Kapitel 6

Zur Repräsentation des Gegenstandsbereichs

6.1 Einführung

In diesem Kapitel wird die in Kapitel 5 begonnene Diskussion der Beispieltexte nun unter dem Schwerpunkt 'Wissensrepräsentation' fortgeführt. Standen dort bei der Bearbeitung des Materials Überlegungen zur Diskursrepräsentation und zur sprachlichen Realisierung im Vordergrund, so werden hier nun die folgenden Fragen bearbeitet:

- Was sollte repräsentiert werden, um eine Rekonstruktion der Texte aus der Wissensbasis zu ermöglichen?
- Auf welche Weise wird dabei das repräsentierte Wissen genutzt?
- Mit welchen Techniken wird repräsentiert und wie werden Schlußfolgerungen gezogen?

Diese Diskussion wird sowohl auf einer abstrakten Beschreibungsebene als auch anhand der konkreten, bei der Implementation verwendeten Repräsentationssprache geführt werden.

6.1.1 Zum Vorgehen bei der Repräsentation von Wissen

Beim Entwurf einer Wissensbasis muß man sich vor allem die folgenden Fragen stellen:

- Was soll im einzelnen repräsentiert werden?

  Eine mögliche Vorgehensweise ist, zunächst eine präzise natürlichsprachliche Beschreibung des zu modellierenden Wissensgebiets zu erarbeiten. Dabei klärt sich dann auch, von welcher Art die Elemente des zu repräsentierenden Wissens

sind. Handelt es sich um Aussagen über Individuen und ihre Beziehungen zu einander (Fakten oder faktische Aussagen)? Handelt es sich um Regeln? Von welchem Typ sind die Regeln (Implikationen, Produktionsregeln, Default–Regeln)? Welche Rolle spielen Annahmen?

- Wenn umrissen wurde, was repräsentiert werden soll, muß erarbeitet werden, wie dies am besten geschieht.

  Zunächst ist hier nach den abstrakten Sprachmitteln gefragt, mit denen das Wissen ausgedrückt werden soll, d.h. sollen logische Prädikate Verwendung finden, Frames, Objekte, Relationsterme, Horn–Klauseln o.ä.? Besteht Klarheit über adäquate Darstellungsmittel, so kann eine konkrete Repräsentationssprache ausgewählt werden und die Umsetzung in deren Syntax erfolgen.

- Bei der Entscheidung darüber, was repräsentiert werden soll, helfen Überlegungen dazu, wie mit dem repräsentierten Wissen gearbeitet werden soll.

  Insbesondere heißt dies, welche Fragen an die Wissensbasis gestellt werden sollen und wie die Antworten darauf gefunden werden, z.B. durch direkten Zugriff oder durch Inferenzen. Wird letzteres bejaht, muß geklärt werden, von welcher Art die Inferenzprozesse sind (z.B. Vorwärtsverkettung, Rückwärtsverkettung) und wann und wodurch sie angestoßen werden.

6.1.2 Anforderungen an die Wissensrepräsentation

Je nach Aufgabenstellung und den mit der Modellierung verfolgten Zielen wird eine Wissensbasis unterschiedlich ausfallen. Für die hier berichteten Arbeiten haben wir uns beim Design der Wissensbasis an den folgenden Anforderungen orientiert:

- **Unabhängigkeit von Einzelsprachen:** Das Wissen sollte in einer Weise repräsentiert werden, die möglichst weitgehend von Einzelsprachen abstrahiert. Ziel ist ja, eine für die verschiedenen einzelsprachlichen Ausprägungen gemeinsame Repräsentationsebene zu finden.

- **Übertragbarkeit:** Die Beispieltexte stellen das Ausgangsmaterial für die Gestaltung der Wissenbasis dar. Bei deren Entwurf ist aber darauf zu achten, daß Lösungen gefunden werden, die es erlauben, die Wissensbasis für ähnlich gelagerte technische Zusammenhänge zu nutzen und auf andere Gebiete zu übertragen.

- **Multifunktionalität:** Das repräsentierte Wissen wird in erster Linie für die Sprachgenerierung verwendet. Auf diese Nutzungsform sollte das Wissen aber nicht eingeschränkt bleiben. Es sollte darauf hingearbeitet werden, daß die Nutzung für andere Aufgaben (wie Simulation, Diagnoseunterstützung, Nutzung in tutoriellen Systemen) möglich ist.

6.1.3 Abstraktes technisches Modell

Es empfiehlt sich, eine Trennung vorzunehmen zwischen der Modellierung von abstraktem technischen Wissen – zum Beispiel über Verbindungen und ihre Zustände, Behälter und ihre Füllungen, usw. – und der Beschreibung des konkreten technischen Systems, zu dem jeweils eine Dokumentation erstellt werden soll. Diese Modularität ermöglicht eine Verwendung des abstrakten Wissens in unterschiedlichen technischen Gebieten — ein Konzept, das der Trennung zwischen 'upper model' und 'domain model' in dem in TECHDOC verwendeten Satzgenerator PENMAN verwandt ist (vgl. dazu [Bateman 1990]).

Modellierung von Verbindungen

Ein Beispiel: Für die Anweisung *„Zündkerze fest anziehen"* ließe sich eine 'logische Form' der Art „anziehen(Zündkerze,fest)" annehmen; diese hat den Vorteil, daß sie nach sehr einfachen Regeln wieder in einen deutschen Satz transformiert werden kann, ist jedoch vom Standpunkt der Wissensmodellierung aus betrachtet zu wenig aussagekräftig.

Demgegenüber möchten wir folgendes repräsentieren: Zündkerzen sind (unter anderem) dadurch charakterisiert, daß sie mittels einer Schraubverbindung am Zylinder befestigt werden. Wie bei jeder anderen Schraubverbindung kann der „Grad der Verbundenheit" sich frei zwischen 'unverbunden' und 'fest verbunden' bewegen; für unsere Zwecke können wir dieses Spektrum auf einige wenige diskrete Zustände reduzieren. Das „Festziehen" der Zündkerze besteht dann auf abstrakter Ebene darin, daß eine Schraubverbindung vom Zustand „locker verbunden" in den Zustand „fest verbunden" überführt wird. Hinzu kommt, daß diese Aktion mit dem Instrument Zündkerzenschlüssel ausgeführt wird, während die Zündkerze zu Beginn von Hand eingesetzt und eingeschraubt wird: Der Übergang der Schraubverbindung von 'getrennt' nach 'locker verbunden' kann ohne Werkzeug vollzogen werden.

In der Wissensbasis sind Zündkerzen (und die mit ihnen verbundenen Tätigkeiten) somit keine isolierten Objekte, sondern Ausprägungen der abstrakteren Klasse *'Schraubverbindung'*, die ihrerseits zu der Klasse *'Verbindung'* gehört und somit einige ihrer Eigenschaften mit anderen Verbindungen teilt (wie z.B. Steckverbindungen, Klebeverbindungen, Schweißverbindungen). Verbindungen können sich in bestimmten Zuständen befinden, und Operationen wechseln zwischen diesen Zuständen. Abhängig von der Verbindungsart können für die Durchführung der Operationen Werkzeuge benötigt werden.

Flüssigkeiten und Behälter

Ein anderes Beispiel: Das Einfüllen des Öls in den Motorblock ist eine Ausprägung der abstrakten Operation des *Füllens eines Flüssigkeitsbehälters*. Diese umfaßt ebenso das Einfüllen von Bremsflüssigkeit oder Scheibenwaschmittel in ihre entsprechenden Behälter.

In einer abstrakten Modellierung stellt sich ein *Behälter* nun folgendermaßen dar: Er hat ein bestimmtes Fassungsvermögen, hat eine Einfüllöffnung und optional eine Ablaßvorrichtung, sowie ebenfalls optional eine Möglichkeit, den Flüssigkeitsstand zu bestimmen. Dieser muß ggf. zwischen einem Min– und einem Max–Wert liegen. An einigen Flüssigkeitsbehältern ist eine Skala angebracht, auf der sich der Füllstand von außen ablesen läßt; eine andere Untergruppe bilden solche mit einem Tauchmeßstab (der seinerseits eine (Ein-)Steckverbindung darstellt) mit aufgebrachter Skala.

Für Behälter sind drei Operationen wesentlich: Einfüllen von Flüssigkeit, Hinzufügen von Flüssigkeit und Ablassen von Flüssigkeit. Die Bedingungen an das Verhältnis von Behälter und Flüssigkeit sind dabei die folgenden: Beim Einfüllen ist die Flüssigkeit zunächst außerhalb und danach innerhalb des Gefäßes; beim Hinzufügen ist nach der Aktion ein größerer Flüssigkeitspegel im Gefäß; und beim Ablassen schließlich ist die Flüssigkeit, die sich vorher im Behälter befand, nach der Aktion außerhalb des Behälters. Mit diesen Operationen lassen sich komplexe Aktionen beschreiben: Austauschen von Flüssigkeit setzt sich zum Beispiel aus einer Abfolge von Ablassen und Einfüllen zusammen. Bezieht man als weiteren Aspekt eines Behälters das Meßinstrument (Skala) mit ein, so ergibt sich als weitere primitive Operation das Prüfen des Flüssigkeitsstandes.

6.2 Die Beispieltexte aus der Sicht der Wissensrepräsentation

Die untersuchten Handbuchtexte (vgl. Kapitel 5) werfen eine Anzahl von Fragen für die Wissensrepräsentation und — damit verbunden — für die sprachliche Realisierung aus einer Wissensbasis auf. Im folgenden diskutieren wir Beispiele dafür.

6.2.1 Modellierungsfragen am Beispieltext „Zündkerzen“

Eigenschaften von Ersatzteilen bzw. -substanzen Empfohlene bzw. ungeeignete Ersatzteile/Substanzen sind Objekte, die u.a. durch die Merkmale
- Typbezeichnung
- Herstellerbezeichnung
- Kenngrößen

charakterisiert sind. Kenngrößen sind dabei Merkmal–/Wert–Strukturen. Im Beispieltext ‘Zündkerzen’ ist eine Typbezeichnung ’BPR 6EY’, ein Hersteller z.B. ’NGK’, eine angesprochene Kenngröße ist der Wärmewert. Beim Text ‘Motoröl’ gibt es die Kenngrößen Güteklasse und Viskosität.

Für Kenngrößen gibt es häufig Werte oder Wertbereiche, die empfohlen, und solche, die als ungeeignet betrachtet werden. Diese müssen geeignet repräsentiert werden. Eine Möglichkeit ist, eine Menge oder ein Intervall zulässiger Attributwerte auszuzeichnen, etwa das Intervall der *für eine bestimmte Verwendung* zulässigen

Wärmewerte. Die Bedeutung von *„ein falscher Wärmewert“* ist dann ein Wärmewert, der *nicht* Element der Menge bzw. des Intervalls zulässiger Wärmewerte ist.

Beim Öl werden die beiden empfohlenen Güteklassen explizit benannt (SE oder SF). Weiter wird die Verwendung von Motoröl „mit der *richtigen* Viskosität *für das Klima des Fahrgebiets*“ empfohlen, was auf ähnliche Weise zu behandeln ist.

Die Eigenschaften, die hier zu modellieren sind, sind den Objekten nicht inhärent, sondern sind „relational“ in dem Sinne, daß erst die geplante Verwendung bestimmt, was „falsch“ bzw. „richtig“ ist.

Behandlung von Mengen Der Hinweis über empfohlene Zündkerzen ist ein Beispiel für Aussagen über Elemente einer endlichen Menge. Hier wird die für unterschiedliche Fahrzeugausführungen jeweils gültige Empfehlung ausgesprochen. Präsentiert wird diese Information zum einen durch explizite Nennung (*„europäische und australische Ausführung“*), zum anderen durch den Verweis auf die verbleibende Komplementmenge (*„andere Ausführung“*).

Je nach Kenntnisstand läßt sich das auf den Kontext verweisende *„andere“* unterschiedlich explizit interpretieren. Wenn nicht bekannt ist, welche anderen Ausführungen es gibt, kann *„andere“* nur als nicht-europäisch und nicht–australisch aufgelöst werden; ist die gesamte Menge der möglichen Ausführungen bekannt, so ist ein explizites Verstehen möglich.

Die Nennung der beiden Teilmengen der Menge der Ausführungen läßt sich prinzipiell vertauschen. Daß die europäische und die australische Ausführung explizit genannt werden, dürfte am Adressatenkreis dieser Handbuchversion liegen, die ja für genau diesen Markt bestimmt ist. Für einen anderen Markt (z.B. den amerikanischen oder asiatischen) würde sich die explizite Nennung der dortigen Typen und die implizite Nennung der dann verbleibenden Komplementmenge anbieten.

