

Entwicklung flexibel erstellbarer, universell
verständlicher visueller Arbeitsanweisungen
aus 3-D-Konstruktionsdaten für Montagelinien

Von der Hochschule für Bildende Künste Braunschweig zur Erlangung
des Grades eines Doktors der Philosophie – Dr. phil. – genehmigte
Dissertation von Katja Lemke, geboren am 11. April 1975 in Wolfsburg

Leitung der Arbeit:

Erstreferent: Prof. Dr. Holger van den Boom, HBK

Korreferenten: Prof. Dr. Stephan Rammler, HBK; Dr. Barthel Schröder, Volkswagen AG

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Juni 2005

Inhaltsverzeichnis

Vorwort . . . . .	.6
Kurzfassung . . . . .	.7

1 Problem und Aufgabe

1.1. Übersicht . . . . .	.8
1.2. Kontext . . . . .	.8
1.3. Beispiele bisher eingesetzter Arbeitsanweisungen für Werker an Montagelinien . . . . .	.9
1.4. Das Problem . . . . .	.20
1.5. Die Aufgabe. . . . .	.21

2 Theoretische Modelle von universeller Verständlichkeit

2.1. Übersicht . . . . .	.22
2.2. Design ist die Gestaltung von Information auf der Benutzeroberfläche . . . . .	.23
2.3. Menschliche Universalien – Anthropologie und Kognitionspsychologie. . . . .	.23
2.4. Das Zeichen und das Zeichensystem . . . . .	.25
2.5. Die Sprache als beispielhaftes Zeichensystem für das Design eines Zeichensystems zur Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisung . . . . .	.28
2.6. Sprachliche Universalien / Die UG (Generative Grammatik) . . . . .	.29
2.6.1. Das Lexikon . . . . .	.31
2.6.2. Die Proposition als Basiseinheit der Bedeutung . . . . .	.34
2.6.3. Argumentenstruktur und Subkategorisierung . . . . .	.35
2.6.4. Syntax. . . . .	.39
2.6.5. Semantik / Semantische Rollen und das Theta-Kriterium. . . . .	.42
2.7. Satzstrukturdarstellungen . . . . .	.48
2.8. Zusammenfassung . . . . .	.51

3 Visualisierung einer universell verständlichen Arbeitsanweisung

3.1. Übersicht	54
3.2. Die Darstellungsebene	54
3.3. Visualisierung auf der Darstellungsebene	56
3.4. Visuelle Universalien / Einführung in allgemeine Prinzipien der Wahrnehmungspsychologie, welche im Zusammenhang mit der universell verständlichen Visualisierung von Sachverhalten eine Rolle spielen	57
3.4.1. Physikalische und neuronale Grundlagen des Sehens	57
3.4.2. Objekterkennung / Die Gestaltgesetze	57
3.4.3. Das Schema und die Kanonische Repräsentation	58
3.4.4. Tiefenwahrnehmung	61
3.4.5. Der Aspekt der Zeit bei der Wahrnehmung statischer Bilder auf der Darstellungsebene.	62
3.4.6. Kognitive Raumorientierung / Mentale Räume	66
3.5. Konkrete Anwendung der visuellen Universalien zur universell verständlichen Visualisierung von Sachverhalten auf der Darstellungsebene am Beispiel Arbeitsanweisung	68
3.5.1. Die Verwendung von bestehenden 3-D-Konstruktionsdaten als einzelne lexikalische Einträge mit der kategorialen Information „Substantiv“	68
3.5.2. Die Visualisierung des Mentalen Raumes als <i>Konstruktionsraum</i>	72
3.5.3. Die einmalige Erstellung eines dreidimensionalen Pfeils als Schema von Bewegung durch Zeit und Raum: Die Darstellung des lexikalischen Eintrags mit der kategorialen Information „Verb“	74
3.5.4. Die universell verständliche Visualisierung eines Sachverhaltes auf der Darstellungsebene unter ausschließlicher Berücksichtigung der allgemeinen Prinzipien der menschlichen Kognition.	76
3.6. Zusammenfassung	79

4 Beispielhafte Realisierung der universell verständlichen Arbeitsanweisung: Eine Pilotstudie der Volkswagen AG

4.1. Übersicht	81
4.2. Das erste Bild: Darstellung der Arbeitsumgebung	81
4.3. Der erste Arbeitsschritt: „BKV aus Beh. in Aufnahme“	82
4.4. Der zweite Arbeitsschritt: „Montageplatte in Teileträger“	84

4.5. Der dritte Arbeitsschritt: „Dämpfung auf Montageplatte“ .....	.86
4.6. Die Arbeitsschritte vier bis sieben: „4 Klemmstopfen setzen“ .....	.87
4.7. Besondere Fälle .....	.91
4.7.1. Visualisierung der PP4 .....	.91
4.7.2. Visualisierung eines akustischen Reizes .....	.91
4.7.3. Sortenvielfalt und Varianten .....	.92

5 Ausblick

5.1. Flexible Erstellbarkeit von Arbeitsanweisungen unter Ausnutzung bestehender Ressourcen eines Konzerns94
---	-----

Literaturverzeichnis .....	.96
Danksagung .....	.100

Vorwort

Die vorliegende Dissertation wurde durch ein Promotionsstipendium der Volkswagen AG gefördert. Ich danke Herrn Dr. Barthel Schröder von der Volkswagen AG, der diese Arbeit als Korreferent betreut hat. Mit seinem persönlichem Engagement ermöglichte er mir, für die Dissertation in unterschiedlichen Bereichen des Volkswagenwerks – auch über den Standort Wolfsburg hinaus – Praxiserfahrung zu sammeln und auf diese Weise der Dissertation einen geeigneten Bezugsrahmen zu geben.

Die Hervorhebungen der in dieser Arbeit verwendeten Zitate stammen, soweit nicht anders angegeben, von den jeweiligen Verfassern der Zitate selbst. Die Zitate aus englischsprachigen Quellen wurden, sofern nicht anders angegeben, von der Autorin der vorliegenden Arbeit übersetzt.

Braunschweig, im November 2004

Katja Lemke

Kurzfassung

In dieser Arbeit wird ein Verfahren vorgestellt, wie man Sachverhalte universell verständlich auf der Darstellungsebene visualisieren kann. Das Verfahren gilt im Prinzip für beliebige Sachverhalte, die in einem beliebigen Kontext stehen können.

Die Arbeit wurde durch ein Promotionsstipendium der Volkswagen AG gefördert. Deshalb dient der spezielle Kontext „Universell verständliche und flexibel erstellbare Arbeitsanweisungen für Werker an Montagelinien“ in dieser Arbeit als Beispiel, um erstens in die spezielle Problematik und Thematik der universellen Verständlichkeit einzuführen, und zweitens, um die durch die Einbettung des Problems in den wissenschaftlichen Kontext erzielten Ergebnisse konkret zu veranschaulichen.

In Konzernen, deren Produktion weltweit in Form von standardisierten Arbeitsabläufen stattfindet, muss den Mitarbeitern an den Montagelinien vermittelt werden, was ihre Arbeitsaufgabe ist. Zu diesem Zweck und sofern sie keine mündliche Einweisung bekommen, werden ihnen meist technische Zeichnungen der Produktionsplanung zur Verfügung gestellt oder sie erhalten Arbeitsanweisungen in Textform. Videofilme und Fotodokumentationen mit Kommentaren zu einzelnen Arbeitsschritten finden immer häufigere Anwendung. Hinsichtlich ihrer Verständlichkeit für den Mitarbeiter an der Montagelinie hat sich keine der Methoden als zufriedenstellend erwiesen.

Die vom Mitarbeiter unzureichend, falsch oder gar nicht verstandenen Arbeitsanweisungen haben Fehlverbauten zur Folge. Diese wiederum erfordern Nacharbeit am Produkt, welche in erster Linie teuer ist. Unter Umständen kann sie aber auch das Einhalten des Auslieferungstermines verzögern, und damit weitere negative Konsequenzen nach sich ziehen.

Von der Industrie benötigt werden flexibel erstellbare, universell verständliche, visuelle Arbeitsanweisungen für die Mitarbeiter an der Montagelinie.

Wie diese Anweisungen auszusehen haben, und wie sie automatisiert in Form eines Programms auf Grundlage der 3-D-Konstruktionsdatenbanken eines Konzerns erstellt werden können, ist Thema dieser Arbeit.

Der Lösungsansatz ergibt sich aus der Vernetzung von Erkenntnissen aus Linguistik, Kognitionspsychologie und Designwissenschaft.

Das Ergebnis sind visuelle Darstellungen, welche in Anlehnung an in der Universalgrammatik verankerte universelle Sprachstrukturen und aus Propositionen aufgebaut sind, und zwar in einer Art und Weise, die der menschlichen Informationsverarbeitung angepasst ist. Formal den Prinzipien der allgemeinen menschlichen Wahrnehmung folgend, weisen die visuellen Darstellungen inhaltlich die Struktur der Universalgrammatik auf und entsprechen somit in ihrer Ganzheit den universellen kognitiven Strukturen des Menschen.

Eine die Sprachstrukturen der Universalgrammatik (UG) visualisierende Art der Darstellung gewährleistet nicht nur ein sprachenunabhängiges Verständnis der Inhalte, sondern bietet aufgrund des streng formalen Charakters der UG auch die Grundlage für eine spätere flexible und automatisierte Generierung der Arbeitsanweisungen.

1 Problem und Aufgabe

1.1. Übersicht

Dieses Kapitel führt in den Kontext „Arbeitsanweisungen für Werker an Montagelinien von weltweit operierenden Konzernen“ ein. Bisherige Arten von Arbeitsanweisungen werden dargestellt und auf ihre Vor- und Nachteile bezüglich der beiden folgenden Aspekte hin überprüft: a) Verständlichkeit für den Werker, und b) Arbeitsaufwand/Kostenintensität für den Konzern. Aus diesen beiden Abschnitten kristallisiert sich das Problem heraus, mit dem die vorliegende Arbeit sich beschäftigt, und das zum Schluss dieses Kapitels unter „Aufgabe“ explizit formuliert wird.

1.2. Kontext

Ein Artefakt ist ein vom Menschen erzeugtes Produkt. Es gibt einfache Artefakte, wie zum Beispiel einen Nagel oder einen Hammer, und es gibt komplexe Artefakte, wie etwa ein Bügeleisen, eine Waschmaschine, ein Automobil oder ein Flugzeug. Komplexe Artefakte zeichnen sich dadurch aus, dass einfache Artefakte in einer bestimmten, vom Hersteller festgelegten Art und Weise montiert werden müssen, um das fertige Produkt zu erhalten. Bügeleisen, Waschmaschinen und Automobile sind Massenprodukte. Ihre Produktion findet zumeist an – durch die Herstellerfirmen bestimmten – weltweit verteilten Standorten in Form von standardisierten Arbeitsabläufen statt. Je komplexer das Produkt, desto mehr Arbeitsschritte sind zu seiner Fertigstellung notwendig.

Die mit der Montage eines Produktes betrauten Mitarbeiter einer Firma sind die Werker. Von der Komplexität des Endprodukts abhängig, haben sie jeweils die Schritte eines bestimmten Fertigungsabschnitts auszuführen. Mit dem Gesamtzusammenhang, in dem diese Arbeitsschritte stehen, sind sie selten vertraut, was dazu führt, dass die vom einzelnen Werker auszuführenden Arbeitsschritte sich diesem *nicht* in einer transparenten, selbsterklärenden Weise darstellen. Um dennoch den richtigen Verbau der Teile und damit das im Sinne des Herstellers korrekte Endprodukt zu gewährleisten, benötigt der Werker eine Arbeitsanweisung.

Eine weitere Schwierigkeit kommt hinzu: Hersteller bieten Produkte auf dem Markt häufig in *Varianten* an. So kann der Käufer eines Automobils zum Beispiel entscheiden, ob er ein Fahrzeug mit normaler Heizung wünscht, oder lieber eines, das stattdessen mit einer automatischen Klimaanlage ausgestattet ist. Für den Werker an der Montagelinie bedeutet dies, dass er in ein- und demselben Arbeitstakt unterschiedliche Teile zum Verbau hat. Er muss also nicht nur an-

gewiesen werden, welche Arbeitsschritte er wie auszuführen hat, sondern auch, welches Teil er wann zu verbauen hat. Der Verbau unterschiedlicher Teile kann zudem zu gravierenden Veränderungen sowohl in der Abfolge, als auch der Art und Weise der auszuführenden Arbeitsschritte führen. Bei der Erstellung der Arbeitsanweisung für den Werker muss dies berücksichtigt werden.

Die Herstellerfirma eines bestimmten Produktes muss für die Werker also auf deren Verständnis zugeschnittene Montageanweisungen erstellen. Wie im folgenden Abschnitt deutlich wird, tritt bei jeder der allgemein üblichen Arten dieser Anweisungen Text in irgendeiner Form auf. Findet die Produktion an verschiedenen Standorten der Welt statt, bedeutet dies, dass der in einer bestimmten Sprache verfasste Text in andere Sprachen und ggf. in deren Schreibweise übersetzt werden muss. Für die Herstellerfirma ist das mit zusätzlichem Aufwand (und damit Kosten) verbunden. Hinzu kommt, dass wenn ein Produkt überarbeitet wird oder durch ein Nachfolgemodell ersetzt wird, neue, aktuelle Arbeitsanweisungen erstellt werden müssen. Für einen Konzern, der Produkte eines mittleren bis hohen Komplexitätsgrades an Standorten verschiedener Sprachzugehörigkeit herstellt, ist die Anfertigung von Montageanweisungen mit ständigem Aufwand und gleichbleibenden Kosten in beträchtlicher Höhe verbunden. Hinsichtlich ihrer Verständlichkeit für den Werker haben sich wenige der bisher zum Einsatz kommenden Arten der Montageanleitung als zufriedenstellend erwiesen. Im folgenden Abschnitt werden Beispiele solcher Arbeitsanweisungen gezeigt. Sie werden sowohl auf ihre Verständlichkeit für den Werker, als auch hinsichtlich des mit ihrer Erstellung verbundenen Kostenaufwandes für die Herstellerfirma geprüft.

1. 3. Beispiele bisher eingesetzter Arbeitsanweisungen für Werker an Montagelinien

Was sind die Bestandteile einer Arbeitsanweisung? Eine Arbeitsanweisung hat mit der Darstellung von speziellen *Sachverhalten* zu tun. In diesen Sachverhalten spielen *Werkzeuge*, *Behältnisse* und *Bauteile* eine Rolle. Die Sachverhalte sind *in der Zeit verlaufende* Handlungen, die etwas mit den Werkzeugen, Behältnissen und Bauteilen zu tun haben, und *die im Raum stattfinden* (das kann eine Montagehalle sein, ein bestimmter Bereich dieser Halle o. Ä.). Das Konzept der Zeit und das des Raumes spielen also im Zusammenhang mit der Arbeitsanweisung eine Rolle.

Welche Arten von Arbeitsanweisung für den Werker wurden bisher an Montagelinien eingesetzt? Sofern keine mündliche Einweisung für den Werker stattfindet, sind das:

- a) Arbeitsfolgen-Kurztexte (siehe Abb.1.1.)
- b) Technische Zeichnungen (siehe Abb.1.2.)
- c) Digitalfotos mit Erklärungen (siehe Abb. 1.3.)

- d) Videofilme mit Erklärungen
- e) diverse Mischformen aus a) - d) (siehe Abb. 1.5. und 1.6.)
- f) das Warenkorb-Prinzip und der Einsatz von AR-Technologie

Zu a) Arbeitsfolgen-Kurztexte (siehe Abb.1.1.)

Der bloße Einsatz von Text als Arbeitsanweisung, ohne das Beifügen von Bildern in irgendeiner Form, ist selten, aber nicht auszuschließen. Abb. 1.1. zeigt die „Nur-Text“- Form der Arbeitsanweisung für einen Arbeitstakt in einem Automobilkonzern.

Arbeitsplatz-Kurztext	Arbeitsfolgen- Kurztext
Vormontage Montageplatte (VM1)	Blick Monitor/Schreibung, BKV aus Beh. in Aufnahme
Vormontage Montageplatte (VM1)	Zum Materialbehälter BKV und zurück
Vormontage Montageplatte (VM1)	Lesen Schreibung Klima, LOR-L0L
Vormontage Montageplatte (VM1)	Weg zum Materialbeh. Montagepl. und zurück
Vormontage Montageplatte (VM1)	Montageplatte in Teileträger, 3x verriegeln
Vormontage Montageplatte (VM1)	Weg zum Mat.-behälter Dämpfung und zurück
Vormontage Montageplatte (VM1)	Dämpfung auf Montageplatte
Vormontage Montageplatte (VM1)	2 Montagehilfsdorne aufn., 4 Klemmstopfen aufn.
Vormontage Montageplatte (VM1)	Klemmstopfen, Montagehilfsdorne setzen
Vormontage Montageplatte (VM1)	Dämpfung Klima entfernen
Vormontage Montageplatte (VM1)	Dämpfung Kupplung entfernen
Vormontage Montageplatte (VM1)	Weg zum Mat.-platz FHW und zurück
Vormontage Montageplatte (VM1)	Muttern FHW aufnehmen u. verschrauben
Vormontage Montageplatte (VM1)	FHW Bremse und Druckstange BKV verrasten
Vormontage Montageplatte (VM1)	Montageplatte entriegeln
Vormontage Montageplatte (VM1)	Weg zum KLT und zurück (Stoesselsch. Bremse)
Vormontage Montageplatte (VM1)	Stoesselschalter aufn. und Spitze fetten
Vormontage Montageplatte (VM1)	Stoesselschalter Bremse setzen und verr.
Vormontage Montageplatte (VM1)	Montageplatte in Warenkorb legen
Vormontage Montageplatte (VM1)	Weg zum Komm.-wg.

Abb. 1.1.: Beispiel eines Arbeitsfolgen-Kurztextes

Der Text, obwohl in deutscher Sprache geschrieben, ist für einen deutschen Werker, der ohne speziell für diesen Arbeitstakt erforderliche technische Vorkenntnisse die Arbeitsschritte selbständig ausführen soll, nicht verständlich. Die verwendeten Abkürzungen (BKV steht für Bremskraftverstärker, FHW meint Fußhebelwerk, verr. heißt verrasten, etc.) sind nicht selbsterklärend. Es ist auch zu bezweifeln, ob bei ausgeschriebener Form der verwendeten

Abkürzungen ein neuer Mitarbeiter ohne technische Vorbildung die richtigen Teile greifen und korrekt verbauen würde. Eine Anweisung „Lesen Schreibung Klima, L0R-L0L“ kann man sich nur schwer in eine sinnvolle Aktion übersetzt vorstellen. Der Text wurde von Ingenieuren der Produktionsplanung erstellt, und nur für solche ist er auch verständlich. Für den Einsatz der Arbeitsfolgen-Kurztexte in anderssprachigen Ländern müssen entsprechende Übersetzungen angefertigt werden. Die Schwierigkeit für die Werker dort, aus den Texten die erforderliche richtige Handlung abzuleiten, bleibt bestehen.

Generell gilt: Die Transformation eines gelesenen Textes in eine Handlung ist eine mentale Operation, die selbst bei größtmöglicher Exaktheit der Formulierung anfällig für Fehler ist. Je komplexer die letztendlich auszuführende Handlung ist, desto schwieriger und fehleranfälliger gestaltet sich ihre Extraktion aus einem Text.

Zu b) Technische Zeichnungen (siehe Abb.1.2.)

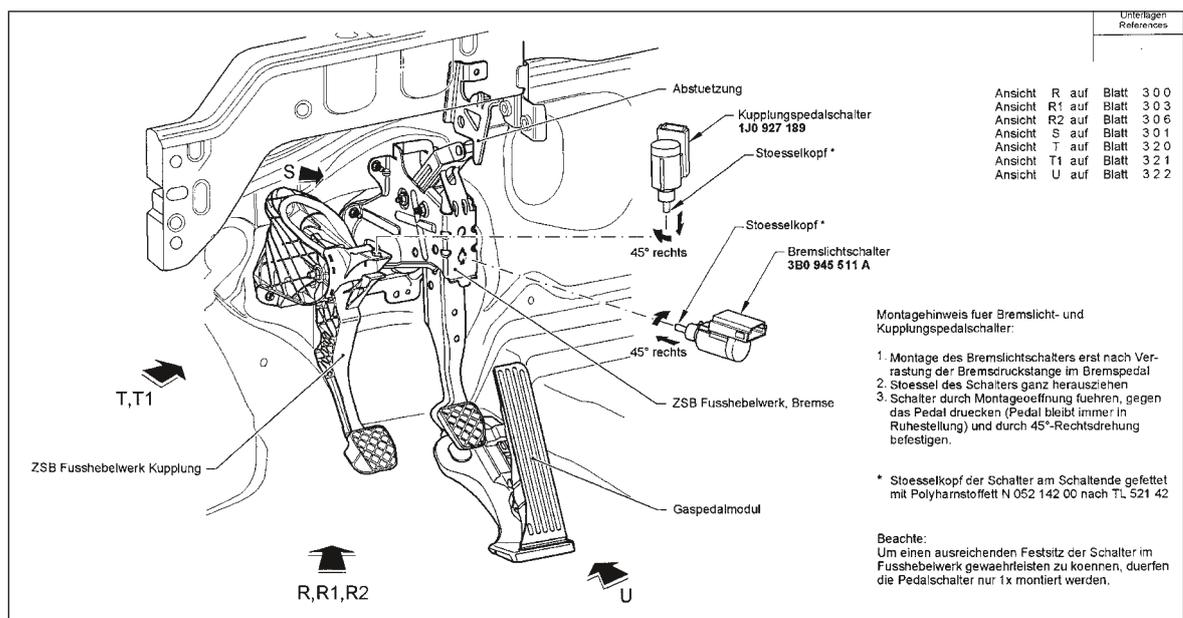


Abb. 1.2.: Beispiel eines PDM-Blattes

Abb. 1.2. zeigt ein PDM-Blatt für einen Arbeitsschritt in der Cockpit-Vormontage eines Automobilkonzerns. PDM steht für „Produkt Detail Montageanweisung“. PDM-Blätter sind technische Zeichnungen, die alleine oder in Kombination mit Arbeitsfolgen-Kurztexten am Arbeitsplatz des Werkers ausgehängt werden. Die Zahl der PDM-Blätter für einen Arbeitstakt entspricht nicht zwangsläufig der Zahl der in den Arbeitsfolgen-Kurztexten aufgeführten Einzelschritten. Demzufolge liegt auch inhaltlich keine Übereinstimmung zwischen Arbeitsfolgen-Kurztext und PDM-Blatt vor.

Das PDM-Blatt in Abb. 1.2. entspricht inhaltlich in etwa dem 18. der in Abb. 1.1. aufgeführten Arbeitsschritte, „Stoesselschalter Bremse setzen und verr.“. „In etwa“ deshalb, weil das PDM-Blatt nicht nur diesen, sondern noch einen zweiten Arbeitsgang darstellt, nämlich den des Setzens und Verrastens des Kupplungspedalschalters. Dieser zweite Arbeitsschritt betrifft den Werker in der Cockpit-Vormontage jedoch nicht; er hat lediglich als 18. Arbeitsschritt den Stoesselschalter korrekt zu verbauen. Der zweite im PDM-Blatt dargestellte Arbeitsschritt findet an einer anderen Stelle der Montagelinie statt und wird von einem anderen Werker ausgeführt.

Unabhängig von solchen Unstimmigkeiten zwischen Arbeitsfolgen-Kurztexten und PDM-Blättern, die ja leicht behoben werden könnten, liegt der Nachteil beim Einsatz von technischen Konstruktionszeichnungen als Arbeitsanweisung für den Werker aber zunächst darin, dass es sich eben um technische Zeichnungen handelt. Technische Zeichnungen gehören, nach Flusser, zu den Technobildern, Bildern also, die von Wissenschaftlern – hier Ingenieuren – erstellt und auch von ihnen verstanden werden (vgl. Flusser, 1998, S.71). Der technische Laie aber, den wir als Werker annehmen müssen, vermag wohl zwar zu erkennen, dass auf dem Bild etwas dargestellt ist, was den Teilen, die er zu verbauen hat, ähnlich ist. Ein exaktes Verständnis der Darstellung kann aber nicht vorausgesetzt werden. Technische Zeichnungen funktionieren im Sinne einer Fachsprache. Bestimmte Zeichen haben eine exakt definierte Bedeutung, die nicht unbedingt der Bedeutung des gleichen Zeichens im allgemeinen Sprach- / (Zeichen)gebrauch entspricht. Ein mit dem Lesen technischer Zeichnungen nicht vertrauter Werker vermag die durch unterschiedliche Strichstärken, durchgehende oder durchbrochene Linien, lange Pfeile, kurze oder gestrichelte Pfeile usw. codierte Bedeutung der Konstruktionsdarstellung nicht zu erfassen. Kennt der Empfänger einer Botschaft den Code, mit dem der Sender diese verschlüsselt hat, nicht, scheitert die Kommunikation. Technische Zeichnungen, wenngleich in ein- und derselben Form für einen anderssprachigen Ingenieur verständlich, sind für den Werker als Arbeitsanweisung schwer verständlich und daher ungeeignet. Hinzu kommt, dass technische Zeichnungen selten ganz ohne Text auskommen. Werden sie als Montageanleitung für den Werker weltweit eingesetzt, müssen auch sie übersetzt werden.

Zu c) Digitalfotos mit Erklärungen (siehe Abb. 1.3.)

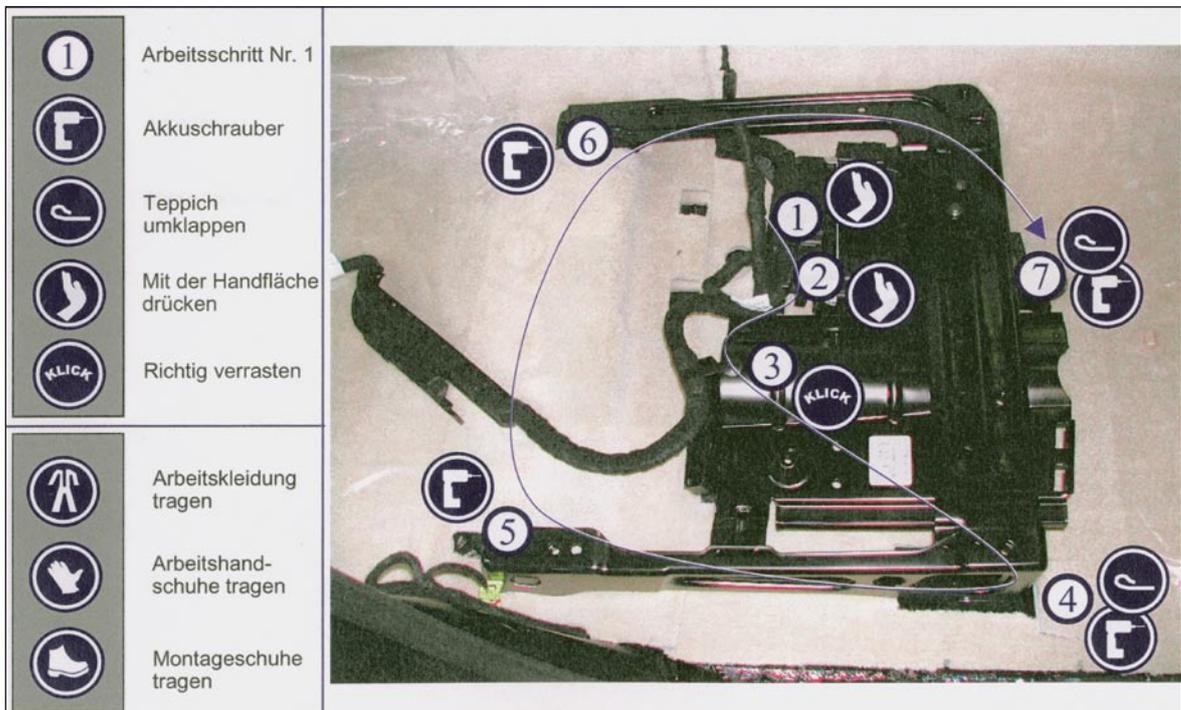


Abb. 1.3.: Beispiel einer Arbeitsanweisung als Digitalfoto mit darübergelegter Interpretationsebene

Immer häufiger werden Digitalfotos als Arbeitsanweisung für den Werker eingesetzt. Da ein Foto alleine nichts weiter abbildet, als die Situation, die der Werker um sich herum ohnehin vorfindet, muss über das Bild eine zweite, es interpretierende Ebene gelegt werden. Ist diese Meta-Ebene in Textform gefasst, stellt sich wieder das Übersetzungsproblem, sowie die oben geschilderte generelle Problematik einer Text-Anweisung. Dies versucht man zu umgehen, indem man auf piktogrammartige Zeichen zur Interpretation des Fotos ausweicht, wie in Abb.1.3. dargestellt.

Was sind Piktogramme? Nach Ch. S. Peirce sind es **eine bestimmte Art von Zeichen**. Peirce schreibt: „Ein *Zeichen* ist ein Ding, das dazu dient, ein Wissen von einem anderen Ding zu vermitteln, das es, wie man sagt, *vertritt* oder *darstellt*. Dieses Ding nennt man das *Objekt* des Zeichens. Die vom Zeichen hervorgerufene Idee im Geist, die ein geistiges Zeichen desselben Objekts ist, nennt man den *Interpretanten* des Zeichens. Zeichen teilen sich in drei Klassen, nämlich *Ikons* (oder Abbilder), *Indizes* und *Symbole*. (...) Ein *Ikon* ist ein Zeichen, das für sein Objekt steht, weil es als ein wahrgenommenes Ding eine Idee wachruft, die naturgemäß mit der Idee verbunden ist, die das Objekt hervorrufen würde. Die meisten Ikons, wenn nicht alle, sind *Ähnlichkeiten* ihrer Objekte. Eine Photographie ist ein Ikon, das gewöhnlich eine Fülle von Informationen vermittelt. (...) Ein Diagramm ist eine besonders brauchbare Art von Ikon,

weil es gewöhnlich eine Mengen von Details auslässt und es dadurch dem Geist gestattet, leichter an die wichtigen Eigenschaften zu denken.“ (Peirce, 1895, in: Peirce 2000, S. 204 f.)

Nach Peirce gehören also sowohl das (in diesem Fall Digital-) Foto, als auch die es erklären sollenden Piktogramme, zu der Klasse der Ikons. Was unterscheidet nun das Digitalfoto von den Piktogrammen, bzw. wie kommt es, dass eine Art von Ikons herangezogen werden kann, um eine andere Art von Ikons zu erklären? Der Unterschied besteht in dem von Peirce nicht näher erläuterten Begriff der Ähnlichkeit. „Schließlich ist nicht klar, *was* die besagte „Ähnlichkeit“ nun sein soll: Ein Bild ist zweidimensional, die abgebildete Person aber dreidimensional; das Bild besteht aus Farbpigmenten, die Person aber aus Fleisch und Blut, usf. Ganz allgemein ist daher die Feststellung wichtig, dass alle „Ikonen“ gegenüber der Komplexität des Realen radikale *Vereinfachungen* sind. Denn die Gegenstand und Darstellung „gemeinsamen Merkmale“ machen im Vergleich zur grenzenlosen Vielfalt des Wirklichen nur eine *sehr geringe* Menge aus.“ (Volli, 2002, S. 217) Im Fall von Abb. 1.3. kann man sagen, dass das Digitalfoto als Ikon die Wirklichkeit in nur geringem Maße vereinfacht. Die Piktogramme werden als zweite Ebene darübergerlegt, weil man davon ausgeht, dass sie die Wirklichkeit radikaler vereinfachen, indem sie (i.S.v. Peirce, s.o.) in der Art eines Diagramms „eine Menge von Details (auslassen) und es dadurch dem Geist (gestatten), leichter an die wichtigen Eigenschaften zu denken.“ Doch erfüllen Piktogramme als Arbeitsanweisung wirklich ihren Zweck?



Abb. 1.4.: 34 Piktogramme (Quelle: Robinson, 1996, S. 10)

Abb. 1.4. zeigt 34 Piktogramme, die Mitte der 1970er Jahre vom amerikanischen Institut für graphische Künste zusammen mit dem Transportministerium für Flughäfen und anderen Einrichtungen entwickelt worden sind. Diese Piktogramme sollten „eilige Reisende – auch ohne Englischkenntnisse – leicht verstehen (...). (...) Der zuständige Ausschuss machte dazu eine wichtige Bemerkung: „Wir sind davon überzeugt, dass die Aussagefähigkeit von Symbolen sehr begrenzt ist: Sie sind am verständlichsten, wenn sie für eine Dienstleistung oder eine Erlaubnis stehen, die durch einen Gegenstand darstellbar ist, z.B. einen Bus oder ein Trinkglas. Sie sind viel weniger klar, wenn sie für Vorgänge stehen, z.B. für den Fahr-/Flugkartenverkauf; denn letztere sind komplexe Interaktionen, die sich je nach Transportmittel und sogar je nach Vertragspartner erheblich unterscheiden.“ Die Designer rieten davon ab, Symbole allein zu benutzen. Man müsse sie als Teil „eines intelligenten Hinweissystems“ mit Symbolen und Schriftzeichen verstehen. Alles andere rufe unter den Reisenden Verwirrung hervor.“ (Robinson, 1996, S. 211) (Anmerkung: Robinson verwendet das Wort „Symbol“ hier nicht im Peirceschen Sinne. In der in dieser Arbeit übernommenen Terminologie der Peirceschen Tradition „heißt eine zeichenhafte Beziehung (...) *symbolisch*, wenn bei deren Fehlen keinerlei Verbindung zwischen (Bezeichnetem und Bezeichnendem) mehr besteht. (...) (Ein) Symbol (hat) lediglich eine historische oder konventionelle Motivierung. Es ist (...) *arbiträr*.“ (Volli, 2002, S. 39) Das Piktogramm als Ikon zeichnet sich hingegen gerade durch seine nicht-arbiträre Beziehung zum Bezeichneten aus. Wenn Robinson also „Symbol“ schreibt, meint er damit zwar das Piktogramm, weicht damit aber von der Peirceschen Terminologie ab.)

Der Gebrauch von Piktogrammen zur sprachenunabhängigen Informationsvermittlung ist umstritten. Fest steht, dass weltweit standardisierte Piktogramme, wie sie auf Flughäfen und anderen Orten, an denen Menschen unterschiedlicher Sprachenzugehörigkeiten zusammentreffen, ihren Zweck als grobe Orientierungshilfen erfüllen. Berücksichtigt man die Situation, in welcher man auf die eingesetzten Piktogramme trifft, so lässt sich die erste Reihe der Abb. 1.4. wie folgt in Worten ausdrücken: „Hier Post“, „Hier Geldwechsel“, „Hier Erste Hilfe“, „Hier Fundbüro“, usw. Dabei wird deutlich, dass diese ihren Zweck erfüllenden Piktogramme, wie in dem von Robinson zitierten Text oben erwähnt, stets „Situation (hier, wo das Schild sich befindet) + ein konkretes Substantiv“ ausdrücken. Muss aber ein komplexerer Inhalt, wie in Abb. 1.3. z.B. „Mit der Handfläche drücken“ ausgedrückt werden, stößt das Piktogramm an seine Grenzen. Es ist nicht mehr eindeutig verständlich.

