildung 56: Steckdose und Steckdose-2.....	173
Abbildung 57: PSIs Umgebung.....	173
Abbildung 58: Akku und Batterie.....	174
Abbildung 59: Die Trainingsumgebung für PSI und die Startsituation.....	174
Abbildung 60: Simulationsdaten: drei Quellen.....	186
Abbildung 61: Werden der Roboter und PSI als "er" oder als "ich" bezeichnet? links: 1. Versuchsgruppe, rechts: 2. Versuchsgruppe.....	202
Abbildung 62: Kann PSI die Aufgabe allein bewältigen? Warum nicht? Beide Gruppen	203
Abbildung 63: War PSI hilfreich (links)? Was würden Sie für eine echte Stadt einsetzen (rechts)?Jeweils beide Gruppen.....	204
Abbildung 64: Gibt es einen Lerneffekt je nach Simulationsreihenfolge? Beide Gruppen...	207

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grobabriss der Syntaxentwicklung für Sprachen mit Flexionen und Präpositionen. Aus Wode, 1993, S.226.	42
Tabelle 2: Übergeneralisierungen von Interrogativpronomina bei drei deutschen Kindern, Erstspracherwerb, aus Wode, 1993, S.241.....	43
Tabelle 3: Kategorisierung der Äußerungen gegenüber August.....	158

Abbildungsverzeichnis

Tabelle 4: Eine Unterhaltung mit August. Aus: Gustafson & Bell, 2000, S.8	159
Tabelle 5: Veränderungen in % aller lexikalische identischen Wiederholungen. Aus: Gustafson & Bell (2000), S. 10	160
Tabelle 6: Versuchsgruppen	167
Tabelle 7: Kategoriensystem zu Frage 1	182
Tabelle 8: Kategorien Interviews	185
Tabelle 9: Kategoriensystem zu den Simulationsdaten.....	187
Tabelle 10: Verhaltensdaten für beide Versuchsdurchführungen.....	197
Tabelle 11: Überblick über die Unterschiede der Handlungskategorien zwischen PSI und dem Roboter.....	198
Tabelle 12: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP02.....	209
Tabelle 13: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP06.....	214
Tabelle 14: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP07.....	218
Tabelle 15: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP11	221
Tabelle 16: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP13.....	224
Tabelle 17: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP14.....	228
Tabelle 18: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP16.....	231
Tabelle 19: Übersicht über die Handlungskategorien bei VP17.....	233

Verzeichnis der Anforderungen

Anforderung 1: Ein sprachverarbeitendes System muss sowohl über Wörter als auch über Regeln zur Kombination dieser Wörtern verfügen.	31
Anforderung 2: Von der Gedächtnisrepräsentation eines Wortes muss eine Verknüpfung zur Gedächtnisrepräsentation des entsprechenden Dings existieren.	33
Anforderung 3: Von der Gedächtnisrepräsentation eines Wortes muss nicht nur eine Verbindung zur Gedächtnisrepräsentation des Dings vorhanden sein, es müssen auch Verbindungen zu verwandten Konzepten möglich sein.	33
Anforderung 4: Ein sprachverarbeitendes System muss neben Wörtern auch über Regeln verfügen, die es anweisen, wie die Wörter aneinandergereiht werden.	34
Anforderung 5: Bei der Entwicklung eines sprachverarbeitenden Systems sollten sich für Fragen zur Grammatikentwicklung bestimmte Lösungen bevorzugt anbieten.	38
Anforderung 6: Die eingeführten Regeln müssen produktiv, abstrakt, kombinatorisch und rekursiv sein.	38
Anforderung 7: Ein sprachverarbeitendes System sollte auch nicht-regelkonformen Input verarbeiten können.	39
Anforderung 8: Ein sprachverarbeitendes System sollte auch Neologismen entschlüsseln können.	39
Anforderung 9: Bei einem sprachverarbeitenden System muss definiert sein, was als Beginn des Spracherwerbs angesehen werden soll.	39
Anforderung 10: Bei einem sprachverarbeitenden System müssen die Mindestbedingungen für den Spracherwerb gegeben sein: Wahrnehmungsvoraussetzungen, kognitive Voraussetzungen und die Möglichkeit einer Verbindung zwischen Bild und Sprache. ..	40
Anforderung 11: Ein sprachverarbeitendes System muß sich in seiner Sprachentwicklung ebenfalls zunächst auf das direkt erfahrbare stützen.	41
Anforderung 12: Ein sprachverarbeitendes System muss in seiner Bedeutungsfindung ebenfalls von einem zu engen über einen zu weiten hin zu einem der Zielsprache entsprechenden Bedeutungshof eines Wortes gelangen.	41
Anforderung 13: Ein sprachverarbeitendes System sollte einen ähnliche Ablauf der Sprachentwicklung wie ein Kind haben.	42

Anforderung 14: Ein sprachverarbeitendes System sollte zu ähnlichen Übergeneralisierungen der Interrogativpronomina neigen wie ein Kind.	43
Anforderung 15: Ein sprachverarbeitendes System sollte eine ähnliche Entwicklung der Flexionen zeigen wie ein Kind.....	43
Anforderung 16: Spracherwerbsstrategien, die bei Tieren funktionieren, sollten auch bei einem sprachverarbeitenden System funktionieren.....	44
Anforderung 17: Die bei Alex so erfolgreiche Methode des Lernens am Beispiel sollte auch bei einem sprachverarbeitenden System zum Erfolg führen.....	49
Anforderung 18: Ein sprachverarbeitender Computerprogramm muß über Emotion, Motivation und eine eigene Welt verfügen.....	76
Anforderung 19: Ein sprachverstehendes Computerprogramm muß auf der Basis einer Simulation der <i>Funktionalität</i> des Gehirns aufbauen.	78
Anforderung 20: Ein sprachverarbeitendes System sollte auch über die Mittel zur nonverbalen Kommunikation verfügen.	81