Empfehlungen

> *„Niemals Zündkerzen mit einem falschen Wärmewert verwenden.*
> *Never use spark plugs with an improper heat range.“*

Abstrahiert ergibt sich:
„Niemals [Ersatzteil] mit [falschem Attributwert] verwenden.
Never use [`item`] with [improper attribute value].“

Das *„niemals“* in der Empfehlung könnte auch paraphrasiert werden als *„unter keinen Umständen“* oder *„es gibt keine Ausnahme zu dieser Regel“*, d.h. es liegt eine starke negative Empfehlung vor. Es ist günstig, eine fünfstufige Modellierung für solche Empfehlungen anzusetzen. Damit lassen sich dann folgende Ausprägungen von Verwendungsempfehlungen voneinander abgrenzen:

- starke positive Empfehlung: *„immer ... verwenden“*,
- positive Empfehlung: *„Sie sollten ... verwenden“*,

- neutrale Position: *„Sie können z.B. ... verwenden“*,
- negative Empfehlung: *„... vermeiden“*, *„nicht ... verwenden“*,
- starke negative Empfehlung: *„ unbedingt ... vermeiden“*, *„niemals ... verwenden“*

Wechselwirkungen

> *„Sie beeinträchtigen Motorleistung und Haltbarkeit.*
> *They will adversely affect engine performance and durability.“*

Die genaue Art der Beziehung zwischen Zündkerzen mit falschem Wärmewert und den durch sie verursachten Schäden wird hier nicht ausgeführt. Es wird lediglich ein relativ vager Terminus *„beeinträchtigen“* bzw. *„ungünstig beeinflussen“* (*'adversely affect'*) verwendet. Zu modellieren ist, daß funktionale Teile eines technischen Geräts Auswirkungen – positiver wie negativer Art (Gewährleistung einer Funktion versus Beeinträchtigung einer Funktion) – auf andere Teile haben und diese sich in der Veränderung von Werten niederschlagen können. Hier sind dies die Attributwerte Motorleistung und -haltbarkeit.

Wird Beeinträchtigung als Relation gesehen, so besteht sie zwischen einem verursachenden Objekt (z.B. Bauteil, Flüssigkeit o.ä.) und einer oder mehreren Eigenschaften eines anderen Objekts. Für das verursachende Objekt wird häufig die Modellierung einer bestimmten Konstellation erforderlich sein: Hier z.B. *„Zündkerzen mit falschem Wärmewert“*, weiter unten im Text *„eine lose Zündkerze“*, *„eine zu fest angezogene Zündkerze“*. Bei den letztgenannten Beispielen ist die Auswirkung konkreter als *„beschädigen“* (*'damage'*) bezeichnet. Andererseits wird durch *„möglicherweise“* und auch durch das *„kann beschädigen“* ausgedrückt, daß die Schäden nicht zwingend und unmittelbar eintreten werden.

Transiente Beziehungen Eine andere Aufgabe für die Repräsentation ergibt sich für die definiten Kennzeichnungen von der Art *„die alte Zündkerze“* bzw. *„die neue Zündkerze“*. Die Bedeutung von *alt* und *neu* liegt hier ja darin, daß das erste Objekt durch das zweite ersetzt wird.

Für alle Arten von Wartungsarbeiten, bei denen ein Austausch von Teilen stattfindet, kann eine solche Gegenüberstellung von einem zu Beginn des Austauschvorgangs noch im Aggregat befindlichen Teil und dem Teil, das nun an seine Stelle treten soll, notwendig sein. Da nun zwei Diskursobjekte vom selben Typ vorliegen, muß zumindest in den Sätzen, in denen aufgrund des Kontextes die korrekte Referenz auf unterschiedliche Instanzen sonst nicht aufgelöst wird, neben der bloßen Typbezeichnung (hier: *„Zündkerze“*) eine weitere, diskriminierende Kennzeichnung eingefügt werden. Denkbar sind auch andere Kennzeichnungen wie die *„auszutauschende Zündkerze“* oder die *„Ersatzzündkerze“*.

Auch hier handelt es sich nicht um Eigenschaften, die den Objekten inhärent sind, sondern um „transiente“ Beziehungen, die sich aus dem Ablauf einer Aktion ergeben.

Ereignisbezogene Eigenschaften Im letzten VORSICHT–Hinweis geht es um *„eine zu lose Zündkerze“* bzw. *„zu fest angezogene Zündkerze“*. Abstrahiert müssen wir von Typen von Objekten reden können, die bestimmten Bedingungen genügen. Diese Bedingungen können sich auf inhärente Eigenschaftswerte beziehen (z.B. Typbezeichnung) oder auf relative Eigenschaften wie — in Bezug auf eine spezielle Verwendung — *„falscher Wärmewert“* oder wie hier *„zu lose“* oder *„zu fest angezogen“*. Letzteres sind Beschreibungen, die nur in Beziehung zu einem Einschraubvorgang sinnvoll definiert werden können. Dies läßt sich auch durch andere sprachliche Formulierungen deutlich zum Ausdruck bringen: Statt *„eine lose Zündkerze“* ließe sich auch formulieren: *„eine nur lose eingeschraubte Zündkerze“* oder *„eine nicht fest genug angezogene Zündkerze“*.

Allen drei Beispielen ist folgendes gemeinsam: Es muß modelliert werden, daß ein technisches Objekt für ein jeweils behandeltes Attribut einen bestimmten tatsächlichen Attributwert hat, der von dem gewünschten Wert abweicht. Der tatsächliche Wärmewert gehört also zu der Menge der Wärmewerte, die nicht empfohlen sind; der Zustand der Schraubverbindung ist nicht als fest, sondern höchstens als lose zu charakterisieren bzw. er ist über den als fest zu bezeichnenden Wert bereits hinausgegangen.

Parallele vs. sequentielle Durchführung

> *„Die Zündkerzen eine nach der anderen auswechseln,...*
> *Replace plugs one at a time...“*

Die allgemeine Aktion „Austauschen eines der Abnutzung unterliegenden Teils“ wird hier modifiziert bezüglich der Art und Weise der Durchführung. Da das gesamte Kollektiv der Zündkerzen ausgetauscht werden soll, hat man sowohl die Möglichkeit, dies parallel zu tun oder sequentiell (oder ggf. in einer Mischform). Eine vergleichbare Situation liegt immer dann vor, wenn ein und derselbe Typ von Aktivität mit mehreren gleichartigen Objekten durchzuführen ist.

Bei der Modellierung ist also zu unterscheiden zwischen Teilen, die lediglich einfach vorhanden und damit auch eindeutig identifizierbar sind, Kollektiven gleichartiger Teile (wie hier die Zündkerzen) sowie ggf. Kollektiven von Teilen gleichen Typs, die aber unterschiedliche Merkmale haben (z.B. Sicherungen unterschiedlicher Stärke). Für die Kollektive gleichartiger Teile ist noch relevant, ob sie *gemeinsam* eine Funktion erfüllen oder ob sie lediglich *isoliert* Funktionen erbringen. Für die Zündkerzen ist ersteres der Fall.

Wenn Aktionen auf Kollektiven als Menge von Aktionen auf den einzelnen Elementen der Mitglieder des Kollektivs gesehen werden können (wie hier im Fall des Austauschens aller Zündkerzen), so kann die genaue *Abfolge der Einzelaktionen* von Relevanz sein. Hier drückt das *„eine nach der anderen“* bzw. *‘one at a time’* aus, daß strikt sequentiell vorgegangen werden soll.

Für die sprachliche Realisierung im Deutschen ist wichtig, daß — im Gegensatz zu einem einfachen Adverb wie *„nacheinander“* — die hier verwendete Adverbialphrase

in Abhängigkeit vom semantischen Bezug flektiert wird (vgl. *Die Kandidaten haben die Reifen eine***r** *nach dem anderen gewechselt* vs. *Die Kandidaten haben die Reifen eine***n** *nach dem anderen gewechselt*).

> *„... damit die Zündkabel nicht durcheinander gebracht werden ...*
> *... so you don't get the wires mixed up ...“*

Dieser Halbsatz gibt die Begründung für die vorausgegangene Handlungsempfehlung. Die Motivation besteht darin, daß angegeben wird, welche Konsequenz die Nichtbeachtung des Ratschlags möglicherweise nach sich zieht; mit anderen Worten: Das sequentielle Vorgehen stellt sicher, daß die Zündkabel nicht durcheinandergebracht werden können, da grundsätzlich jeweils nur eines abgezogen ist und somit keine Verwechslungsgefahr besteht.

Für eine „aufgelöste“ semantische Repräsentation des „Nicht–Durcheinanderbringens“ sind die folgenden Aspekte relevant: Beteiligt sind zwei Kollektive, die Zündkerzen und die Zündkabel, die beide als geordnete Mengen modelliert werden sollten (bei genauer Betrachtung der Darstellung des Motors (vgl. Abb. 5.1) fällt auch auf, daß die Kabel durch unterschiedliche Länge bereits eine gewisse Zuordnung zu Positionen von Zündkerzen auf dem Motorblock haben; dennoch ist sie allein wohl nicht ausreichend, um einen Anschluß eines Kabels an eine falsche Stelle zu verhindern).

„Nicht–Durcheinanderbringen“ bedeutet nun, folgende Bedingungen zu erfüllen:

- Es sind paarweise Kabel und Zündkerzen miteinander in Verbindung gebracht.
- Dabei ist genau eine Zuordnung korrekt.

„Durcheinandergebracht“ sind die Kabel dann, wenn eine andere Zuordnung vorgenommen wurde. Das Verknüpfen von Kabeln und Zündkerzen sorgt für „lokales Funktionieren“: Der Impuls kann zur Zündkerze geleitet werden. Sichergestellt werden muß hier allerdings ein „globales“ Funktionieren des gesamten Kollektivs. Dazu ist die richtige Abfolge der Zündzeitpunkte notwendig; dies wiederum wird nur gewährleistet durch die richtige Zuordnung der Kabel.

Wahl der Abstraktionsebene Eine Anforderung an die Wissensrepräsentation ist, daß für korrespondierende, aber strukturell wie lexikalisch sehr unterschiedliche Sätze wie *„Die Zündkerzenbasis von jeglichem Schmutz befreien“* vs. *„Clean any dirt from around the spark plug base“* eine gemeinsame Repräsentation des propositionalen Gehalts gefunden werden kann. Diese Darstellung wird in etwa eine Aktion beschreiben wie „Entfernen von Schmutz (= eine nicht an ihrem üblichen Ort befindliche Substanz) von einer Lokation“. Der Lexikalisierung (vgl. 7.4) fällt dann die Aufgabe zu, aus der Fülle der sprachlichen Ausdrucksformen — zu denen u.a. auch *„Die Zündkerzenbasis gründlich reinigen“*, *„Jeglichen Schmutz von der Zündkerzenbasis entfernen“* gehören — geeignet auszuwählen.

Endzustände von Aktionen Formulierungen wie *„wenn die Zündkerze am Zylinderkopf aufsitzt“* und *„bis zum Anschlag drehen“* geben Anlaß zu einer Modellierung, welche Aktionen gewisse Endzustände zuordnet. Das Füllen eines Behälters ist spätestens dann zu beenden, wenn er voll ist, und analog ist das Festigen einer Schraubverbindung dann abzubrechen, wenn klarer Widerstand spürbar wird, die zu verbindenden Teile also fest aneinander sitzen. Beide zitierte Ausdrücke beschreiben einen solchen Zustand, unterscheiden sich jedoch, weil von unterschiedlichen Verbindungstypen die Rede ist: Insbesondere bei Schraub*deckeln* kann das Erreichen des Endzustands durch *„bis zum Anschlag“* ausgedrückt werden, während man bei *einzuschraubenden* Objekten allgemein (wie Zündkerzen) u.a. von *„aufsitzen (am aufnehmenden Objekt)“* sprechen kann.

6.2.2 Modellierungsfragen: Flüssigkeiten und Behälter

Für die Modellierung unter objektorientierten Prinzipien sind Abstraktion und Spezialisierung zentral. An folgendem Beispiel wird dies noch einmal deutlich: Im Kfz sind eine ganze Reihe von Behältern für unterschiedliche *Flüssigkeiten* (z.B. Motoröl, Kühlflüssigkeit, Getriebeöl, aber auch Scheibenwaschmittel und — nicht zu vergessen — Treibstoff). Damit haben wir zumindest zwei Objektklassen, nämlich die Flüssigkeiten und ihre *Behältnisse*, zu modellieren. Für alle Behältnisse gilt, daß sie eine bestimmte Flüssigkeit in einer bestimmten Menge aufnehmen können. Dafür ist dann eine Einfüllmöglichkeit vorhanden. Für die Flüssigkeiten gilt, daß sie eine bestimmte Funktion zu erfüllen haben.

Es gibt natürlich auch Unterschiede. Einige der Flüssigkeiten sind, wenn man so will, *„Verbrauchsstoffe“* in dem Sinne, daß sie durch den Betrieb kontinuierlich schwinden (z.B. Kraftstoff oder Waschanlagenflüssigkeit). Andere Substanzen nehmen im Normalfall (d.h. wenn keine undichten Behältnisse oder Leitungen vorliegen) zwar nicht an Menge ab, verlieren aber durch den Betrieb bestimmte Eigenschaften, die sie zur Aufrechterhaltung ihrer Funktion benötigen (z.B. Getriebeöl, Bremsflüssigkeit u.ä.). Schließlich gibt es auch Mischformen aus beiden, bei denen sowohl ein (meist geringer) Volumenverlust wie auch ein Verlust an Funktionsfähigkeit der Substanz eintritt (z.B. Motoröl).