Noch schwieriger wird es, wenn das Piktogramm für einen Sachverhalt stehen soll, in dem es kein konkretes Substantiv gibt, wie in Abb.1.3. die Aktion „richtig verrasten“. In diesem Fall verschwimmen sogar die Grenzen zwischen Piktogramm und Symbol, wurde bei der Darstellung doch auf ein Wort zurückgegriffen, nämlich „Klick“. Für dieses „Klick“ gilt zum einen, dass es im Gegensatz zu den übrigen hier verwendeten Piktogrammen keine Handlung, sondern das Resultat einer Handlung bezeichnet. Das ist ein logischer Bruch, der bei der Interpretation der Piktogramme zu Verständnisschwierigkeiten führen kann. Zum anderen gilt für

„Klick“ das gleiche, wie für alle Wörter und Texte, nämlich dass es bei Verwendung in einem anderssprachigen Raum übersetzt werden muss.

Die Legende in Abb. 1.3., in der die beabsichtigte Bedeutung der Piktogramme in Text übertragen steht, macht deutlich, dass die Autoren selbst sich über die Uneindeutigkeit der verwendeten Ikons im Klaren sind. Diese Art der Arbeitsanweisung muss für ihre Verwendung in anderssprachigen Regionen also auch übersetzt werden. Die Piktogramme tragen weder zum Verständnis des Inhalts für den Werker bei, noch wird durch sie der Arbeits-/Kostenaufwand, den die Übersetzung für den Konzern bedeutet, umgangen.

Zusammengefasst heißt das: Das digitale Foto an sich ist als Arbeitsanweisung ungeeignet, da es alleine nichts über die auszuführenden Arbeitsschritte aussagt. Eine hinzugefügte, das Bild erklärende Metaebene in Form von Piktogrammen verfehlt diesen Zweck, weil der Inhalt von Arbeitsanweisungen überwiegend aus auszuführenden Handlungen besteht, aus einem Piktogramm aber lediglich ein konkretes Substantiv als Bezeichnetes erkannt werden kann, nicht aber dessen semantische Rolle in einem Sachverhalt (zu „semantischen Rollen“ siehe Kapitel 2).

Zu d) Videofilme mit Erklärungen

Ein Videofilm, in dem die vom Werker auszuführenden Arbeitsfolgen modellhaft vorgeführt werden, verläuft in der Zeit und nähert sich dem real auszuführenden Arbeitsprozess damit mehr an, als Arbeitsfolgen-Kurztexte, PDM-Blätter und Digitalfotos dies tun, welche aufgrund ihrer Darstellungsart den Zeit-Faktor nicht berücksichtigen können. Der Videofilm als Arbeitsanweisung soll beim Werker eine Form des Modell-Lernens bewirken.

„Es gibt verschiedene Formen des Modell-Lernens. (...) In ihrem Mittelpunkt stehen kognitive Prozesse der Informationsverarbeitung und -speicherung. (...) Hierbei scheint es von untergeordneter Bedeutung zu sein, ob das Modell als Person anwesend ist (Life-Modell) oder ob es über ein Medium vermittelt wird (z.B. Darstellung in einem Film (...)).“ (Edelmann, 2000, S.188 f)

„Modell-Lernen stellt eine besonders schnelle und effiziente Art der Übernahme von Verhaltensweisen dar (...).“ (Tausch & Tausch in: Edelmann, 2000, S.189) „Modell-Lernen liegt vor, wenn ein Individuum als Folge der Beobachtung des Verhaltens anderer Individuen sowie der darauffolgenden Konsequenzen sich neue Verhaltensweisen aneignet oder schon bestehende Verhaltensmuster weitgehend verändert.“ (Vogl, 1974, S.85)

Folgende zwei Nachteile in Bezug auf den Videofilm als Arbeitsanweisung für den Werker müssen berücksichtigt werden: Erstens vermag der technisch nicht versierte Werker, von dem ausgegangen werden muss, bei der Darstellung wesentliche von unwesentlichen Aspekten nicht zu unterscheiden. Deswegen muss der Film mit verbalen Erklärungen in Form von Ton oder

eingblendetem Text, versehen werden. Die Übersetzungsproblematik wird also auch bei diesem Medium nicht umgangen. Zweitens handelt es sich bei dem Film nicht um ein interaktives Medium, dessen Darstellung der Werker je nach seinem Verständnis beeinflussen könnte. Die Arbeitsschritte werden zwar nacheinander vorgeführt, der Film insgesamt aber dem Werker in einer Gesamtvorstellung präsentiert. Besteht diese Gesamtvorstellung aus 18 einzelnen und bisher unbekanntem Arbeitsschritten, kann der Werker sich diese nicht merken. „Das bewusste Denken ist durch die geringe Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses erheblich eingeschränkt. Fünf oder sechs (unzusammenhängende) Items sind alles, was für einen Moment verfügbar gehalten werden kann.“ (Norman, 2002, S.127)

Zwischen dem Verständnis der auszuführenden Arbeitsschritte während der Vorführung des Films einerseits und dem anschließenden selbständigen, fehlerfreien Ausführen dieser Schritte liegt also eine Kluft, die aufgrund der begrenzten Kapazität des menschlichen Kurzzeitgedächtnisses nicht zu überbrücken ist. Zusammen mit dem Arbeits-/Kostenaufwand, den die Herstellung des Films und die für einen Einsatz in anderssprachigen Regionen erforderlichen Übersetzungen erfordern, ist auch diese Methode der Arbeitsanweisung weder für den Werker noch für die Herstellerfirma zufriedenstellend.

Zu e) diverse Mischformen aus a) - d) (siehe Abb. 1.5. und 1.6.)

Firmen greifen bei der Erstellung ihrer Arbeitsanweisungen für den Werker meistens auf Mischformen der unter a) bis e) vorgestellten Methoden zurück. Typische Beispiele solcher Mischungen zeigen Abb. 1.5. und Abb. 1.6.. Arbeitsfolgen-Kurztexte werden mit technischen Zeichnungen kombiniert, die technischen Zeichnungen zusätzlich mit Erklärungen versehen. Wie aus den vorangehenden Ausführungen deutlich wird, kann bei keiner dieser Arten von Arbeitsanweisung ein fehlerfreies Verständnis der auszuführenden Handlungen seitens des Werkers gewährleistet werden. Änderungen der Arbeitsfolgen, welche durch neue Produktversionen o.Ä. erforderlich sind, bedeuten für einen Konzern somit ständig gleichbleibenden Kostenaufwand für die Erstellung aktueller Arbeitsanweisungen, die ihren Zweck nicht oder nur unzureichend erfüllen.

Zu f) das Warenkorb-Prinzip und der Einsatz von AR-Technologie

In den bisher unter a) bis e) vorgestellten Formen der Arbeitsanweisung geht es ausschließlich darum, den Werker dazu anzuleiten, Teile in der richtigen Art und Weise zu verbauen. Wie in Abschnitt 1.1 dieses Kapitels erwähnt, geht es bei der Erstellung einer kompletten Arbeitsanweisung jedoch nicht nur darum, *wie* ein Teil verbaut werden muss, sondern auch, *welches* Teil unter einer Auswahl von mehreren zu verbauen ist. Firmen nehmen diesen zweiten Aspekt der Problematik meistens nicht in ihre Arbeitsanweisungen mit auf, sondern versuchen ihn auf andere Weise zu lösen.

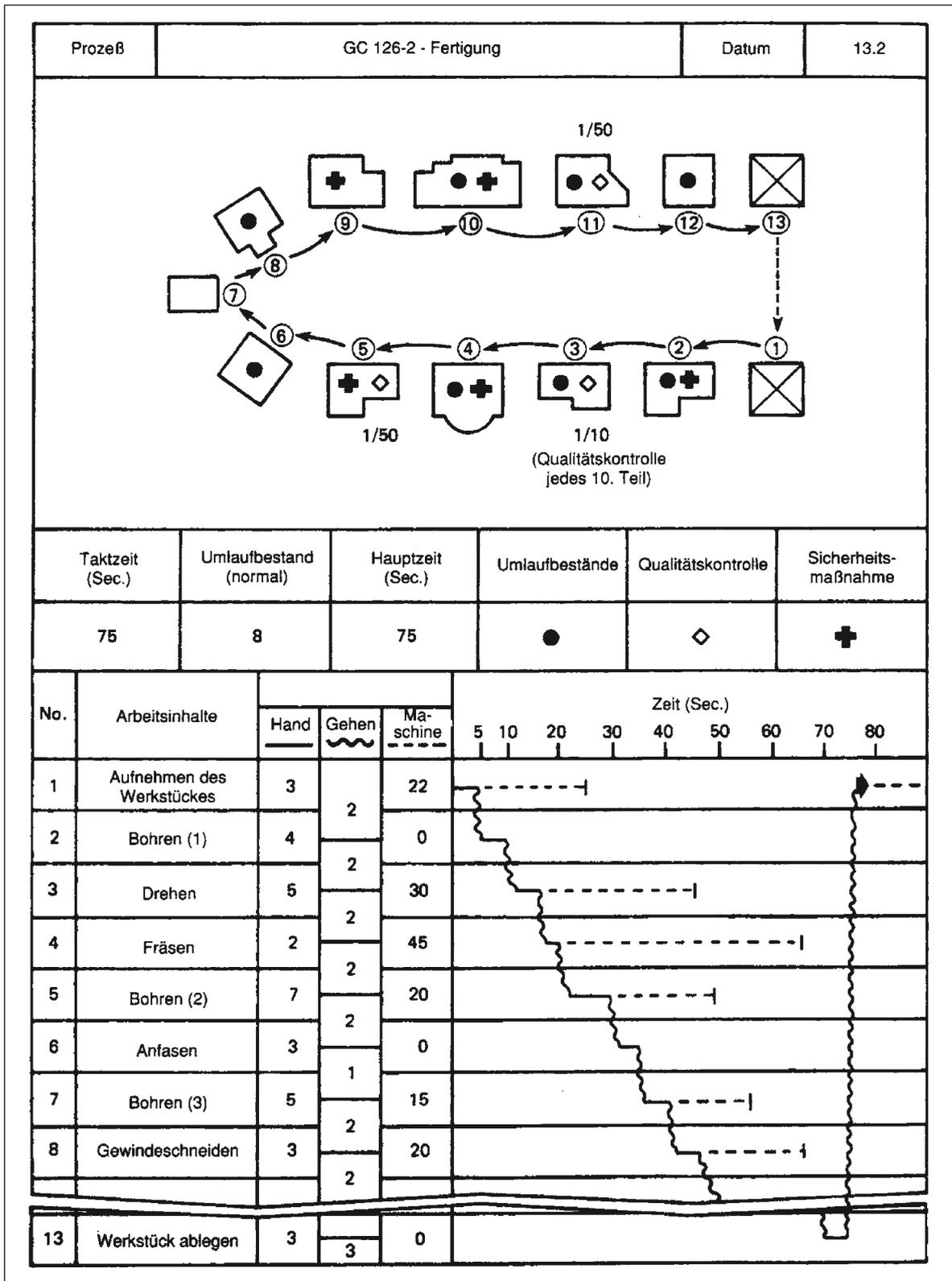


Abb. 1.5.: Beispiel eines Standardarbeitsbogens bei einem Automobilzulieferer im Mittelwesten der USA
(Quelle: Suzuki, 1989, S. 132)

griff auf das gerade zu verbauende Teil bieten. Eine andere Möglichkeit sind Materialbehälter, die durch rechnergesteuerte grün oder rot leuchtende Lämpchen signalisieren, ob sie das aktuell zu verbauende Teil enthalten oder nicht.

Einen anderen Umgang mit dem Problem, wie der Werker fehlerfrei das richtige Teil zum Verbau auswählen kann, bietet der Einsatz von Augmented Reality (AR) in der Produktion. Auch AR wird zum Teil mit dem Warenkorb-Prinzip gekoppelt eingesetzt. „Augmented Reality“ heißt übersetzt etwa „Vermehrte/ Übermäßige Realität“. Der Werker erhält eine Datenbrille, durch welche er die „Wirklichkeit“ sehen kann, und die ihm zugleich die erforderliche Interpretation dieser Wirklichkeit liefert. Man kann sich das so vorstellen: Der Blick des Werkers durch die computergesteuerte Brille gleitet über die verschiedenen Materialbehälter. Streift er den Behälter, in dem das richtige, zu verbauende Teil liegt, leuchtet z.B. eine grüne Lampe in der Brille auf.

Obwohl die „Erweiterung der menschlichen Wahrnehmung durch die Augmented Reality-Technologie (...) ein großes Potential zur Steigerung der Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter in der industriellen Fertigung (bietet)“ (Alt, 2001, S.72), findet ihr Einsatz in der Produktion nur zögernd statt, was zum großen Teil an der mangelnde Akzeptanz der Brille seitens der Werker liegt. Und dies wiederum „ist teilweise auf den noch mangelnden Tragekomfort, die schlechte Darstellung von Informationen in der Datenbrille, sowie schlechte ergonomische Qualität des prototypischen Systems zurückzuführen.“ (Alt, 2001, S.72)

Es wäre sinnvoll, eine Arbeitsanweisung zu erstellen, die nicht nur die auszuführenden Arbeitsschritte universell verständlich darstellt, sondern gleichzeitig auch den Verbau des jeweils richtigen Teils gewährleistet.

1.4. Das Problem

Wie aus Abschnitt 1.2. (Kontext) und Abschnitt 1.3. (Beispiele bisher eingesetzter Arbeitsanweisungen für Werker an Montagelinien) dieses Kapitels deutlich geworden ist, stellt sich Konzernen, deren Produktion weltweit in Form von standardisierten Arbeitsabläufen stattfindet, das folgende Problem:

Die Arbeitsanweisungen für die Werker an den Montagelinien werden von diesen falsch, nur teilweise oder gar nicht verstanden. Bisherige Formen der Arbeitsanweisung werden außerdem von einzelnen Werkern generell abgelehnt, da sie weder einzeln noch in der Kombination miteinander verständlich sind. Fehlerbauten, Nacharbeit und Verzögerung des Auslieferungstermines eines Produktes sind die Folge.

Eine Übertragung der Arbeitsanweisungen für Werker an anderssprachigen Produktionsstandorten ist mit Arbeitsaufwand und Kosten für die Übersetzung verbunden. Die Arbeitsanwei-

sungen werden größtenteils manuell erstellt, es handelt sich dabei meist um Kombinationen aus Arbeitsfolgen-Kurztexten und (technischen) Zeichnungen. Ändern sich Produktdetails und damit verbunden Produktionsabläufe, sind die alten Arbeitsanweisungen überholt und neue müssen erstellt werden. Das alles kostet eine Firma Zeit, Aufwand und letztendlich Geld.

1.5. Die Aufgabe

Die Aufgabe, mit deren Lösung sich die vorliegende Arbeit beschäftigt, besteht aus folgenden drei Teilaspekten:

1. Wie muss eine Arbeitsanweisung aussehen, damit sie für den mit der Montage eines Produktes beauftragten Werker an einer Montagelinie *eindeutig verständlich* ist? Das Verständnis des Werkers soll umfassen:
 - a) die Art und Weise, in welcher ein Teil zu verbauen ist, und
 - b) welches Teil unter einer Auswahl von mehreren in der jeweils aktuellen Situation verbaut werden soll.

2. Wie muss diese Arbeitsanweisung aussehen, damit sie für Werker einer jeden Sprachzugehörigkeit, also *sprachenunabhängig*, verständlich ist?

3. Wie kann eine solche Arbeitsanweisung flexibel und automatisch (in Form eines Programms) generiert werden, und zwar unter Ausnutzung der bestehenden Ressourcen eines Konzerns?

2 Theoretische Modelle von universeller Verständlichkeit

2.1. Übersicht

In diesem Kapitel wird die im vorhergehenden Abschnitt formulierte Aufgabe in den bestehenden wissenschaftlichen Kontext eingebettet, und dadurch die Grundlage für ihre Lösung geschaffen.

In Abschnitt 2.2. wird festgestellt, dass die Lösung im Bereich sinnvoll kombinierter und angewandeter Erkenntnisse der Kognitionspsychologie zu finden sein muss, weil die Entwicklung flexibel erstellbarer universell verständlicher visueller Arbeitsanweisungen ein Designproblem ist, und Design wiederum – genauer: *Kognitionsdesign* – angewandte Kognitionspsychologie ist. Design wird als **die Gestaltung von Information auf der Benutzeroberfläche** definiert, und **das die Information vermittelnde Medium ist das Zeichen**.

Abschnitt 2.3. geht darauf ein, dass es sich bei einer Arbeitsanweisung um einen **Kommunikationsakt** handelt. Um universell verständlich zu sein, muss die Arbeitsanweisung in einem **Code** abgefasst sein, **dessen Entschlüsselung ausschließlich auf den Prinzipien der allgemein menschlichen Informationsverarbeitung basiert**. Von diesen Prinzipien spricht man auch als von den *menschlichen Universalien*. Anthropologie und Kognitionspsychologie geben Antworten auf die Frage, von welchen Prinzipien als menschlich universellen ausgegangen werden kann.

In Abschnitt 2.4. geht es um das die Information vermittelnde Medium: das **Zeichen**. Das Phänomen des Zeichens ist ein menschlich universelles. Der Abschnitt geht genau darauf ein, was unter einem Zeichen verstanden wird, und weshalb hinsichtlich der Arbeitsanweisung die Verwendung einzelner Zeichen nicht empfehlenswert ist, sondern stattdessen ein spezielles **Zeichensystem** entwickelt werden muss.

In Abschnitt 2.6. wird erläutert, warum die **Sprache** – ebenfalls eine menschliche Universalie – **als Zeichensystem mit Beispielwirkung für die Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisungen** herangezogen wird.

Abschnitt 2.7. geht dann auf die sprachlichen Universalien ein. In diesem Zusammenhang werden die für die Arbeit relevanten Prinzipien der **Universalgrammatik (UG)** nach Noam Chomsky im einzelnen dargelegt und erörtert.

Abschnitt 2.8. behandelt die wichtigsten Arten der sogenannten *Satzstrukturdarstellungen*. Da es sich hierbei, wie der Name sagt, um **Visualisierungen** von Satzstrukturen handelt, bietet sich diese Thematik an der Stelle an, da auf diese Weise einerseits das Verständnis des vorangehenden Abschnitts vertieft wird, gleichzeitig aber eine Überleitung zum nächsten Kapitel geschaffen wird, welches die Visualisierung der universell verständlichen Arbeitsanweisung zum

Thema hat.

In Abschnitt 2.8. werden die Ergebnisse dieses Kapitels noch einmal zusammengefasst.

2.2. Design ist die Gestaltung von Information auf der Benutzeroberfläche

Design ist die Gestaltung von Information auf der Benutzeroberfläche, und das die Information vermittelnde Medium ist das Zeichen. – Diese Definition ist von zentraler Bedeutung. Der erste Teil des Satzes resultiert aus folgenden Überlegungen:

„Design ist Gestaltung. Dies ist (...) keine Übersetzung des Wortes „Design“ ins Deutsche, sondern eher eine Realdefinition (...). Design ist Gestaltung – im Wort „Gestaltung“ steckt die „Gestalt“. Deren Wissenschaft ist die Gestalttheorie oder die Gestaltpsychologie. Die Wissenschaft von der Gestaltung – die Designwissenschaft – (muss) also mindestens so etwas wie diese beiden Disziplinen beinhalten. Nach ihnen hängt die Gestalt mit der Eigentümlichkeit unseres Wahrnehmungsvermögens zusammen, nämlich der Tendenz, Ganzheiten zu bilden. Die Gestaltung, also die Hervorbringung von Gestalt, ist demnach für die *Wahrnehmung* bestimmt. (...) Der Begriff der Wahrnehmung (umfasst) im Prinzip alle Sinnesfelder, die Gestaltungsaufgabe erstreckt sich auf Gestalten in allen sensorischen Feldern. Die moderne Psychologie hat sich jedoch in der Frage der subjektiven Welterschließung bzw. Weltbewältigung von den Einengungen der bloßen Wahrnehmungspsychologie befreit: An Stelle der Gestaltpsychologie tritt jetzt allgemeiner die Kognitive Psychologie.

Gestaltung muss daher (...) den Kriterien der Kognitiven Psychologie genügen. Die Kognitive Psychologie erstreckt sich nicht bloß auf die Wahrnehmung der Dinge, sondern dazu auch noch auf die Manipulation der Dinge. Gestaltung schafft also auch die Gestalten für die Manipulation der Dinge. Die Kognitive Psychologie, insofern sie technisch-praktische Ratschläge erteilt, wird zur Kognitiven Ergonomie. Das zentrale Konzept der Kognitiven Ergonomie ist die sogenannte *Benutzeroberfläche* (...).“ (van den Boom, 1998, in: *Öffnungszeiten* 1998, S. 8)

„Gestaltung ist daher heute ganz allgemein die Gestaltung von Benutzeroberflächen. (...) Wir leben (...) in einer Technikphase, die als zweite Natur die erste nicht so sehr erschließt, sondern vielmehr verstellt und verbirgt. (...) (Die Benutzeroberfläche dient somit der) Welterschließung, d.h. (der) komplexitätsreduzierenden Erschließung der ersten Natur durch die zweite. (...) Design (als) Gestaltung der Welterschließung (ist) Kognitionsdesign.“ (van den Boom, 1998, in: *Öffnungszeiten* 1998, S.8 f)

2.3. Menschliche Universalien – Anthropologie und Kognitionspsychologie

Eine Arbeitsanweisung ist ganz allgemein ein Kommunikationsakt. Davon ausgehend, dass „Sender“ und „Empfänger“ Angehörige der menschlichen Spezies sind, gilt: Kommunikati-

on im Sinne von Informationsübertragung kann nur dann erfolgreich stattfinden, wenn dem Empfänger einer Botschaft der Code bekannt ist, mit welchem der Sender sie verschlüsselt hat. Ist dem Sender nicht bekannt, welche speziellen Codes ein Empfänger zu entschlüsseln vermag, muss er die Botschaft in einem Code senden, dessen Entschlüsselung auf (und **nur** auf) den Prinzipien der allgemeinen menschlichen Informationsverarbeitung basiert.

Auf die Erstellung einer universell verständlichen Arbeitsanweisung bezogen, schließt dies zunächst zwei Arten der Informationscodierung aus: Erstens kann der Verfasser (Sender) keine Fachsprache oder deren Notation verwenden, da er nicht weiß, ob der Werker (Empfänger) diese versteht. Zweitens scheidet sprachlicher Text (Schrift) als Codierung von Information aus, da dem Sender nichts über die Sprachenzugehörigkeit des Empfängers bekannt ist.

Um universell verständlich zu sein, muss die Arbeitsanweisung folglich in einem Code abgefasst sein, dessen Entschlüsselung ausschließlich auf den Prinzipien der allgemeinen menschlichen Informationsverarbeitung basiert.

Was aber sind nun die Prinzipien der allgemeinen menschlichen Informationsverarbeitung (menschliche Universalien), die für die universelle Verständlichkeit der Arbeitsanweisungen notwendig sind? Mögliche Antworten darauf geben die Fachbereiche Anthropologie, sowie die Kognitionspsychologie.

Zunächst zur Anthropologie: Der Zweig der Anthropologie, der sich mit menschlichen Universalien beschäftigt, sucht und beschreibt auf Basis von beobachtbarem Verhalten allgemein menschliche Aspekte und Prinzipien.

Donald E. Brown's „Liste der menschlichen Universalien“ stellt allgemein menschliche Prinzipien des Weltverständnisses zusammen, die bei der Entwicklung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen zugrunde gelegt werden können.

Im Kontext dieser Arbeit wichtige menschliche Oberflächen -Universalien sind:

„Schwarz als Farbbezeichnung, (...) Klassifikationsfähigkeit, (...) Klassifikation von Farben, (...) Klassifikation von Raum, Klassifikation von Werkzeugen, (...) das Konzept von Behältnissen, (...) das Angeben von Richtungen, (...) Grammatik, (...) Sprache, (...) der logische Begriff von „gleich“, der logische Begriff von „allgemein/besonders“, der logische Begriff „nicht“, der logische Begriff des „Gegenteils“, der logische Begriff von „Teil/Ganzem“, der logische Begriff des „gleich“, (...) Substantive, (...) das Konzept von Vergangenheit/ Gegenwart/ Zukunft, (...), Semantik, (...), die semantische Kategorie der Dimension, die semantische Kategorie des Gebens, semantische Kategorie des Ortes, semantische Kategorie der Bewegung, semantische Kategorie der Geschwindigkeit, semantische Kategorie von anderen physikalischen Eigenschaften, (...), Zeit, (...), Werkzeug, (...) Verben, (...) Weiß als Farbbezeichnung, (...)“ (Pinker, 2002, S.435 ff)

Ferner gehört zu den menschlichen Universalien ganz allgemein das Verwenden und Erkennen von **Zeichen**, wobei der Pfeil als Zeichen sogar kultur- und sprachenunabhängig als *von etwas*

(Pfeilende) *auf etwas* weisend (Pfeilspitze) erkannt und interpretiert wird (vgl. Brown, 1991, S. 165).

Bei einer Arbeitsanweisung spielen Werkzeuge, Behältnisse, die Klassifikation von „Raum“ und „Richtungen“, der logische Begriff von „Teil/Ganzem“, sowie die semantische Kategorie der „Bewegung“ und die der „Zeit“ grundsätzlich eine maßgebliche Rolle. Dass es sich hierbei um menschliche Universalien handelt, ist von Vorteil in Bezug auf die Entwicklung einer universell verständlichen Arbeitsanweisung. Gleiches gilt für die Zeichen, die es prinzipiell in jeder Kultur gibt, und insbesondere für das spezielle Zeichen „Pfeil“, das sogar kulturunabhängig die gleiche Bedeutung hat. Zeichen allgemein und der Pfeil im Besonderen spielen als menschliche Universalien bei der Gestaltung der Arbeitsanweisungen eine Rolle.

Dass dem Sprecher einer (beliebigen) Sprache das Konzept von Substantiven, Verben und den verschiedenen semantischen Kategorien vertraut ist, erweist sich im Zusammenhang mit der Entwicklung einer universell verständlichen Arbeitsanweisung ebenfalls von Bedeutung, wie in Abschnitt 2.7. im Zusammenhang mit der Universalgrammatik noch zu sehen sein wird.

Die Kognitionspsychologie ist der zweite Fachbereich, der auf die Frage „Was sind menschliche Universalien?“ antwortet. Kognitionspsychologie (von lat. cognoscere: erkennen, wahrnehmen, verstehen) beschäftigt sich mit der Art und Weise, wie sensorische – also auch visuelle – Informationen im menschlichen Gehirn interpretiert, klassifiziert und organisiert werden. Die Kognitionspsychologie bestätigt die Erkenntnisse der Anthropologie und geht noch darüber hinaus, indem sie sie mittels Theorie und Experimente auf einer tiefer liegenden mentalen Ebene zu beschreiben und zu erklären sucht (vgl. Pinker, 2002, S.435). Ihre Erkenntnisse sind somit bestimmend für die inhaltliche und strukturelle Gestaltung der Arbeitsanweisung, wie auch für ihre formale Gestaltung.

Die in Bezug auf die Arbeitsanweisung relevanten Erkenntnisse der Kognitionspsychologie werden im Laufe dieser Arbeit jeweils in deren Zusammenhang dargestellt und erläutert.

2.4. Das Zeichen und das Zeichensystem

Bei der Arbeitsanweisung, so wurde gesagt, handelt es sich um einen Fall von Informationsgestaltung auf der Darstellungsebene (Benutzeroberfläche), und das die Information vermittelnde Medium ist das Zeichen. „Unsere Welt ist eine Zeichenwelt, und wenn wir irgendetwas in ihr verstehen, sind dies Zeichen.“ (Aicher/Krampen, 1977, S.5) Im Folgenden wird geklärt, was genau unter Zeichen verstanden wird, und welche Gesichtspunkte davon für die Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisung von Bedeutung sind.

„Der Zeichenbegriff ist der semiotische Grundbegriff par excellence. (...) Zeichen, die wahrscheinlich von den meisten als solche anerkannt werden, sind etwa Wörter, z.B. das Wort Bir-

ke; eine Verkehrstafel (etwa das Zeichen, das auf jene Kreuzung hinweist, die der Verkehrsteilnehmer (...) in Kürze antreffen wird); die Ausschläge auf der Linie, welche der automatische Schreiber einer Erdbebenwarte aufzeichnet; der Signalpfeiff eines Pfadfinders; die hohe Temperatur einer kranken Person.

Gibt es etwas, was allen diesen Zeichen gemeinsam ist? Wenn da etwas Gemeinsames zu benennen ist, so wahrscheinlich dies, dass diese Zeichen alle in einer speziellen Beziehung zu etwas Anderem zu stehen scheinen, dass sie – in welcher Art auch immer – etwas repräsentieren oder anzeigen können.

In der Scholastik wurde diese Charakteristik in einer letztlich auf Aristoteles zurückgehenden Definition als *Stellvertreter*-Funktion beschrieben. Von einem Zeichen ist demnach dann zu sprechen, wenn etwas für etwas anderes steht, dann also, wenn gilt: *aliquid stat pro aliquo*. Die auffälligste und sichtbarste Eigenschaft von Zeichen jeder Art ist, dass sie dem Zeichenbenutzer etwas *präsent machen können, ohne selbst dieses Etwas zu sein*. (...)

Die erste Frage, die zu stellen ist, ist die nach dem Stellenwert der Bestimmung „aliquid stat pro aliquo“. Wenn wir versuchen, diese Bestimmung ins Deutsche zu übersetzen, müssten wir wohl so übersetzen: *Etwas (eine Zeichen) steht für Etwas (ein Bezeichnetes)*. (...) Wenn dies richtig ist, so können wir sagen: Die obige Definition gibt keine Einschränkung materieller Art. Grundsätzlich kann *alles* sinnlich Wahrnehmbare als Zeichen fungieren – vorausgesetzt, es steht stellvertretend für etwas anderes. Ebenso ist die zweite Position nicht näher bestimmt: Alles Beliebige kann als Bezeichnetes fungieren. Relevant scheint allein dies zu sein, dass eine Relation (des Bezeichnenden zum Bezeichneten) besteht.“ (Linke et al., 1996, S. 17 f)

Nach Peirce gibt es drei Typen von Zeichen, die sich in der Art ihres Bezugs auf den durch sie bezeichneten Gegenstand unterscheiden: Index, Symbol und Ikon:

a) Wir sprechen von einem Zeichen dann als *Index* (oder Symptom), wenn es in einem Folge-Verhältnis zum Bezeichneten oder Gemeinten steht: Das indexikalische Zeichen (als Folge von etwas) lässt Rückschlüsse auf etwas anders (einen Grund oder eine Ursache) zu. Rauch wäre in diesem Sinn Zeichen für Feuer. Kriminalistische Indizien sind ebenso indexikalisch wie medizinische Symptome.

b) Symbole sind Zeichen, deren Beziehung zum Gegenstand arbiträr ist, d.h. der Zusammenhang zwischen dem Symbol und seiner Bedeutung ist willkürlich und unmotiviert, dem Symbol wird seine Bedeutung auf dem Weg der Konvention zugesprochen. Die Laut- und Schriftzeichen der menschlichen Sprache sind fast ausschließlich Symbole in Peirces Verständnis des Begriffs.

b) Ein Zeichen ist ein *Ikon* (griech.: Bild), wenn seine Beziehung zum Gegenstand auf einem Abbildverhältnis, d.h. auf Ähnlichkeiten, beruht. Diese Ähnlichkeiten können optischer Natur sein (wie z.B. bei den meisten Piktogrammen), aber auch auf Lautlichem beruhen, z.B. bei onomatopoetischen – d.h. lautmalerischen – Ausdrücken (vgl. Linke et al. 1996, S. 19 ff).

Was bedeutet das für die universell verständliche Arbeitsanweisung, in deren Fall das Gemeinte ja so explizit wie möglich dargestellt werden muss?

Zunächst zu den Indizes: Da es sich hierbei um Folgeglieder eines „Wenn-Dann-Verhältnisses“ handelt, muss man aus ihrem Vorliegen als Folge auf die Existenz des (nicht unmittelbar ersichtlichen) Grundes schließen. „Voraussetzung für diesen Schluss ist unser *Erfahrungswissen* von der Welt.“ (Linke et al, 1996, S. 20) Weil Indizes also einen nur indirekten Bezug zum Gemeinten haben, und weil bei ihrer Verwendung als Zeichen dem Sender einer Botschaft genaue Kenntnisse des speziellen Weltwissens eines Empfängers vorliegen müssen (ein Sachverhalt, der im Fall der Arbeitsanweisungen nicht gegeben ist), scheiden sie zur Verwendung bei der Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen aus.

Gleiches gilt für die Symbole. Aufgrund ihrer arbiträren Beziehung zum Bezeichneten setzt ihre Verwendung das Verständnis eines speziellen Codes bei Sender und Empfänger voraus, eine Situation, die im Fall der zu erstellenden Arbeitsanweisungen nicht gegeben ist.

Bleibt also die Verwendung von Ikonen als Zeichen für die universell verständliche Arbeitsanweisung.

Wie im ersten Kapitel unter 1. 3. c) erwähnt, wurde bei der Erstellung von Arbeitsanweisungen bereits auf Ikonen zurückgegriffen, was hinsichtlich des Verständnisses seitens der Werker jedoch zu keinen befriedigenden Resultaten geführt hat.

Die Schwierigkeit beim Verständnis von Ikonen liegt einerseits an der „Ähnlichkeitsbeziehung“ zwischen Bezeichnendem und Bezeichnetem. Es ist daher zu klären, welche Aspekte des Objekts in welcher Form dem Zeichen, das für das Objekt steht, ähneln müssen, um ein universelles eindeutiges Verständnis des Zeichens zu gewährleisten. Da dieser Aspekt in den Bereich „Visualisierung“ fällt, wird auf ihn im 3. Kapitel eingegangen.

Das größere Problem bei der bisherigen Verwendung von Ikonen aber ist, dass sie jeweils als einzelne Zeichen eingesetzt werden, aber dennoch **Sachverhalte** repräsentieren sollen. Ein einzelnes Ikon kann als Zeichen aber lediglich auf sein Bezeichnetes verweisen, und zwar immer in der gleichen Art und Weise, indem es nämlich als Ikon in Folge seiner Ähnlichkeitsbeziehung *für das Bezeichnete* steht. Das Vorkommen dieses Bezeichneten in einem Sachverhalt – in linguistischer Terminologie: seine semantische Rolle – kann das Ikon alleine nicht repräsentieren. Dass bisherige Kombinationen mehrerer Ikonen miteinander in der Absicht, dadurch einen Sachverhalt auszudrücken, das gewünschte Resultat nicht erreichen, liegt daran, dass die Kombination der Ikonen entweder ohne definierte Regeln erfolgt, oder dass die Regeln nicht den Regeln der menschlichen Informationsverarbeitung entsprechen.

In Bezug auf die Erstellung einer universell verständlichen Arbeitsanweisung heißt das: **Dem**

Werker müssen Sachverhalte vermittelt werden. Zum Ausdrücken eines Sachverhaltes müssen einzelne Ikons miteinander kombiniert werden. Die Kombination der Ikons miteinander muss nach bestimmten, definierten Regeln erfolgen, die der allgemein menschlichen Informationsverarbeitung entsprechen. – Die Erstellung eines solchen Regelwerks ist auch Voraussetzung für eine spätere flexible Generierung der Arbeitsanweisungen. –

Liegt einerseits eine Menge von Einzelzeichen vor, und gibt es andererseits einen Satz Regeln zu deren Verknüpfung, so spricht man von einem **Zeichensystem**. Im Fall der Arbeitsanweisungen muss also ein Zeichensystem erstellt werden, dessen Elemente mit Hilfe von Regeln zu universell verständlichen Repräsentationen von Sachverhalten verknüpft werden können. Die Elemente dieses Zeichensystems, so wissen wir, bestehen aus universell verständlichen Ikons, und, um insgesamt universell verständlich zu sein, müssen die Regeln zu deren Verknüpfung ebenfalls universell verständlich, also in der menschlichen Kognition verankert sein. Gibt es **universell verständliche Regeln, die in der menschlichen Kognition verankert sind**, und wenn ja, was besagen sie und wie kommen sie im Fall des Zeichensystems zur Erstellung der Arbeitsanweisungen zur Anwendung?

Wie im Folgenden zu sehen sein wird, gibt es solche Regeln. Und zwar erforscht und formuliert sie die Sprachwissenschaft, und hier, genauer, die **Generative Grammatik (auch: Universalgrammatik, UG)**. Der Begründer und prominenteste Vertreter der UG ist Noam Chomsky. Wenngleich den Sprachwissenschaften angehörig, ist die Generative Grammatik jedoch auch ein Teilbereich der Kognitionspsychologie, weil sie sich mit Prinzipien der menschlichen Informationsverarbeitung beschäftigt.

Im nächsten Abschnitt geht es um die Rolle der Sprache als beispielhaftes Zeichensystem für das Design der universell verständlichen Arbeitsanweisung, und daran anschließend wird auf die für diese Arbeit wichtigen Prinzipien der Universalgrammatik eingegangen, und erklärt, wie sie im Fall des Zeichensystems zur Erstellung der Arbeitsanweisungen zur Anwendung gelangen.

2.5. Die Sprache als beispielhaftes Zeichensystem für das Design eines Zeichensystems zur Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisung

Die ganze Wirklichkeit ist in Sprache abbildbar und die Struktur der Sprache spiegelt die Struktur der Wirklichkeit wider. In Anlehnung an diese Kernaussage der Wittgensteinschen Bildtheorie (vgl. Zoglauer, 2002, S.28) **werden in dieser Arbeit universelle Sprachstrukturen auf das inhaltliche und formale Design der Arbeitsanweisung übertragen.**

„Die menschliche Sprache ist ein Zeichensystem. (...) (Sie) ist das vielleicht komplexeste, si-

cher aber das am intensivsten untersuchte Zeichensystem überhaupt, und die Sprachwissenschaft ist die am weitesten fortgeschrittene und am weitesten ausdifferenzierte semiotische Wissenschaft überhaupt. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Linguistik diejenige Disziplin, in der semiotische Fragestellungen paradigmatisch, d.h. mit Beispielwirkung für die Analyse anderer Zeichensysteme, abgehandelt werden.“ (Linke et al., 1996, S. 17)

Diese Arbeit nun beschäftigt sich nicht so sehr mit der Analyse anderer Zeichensysteme, als vielmehr mit der Entwicklung eines neuen Zeichensystems, das speziell auf die Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen zugeschnitten ist. Aber auch zu diesem Zweck werden die Erkenntnisse der Linguistik genutzt.

Hentschel schreibt: „Jede Sprache ist ein System von Zeichen, und jede Grammatik einer Sprache beschäftigt sich mit der Einteilung der Sprachzeichen und den Regeln ihrer Verwendung.“ (Hentschel, Weydt, 1994, S. 11) Die Elemente der Sprache, so können wir sagen, sind die Wörter, und die Regeln, nach denen die Elemente kombiniert werden können, sind die Grammatik.

Es gibt aber viele unterschiedliche Sprachen, und dem allgemeinen Verständnis zufolge unterscheiden sie sich nicht nur hinsichtlich ihrer Wörter (dem Lexikon), sondern auch in ihrer Grammatik.

Anstelle der Wörter werden in dem zu entwickelnden Zeichensystem Ikonen verwendet. Ikonen, so wurde gesagt, umgehen die Arbitrarität, die ein Wort als Bezeichnendes in Bezug auf das Bezeichnete hat und können aufgrund der Ähnlichkeitsbeziehung zu dem Bezeichneten als universell verständlich angenommen werden.

Damit die Ikonen nicht nur generell auf Objekte verweisen, sondern auch auf die Art des Vorkommens dieser Objekte in Sachverhalten, müssen Regeln zu ihrer Verwendung in Form einer Grammatik definiert werden, und zwar Regeln, die Bestandteil der Grammatiken von allen natürlichen Sprachen sind, eine Art „kleinster, gemeinsamer Nenner“ aller Grammatiken. Dieser gemeinsame Nenner ist die Universalgrammatik.

2.6. Sprachliche Universalien / Die UG (Generative Grammatik)

„Was heute unter dem Namen Generative Grammatik (...GG) verstanden wird, ist eine der prominentesten Richtungen moderner, grammatiktheoretischer Ansätze; es ist zugleich aber in gewisser Weise auch mehr als ‚nur‘ eine Grammatiktheorie, insofern man sich im theoretischen Rahmen der GG stets intensiv Gedanken macht über das Verhältnis von Grammatik, Semantik und Pragmatik und damit über die Stellung einer Grammatiktheorie in einer umfassenden Sprachwissenschaft. Mit anderen Worten: Die GG ist in Ansätzen auch eine umfassende Sprachtheorie.

Eine eigenständige Sprachtheorie ist die GG auch in ihrer spezifischen Fragestellung und ih-

rer Ausprägung: Die GG versteht sich nämlich als Teil einer *kognitiven Linguistik*, die ihrerseits Teil einer allgemeineren kognitiven Psychologie ist, einer Wissenschaft von der menschlichen Kognition. Das bedeutet, dass die GG ihren Gegenstand, die Sprache (oder im engeren Sinn: die Grammatik), als Teil des menschlichen Wissens und – spezieller – als Fähigkeit des Individuums zum Gebrauch von Sprache auffasst.“ (Linke et al., 1996, S. 86)

„Angelpunkt der ganzen Absetzung der Generativen Grammatik von der nicht-generativen Systemlinguistik ist eine fundamental andere sprachtheoretische Grundauffassung vom Gegenstand der Sprachforschung (...). Die Deskriptivisten fragen nach dem Allgemeinen, dem Regelmäßigen in einem äußerlich vorfindbaren Objekt (Korpus), nach den (...) Regeln einer Einzelsprache, wie des Deutschen. Die Frage der Generativisten aber lautet: (...) Was weiß jemand, oder hat jemand im Kopf, der eine Sprache (...) beherrscht? Mit dieser Frage wird zum Gegenstand der Sprachwissenschaft eine *mentale*, eine *kognitive Fähigkeit*, ein Teil des geistigen Besitzes eines Menschen.“ (Linke et al., 1996, S. 91)

Steven Pinker unterstützt die Chomsky'sche Auffassung, dass Sprache eine angeborene Fähigkeit des Menschen ist, die in Form einer Universalgrammatik in der menschlichen Kognition verankert ist.

Er schreibt: „(...) Chomsky lenkte die Aufmerksamkeit auf zwei fundamentale Tatsachen über die Sprache. Erstens ist nahezu jeder Satz, den eine Person äußert oder versteht eine völlig neue Kombination von Wörtern, die zum ersten Mal in der Weltgeschichte in dieser Form geäußert wird. Deshalb kann eine Sprache nicht einfach ein Repertoire an Antworten sein; das Gehirn muss ein Rezept oder Programm beinhalten, welches eine unendliche Zahl an Sätzen aus einer endlichen Liste von Wörtern erstellen kann.

Dieses Programm könnte „mentale Grammatik“ genannt werden (nicht zu verwechseln mit pädagogischen oder stilistischen „Grammatiken“, welche lediglich Richtlinien bei der Erstellung schriftlicher Prosa sind). Die zweite fundamentale Tatsache ist, dass Kinder diese komplexen Grammatiken schnell und ohne formale Instruktionen entwickeln und dazu heranwachsen, folgerichtige Interpretationen neuer Satzkonstruktionen zu geben, die sie nie zuvor in dieser Form gehört haben.

Deswegen, so argumentiert er, müssen Kinder mit einem angeborenen Plan ausgerüstet sein, dem die Grammatiken aller Sprachen gemein sind, einer Universalgrammatik, die ihnen sagt, wie die syntaktischen Muster aus der Sprache ihrer Eltern herauszudestillieren sind. (...) Durch sorgfältige technische Analysen der Sätze, die gewöhnliche Menschen als Teil ihrer Muttersprache akzeptieren, entwickelten Chomsky und andere Linguisten Theorien der mentalen Grammatiken, die dem menschlichen Wissen spezieller Sprachen zugrunde liegen, sowie der Universalgrammatik, die den speziellen Grammatiken zugrunde liegt.“ (Pinker, 1994, S. 8 ff)

Universalgrammatik ist also „das Basisdesign, das den Grammatiken von allen menschlichen Sprachen zugrunde liegt, ...“ (Pinker, 1994, S. 515)... und das demzufolge (zumindest in Teilen) die Regeln für ein universell verständliches Zeichensystem konstituiert.

„Die zentrale Aufgabe der generativen Grammatiktheorie besteht nun darin, den Begriff der Universalgrammatik mit empirischem Gehalt zu füllen, d.h. zu konkreten Erkenntnissen und Aussagen darüber zu gelangen, welcher Art die Prinzipien der UG und somit des kognitiven Ausgangszustandes im Einzelnen sind.“ (Fanselow/Felix, 1987, S. 12) – Der Begriff „Prinzip“ stammt aus der Prinzipien- und Parametertheorie der UG, „in der davon ausgegangen wird, dass jede Sprache aus universal gültigen Prinzipien und sprachspezifischen Parametern besteht.“ (Dürscheid, 2003, S.224)

Einzelsprachliche Varianten (Parameter) sind in dieser Arbeit nur insofern von Belang, als darauf geachtet werden muss, sie zu vermeiden, eben weil sie kein Bestandteil der Universalgrammatik als Kerngrammatik (core grammar) sind, und bei ihrer Verwendung die universelle Verständlichkeit der Aussagen nicht gewährleistet werden kann.

Im Folgenden werden die Konzepte und Prinzipien der Universalgrammatik dargestellt, die in Bezug auf die Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisung von Wichtigkeit sind.

2.6.1. Das Lexikon

Ein Zeichensystem, so wurde gesagt, besteht aus a) einer Menge an Einzelzeichen (dem Lexikon) und b) Regeln, nach welchen die Einzelzeichen miteinander kombiniert werden können. Dies entspricht dem „Minimalistischen Programm“ (MP) nach Noam Chomsky. Bei dem MP handelt es sich um eine Überarbeitung der UG, und „(...) die dem MP zugrundeliegende Syntaxauffassung wird als minimalistisch bezeichnet, weil sie, so der Anspruch, nur noch auf wenigen, für eine Sprachtheorie minimal notwendigen Annahmen basiert. Minimal notwendig ist nach Chomsky (...) (1995) nur noch zweierlei: Ein Lexikon, das das lexikalische Inventar zum Aufbau von Strukturen bereitstellt und ein **Verarbeitungssystem** („computational system“), das die Lexikonelemente zu komplexen Ausdrücken zusammensetzt (...).“ (Dürscheid, 2003, S. 149)

Zunächst zum Lexikon:

„Wörter gehören zu unterschiedlichen (...) (**lexikalischen**) **Kategorien**, wie z.B. Substantive, Verben, usw., und die (...) (lexikalische) Kategorie, zu der ein Wort gehört, bestimmt dessen **Verwendungsmöglichkeit**, das heißt, in welchen Kontexten es auftreten kann. Für gewöhnlich kann man Worte einer Kategorie nicht einfach durch Worte einer anderen Kategorie austauschen. Sollte das Verb *meet* (im Satz „Jeeves will meet his employer in the castle“) durch das semantisch verwandte Substantiv *appointment* ersetzt werden, wäre das Resultat nicht länger ein grammatischer Satz: (...) *Jeeves will appointment his employer at the castle.“ (Haegeman, 1994, S. 36) (Anm.: Grammatisch nicht korrekte Sätze werden der linguistischen Terminologie zufolge mit einem Sternchen (*) vor Satzanfang gekennzeichnet.)

„Die Grammatik (...) einer jeden Sprache muss die kategorielle Information in Zusammenhang mit den lexikalischen Items enthalten, da diese Information bei der Bildung von Sätzen eine Rolle spielt. Wir nehmen an, dass die kategorielle Information Muttersprachlern einer Sprache präsent ist: sie würden zustimmen, dass ((...) *Jeeves will appointment his employer at the castle.) grammatisch nicht korrekt ist, und dass dies auf den hier unakzeptablen Gebrauch des Substantivs **appointment** zurückzuführen ist. Wir setzen ferner voraus, dass Sprecher einer Sprache mit einem inneren ‚Wörterbuch‘ ausgestattet sind, auf welches wir uns als das mentale Lexikon, oder **Lexikon**, beziehen, und welches alle Informationen die Wörter ihrer Sprache betreffend, beinhaltet (...). Wie oben gesehen, muss dieses mentale Lexikon, neben anderen Dingen, die Information über (...) (lexikalische) Kategorien enthalten.

Es wird angenommen, dass jedes Wort der Sprache, die ein Sprecher spricht, in diesem mentalen Lexikon mit seiner kategoriellen Spezifikation aufgelistet ist. Zum Beispiel wird ein englischer Muttersprachler wahrscheinlich ein Lexikon mit der folgenden Information haben: (...) meet: Verb; (...) employer: Substantiv; (...) castle: Substantiv; (...) at: Präposition; (...) the: Determiner; (...) his: Determiner; (...) appointment: Substantiv. (...) Es wird davon ausgegangen, dass die UG, unser angeborenes Wissen einer Sprache, (unter anderem) den Begriff der (...) (lexikalischen) Kategorie beinhaltet.“ (Haegeman, 1994, S.37)

– Wer die hier zitierten Passagen des Haegeman-Textes mit dem Original vergleicht, wird feststellen, dass Haegeman statt wie oben zitiert „ (...) (lexikalische) Kategorie“ stets den Begriff „syntaktische Kategorie“ verwendet. Haegeman bezieht sich aber, wenn sie „syntaktische Kategorien“ schreibt, auf Wortarten / Wortklassen. Dies ist insofern etwas irreführend, da in der Literatur überwiegend folgende Definitionen in Bezug auf grammatische Strukturen vorherrschen (und diese Definitionen werden auch in der vorliegenden Arbeit zugrundegelegt):

Definition 1: „Lexikalische Kategorien und syntaktische Kategorien sind (primäre) grammatische Kategorien.“ (Wagner, 1997/98, S. 74)

Definition 2: „Die Wortklassen (/ Wortarten) Determinator (D), (Substantiv/) Nomen (N), Verb (V), Adjektiv (A), Präposition (P) (...) sind lexikalische Kategorien.“ (Wagner, 1997/98, S. 69)

Definition 3: „Die Kategorie Satz (S) und alle X-Phrasen (XP), wobei X eine lexikalische Kategorie ist, sind syntaktische Kategorien.“ (Wagner, 1997/98, S. 74) – Auf den Begriff „Phrase“, sowie auf die „syntaktischen Kategorien“ wird noch eingegangen.

An dieser Stelle ist somit folgendes festzuhalten: Das (mentale) Lexikon besteht aus einzelnen Wörtern, die in Wortarten/Wortklassen unterteilt sind. Die Zugehörigkeit eines einzelnen Wortes zu einer bestimmten Wortart bezeichnet man als die **kategorielle Information** des Lexikoneintrages. Der Universalgrammatik zufolge beinhaltet jeder vollständig definierte Eintrag im Lexikon zusätzlich zu der kategoriellen Information noch zwei weitere Informationen: Erstens die **semantische Information** und zweitens die **linking-Information**. Auf beide wird im

Folgenden noch näher eingegangen.

Abb. 2.1. zeigt eine Liste der **Wortarten, die von der UG als universell vorausgesetzt werden**. Damit überein stimmt Donald E. Brown's bereits erwähnte „Liste der menschlichen Universalien“, und zwar insofern, als sie zumindest die Kategorien „**Substantiv**“ und „**Verb**“ als allgemein menschliche aufführt.

Wortart	Symbol	Beispiele
Substantiv	N	Hammer, Tisch, Krankheit, Angst,...
Verb	V	bewegen, laufen, lernen, mögen,...
Adjektiv	A	gut, schlecht, groß, klein,...
Präposition	P	neben, auf, unter, über,...
Determiner	D	
	Artikel	der, die, ein, eine, das,...
	Demonstrativpronomen	dieses, jenes, welcher,...
	Possessivpronomen	mein, dein, sein,...

Abbildung 2.1.: Lexikalische Kategorien (vgl. Wagner, 1997/98, S. 16)

In Bezug auf das Zeichensystem, das zur Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisungen eingesetzt werden soll, besteht das Lexikon nicht aus Worteinträgen (Symbolen), sondern aus Ikons. Diese Ikons werden jedoch genau wie die Begriffe, für die sie stehen, lexikalischen Kategorien zugeordnet; sie weisen also analog zu den Wörtern auch die kategorielle Information auf, die ihre Verwendungsmöglichkeit in Kontexten bestimmt.

Gibt es in Bezug auf das Lexikon des Zeichensystems zur Erstellung der Arbeitsanweisungen *alle* lexikalischen Kategorien, in die auch Wörter eingeteilt werden? Betrachtet man hierzu noch einmal die in Abb. 2.1. aufgeführten Wortarten, so kann man sagen: Die Kategorie der Substantive gibt es. Alle Verbauteile, alle Gegenstände, die an und im Zusammenhang mit der Montagelinie stehen (Behältnisse, Gestelle, Werktsche, usw.), alle Betriebsmittel (Werkzeuge), bzw. alle Ikons, welche die eben genannten Dinge repräsentieren, gehören zu der Kategorie „Substantiv“. Die Kategorie „Verb“ muss im Lexikon ebenfalls vertreten sein, da ein Verb für eine in der Zeit verlaufende Tätigkeit steht, und die Arbeitsanweisungen solche Tätigkeiten darstellen müssen.

Alle anderen Wortarten hingegen werden als lexikalische Kategorien im Zusammenhang mit dem Zeichensystem zur Erstellung der Arbeitsanweisungen *nicht benötigt*: Adjektive, die die „Eigenschaft von etwas“ bezeichnen, werden nicht benötigt, weil diese Eigenschaften durch die Ikons selbst bereits mit-ausgedrückt werden. (Beispiel: Möchte man sich unter einer Auswahl an Schraubenziehern auf den blauen Schraubenzieher beziehen, so muss im Sprachgebrauch zu dem Substantiv „Schraubenzieher“ das kennzeichnende Adjektiv „blau“ hinzugefügt wer-

den, um eindeutiges Verständnis seitens des Empfängers der Nachricht zu gewährleisten. Wird der bestimmte Schraubenzieher jedoch durch ein entsprechendes farbiges Ikon repräsentiert, enthält die Darstellung des Gegenstandes bereits dessen Eigenschaften.) Ähnliches gilt für die lexikalischen Kategorien „Präposition“ und „Determinatoren“: Präpositionen dienen dazu, das Verhältnis zweier Größen auszudrücken (vgl. Hentschel, 1994, S. 249). Dieses Verhältnis kommt bei einer visuellen Repräsentation von Sachverhalten auf der Darstellungsebene in Form von Ikonen automatisch zum Ausdruck, und zwar durch die *Anordnung* der Ikonen auf der Darstellungsebene. Was die Determinatoren angeht, ist zu sagen: Artikel gibt es ohnehin nicht in allen Sprachen; Possessivpronomina als und Demonstrativpronomina spielen im Zusammenhang mit den Arbeitsanweisungen eine untergeordnete Rolle und können daher als lexikalische Kategorien vernachlässigt werden.

Es gilt festzuhalten: **Das Zeichensystem zur Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen umfasst ein Lexikon. Die lexikalischen Einträge bestehen aus einzelnen Ikonen. Ein Ikon ist jeweils mit einer Information bezüglich seiner Verwendungsmöglichkeit versehen, seiner kategoriellen Information. Im Gegensatz zu den Lexika der einzelnen Sprachen trägt ein Ikon in diesem Lexikon lediglich die kategorielle Information „Substantiv“ oder „Verb“, und andere Kategorien gibt es nicht.**

2.6.2. Die Proposition als Basiseinheit der Bedeutung

Einzeldinge an sich haben keine Bedeutung, nur Bindungsstellen. Und erst nachdem ihre Bindungsstellen vollständig und korrekt besetzt sind, kann die Bedeutung der Einzeldinge im Rahmen ihres Kontextes festgestellt werden.

In Bezug auf die Arbeitsanweisung heißt das, wie schon erwähnt: Die einzelnen Ikonen müssen miteinander kombiniert werden, um Bedeutung zu erhalten, denn nur dann können sie einen Sachverhalt repräsentieren.

Die kleinste Einheit der Bedeutung nennt man *Proposition*. Wittgenstein entwickelte die Idee des *Kontextes der Bedeutung*. Seine Erkenntnisse können, etwas vereinfacht, wie folgt zusammengefasst werden.

1. Sprache besteht aus einzelnen Propositionen.
 2. Wörter haben erst innerhalb einer Proposition Bedeutung.
 3. Propositionen repräsentieren mögliche Zustände, und um eine Proposition zu verifizieren, müssen wir sie mit der Realität vergleichen. Und schließlich:
 4. Die Struktur der Proposition wiederholt (spiegelt) die Struktur der Wirklichkeit, die sie beschreibt. (vgl. George, 1964, S. 112 f)
- „Propositionen stellen eine wichtige Klasse von Begriffen dar. Alle (...) Begriffe sind insofern

einfach, als sie irgendeinen speziellen Gegenstand oder eine spezielle Gegenstandsklasse bezeichnen. Propositionen drücken Tatsachen über Begriffe, Gegenstände, Vorgänge, und die *Beziehung* aller drei zusammen aus. Propositionen unterscheiden sich darin von anderen Begriffen, dass sie einen Wahrheitswert annehmen können. Von anderen Begriffen lässt sich nur sagen, dass sie existierenden oder nicht existierenden Gegenständen entsprechen.“ (Norman/Rumelhart, 1978, S. 59)

In Bezug auf die Erstellung der Arbeitsanweisungen ist wichtig:

Die komplette Arbeitsanweisung für einen Montageabschnitt besteht aus mehreren einzeln auszuführenden Arbeitsschritten, d.h. aus mehreren kleinen Bedeutungseinheiten/Propositionen.

Betrachtet man in dem Zusammenhang bisherige Arbeitsanweisungen, wie sie z.B. in Abb. 1.2., Abb. 1.3. oder Abb. 1.5. dargestellt sind, so fällt auf, dass dort auf einem Blatt mehrere dieser Propositionen gleichzeitig abgebildet sind. Im ersten Kapitel unter Abschnitt 1.3. d) wurde schon darauf eingegangen, dass das bewusste Denken des Menschen durch die geringe Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses erheblich eingeschränkt ist, und fünf oder sechs unzusammenhängende Items alles sind, was für einen Moment verfügbar gehalten werden kann (vgl. Norman, 2002, S.127). Aus diesem Grund empfiehlt sich die gleichzeitige Darstellung von mehreren Proposition nicht. Sie überfordert das kognitive Leistungsvermögen des Menschen.

Die universell verständliche Arbeitsanweisung ist daher aus einzelnen Propositionen aufgebaut, die aber jeweils nacheinander (und nie mehr als eine zu einer Zeit) auf dem Bildschirm abgebildet werden, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die der Werker selbst (durch „weiter“-Befehl) beeinflussen kann.

Anders formuliert: Um überhaupt Bedeutung zu erhalten, müssen die Ikons der Arbeitsanweisung zu Propositionen kombiniert werden. Diese kleinsten Bedeutungseinheiten sind in Bezug auf die Arbeitsanweisungen zugleich die jeweils größte Bedeutungseinheit zu einer Zeit, da andernfalls das kognitive Leistungsvermögen der Werker überfordert wäre.

2.6.3. Argumentenstruktur und Subkategorisierung

Es wurde gesagt: Damit aus den Einzeldingen (Einzelzeichen) eine Proposition wird, sie also für einen Sachverhalt stehen können, müssen die Bindungsstellen der Einzeldinge korrekt und vollständig besetzt werden. Was aber sind die Bindungsstellen der Ikons im Lexikon zur Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisung, wie viele sind es bei den einzelnen Ikons und mit was müssen sie besetzt werden?

Es wurde schon erwähnt, dass es zwei Arten von Ikons im Lexikon zur Erstellung der Arbeitsanweisungen gibt, nämlich einmal Ikons mit der kategoriellen Information „Substantiv“, und

dann Ikonen mit der kategoriellen Information „Verb“. In Bezug auf die Bindungsstellen sind vor allem die Verben wichtig, da das Verb das den Satz (die Proposition) strukturierende Element ist. Anders: Das Verb bestimmt, welche Stellen im Satz durch welche Substantive besetzt werden müssen.

Wird im Sprachgebrauch – und das Design der Arbeitsanweisungen ergibt sich ja aus der Übertragung dieser Sprachstrukturen – aus Verb und Substantiven ein Satz (eine Proposition) gebildet, z. B. „Maigret imitiert Poirot“, so wird aus dem Verb (als Einzelzeichen) das *Prädikat* des Satzes. Und die Substantive (*Maigret* und *Poirot*) nennt man dann die *Argumente* des Satzes.

Jedes Prädikat hat nun seine Argumentenstruktur, d.h. es ist spezifiziert für die Zahl an Argumenten, die es erfordert. (Statt „Argumentenstruktur eines Prädikats“ spricht man auch von dessen *Subkategorisierungsrahmen*.)

Die für die Subkategorisierung eines Verbs relevante Information wird im Lexikon vermerkt, und zwar als die sogenannte linking-Information. Diese Zahl an Argumenten, die es erfordert, entspricht dem, was wir vorher die *Bindungsstellen* genannt haben. Die Argumente sind also die minimal an der Aktivität oder dem Zustand, den das Prädikat ausdrückt, beteiligten, und umgedreht: Die Argumentenstruktur des Verbs bestimmt, welche Elemente des Satzes *obligatorisch* sind (vgl. Haegeman, 1994, S. 44).

Unter obligatorischen Argumenten versteht man somit diejenigen Argumente, die ein Verb minimal zur Besetzung seiner Bindungsstellen verlangt. „Ein Prädikat, dessen unabdingbare Variablen (Bindungsstellen) alle ausgefüllt sind, (ist) eine Proposition.“ (Norman/Rumelhart, 1978, S. 58)

Zusätzlich zu den Argumenten eines Verbs, können Sätze noch Adjunkte enthalten. Das sind Satz- Konstituenten, die zusätzliche Informationen geben, zum Beispiel in Bezug auf die Art und Weise, den Ort oder die Zeit einer Handlung (vgl. Haegeman, 1994, S.45). Adjunkte werden manchmal auch als die *fakultativen* Argumente eines Prädikats bezeichnet.

Formal ausgedrückt: „Ein Prädikat ist eine allgemeine Funktion, welche die Relationen spezifiziert, die zwischen einer bestimmten Anzahl von Begriffen bestehen können. Die Bezeichnung *Prädikat* bezieht sich auf die Funktion selbst. Die Bezeichnung *Argument* bezieht sich auf die Art von Begriffen, welche innerhalb der Prädikate verwendet werden können.“ (Norman/Rumelhart, 1978, S. 56)

Wieviele obligatorische Bindungsstellen kann ein Ikon mit der kategoriellen Information „Verb“ im Lexikon zur Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisung haben? Theoretisch gibt es n-wertige Prädikate, in der Realität herrschen jedoch die ein-, zwei- und drei-wertigen Prädikate vor. Selten gibt es ein vier-wertiges Prädikat. Im folgenden werden Beispiele für die drei erstgenannten Arten der Prädikate aufgeführt:

1. **Beispiel für ein ein-wertiges Prädikat:** „stolpern“

- a) Maigret stolperte.
- b) S (m), wobei S= ‚stolpern‘ und m= ‚Maigret‘ ist.
(b) ist die formallogische Notation der semantischen Struktur des Satzes a)).

„Stolpern“ alleine drückt keinen Sachverhalt aus. Damit dies geschieht, erfordert das Verb lediglich die Besetzung einer Stelle, und zwar durch eine Subjekt-Nominalphrase.

2. Beispiel für ein zwei-wertiges Prädikat: „imitieren“

- a) Maigret imitiert Poirot
- b) A (mp), wobei A= ‚imitieren‘, m= ‚Maigret‘ und p= ‚Poirot‘ ist.

Würde bei einem Verb wie „imitieren“ lediglich die Stelle der Subjekt-Nominalphrase besetzt, läge noch keine Proposition vor. „*Maigret imitiert“ ist kein Sachverhalt. „Imitieren“ ist ein Verb, das als Prädikat zwei Stellen besetzt haben muss, um eine Proposition zu ergeben, und zwar benötigt es eine Subjekt-Nominalphrase als eines Argument, und als zweites Argument eine Objekt-Nominalphrase. (vgl. Haegeman, 1994, S. 43)

3. Beispiel für ein drei-wertiges Prädikat: „geben“

Neben den einwertigen und den zweiwertigen Prädikaten gibt es noch die dreiwertigen Prädikate. Das sind Verben, die drei freie Bindungsstellen haben, die alle notwendig besetzt werden müssen, um eine Proposition zu erhalten. Zum Beispiel das Verb „geben“:

- a) Ich gebe Maigret den Brief.
- b) G (i, m, b), wobei G= ‚geben‘, i= ‚Ich‘, m= ‚Maigret‘ und b= ‚Brief‘ ist.

Welche Einträge mit der kategoriellen Information „Verb“ gibt es im Lexikon zur Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisungen und welche Wertigkeit haben sie, bzw. wie lautet ihre linking-Information?

So wie es eine große Anzahl an verschiedenen Substantiven gibt, welche im Kontext der Arbeitsanweisungen eine Rolle spielen, gibt es in diesem Kontext auch eine Vielzahl unterschiedlicher Verben. Werker müssen „schrauben“, „drehen“, „halten“, „montieren“, „befestigen“, „klemmen“, „drücken“, usw. Muss jedes dieser Verben durch ein spezielles Ikon repräsentiert werden?

Im Hinblick auf die Reduktion von Komplexität ist es wünschenswert, die Zahl der Verben so gering wie möglich zu halten. Auch sind Verben generell schwierig durch Ikons zu visualisieren, da Ikons einen Ähnlichkeitsbezug zum Bezeichneten haben, und bei dem Bezeichneten handelt es sich idealerweise um ein konkretes Objekt. Verben sind aber abstrakte Konzepte, bei denen der Zeitfaktor eine Rolle spielt, es sind in der Zeit verlaufende Tätigkeiten; eine Visualisierung dieser abstrakten Konzepte aufgrund einer Ähnlichkeit zu ihnen ist schwer möglich.

Dennoch gibt es eine universell verständliche ikonische Darstellung von einem Verb, eine Art universelles Verb, nämlich **den Pfeil**. Der Pfeil in der Darstellung ist das Schema von Bewegung durch Zeit und Raum und wird als Zeichen sprach- und kulturunabhängig als *von etwas* (Pfeilende) *auf etwas* (Pfeilspitze) erkannt und interpretiert (vgl. Brown, 1991, S.165). Da bei der universell verständlichen Arbeitsanweisung lediglich auf allgemeine, d.h. universelle Prinzipien der menschlichen Informationsverarbeitung zurückgegriffen werden kann, bietet der Pfeil die einzige Möglichkeit zur universell verständlichen ikonischen Repräsentation des Konzeptes „Verb“. Auf ihn wird im Fall der Arbeitsanweisungen zurückgegriffen. (vgl. hierzu auch Kapitel 3 dieser Arbeit, Abschnitt 3.5.2.)

Der Pfeil als Schema von Bewegung durch Zeit und Raum steht also – universell verständlich – für das Verb „bewegen“.

„Bewegen“ ist ein dreiwertiges Prädikat. „Er bewegt den Wagen in die Garage.“ drückt somit einen Sachverhalt aus. Die drei zu besetzenden Stellen des Verbs „bewegen“ sind erstens eine Subjekt-Nominalphrase, zweitens eine Objekt-Nominalphrase und drittens eine Präpositionalphrase.

In Bezug auf die Arbeitsanweisung heißt das: **Im Lexikon zur Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisung gibt es einen Eintrag mit der kategoriellen Information „Verb“, welcher durch einen Pfeil repräsentiert wird. Da der Pfeil als Ikon universell verständlich für das Verb „bewegen“ steht, und „bewegen“ ein drei-wertiges Prädikat ist, muss auch der Pfeil in der Darstellung eben diese drei Bindungsstellen besetzt haben, damit die Darstellung insgesamt einen Sachverhalt (Proposition) ausdrückt. Die Dreiwertigkeit des Verbs „bewegen“ ist im Lexikon als dessen Linking-Information vermerkt.**

Durch was werden die drei Bindungsstellen des Pfeils in der Darstellung besetzt?

Im Rahmen der Subkategorisierung eines Verbs ist nicht nur definiert, wieviele durch Argumente zu besetzende Bindungsstellen ein Verb hat (linking-Information), sondern auch *welcher Art* diese Argumente sein müssen. In diesem Zusammenhang spricht man von der **semantischen Information**. (In Abschnitt 2.6.1. wurde bereits gesagt, dass jeder vollständig definierte Eintrag im Lexikon eines Zeichensystems drei Arten von Informationen umfasst: Erstens die **kategorielle Information**, zweitens die **linking-Information** und drittens die **semantische Information**.)

Um auf die semantische Information näher eingehen zu können, müssen zunächst grundlegende Zusammenhänge in Bezug auf Syntax, Semantik, und damit verbunden die semantischen

Rollen geklärt werden. Dies ist Thema der nächsten beiden Abschnitte.