Diese drei Ausprägungen (Verbrauchstyp, Verschleißtyp und gemischter Verbrauchs–Verschleißtyp) werden in der Modellierung (vgl. Abb. 6.1) unterschieden, da sich daraus Konsequenzen für die mit den Flüssigkeiten und ihren Behältnissen möglichen und nötigen Aktionen ergeben. Für Flüssigkeiten vom Verbrauchstyp sind lediglich die Aktionen des Prüfens des Flüssigkeitsstands und des Ergänzens sinnvoll. Für die Flüssigkeiten vom Verschleißtyp sind in bestimmten Zeitabständen Austauschaktionen durchzuführen und für die gemischten sowohl Prüfen, Ergänzen wie (gelegentlich) Austauschen. Für die Behältnisse ergeben sich entsprechende Konsequenzen. Wann immer der Flüssigkeitsstand kontrolliert werden muß, sind entsprechende Möglichkeiten vorzusehen. Das kann entweder durch einen Klarsichtbehälter mit einfachen Strichmarkierungen für minimale oder maximale Werte geschehen oder

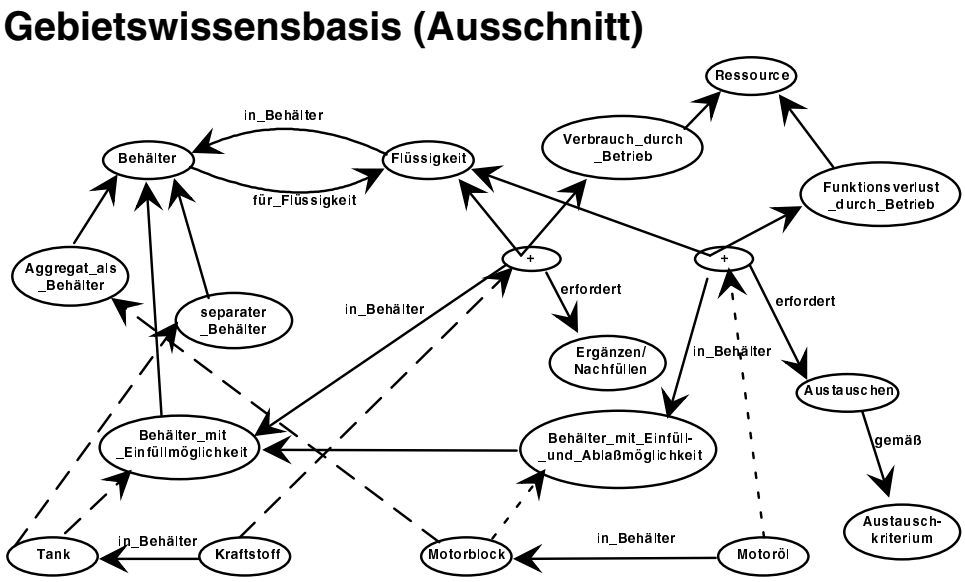

Abbildung 6.1: Ausschnitt aus der Modellierung

durch Meßstäbe oder Anzeigevorrichtungen. Wenn ein Austausch vorgesehen ist, muß der Flüssigkeitsbehälter entsprechende Möglichkeiten für das Ablassen der verbrauchten Flüssigkeiten vorsehen (z.B. Ablaßschraube für Motoröl).[1]

Aktionstyp Austausch Aktionen vom Typ Austausch (Wechsel, Ersatz) finden sich auch für andere Teile, nicht nur für die Flüssigkeiten. Eine abstrakte Modellierung wird u.a. folgendes zu berücksichtigen haben: Zunächst gibt es einen Handelnden, typischerweise den Fahrzeugbesitzer oder einen von ihm Beauftragten. Wichtiger sind aber das betrachtete Bauteil beziehungsweise die betrachtete Substanz. Für diese gilt normalerweise eine Vorbedingung: Es liegt ein Defekt oder eine Funktionsminderung vor (z.B. aufgrund von Verschleiß), oder der Austausch erfolgt vorbeugend. Der Zweck des Austauschs ist dann die Wiederherstellung einer defekten oder beeinträchtigten Funktion. Schließlich kann der Zweck des Austauschs auch darin bestehen, ein Teil bzw. eine Substanz durch eines zu ersetzen, das für geänderte Rahmenbedingungen besser geeignet ist (m.a.W.: die gewünschte Funktion eher garantiert). Beispiele sind der Wechsel von Sommer- auf Winterreifen und umgekehrt oder der Austausch von Motoröl gegen ein für den aktuellen Temperatur-

[1] Abb. 6.1 zeigt einen Ausschnitt aus der Modellierung. Dabei gilt: Durchgezogene Pfeile ohne Beschriftung stehen für Teilmengen–Beziehungen, sonst für die durch die Beschriftung benannte Beziehung. Unterbrochene Pfeile stehen für Element–Beziehungen zwischen Instanz und Konzept. Das '+' ist eine Abkürzung für eine Schnittbildung zwischen Konzepten.

bereich besser geeignetes.

Für Motoröl muß damit modelliert werden: Motoröl gehört zu den Verschleißteilen bzw. -substanzen. Es sollte u.a. ein Attribut haben „auszutauschen nach soundsoviel Kilometern und/oder soundsoviel Monaten“, ggf. sollte zusätzlich vermerkt werden, welche extremen Benutzungsbedingungen (z.B. Betrieb in staubigem Gelände oder ständiger Bergfahrbetrieb u.ä.) diese Intervalle verkürzen.

6.2.3 Modellierungsfragen am Beispieltext „Ölwechsel“

Ablassen einer Flüssigkeit ist eine Möglichkeit, sie aus Behältern zu entfernen. Andere Möglichkeiten wären etwa *Abpumpen* oder *Ausgießen*. Für diese müssen jeweils unterschiedliche Voraussetzungen erfüllt sein. Für *Ausgießen* muß der Flüssigkeitsbehälter selbst so bewegt werden können, daß die Flüssigkeit durch eine Öffnung (z.B. die Einfüllöffnung) ihren Weg finden kann. *Abpumpen* setzt eine entsprechende Gerätschaft voraus. *Ablassen* schließlich setzt voraus, daß sich im unteren Teil oder am Boden des Flüssigkeitsbehälters eine Ablaßvorrichtung befindet, so daß dann nach Öffnen dieser Ablaßvorrichtung die Flüssigkeit aufgrund der Schwerkraft den Behälter verläßt.

Nicht nur, weil Motoröl eine wenig umweltfreundliche Substanz ist, sondern auch, weil man in Arbeitsumgebungen Flüssigkeiten nicht leichtfertig verschüttet, sollte vor dem Ablassen ein Auffanggefäß mit entsprechendem Volumen unter die Ablaßschraube gestellt werden. Auch diese Durchführungsbedingung ist in das Konzept *Ablassen einer Flüssigkeit aus einem Behälter* mit aufzunehmen.

Teilschritt „Entfernen“

Jede Austauschaktion — und Ölwechsel ist eine solche — besteht aus mindestens den beiden Teilaktionen „Entfernen der alten Substanz bzw. des alten Teils“ und „Einfüllen der neuen Substanz bzw. Anbringen des neuen Teils“. Der zweite Satz im Text (vgl. Abb. 5.8) beschreibt die erforderlichen Schritte der Teilaktion „Entfernen“ für den Ölwechsel. Unter dieser Perspektive kann der gesamte Motorblock gesehen werden als ein Behälter mit Einfüll- und Ablaßmöglichkeit. Die Teile Motoröleinfülldeckel und Ablaßschraube haben jeweils eine doppelte Funktion: Einerseits erlauben sie, in geöffnetem Zustand (die Schraubverbindung ist gelöst, das Teil zur Seite gelegt) Öl einzufüllen bzw. abzulassen. Ihre andere Funktion besteht darin, während des Betriebs das Auslaufen bzw. Herausspritzen von Öl zu verhindern; diese können sie nur gewährleisten, wenn sie hinreichend dicht verschraubt sind.

Die Reihenfolge beim Entfernen von Deckel und Ablaßschraube ist hier unkritisch. Zentral ist das Entfernen der Ablaßschraube. Der Deckel wird lediglich entfernt, um das Eindringen von Luft zu erleichtern und so den Ablaßvorgang zu beschleunigen.

Hinweise

Im Text folgt der Hinweis:

VORSICHT: *[Bei heißem Motor]$_{3a}$ [ist auch das Öl heiß]$_{3b}$;[geben Sie acht]$_{4a}$, damit [Sie sich nicht verbrennen]$_{4b}$.*

Der erste Halbsatz trifft eine allgemeine faktische Aussage, dem schließt sich eine Empfehlung an, die der Leser vor dem gegebenen Hintergrund interpretieren soll. Vom Leser wird allerdings keine spezielle Aktivität gefordert, konkret benannt ist nur das Ergebnis, das erreicht werden soll, nämlich Vermeiden von Verbrennungen als unerwünschter Seiteneffekt des Hantierens mit heißen Gegenständen und Substanzen. Das *„Geben Sie acht, ... “* kann also paraphrasiert werden als *„Führen Sie die vorgeschlagenen Arbeiten auf eine solche Art und Weise aus, daß Sie alle solchen Ereignisse vermeiden, die als Ergebnis bei Ihnen zu Verbrennungen führen können (z.B. direkten Kontakt mit heißem Öl oder längeres Berühren des heißen Motors).“*

6.2.4 Modellierungsfragen am Beispieltext „Motoröl“

Zur Analyse des Abschnitts „Kontrollieren“

[Den Motorölstand [bei ausgeschalteter Zündung]$_{1b}$ und [auf ebenem Boden abgestellten Wagen]$_{1c}$ kontrollieren]$_{1a}$.

Bei einer stärker formalisierten Form der Präsentation könnte diese Empfehlung auch gegeben werden als:

Vorbedingung(en): Zündung ausgeschaltet, Wagen steht auf ebenem Boden

Abstrahiert: Bevor die Aktion, die Thema des Abschnitts ist (hier: Kontrollieren), durchgeführt werden kann, müssen als Vorbedingungen bestimmte Zustände erreicht sein.

Beide hier genannte Zustände sind charakterisierbar über räumliche Beziehungen:

- der Motor muß ausgeschaltet sein, was gewährleistet ist, wenn die Zündung ausgeschaltet ist (s. dt. Textvariante). Letzteres wiederum läßt sich herbeiführen, wenn man den Zündschlüssel in die Stellung „OFF“ bringt (s. engl. Textvariante);
- der Wagen muß auf ebenem Grund stehen.

Nicht expliziert werden die Begründungen für die Vorbedingungen. Beide sind motiviert durch das Ziel, die Kontrollaktion korrekt durchführen zu können. Damit die Messung aussagekräftig wird (d.h. damit der Ölstand auf dem Meßstab zutreffend abgelesen werden kann), darf nämlich weder Öl in einem laufenden Motor in größerem Umfang benutzt werden, noch sollte der Ölstand durch eine „Schieflage“ des Fahrzeugs verfälscht werden. Das System muß sich bezüglich dieser Parameter also in einem Zustand befinden, wie er bei der Eichung des Meßinstruments vorausgesetzt wurde.

[Den Tauchmeßstab herausziehen]$_{2a}$, [abwischen]$_{2b}$, [wieder einführen]$_{2c}$, [herausziehen]$_{2d}$ und [den Ölstand ablesen]$_{2e}$.

Die Einzelschritte des Meßvorgangs sind von kurzer Dauer und folgen unmittelbar aufeinander, was hier durch die koordinierte Struktur des Satzes unterstrichen wird. Für einige Aspekte der Durchführung werden keine expliziten Angaben gemacht: So etwa dazu, ob für das Herausziehen des Meßstabs ein Werkzeug erforderlich ist oder womit das Abwischen erfolgen sollte. Explizit — und sogar in einem eigenen Satz — gegeben wird allerdings die für einen Kontrollvorgang zentrale Information über das Kontrollkriterium, hier in „positiver" Form als Angabe zum wünschenswerten Meßergebnis (Sollwert):

[Der Ölstand sollte sich zwischen der oberen und unteren Pegelmarke befinden].

'Unscharfe' Mengen Im Abschnitt 'Motoröl' taucht die Passage *„wenn der Ölstand fast bis zur unteren Pegelmarke abgesunken ist, ..."* auf. Eine sorgfältige Modellierung derartiger Zustandsbeschreibungen könnte durch die Verwendung von „unscharfen Mengen" (fuzzy sets, [Zadeh 1976]) erfolgen, mit der sich auch andere ähnlich undeutliche Angaben von Füllständen beschreiben ließen wie *„fast voll"* oder *„unterhalb der MIN–Marke, aber noch sichtbar"*. Eine weniger anspruchsvolle Lösung besteht darin, die in der untersuchten Domäne wirklich relevanten Zustandsausprägungen zu ermitteln und als endliche Menge diskreter Zustände zu behandeln; ein Flüssigkeitsbehälter nimmt dann unter der Rolle 'Füllstand' einen der in dieser Menge enthaltenen Werte (z.B. leer, untere_marke, fast_untere_marke, zwischen_marken, obere_marke, überfüllt) an. Man bildet somit eine künstliche Skala, die gerade diejenigen Werte enthält, die benötigt werden.