2.6.4. Syntax

Es wurde bereits erwähnt, dass Noam Chomsky, der Begründer der Universalgrammatik, diese 1995 unter dem Titel „Minimalistisches Programm“ überarbeitet hat. Dem Minimalistischen Programm zufolge basiert die UG nur auf zwei grundlegenden Annahmen: Erstens gibt es ein Lexikon, welches das lexikalische Inventar zum Aufbau von Strukturen bereitstellt, und zweitens gibt es ein Verarbeitungssystem (computational system), welches die Lexikonelemente zu komplexen Ausdrücken zusammensetzt (vgl. Dürscheid, 2003, S.149)

Das Lexikon wurde bereits in Abschnitt 2.6.1. behandelt. Es ist bekannt, dass das Lexikon zur Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen aus Ikonen besteht, die fast ausschließlich die kategorielle Information „Substantiv“ tragen. Desweiteren gibt es ein Ikon, nämlich den Pfeil, welcher die kategorielle Information „Verb“ trägt. Der Sprachtheorie zufolge ist das Verb das strukturbildende Element im Satz. Da im Fall der Arbeitsanweisungen Sprachstrukturen visualisiert werden, bedeutet dies: Der Pfeil ist das Schema von Bewegung durch Zeit und Raum, steht also für das Verb „bewegen“ und muss, weil „bewegen“ ein dreiwertiges Verb ist, drei Stellen besetzt haben.

Welcher Art die Besetzung dieser Stellen ist, wird in diesem und im folgenden Abschnitt geklärt. Zwei Prinzipien des Verarbeitungssystems der UG kommen hierbei zur Anwendung: Erstens der Teil der X-bar-Syntax als Prinzip des Verarbeitungssystems, welcher besagt, dass Sätze aus Phrasen aufgebaut werden (Abschnitt 2.6.4.) und zweitens das θ -Kriterium als Phrasenstrukturregel, das besagt, dass jedes Argument eine und nur eine θ -Rolle trägt, und jede θ -Rolle einem und nur einem Argument zugewiesen wird (Abschnitt 2.6.5.).

Zunächst zum erstgenannten Prinzip, das bei der Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisung zur Anwendung kommt, der X-bar-Syntax. Dazu muss geklärt werden, was überhaupt unter Syntax verstanden wird:

„ (...) Untersuchungsgegenstand der Syntax sind alle sprachlichen Strukturen, deren gemeinsames Merkmal es ist, dass es sich um Verbindungen oberhalb der Wortebene handelt. Der Satz stellt die obere Einheit dieser Verbindungen dar, das Wort die untere.“ (Dürscheid, 2003, S. 11) In diesen Zusammenhang gehört der Begriff „Phrase“. „Eine Phrase ist eine syntaktisch zusammengehörige Wortgruppe, die aus 1 – n-Elementen besteht.“ (Dürscheid, 2003, S. 224)

„Betrachten wir den Satz:

The very old man eats oysters.

Wir können diesen Satz auf verschiedene Arten zerlegen. Erstens ist die Phrase **the very old man** eine *Nominalphrase (NP)*. Zweitens ist die Phrase **eats oysters** eine *Verbalphrase (VP)*, und

drittens sehen wir, dass diese Verbalphrase aus einem Verb (V) (– **eats** –) plus einer Nominalphrase (– **oysters** –) besteht.“ (Lindsay/Norman, 1977, S. 473)

„Eine der faszinierendsten Erkenntnisse der modernen Linguistik ist, dass allen Phrasen von allen menschlichen Sprachen eine gemeinsame Anatomie zugrunde liegt.“

Nehmen wir als Beispiel eine englische Nominalphrase. Eine Nominalphrase (NP) ist nach einem speziellen Wort, dem Substantiv (*noun*) benannt, das in ihr enthalten sein muss. Die Nominalphrase schuldet die meisten ihrer Eigenschaften diesem Substantiv (*noun*). Zum Beispiel bezieht sich die NP *the cat in the hat* auf eine bestimmte Art von Katze (*cat*), nicht auf eine bestimmte Art von Hut (*hat*); die Bedeutung des Wortes Katze (*cat*) ist die Kernbedeutung der gesamten Phrase. Analog dazu bezieht sich die Phrase *fox in socks* auf eine bestimmte Art Fuchs (*fox*), nicht Socken (*socks*), und die gesamte Phrase ist Singular (d.h. wir sagen der Fuchs in Strümpfen (*the fox in socks*) *ist* (*is*) oder *war* (*was*) hier, nicht aber *sind* (*are*) oder *waren* (*were*) hier), und zwar, weil das Wort Fuchs (*fox*) Singular ist. Diese spezielle Substantiv wird als der (lexikalische) „Kopf“ („*head*“) der Phrase bezeichnet, und die Information, die mit diesem Wort aufgelistet wird, (...) wird als die Phrase als Ganzes charakterisierend interpretiert. Gleiches gilt für Verbalphrasen: *flying to Rio before the police catch him* ist ein Beispiel für einen Fall des Fliegens (*flying*), nicht einen Fall des Fangens (*catching*), also ist das Verb fliegen (*flying*) der lexikalische Kopf (*head*) der Phrase.

Hier haben wir das erste Prinzip, die Bedeutung einer Phrase aus der Bedeutung der Wörter innerhalb der Phrase herauszulesen. Worum sich die Phrase als Ganzes dreht entspricht dem, worum es sich bei ihrem lexikalischen Kopf dreht.

Das zweite Prinzip erlaubt Phrasen, sich nicht nur auf einzelne Dinge oder Aktionen in der Welt zu beziehen, sondern auf mehrere Rollenspieler (*sets of players*), die miteinander in einer bestimmten Art und Weise interagieren, jeder mit einer bestimmten Rolle. Zum Beispiel geht es in dem Satz *Sergey gave the documents to the spy* nicht nur um einen beliebigen Akt des Gebens. Er choreografiert vielmehr drei Einheiten: Sergey (den Geber), die Dokumente (das zugegebene), und den Spion (den Empfänger). Diese Rollenspieler (*role-players*) werden die Argumente (des Satzes) genannt (...).“ (Pinker, 1994, S. 99)

An dieser Stelle sei noch einmal die in Abschnitt 2.6.1. dieses Kapitel zitierten Definitionen in Bezug auf grammatische Strukturen hingewiesen, die lauten:

Definition 1: „Lexikalische Kategorien und syntaktische Kategorien sind (primäre) grammatische Kategorien.“ (Wagner, 1997/98, S. 74)

Definition 2: „Die Wortklassen (/ Wortarten) Determinator (D), (Substantiv/) Nomen (N), Verb (V), Adjektiv (A), Präposition (P) (...) sind lexikalische Kategorien.“ (Wagner, 1997/98, S. 69)

Definition 3: „Die Kategorie Satz (S) und alle X-Phrasen (XP), wobei X eine lexikalische Kategorie ist, sind syntaktische Kategorien.“ (Wagner, 1997/98, S. 74)

Unter dem Stichwort **syntaktische Kategorien** ist in Bezug auf die dritte Definition und unter Berücksichtigung dessen, was oben zu dem Term „Phrase“ gesagt wurde, Folgendes festzuhalten (vgl. Wagner, 1997/98, S. 70 f):

Wir können den Begriff X-Phrase wie folgt definieren, wobei X eine beliebige lexikalische Kategorie (N, V, A, P, ...) ist:

Definition 4: *X-Phrase*:

Eine regierende lexikalische Kategorie X zusammen mit all ihren Abhängigen konstituiert eine Phrase X, abgekürzt XP.

Definition 5: *lexikalischer Kopf*:

Die regierende lexikalische Kategorie X einer X-Phrase ist der (lexikalische) Kopf dieser Phrase. Hierbei handelt es sich um ein Definitionsschema, das durch Einsetzen einer lexikalischen Kategorie für X zu einer Definition für eine entsprechende Phrase wird und gleichzeitig ein Symbol dafür liefert. Ersetzen wir X beispielsweise durch N, dann erhalten wir folgende Formulierung:

Definition 6: *N-Phrase (Nominalphrase)*:

Eine regierende lexikalische Kategorie N zusammen mit all ihren Abhängigen konstituiert eine N-Phrase, abgekürzt NP, genannt Nominalphrase. Das N ist der Kopf dieser Phrase.

In Abb. 2.2. ist die gesamte Kette *die braunen Flecken auf der Nase* eine N-Phrase (NP).

Definition 7: *P-Phrase (Präpositionalphrase)*:

Eine regierende lexikalische Kategorie P zusammen mit all ihren Abhängigen konstituiert eine P-Phrase, abgekürzt PP, genannt Präpositionalphrase. Das P ist der Kopf dieser Phrase.

In Abb.2.2. die Kette *auf der Nase* eine P-Phrase und enthält eine weitere NP: *der Nase*.

Alle X-Phrasen können auch aus dem Kopf alleine bestehen. Ein einzelnes Wort bildet eine X-Phrase, wenn es die gleiche syntaktische Position wie die entsprechenden X-Phrase einnimmt und keine weiteren Abhängigen mehr hat (vgl. Wagner, 1997/98, S. 70 f).

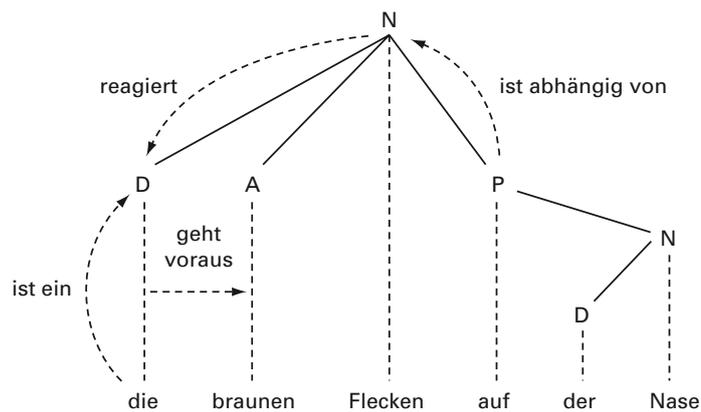


Abbildung 2.2.: Verallgemeinerte Dependenzstruktur (Quelle: Wagner, 1997/98, S. 70)

Abb. 2.2. stellt eine verallgemeinerte Dependenzstruktur dar (Dependenz=Abhängigkeit). Die Dependenzstruktur spielt in der UG eine maßgebliche Rolle, ist im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit jedoch zu vernachlässigen und hier nur abgebildet, um ein zusammenhängendes Verständnis der obenstehenden Definitionen zu ermöglichen.

Dieser Abschnitt, zusammengefasst, besagt demnach: **Ein komplexer Satz besteht aus mehreren kleineren Einheiten, die man als (X-) Phrasen bezeichnet. X-Phrasen können in einzelnen Fällen aus nur einem Wort bestehen, meistens handelt es sich jedoch um Verbindungen von mehreren Wörtern.**

Dies ist nur ein Teil der sogenannten *X-bar-Syntax*, die ihrerseits nur einen Teil der Phrasenstrukturregeln der sehr viel umfangreicheren UG konstituiert. **Im Zusammenhang mit der Entwicklung des Zeichensystems zur Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen kann es aber bei einem Verständnis dieses Teils der X-bar-Syntax belassen werden.** Darauf aufbauend wird im nächsten Abschnitt das „ θ - Kriterium“ als eine weitere Phrasenstrukturregel der UG, welche hinsichtlich der universell verständlichen Arbeitsanweisungen von Relevanz ist, dargelegt.

2.6.5. Semantik / Semantische Rollen und das „ θ - Kriterium“

„In (...) (diesem) Abschnitt werden wir sehen, dass es strukturgleiche Sätze gibt, die unterschiedliche Eigenschaften aufweisen, die wir nicht allein durch die Unterscheidung zwischen grammatischen Kategorien und grammatischen Funktionen erklären können. Betrachten wir das folgende Satzpaar:

- (...) (1) (a) The man cut the rope.
- (...) (2) (b) The knife cut the rope.

Beide Sätze weisen (...) (scheinbar) die gleiche Struktur auf: Sowohl *the man* als auch *the knife* sind Nominalphrasen: beide fungieren als Subjekte. Allerdings scheinen sie sich semantisch in ihrer Beziehung zum Verb zu unterscheiden.

Satz (...) (a) kann durch das Adverb *carefully* modifiziert werden, Satz (...) (b) nicht:

(...) (2) (a) The man cut the rope *carefully*.

(...) (2) (b) *The knife cut the rope *carefully*.

Das Adverb *carefully* kann nur Verben modifizieren, die intentionale Handlungen bezeichnen, die ihrerseits ein intentional handelndes Lebewesen voraussetzen.

Außerdem kann Satz (a) durch eine zusätzliche *with*-Phrase modifiziert werden, was wiederum für Satz (b) nicht möglich ist.

(...) (3) (a) The man cut the rope with a screwdriver.

(...) (3) (b) *The knife cut the rope with a screwdriver.

(...) Das unterschiedliche Verhalten von *the man* gegenüber *the knife* rührt von der Tatsache her, dass ersteres den „Täter“ der Handlung „schneiden“ bezeichnet, während letzteres lediglich das „Instrument“ der Handlung denotiert. Es handelt sich hier also nicht um ein Problem der Kombinierbarkeit grammatischer Kategorien (beides sind Nominalphrasen) oder grammatischer Funktionen (beide haben die Funktion des Subjekts), sondern um ein Problem der Kombinierbarkeit von semantischen Relationen.

Bestimmte semantische Relationen wie Agens ((...) (von) lat. *agere* (=) handeln) zur Bezeichnung der handelnden Person, des Urheberes oder der Ausgangsgröße einer Handlung oder Tätigkeit, oder das Patiens ((...) (von) lat. *patiens* (=) leidend) zur Bezeichnung einer von einem Vorgang betroffene Größe, sind schon in der traditionellen Grammatik behandelt worden. Eine systematische Behandlung fanden diese semantischen Relationen in der von Charles Fillmore begründeten Kasusgrammatik (...) (Abraham, 1971). Die dort „Tiefenkasus“ genannten Relationen benennen die semantischen Rollen, die verschiedene „Mitspieler“ in der durch das Verb bezeichneten Situation übernehmen. In unserem Beispiel bezeichnet *the man* die handelnde Person (Agens, engl. *agent*), *the rope* ist das vom Vorgang des Schneidens unmittelbar betroffene (affizierte) Objekt (Patiens, engl. *patient*); *the knife* ist das unbelebte Objekt, mithilfe dessen die Handlung vollzogen wird (Instrument).

In der neueren Syntaxtheorie von Noam Chomsky spielen (...) (die semantischen Relationen) als *thematische Relationen* (Rollen) ebenfalls eine sehr wichtige Rolle.“ (Wagner, 1997/98, S. 98 f)

„Es ist innerhalb der letzten zwei Dekaden zur Gewohnheit geworden, sich auf die wichti-

gen semantischen Rollen als auf die **thematischen Rollen** zu beziehen; und da der griechische Buchstabe θ (= *theta*) mit dem englischen *th* korrespondiert und das Wort *thematisch* (*thematic* von thematic roles) mit *th* beginnt, ist es ebenso zum Standard geworden, den Ausdruck **thematische Rolle** (thematic role) als **θ -Rolle** abzukürzen (...).“ (Radford, 1997, S. 326)

Chomskys **Theta-Kriterium** fordert eine Eins-zu-eins-Zuordnung von thematischer Rolle (= θ -Rolle) und syntaktischer Argumentposition. Jedes Verb vergibt eine bestimmte Zahl von θ -Rollen. Welche semantischen Eigenschaften diese θ -Rollen tragen, hängt von der Verbsemantik ab. Es gilt:

Theta-Kriterium: Jedes Argument trägt eine und nur eine θ -Rolle, und jede θ -Rolle wird einem und nur einem Argument zugewiesen. (vgl. Chomsky, 1981, S. 36).

„Ein Verb wie *schicken* z.B. vergibt drei semantische Rollen, drei θ -Rollen, die paraphrasiert werden können als *wer, wem, was?*. Diese müssen im Strukturaufbau auf drei Argumentpositionen verteilt werden. Umgekehrt darf eine in der Struktur vorhandene Argumentposition nicht ohne eine θ -Rolle stehen. Zwar ist es möglich, θ -Rollen nicht zu realisieren (vgl. *Ich schenke gerne Rosen*), nichtsdestotrotz muss in der Argumentstruktur von *schicken* für jede θ -Rolle eine Position vorhanden sein.“ (Dürscheid, 2003, S. 147 f)

In der Literatur herrscht keine exakte Übereinstimmung hinsichtlich der verschiedenen Arten von θ -Rollen, die es gibt. Manche Autoren vertreten die Auffassung, dass **Agens** und **Patiens** stets belebt sein müssen. Andere Autoren definieren die θ -Rolle **Patiens** genereller als „das von einem Zustand oder Vorgang affizierte Objekt (einschl. Lebewesen)“ (Wagner, 1997/98, S. 4). Anstelle von **Patiens** wird zum Teil auch **Thema** gesagt. In dieser Arbeit wird die folgende Typologie der θ -Rollen verwendet (vgl. dazu Radford, 1997, S. 326):

Thema (oder **Patiens**) = das von einem Zustand oder Vorgang betroffene Objekt (einschl. Lebewesen)

(z.B. *Mary fell over.*)

Agens/ Verursacher = Anstifter/Initiator eines Vorgangs oder einer Handlung

(z.B. *John killed Henry.*)

Experiencer = Wesen oder Einheit, das/die etwas wahrnimmt (fühlt, etc)

(z.B. *John felt happy.*)

Rezipient/ Possessor = Objekt oder Wesen, das etwas erhält oder besitzt

(z.B. *John got Mary a present.*)

Source/Path/Goal = Ausgangspunkt, Weg und Ziel einer Bewegung

(z.B. *John went home.*)

Unter Berücksichtigung dessen, was in diesem Abschnitt hinsichtlich der semantischen Rol-

len (θ -Rollen) ausgeführt wurde, kann jetzt festgehalten werden, dass im Rahmen der **semantischen Information** eines Lexems im Lexikon festgelegt wird, welche semantischen Rollen ein Lexem zur Besetzung seiner freien Bindungsstellen erfordert (wenn dieses Lexem die kategorielle Information „Verb“ trägt), bzw. welche semantischen Rollen ein Lexem erfüllen kann (wenn das Lexem die kategorielle Information „Substantiv“ trägt).

Was heißt das jetzt in Bezug auf das Zeichensystem zur Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisungen? In diesem Lexikon, so ist bekannt, existiert nur ein Lexem mit der kategoriellen Information „Verb“, nämlich das Pfeil-Ikon, das für den Begriff „bewegen“ steht. „Bewegen“ ist ein transitives Verb, also ein zweiwertiges Prädikat, dessen linking-Information demnach besagt, dass zur vollständigen Besetzung seiner freien Bindungsstellen zwei obligatorische Argumente erforderlich sind. Welche θ -Rollen tragen diese beiden Argumente? Der folgende Satz dient als Beispiel:

Sie bewegen den Hebel.

Sie ist das eine Argument, welches das Verb „bewegen“ erfordert, *den Hebel* ist das andere Argument. *Sie* ist **NP1**, *den Hebel* ist **NP2**; *Sie* trägt ferner die θ -Rolle **Agens**, und *den Hebel* die θ -Rolle **Thema**. (vgl. hierzu oben, die Typologie der θ -Rollen)

Das heißt: „bewegen“ erfordert zur vollständigen Besetzung seiner freien Bindungsstellen zwei Argumente, die syntaktisch die Funktionen NP1 und NP2 besetzen müssen. **NP1** trägt die θ -Rolle **Agens**, **NP2** die θ -Rolle **Thema**.

Betrachten wir in dem Zusammenhang den Kontext, in welchem die Arbeitsanweisung erscheint: *Sie* ist eine Handlungsanleitung für *einen* bestimmten Werker. Dieser *Werk*er ist immer der *Agens* der Handlung, und diese Tatsache ist dem Werker, eben aufgrund des Kontextes auch bewusst; man kann sagen: diese Tatsache ist *der Arbeitsanweisung* bereits *kontextabhängig implizit*.

Und *aufgrund dessen* wird bei der *Visualisierung der Arbeitsanweisungen* auf eine (zusätzliche) *explizite Darstellung des Agens verzichtet*.

Damit wird bei der Gestaltung der Arbeitsanweisungen ein Prinzip berücksichtigt, das Donald Norman formuliert: „Design sollte sich die natürlichen Eigenschaften der Menschen und der Welt zunutze machen: es sollte natürliche Beziehungen, wie auch natürliche Begrenzungen ausnutzen. Soweit wie möglich sollte es ohne überflüssige Instruktionen oder Beschriftungen (Etiketten (*labels*)) auskommen.“ (Norman, 1988, S. 188)

Inwiefern beeinflusst dies aber die inhaltliche Struktur der Arbeitsanweisung? *Sie bewegen den Hebel* (*Bewegen Sie den Hebel!*) ist eine Proposition, von der, wie eben gesagt, nur das Verb

(„bewegen“), und die NP2 („den Hebel“) explizit auf der Darstellungsebene visualisiert werden müssten. Bei einem solchen zwar korrekt zweiwertigen Gebrauch des Verbs „bewegen“, wobei das eine Argument aber nur implizit vorhanden und nicht dargestellt ist, spricht man von einem *unterwertigen Gebrauch des Verbs*.

Dieser kann umgangen werden, wenn man berücksichtigt, dass es sich bei „bewegen“ zwar um ein obligatorisch zwei-wertiges Prädikat handelt, das aber *fakultativ dreiwertig* ist.

Unter Abschnitt 2.6.3. wurde bereits erwähnt, dass Sätze zusätzlich zu den Argumenten eines Verbs noch Adjunkte enthalten können. Das sind Satz-Konstituenten, die zusätzliche Informationen geben, zum Beispiel in Bezug auf die Art und Weise, den Ort oder die Zeit einer Handlung. (vgl. Heageman, 1994, S.45) Adjunkte werden manchmal auch als die „fakultativen“ Argumente eines Prädikats bezeichnet.

Betrachten wir dazu den folgenden Beispielsatz:

Sie bewegen die Schraube in das Gewinde.

Hier haben wir die beiden Argumente NP1 (*Sie*) und NP2 (*die Schraube*), wobei NP1 die θ -Rolle **Agens** und NP2 die θ -Rolle **Thema** trägt, sowie, als PP3 die Phrase *in das Gewinde*, welche die θ -Rolle **Path/Goal** trägt.

Für die Arbeitsanweisungen gilt:

NP2, PP3, sowie das Verb werden auf der Darstellungsebene visualisiert, NP1 ist in der Darstellung implizit vorhanden und wird daher nicht explizit visualisiert.

Damit sind die Bindungsstellen des zweiwertigen Prädikats korrekt und vollständig besetzt, weil NP1 jedoch nicht explizit dargestellt wird, **muss bei der Visualisierung der Arbeitsanweisungen die PP3 mit der θ -Rolle Path/Goal, obwohl fakultativ, in jedem Fall besetzt und visualisiert (explizit dargestellt) werden.**

Im Zusammenhang damit und der Vollständigkeit wegen betrachten wir noch einen weiteren Beispielsatz:

Sie bewegen den Stab mit dem Hammer in den Bolzen.

In diesem Satz gibt es neben der NP1 mit der θ -Rolle **Agens** (*Sie*), der NP2 mit der θ -Rolle **Thema** (*den Stab*), der PP3 mit der θ -Rolle **Path/Goal** (*in den Bolzen*) noch eine weitere Phrase, nämlich die PP4 mit der θ -Rolle **Instrument** (*mit dem Hammer*).

Diese PP4 mit der θ -Rolle **Instrument** spielt im Kontext der Arbeitsanweisungen des öfteren eine Rolle, da die Werker die Handlungen z.T. mithilfe von Werkzeugen (**Instrument**) ausführen müssen. Ist dies der Fall, so wird die PP4, obwohl fakultativ, ebenfalls auf der Darstellungs-

ebene visualisiert. Wie genau die Visualisierung in dem Fall aussieht, wird in Kapitel 3 genau ausgeführt werden.

Festzuhalten ist:

Für das Linking der lexikalischen Einträge des Zeichensystems zur Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen sind zwei Prinzipien der Universalgrammatik wesentlich und werden als Regeln übernommen.

Es handelt sich hierbei erstens um den Teil der X-bar-Syntax, der besagt, dass ein komplexer Satz aus mehreren einzelnen Phrasen aufgebaut ist.

Und zweitens um das θ -Kriterium als Phrasenstrukturregel, das besagt, dass jedes Argument eine und nur eine θ -Rolle trägt, und jede θ -Rolle einem und nur einem Argument zugewiesen wird. (vgl. Dürscheid, 2003, S 147)

Desweiteren können aufgrund der Ausführungen in diesem und dem vorangehenden Abschnitt **die Einträge im Lexikon des Zeichensystems hinsichtlich ihrer semantischen Information ergänzt und damit komplettiert werden:**

Der einzige Eintrag mit der kategoriellen Information „Verb“ entspricht einem obligatorisch zweiwertigen und fakultativ dreiwertigen Prädikat mit der Bedeutung „bewegen“, dessen Bindungsstellen mit einer NP1 mit der θ -Rolle *Agens*, sowie einer NP2 mit der θ -Rolle *Thema* notwendig besetzt werden müssen.

Da im Fall der Arbeitsanweisungen die NP1 jedoch nicht explizit dargestellt wird, muss, um einen unterwertigen Gebrauch des Verbs zu verhindern, stattdessen die eigentlich fakultative PP3 mit der θ -Rolle *Path/Goal* notwendig besetzt und auch explizit dargestellt werden.

Erfordert die vom Werker auszuführende Handlung den Gebrauch eines Werkzeugs, wird die fakultative Ergänzung PP4 mit der θ -Rolle *Instrument* entsprechend besetzt dargestellt.

Lexikalische Einträge mit der kategoriellen Information „Substantiv“ können hinsichtlich ihrer semantischen Information in zwei Untergruppen gegliedert werden: In der ersten Untergruppe befinden sich alle Werkzeuge. In keinem darzustellenden Sachverhalt können sie die θ -Rolle *Agens* oder *Thema* besetzen, erscheinen also nie als NP2 oder PP3, sondern stets nur in Form der PP4 mit der θ -Rolle *Instrument*.

Anders die Verbauteile. Sie bilden die zweite Untergruppe der Substantive des Lexikons. Je nach Sachverhalt, also je nachdem, ob sie als aktuell zu verbauendes Teil erscheinen, oder bereits angebaut und das *Ziel* einer weiteren Handlung sind, erscheinen sie entweder als NP2 mit der θ -Rolle *Thema* oder als PP3 mit der θ -Rolle *Path/Goal*.

2.7. Satzstrukturdarstellungen

Auf dem Weg zur visuellen Darstellung der Struktur der UG im Rahmen des Zeichensystems zur Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen wird in diesem Abschnitt auf drei verschiedene Arten von Satzstrukturdarstellungen eingegangen: Hierarchische Strukturbäume, Stemmata und Konzeptgraphen.

Dabei handelt es sich um graphische Darstellungen von Sprachstrukturen, die von Linguisten im Sinne einer Fachsprache und deren Notation zur Informationsvisualisierung verwendet werden. Eben weil es sich dabei um die spezielle Notation einer Fachsprache handelt, sind diese Satzstrukturdarstellungen als universell verständliche Arbeitsanweisungen selbst nicht geeignet; im Kontext dieser Arbeit dienen sie aber dazu, das bisher in Bezug auf Syntax und Semantik Gesagte zu veranschaulichen.

Im Rahmen der Stemmata als einer Art von Satzstrukturdarstellung wird weiter unten kurz auf die Dependenzgrammatik eingegangen, eine grammatische Theorie, die in ihren Hauptaussagen in verschiedene Grammatikmodelle integrierbar ist (vgl. Dürscheid, 2003, S. 108). Wie zu sehen sein wird, werden in dem Zusammenhang bisherige Aussagen dieser Arbeit in Bezug auf Syntax und Semantik unterstützt.

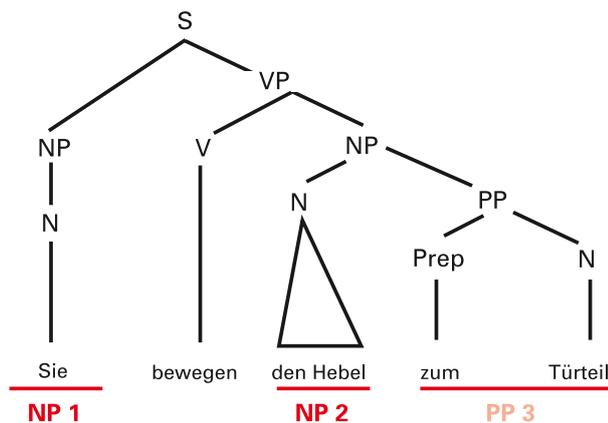


Abbildung 2.3.: Hierarchischer Strukturbaum mit Verb „bewegen“

Abb. 2.3. zeigt zunächst das Beispiel eines hierarchischen Strukturbaums; die Art einer Satzstrukturdarstellung, wie sie traditionell in der UG verwendet wird. Ein solches Diagramm stellt eine visuelle Repräsentation der *kategorialen Konstituentenstruktur* des Satzes, „Sie bewegen den Hebel zum Türteil“ dar. Man kann daran ablesen, wie der Satz „Sie bewegen den Hebel zum Türteil“ aus den ihn konstituierenden Phrasen, und wie jede dieser Phrasen aus ihren Bestandteil-Wörtern (component words) strukturiert wird. Abb. 2.3 ist also eine visuelle Repräsentation der *Phrasenstruktur* des Satzes „Sie bewegen den Hebel zum Türteil“ (vgl. Radford, 1988, S. 53).

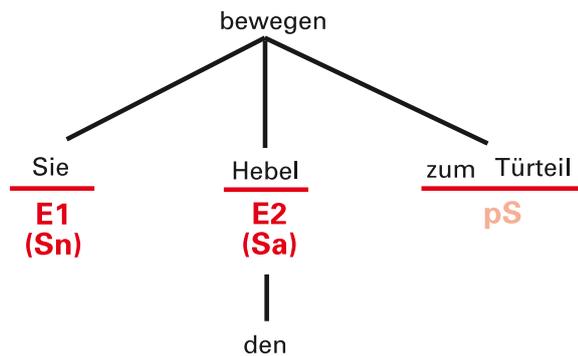


Abbildung 2.4.: Stemma, Sn=Substantiv im Nominativ, Sa=Substantiv im Akkusativ, pS=präpositionales Substantiv, E1=1. Aktant (1. Ergänzung), E2=2. Aktant (2. Ergänzung)

Abb. 2.4. zeigt das Stemma des Satzes „Sie bewegen den Hebel zum Türteil.“ Der Begriff Stemma stammt aus der Dependenzgrammatik.

„Im Modell der **Dependenzgrammatik** (Abhängigkeitsgrammatik) wird die hierarchische Struktur des Satzes als vom Verb bestimmt beschrieben; das Verb bildet gewissermaßen den Angelpunkt des Satzes. Entsprechend seiner **Valenz** (Wertigkeit) fordert das Verb eine bestimmte Zahl von Ergänzungen; das Subjekt ist als 1. Aktant (1. Ergänzung) ein sog. „Mitspieler“ des Verbs. Mit seinem Modell der Dependenzgrammatik beschreibt LUCIEN TESNIERE Abhängigkeitsbeziehungen: Das Verb regiert (als Prädikat des Satzes) die übrigen Satzglieder, es ist das für Anzahl und Art der Ergänzungen verantwortliche Element im Satz, d.h. alle notwendigen Satzglieder sind in Form, Funktion und Position vom Verb bestimmt. (...) Daher steht im **Stemma**, der graphischen Darstellung eines Satzes aus übergeordneten Knoten und von diesen abhängigen Kanten, das Verb als oberster Knoten, von dem die für den Satz notwendigen Kanten ausgehen. (...) Die Teile des Satzes, die dem Verb direkt untergeordnet sind, werden als **Dependentien** (Sing. Dependens) bezeichnet; hier lassen sich die **Aktanten**, die obligatorischen (notwendigen) Ergänzungen, von den **Circonstanten**, den fakultativen (freien) Angaben, unterscheiden.“ (Volmert, 200, S. 137 f)

„Grundlegend und unverzichtbar für die Entwicklung des Dependenzmodells eines Satzes ist die **Valenztheorie**. Die Theorie von der **Valenz** (Wertigkeit) befasst sich mit der Fähigkeit der Wörter (hauptsächlich der Verben, aber auch der Präpositionen), andere Wörter an sich zu binden: Man versucht, die Verben danach zu klassifizieren, wieviele und welche Ergänzungen sie fordern. Man unterscheidet entsprechend *quantitative* und *qualitative* Valenz. Die Vorstellung der Valenz ähnelt dabei der Wertigkeit eines Atoms: Das Verb eröffnet um sich herum Leerstellen, die entsprechend seiner Semantik nach Zahl und Art unterschiedlich sein können.“ (Volmert, 200, S. 139)

In Bezug auf das Zeichensystem zur Erstellung der Arbeitsanweisungen ist von Interesse, dass in der Valenztheorie die Wertigkeit des Verbs „bewegen“ wie folgt definiert ist (vgl. hierzu: Helbig, Schenkel, 1969, S. 175):

bewegen ->	Sn, Sa, (pS)
Sn ->	+/- Anim (<i>Der Maschinist bewegt den Hebel, das Pferd den Pflug, der Sturm die Blätter.</i>)
Sa ->	-Anim (<i>Der Wind bewegt die Blätter.</i>) (...)
p =	in, nach, ... (lokale Präposition)
pS ->	1. Loc (Er bewegt sich <i>im Kreis.</i>) 2. Dir (Er bewegt den Hebel <i>nach der Seite.</i>)

Das bedeutet: Hinsichtlich seiner quantitativen Valenz ist „bewegen“ obligatorisch 2-wertig, fakultativ 3-wertig. Als obligatorische Ergänzungen fordert es 1. ein Substantiv im Nominativ (Sn), sowie 2. ein Substantiv im Akkusativ (Sa). Fakultative Ergänzung ist ein präpositionales Substantiv (pS).

Was die qualitative Valenz angeht, so fordert „bewegen“ als 1. Ergänzung entweder ein belebtes oder aber ein nicht belebtes Sn (+/- Anim). Die 2. Ergänzung (Sa) hingegen ist stets unbelebt (- Anim).

Die fakultative Ergänzung (pS) kann entweder einen Ort (Loc) oder eine Richtung (Dir) bezeichnen.

Die Valenz des Verbs „bewegen“ stimmt somit mit dem (in der UG definierten) Subkategorisierungsrahmen des Verbs überein: Sn (+/- Anim) und Sa (-Anim) als obligatorische Ergänzungen entsprechen NP1 mit der θ -Rolle *Agens*, sowie NP2 mit der θ -Rolle *Thema*. pS (loc, Dir) als fakultative Angabe entspricht der PP3 mit der θ -Rolle *Path/Goal*. Weitere fakultative Angaben können hinzu kommen.

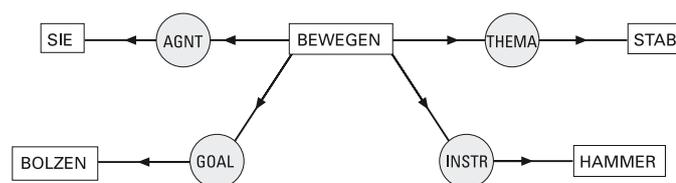


Abbildung 2.5.: Konzeptgraph für den Satz: „Bewegen Sie den Stab mit dem Hammer in den Bolzen“

Als dritte Art von Satzstrukturdarstellungen zeigt Abb. 2.5. den Satz „Bewegen Sie den Stab mit dem Hammer in den Bolzen“ als Konzeptgraphen.