Kognitive Aktionen

Der betrachtete Abschnitt macht deutlich, daß zwei unterschiedliche Typen von Aktionen relevant sind:

- Aktionen, die (überwiegend) in der *physischen Realität* durchgeführt werden, d.h. solche, die Objekte und ihre Eigenschaften (wie Position, Temperatur, Verbindungszustand u.ä.) verändern;
- Aktionen, die (überwiegend) als *kognitive Prozesse* aufzufassen sind und die beschrieben werden können als Manipulationen an den Inhalten mentaler Modelle.

Beispiele für diese zweite Kategorie sind „Kontrollieren des Motorölstands", „Ablesen des Ölstands", „Nachkontrollieren des Ölstands".

Für die „physischen Aktionen“ wurden bereits die relevanten Beschreibungselemente herausgearbeitet: Vorbedingungen, beteiligte Instrumente, Nachbedingungen, ggf. Angaben zur Art und Weise der Durchführung.

Welche Möglichkeiten gibt es nun zur Darstellung „kognitiver Aktionen“? In einer an Schanks ‘conceptual dependency theory’ [Schank, Abelson 1977] orientierten Repräsentation würde dem *„Ölstand ablesen“* (englisch: *‘read the level’*) eine konzeptuelle Struktur zugeordnet, die in etwa folgendes ausdrückt: Eine Person richtet ein Wahrnehmungsorgan auf einen Ort, an dem etwas wahrgenommen werden soll. Die Information wird vom Wahrnehmungsorgan (hier: Auge) in das verarbeitende Organ des Zentralnervensystems weitergeleitet. Dort findet ein Auswertungsvorgang statt. Die durch die Interpretation der sensorischen Daten kreierte Information kann dann für andere mentale Prozesse relevant werden, z.B. Ablegen im Langzeitgedächtnis, Mitteilen an andere, Niederschreiben.

Messungen und Meßergebnisse Die Granularität einer solchen Repräsentation ist für unsere Zwecke zu hoch. In einer weniger feinkörnigen Darstellung bleibt aber folgendes relevant: Beim Umgang mit technischen Gerätschaften spielen Messungen und Anzeigen von Meßergebnissen eine wichtige Rolle. Für eine Modellierung relevant sind:

- zu messende Größe,
- Meßverfahren und
- Anzeige des Meßergebnisses.

Für jedes dieser Elemente sind Feinklassifikationen möglich. Die zu messende Größe kann in unterschiedlichen Einheiten beschrieben werden. Das Meßverfahren kann mehr oder weniger direkt sein. Die Meßinstrumente können analog oder digital sein und ihre Meßergebnisse in absoluten oder relativen Größen angeben.

Zusätzlich lassen sich die folgenden relevanten Aktionen ansetzen:

- Wenn ein Meßinstrument (zumindest während des Betriebs) nicht dauernd aktiv ist (z.B. Geschwindigkeitsanzeige), muß es ggf. *aktiviert* werden (z.B. Luftdruckmeßgerät zum Reifen bringen, Reifenventil entsprechend vorbereiten).
- Ein vom Meßinstrument angezeigtes Meßergebnis muß *abgelesen* werden, was sowohl die Wahrnehmung (ggf. auch über andere Kanäle: akustisch, haptisch usw. möglich) und die Interpretation umfaßt. Dazu ist es notwendig, daß Interpretationskriterien bereitstehen, hier z.B. die Angabe, zwischen welchen Werten der auf dem Meßstab abgelesene Ölstand sich befinden soll.
- Oft ergibt sich aus dem tatsächlichen Wert im Vergleich zum Kriterium dann eine *Handlungsnotwendigkeit.*

Kontrollieren Eine Abstraktion ist die folgende: Für den Betrieb eines technischen Geräts ist die Verfügbarkeit bestimmter Ressourcen notwendig. Solche Ressourcen lassen sich durch physikalische Werte charakterisieren. Kontrollieren (englisch: check) läßt sich dann modellieren als eine Aktion mit dem Ziel, sicherzustellen, daß eine relevante Ressource den für den Betrieb notwendigen Wert auch tatsächlich erfüllt. Bei einem negativen Resultat einer Kontrolle (der Wert liegt nicht in dem gewünschten Bereich) sind verschiedene Folgeaktionen möglich: Aktionen, die dafür sorgen, daß der gewünschte Wert hergestellt wird (z.B. Nachfüllaktion) oder Aktionen, bei denen die Ursache für das Nicht–Vorliegen des gewünschten Wertes festgestellt werden soll (z.B. Überprüfen eines Flüssigkeitsbehälters auf Undichtigkeit oder andere mögliche Gründe für den Ressourcen–Verlust).

Innerhalb eines Kontrollvorgangs ist die Teilaktion „Ablesen des Meßinstruments und Abgleich des Wertes mit dem Meßkriterium“ zentral.

Der Vorsichtshinweis (deutsch: *„Vor Anlassen des Motors unbedingt nachprüfen, ...“*; englisch: *'Be sure ... before starting engine.'*) zeigt die Notwendigkeit, die obige Klassifikation von Kontrollaktionen noch weiter zu verallgemeinern. Der Leser wird aufgefordert, vor einer Aktion (hier: Inbetriebnahme des Motors) durch eine Kontrolle sicherzustellen, daß ein bestimmter Zustand vorliegt (hier: Öleinfülldeckel ist richtig angebracht). Es ist offensichtlich, daß „Vorliegen eines bestimmten Zustands“ als Abstraktion von „Vorliegen eines Meßwerts bezüglich einer Ressource“ gesehen werden kann. Auf welche Weise die hier empfohlene Überprüfung tatsächlich stattfindet, kann sehr unterschiedlich sein (Sichtprüfung, mechanische Prüfung — wie z.B. Rütteln — u.ä.). und wird in diesem Text nicht expliziert.

Zur Analyse des Abschnitts „Nachfüllen“

Ausgangspunkt ist das Vorliegen einer Situation, die nicht mehr mit dem Meßkriterium konform geht und die deshalb Aktionen erforderlich macht.

> *Falls [der Ölstand fast bis zur unteren Pegelmarke abgesunken ist]$_{4a}$, [Öl bis zur oberen Pegelmarke nachfüllen]$_{4b}$.*

Die Bedingung (*Ölstand fast bis zur unteren Pegelmarke abgesunken*) deckt nicht alle möglichen Fälle des Meßergebnisses ab, sondern wohl nur die wahrscheinlichste Abweichung, die dann ein Handeln erfordert. Weder wird etwas dazu gesagt, was zu tun ist, falls der Pegelstand sich oberhalb der oberen Pegelmarke befindet (möglicher Hinweis auf irgendwelche Beschädigungen, die zum Eindringen anderer Flüssigkeiten in den Ölbehälter führen?), noch, welche Aktion durchzuführen ist, falls der Ölstand unter die untere Pegelmarke abgesunken ist (möglicher Hinweis auf Undichtigkeit, die zu Ölverlust führt?).

Der Antezedenz sollte daher nicht strikt im wörtlichen Sinne interpretiert werden. Es ergäbe sich sonst keine Handlungsanweisung für den Fall, daß der Ölstand genau zur unteren Pegelmarke oder gar leicht unter sie abgefallen ist; beides Fälle, bei denen

(insbesondere wenn die letzte Kontrolle länger her ist) ebenfalls Öl bis zur oberen Pegelmarke nachzufüllen ist. Dieser Schluß, der allein durch streng logisches Ableiten nicht zu erhalten ist, wird dem Leser überlassen.

Für die Planung von Texten können daraus Anregungen abgeleitet werden: Wir haben oben Kontrollvorgänge dadurch charakterisiert, daß ein Vergleich eines Meßwerts mit einem Meßkriterium vorgenommen wird. Für die möglichen Abweichungen vom Meßkriterium sollten dann Handlungsanweisungen gegeben werden. Im obigen Beispiel geschieht dies aber nur für einen Teil der theoretisch möglichen Meßergebnisse. Die Gründe hierfür könnten sein:

- ein theoretisch mögliches Meßergebnis ist in der Praxis nicht möglich;
- ein Meßergebnis ist zwar möglich, aber sehr unwahrscheinlich;
- ein mögliches Ergebnis wird im Hinblick auf notwendige Folgehandlungen durch ein explizit genanntes anderes subsumiert.

Hier wird ein generelles Problem berührt: die vollständige Benennung aller Alternativen könnte in eine Form von Überpräzision umschlagen, die den anderen Anforderungen an die Textqualität (z.B. schnelle Lesbarkeit, gute Verständlichkeit) zuwiderläuft.

6.3 Grundlegende Unterscheidungen

Was sind grundlegende Unterscheidungen (ontologische Kategorien), um eine Repräsentation vom Textinhalten zu organisieren?

Jackendoff ([Jackendoff 1991], S. 22) schlägt hierfür z.B. vor: *' ... the essential units of conceptual structure are conceptual constituents, each of which belongs to a small set of major ontological categories (or conceptual 'parts of speech') such as Thing, Event, State, Action, Place, Path, Property, and Amount.'*

Orientiert man sich — wie wir im folgenden — bei der Wissensrepräsentation am 'upper model' von PENMAN, so ist die grundlegende Unterteilung die in Objekte, Prozesse und Eigenschaften.

6.3.1 Objekte

An *konkreten Objekten* werden im Beispieltext „Ölwechsel“ (s. Abb. 5.8) explizit erwähnt: der Motor, der Motoröleinfülldeckel, die Ablaßschraube, das Öl, eine (neue) Dichtungsscheibe, der Tauchmeßstab, der Filter.

Einen anderen Typ von „Objekten“ bezeichnen die folgenden Nominalphrasen: der Stand (des Öls), die obere Marke (am Tauchmeßstab), die Motorölwechselmenge.

Hier werden Größen bezeichnet, die durch Messung oder Vergleich bestimmt werden können: der Stand oder die Füllhöhe einer Flüssigkeit in einem Behälter kann z.B. auf einer Skala oder einem Meßstab abgelesen werden; die Motorölwechselmenge ist ein Volumen.

6.3.2 Zur Modellierung von Aktionen

Statische vs. dynamische Sicht

Bei der Modellierung von Aktionen (oder in systemisch–funktionaler Terminologie: Prozessen) sind in verschiedenen Programmsystemen unterschiedliche Sichten vorherrschend (siehe auch [Kemke 1988]). Eine eher *statische Sicht* auf Aktionen beschreibt diese durch ihre obligatorischen und fakultativen Rollen und durch Restriktionen für die Füller der Rollen. Die eher *dynamische Sicht* modelliert, welche Vorbedingungen für die Durchführbarkeit einer Aktion gelten müssen und welche Nachbedingungen nach erfolgter Durchführung gelten.

Die statische Sicht ist wichtig für die Sprachverarbeitung, weil beispielsweise Restriktionen für Rollenfüller in der Lexikalisierung und in der lexikalischen Semantik relevant sind (vgl. 7.4.3). Die dynamische Sicht ist für Aufgaben der Planung und Simulation (vgl. 7.5) relevant.

Ein Beispiel: Um zu modellieren, daß eine Flüssigkeit aus einem Behälter abgelassen wird, werden bei der statischen Sicht Rollen wie 'ACTEE: Typbeschränkung: Flüssigkeit', 'SOURCE: Typbeschränkung: Behälter', 'ACTOR: Typbeschränkung: Person' definiert. Für eine dynamische Modellierung könnte als Vorbedingung das Vorliegen des Prädikats 'ENTHALTEN–IN' für die Argumente 'Flüssigkeit' und 'Behälter' verlangt werden; Nachbedingungen nach erfolgtem Ablassen könnten sein, daß für den Behälter das Prädikat 'LEER' gilt und 'ENTHALTEN–IN' für Flüssigkeit und Behälter nicht mehr erfüllt ist.

Hier ist eine Fülle weiterer Detaillierungen möglich. Eine Verfeinerung bezüglich der Vorbedingungen könnte sein:

- 'Im Behälter ist eine gewisse Menge von Flüssigkeit vorhanden.'
- 'Der Behälter besitzt eine Ablaßmöglichkeit (z.B. Ablaßschraube).'
- 'Ein Auffanggefäß mit ausreichendem Fassungsvermögen ist vorhanden und kann unter die Ablaßöffnung plaziert werden.'

Nachbedingungen:

- 'Die Flüssigkeit befindet sich vollständig im Auffanggefäß.'

Auch diese wesentlich detailliertere Darstellung deckt noch nicht alle Aspekte ab. So sind z.B. noch nicht die Fragen berücksichtigt, ob die Flüssigkeit eventuell unter Druck steht, welche Temperatur sie hat und ob es sich um eine Flüssigkeit handelt, die für das Auffanggefäß bestimmte Materialeigenschaften voraussetzt (z.B. Säurebeständigkeit u.ä.).

Komplexe und elementare Prozesse

Bei den in den Instruktionstexten behandelten Arbeitsschritten lassen sich komplexe und elementare Prozesse unterscheiden. *Komplexe Prozesse* können „auf natürliche

Weise“ in Teilprozesse zerlegt werden. Außerdem erstreckt sich ihre Durchführung eher über einen längeren Zeitraum. Im Gegensatz dazu ist bei (für die jeweilige Betrachtungsweise) *elementaren Aktionen* eine Unterteilung in Teilaktionen nicht sinnvoll. Einen Sonderfall stellen solche Aktionen dar, bei denen zwar keine Teilaktionen sinnvoll anzusetzen sind, die aber für ihre Durchführung einen längeren Zeitraum beanspruchen.

Beispiele für elementare Aktionen von kurzer Dauer:

- Motoröleinfülldeckel entfernen
- Ablaßschraube entfernen
- Die Ablaßschraube (mit einer neuen Dichtungsscheibe) anbringen
- Den Motor anlassen

Beispiele für elementare Aktionen mit zeitlicher Ausdehnung:

- Öl ablassen (wg. Wartezeit bis zum vollständigen Auslaufen)
- den Motor (mit dem empfohlenen Öl) auffüllen (wg. Zeitdauer bis zum Erreichen des Füllstandes)

Beispiele für komplexe Aktionen:

- Motor warmlaufen lassen
- sichergehen, daß kein Öl an der Ablaßschraube ausläuft

Die Klassifikation nach Vendler

Einen anderen Zugang zur Klassifikation der Prozesse bietet Vendlers Unterteilung [Vendler 1967] in *stative, achievement, accomplishment* und *activity*:

Die elementaren Aktionen von kurzer Dauer können als „achievements“ („*... can be predicated only for single moments of time*“, [Vendler 1967], S. 102) gesehen werden. Die elementaren Aktionen mit zeitlicher Ausdehnung und Erreichen eines Endzustands als Ergebnis sind als „accomplishments“ zu sehen („*... may go on for atime, but it takes a certain time*“, [Vendler 1967], S. 101). So hat „Öl ablassen“ ein „natürliches“ Ende, da das Volumen des Behälters beschränkt ist. Auch die komplexe Aktion „Motor warmlaufen lassen“ ist „accomplishment“ (Resultat „Motor warm“ wird erreicht).

6.3.3 Eigenschaften

An Eigenschaften werden im Beispieltext „Ölwechsel“ genannt:

- Temperaturwerte: warm (für Motor nach Warmlaufen), heiß (für Motor und Öl),

- relative Eigenschaften: neu (für Dichtungsscheibe), empfohlen (für Öl), obere (für Marke auf dem Meßstab)

Relative Eigenschaften definieren sich im Hinblick auf Bezugsgrößen. Hier sind dies der Bezug auf den Austauschvorgang („neu“ im Gegensatz zum bisherigen, nun zu entfernenden Teil), der Bezug auf die Parameter der Verwendung (für andere Motoren sind andere Ölsorten empfohlen), der räumliche Bezug (auf die anderen Markierungen und den Meßstab).

6.4 Probleme der Wissensrepräsentation

6.4.1 Algebraische vs. analoge Repräsentation

Es gibt Grenzen dessen, was mit einer auf Attribut–/Wert–Paaren basierenden (und damit algebraischen) semantischen Repräsentation — wie sie auch in dieser Arbeit verwendet wird, vgl. 6.5 — dargestellt werden kann. Jackendoff [Jackendoff 1991] diskutiert einige davon anhand der Frage, inwieweit sich die konzeptuellen Strukturen in den lexikalischen Einträgen für *Gans* und *Ente* unterscheiden können und müssen. Beide Strukturen könnten features wie [+ belebt] und [- menschlich] enthalten sowie Hinweise auf die Eigenschaft, Vogel oder Wassertier zu sein. Die Einführung weiterer binärer Merkmale zur Darstellung des unterschiedlichen Aussehens hält Jackendoff aber für wenig hilfreich bis lächerlich ('patently ridiculous'). So etwa, wenn ein Merkmal [+/- long-neck] eingeführt werden sollte. Die Unterscheidung zwischen *Stuhl* und *Hocker* wirft ähnliche Probleme auf. Auch hier zweifelt Jackendoff, ob ein feature [+/- has-a-back] eine sinnvolle Vorgehensweise ist. Sein Lösungsvorschlag besteht darin, daß:

> *'The lexical entry for a physical object word includes a 3D model representation in addition to its phonological, syntactic and conceptual structures. The 3D model in fact plays a role sometimes assigned to an 'image of a stereo–typical instance', except that it is much more highly structured along the lines suggested by Marr and includes parameters of variation among instances. The distinctions between duck and goose and between chair and stool, then, can appear in the 3D model instead of conceptual structure.'* ([Jackendoff 1991], Seite 33)

Auf eine analoge Problematik für bestimmte Verben weist Jackendoff ebenfalls hin. Auch hier sieht er vergleichbare Schwierigkeiten, wenn zum Beispiel versucht werden soll, feine Bedeutungsunterschiede in (algebraischen) Merkmalstrukturen widerzuspiegeln, so etwa die Unterschiede für die Bewegungsverben im folgenden Beispiel:

1a) Billy wiggled
1b) Debbie danced

1c) The top spun
1d) The flag waved

Er greift hier einen Vorschlag von Peterson [Peterson 1985] auf, der eine allgemeine ontologische Kategorie der „natürlichen Aktionen“ vorschlägt, eine Parallele zur Klasse der 'natural kinds'. *'Like natural kinds, natural actions are difficult to describe in words, but easy to point out (or in the case of natural actions, demonstrate)'.* Auch hierfür schlägt Jackendoff als ergänzende analoge Repräsentation ein geometrisches Format vor, eine geeignete Ausweitung der von [Marr, Vaina 1982] für die Repräsentation bei der visuellen Verarbeitung vorgeschlagenen 3D–Modelle und folgert: *'If this is the case, visual distinctions of 'manner of motion' (or at least a great many of them) are not the business of conceptual structure at all; conceptual structure has to encode primarily an appropriate argument structure, linked in the lexicon to a more detailed spatial structure encoding'* ([Jackendoff 1991], Seite 88).

6.4.2 Zum Problem der Modellierungstiefe

Die Frage nach der Feinkörnigkeit der Modellierung stellt sich auch in anderen Projekten. Ein Beispiel: Im IDAS–Projekt (Intelligent Document Advisory System [Levine et al. 1991]) wird die Wissensbasis ausschließlich für die Zwecke der natürlichsprachlichen Generierung und nicht für allgemeines Schlußfolgern genutzt: *'Accordingly most of the entities and information it contains are things that might be lexicalized, or otherwise talked about.'* ([Levine et al. 1991]), S. 5)

Das Anwendungsgebiet von IDAS ist die Unterstützung bei der Wartung und Handhabung von automatischen Testvorrichtungen (automatic test equipment, kurz ATE). Information, die ein Benutzer in diesem Zusammenhang nie braucht (z.B. das interne Schaltdiagramm eines Teils), wird nicht im Detail modelliert; ebensowenig wird z.B. die Aktion des Drückens eines bestimmten Buchstabens auf der Tastatur modelliert, weil Hinweise des Systems immer auf einem höheren Niveau gegeben werden, z.B. in Form von *„Tippen Sie 'RUN'“*, aber nie in Form von *„Tippen Sie die 'R'-, 'U'- und 'N'–Taste in dieser Reihenfolge“*.

Für einige Aktionen und andere Größen sind in der Wissensbasis von IDAS Ausdrucksformen direkt als vorgefertigte Textstücke abgelegt. Die Begründung dafür: *'If a piece of information is not referenced often and is difficult to represent, we deem it acceptable to enter a canned text realization for that information instead of a proper KB structure.'* (S. 5, a.a.o.).

Ein Beispiel hierfür: *'Mount the ITA against the test head with the four lugs of the ITA resting in the four hooked receptacles of the test head.'* Für diese Aktion wird repräsentiert, daß es sich um eine MOUNT–Aktion handelt mit dem :ACTEE 'ITA' und der :LOCATION 'TEST HEAD'. Die Art und Weise der Durchführung (:MANNER) ist als feststehendes Textstück (*'with the four lugs of the ITA resting in the four hooked receptacles of the test head'*) abgelegt. Dieser Ausweg wird gewählt, weil es

sowohl als sehr aufwendig angesehen wird, diesen Modifikator für die Art und Weise der Durchführung in der Wissensbasis darzustellen, als auch deshalb, weil die IDAS–Entwickler es als unwahrscheinlich ansehen, daß die Art und Weise der Durchführung dieser Aktion signifikant durch Aufgabe, Benutzer–Expertise oder Diskurs–Aspekte verändert werden wird. Nur dort, wo solche Anpassungen der generierten Texte möglich und nötig sind, wird im Detail modelliert.

6.4.3 Berücksichtigung unterschiedlicher Begriffssysteme

Kulturspezifische Unterschiede und daraus resultierende unterschiedliche Begriffssysteme (z.B. auf den Gebieten Recht, Wirtschaft und Sozialwissenschaften) machen es besonders schwierig, fachsprachliche Texte zu übersetzen. Für technische Texte wird oft stillschweigend angenommen, daß dort eine weitgehende interlinguale Begriffskongruenz vorliegt. An einer Reihe von Beispielen zeigt [Schmitt 1992], daß davon nicht ungeprüft ausgegangen werden kann und belegt durch Fundstellen mit fehlerhaften Humanübersetzungen die Problematik.

Ein Beispiel sind Übersetzungsprobleme beim Benennen von Stahlsorten. So ist das englische *'carbon steel'* mit *„Kohlenstoff-Stahl"* — wie in Wörterbüchern zu finden — nicht korrekt zu übersetzen. *„Das Problem besteht darin, daß das Begriffssystem der Stähle im Deutschen und Englischen unterschiedlich eingeteilt ist und es daher keine 'aus der Natur der Sache heraus identischen Begriffe der beiden Sprachen' gibt"* ([Schmitt 1992], S. 257). In jedem großen Land mit Stahlproduktion hat sich ein eigenes Bezeichnungssystem für Stahlsorten entwickelt. Im Deutschen gibt es z.B. die sog. DIN–Kurznamen wie *25CrMo4*. Aus diesen kann die Zusammensetzung des Stahls entnommen werden. Solche Bezeichnungen werden in technischen Spezifikationen verwendet, wo es auf präzise Kommunikation ankommt. Um auch international kommunizieren zu können, gibt es sog. Stoffnummern, wie z.B. 1.7218 und Nachschlagewerke (z.B. Stahlschlüssel), in denen ersichtlich ist, ob es für eine Stahlsorte mit einer bestimmten Stoffnummer in einer „Zielkultur" eine entsprechende national genormte Kurzbezeichnung gibt.

Für die Wissensrepräsentation ergibt sich aus dieser Sachlage die Konsequenz, zwischen der Repräsentation der Konzepte von Stahlsorten – die zum Beispiel durch die eindeutigen Stoff-Nummern identifiziert werden können – und den sprachspezifischen Benennungen zu trennen.

Nun mag man das System der Stahl–Klassifikation als Spezialgebiet ansehen. Schmitt gibt aber weitere Beispiele für Inkongruenz durch fehlende Entsprechungen in wesentlich alltäglicheren und auch für Benutzerhandbücher relevanten Zusammenhängen. Wo im Deutschen von *„Schrauben"* gesprochen wird, wird im englischen eine Differenzierung zwischen *'screw'* und *'bolt'* vorgenommen. Die Definition:

> '**bolts** *go through wholes in parts that are attached together and require a nut*'
> '**screws** *are turned into drilled or threaded holes in metal or other materials*'.

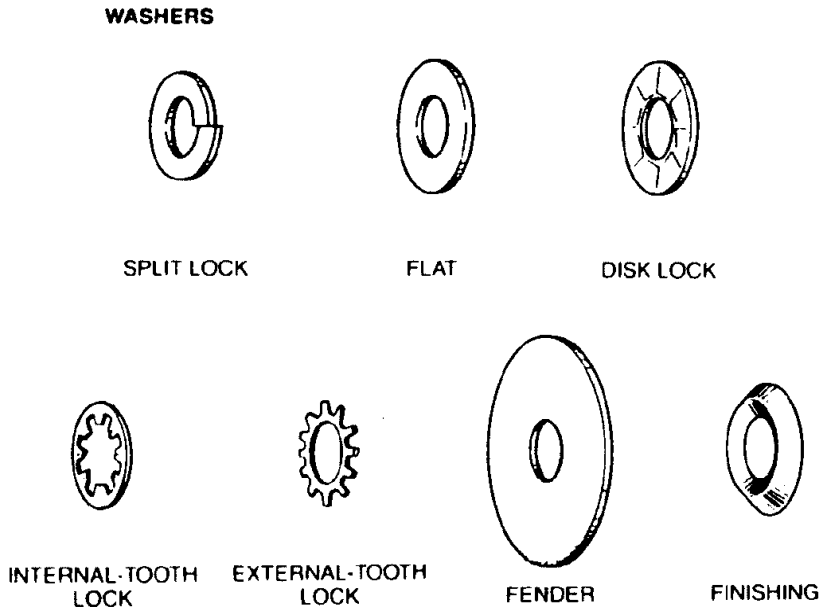

Abbildung 6.2: Eine englische Originaldarstellung ...

(zitiert nach [Schmitt 1992] aus Chilton's Easy Car Care). Auch wie man die Aktion bezeichnet, wenn eine Schraubverbindung hergestellt wird, variiert im Englischen abhängig vom Typ des verwendeten Befestigungselements. Also:

'**to screw:** *to fasten by means of a screw*'
'**to bolt:** *to fasten by means of a bolt*'

Den deutschen Satz

> *„Das Schutzblech [eines Fahrrades] ist mit den Hinterradstreben verschraubt."*

kann man also nur korrekt übersetzen, wenn man weiß, welche Art von Schraubverbindung vorliegt und sich dann für *'bolted'* oder *'screwed'* im Englischen entscheiden. Für die Wissensrepräsentation ist auch hier wiederum die Konsequenz, daß Befestigungsobjekte so detailliert modelliert werden müssen, daß diese Differenzierung dann bei der Lexikalisierung möglich ist.