Die Theorie der Konzeptgraphen (*conceptual graphs*) wurde von John F. Sowa (vgl. Sowa, 2000) entwickelt.

„Ein Konzept ist eine mentale Repräsentation eines Objektes, einer Handlung, einer Eigen-

schaft, eines Ereignisses oder allgemein eines Sachverhalts. In der Sprache werden elementare Konzepte durch Wörter ausgedrückt.“ (Wagner, 1997/98, S.108) – Anstelle von „Konzept“ wurde in früheren Abschnitten dieser Arbeit auch das Wort „Begriff“ verwendet. –

„Ein Konzeptgraph ist eine abstrakte Struktur, die aus einer Menge von Knoten besteht, die durch eine Menge von Kanten verbunden sind. Die Kanten stellen dabei die Relationen dar, die zwischen den Knoten bestehen. In Konzeptgraphen unterscheiden wir dabei zwei Arten von Knoten: Konzeptknoten und Relationsknoten. Im Grenzfall kann ein Konzeptgraph aus einem einzigen Konzeptknoten bestehen. Ein Relationsknoten kann jedoch nicht alleine stehen, da er eine Beziehung zwischen Konzepten ausdrückt.“ (Wagner, 1997/98; S. 109)

Abb. 2.6. zeigt die Elemente von Konzeptgraphen.



Abbildung 2.6.: Die Elemente von Konzeptgraphen

„Konzeptgraphen können als Diagramme dargestellt werden, wobei die Konzeptknoten durch Kästchen und die Relationsknoten durch Kreise dargestellt werden. Die Knoten der Konzeptgraphen werden durch Pfeile dargestellt, haben also eine Richtung. Wir sprechen deshalb auch von einem gerichteten Graphen.

Konzepte und Relationen basieren auf übereinzelsprachlichen semantischen Prinzipien, d.h. sie lassen sich ebenso für das Englische, wie auch für das Deutsche oder das Japanische verwenden.“ (Wagner, 1997/98, S. 109)

2.8. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden theoretische Modelle von universeller Verständlichkeit hinsichtlich ihrer Verwendung für flexibel erstellbare, universell verständliche Arbeitsanweisungen für Arbeiter an Montagelinien geprüft und ausgewertet.

In diesem Zusammenhang wurde zunächst festgestellt, dass es sich bei der Arbeitsanweisung generell um einen Kommunikationsakt handelt. Soll ein solcher universell verständlich sein, muss die Botschaft in einem Code abgefasst sein, dessen Entschlüsselung ausschließlich auf allgemeinen Prinzipien der menschlichen Informationsverarbeitung basiert. Welches diese Prinzipien sein können, darüber geben die Anthropologie und die Kognitionspsychologie Auskunft.

Bei der Erstellung von Arbeitsanweisungen handelt es sich um ein Designproblem. Design wird definiert als die Gestaltung von Information auf der Benutzeroberfläche. Das die In-

formation vermittelnde Medium ist das Zeichen. Nach Charles S. Peirce gibt es drei unterschiedliche Arten von Zeichen: Indizes, Symbole und Ikons. Indizes und Symbole scheiden zur Verwendung für eine universell verständliche Arbeitsanweisung aus, da sie nicht universell verständlich sein können. Ikons hingegen weisen als Zeichen eine Ähnlichkeit zu dem Bezeichneten auf. Sie können daher als universell verständlich angenommen werden, sofern es sich bei dem Bezeichneten um konkrete Gegenstände handelt.

Der Mensch versteht die Welt in Form von Sachverhalten, und auch im Fall der Arbeitsanweisungen müssen Sachverhalte ausgedrückt werden. Ein Ikon alleine vermag keinen Sachverhalt auszudrücken, es verweist lediglich auf ein Bezeichnetes. Zum Ausdrücken von Sachverhalten müssen somit einzelne Ikons miteinander kombiniert werden. Diese Kombination muss nach bestimmten Regeln erfolgen, welche der allgemeinen menschlichen Informationsverarbeitung entsprechen. Bevor darauf eingegangen wird, ob und wo es solche universell verständlichen Regeln gibt, muss festgehalten werden: Liegt einerseits eine Menge von Elementen (in diesem Fall die einzelnen Ikons) vor und gibt es auf der anderen Seite einen Satz Regeln zu deren Verknüpfung, so spricht man von einem Zeichensystem.

Das am intensivsten untersuchte Zeichensystem ist die menschliche Sprache, und seine Wissenschaft, die Sprachwissenschaft, ist diejenige Disziplin, in der semiotische Fragestellungen mit Beispielwirkung für die Analyse und die Neuentwicklung anderer Zeichensysteme abgehandelt werden. Deshalb fungiert die Sprache auch im Fall der Entwicklung eines Zeichensystems zur Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen als beispielhaftes Zeichensystem. Universelle Sprachstrukturen werden auf das inhaltliche und formale Design der Arbeitsanweisungen übertragen.

Gibt es nun universell verständliche Regeln zur Verknüpfung der einzelnen Elemente des Zeichensystems zur Erstellung der Arbeitsanweisungen? Ja. Diese Regeln erforscht und formuliert die Universalgrammatik, deren Begründer Noam Chomsky ist. Die Universalgrammatik gehört zu den Sprachwissenschaften, ist jedoch zugleich Teilbereich der Kognitionspsychologie. Drei Prinzipien der Universalgrammatik sind es, die im Fall der Arbeitsanweisungen zur Anwendung kommen:

Erstens besteht ein Zeichensystem aus zwei Teilen, a) dem Lexikon, welches das lexikalische Inventar zum Aufbau von Strukturen bereitstellt, und b) dem Verarbeitungssystem (computational system), welches die Lexikonelemente zu komplexen Ausdrücken zusammensetzt. Jeder vollständig definierte Eintrag im Lexikon beinhaltet drei Informationen, die kategorielle Information, die linking-Information, sowie die semantische Information. Im Fall der Arbeitsanweisungen gilt somit: Das Zeichensystem zur Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen umfasst ein Lexikon. Die lexikalischen Einträge bestehen aus einzelnen Ikons. Ein Ikon ist zunächst jeweils mit einer Information bezüglich seiner Verwendungsmöglichkeit versehen, seiner kategoriellen Information. Im Gegensatz zu den Lexika der einzelnen Sprachen trägt ein Ikon in diesem Lexikon lediglich die kategorielle Information „Substantiv“ oder

„Verb“, und andere Kategorien gibt es nicht.

Zweitens gilt das Prinzip der X-bar-Syntax, das besagt, dass ein komplexer Satz aus einzelnen Phrasen aufgebaut ist. Das Verb ist das den Satz strukturierende Element. Das bedeutet: im Lexikon zur Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisung gibt es *einen* Eintrag mit der kategoriellen Information „Verb“, welcher durch einen Pfeil repräsentiert wird. Da der Pfeil als Ikon universell verständlich für das Verb „bewegen“ steht, und „bewegen“ ein dreiwertiges Prädikat ist, muss auch der Pfeil in der Darstellung eben diese drei Bindungsstellen besetzt haben, damit die Darstellung insgesamt einen Sachverhalt (Proposition) ausdrückt. Die Dreiwertigkeit des Verbs „bewegen“ ist im Lexikon als dessen linking-Information vermerkt. Drittens kommt das Prinzip des θ -Kriteriums zur Anwendung, welches besagt, dass jedes Argument eine und nur eine θ -Rolle trägt, und jede θ -Rolle einem und nur einem Argument zugewiesen wird.

Im Fall der Arbeitsanweisungen heißt das: Der einzige Eintrag mit der kategoriellen Information „Verb“ entspricht einem obligatorisch zweiwertigen und fakultativ dreiwertigen Prädikat mit der Bedeutung „bewegen“, dessen Bindungsstellen mit einer NP1 mit der θ -Rolle *Agens*, sowie einer NP2 mit der θ -Rolle *Thema* notwendig besetzt werden müssen.

Da im Fall der Arbeitsanweisungen die NP1 jedoch nicht explizit dargestellt wird, muss, um einen unterwertigen Gebrauch des Verbs zu verhindern, stattdessen die eigentlich fakultative PP3 mit der θ -Rolle *Path/Goal* notwendig besetzt und auch explizit dargestellt werden.

Erfordert die vom Werker auszuführende Handlung den Gebrauch eines Werkzeugs, wird die fakultative Ergänzung PP4 mit der θ -Rolle *Instrument* entsprechend besetzt dargestellt.

Die Information, welche θ -Rollen das Verb zur Besetzung seiner freien Stellen erfordert, bzw. welche θ -Rollen ein Substantiv annehmen kann, werden bei jedem einzelnen Eintrag im Lexikon als dessen semantische Information vermerkt.

Lexikalische Einträge mit der kategoriellen Information „Substantiv“ können hinsichtlich ihrer semantischen Information in zwei Untergruppen gegliedert werden: In der ersten Untergruppe befinden sich alle Werkzeuge. In keinem darzustellenden Sachverhalt können sie die θ -Rolle *Agens* oder *Thema* besetzen, erscheinen also nie als NP2 oder PP3, sondern stets nur in Form der PP4 mit der θ -Rolle *Instrument*.

Anders die Verbauteile. Sie bilden die zweite Untergruppe der Substantive des Lexikons. Je nach Sachverhalt, also je nachdem, ob sie als aktuell zu verbauendes Teil erscheinen, oder bereits angebaut und das Ziel einer weiteren Handlung sind, erscheinen sie entweder als NP2 mit der θ -Rolle *Thema* oder als PP3 mit der θ -Rolle *Path/Goal*.

Die visuelle Realisation dieser Prinzipien zur Erstellung einer universell verständlichen Arbeitsanweisung ist Thema des folgenden Kapitels.

3 Visualisierung einer universell verständlichen Arbeitsanweisung

3.1. Übersicht

Um in ihrer Gesamtheit dem Anspruch der sprachenunabhängigen Verständlichkeit gerecht zu werden, muss eine Arbeitsanweisung nicht nur inhaltlich, sondern auch formal den Prinzipien der allgemein menschlichen Informationsverarbeitung entsprechen. In diesem Kapitel geht es deswegen darum, auf welche Weise der universell verständliche Inhalt, der im vorangehenden Kapitel erarbeitet wurde, visualisiert werden muss, damit die Arbeitsanweisung insgesamt universell verständlich ist.

Visualisiert wird auf der Darstellungsebene. In den ersten beiden Abschnitten dieses Kapitels wird erläutert, was genau unter den Begriffen Darstellungsebene und Visualisierung verstanden wird.

Anschließend geht es um *visuelle Universalien*. Das sind allgemeine Prinzipien, nach denen Menschen sprachen- und kulturunabhängig ihre Umwelt (und damit auch die Darstellungsebene) visuell wahrnehmen und das Wahrgenommene verarbeiten und verstehen. Diese Prinzipien müssen bei der Visualisierung der Arbeitsanweisung nicht nur beachtet werden, sondern die Visualisierung darf nur und ausschließlich auf ihnen beruhen, damit die universelle Verständlichkeit der Arbeitsanweisung gewährleistet werden kann.

Nach dieser Einführung in die visuellen Universalien wird ab Abschnitt 3.5. im einzelnen aufgeführt, wie die Prinzipien der menschlichen visuellen Wahrnehmung in Bezug auf die Arbeitsanweisung umgesetzt und angewendet werden.

3.2. Die Darstellungsebene

„(Gregory) Bateson folgte den Gnostikern und C. G. Jung, als er vorschlug, die Welt der Materie und ihrer Wechselwirkungen *pleroma* zu nennen und die Welt der Information und ihrer Struktur *creatura*. In der *pleroma* herrscht im wesentlichen die Undurchschaubarkeit und Undifferenzierbarkeit der *hyle*, ...“ (Anm. d. A.:– *hyle* ist Materie, der formabare Urstoff) „... während in der *creatura* die ordnende Tätigkeit des Menschen die Dinge kennzeichnet und klassifiziert, ihnen Namen gibt und Gesetze und Unterscheidungen einführt.

Während in der *pleroma* ein Ding nur sich selbst darzustellen vermag, kann in der *creatura* jedes Ding auch jedes andere darstellen; so ergeben sich Symbolzeichen, die, indem sie Perspektiven eröffnen, die übervoll sind mit Bedeutung, in einem komplizierten Geflecht von Syntax und Semantik jede Art von Sprachspiel zulassen. Die Bedeutung eines Dings ist diesem

nicht inhärent, sondern wird ihm durch das symbolische Handeln von Lebewesen, vor allem den Menschen, zugeschrieben. In diesem Sinne ist die Bezeichnung *creatura* gerechtfertigt, denn diese Welt wird durch den Akt des Verstehens und durch die Sprache *erschaffen*.“ (Longo, 1995, in: Braitenberg/Hosp, 1995, S. 28)

„(Es gibt also) neben der Welt der Physik, der Welt der Kräfte, Massen und Stöße, eine Welt der Form, der Organisation und der Bedeutung (...), eine Welt, die anderen – und sehr überraschenden – Gesetzen unterliegt als den physikalischen. (...)

In der *creatura*, dem Bereich der Information, gibt es keine Erhaltungsgesetze. Wenn sich die Zahl der Kommunizierenden vergrößert, wird die Information nicht aufgeteilt, sondern vervielfacht. Selbst Mangel an Information kann Information sein: Eine Antwort, die nicht gegeben wird, kann sogar eine heftige Reaktion auslösen, weil null etwas anderes ist als eins und deshalb auch ein Unterschied sein kann. Man bemerke, dass auch die Gleichheit einen Unterschied hergibt, weil Gleichheit etwas anderes ist, als Verschiedenheit.

Die Information liegt im Unterschied; die Einheit der Information lässt sich definieren als „kleinster Unterschied, der etwas bewirken kann“. Die Kommunikationskanäle dienen dazu, die Unterschiede in der Zeit oder im Raum zu übermitteln, zu transformieren und zu kodifizieren. (...) Der Dualismus zwischen *creatura* und *pleroma* ist die Frucht einer Abstraktion und vergleichbar mit dem Dualismus von Information und ihren materiellen Grundlagen. Die Information kann nicht ohne materiellen Träger existieren und ist dieser stofflichen Grundlage immanent; sie lässt sich von ihr nur durch eine begriffliche Operation abstrahieren. Aber zugleich ist die Information nicht auf ihre stoffliche Grundlage reduzierbar: Diese fundamentale Irreduzibilität wird unter anderem durch die Möglichkeit der Kodifizierung deutlich, also durch die Möglichkeit, die Information zu bewahren, auch wenn die materiellen Träger beliebig abgeändert werden. Die Information steckt in der komplexen und flüchtigen Beziehung zwischen einem veränderlichen Träger und dem Beobachter. (...) Die *pleroma* ist die Grundlage der *creatura*. In der *pleroma* steckt keine Information (*pleroma* stammt von dem griechischen Wort für „voll“, meint also „unterschiedslos“), obwohl sie die Ursache aller möglichen Unterschiede und somit die Quelle aller möglichen Informationen ist.“ (Longo, 1995 in: Braitenberg/Hosp, 1995, S. 28 ff) *Creatura* hingegen ist die „Welt“ der Information und ihrer Struktur.

Wird dies in Bezug gesetzt zu der van den Boom'schen Terminologie in Abschnitt 2.2. des vorangehenden Kapitels, so ist *pleroma* die „erste Welt“, das, was der Mensch im allgemeinen als „Realität“ bezeichnet. Hingegen ist die Art und Weise, wie der Mensch diese Welt versteht, also Erkenntnis als kognitiver Prozess im menschlichen Gehirn stattfindet, *creatura*, und zwar deswegen, weil das menschliche Gehirn Informationen im Sinne von Unterscheidungen verarbeitet.

Somit besteht eine Kluft zwischen *pleroma* als Welt „um uns herum“ einerseits, und *creatura*, dem menschlichen „Welt verstehen“ andererseits. Um diese Kluft zu überbrücken, wird eine Ebene zwischen *pleroma* und der menschlichen Kognition eingefügt, die **Darstellungsebene** (Benutzeroberfläche). Es ist die Schnittstelle (interface) zwischen Welt und menschlichem Gehirn; hier wird *pleroma* in *creatura* „übersetzt“, so dass Erkenntnis stattfinden kann. Van den Boom bezeichnet *creatura* als die „zweite Natur“. Er schreibt: „(Die Benutzeroberfläche dient somit der) Welterschließung, d.h. (der) komplexitätsreduzierenden Erschließung der ersten Natur durch die zweite.“ (van den Boom, 1998, in: *Öffnungszeiten* 1998, S. 9)

Die Aufgabe des Kognitionsdesigns ist es nicht, die „Realität“ abzubilden, vielmehr muss es dem Benutzer (Empfänger) Bilder von der Realität liefern, die mit dessen Kognition zusammenpassen; Bilder, die der Benutzer verstehen kann. **Die Aufgabe des Kognitionsdesigns ist die intelligente und zweckmäßige Gestaltung von Information auf der Darstellungsebene.**

3.3. Visualisierung auf der Darstellungsebene

Information zu visualisieren bedeutet, sie in Form von Gestalten durch das Auge als Sinn wahrnehmbar zu machen, und zwar in einer Art und Weise, die der menschlichen Kognition angepasst ist.

Informationsvisualisierung empfiehlt sich, da der Mensch ein visuelles Wesen ist, das sich bei seiner Welterschließung in der Hauptsache auf visuelle Information verlässt. Im Zusammenhang damit spricht man auch von „visueller Intelligenz“, was bedeutet, dass der Mensch aus seiner Wahrnehmung Schlüsse zu ziehen vermag.

Spence gibt eine anschauliche Schilderung dieses Prozesses „Sie sind im Besitz numerischer Daten, von denen Sie das vage Gefühl haben, sie enthielten einige wesentliche Beziehungen untereinander, die sich zu Ihrem Vorteil ausnutzen ließen, in geschäftlicher Hinsicht oder auch nur zum Vergnügen. Dann sehen Sie auf einmal eine visuelle Präsentation dieser Daten und rufen aus ‚Aha! – Jetzt verstehe ich‘.“ (Spence, 2001, S. xiii)

Wenngleich es sich bei der Erstellung der Arbeitsanweisungen aus den eben genannten Gründen in erster Linie um die Visualisierung von Inhalten handelt, schließt dies eine gleichzeitige und zusätzliche andere sinnliche Vermittlung bestimmter Informationen nicht völlig aus. Van den Boom schreibt diesbezüglich: „Allerdings umfasst der Begriff Wahrnehmung im Prinzip alle Sinnesfelder, die Gestaltungsaufgabe erstreckt sich auf die Gestalten in allen sensorischen Feldern.“ (van den Boom, 1998 in: *Öffnungszeiten*, 1998, S. 8)

Spielt in einem Sachverhalt z.B. ein akustischer Reiz eine Rolle, ist dieser nur schwer in eindeutiger Form zu visualisieren. Es empfiehlt sich dann der zusätzliche Einsatz eines eindeutigen akustischen Zeichens. Vor allem im Rahmen einer rechnergesteuerten Präsentation der

Arbeitsanweisung über Bildschirm ist dies ohne großen zusätzlichen technischen Aufwand möglich.

3.4. Visuelle Universalien / Einführung in allgemeine Prinzipien der Wahrnehmungspsychologie, welche im Zusammenhang mit der universell verständlichen Visualisierung von Sachverhalten eine Rolle spielen

Dieser Abschnitt bietet einen groben Überblick über allgemeine Prinzipien der Wahrnehmungspsychologie, welche im Hinblick auf die universell verständlichen Visualisierung von Sachverhalten relevant sind. Wie diese Prinzipien im Fall der Arbeitsanweisungen konkret angewendet werden, ist Thema des Abschnitts 3.5.

3.4.1. Physikalische und neuronale Grundlagen des Sehens

„Wenn wir ein Objekt sehen – das kann ein Gemälde sein (oder eine andere Art von visueller Präsentation) – basiert unser „Wissen“ darüber auf einem Strom von neuronaler Aktivität, welche von dem Licht, das von der Oberfläche reflektiert wird, initiiert wird. Dieses Licht, seiner Natur gemäß rein physikalisch, erreicht die Retina des Auges, wo es in neuronale Aktivität umgewandelt (oder *transduziert*) und zum Gehirn weitergeleitet wird. Die physikalischen Charakteristika des Lichtes folgen regelmäßigen und gesetzmäßigen Bestimmungen. Ebenso sind die Gesetze der Neurotransmission regelmäßig und gesetzmäßig mit nur geringfügigen strukturellen Unterschieden zwischen einzelnen Menschen.

Visuelle Eindrücke sind jedoch nicht auf sensorische Reize begrenzt, die die Rezeptorneuronen des peripheren Nervensystems erregen, sie involvieren ebenso den kognitiven Hintergrund des Betrachters, der diesen Eindrücken Bedeutung zuordnet. (...) Ein wichtiger Schluss (...) ist also das duale Konzept des Sehens: *Sehen insgesamt basiert auf beidem, der visuellen Stimulation des Auges und der Interpretation der sensorischen Signale im Gehirn*“ (Solso, 2001, S. 3f)

Es gilt: **Grundlegende Wahrnehmung wird durch physiologische Strukturen festgelegt, die bei allen Mitgliedern der menschlichen Spezies gleich sind** (vgl. Solso, 2001, S. 101).

3.4.2. Objekterkennung / Die Gestaltgesetze

Die Frage nach der Objekterkennung bezieht sich auf die Frage nach der Wahrnehmungsorganisation, d.h. der Frage, wie auf die Netzhaut treffende Lichtreizmuster zu Gegenständen, die Bedeutung haben, organisiert werden. Wahrnehmungsorganisation läuft automatisch ab. Sie

ist ein grundlegendes Verfahren, der Welt Bedeutung zu verleihen. In den 1920er Jahren begründete eine Gruppe von Psychologen eine Richtung, die man als Gestaltpsychologie bezeichnet. Dieser Forschungsansatz beschäftigte sich speziell mit der Wahrnehmungsorganisation. Die Gestaltpsychologie formulierte sechs Regeln, die *Gestaltgesetze*, nach denen die menschliche Kognition Lichtreizmuster zu ganzen Gestalten zusammenfügt (vgl. Goldstein, 1997, S. 168 ff). **Die Gestaltgesetze müssen bei der Gestaltung von Information auf der Darstellungsebene berücksichtigt werden.** Im folgenden werden sie kurz aufgeführt:

1. Das **Prägnanzgesetz** ist das zentrale Gesetz der Gestaltpsychologie (es wird auch als **Gesetz der guten Gestalt** oder als **Gesetz der Einfachheit** bezeichnet): *Jedes Reizmuster wird so gesehen, dass die resultierende Struktur so einfach wie möglich ist.*
2. Das **Gesetz der Ähnlichkeit**: *Ähnliche Dinge erscheinen zu zusammengehörigen Gruppen geordnet.*
3. Das **Gesetz der fortgesetzt durchgehenden Linie**: *Punkte, die als gerade oder sanft geschwungene Linien gesehen werden, wenn man sie verbindet, werden als zusammengehörig wahrgenommen. Linien werden tendenziell so gesehen, als folgten sie dem einfachsten Weg.*
4. Das **Gesetz der Nähe**: *Dinge, die sich nahe beieinander befinden, erscheinen als zusammengehörig.*
5. Das **Gesetz des gemeinsamen Schicksals**: *Dinge, die sich in die gleiche Richtung bewegen, erscheinen als zusammengehörig.*
6. Das **Gesetz der Vertrautheit** : *Dinge bilden mit größerer Wahrscheinlichkeit Gruppen, wenn die Gruppen vertraut erscheinen oder etwas bedeuten.* (vgl. Goldstein, 1997, S. 170 ff)

3.4.3. Das Schema und die Kanonische Repräsentation

Die Gestaltgesetze bieten einen Erklärungsansatz, wie der Mensch generell Reizmuster zu Objekten, die etwas bedeuten gruppiert. Im Umkehrschluss gelten sie somit natürlich als Richtlinien für die visuelle Gestaltung von Information auf der Darstellungsebene. Im Fall der Erstellung eines universell verständlichen Sachverhalts auf der Darstellungsebene müssen also die Ikons selbst, sowie ihre Anordnung auf der Darstellungsebene den Gestaltgesetzen entsprechen.

Eine der menschlichen Kognition entsprechende Darstellung ist darüberhinaus auch noch schematisch und berücksichtigt das Konzept der Kanonischen Repräsentation, und zwar deswegen, weil eben beide Prinzipien (Schema und Kanonische Repräsentation) in der menschlichen Kognition verankert sind. Dies soll im Folgenden näher erläutert werden. Zunächst zum Schema; was ist ein Schema?

Nach Kant handelt es sich bei einem Schema um ein allgemeines Verfahren, einem Begriff sein Bild zu verschaffen. Die Schematisierung ist also Konkretion, d.h. wenn wir uns Bilder der Ge-

genstände machen, abstrahieren wir nicht aus ihnen, sondern konkretisieren vielmehr einen Begriff (vgl. van den Boom, 1994, S.76 f).

Diese Definition wird jetzt in Bezug zu der folgenden Aussage über die Natur der menschlichen Kognition gesetzt und zu der daran anschließenden Aussage über die, der menschlichen Kognition angepasste Informationsgestaltung:

„ (...) Wahrnehmung arbeitet nur mit Unterschieden. Jede Informationsaufnahme ist notwendig die Aufnahme von einem Unterschied, und alle Wahrnehmung von Unterschieden ist durch Schwellen begrenzt. Unterschiede, die zu klein oder zu langsam dargestellt werden, können nicht wahrgenommen werden. Sie sind keine Nahrung für die Wahrnehmung.“ (Bateson, 1982, S. 40)

„Information ist jeder Unterschied, auf den es ankommt. Diese Definition von Information enthält auch schon im Kern ein Rezept für die Informationsgestaltung: Hebe diejenigen Unterschiede hervor, auf die es ankommt, stelle diejenigen Unterschiede zurück, auf die es nicht oder unter den jeweiligen Umständen augenblicklich nicht ankommt.“ (van den Boom/Romero-Tejedor, 200, S. 177)

Verschafft man also einem Begriff X eine der menschlichen Kognition angepasste Darstellung, bei der die Unterschiede, auf die es ankommt, hervorgehoben sind, hingegen diejenigen Unterschiede, auf die es nicht ankommt, zurückgestellt werden, so erstellt man ein *Schema* von X!

Nun zur Kanonischen Repräsentation als Prinzip der menschlichen Wahrnehmung:

„*Kanonische Repräsentationen* eines bestimmten Konzeptes oder einer Klasse von Dingen sind Vorstellungsbilder, welche dieses Konzept oder die Klasse am besten repräsentieren. Sie sind ‚zentrale‘ Ansichten, egal ob es sich bei diesen Ansicht um die eines Objektes, einer Person, eines Gefühls oder einer Idee handelt. Kanonische Repräsentationen finden ihren Ausdruck in mentalen Bildern, die aktiviert werden, wenn ein Thema oder ein Subjekt erwähnt werden. Das heißt, dass, wenn Sie dazu aufgefordert werden, sich eine Schreibmaschine, eine Frau, eine Uhr oder ein Buch vorzustellen, Ihr mentales Bild davon sehr wahrscheinlich ein solches ‚zentrales‘ Bild dieser Objekte ist. (...) Kanonische Repräsentationen werden durch Erfahrung mit einzelnen Angehörigen einer Kategorie geformt, die Exemplare genannt werden.“ (Solso, 2001, S. 237)

Diese Aussage kann noch näher ausgeführt werden (siehe dazu auch Abb. 3.1.):

„Experimentelle Daten bestätigen die Hauptsächlichkeit von kanonischen Formen als Repräsentationen im Gedächtnis. In einem Experiment von Palmer, Rosch, und Chase (1981) wurden Versuchspersonen eine Serie von Fotografien von gewöhnliche Objekten, wie einem Pferd (...) (siehe Abb. 3.1.) gezeigt, und die Personen wurden aufgefordert, die Bilder nach ihrem (für das Objekt) Typisch-Sein zu schätzen. In einem zweiten Teil dieses Experiments wurden den Versuchspersonen die (einzelnen) Bilder gezeigt, und sie mussten das darauf abgebildete Objekt so schnell wie möglich benennen. Nicht sehr überraschend entsprachen die Reaktions-

zeiten (welche anzeigen, wie verfügbar ein Item im Gedächtnis ist) dem geschätzten Typisch-Sein des Objektes. Das Pferd in der oberen Reihe ganz links (...) (in der Abb. 3.1.), das kanonische Pferd, konnte jeweils am schnellsten benannt werden, wohingegen die Probanden bei weniger typischen Ansichten (Aufsicht und Ansicht von hinten) wesentlich länger brauchten, das gezeigte Objekt zu benennen. Einige Möglichkeiten der Erklärung dieses Phänomens sind: (1) die kanonische Ansicht zeigt wichtigere Teile eines Objektes; (2) die kanonische Ansicht wird häufiger gesehen; (3) die kanonische Ansicht passt am besten zu unsere idealisierten Vorstellung des Objektes. Alles drei Erklärungen haben ihre Berechtigung, aber diejenige mit der größten Bedeutung ist die dritte. Unser Gedächtnis für gewöhnliche Objekte basiert auf dem Speichern von wesentlichen Gesichtszügen der Klasse des Objektes. Diese ständig erfahrenen Gesichtspunkte werden restrukturiert und als eine Abstraktion gespeichert, welche die kanonische Form ist.“ (Solso, 2001, S. 240 ff)

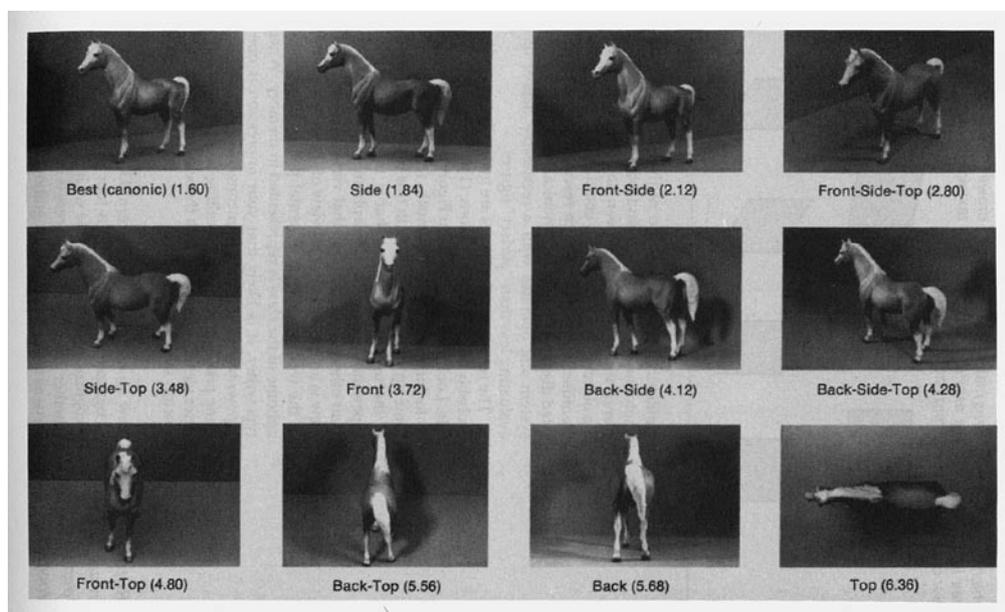


Abbildung 3.1.: Zwölf perspektivische Ansichten eines Pferdes, in einem Experiment von Palmer, Rosch und Chase 1981, in dem es um die Frage der Kanonischen Repräsentation ging. (Quelle: Solso, 2001, S. 243)

Es gilt somit: **Um die Visualisierung der Arbeitsanweisung der menschlichen Kognition anzupassen, empfiehlt sich bei der Darstellung von gewöhnlichen und daher dem Werker als bekannt voraussetzenden Objekten, wie einem Hammer oder einer Schraubenmutter, die Darstellung des Ikons in Form der Kanonischen Repräsentation.** Häufig tauchen im Kontext der Arbeitsanweisung jedoch spezielle Bauteile auf, welche dem Werker unbekannt sind. Dann gilt es, das Prinzip der kanonischen Form insofern zu berücksichtigen, als dass

„ungewöhnliche“ Perspektiven zu vermeiden sind, (etwa die Darstellung des Objekts in einer Form, wie der Werker das Objekt „in der Wirklichkeit“ nie sieht, z.B. je nach Kontext in der Aufsicht oder von unten).

Die Erkenntnisse dieses Abschnitts zusammengefasst, besagen also: Eine der allgemeinen menschlichen Kognition angepasste Art der Darstellung berücksichtigt erstens die Gestaltgesetze, zweitens das Prinzip des Schemas und drittens das Prinzip der Kanonischen Form, weil Gestaltgesetze, Schema und Kanonische Form Prinzipien sind, nach denen der Mensch die Welt visuell wahrnimmt und das Wahrgenommene kognitiv verarbeitet.

3.4.4. Tiefenwahrnehmung

In diesem Abschnitt wird in eine Thematik eingeführt, die auch unter dem Namen „**3-D/2-D/3-D-Problem**“ bekannt ist, und die sich im Rahmen dieser Arbeit von Wichtigkeit erweist.