Direkten Bezug zu unseren Beispieltexten hat das folgende wiederum in [Schmitt 1992] referierte Beispiel. In Wörterbüchern findet sich zum englischen Wort *'washer'* die deutsche Entsprechung *„[runde] Unterlegscheibe"*. *'Washer'* steht im Englischen gleichzeitig aber auch als Oberbegriff für z.B. *'plain washers'*, *'spring washers'*, *'lock washers'* und *'tab washers'*. Einige Beispiele davon sind in der Abbildung 6.2 zu sehen. Bei der Übertragung ins Deutsche kann *„Unterlegscheiben"* aber nicht als Oberbegriff für die abgebildeten Objekte dienen. Für die meisten ist der Oberbegriff *„Schraubensicherung"* verwendbar, nicht aber für die als Flachscheibe

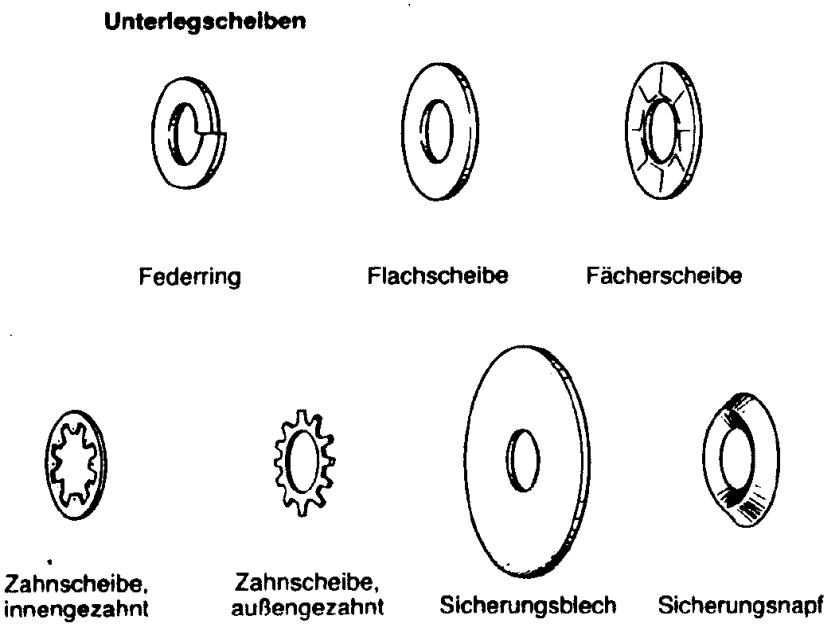

Abbildung 6.3: ...und eine inadäquate Übertragung ins Deutsche (nach [Schmitt 1992]).

und Sicherungsnapf bezeichneten. Schmitt schlägt daher als korrigierte „Übersetzung" vor, in Abbildung 6.3 die Überschrift *Scheiben und Schraubensicherungen* zu wählen.

Wie kann mit solchen Inkongruenzen umgegangen werden? Wir wollen dies am folgenden, für die Darstellung vereinfachten Beispiel zeigen: In den Beispieltexten über Zündkerzen- und Ölwechsel wird im Englischen jeweils die Bezeichnung 'washer' verwendet. In einem Fall wird dabei aber auf ein Teil verwiesen, das an der Zündkerze angebracht ist und als Schraubensicherung fungiert. Im zweiten Fall auf ein Teil, das zwischen dem Kopf der Ablaßschraube und ihrer Fassung sitzt und abdichten soll. In der Modellierung wird zwischen diesen beiden Typen von Objekten unterschieden (eine realistische Modellierung würde weitere Feinunterscheidungen erfordern, siehe auch Abb. 6.2). Da im Deutschen hierfür eigene Benennungen existieren, werden diese mit dem jeweiligen Konzept assoziiert. Für das Englische wird mit dem gemeinsamen Oberkonzept die Benennung 'washer' assoziiert. Soll auf Instanzen der Konzepte nun sprachlich verwiesen werden, so wird im Englischen in beiden Fällen 'washer' verwendet, im Deutschen die jeweils spezifisch definierte Benennung.

Zusammengefaßt: In der sprachunabhängigen Wissensbasis werden technische Objekte im Hinblick auf ihre Funktion, ihre Form und ihr Material klassifiziert. Sprachabhängig sind dann die damit assoziierten Möglichkeiten zur Benennung. Die einzelsprachlichen Benennungssysteme müssen nicht kongruent sein, da sie nicht direkt aufeinander bezogen sind, sondern sich lediglich auf die — als eindeutig vorausgesetzte — konzeptuelle Repräsentation beziehen. Für einen Einsatz dieser Vorgehens-

weise in realistischen Anwendungen ist allerdings dann erforderlich, daß eindeutige international genormte Begriffssysteme (wie der Stoffnummern–Code für Stahlsorten, s.o.) existieren oder entwickelt werden.

6.5 Terminologische Logik

KL–ONE (vgl. [Brachman, Schmolze 1985]) und seine Nachfolger gehören zu einer Klasse von Formalismen zur Wissensrepräsentation, für die sich die Bezeichnung „Terminologische Logik“ durchgesetzt hat. In einer terminologischen Logik geht es — daher auch der Name — in erster Linie um die Repräsentation der definierenden Eigenschaften von Begriffen (engl.: concepts) aus der Terminologie eines Gebiets.

Die Definitionen werden verwendet, um automatisch einen vollständigen und korrekten taxonomischen Verband logischer Subsumptionsbeziehungen zwischen den Begriffen abzuleiten und zu verwalten. Zur Berechnung dieser Subsumptionsbeziehungen werden automatische Klassifikationsverfahren [Baader et al. 1992] eingesetzt.

6.5.1 LOOM als Beschreibungssprache

Das System LOOM, das für die Implementation der Wissensbasis von TECHDOC verwendet wurde, ist im Kern eine solche terminologische Logik, die aber um zusätzliche Elemente erweitert wurde [LOOM91]. Die terminologische Logik kann als Beschreibungssprache gesehen werden, die einen Definitionsteil (oft als T–Box bezeichnet) und einen Assertionsteil (oft als A–Box bezeichnet) enthält. In der Definitionssprache werden unäre Relationen (auch „Konzepte“ oder „concepts“ genannt) und binäre bzw. n-äre Relationen definiert. Binäre Relationen werden hier auch Rollen genannt. In der Assertionssprache lassen sich Bedingungen sowie Fakten über Individuen oder Instanzen von Begriffen ausdrücken.

Bei Begriffen wird unterschieden in sogenannte *„primitive“* Begriffe, d.h. solche, die nicht vollständig im Formalismus beschreibbar sind oder beschrieben werden sollen. Für solche Begriffe sind wichtige Aspekte, die sie von anderen unterscheiden, nicht modelliert. Im Kontrast dazu stehen die *„definierten“* Begriffe; für diese ist die in der Definitionssprache gegebene Deskription, bei der auf andere Begriffe Bezug genommen werden kann, ausreichend, um mit dem Klassifikator Instanzen als Ausprägungen der Begriffe erkennen zu können. In anderen Frame–Systemen wie z.B. in Smalltalk oder dem CommonLISP Object System (CLOS) sind alle Begriffe (dort „Klassen“ genannt) primitiv in dem Sinne, daß es überhaupt keinen Mechanismus gibt, um Begriffe mit Hilfe anderer Begriffe zu definieren und Instanzen automatisch Begriffen zuzuordnen.

Einige weitere Elemente der Definitionssprache von LOOM:

- Es können notwendige Bedingungen formuliert werden, denen Instanzen genügen, die eine Definition (die auf hinreichenden Bedingungen basiert) erfüllen.

- Es gibt die Möglichkeit, Implikationen der Art auszudrücken, daß alle Instanzen von Konzept C1 auch Instanzen von Konzept C2 sind.
- Schließlich lassen sich „default"–Werte definieren.

Mit der Assertionssprache werden Fakten über Individuen in eine Faktenbasis eingetragen (oder daraus zurückgenommen). Hier kommt der Klassifikator auf folgende Weise zum Einsatz: Wenn die Assertionen über ein Individuum I zusammengenommen die Definition eines Begriffs C erfüllen, dann wird I als Instanz von C erkannt.

Fassen wir zusammen: Für die Formulierung von *deklarativem Modellierungswissen* stehen in LOOM die folgenden Sprachelemente zur Verfügung:

- Definitionen,
- Implikationen,
- Fakten,
- default–Regeln.

LOOM erlaubt darüber hinaus, *prozedurales „Verhaltenswissen"* ('behavioural knowledge') zu definieren und zu nutzen. Dafür stehen Sprachmittel für Regeln im Sinne von Produktionsregeln zur Verfügung und Methoden im objektorientierten Sinne. Ob Methoden aktiviert werden, kann von Bedingungen abhängig gemacht werden, die am jeweiligen Stand der Faktenbasis überprüft werden. Als auslösendes Ereignis für das „Feuern" von Produktionsregeln kann die Klassifikation einer Instanz unter ein Konzept bzw. das Zurücknehmen der Klassifikation verabredet werden.

Vergleicht man LOOM (und andere terminologische Logiken) mit „klassischen" Programmiersprachen, so kann man die modellierenden Deklarationen als Parallele zu Typdeklarationen und die Verhaltensdeklarationen als Parallele zu Prozedurdeklarationen sehen.

6.5.2 Modellierung in terminologischer Logik — ein ausführliches Beispiel

Der initiale Aufwand bei einer Modellierung in terminologischer Logik sollte nicht unterschätzt werden. Um wirklich nutzbar zu sein, muß ein umfängliches Grund–Inventar an Konzepten definiert werden, so daß dann komplexe Zusammenhänge durch geeignete Kombinationen von Konzepten und Rollen ausgedrückt werden können. Das folgende ausführliche Beispiel soll diesen Sachverhalt illustrieren.

Gegenstand der Diskussion ist die Frage nach der Modellierung für die simple Aufforderung *'warm up the engine'* bzw. *„Motor warmlaufen lassen"*.

Aktionen werden unter anderem durch ihre Vor- und Nachbedingungen charakterisiert. Für die hier behandelte Aktion (wie auch andere Aktionen mit intendierten Zielzuständen) ist eine Vorbedingung, daß der angestrebte Endzustand nicht bereits

vorliegt; zu den Vorbedingungen gehört also „Temperatur des Motors: kalt“ (bzw. genauer „nicht warm“). Die Nachbedingung, der die Situation nach erfolgter Aktion genügt, ist dann, daß das intendierte Ziel erreicht ist: „Temperatur des Motors: warm“.

Als zusätzliche Information sollte noch modelliert werden, auf welche Weise das Ergebnis erreicht wird. Eine abstrakte Charakterisierung für das hier notwendige Vorgehen, den Motor einige Minuten laufen zu lassen, ist die, daß ein technisches Gerät für die Dauer eines Zeitintervalls betrieben wird.

Ein solches abstraktes Aktionskonzept (z.B. benannt *'operate-technical-device-for-time-period'*) hat dann u.a. Rollen für das betriebene Gerät sowie für die Zeitdauer des Betriebs. Zeitdauern wiederum können modelliert werden als Unterkonzept von „Maßangabe“ mit einer Rolle für den Wert und einer für die Maßeinheit, die bei Zeitperioden dann Minute, Stunde, Tag usw. sein kann. Eine Unterklassifizierung erlaubt als Maßangaben entweder exakte numerische Werte oder unscharfe wie „einige“, „mehrere“, usw. oder Angaben der Form „mindestens“ oder „höchstens“.

Die Modellierung von Aktionen mit Vor- und Nachbedingungen begünstigt die Abstraktion im Hinblick auf Effekte von Aktionen. Aus dieser Sicht ist 'warm up' eine Ausprägung des abstrakten Konzepts, die Veränderung eines Eigenschaftswerts eines Objekts zu verursachen.[2]

Zu den Rollen dieses Konzepts gehören dann

- die Eigenschaft, die verändert werden soll,
- der Zielwert, der angestrebt wird, und
- das Objekt, für das dieser Zielwert gelten soll.

Diese Rollen haben wechselseitige Querverbindungen.

Eine Unterklasse des abstrakten Konzepts *'cause-change-of-property-value-of-object'* ist die, wenn die Eigenschaft, um die es geht, ein Unterkonzept von „Temperatur“ darstellt; dafür kann ein eigenes Konzept *'cause-change-of-temperature-value-of-object'* kreiert werden. Die Klassifikation kann dann weitergeführt werden im Hinblick auf den Zielwert. Die Möglichkeit, Wertemengen zu definieren, wird hier relevant; je nachdem, welche unterschiedlichen Werte für Temperaturen vorgesehen sind, wird nun die Definition von *'warm up'* bzw. seiner komplementären Aktion *'cool down'* technisch unterschiedlich ausfallen.