„Die Welt hat drei physikalische Dimensionen – Höhe, Weite und Tiefe – plus der Dimension der Zeit. Visuelle Reize aus den physikalischen Dimensionen dringen in das Auge ein und werden auf der Retina aufgenommen, die jedoch nur zwei Dimensionen hat: Höhe und Breite. (...) Dennoch interpretiert das Gehirn die zweidimensionalen visuellen Bilder als dreidimensionale, und zwar durch die Verwendung von kontextuellen Hinweisen und dem Weltwissen, welches im Laufe eines Lebens gewonnen wurde. (...) Wir mögen also ein zweidimensionales Auge haben, aber es besteht kein Zweifel, dass wir ein Gehirn haben, das in 3-D sieht und darüber hinaus. (...) Diese Prädisposition, die Welt in 3-D zu „sehen“, ist so zwingend, dass unser Auge und Gehirn (mind) flächige Reize ständig decodiert, als hätten sie Tiefe. Es scheint, als hätten Künstler von Anfang an gewusst, in welcher Weise Auge und Gehirn Information benutzen, um die Illusion von Tiefe hervorzurufen. Eine (dieser) Techniken (...) ist die Perspektive – eine Methode, ein dreidimensionales Objekt auf einer zweidimensionalen Oberfläche darzustellen (...).“ (Solso, 1996, S. 158)

„In den vergangenen Jahren haben Wahrnehmungspsychologen die Arten von Perspektive analysiert, die von Künstlern verwendet wurden, um räumliche Tiefe darzustellen. Dabei sind zwei generelle Typen von Hinweisen involviert, binokulare und monokulare, und jede dieser Klassen hat mehrere Unterklassen. (...) Binokulare Hinweise sind die, welche das Sehen mit zwei Augen zur Voraussetzung haben. Bilder, die auf die eine Retina fallen, sind nicht identisch mit den Bildern, welche auf die andere Retina fallen, und die Information in Bezug auf diese Ungleichheit wird vom Gehirn als Tiefenhinweis interpretiert. (...) Monokulare Hinweise sind diejenigen, welche nur ein Auge verlangen, obwohl für gewöhnlich ebenfalls beide Augen involviert sind (trotz des Namens).“ (Solso, 1996, S. 161 ff)

Die Prinzipien der monokularen Tiefenwahrnehmung, aufgrund derer der Eindruck von räumlicher Tiefe hervorgerufen wird, sind:

1. **Relative Größe** (Nahe Objekte erscheinen größer, weil sie mehr Platz auf der Retina beanspruchen),
2. **Verdeckte Objekte** (Objekte im Vordergrund verdecken (teilweise) Objekte im Hintergrund)
3. **Schatten** (durch Schatten kann ein Kreis als Kugel wahrgenommen werden)
4. **Höhe** (damit ist die relative vertikale Position von Objekten im Bildrahmen gemeint; dem Betrachter nahe Objekte erscheinen unten, weiter entfernte dagegen höher im Bild)
5. **Texturgradienten** (bei einem Weg, der „vom Betrachter wegführt“ und der ein regelmäßiges Muster hat, erscheint der dem Betrachter nähere Teil größer gemustert, der entferntere Teil ist kleiner gemustert)
6. **Atmosphärische Perspektive** (Wasserpartikel und andere Substanzen in der Atmosphäre trüben das Licht, das von weiter entfernten Gegenständen reflektiert wird)
7. **Farbe** (In Zusammenhang mit der atmosphärischen Perspektive scheinen warme Farben hervorzutreten, während kalte Farben zurücktreten)
8. **Lineare Perspektive.** (vgl. hierzu Solso, 1996, S. 162 ff)

Die menschliche Prädisposition zur Tiefenwahrnehmung ermöglicht es also, eine Informationsvisualisierung auf der Darstellungsebene durch Verwendung der oben genannten Prinzipien der monokularen Tiefenwahrnehmung dreidimensional anzulegen.

Bei dieser Form der Darstellung wird die Linearität als Grundcharakter z.B. sprachlicher Zeichen („ihre Elemente treten nacheinander auf; sie bilden eine Kette“ (de Saussure, 1931 in: de Saussure, 1967, S. 82)) umgangen. Stattdessen nimmt die Darstellung den synchronen Charakter eines Bildes an, d.h. einzelne Zeichen werden gleichzeitig wahrgenommen. Ein schnelles Erfassen der Darstellung und ihrer Aussage seitens des Betrachters ist möglich.

Es gilt: **Eine durch Verwendung der Prinzipien der monokularen Tiefenwahrnehmung dreidimensional gestaltete Darstellungsebene entspricht der menschlichen Kognition** unter anderem auch, weil sie die fehleranfällige mentale Transformation von linearen, zweidimensionalen Darstellungen in ein dreidimensionales Verständnis der dargestellten Sachverhalte umgeht.

3.4.5. Der Aspekt der Zeit bei der Wahrnehmung statischer Bilder auf der Darstellungsebene

Die menschliche Kognition ist so, dass sie die Welt als dreidimensional und in der Zeit verlaufend versteht. („Klassifikation von Raum“ sowie der Begriff der Zeit“ gehört nach Donald E. Brown zu den menschliche Universalien, siehe Abschnitt 2.3. des vorangehenden Kapitels.)

Eine der menschlichen Informationsverarbeitung am besten angepasste Darstellung (Arbeitsanweisung) wäre somit eine dreidimensionale, in der Zeit verlaufende Repräsentation von Information. Diese Form der modellhaften Simulation (1:1 und als virtuelle *creatura* in *pleroma* hineinprojiziert) ist, obwohl für die Zukunft als Standard denkbar, zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch nur unter hohem technischen Aufwand möglich und gilt daher für die meisten Firmen als aus kostentechnischen Gründen nicht umsetzbar. Die Repräsentation von Information (Arbeitsanweisung) muss daher im Rahmen von einzelnen, statischen Bildern in Form einer Bildschirmpräsentation stattfinden.

Da die „realen“ Sachverhalte, für welche die Zeichen auf der Darstellungsebene stehen, aber in der Zeit und im dreidimensionalen Raum stattzufinden haben, müssen sowohl der Zeitfaktor, als auch der Aspekt der dreidimensionalen Räumlichkeit in irgendeiner universell verständlichen Form auf der Darstellungsebene repräsentiert werden.

Das Problem der Darstellung der dreidimensionalen Räumlichkeit wird gelöst, wie oben beschrieben, nämlich indem die Darstellungsebene durch die Verwendung der Prinzipien der monokularen Tiefenwahrnehmung scheinbar drei Dimensionen aufweist.

Nun zum Aspekt der Zeit. Ist es möglich, Zeit in irgendeiner Form auf der Darstellungsebene universell verständlich darzustellen? Auch hier gibt die Kognitionspsychologie Auskunft. Und zwar scheint der Darstellungsebene die zeitliche Dimension in einer bestimmten Art inhärent zu sein. Das heißt, Menschen nehmen sprachen- und kulturabhängig die Darstellungsebene wahr, als ob sie hinsichtlich der zeitlichen Dimension in bestimmte, ineinander übergehende Zonen eingeteilt sei. Ein Beispiel mag das illustrieren:

Abb. 3.2. zeigt drei Bilder, das erste ist die Darstellung eines Eis, das zweite zeigt ein Ei, dessen Schale einen Sprung hat, und auf dem dritten ist ein geschlüpftes Küken mit einem Rest von Eierschale zu sehen.

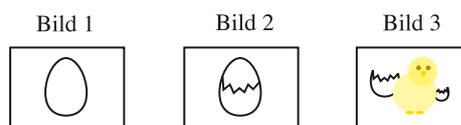


Abbildung 3.2: Drei Bilder sind auf einem leeren Blatt Papier in logischer Reihenfolge anzuordnen

Werden Versuchspersonen, egal welcher Sprachenzugehörigkeit, gebeten, diese Bilder in einer logischen zeitlichen Reihenfolge auf einem leeren Blatt Papier (der Darstellungsebene) anzuordnen, so folgen die Anordnungen stets dem in Abb. 3.3. als a), b) und c) dargestellten Muster. Die Varianten 3.3. d), e) oder f) hingegen kommen nicht vor.

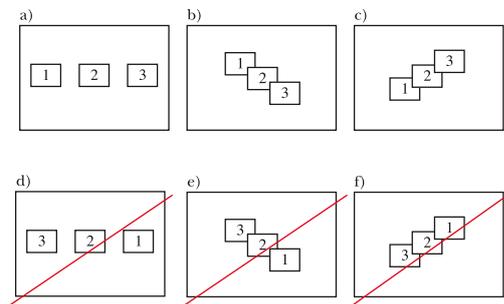


Abbildung 3.3: Die logische Reihenfolge entspricht der Einteilung der Darstellungsebene in Zonen

Dies besagt, dass die Darstellungsebene nicht nur die räumlichen Dimension aufweist, sondern zudem auch die zeitliche: Der linke Bildrand wird als „(zu)erst“ interpretiert, die Mitte des Bildes bedeutet in zeitlicher Hinsicht so etwas wie „dann, danach“, und der rechte Bildrand wird als „zum Schluss“ interpretiert.

Auch die Überlappung von Objekten (Abb. 3.3.b) und c)) sagt etwas über die zeitliche Wahrnehmung der Darstellungsebene aus: Nicht überlappte Objekte können nicht nur räumlich als „vorne liegend“ interpretiert werden, sondern bedeuten in zeitlicher Hinsicht auch „jetzt, aktuell“, wohingegen dahinterliegende, teilweise verdeckte Objekte als „zuvor“ (Vergangenheit) wahrgenommen werden, wenn eine Darstellung wie in Abb. 2.3. b) oder c) vorliegt.

Hinten liegende, teilweise verdeckte Objekte können auch im Sinne der semantischen Rolle **Goal** (Ziel) interpretiert werden, im Sinne von „*dort* soll das vorne liegende, nicht verdeckte Objekt *hin*“.

Obwohl die Lese- und Schreibrichtung sprachlicher Zeichen in manchen Kulturkreisen (im traditionellen Japan z.B., in Taiwan oder Hongkong) der westlichen entgegenläuft, nämlich von rechts nach links, sowie in vertikaler Richtung von oben nach unten geschrieben und gelesen wird, **erfolgt das Verständnis einer bildlichen Darstellung bei Angehörigen aller Sprachzugehörigkeiten in der oben dargestellten Weise.**

Insgesamt kann somit von einer räumlichen und zeitlichen Einteilung der Darstellungsoberfläche als menschlicher Universalie ausgegangen werden, wie sie Abb. 3.4. zeigt. **Diese Einteilung ist bei der Erstellung einer universell verständlichen Aussage auf der Darstellungsebene als formales Kriterium zu berücksichtigen.**

Auf Bild a) der Abb. 3.5. ist ein Quader mit gestrichelten Kanten zu sehen. Die Information auf der Darstellungsebene ist lediglich eine räumliche; es wird erkannt, wo sich der Quader befindet.

Auf Bild b) befinden sich zwei Quader; der mit den gestrichelten Kanten, sowie ein zweiter, dessen Kanten durchgängig verlaufen. Auch die in dieser Darstellung repräsentierte Information ist lediglich eine räumliche. Man kann erkennen, wo sich die beiden Quader im Raum befinden. Zusätzlich kann eine Aussage getroffen werden hinsichtlich der räumlichen Relation der beiden Quader zueinander.

Anders dagegen in Abb. 3.5. c): Der Betrachter versteht die Darstellung als eine Aussage, die in der Zeit verläuft! Die zwei Quader werden vom Betrachter nicht mehr als zwei unterschiedliche verstanden, sondern die Darstellung wird interpretiert als ein Quader, der bewegt worden ist. *Erst* befand er sich am linken Bildrand, *dann* ist er auf die Position am rechten Bildrand *verschoben worden*, wo er sich jetzt noch befindet.

Wir erinnern uns an das, was in Kapitel 2 erarbeitet wurde: Auf der Darstellungsebene müssen Sachverhalte dargestellt werden. Ein Sachverhalt wird erst zu einem solchen, wenn die Stellen seines zentralen Bestandteils, seines Verbs nämlich, vollständig und korrekt besetzt sind. Ein Verb steht per se für eine in der Zeit ablaufende Handlung. **Der Pfeil als universell verständliche ikonische Repräsentation von Bewegung durch Zeit und Raum ist somit der zentrale Bestandteil für eine universell verständliche Visualisierung eines Sachverhalts auf der Darstellungsebene.**

Wird der Pfeil auf einer Darstellungsebene positioniert, die nach den oben genannten Kriterien gestaltet ist (Berücksichtigung der Galtsgesetze, des Prinzips des Schemas und des Prinzips der Kanonischen Repräsentation, der menschlichen Prädisposition zur Tiefenwahrnehmung, sowie der Aspekte der zeitlichen Dimension, welche der Darstellungsebene inhärent sind), und werden bei der Positionierung des Pfeils diese Kriterien ebenfalls befolgt, dann liegt damit ein grobes Grundraster für die universell verständliche Visualisierung eines Sachverhalts auf der Darstellungsebene vor.

3.4.6. Kognitive Raumorientierung / Mentale Räume

In diesem Abschnitt wird ein weiteres Prinzip der menschlichen Kognition eingeführt, das im Zusammenhang mit der universell verständlichen Visualisierung von Sachverhalten auf der Darstellungsebene eine Rolle spielt. Es geht dabei um *Mentale Räume*. Manchmal werden die mentalen Räume auch als *semantische Räume* bezeichnet; die beiden Bezeichnungen meinen im Prinzip das gleiche.

Gilles Fauconnier entwickelte das Konzept der Mentalen Räume (*Mental Spaces*) als Art und

Weise, wie der Mensch Bedeutungen versteht. „Mentale Räume sind kleine begriffliche Pakete, die beim Denken und Sprechen aufgebaut werden, und zwar zum Zweck lokalen Verstehens und lokaler Aktion.“ (Fauconnier/Turner, 2002, S. 40)

„Der semantische Raum ist, vereinfacht gesagt, vorstellbar als der Raum der Wirklichkeit, aus dem aber alles Wirkliche entfernt gedacht wird und in dem nur die Bedeutung zurückbleibt.“ (van den Boom/Romero-Tejedor, 2000, S. 82)

„Der Begriff eines *semantischen Raumes* fand ursprünglich im Grenzbereich zwischen Kognitiver Psychologie und Linguistik Verwendung. Wir alle verfügen über eine kognitive Raumorientierung: Wir wissen z.B. intuitiv, dass wir uns im dritten Stock eines achtstöckigen Gebäudes in einem Raum zur Parkseite hin befinden. Dieses Wissen ist nicht rein geometrischer Art, sondern die geometrischen Vorstellungen sind hier ‚semantisch besetzt‘, das heißt, von Bedeutungen begleitet (*sema*, gr.= Zeichen). Im dritten Stock sind wir eben nicht ganz oben (in der „Chefetage“), aber auch nicht ganz unten (im „Keller“). Die Parkseite könnte überdies die Prestige-Seite des Gebäudes sein. Ein Linguist, der das sprachliche Denken untersucht, sieht diese Verhältnisse noch abstrakter: er interessiert sich nur für die Bedeutungen, sie haben für ihn Priorität, die rein räumlichen Vorstellungen treten ganz zurück, der wirkliche Raum ist aus linguistischer Sicht ein „semantischer“ Raum, ein Raum voller Bedeutungen und nur aus Bedeutungen aufgebaut. Der linguistische Semantiker erkennt nur, dass wir uns zwischen „Chefetage“ und „Keller“ befinden, aber etwas näher zum „Keller“ als zur „Chefetage“.“ (van den Boom/Romero-Tejedor, 2000, S. 83)

„Im semantischen Raum herrschen topologische Beziehungen, d.h. eine räumliche Ordnung. **„Für das Design sind die intuitiven, topologischen Verhältnisse der Ordnung, Nachbarschaft, Kontinuität (...) von größter Bedeutung.“** (van den Boom/Romero-Tejedor, 2000, S. 86; fettgedruckte Hervorhebung v. A. dieser Arbeit)

„Die Topologie erlaubt es, die Semantik plausibler mit der Geometrie zu verknüpfen, weil sie ein Vermittlungsfeld zwischen ihnen liefert. Wer Semantik direkt in Geometrie umsetzen will, kann eigentlich nur zufällige Berührungspunkte zusammenaddieren. Wer hingegen aus der Semantik heraus das topologische Netz ständig feinmaschiger knüpft, wird schließlich gewissermaßen automatisch bei der Geometrie ankommen. *Die Geometrie resultiert aus der Semantik durch topologische Approximation.*“ (van den Boom/Romero-Tejedor, 2000, S. 90)

Zwischen Semantik und Geometrie steht also die Topologie. „Topologie bedeutet aber doch viel mehr als einen bloßen Zwischenschritt; die Systemtopologie gibt den Funktionen „Orte“, aber noch kein Aussehen. Die Topologie interessiert sich für die Teilungen, die Ordnungen und Anordnungen, die Nachbarschaften, die strukturellen Verknüpfungen der Subsysteme des Systems. Und die Topologie ist dasjenige Bestimmungsfeld des Designs, woran sich die Handlungsüberprüfung festmachen lässt. (...) **Die menschliche Kognition arbeitet topologisch – und dies ist schon seit frühester Kindheit der Fall:** Wie der schweizer Psychologe Jean Piaget gezeigt hat, lernen Kleinkinder ihre Umwelt zuerst topologisch zu erfassen, und erst später auch geometrisch (...).“ (van den Boom/Romero-Tejedor, 2000, S. 92, fettgedruckte Hervor-

hebung v. A. der Arbeit)

Für die universell verständliche Visualisierung von Sachverhalten auf der Darstellungsebene wird dieses Prinzip der menschlichen Kognition zunutze gemacht: Die Darstellungsebene wird als Raum konzipiert, das ergibt sich bereits aus der menschlichen Prädisposition zur Tiefenwahrnehmung. **Der Raum, welcher auf der Darstellungsebene visualisiert wird, entspricht aber auch dem mentalen Raum der Kognition des Betrachters, das bedeutet, dass nur Objekte, welche im Zusammenhang mit dem zu visualisierenden Sachverhalt eine Rolle von Bedeutung spielen, dargestellt werden und zwar in einer Art und Weise, die der topologisch arbeitenden Kognition des Betrachters entsprechen.**

Wie genau dies im Fall der universell verständlichen Arbeitsanweisung aussieht, wird in Abschnitt 3.5.2. zu sehen sein.

Diese Art der Darstellung entspricht dann einem „Design als Informationsgestaltung, (das) Rücksicht zu nehmen (hat) auf das kognitive Leistungsvermögen der Menschen (...) und (...) ihnen zu helfen (hat), sich ihre jeweilige Welt zu erschließen, sich in ihr zu orientieren und zurechtzufinden.“ (van den Boom /Romero-Tejedor, 2000, S.165)

3.5. Konkrete Anwendung der visuellen Universalien zur universell verständlichen Visualisierung von Sachverhalten auf der Darstellungsebene am Beispiel Arbeitsanweisung

In dieser Arbeit geht es um ein Verfahren, wie man Sachverhalte universell verständlich auf der Darstellungsebene visualisiert. Prinzipiell gilt die in der Arbeit entwickelte Methode für beliebige Sachverhalte.

Im Folgenden wird nun dargestellt, wie die oben aufgeführten visuellen Universalien konkret umgesetzt werden, um Sachverhalte universell verständlich auf der Darstellungsebene zu visualisieren. Dies geschieht anhand eines konkreten Beispiels, nämlich dem der universell verständlichen Arbeitsanweisung für Werker an Montagelinien.

3.5.1. Die Verwendung von bestehenden 3-D- Konstruktionsdaten als einzelne lexikalische Einträge mit der kategoriellen Information „Substantiv“

Konzerne, die an unterschiedlichen Standorten der Welt Produkte eines Komplexitätsgrades herstellen, der die Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen für die Werker erforderlich macht, entwerfen und planen diese Produkte zunächst, bevor diese in Serie gehen, in 3-D-Konstruktionsprogrammen auf Computern. In den Planungsabteilungen solcher Firmen liegen somit alle Verbauteile in Form von 3-D-Konstruktionsdatenbankbibliotheken vor. Diese Datenbanken beinhalten auch die 3-D- Konstruktionsdaten von Zuliefererteilen

(Teilen, die von anderen Herstellern konstruiert und angeliefert werden), sowie in der Regel die Daten von Betriebsmitteln (Werkzeugen), Behältnissen, Gestellen, Werkbanken, etc., also Dingen, die im Arbeitsprozess in irgendeiner Form eine Rolle spielen.

Auf die 3-D-Konstruktionsdatenbanken einer Firma wird bei der Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen zurückgegriffen, denn der Mensch hat die Prädisposition zur Tiefenwahrnehmung, wie in Abschnitt 3.4.4. erläutert wurde. Eine Gestaltung der Darstellungsebene, welche die Gestaltgesetze einerseits, sowie die Regeln der monokularen Tiefenwahrnehmung nach welchen der Mensch die Ebene als Raum wahrnimmt, berücksichtigt, bietet sich somit an.

Der Rückgriff auf 3-D-Konstruktionsdaten einer Firma zur Visualisierung von Lexikoneinträgen hat ferner zwei Vorteile: Erstens müssen die einzelnen Ikons des Lexikons (zumindest die, welche die kategorielle Information „Substantiv“ tragen), nicht erst neu erstellt werden. Zweitens wird die Arbeitsanweisung damit auf eine Weise der Anforderung nach flexibler Erstellbarkeit gerecht: Die Konstruktion / Planung liegt in der Prozess-Ablaufkette einer Firma immer *vor* der seriellen Fertigung, der Stelle also, an der die Arbeitsanweisungen zum Einsatz kommen. Dem mit Änderungen am Produkt, neuen Produktvarianten /-typen usw. verbundenen Bedarf an neuen Ikons für die Arbeitsanweisungen wird man also bereits im Vorfeld gerecht, und dies ohne zusätzlichen Arbeits- und Kostenaufwand.

Die einzelnen Einträge im Lexikon des Zeichensystems zur Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen sind also dreidimensionale Ikons, jedenfalls sofern die lexikalischen Einträge die kategorielle Information „Substantiv“ aufweisen.

Die Konstruktionsdaten können im Rahmen der 3-D-Konstruktionsprogramme in unterschiedlicher Weise dargestellt werden. Abb. 3.6. zeigt nur drei von einer Vielzahl solcher unterschiedlicher Darstellungsarten. Welche ist nun die richtige, bzw. soll für die Ikons des Zeichensystems verwendet werden?

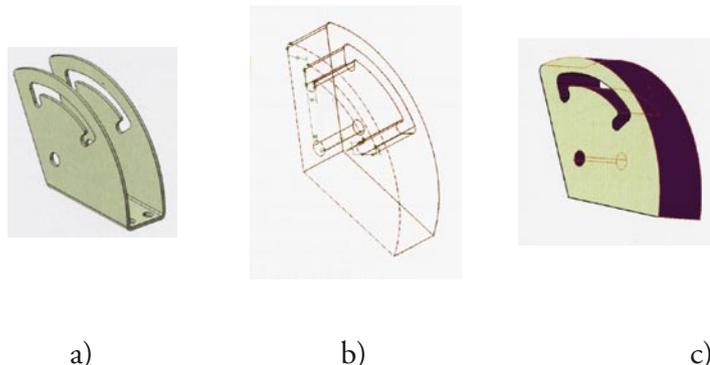


Abbildung 3.6.: Unterschiedliche Arten der Darstellung eines Objekts im Rahmen von 3-D-Konstruktionsprogrammen (Quelle: Rembold, 2003, S. 116 ff)

Zur Beantwortung dieser Frage ist es sinnvoll, sich zu vergegenwärtigen, was in Abschnitt 3.4.3. zum Stichwort Schema gesagt wurde: **Die schematische Darstellung von Begriffen ist dadurch gekennzeichnet, dass wesentliche Unterschiede herausgearbeitet sind, unwesentliche hingegen vernachlässigt werden. Eine schematische Darstellung von Begriffen entspricht der menschlichen Kognition.**

Da für die Werker technische Daten, sowie die innere Struktur von Bauteilen irrelevante Informationen sind, ist die Verwendung von Konstruktionsdaten in der Form, wie sie Abb. 3.6.b) und c) darstellen, ungünstig. Abb. 3.6.a) hingegen zeigt das Bauteil in der Form, wie es sich dem Werker auch „in Wirklichkeit“ und in seiner Arbeitsumgebung darstellt. Die Form des Objekts ist klar und eindeutig zu erkennen, da bei ihrer Darstellung das Prägnanzgesetz, das Gesetz der fortgesetzt durchgehenden Linie, sowie der Figur-Grund-Trennung als universelle Prinzipien der visuellen Wahrnehmung berücksichtigt werden.

Auf die Darstellung von weiteren Informationen, z.B. die Art des Materials des Gegenstandes (Plastik, Holz, Metall, o.Ä.) und damit verbundene Lichtreflexionen, Spiegelungen, Schattierungen etc. wird vollständig verzichtet, da auch diese für den Werker, der das Teil zu verbauen hat, irrelevant sind.

Konkret heißt das: **Für die einzelnen Ikonen werden jeweils die 3-D- Außenhüllenmodelle eines Bauteils verwendet.** Die Hüllenflächenmodelle können nach Belieben eingefärbt werden; die jeweilige Farbe richtet sich nach dem Kontext, in dem das Ikon verwendet wird, z.B. ob das Teil gerade aktiv zu verbauen ist, oder bereits verbaut wurde. (Siehe dazu auch Kapitel 4.)

Dass die Ikonen dreidimensional angelegt sind, bietet noch einen weiteren Vorteil: Sie können in variablen Ansichten dargestellt werden. (siehe Abb. 3.7.) **Grundsätzlich gilt es hierbei, das Prinzip der Kanonischen Repräsentation zu beachten** (siehe Abschnitt 3.4.3).

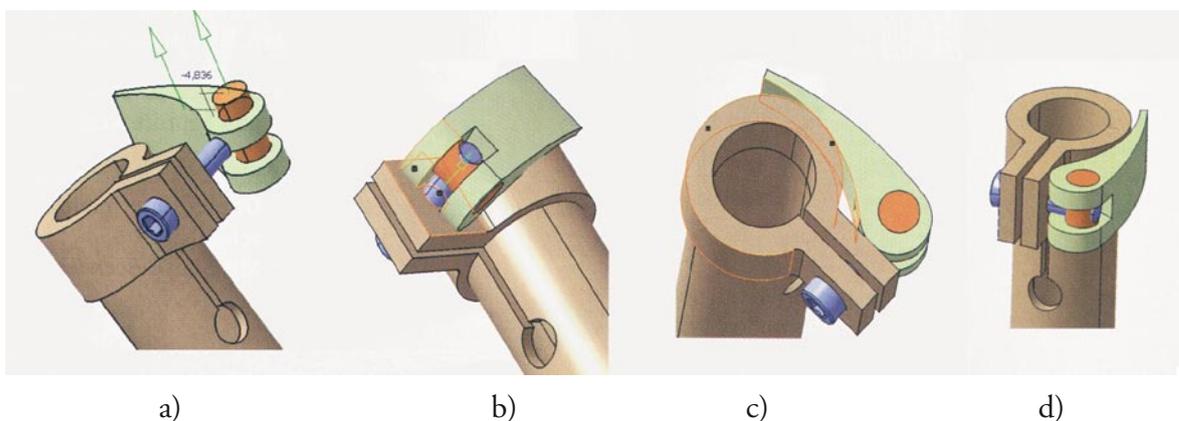


Abbildung 3.7.: Unterschiedliche Ansichten eines Objekts (Quelle: Rembold, 2003, S. 204 f.)

Dieses Prinzip gilt jedoch insofern eingeschränkt, als bei der Arbeitsanweisungen, damit sie der menschlichen Kognition angepasst ist, hinsichtlich der perspektivischen und räumlichen Ansicht der Darstellung noch ein weiterer Punkt berücksichtigt werden muss, nämlich der des „Feedback“-Prinzips: Feedback ist ein in der Informationstheorie sehr bekanntes Konzept. Eine Feedback-Information ist sinnvoll und entspricht der menschlichen Kognition: Ist eine Handlung ausgeführt, erwartet man entweder, deren Resultat zu sehen oder eine Reaktion zu bekommen, ob die ausgeführte Handlung richtig oder falsch war.

Eine Feedback-Information in diesem Sinn, dass der Werker eine individuell auf seine soeben ausgeführte Handlung bezogene „Antwort“ („richtig“ oder „falsch“) des Systems erhält, ist nicht möglich, denn die visuellen Arbeitsanweisungen sind nicht im eigentlichen Sinne interaktiv. Stattdessen handelt sich dabei um eine Abfolge von, jeweils einen einzelnen Arbeitsschritt visualisierenden, Darstellungen. Nach Ausführung eines solchen einzelnen Arbeitsschrittes, hat der Werker lediglich die Möglichkeit, einen „weiter“-Befehl zu geben, so dass die Darstellung des folgenden Arbeitsschrittes aufgerufen wird. **Jedoch kann im Rahmen der Arbeitsanweisungen eine Feedback-Information in der Form gegeben werden, dass die auf einen ausgeführten Arbeitsschritt nachfolgende Darstellung (des nächsten auszuführenden Arbeitsschrittes) das korrekte Resultat des vorherigen Arbeitsschrittes darstellt.**

Das heißt: Muss der Werker in einem ersten Arbeitsschritt eine Montageplatte auf einen Arbeitstisch legen, und soll er in einem zweiten Arbeitsschritt in diese Montageplatte einen Bremskraftverstärker bauen, so gibt es eine visuelle Darstellung zunächst für den ersten Arbeitsschritt, und zwar in dieser Art:

Die Montageplatte wird als zu verbauendes Teil gekennzeichnet und es wird deutlich gemacht, wohin diese Montageplatte gebaut werden soll, nämlich auf den Montagetisch.

Dann folgt die Darstellung des zweiten Arbeitsschrittes: Auf dieser ist, als Feedback-Information für den Werker, die Montageplatte in der korrekten Position, **und in der perspektivischen Ansicht, die sich dem Werker tatsächlich bietet**, zu sehen. So, wie sich die Situation dem Werker auch „in Wirklichkeit“ darstellt, wenn er den ersten Schritt korrekt ausgeführt hat. Auf dieser zweiten Darstellung ist dann zugleich der Bremskraftverstärker als aktuell zu verbauendes Teil gekennzeichnet mit der Information, an welcher Stelle der Montageplatte er montiert werden soll.

Diese auf einen ausgeführten Arbeitsschritt folgende „Feedback-Darstellung“ zeigt das eben verbaute Teil also nicht in seiner Kanonischen Repräsentation, sondern in der Form, die sich dem Werker auch in der Wirklichkeit als tatsächliche Ansicht bietet. (Sofern er das Teil richtig verbaut hat.)

Es gilt also: **Generell ist neben dem Prinzip der ikonischen Kanonischen Repräsentation der Verbauteile immer noch zu beachten, in welcher Ansicht die bezeichneten Teile sich dem Werker in der Realität darstellen.** Die visuellen Arbeitsanweisungen, und da-

mit die perspektivischen Ansichten der Ikonen müssen (und zwar unter Berücksichtigung der oben genannten Prinzipien der Informationsgestaltung) der realen Situation so weit wie möglich angepasst sein. Nur so kann im Rahmen der Arbeitsanweisungen dem Werker eine Feedback-Information übermittelt werden in der Form, dass er die Möglichkeit hat, zu prüfen, ob die ihm sich bietende Realität mit der visuellen Darstellung, (wie die Realität korrekterweise aussehen sollte), übereinstimmt.

Insgesamt ist aus diesem Abschnitt das Folgende als Ergebnis festzuhalten: Eine der menschlichen Kognition angepasste Informationsvisualisierung auf der Darstellungsebene muss erstens die menschlichen Prädisposition zur Tiefenwahrnehmung berücksichtigen, zweitens muss sie schematisch sein, und drittens das Prinzip der Kanonischen Repräsentation unter gleichzeitiger Berücksichtigung des Prinzips der Feedback-Information befolgen. Deshalb sind die einzelnen lexikalischen Einträge des Zeichensystems zur Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisung, sofern sie die kategorielle Information „Substantiv“ tragen, 3-D-Oberflächenhüllenmodelle der bezeichneten Objekte. Die 3-D-Oberflächenhüllenmodelle liegen einem Konzern stets in der aktuellen Fassung in Form von 3-D-Konstruktionsdatenbankbibliotheken vor. Eine flexible Erstellung der Arbeitsanweisungen ist durch den Rückgriff auf diese immer aktuellen Zeichen-Datenbanken möglich. Dadurch, dass die Daten im Rahmen von 3-D-Konstruktionsprogrammen verwendet werden, kann bei der Darstellung der Daten auf der Darstellungsebene dem Prinzip der Kanonischen Repräsentation und dem der Feedback-Information rechnung getragen werden.

3.5.2. Die Visualisierung des Mentalen Raumes als *Konstruktionsraum*

Die menschliche Kognition verleiht Objekten in Form von Mentalen (semantischen) Räumen Bedeutung (siehe Abschnitt 3.4.6.). Gleichzeitig ist in der menschlichen Kognition das Prinzip der Tiefenwahrnehmung verankert. Aus diesen beiden Tatsachen ergibt sich das Folgende für die Visualisierung der universell verständlichen Arbeitsanweisungen:

Der spezielle semantische Raum, der durch den Kontext, in dem die Arbeitsanweisung steht, definiert ist, wird auf der Darstellungsebene abgebildet.

Dies geschieht zunächst dadurch, dass die Darstellungsebene durch **Abbildung der Raumkoordinaten** tatsächlich zum Raum wird. Dieser Raum kann je nach Bedarf flexibel aus verschiedenen Perspektiven dargestellt werden, als Ganzes oder nur zum Teil. Da die Erstellung der Arbeitsanweisungen im Rahmen eines 3-D-Konstruktionsprogrammes stattfindet, sind Drehbewegungen und Zoomfunktionen möglich.

Bei der Abbildung der Raumkoordinaten handelt es sich um die schematische Darstellung des allgemeinen Begriffs „Raum“; die schematische Darstellung von Begriffen entspricht den Prinzipien zur Informationsgestaltung, wie sie in Abschnitt 3.4.3. dargelegt wurden.

Der Darstellung des Raumes sind bereits grundlegende topologische Verhältnismäßigkeiten implizit: Es gibt „hinten“ und „vorne“, „oben“, sowie „unten“, „links“ und „rechts“. In dem Raum positionierte Objekte werden aufgrund dieser Verhältnisse als sich in einer (jeweiligen) räumlichen Anordnung befindend wahrgenommen; die Art der Darstellung berücksichtigt „die intuitiven, topologischen Verhältnisse der Ordnung, Nachbarschaft, Kontinuität“. (van den Boom/Romero-Tejedor, 2000, S. 86)

Wie wird aus dem allgemeinen Raum nun der Konstruktionsraum, d.h. wie erkennt der Werker, dass es sich bei der Abbildung der Raumkoordinaten um die schematische Darstellung des Raumes handelt, in dem er sich „in Wirklichkeit“ befindet, und in dem er handeln soll?

Dies geschieht, indem **innerhalb der Raumkoordinaten bestimmte, für den jeweiligen Arbeitsplatz charakteristische (also „von-Bedeutung-Seiende“) Ikons positioniert werden, und zwar unter Berücksichtigung der topologischen Verhältnisse, wie sie sich dem Werker auch in der Realität darstellen**. D.h. die Anordnung der Ikons, die für bestimmte in dem jeweiligen Arbeitsprozess relevante Betriebsmittel stehen (Werkbank, Abschnitt der Montagelinie, etc.), entspricht der Anordnung der bezeichneten Objekte in der Realität.

Abb. 3.8. zeigt, wie die schematische Darstellung eines allgemeinen Raumes durch die Positionierung eines entsprechenden Werkbank-Ikons, sowie der Ikons, welche die sich in der Arbeitsplatzumgebung befindlichen relevanten Behältnisse bezeichnen, als Konstruktionsraum für einen Werker in der Cockpit-Vormontage spezifiziert wird.