Bei einem sehr simplen Modell, das nur die Werte 'cold' und 'warm' kennt, kann 'warm up' für 'cause-change-of-temperature-value' klassifiziert werden, wenn der Zielwert 'warm' ist (und umgekehrt 'cool down', wenn der Zielwert 'cold' ist). Dieses

[2]Da Konzepte stets einen Identifikator benötigen, könnte man hierfür etwa 'cause-change-of-property-value-of-object' als Kunstname einführen. Ein Problem mit solchen Bezeichnungen ist, daß sie gegebenenfalls zu falschen Interpretationen verleiten; die „Bedeutung“ eines Konzepts in einer terminologischen Logik ergibt sich ja aus der Plazierung in der Vererbungshierarchie und nicht durch den Identifikator, dem man höchstens für den Wissensingenieur eine mnemonische Funktion beimessen kann.

Modell ist aber zu simpel. In einem Modell, bei dem es beispielsweise eine feinere Skala von Wärmewerten wie 'very cold', 'cold', 'normal', 'warm', 'hot', 'very hot' als Werte gibt, würde der Zielwert allein für die Klassifikation nicht ausreichen, da natürlich ein Übergang von „hot" nach „warm" nicht als 'warm up' klassifiziert werden sollte. Eine adäquate Vorgehensweise ist daher, neben dem Ziel- auch den Ausgangswert zu berücksichtigen; dann wird ein Übergang von „hot" nach „warm" ebenso korrekt als 'cool down' klassifiziert.

Eine naheliegende Generalisierung ist die, für Wertemengen, die eine geordnete Menge darstellen, die beiden dualen Konzepte *'cause-decrease-of-property-value'* und *'cause-increase-of-property-value'* zu definieren. Für Temperaturübergänge ergibt sich dann *'warm up'* als Unterkonzept des ersten und *'cool down'* als Unterkonzept des zweiten abstrakten Konzepts für Wertveränderungen.

Nun zum beteiligten Objekt an der Aktion: Für den Motor muß modelliert werden, daß eine seiner relevanten Eigenschaften die Temperatur ist. Wir benötigen aber ebenso die Klassifikation als technisches Gerät, das einen aktiven Betriebszustand und einen Ruhezustand hat; daraus ergeben sich dann die Wechsel zwischen diesen beiden Betriebszuständen (lexikalisiert als *„starten"*, *„anlassen"* bzw. *„abschalten"*, *„ausschalten"*, usw.). Für den aktiven Betriebszustand ist zudem die Auswirkung auf die Temperatur als Seiteneffekt zu modellieren.

Der Aufwand ist — und dies wurde sicherlich deutlich — nicht unbeträchtlich. Man muß nun allerdings in Rechnung stellen, daß auf diese Weise ein Rahmen geschaffen wird, in dem andere Veränderungen von Eigenschaften von Objekten nun als Unterkonzepte der abstrakten Konzepte eingeführt werden können, so daß sich der initiale Modellierungsaufwand bei Erweiterungen der Wissensbasis auszahlt.

Diskussion: 'Konzept vs. Prototyp vs. Instanz'

Will man Wissen in Vererbungshierarchien organisieren, so sind stets Prozesse der Abstraktion und der Spezialisierung durchzuführen. Die Fragen sind dabei immer dieselben: Was sind wesentliche Dimensionen, für die identische Werte gefordert werden, um Ausprägungen unter einem gemeinsamen Oberbegriff zusammenfassen zu können? Wie ist 'Identität' definiert, z.B. welche Schwankungsbreite von Merkmalswerten wird zugelassen?

Technisch unterstützen implementierte Systeme zur Wissensrepräsentation typischerweise die Gegenüberstellung von Konzept und (individualisierter) Instanz. Konzepte werden als Menge aller Objekte (Instanzen) gesehen, die den Bedingungen genügen, die gemäß der Definition des Konzepts verlangt sind.

Praktische Modellierung erfordert weitere Differenzierungen. Ein Beispiel: „Motor" läßt sich definieren als ein Aggregat zur Gewinnung von Antriebsenergie. Unterkonzepte lassen sich dann definieren nach der Art der Energiegewinnung, z.B. Verbrennungsmotor oder Elektromotor. Weitere Unterkonzepte ergeben sich dann durch Verfeinerung der Angaben zu den „Energie–Lieferanten", also etwa Otto–Motor, Diesel–Motor oder Gleichstrom–Motor.

In dem Maße, wie die bei den abstrakten Konzepten offengelassenen Aspekte mit konkreten Werten oder Wertebereichen spezifiziert werden, entwickeln sich Prototypen. Auch diese kann man als Mengen auffassen. Zwischen den Elementen der Menge existiert allerdings eine hohe Übereinstimmung; Variation ist nur noch bei als irrelevant betrachteten Aspekten (z.B. Farbe eines Automobils) akzeptiert. Solche Prototypen können aber sprachlich wie Individuen behandelt werden, so daß dann Aussagen möglich sind wie *„Der Porsche 911 wird mit Airbag für Fahrer und Beifahrer ausgeliefert.“*.

Prototypen sind soweit spezifiziert, daß sie sich abbilden lassen im Gegensatz zu den abstrakteren Konzepten, die höchstens schematisch abbildbar sind und bei denen noch große Unterschiede zwischen den sie instanziierenden Individuen vorliegen.

Instanzen schließlich sind zu sehen als konkrete physische Objekte, die sich durch raumzeitliche Angaben eindeutig identifizieren lassen, also z.B. „Der Motor des PKW mit der Nummer S – AB 1234 am 10.12.1992 ...“. Zusätzlich zu den von den Prototypen ererbten Werten sind bei Instanzen weitere Werte konkret belegt. Dies können einerseits invariante, eindeutige Werte sein (z.B. die Fahrgestellnummer eines PKW) oder aber sich verändernde Werte, die zum jeweiligen Zeitpunkt eindeutig festgelegt sind (z.B. der Kilometerstand eines PKW, der Besitzer, der erreichte Durchschnittsverbrauch).

Handbücher werden für Prototypen geschrieben. Technische Erzeugnisse der Massenproduktion sind in so hohem Maße identisch, daß Aussagen über Prototypen (von kleineren Variationen abgesehen) normalerweise für alle Instanzen zutreffen (was bei Klassifikationen „natürlicher Objekte“, z.B. aus der Tier- oder Pflanzenwelt, nicht in dem Maße zutrifft). Im Anlagenbau gibt es natürlich auch Dokumentationen zu Großanlagen, die in ihrer Gesamtkonzeption Unikate darstellen; typischerweise setzen sich diese Großanlagen dann aber aus Subsystemen aus der Serienproduktion zusammen.

Ein Beispiel zur diskutierten Gegenüberstellung von Konzepten, Prototypen und Instanzen:

- „Säugetier“ ist im Sinne der obigen Diskussion ein Konzept, aber kein Prototyp. Hier geht es sehr stark um Prinzipien und allgemeine Funktionen.

- Ein Prototyp dagegen wäre etwa „Katze“ (sofern man alle Individuen aus dieser Menge als hinreichend identisch auffaßt; typischerweise neigen Kenner der Materie zu feineren Unterscheidungen).

- Instanzen sind dann die (konkrete) Katze des Nachbarn oder die Katze der eigenen Kinder.

6.5.3 Einführung in die Nutzung von LOOM

Der Einstieg: Hierarchische Beziehungen

Vererbungshierarchien sind das Gerüst sowohl von Frame–Sprachen als auch objektorientierter Ansätze. In solchen Sprachen wird dann meist zwischen Klasse und Instanz unterschieden. Klassen stehen in Teilmengen–Beziehungen zueinander, Instanzen sind Elemente von Klassen.

Man kann LOOM zunächst in genau diesem Sinne zur Strukturierung von Wissen verwenden. Mit DEFCONCEPT werden Begriffe (engl. concepts) definiert. Diese entsprechen Klassen in Frame–Systemen oder objektorientierten Systemen. Bei der Definition kann angegeben werden, welche Begriffe durch den aktuellen Begriff spezialisiert werden (oder in objektorientierter Sichtweise: welches Konzept bzw. welche Konzepte Oberklassen sind). Dies geschieht innerhalb des DEFCONCEPT-Ausdrucks in einem auf das Schlüsselwort ':IS' folgenden Term.

Mit den folgenden Befehlen wird zum Beispiel eine Hierarchie verschiedener Verbindungstypen definiert.[3]

```
(defconcept connection-type
  :is (:and penman-kb::abstraction :primitive))

(defconcept dissolvable-connection
  :is (:and  connection-type :primitive))

(defconcept screw-connection
  :is (:and dissolvable-connection :primitive))

(defconcept screw-in-connection
  :is (:and screw-connection :primitive))

(defconcept screw-on-connection
  :is (:and screw-connection :primitive))

(defconcept plug-in-connection
  :is (:and dissolvable-connection :primitive))

(defconcept plug-on-connection
  :is (:and dissolvable-connection :primitive))

(defconcept stick-in-connection
  :is (:and dissolvable-connection :primitive))
```

Damit sind die folgenden hierarchischen Beziehungen definiert:

[3]Innerhalb der TECHDOC–Wissensbasis, der die meisten Beispiele entnommen sind, haben wir Bezeichner für Konzepte und Relationen stets aus englischen Wörtern gebildet. Bei einzelnen Beispielen kann von dieser Konvention abgewichen sein.

```
CONNECTION-TYPE
   DISSOLVABLE-CONNECTION
      PLUG-IN-CONNECTION
      PLUG-ON-CONNECTION
      SCREW-CONNECTION
         SCREW-IN-CONNECTION
         SCREW-ON-CONNECTION
      STICK-IN-CONNECTION
```

Repräsentation von Eigenschaften und Beziehungen

Mit Teilmengen– und Elementbeziehungen allein lassen sich für realistische Anwendungen noch keine interessanten Zusammenhänge darstellen. Hierfür ist es notwendig, Objekten eine innere Struktur zu geben und auch Beziehungen zwischen Objekten darstellen zu können. Beides geschieht in LOOM mit Relationen. Je nach Art ihrer intendierten Verwendung können diese wie slots in Frame–Sprachen (oder Felder bzw. Records) eingesetzt werden oder als Relationen im Sinne von Mengen von Paaren bzw. Tupeln gesehen werden.

Ein Beispiel: In einer Modellierung über Personen und ihre Beziehungen könnte „verheiratet“ als Relation eine Menge von Paaren aus Personen weiblichen und männlichen Geschlechts darstellen (die bisher übliche Gesetzgebung vorausgesetzt).

Statt einer solchen relationenzentrierten Modellierung könnte auch eine objektzentrierte gewählt werden: Hier ist dann „verheiratet“ (oder besser „verheiratet mit“) eine Rolle, die jeweils bei einer Person angesiedelt ist und sofern es diesen gibt, den jeweiligen Ehepartner als Rollenfüller enthält.

Welche Sicht geeigneter ist (relationenzentriert, objektzentriert), ist nicht allgemein festlegbar und unterliegt sowohl persönlichen Präferenzen des Modellierenden wie auch Nützlichkeitserwägungen in bezug auf die jeweilige Anwendung.

Eine Relation wird in LOOM mit DEFRELATION eingeführt. Binäre Relationen haben einen Definitionsbereich (:domain) und einen Wertebereich (:range). N-äre Relationen haben N - 1 Definitionsbereiche (:domains) und einen Wertebereich.

Mit den folgenden Ausdrücken werden die Teil-von-Relation (part-of) zwischen technischen Objekten und die Relation Enthalten-in (contained-in) für Substanzen definiert. Durch das Schlüsselwort :SINGLE-VALUED wird ausgedrückt, daß eine Substanz sich zu einem Zeitpunkt (zumindest in dieser Modellierung) nur in *einem* Behälter befinden kann.

```
(defrelation part-of
  :domain technical-object
  :range technical-object
  :attributes closed-world)

(defrelation contained-in
  :domain penman-kb::substance
   :attributes (:single-valued :closed-world))
```

Befragen der Faktenbasis

Alle Mitteilungen an LOOM in Form von TELL–Ausdrücken führen zu Einträgen in der sogenannten Faktenbasis. Diese kann auf verschiedene Weise „befragt“ werden.

ASK erlaubt Entscheidungsfragen in dem Sinne, daß gefragt wird, ob ein bestimmter Sachverhalt in der aktuellen Faktenbasis gilt oder nicht (vgl. Seite 121). Im letzten Fall ist die Antwort von ASK NIL, im ersten Fall entweder T oder ein von NIL verschiedener Rückgabewert. Eine Paraphrase für die Wirkungsweise eines Statements der Form (ASK <Query–Ausdruck>) ist: Ist es der Fall, daß <Query–Ausdruck> in der aktuellen Faktenbasis gilt?

Will man nicht nur wissen, ob etwas gilt oder nicht, sondern ist an den Instanzen interessiert, für die eine Aussage zutrifft, so kann eine RETRIEVE–Operation verwendet werden.

In einem RETRIEVE–Ausdruck wird zunächst festgelegt, ob eine Liste aus Elementen, Paaren, Tripeln usw. zurückgegeben wird. Dies geschieht mit einer Liste von Fragevariablen (syntaktisch dadurch gekennzeichnet, daß dem Bezeichner ein Fragezeichen vorangestellt ist), dann folgt ein Frageausdruck, in dem die Fragevariablen auftreten müssen. Die Fragevariablen sind implizit allquantifiziert, d.h. ein RETRIEVE–Ausdruck läßt sich paraphrasieren als: „Gib alle Elemente (bzw. Paare von Elementen, bzw. n–Tupel von Elementen) zurück, für die der RETRIEVE–Ausdruck jeweils wahr ist“.