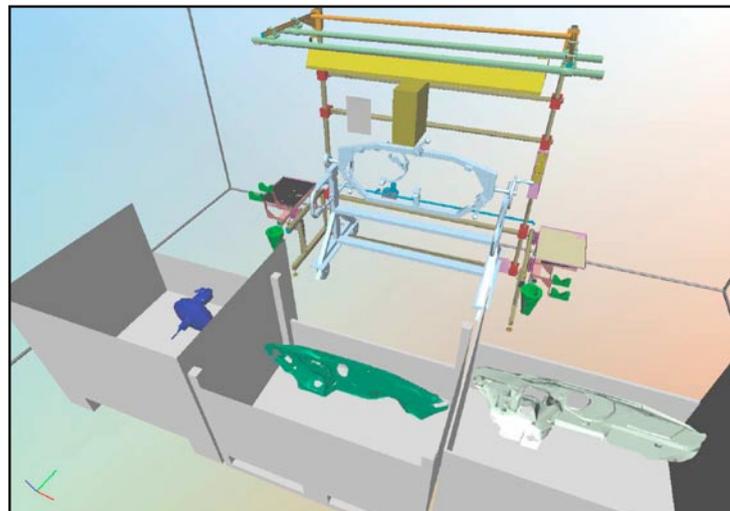


Abbildung 3.8.: Durch Positionierung von kontextrelevanten Objekten innerhalb der Raumkoordinaten wird aus der allgemeinen schematische Darstellung eines Raumes der Konstruktionsraum

3.5.3. Die einmalige Erstellung eines dreidimensionalen Pfeils als Schema von Bewegung durch Zeit und Raum: Die Darstellung des lexikalischen Eintrags mit der kategoriellen Information „Verb“

Lexikalische Einträge mit der kategoriellen Information „Substantiv“, so wurde in Abschnitt 3.5.1. erläutert, werden unter Rückgriff auf bestehende 3-D- Konstruktionsdatenbanken einer Firma als 3-D- Außenhüllenmodelle (das sind der menschlichen Kognition entsprechende schematische Darstellungen der bezeichneten Objekte) auf der Darstellungsebene visualisiert. Die Darstellungsebene wird unter Berücksichtigung der menschlichen Prädisposition zur Tiefenwahrnehmung ebenfalls als Raum angelegt. Die jeweiligen Ansichten der 3-D-Hüllenflächen müssen einerseits dem Prinzip der Kanonischen Repräsentation von Objekten entsprechen, sowie, unter Berücksichtigung des Feedback-Prinzips, der jeweiligen „realen“ perspektivischen Ansicht, die sich dem Werker situationsabhängig bietet.

Außer den lexikalischen Einträgen mit der kategoriellen Information „Substantiv“, gibt es jedoch noch den einen lexikalischen Eintrag, welcher die kategorielle Information „Verb“ aufweist. Dieser Eintrag steht für das Verb „bewegen“ und wird durch einen Pfeil visualisiert, weil dieser universell verständlich das Schema von Bewegung durch Zeit und Raum repräsentiert.

Da die gesamte Visualisierung der Arbeitsanweisungen auf der Darstellungsebene dreidimensional angelegt ist, wird auch der Pfeil dreidimensional dargestellt. Er kann im Raum positioniert werden und passt sich den perspektivischen Gesetzmäßigkeiten an. Da dieser Pfeil nicht im Rahmen der 3-D-Konstruktionsdatenbankbibliotheken eines Konzerns vorliegt, muss er einmalig neu erstellt werden. Dann wird auch er in einer Datenbank abgelegt, so kann bei Bedarf auf ihn zugegriffen werden.

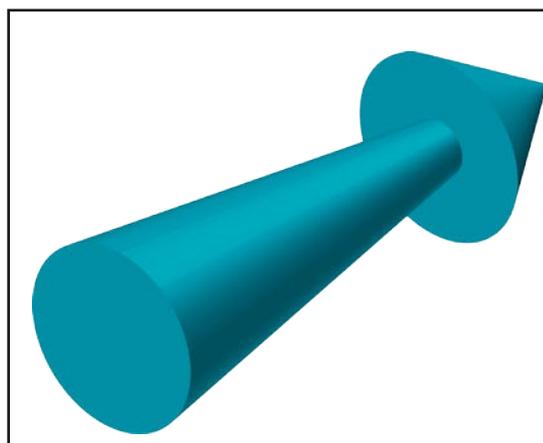


Abbildung 3.9.: Der dreidimensionale Pfeil als universell verständliche Repräsentation des Verbs „bewegen“

Der Pfeil kann auf zwei Arten modifiziert werden: Erstens kann der Pfeil an sich modifiziert werden, d.h. er kann bei Bedarf in verschiedener Weise **gekrümmt** werden (siehe dazu Kapitel 4, Abb. 4.11.).

Die zweite Art der Modifikation betrifft den Fall, der im zweiten Kapitel unter Abschnitt 2.6.5. erwähnt wurde. Und zwar geht es um das **Ausdrücken von Sachverhalten, die vom Werker das Benutzen eines Werkzeuges zum Ausführen der Tätigkeit erfordern**. Das jeweils erforderliche Werkzeug wird, so heißt es in Kapitel 2, Abschnitt 2.6.5. als PP4 mit der thematischen Rolle **Instrument** auf der Darstellungsebene visualisiert.

Wie genau sieht diese Visualisierung aus? In diesem Zusammenhang ist es wichtig, sich Folgendes zu vergegenwärtigen: Der Pfeil steht universell verständlich für das Verb „bewegen“. Soll der Werker Verbauteile lediglich mit der Hand montieren, so reicht die Darstellung des Pfeils zur Visualisierung des Verbs aus. Muss der Werker nun jedoch Verbauteile z.B. verschrauben oder muss er in ein Teil ein Loch bohren, so weist das Lexikon zur Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisung ja kein anderes Verb als „bewegen“ auf.

Man kann ein Verb wie „verschrauben“ jedoch folgendermaßen zerlegen: *schrauben = bewegen mithilfe des (Akku)schraubers*. Gleiches gilt für das Verb „bohren“, das zerlegt werden kann in *bewegen mithilfe des Bohrers*. Nach diesem Prinzip sind alle im Kontext der Arbeitsanweisung auftretenden Tätigkeiten in *bewegen mithilfe von X* zerlegbar. Und diese Tatsache ermöglicht eine universell verständliche Repräsentation der Sachverhalte, welche vom Werker den Gebrauch eines Werkzeugs erfordern, denn „bewegen“ wird auf der Darstellungsebene universell verständlich durch den Pfeil repräsentiert, die jeweiligen Werkzeuge aber sind im Lexikon als 3-D-Konstruktionsdaten vorhanden und stehen somit für eine Visualisierung zur Verfügung.

Soll also ein Sachverhalt visualisiert werden, bei dem der Werker eine Tätigkeit auszuführen hat, die den Gebrauch eines Werkzeugs erfordert, wird auf der Darstellungsebene der Pfeil als Verb platziert, und in dem Körper des Pfeils (denn er hat ja aufgrund seiner dreidimensionalen Darstellung einen Körper) wird das jeweilige Werkzeug abgebildet. Die Platzierung des Werkzeugs im Pfeilkörper resultiert aus seiner engen inhaltlichen Bindung an das Verb.

Die Tatsache, dass, falls der gegebene Sachverhalt die Besetzung der PP4 erfordert, diese *im* Pfeilkörper platziert wird, lässt es sinnvoll erscheinen, **den Pfeil generell leicht transparent zu gestalten. Auf diese Weise unterscheidet er sich auch deutlich von den übrigen, auf der Darstellungsebene platzierten Objekten, was wünschenswert ist, da alle übrigen Objekte ja lexikalische Einträge mit der kategoriellen Information „Substantiv“ sind und für konkrete Objekte in der realen Welt stehen, der Pfeil aber ein abstraktes Konzept, nämlich die Tätigkeit „bewegen“ repräsentiert.**

Abb. 3.10. zeigt die Visualisierung der Tätigkeit „schrauben“ in Form des oben geschilderten Prinzips der Zerlegung dieses Verbs in das universell verständlich darstellbare „bewege mithilfe des Schraubers“.

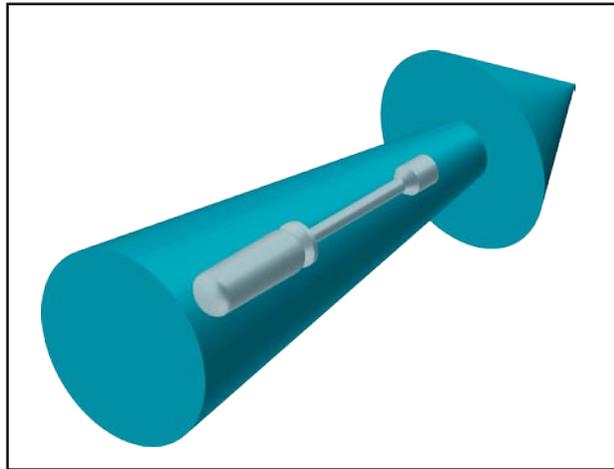


Abbildung 3.10.: Darstellung des Pfeilkons, wenn der gegebene Sachverhalt die Besetzung der PP4 (Instrument) erfordert

Hinsichtlich der Anforderung nach flexibler Erstellung der Arbeitsanweisungen, ist es möglich, nicht nur den transparenten Pfeil, sondern auch seine unterschiedlichen möglichen Modifikationen einmalig zu erstellen. Diese Ikonen würden dann zusammen in einer entsprechenden Datenbank abgelegt, auf die, je nach Bedarf, zugegriffen werden kann.

Zum Schluss dieses Abschnitts noch eine Bemerkung zu der Farbigkeit des Pfeils in den hier gezeigten Abbildungen: Die blaue Farbgebung des Pfeils ist hier nur ein Beispiel, das für die letztendliche Visualisierung von Arbeitsschritten nicht verbindlich ist. Im Rahmen von 3-D-Konstruktionsprogrammen, in welchem die Arbeitsanweisungen flexibel erstellt werden können, ist es möglich, den Pfeil je nach Bedarf unterschiedlich einzufärben. Da durch den Pfeil die jeweils relevante Handlung repräsentiert wird, ist es aber angebracht, ihm eine dementsprechend aufmerksamkeitsstarke Färbung zu geben, z.B. orange, wie in den in Kapitel 4 abgebildeten Beispielen.

3.5.4. Die universell verständliche Visualisierung eines Sachverhaltes auf der Darstellungsebene unter ausschließlicher Berücksichtigung der allgemeinen Prinzipien der menschlichen Kognition

In den vorangehenden Abschnitten wurde gezeigt, wie die einzelnen Elemente des Lexikons zur Erstellung der universell verständlichen Arbeitsanweisung auf der Darstellungsebene visualisiert werden müssen. Die lexikalischen Einträge mit der kategoriellen Information „Substantiv“ sind demzufolge dreidimensionale Oberflächenhüllenmodelle der jeweils bezeichneten Objekte. Der lexikalischen Eintrag mit der kategoriellen Information „Verb“ wird durch einen dreidimensionalen Pfeil visualisiert. Ferner wird auf der Darstellungsebene der Konstruktions-

raum visualisiert. Dies geschieht durch Abbildung der Raumkoordinaten und Platzierung von kontextrelevanten Objekten innerhalb der Raumkoordinaten.

Wie werden diese einzelnen Elemente nun zu einer Proposition verbunden, d.h. wie wird ein vollständiger Sachverhalt auf der Darstellungsebene visualisiert?

In Kapitel 2.6.5. wurde unter dem Stichwort „Linking der lexikalischen Einträge“ Folgendes festgestellt:

Folgende **zwei Prinzipien der Universalgrammatik** werden als Regeln zur Erstellung eines universell verständlichen Sachverhalts auf der Darstellungsebene übernommen, und zwar erstens der Teil der X-bar-Syntax, der besagt, dass ein komplexer Satz aus mehreren einzelnen Phrasen aufgebaut ist, und zweitens das θ -Kriterium als Phrasenstrukturregel, das besagt, dass jedes Argument eine und nur eine θ -Rolle trägt, und jede θ -Rolle einem und nur einem Argument zugewiesen wird.

Ferner ist aus dem zweiten Kapitel bekannt, dass der einzige lexikalische Eintrag mit der kategoriellen Information „Verb“ einem obligatorisch zweiwertigen und fakultativ dreiwertigen Prädikat mit der Bedeutung „bewegen“ entspricht, dessen Bindungsstellen mit einer NP1 mit der θ -Rolle **Agens**, sowie einer NP2 mit der θ -Rolle **Thema** notwendig besetzt werden müssen.

So gilt also: **Um die einzelnen Elemente des Lexikons zu einer Proposition zu kombinieren, wird im Konstruktionsraum zunächst das Ikon für das Verb (als regierendes Prädikat des Satzes) platziert.** Bei der Platzierung des Pfeils werden die topologischen Prinzipien des Konstruktionsraumes beachtet. Das Pfeil-Ikon eröffnet gemäß seinem im Lexikon definierten Subkategorisierungsrahmen zwei obligatorische Bindungsstellen: die erste Stelle muss mit einer NP1 mit der θ -Rolle **Agens** besetzt werden, die zweite Stelle mit einer NP2, welche die θ -Rolle **Thema** trägt, siehe dazu Abb. 3.11.:

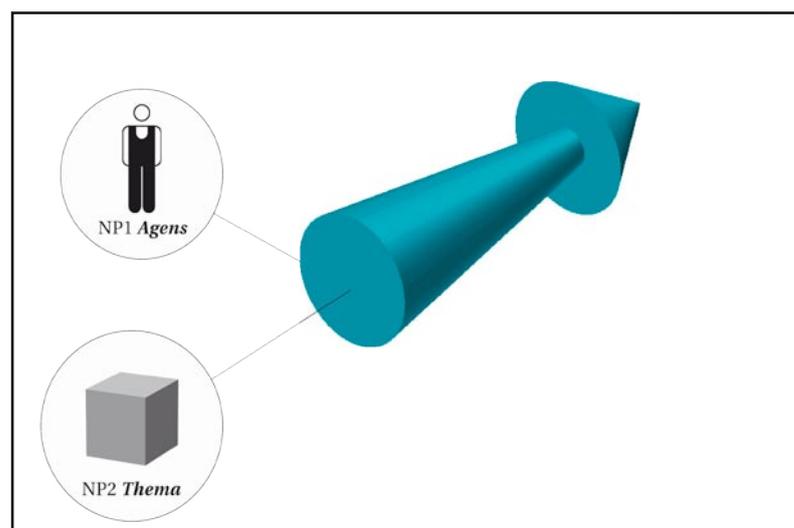


Abb. 3.11.: Das Pfeilikon eröffnet gemäß seinem Subkategorisierungsrahmen zwei Leerstellen

Es wurde im zweiten Kapitel bereits darauf eingegangen, dass im Fall der Arbeitsanweisungen die NP1 nicht explizit dargestellt wird, und daher, um einen unterwertigen Gebrauch des Verbs zu verhindern, stattdessen die eigentlich fakultative PP3 mit der θ -Rolle **Path/Goal** notwendig besetzt und auch explizit dargestellt werden muss.

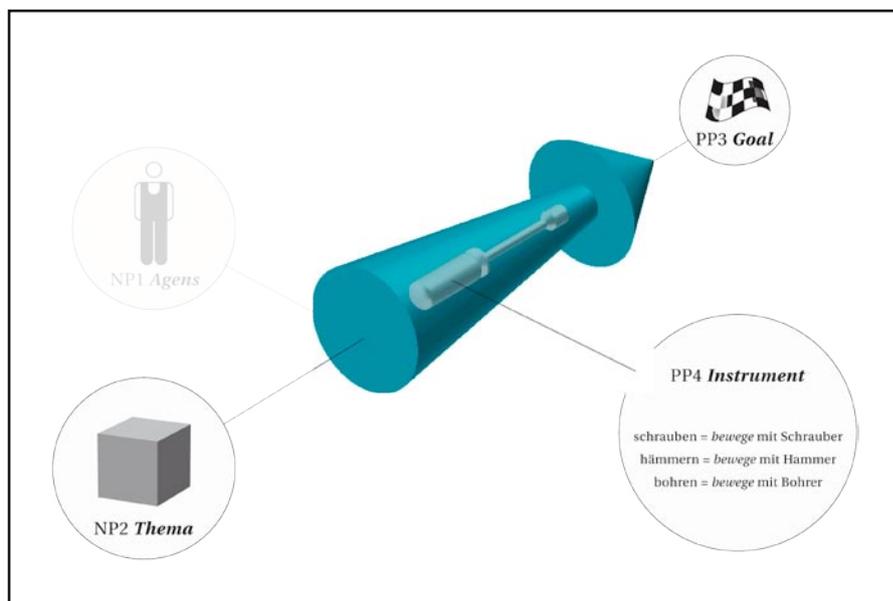


Abb. 3.12.: NP1 muss im Fall der Arbeitsanweisungen nicht explizit dargestellt werden, dafür aber die eigentlich fakultative PP3; die Abbildung hier zeigt zusätzlich den Fall der Besetzung der PP4

In Abb. 3.12. ist das Pfeil-Ikon mit seinen offenen und zu besetzenden Bindungsstellen dargestellt: **Die NP2 (*Thema*) wird mit dem Ikon, welches das aktuell zu verbauende Teil bezeichnet, besetzt und dieses muss in einem Raumfeld am Pfeilende platziert werden; die PP3 als *Path/Goal* wird mit dem Ikon, welches den Ziel-/Anbauort der NP1 bezeichnet, besetzt, und wird in einem Raumfeld an der Pfeilspitze platziert. Erfordert die vom Werker auszuführende Handlung den Gebrauch eines Werkzeugs, wird die fakultative Ergänzung PP4 mit der θ -Rolle *Instrument* entsprechend besetzt und auf der Darstellungsebene im transparenten Pfeil visualisiert.**

Diese Form der Darstellung entspricht der universell menschlichen Wahrnehmung der Darstellungsebene, welche die sich im Bild vorne befindlichen Objekte nicht nur als „nah“ interpretiert, sondern auch als „aktuell“, als „Ding, um das es jetzt gerade geht“ – eben als **Thema**. Weiter hinten im Bild befindliche Objekte werden als „in der zeitlichen Abfolge später relevant werdend“ wahrgenommen.

Die gesamte visuelle Darstellung der Arbeitsanweisungen folgt den Gestaltgesetzen, sowie den

Prinzipien der monokularen Tiefenwahrnehmung.

3.6. Zusammenfassung

Wie eine flexibel erstellbare, universell verständliche Arbeitsanweisung für Werker an Montagelinien aufgebaut sein muss, wird jetzt noch einmal in 14 Stichpunkten zusammengefasst.

1. Das Zeichensystem zur Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen umfasst ein Lexikon, und die einzelnen lexikalischen Einträge bestehen aus Ikonen.
2. Die lexikalischen Einträge mit der kategoriellen Information „Substantiv“ werden unter Rückgriff auf bestehende 3-D- Konstruktionsdatenbanken einer Firma als *3-D- Außenhüllenmodelle* visualisiert.
3. Der *einzigste lexikalische Eintrag* mit der kategoriellen Information „Verb“ wird grundsätzlich durch einen *dreidimensionalen, transparenten Pfeil* visualisiert, der „bewege“ bedeutet, und der, um in unterschiedlichen Sachverhalten adäquat und eindeutig zu fungieren, auf bestimmte, definierte Arten, *modifiziert* werden kann. Der Pfeil an sich, sowie seine Modifikationen, müssen einmalig erstellt und in einer Datenbank abgelegt werden, von wo aus sie dann zur flexiblen Erstellung der Arbeitsanweisungen abgerufen werden können.
4. Für das Linking der lexikalischen Einträge sind zwei Prinzipien der Universalgrammatik wesentlich und werden als Regeln übernommen:
 - a) Der Teil der X-bar-Syntax, der besagt, dass ein komplexer Satz aus mehreren einzelnen Phrasen aufgebaut ist.
 - b) Das θ -Kriterium als Phrasenstrukturregel, das besagt, dass jedes Argument eine und nur eine θ -Rolle trägt, und jede θ -Rolle einem und nur einem Argument zugewiesen wird.
5. Da der *einzigste lexikalische Eintrag* mit der kategoriellen Information „Verb“ einem obligatorisch zweiwertigen und fakultativ dreiwertigen Prädikat mit der Bedeutung „bewegen“ entspricht, müssen gemäß dem Subkategorisierungsrahmen des Verbs dessen Bindungsstellen mit einer NP1 mit der θ -Rolle **Agens**, sowie einer NP2 mit der θ -Rolle **Thema** notwendig besetzt werden.

Im Fall der Arbeitsanweisungen wird die NP1 jedoch nicht explizit dargestellt, und um einen unterwertigen Gebrauch des Verbs zu verhindern, wird stattdessen die eigentlich fakultative PP3 mit der θ -Rolle **Path/Goal** notwendig besetzt und explizit dargestellt.
6. Erfordert die vom Werker auszuführende Handlung den Gebrauch eines Werkzeugs, wird

die fakultative Ergänzung PP4 mit der θ -Rolle **Instrument** entsprechend besetzt und dargestellt.

7. Der semantische Raum als Prinzip der menschlichen Kognition, Dingen Bedeutung zuzuerkennen, wird auf der Darstellungsebene in Form eines 3-D-Koordinatengerüsts dargestellt und durch Platzierung von Ikonen, die für den jeweiligen Kontext des Arbeitsplatzes relevant sind, als Konstruktionsraum spezifiziert.

8. Um die einzelnen Elemente des Lexikons zu einer Proposition zu kombinieren, wird im Konstruktionsraum *zunächst das Ikon für das Verb (als regierendes Prädikat des Satzes) platziert*. Bei der Platzierung des Pfeils werden die topologischen Prinzipien des Konstruktionsraumes beachtet, d.h. es ist zu beachten, dass das Pfeilende sich stets im Bereich „vorne“ zu bewegen hat, während die Pfeilspitze auf ein Ziel im hinteren Bereich weist.

9. Die NP2 (**Thema**) wird mit dem Ikon, welches das aktuell zu verbauende Teil bezeichnet, besetzt und dieses muss in einem Raumfeld am Pfeilende platziert werden; die PP3 als **Path/Goal** wird mit dem Ikon, welches den Ziel-/Anbauort der NP1 bezeichnet, besetzt, und wird in einem Raumfeld an der Pfeilspitze platziert.

10. Soll ein Sachverhalt abgebildet werden, bei dem der Werker den Arbeitsschritt unter Zuhilfenahme eines Werkzeugs ausführen muss, so wird das Ikon, welches das jeweilige Werkzeug bezeichnet, als PP4 mit der θ -Rolle **Instrument** in dem transparenten Pfeil platziert.

11. Die gesamte visuelle Darstellung der Arbeitsanweisungen folgt den Gestaltgesetzen, sowie den monokularen Prinzipien der Tiefenwahrnehmung.

12. Die Arbeitsanweisung insgesamt besteht aus einzelnen Propositionen in der Art, wie sie oben beschrieben wurden. Sie werden dem Werker auf einem Bildschirm präsentiert (z.B. im Rahmen der Werkerführung o. Ä.), und zwar nacheinander, und jeweils eine zu einer Zeit. Der Werker kann durch einen „Weiter-Befehl“ die jeweils nachfolgende Proposition aufrufen.

13. Die auf eine Proposition (X) folgende Proposition (X+1) bildet den Verbauzustand des Werkstücks (PP3) in der Form ab, wie er sich auch in der Realität dem Werker darstellt, sofern dieser den vorangehenden Arbeitsschritt korrekt ausgeführt hat.

14. Die Darstellungen der Ikonen, welche die NP2 und die PP4 besetzen, entsprechen dem Prinzip der Kanonischen Repräsentation. Die Darstellung des Ikonen, das die PP 3 besetzt, entspricht als „feedback-Information“ der jeweiligen perspektivischen Ansicht des Bezeichneten, wie sie sich dem Werker in der Realität bietet.

4 Beispielhafte Realisierung der universell verständlichen Arbeitsanweisung: Eine Pilotstudie der Volkswagen AG

4.1. Übersicht

In dieser Arbeit wurde ein Verfahren zur universell verständlichen Visualisierung von Sachverhalten auf der Darstellungsebene entwickelt.

Die Volkswagen AG förderte die Arbeit durch ein Promotionsstipendium und verschaffte ihr dadurch einen geeigneten Bezugsrahmen: die universell verständliche Arbeitsanweisung für Werker an Montagelinien. Dass und wie Sachverhalte universell verständlich auf der Darstellungsebene visualisiert werden können, sollte anhand von Sachverhalten, die im Kontext der Arbeitsanweisung auftreten, exemplarisch gezeigt werden.

Im Rahmen einer Pilotstudie der Volkswagen AG wurden sieben Arbeitsschritte eines Arbeitstaktes in der Cockpit-Vormontage beispielhaft nach dem in dieser Dissertation entwickelten Verfahren visualisiert. In diesem Kapitel werden die Darstellungen der einzelnen Arbeitsschritte aufgeführt und kommentiert.

Daran anschließend wird auf drei Besonderheiten, welche im Zusammenhang mit den Arbeitsanweisungen auftreten können, eingegangen. Es wird erläutert, wie die Visualisierung dieser speziellen Fälle im Rahmen des in dieser Arbeit vorgestellten allgemeinen Verfahrens zur universell verständlichen Visualisierung von Sachverhalten erfolgt.

4.2. Das erste Bild: Darstellung der Arbeitsumgebung

Die in den folgenden Abschnitten als Einzeldarstellungen aufgeführten Bilder (Abb. 4.1. bis 4.21.) werden dem Werker im Rahmen der Werkerführung präsentiert. Das heißt, dass sie auf einem (mindestens) etwa 10 cm x 15 cm großen Farbbildschirm formatfüllend und jeweils einzeln dargestellt werden. Diese Werkerführung befindet sich am Arbeitsplatz des Werkers. Der Werker hat die Möglichkeit, durch Betätigung eines „weiter“-Befehls das nächste Bild aufzurufen.

Die erste Darstellung, die auf dem Bildschirm erscheint, ist die schematische Darstellung des Arbeitsplatzes, an welchem der Werker sich befindet (vgl. Abb. 4.1.). Auf ihr wird noch keine auszuführende Handlung visualisiert; sie dient dem Werker lediglich zur Orientierung.

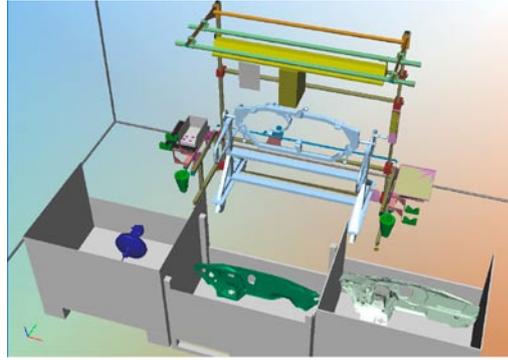


Abb. 4.1.: Die schematische Darstellung des Arbeitsplatzes

4.3. Der erste Arbeitsschritt: „BKV aus Beh. in Aufnahme“

Nun wird der erste Arbeitsschritt visualisiert. Der Arbeitsfolgen-Kurztext für diesen Schritt lautet: „BKV aus Beh. in Aufnahme“; der Werker soll den Bremskraftverstärker aus einem Behälter holen und ihn in der dafür vorgesehenen Halterung platzieren. Die Halterung befindet sich am Werkstisch, dem Arbeitsplatz des Werkers.

Die Abbildungen 4.2. bis 4.4. visualisieren diesen Arbeitsschritt. Weshalb drei Abbildungen für einen Arbeitsschritt? In den vorangehenden beiden Kapiteln hieß es doch, *pro Proposition* erfolgt *eine* Darstellung.

Betrachtet man die Abbildung 4.2., so sieht man, dass dieses Verfahren hier auch realisiert ist; Abb. 4.2. stellt *eine* Proposition dar, und zwar auf die in dieser Arbeit entwickelte Art und Weise:

Der aktive (als aktiv gekennzeichnet durch die orange Färbung), leicht durchscheinende Pfeil, der für das Verb „bewegen“ steht, wurde auf der Darstellungsebene positioniert. An seinem Ende wurde die NP2 mit der thematischen Rolle **Thema** platziert; in diesem Sachverhalt ist das der Bremskraftverstärker.

An der Pfeilspitze befindet sich die Darstellung der PP3 mit der semantischen Rolle **Path/Goal**, nämlich der genaue Einbauort, der Platz, wo der Bremskraftverstärker verbaut werden soll. Damit ist der Sachverhalt auf der Darstellungsebene komplett visualisiert. (Das **Thema** wurde hier rot eingefärbt und damit zusätzlich als aktiv zu verbauendes Teil gekennzeichnet. Der Behälter, aus dem es entnommen werden soll, wurde – aus dem gleichen Grund – orange gefärbt. Diese Farbgebung ist nicht zwingend notwendig, hat aber eine plakative Wirkung und unterstützt so die Bildaussage.)

Warum nun noch die beiden anderen Darstellungen? Dadurch, dass die Bilder einerseits den Gesetzen der linearen Perspektive folgen, andererseits aber der Bildschirm, auf welchem sie

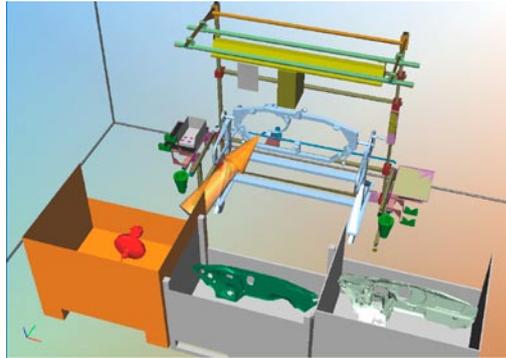


Abb. 4.2.: „Bewege den Bremskraftverstärker in die Halterung.“

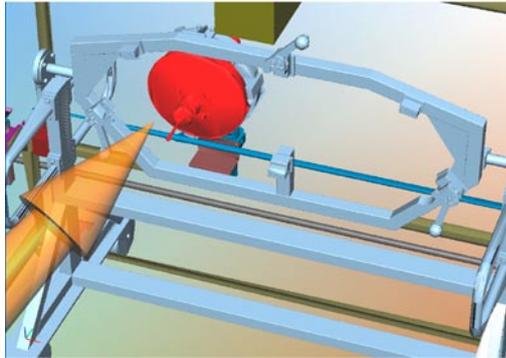


Abb. 4.3.: Zoom an den exakten Einbauort zur genaueren Darstellung; Darstellung der NP2 in noch aktivem, aber bereits korrekt verbaute Zustand.

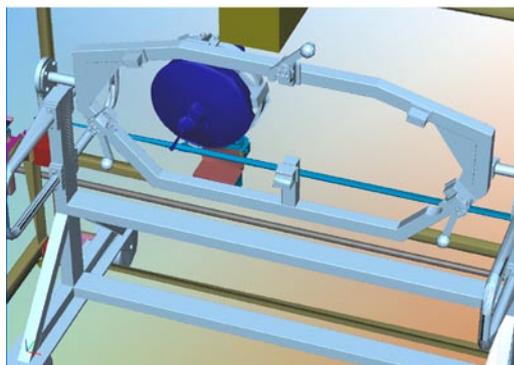


Abb. 4.4.: Das „Thema“ der Handlung (der Bremskraftverstärker) ist nicht länger aktiv; Darstellung als feedback-Information.

präsentiert werden, nur von geringer Größe ist, ist die Darstellung der PP3 verhältnismäßig klein. Es erschien deshalb ratsam, eine zweite Abbildung (hier: Abb.4.3.) zu erstellen, die den *Anbauort (PP3) genauer* darstellt.

Die beiden Abbildungen werden durch die Zoomfunktion miteinander verbunden, so dass der Betrachter insgesamt nicht den Eindruck hat, zwei verschiedene Abbildungen zu sehen, sondern stattdessen der Eindruck entsteht, bei Abb. 4.3. werde lediglich an ein Detail von Abb. 4.2. herangefahren.

Es erschien ferner sinnvoll, in Abb. 4.3. das **Thema** in zwar noch aktivem (rote Färbung), aber bereits korrekt verbautem Zustand zu zeigen. In dem Moment, da sich dem Werker in der Realität die gleiche Perspektive bietet, wie in Abb. 4.3., ist er ja nicht an dem Anbauort an sich interessiert, sondern daran, wie er die NP2 (das **Thema**) dort korrekt zu verbauen hat.

Ebenfalls durch eine bestimmte Überblendungsfunktion, welche im Rahmen von 3-D-Konstruktionsprogrammen möglich sind, „verwandelt“ sich Abb. 4.3. schließlich in Abb. 4.4.. Der „bewege“-Pfeil verschwindet und die NP2 verliert ihre rote Färbung. Sie ist jetzt nicht mehr aktiv. Diese 3. Abbildung dient dem Werker als feedback-Information. Sofern er die NP2 richtig verbaut hat, bietet sich ihm in der Realität nun ein Bild, welches mit der Darstellung in Abb. 4.4. übereinstimmt.

Es wird noch einmal darauf hingewiesen, dass dem Werker die drei Bilder nicht als drei einzelne Darstellungen erscheinen. **Durch bestimmte Überblendungsfunktionen zwischen den einzelnen drei Bildern entsteht dem Betrachter vielmehr insgesamt der Eindruck eines einzigen Bildes, innerhalb dessen an ein bestimmtes Detail herangezoomt wird. Anschließend „passiert“ etwas in diesem Detailausschnitt.**

4.4. Der zweite Arbeitsschritt: „Montageplatte in Teileträger“

Der Arbeitsfolgen-Kurztext für den zweiten auszuführenden Arbeitsschritt lautet: „Montageplatte in Teileträger“. Der Werker soll ein Anbauteil namens Montageplatte an seinem Werk-tisch anbringen.

Die universell verständliche Visualisierung dieses Sachverhalts erfolgt analog zu der Visualisierung, wie sie im vorherigen Abschnitt erläutert wurde (siehe Abb. 4.5. bis 4.7.).

Thema (NP2) ist jetzt die Montageplatte; **Path/Goal**, also Anbauort (PP3) ist der gleiche, wie im vorangehenden Arbeitsschritt, nämlich der Werk-tisch. Allerdings wird der Anbauort jetzt natürlich in dem Verbauzustand abgebildet, den er auch in der Realität haben sollte. Der im vorherigen Schritt verbaute Bremskraftverstärker wird in seinem korrekten Verbauzustand abgebildet.

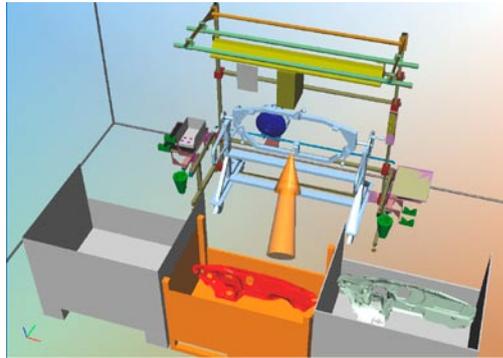


Abb. 4.5.: Das „Thema“ (NP2) der Handlung ist die Montageplatte. Sie soll an dem Werkstisch angebracht werden.

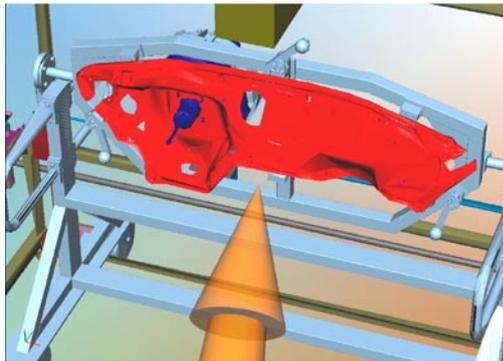


Abb. 4.6.: Zoom an die PP3 (Anbauort); die Darstellung zeigt die Position der korrekt angebauten NP2.

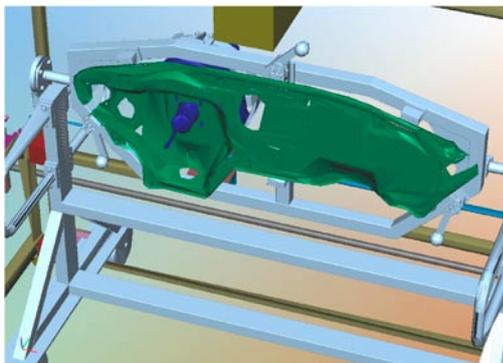


Abb. 4.7.: Feedback-Information – So sieht der Werkstisch jetzt aus, wenn die vorangehenden Schritte korrekt ausgeführt worden sind.

4.5. Der dritte Arbeitsschritt: „Dämpfung auf Montageplatte“

„Dämpfung auf Montageplatte“ besagt der Arbeitsfolgenkurztext für den als Nächstes auszuführenden Arbeitsschritt. Die universell verständliche Visualisierung erfolgt analog zu den in den beiden vorhergehenden Abschnitten geschilderten Visualisierungen, siehe Abb. 4.8. bis 4.10.

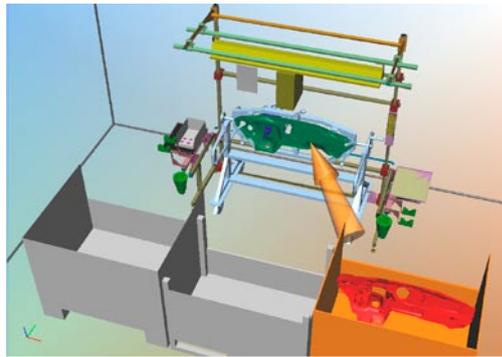


Abb. 4.8.: „Thema“ (NP2) der Handlung ist die Dämpfung.

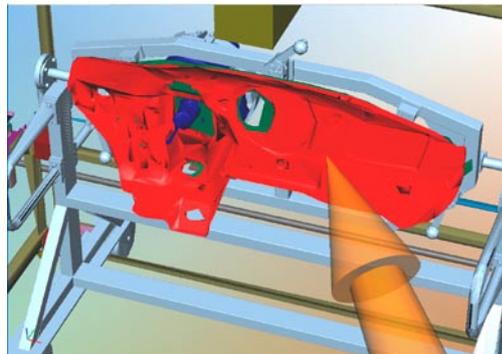


Abb. 4.9.: Zoom: PP3 (Anbauort) ist wieder der Werkstisch.

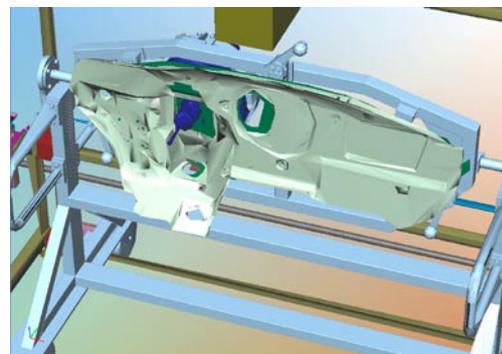


Abb. 4.10.: Feedback-Information – Aktuelles Aussehen des Werkstisches, sofern die vorangehenden Schritte korrekt ausgeführt worden sind.

4.6. Die Arbeitsschritte vier bis sieben: „4 Klemmstopfen setzen“

In den Arbeitsfolgen-Kurztexten wird nun als nächster auszuführender Arbeitsschritt genannt: „4 Klemmstopfen setzen“.

Es kommt im Kontext der Arbeitsanweisungen häufig vor, dass mehrere Teile von der gleichen Sorte zu verbauen sind. Bei Verschraubungen ist dies z.B. sehr oft der Fall, da heißt es dann z.B., wenn ein Anbauteil mit sechs Schrauben verschraubt werden muss: „6 x Muttern aufnehmen und verschrauben“.

Bei bisherigen Arbeitsanweisungen wurde ein solcher Sachverhalt als *ein* Arbeitsschritt dargestellt. Durch kennzeichnende Beschriftung, z.B. „6 x“, sollte zum Ausdruck gebracht werden, dass dieser Arbeitsschritt eben sechs mal hintereinander stattzufinden hat. Diese Art der Darstellung ist jedoch irreführend und fehlerhaft:

Sollen z.B. sechs Muttern verschraubt werden, so ist die sechs mal auszuführende Handlung an sich zwar die gleiche, *der Anbauort jedoch ist von Mutter zu Mutter ein verschiedener*. Es handelt sich also im Grunde nicht um einen Sachverhalt, sondern um sechs einzelne und verschiedene, denn *jeder dieser sechs Sachverhalte hat eine andere PP3 als Path/Goal*.

Hinzu kommt, dass es häufig eine wichtige Rolle spielt, in welcher genauen Reihenfolge z.B. die sechs Muttern verschraubt werden. Wird in der Arbeitsanweisung lediglich geschrieben „6x verschrauben“, so ist also weder geklärt, wo genau die Schrauben (oder Muttern) anzubringen sind, noch in welcher Reihenfolge die Verschraubungen vonstatten zu gehen haben. Fehler in der Montage sind die Folge.

Deshalb gilt für die Visualisierung der universell verständlichen Arbeitsanweisung generell: **Proposition gibt es nur eine NP2 als Thema. Diese NP2 hat den Numerus Singular.**

Eine in den Arbeitsfolgen-Kurztexten auftretende Anweisung „4 Klemmstopfen setzen“ wird für die universell verständliche Arbeitsanweisung wie folgt zerlegt und visualisiert:

Schritt a) „Bewege Klemmstopfen zu Anbauort (PP3) w.“

Schritt b) „Bewege Klemmstopfen zu Anbauort (PP3) x.“

Schritt c) „Bewege Klemmstopfen zu Anbauort (PP3) y.“

Schritt d) „Bewege Klemmstopfen zu Anbauort (PP3) z.“

Jetzt liegen vier Propositionen vor, die sich eindeutig und universell verständlich visualisieren lassen (siehe dazu Abb. 4.11. bis 4.19).

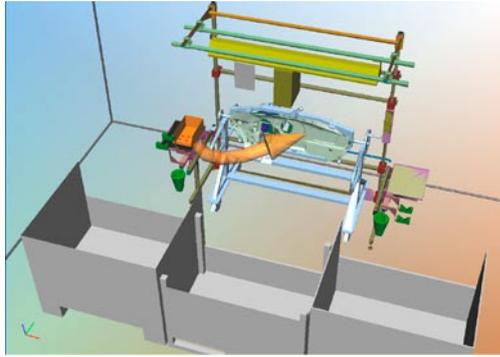


Abb. 4.11.: Thema der Handlung ist ein Klemmstopfen aus der „aktiven“ Kiste

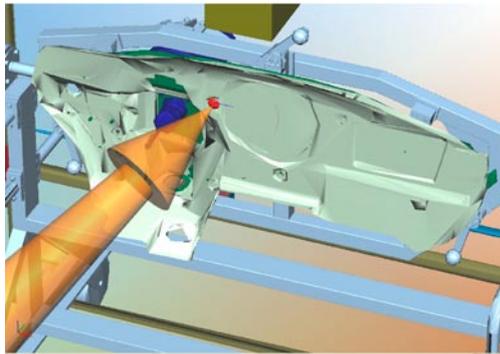


Abb. 4.12.: Zoom an den Anbauort w

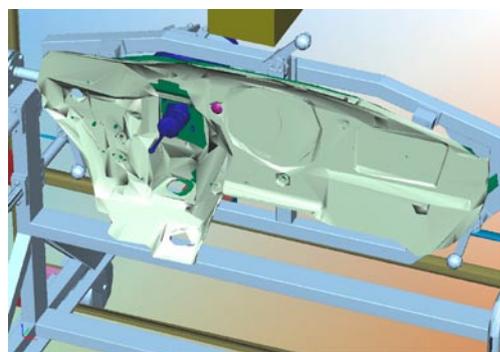


Abb. 4.13.: Feedback-Information: so sollte die Arbeitsumgebung inklusive des korrekt verbauten Klemmstopfens jetzt aussehen.

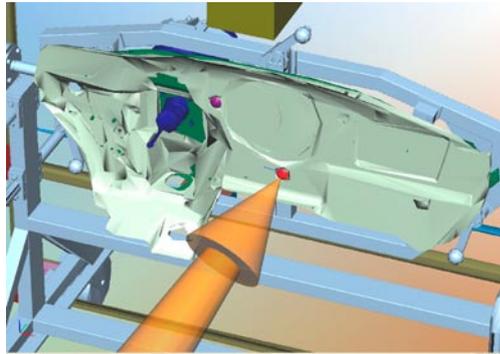


Abb. 4.14.: Thema der Handlung ist ein weiterer Klemmstopfen aus der „aktiven“ Kiste (Thema, NP2 hat ja nicht gewechselt); herangezoomter Anbauort x.

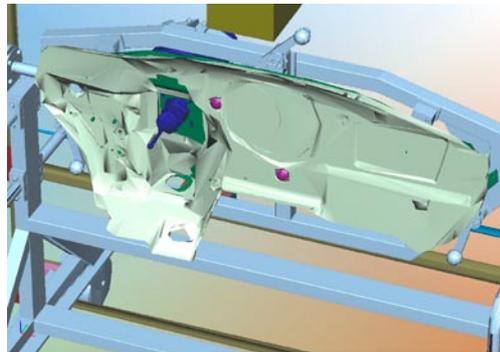


Abb. 4.15.: Feedback-Information: so sollte die Arbeitsumgebung inklusive des zuletzt korrekt verbauten Klemmstopfens jetzt aussehen.

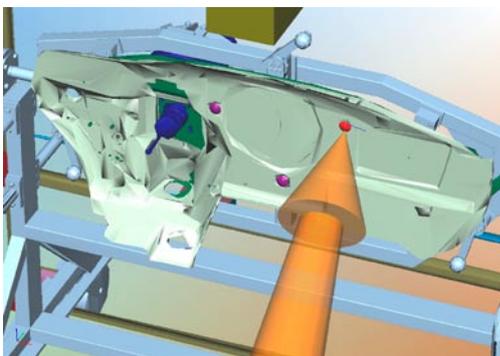


Abb. 4.16.: Thema der Handlung ist ein weiterer Klemmstopfen aus der „aktiven“ Kiste (Thema, NP2 hat ja nicht gewechselt); herangezoomter Anbauort y.

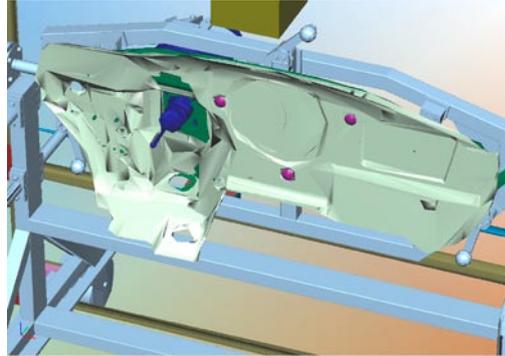


Abb. 4.17.: Feedback-Information: so sollte die Arbeitsumgebung inklusive des zuletzt korrekt verbauten Klemmstopfens nun aussehen.

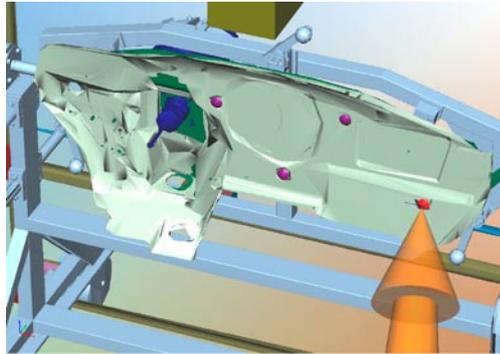


Abb. 4.18.: Thema der Handlung ist ein weiterer Klemmstopfen aus der „aktiven“ Kiste (Thema, NP2 hat immer noch nicht gewechselt); herangezoomter Anbauort z.

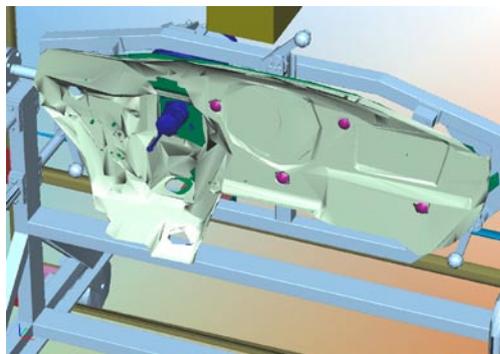


Abb. 4.19.: Feedback-Information: so sollte die Arbeitsumgebung aktuell aussehen.

4.7. Besondere Fälle

In den vorangehenden Abschnitten dieses Kapitels wurde anhand von sieben Arbeitsschritten eines Arbeitstaktes in der Cockpit-Vormontage exemplarisch beschrieben und in Form von 19 Abbildungen (Abb. 4.1. bis 4.19.) gezeigt, wie eine universell verständliche Arbeitsanweisung aussieht, die nach dem in dieser Arbeit entwickelten Verfahren erstellt worden ist.

Zum Abschluss dieses Kapitels soll noch auf drei besondere Fälle eingegangen werden, die als darzustellende Sachverhalte im Rahmen der Arbeitsanweisungen auftreten können.

4.7.1. Visualisierung der PP4

Das Folgende ist bereits aus dem zweiten und dritten Kapitel dieser Arbeit bekannt. Weil in den im Rahmen der Pilotstudie visualisierten Arbeitsschritten aber kein solcher Fall auftritt, soll es hier noch einmal kurz erwähnt werden:

Erfordert der vom Werker auszuführende Arbeitsschritt den Gebrauch eines Werkzeugs, so wird dieses Werkzeug als PP4 mit der thematischen Rolle **Instrument** im transparenten „bewege“-Pfeil abgebildet (siehe Abb. 4.20.).

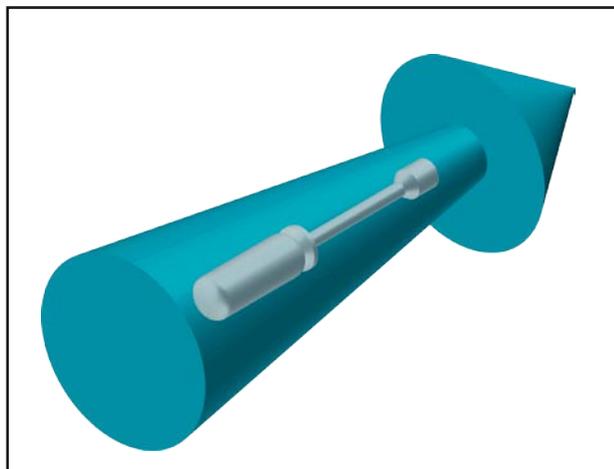


Abbildung 4.20.: Visualisierung der PP4 (Instrument) im transparenten „bewege“-Pfeil.

4.7.2. Visualisierung eines akustischen Reizes

Im Kontext der Arbeitsanweisungen können Sachverhalte auftreten, bei denen ein akustischer Reiz eine wesentliche Rolle spielt. „Drücken Sie das Fußhebelwerk herunter, bis es einrastet“ ist ein Beispiel für einen solchen Sachverhalt.

Die Tatsache, dass das Fußhebelwerk einrasten soll ist ein wichtiges Detail in diesem Sachverhalt, das im Rahmen der Arbeitsanweisung zum Ausdruck gebracht werden muss. Würde es *nicht* ausgedrückt, könnte beim Werker der Eindruck entstehen, durch das Einrasten des Fußhebelwerkes sei das Bauteil jetzt beschädigt worden.

Im Rahmen der Programme, mit denen die universell verständlichen Arbeitsanweisungen erstellt werden, können akustische Signale tatsächlich auch als akustische Signale mit eingebunden werden. Der Sachverhalt „Drücken Sie das Fußhebelwerk herunter“ würde in dem Fall nach der in dieser Arbeit entwickelten Methode auf der Darstellungsebene visualisiert. Beim Erscheinen des Bildes, das die feedback-Information für den Werker ausdrückt, würde dann das entsprechende Geräusch, was beim Einrasten des Fußhebelwerkes entsteht, ertönen.

Nun kann es aber sein, dass am Arbeitsplatz des Werkers ein bestimmter ständiger Geräuschpegel vorherrscht, so dass das akustische Signal der Werkerführung vom Werker nicht wahrgenommen werden kann. Deshalb wird die Tatsache, dass das Fußhebelwerk geräuschvoll einrasten soll, zusätzlich im Rahmen des feedback-Bildes visualisiert. Dies geschieht durch Einblendung eines entsprechenden Zeichens, etwa einer gebogenen Linie, an deren Ende ein Sternchen auftaucht, wie das in Comics der Fall ist.

4.7.3. Sortenvielfalt und Varianten

Im ersten Kapitel dieser Arbeit wurde darauf hingewiesen, dass aufgrund der Produktsortenvielfalt eines Konzerns Werker im Rahmen ein- und desselben Arbeitsschrittes nicht immer exakt die gleichen Teile zu verbauen haben.

Zum Beispiel kann es vorkommen, dass es in einem Arbeitsschritt wie dem ersten in der Pilotstudie dieses Kapitels gezeigten „BKV aus Beh. in Aufnahme“ drei verschiedene Arten von Bremskraftverstärkern gibt. Äußerlich sehen diese alle gleich aus, der Werker kann sie lediglich aufgrund der 12-stelligen, alphanumerischen Teilenummern auseinanderhalten.

Man kann nun im Rahmen der Werkerführung dem Werker die Teilenummer des jeweils zu verbauenden Teils anzeigen. Diese vergleicht der Werker dann mit den Nummern, welche über den drei Behältnissen mit unterschiedlichen Bremskraftverstärkern angegeben sind und wählt den Bremskraftverstärker aus dem richtigen Behälter aus. Aus bisherigen Erfahrungen weiß man aber, dass dieser Prozess sehr fehlerbehaftet ist.

Im Rahmen der universell verständlichen Arbeitsanweisung sollte daher besser auf das „Color-Coding“-Verfahren zurückgegriffen werden. Dieses Verfahren wird bei einigen Firmen bereits praktiziert. Dabei werden die Teilenummern für den Werker in farbige Symbole „übersetzt“. Beispielsweise wird über dem ersten der drei Behältnisse mit unterschiedlichen Bremskraftverstärkern ein Schild mit einem roten Kreis angebracht, über dem zweiten ein Schild mit einem weißen Stern, und über dem dritten ein Schild mit einem blauen Dreieck.

Der Werker muss auf diese Weise nicht Teilenummern vergleichen, sondern farbige Symbole,

was ungleich einfacher für ihn ist und daher auch fehlerfreier vonstatten geht.

Im Rahmen der universell verständlichen Arbeitsanweisung würde das Oberflächenhüllenmodell durch Darstellung des entsprechenden farbige Symbols als die zu verbauende Variante z.B. des Bremskraftverstärkers gekennzeichnet.

5 Ausblick

Es wurde bereits mehrfach erwähnt, dass es dank des Promotionsstipendiums der Volkswagen AG, mit dem die vorliegende Dissertation gefördert wurde, möglich war, die generelle Frage nach der universell verständlichen Visualisierung von Sachverhalten auf der Darstellungsebene in einen geeigneten Bezugsrahmen zu stellen. Dieser Bezugsrahmen war die universell verständliche Visualisierung von Sachverhalten, die im Rahmen der Arbeitsanweisungen für Worker an Montagelinien eine Rolle spielen.

Es soll an dieser Stelle nochmals betont werden, dass das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Verfahren zur universell verständlichen Darstellung von Sachverhalten jedoch prinzipiell auf alle Sachverhalte, also auch auf welche, die nicht im Kontext Arbeitsanweisung stehen, übertragbar ist.

Nachdem im ersten Kapitel dieser Arbeit anhand des Kontextes der Arbeitsanweisungen in die Thematik der universellen Verständlichkeit eingeführt wurde, konnte im zweiten und dritten Kapitel durch Einbettung des Problems in den wissenschaftlichen Kontext ein allgemeines Verfahren zur universell verständlichen Visualisierung von Sachverhalten auf der Darstellungsebene entwickelt werden. Dieses Verfahren wurde im vierten Kapitel anhand von sieben Arbeitsschritten eines Arbeitstaktes in der Cockpit-Vormontage der Volkswagen AG exemplarisch umgesetzt.

Im ersten Kapitel der Arbeit wurde als Teil der Aufgabenstellung die Forderung nach einer flexiblen Erstellung der Arbeitsanweisungen unter Ausnutzung von bestehenden Ressourcen eines Konzerns genannt. Wenngleich im Verlauf der Arbeit verschiedentlich auf diesen Punkt eingegangen wurde, soll an dieser Stelle noch einmal abschließend und explizit dargestellt werden, wie dieser Punkt im Rahmen des in der Arbeit entwickelten Verfahrens zu lösen ist.

5.1. Flexible Erstellbarkeit von Arbeitsanweisungen unter Ausnutzung bestehender Ressourcen eines Konzerns

Eine Arbeitsanweisung ist dann flexibel erstellbar, wenn sie automatisch in Form eines Computerprogrammes erstellt werden kann. Ein Computerprogramm kann definiert werden als allgemeines Verfahren, einem Begriff eine Darstellung (Repräsentation, Zeichen) zu verschaffen (vgl. van den Boom, 1994, S. 77).

Dieses allgemeine Verfahren zur Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen

wurde in der vorliegenden Dissertation entwickelt. Es lautet:

„Bewege x (mit Hilfe des Werkzeugs y) in die Position z.“

Alle im Kontext der Arbeitsanweisungen möglichen Besetzungen der Variablen x, y und z liegen in Form von 3-D- Oberflächenhüllenmodellen in den 3-D-Konstruktionsdatenbanken eines Konzerns vor. Auf diese 3-D-Konstruktionsdatenbanken als bestehende Ressourcen eines Konzerns wird bei der Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen zurückgegriffen.

Beim gegenwärtigen Stand der Technik ist die Entwicklung eines Computerprogramms zur flexiblen Erstellung von universell verständlichen Arbeitsanweisungen auf Basis des in dieser Dissertation entwickelten allgemeinen Verfahrens möglich.

Literatur

Verwendete Literatur

Abraham, Werner (Hrsg.) (1971): *Kasustheorie*. Frankfurt a. M.: Athenäum Verlag GmbH.

Aicher, Otl/ Krampen, Martin (1996): *Zeichensysteme der visuellen Kommunikation. Handbuch für Designer, Planer, Architekten, Organisatoren*. Neuausgabe der 1977 erschienenen Erstausgabe. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH.

Alt, Thomas/Schreiber, Werner/ Akerson, Henrik (2001): Einsatz von Augmented Reality in der Produktion. In: *VDI-Zeitung* 143 (2001), Nr. 5 – Mai, S. 72-74.

Bateson, Gregory (1982): *Geist und Natur. Eine notwendige Einheit*. Frankfurt a. M.: suhrkamp taschenbuch wissenschaft 691.

Braitenberg, Valentin/Hosp, Inga (Hg.) (1995): *Simulation. Computer zwischen Experiment und Theorie*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.

Brown, Donald E. (1991): *Human Universals*. McGraw-Hill.

Chomsky, Noam (1981): *Lectures on Government and Binding. The Pisa Lectures*. Dordrecht: Foris Publications (= *Studies in Generative Grammar* 1).

Chomsky, Noam (1995): *The Minimalist Program*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.

Dürscheid, Christa (2003): *Syntax. Grundlagen und Theorien*. 2., durchgesehene u. aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Westdeutscher Verlag GmbH.

Edelmann, Werner (2000): *Lernpsychologie*. 6., vollständig überarbeitete Auflage. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz.

Fanselow, Gisbert/Felix, Sascha W. (1993): *Sprachtheorie 2. Die Rektions- und Bindungstheorie*. Tübingen: Francke (= UTB 1442)

Fauconnier, Gilles/Turner, Mark (2002): *The way we think. Conceptual blending and the mind's hidden complexities*. New York: Basic Books.

Flusser, Vilém (1998): *Kommunikologie*. Frankfurt a. M.: Fischer Taschenbuch Verlag.

George, F.H. (1964): *Semantics*. London: The English Universities Press Ltd.

Goldstein, Bruce E. (1997): *Wahrnehmungspsychologie. Eine Einführung*. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.

Haegeman, Liliane (1994): *Government & Binding Theory*. Oxford, UK & Cambridge, USA: Blackwell.

- Helbig, Gerhard/Schenkel, Wolfgang (1969): *Wörterbuch zur Valenz und Distribution deutscher Verben*. Leipzig: VEB Bibliographisches Institut.
- Hentschel, Elke/Weydt, Harald (1994): *Handbuch der deutschen Grammatik*. 2., durchgesehene Auflage. Berlin/New York: de Gruyter.
- Herman, David J. (1994): Das Opel-Produktionssystem als Zukunftskonzept der Adam Opel AG. In: Peren, Franz W. (Hrsg.) (1994): *Krise als Chance: Wohin steuert die deutsche Automobilwirtschaft?* Frankfurt: Frankfurter Allg. Zeitung; Wiesbaden: Gabler.
- Kloesel, Christian J.W./ Pape, Helmut (Hg.) (2000): *Charles S. Peirce. Semiotische Schriften, Band 1*. Frankfurt a. M.: suhrkamp taschenbuch wissenschaft 1480.
- Krieger, David J. (1998): *Einführung in die allgemeine Systemtheorie*. München: Fink Verlag (= UTB 1904).
- Lindsay, Peter H./Norman, Donald A. (1977): *Human Information Processing. An Introduction to Psychology*. New York, San Francisco, London: Academic Press.
- Linke, Angelika/Nussbaumer, Markus/Portmann, Paul (1996): *Studienbuch Linguistik*. Tübingen: Niemeyer.
- Longo, Giuseppe O. (1995): Die Simulation bei Mensch und Maschine. In: Braitenberg, Valentin/Hosp, Inga (Hg.) (1995): *Simulation. Computer zwischen Experiment und Theorie*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Norman, Donald A. (2002): *The Design of Everyday Things*. New York: Basic Books.
- Norman, Donald A. / Rumelhart, David E. (1978): *Strukturen des Wissens. Wege der Kognitionsforschung*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Peirce, Charles S. (1895): Kurze Logik. In: Kloesel, Christian J.W./ Pape, Helmut (Hg.) (2000): *Charles S. Peirce. Semiotische Schriften, Band 1*. Frankfurt a. M.: suhrkamp taschenbuch wissenschaft 1480.
- Peren, Franz W. (Hrsg.) (1994): *Krise als Chance: Wohin steuert die deutsche Automobilwirtschaft?* Frankfurt: Frankfurter Allg. Zeitung; Wiesbaden: Gabler.
- Pinker, Steven (1994): *The Language Instinct*. New York: HarperCollins Publishers Inc.
- Pinker, Steven (2002): *The blank slate*. London: Penguin Books Ltd.
- Radford, Andrew (1988): *Transformational Grammar. A first Course*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Radford, Andrew (1997): *Syntactic theory and the structure of English. A minimalist approach*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rembold, Rudolf W. (2003): *Einstieg in CATIA V5. Konstruktion in Übungen und Beispielen*. München, Wien: Carl Hanser Verlag.
- Robinson, Andrew (1996): *Die Geschichte der Schrift. Von Keilschriften, Hieroglyphen, Alphabeten und anderen Schriftformen*. Bern, Stuttgart, Wien: Verlag Paul Haupt.
- Saussure, Ferdinand de (1967): *Grundfragen der allgemeinen Sprachwissenschaft*. Berlin: de Gruyter.

- Sowa, John F. (2000): *Knowledge Representation. Logical, Philosophical and Computational Foundations*. New Delhi: Vikas Publishing House Pvt. Ltd.
- Solso, Robert L. (2001): *Cognition and the Visual Arts*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Spence, Robert (2001): *Information Visualization*. Harlow, England: ACM Press.
- Störig, Hans Joachim (2002): *Abenteuer Sprache*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag.
- Suzaki, Kiyoshi (1989): *Modernes Management im Produktionsbetrieb: Strategien, Techniken, Fallbeispiele*. München, Wien: Hanser.
- Tausch, R. & Tausch, A. (1973): Erziehungspsychologie. In: Edelman, Werner (2000): *Lernpsychologie*. 6., vollständig überarbeitete Auflage. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz.
- van den Boom, Holger (1994): *Betrifft: Design. Unterwegs zur Designwissenschaft in fünf Gedankengängen*. Alfter: VDG, Verlag und Datenbank für Geisteswissenschaften.
- van den Boom, Holger (1998): Grundzüge der Designwissenschaft. Ein Versuch zur Orientierung. In: *Öffnungszeiten, Papiere zur Designwissenschaft*. Heft 7/98, Dezember 1998. Braunschweig.
- van den Boom, Holger/Romero-Tejedor, Felicidad (2000): *Design. Zur Praxis des Entwerfens. Eine Einführung*. Hildesheim, Zürich, New York: Georg Olms Verlag.
- Volli, Ugo (2002): *Semiotik. Eine Einführung in ihre Grundbegriffe*. Tübingen und Basel: A. Francke (= UTB 2318).
- Volmert, Johannes (Hrsg.) (2000): *Grundkurs Sprachwissenschaft*. München: Wilhelm Fink Verlag (= UTB 1879).
- Wagner, Karl-Heinz, (1997/98): URL: www.fb10.uni-bremen.de/linguistik/khwagner/Grundkurs1/grund.pdf [Stand: 01/2004].
- Zoglauer, Thomas (2002): *Einführung in die formale Logik für Philosophen*. 2. durchgesehene und ergänzte Auflage. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht (= UTB 1999).

Weiterführende Literatur

- Amberber, Mengistu & Collins, Peter (Editors) (2002): *Language Universals and Variation*. Westport, Connecticut, London: Praeger Publishers.
- Baker, Mark C.. (2001): *The Atoms of Language. The mind's hidden rules of grammar*. New York: Basic Books.
- Bresnan, Joan (1982): *The mental representation of grammatical relations*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Bucher, Theodor G. (1998): *Einführung in die angewandte Logik*. 2., erweiterte Auflage. Berlin, New York: de Gruyter.

- Card, Stuart K. et al. (Editors) (1999): *Readings in Information Visualization. Using Vision to think*. London: Academic Press.
- Chomsky, Noam (1977): *Reflexionen über die Sprache*. Frankfurt a. M.: suhrkamp taschenbuch wissenschaft 185.
- Chomsky, Noam (1999): *Sprache und Geist*. 7. Auflage. Frankfurt a. M.: suhrkamp taschenbuch wissenschaft 19.
- Croft, William (2003): *Typology and Universals*. 2nd edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- Eco, Umberto (1977): *Zeichen. Einführung in einen Begriff und seine Geschichte*. Frankfurt a. M.: edition suhrkamp 895.
- Eco, Umberto (1994): *Einführung in die Semiotik*. 8. Auflage. München: Wilhelm Fink Verlag (= UTB 105).
- Fanselow, Gisbert/Felix, Sascha W. (1987): *Sprachtheorie 1. Grundlagen und Zielsetzungen*. Tübingen: Francke (= UTB 1441)
- Hawkins, John A. (1988): *Explaining Language Universals*. Cambridge: Basil Blackwell Inc.
- Heim, Irene & Kratzer, Angelika (1998): *Semantics in Generative Grammar*. Oxford: Blackwell Publishers Ltd.
- Hill Boone, Elizabeth & Mignolo, Walter D. (Editors) (1994): *Writing without Words. Alternative Literacies in Mesoamerica and the Andes*. Durham, London: Duke University Press.
- Immler, M. (1974): *Generative Syntax – Generative Semantik*. München: Wilhelm Fink Verlag (= UTB 207).
- Jackendoff, Ray (1983): *Semantics and Cognition*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Kandel, Eric et al. (2000): *Principles of Neural Science*. 4th edition. New York: McGraw-Hill.
- Lamberts, Koen & Shanks, David (Editors) (1997): *Knowledge, Concepts and Categories*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Langacker, Ronald W. (2002): *Concept, Image, Symbol. The cognitive basis of grammar*. 2nd edition. Berlin, New York: de Gruyter.
- Nöth, Winfried (2000): *Handbuch der Semiotik*. 2., vollständig neu bearb. und erw. Auflage. Stuttgart, Weimar: Metzler.
- Nørretranders, Tor (1998): *The User Illusion. Cutting consciousness down to size*. London: Penguin Books Ltd.
- Pinker, Steven (1997): *How the mind works*. London: Penguin Books Ltd.
- Pinker, Steven (1999): *Words and Rules. The ingredients of language*. London: Phoenix Paperback.
- Tesnière, Lucien (1980): *Grundzüge der strukturalen Syntax*. Stuttgart: Klett Cotta.
- Whaley, Lindsay J. (1997): *Introduction to Typology. The unity and diversity of Language*. Thousand Oaks, London, New Delhi: Sage Publications, Inc.

Danksagung

Allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, gilt mein herzlicher Dank.

Besonders hervorheben möchte ich die Unterstützung seitens der Mitarbeiter der Volkswagen AG: Herr Dr. Barthel Schröder von der Volkswagen AG trug durch seine fachliche Kompetenz und kritischen Anmerkungen wesentlich zum Gelingen der Arbeit bei.

Frau Sonja Felßberg bereitete die 3-D-Grafiken auf. Dafür und für ihren persönlichen Einsatz und ihre fundierten Ratschläge danke ich ihr.

Herr Dr. Jan Spies und Herr Jürgen Paustian halfen mir bei der Auswahl eines Arbeitstaktes, für den eine beispielhafte Visualisierung der Arbeitsschritte sinnvoll erschien.

Prof. Dr. Holger van den Boom von der Hochschule für Bildende Künste in Braunschweig leitete die Arbeit mit gewohnter Umsicht und Kompetenz. Prof. Dr. Stephan Rammler, ebenfalls von der HBK Braunschweig, stand stets für Fragen und Anregungen zur Verfügung. Ihnen beiden habe ich zu verdanken, dass sie die Arbeit in der Anfangsphase in die richtigen Bahnen lenkten.

Herrn Lutz Röttger vom Prüfungsamt der HBK danke ich für die fundierte und freundliche Beratung in allen formalen Angelegenheiten, die das Promotionsverfahren betrafen.

Christoph Gröder unterstützte mich bei der formalen Gestaltung der Arbeit und half mir bei Layout und Bildbearbeitung.

Meine Eltern waren, auch während der Arbeit, stets für mich da. Sie übernahmen zudem das Korrekturlesen, was eine große Hilfe für mich bedeutete. Für in der Dissertation eventuell verbliebene Rechtschreibfehler bin ich selbst verantwortlich.

Mein besonderer Dank aber gilt meiner Freundin Ulrike. Ohne ihre liebe und mutige Unterstützung vor allem während der Anfangsphase der Dissertation wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.