Mit dem folgenden RETRIEVE–Ausdruck wird z.B. gefragt, für welche Instanzen beliebiger Objekte bekannt ist, daß sie Teil eines Objekts vom Typ ENGINE sind:

```
> (retrieve (?p ?o) (:and (engine ?o)(part-of ?p ?o)))

((|I|DRAIN-BOLT_INSTANCE1(PENMAN-KB:CONCEPT_6 CONNECTED-OBJECT DRAIN-BOLT)
   |I|ENGINE_INSTANCE1(NORMAL-OR-COLD-OBJECT ENGINE PENMAN-KB:CONCEPT_10))
  (|I|OIL-FILLER-CAP_INSTANCE1(CONNECTED-OBJECT OIL-FILLER-CAP)
    |I|ENGINE_INSTANCE1(NORMAL-OR-COLD-OBJECT ENGINE PENMAN-KB:CONCEPT_10))
  (|I|COOLING-SYSTEM_INSTANCE(PENMAN-KB:CONCEPT_6 PART-OF-MACHINE)
    |I|ENGINE_INSTANCE(ENGINE PENMAN-KB:CONCEPT_10))
  (|I|CYLINDER-HEAD_INSTANCE(CYLINDER-HEAD PENMAN-KB:CONCEPT_10)
    |I|ENGINE_INSTANCE(ENGINE PENMAN-KB:CONCEPT_10))
  (|I|OIL-TANK_INSTANCE(PENMAN-KB:CONCEPT_6 OIL-TANK)
    |I|ENGINE_INSTANCE(ENGINE PENMAN-KB:CONCEPT_10))
   (|I|SPARK-PLUG-BASE_INSTANCE(SPARK-PLUG-BASE PENMAN-KB:CONCEPT_10)
    |I|ENGINE_INSTANCE(ENGINE PENMAN-KB:CONCEPT_10))
  (|I|SPARK-PLUG_INSTANCE(SPARK-PLUG PENMAN-KB:CONCEPT_10)
    |I|ENGINE_INSTANCE(ENGINE PENMAN-KB:CONCEPT_10)))
```

Für die Formulierung des RETRIEVE–Ausdrucks stehen analog zur Formulierung des Frageausdrucks bei ASK boolesche Verknüpfungen zur Verfügung (:AND, :OR) sowie All- und Existenzquantoren (:FOR-ALL, :FOR-SOME).

Die logische Sicht auf LOOM

Für die Formulierung von Frage– und RETRIEVE–Ausdrücken kann eine prädikatenlogische Notation verwendet werden. Basisterme sind dafür ein- und mehrstellige Prädikatsausdrücke.

Der Zusammenhang mit Konzepten und Relationen ist offensichtlich: Jedes Konzept kann identifiziert werden mit einem einstelligen Prädikat mit dem Konzeptidentifikator als Prädikatsbezeichner. N-stellige Relationen entsprechen n-stelligen Prädikaten.

Deskriptionen und Klassifikation

LOOM ist eine der Sprachen in der Tradition von KL–ONE. Diese lassen sich dadurch charakterisieren, daß sie erlauben, Bedingungen für die Zugehörigkeit zu Mengen zu definieren und mit diesen Bedingungen in dem Sinne zu „rechnen“, daß einerseits aufgrund der Deskription (und nicht der bloßen Extension) automatisch Teilmengen–Beziehungen festgestellt werden können, und daß Instanzen automatisch all den Mengen zugeordnet werden, deren Definition sie erfüllen.

Man kann dies auch wie folgt ausdrücken:

Terminologische Logiken ermöglichen es, Begriffe zu definieren, und überprüfen dann automatisch, ob ein Begriff allgemeiner oder spezieller als ein anderer Begriff ist (d.h. eine Subsumptionsbeziehung vorliegt) und ob eine Instanz einem Begriff genügt oder nicht. Die Verwaltung von Begriffsbeziehungen in diesem Sinne ist die Aufgabe des Klassifikators.

Möglichkeiten zur Spezialisierung von Begriffen

In terminologischen Logiken werden Begriffe dadurch spezialisiert, daß zusätzliche Anforderungen an die Rollen formuliert werden. Diese Anforderungen können sich u.a. beziehen auf:

- Anzahl von Rollenfüllern,
- Typ von Rollenfüllern,
- Gleichheit von Rollenfüllern.

Bei den Anzahlbeschränkungen gibt es sowohl die Forderung nach Minimalwerten (:AT-LEAST), nach Maximalwerten (:AT-MOST), nach der exakten Anzahl (:EXACTLY) oder Werten aus einem Bereich. Einige Beispiele:

- eine nicht leere Menge ist definierbar als Menge mit mindestens einem Element (Element als Rolle des Konzepts Menge)
- eine Paarmenge ist eine Menge mit genau zwei Elementen.

Das Konzept SET mit der Rolle ELEMENT existiert bereits.[4] Wir definieren Paarmenge und kreieren eine Instanz, der wir zwei Elemente (spi-1, spi-2) als Rollenfüller mitgeben.[5]

```
>(defconcept pair-set
  :is (:and penman-kb::set (:exactly 2 penman-kb::element)))

> (tellm (:about test-set penman-kb::set
         (:filled-by penman-kb::element spi-1 spi-2)))
|I|TEST-SET(PAIR-SET)
> (ask (pair-set test-set))
T
```

Fügen wir ein weiteres Element zu TEST-SET hinzu, wird diese Instanz reklassifiziert und ist keine Paarmenge mehr.[6]

```
> (tellm (penman-kb::element test-set spi-3))
OK
> (ask (pair-set test-set))
NIL
> (po (fi test-set))

(TELL
  (:ABOUT TEST-SET
          SET
          (PENMAN-KB:ELEMENT SPI-3)
          (PENMAN-KB:ELEMENT SPI-1)
          (PENMAN-KB:ELEMENT SPI-2)))
```

Eine andere Möglichkeit zur Spezialisierung sind die sogenannten Wertrestriktionen, bei denen verlangt wird, daß der Füller einer Rolle von einem bestimmten Typ ist.

Definition endlicher Mengen

LOOM bietet die Möglichkeit, endliche Mengen von Symbolen zu einem Konzept zusammenzufassen (DEFSET). Diese Möglichkeit ist zum Beispiel nützlich für die Definition diskreter Wertebereiche. Eine Spezialform sind dann *geordnete* endliche Mengen (:THE-ORDERED-SET). Bei diesen können dann auch durch Angabe des kleinsten und größten Elements Intervalle definiert werden. Bei nicht geordneten Mengen bleibt für die Definition von Teilmengen nur die erschöpfende Aufzählung. Symbole dürfen mehreren endlichen Mengen angehören.

[4] Mit einfachem oder zweifachem Doppelpunkt vorangestellte Präfixe wie das „penman-kb“ kennzeichnen, daß das nachfolgende Symbol zu diesem anderen Namensraum — oder package — gehört.

[5] Instanzen können in LOOM mit den Makros TELL bzw. TELLM eingeführt werden.

[6] po (= print-object) gibt den Zustand eines LOOM–Objekts in lesbarer Form aus.

Im folgenden wird eine Rolle Temperaturwert definiert, deren Werte aus der geordneten Menge von 'very–cold' bis 'very–hot' zu entnehmen sind. Die beiden folgenden Konzepte klassifizieren technische Objekte danach, ob ihre Temperaturwerte in bestimmten – durch die mit :THROUGH beginnenden Terme angegebenen – Intervallen liegen (vgl. auch 7.5).

```
(defrelation temperature-value
    :range temperature-value
  :attributes  (:closed-world :single-valued))

(defset temperature-value
  :is (:the-ordered-set very-cold cold normal warm hot very-hot))

(defconcept normal-or-cold-object
  :is (:and TECHNICAL-OBJECT
            (:the temperature-value (:through very-cold normal))))

(defconcept at-least-warm-object
  :is (:and TECHNICAL-OBJECT
            (:the temperature-value (:through warm very-hot))))
```

6.5.4 Elemente der TECHDOC–Wissensbasis

Zuordnung zum 'upper model'

Für die Elemente in der TECHDOC–Wissensbasis, die bei der Generierung direkten sprachlichen Ausdruck finden sollen, ist eine Zuordnung zum 'upper model' hergestellt. Damit kann die Generierungsgrammatik die Unterscheidungen ausnutzen, die durch die Konzepte des 'upper model' repräsentiert sind.

Mit Konzepten des Gebietswissens können Lexikoneinträge assoziiert sein. Fehlen diese, so wird bei der Lexikalisierung vom Konzept aus bei den „Vorfahren" in der Vererbungshierarchie nach einem assoziierten lexikalischen Eintrag gesucht.

Konzept versus Instanz

Konzepte können gesehen werden als die Menge aller Instanzen, welche die Definition des Konzepts erfüllen. Die Information, die mit dem Konzept assoziiert ist, gilt (sofern es sich nicht um überschreibbare Default–Informationen handelt) bei allen Instanzen. Instanzen können zusätzliche Informationen besitzen, die nur für sie gelten.

Wir wollen im folgenden jeweils herausarbeiten, welche Informationen in der TECHDOC–Wissensbasis repräsentiert sind und für welche Zwecke diese jeweils benutzt werden.

Objekte

Zu den Kategorisierungen des 'upper model' für Objekte gehören auf oberster Ebene die Kontrastpaare 'bewußt vs. unbewußt' und 'zerlegbar vs. unzerlegbar'. Als 'bewußt' werden solche Objekte klassifiziert, die handelnd sein und die Rolle ACTOR ausfüllen können.

Da sich die Kategorisierungen des 'upper model' immer auf sprachliche Unterschiede beziehen, ist „Zerlegbarkeit" hier als logische Strukturierung zu verstehen, d.h. Objekte mit für sich benannten Teilen (auch wenn sie nicht einfach im mechanischen Sinne zerlegt werden können) gehören zur Klasse Decomposable–Object, solche ohne benennbare Einzelteile zur Klasse Non–Decomposable–Object (z.B. Substanzen).

Eine weitere Kategorisierung betrifft die Frage der Dimensionalität des Objekts. Zunächst muß die reale Dimensionalität zur Kategorisierung herangezogen werden. Diese Information spielt eine Rolle bei der Generierung bestimmter Präpositionen (vgl. 7.2.2).

Bei Objekt–Instanzen kann ausgedrückt werden, ob sie Teil eines anderen Objekts sind oder mit diesen in einer Verbindung stehen. Diese Information wird ausgenutzt bei der Entscheidung über definite Referenz (siehe 7.3).

Substanzen

Bei Substanzen wird unterschieden, ob es sich um eine definite Substanzmenge handelt (dies ist dann der Falle, wenn die Substanz in einem Behälter enthalten ist), ob es sich um eine spezifizierte Menge handelt (dies ist dann der Fall, wenn eine Maßangabe erfolgt) oder ob eine definite und spezifizierte oder eine unspezifizierte Substanzmenge vorliegt. Dies hat Auswirkungen auf die Wahl von entweder Nullartikel oder definitem Artikel (vgl. 7.3.3).

Maßangaben

Maßangaben bestehen aus einem Zahlenwert und aus einer Einheit. Je nach Typ der Einheit ergeben sich dann u.a. die Spezialisierungen Volumenmaß, Flächenmaß, Temperaturmaß.

Prozesse

Die Information über die obligatorischen semantischen oder konzeptuellen Rollen eines Prozesses ergibt sich aus der Plazierung unter einen Prozeß des 'upper model'. Das 'upper model' unterscheidet auf oberster Ebene die vier Kategorien relationaler Prozeß, materieller Prozeß, verbaler Prozeß und mentaler Prozeß. Für unsere Anwendungen wichtig sind dabei vor allem die materiellen und die mentalen Prozesse. Einzelne relationale Prozesse spielen ebenfalls eine Rolle. Die verbalen Prozesse, die alle Prozesse der Kommunikation umfassen, sind von untergeordneter Bedeutung.

Zu den materiellen Prozessen zählen sowohl Aktionen mit einem ACTOR, der die Aktion willentlich durchführt, wie bloße Geschehnisse (z.B. Erosion). Die zentralen Rollen dieses Prozeß–Typs sind ACTOR und ACTEE. Die ACTEE–Rolle ist wertbeschränkt auf Objekte, wobei allerdings solche Objekte ausgeschlossen sind, die durch mentale Verarbeitung oder Kommunikation kreiert sind. Für diese sind dann mentale bzw. verbale Prozesse anzuwenden.

Materielle Prozesse werden weiter unterteilt in *gerichtete* und *nicht gerichtete* Aktionen. Gerichtete Aktionen beinhalten notwendigerweise einen externen Verursacher und werden immer als transitive Verben realisiert. Im Unterschied dazu sind nicht gerichtete Aktionen oft — wenn auch nicht notwendig — intransitiv. Im transitiven Fall ist dann das beteiligte Objekt aber nicht durch die Aktion betroffen oder kreiert, sondern stellt einen Anwendungsbereich für die Aktion dar. Ein Beispiel hierfür: *Ich spiele Piano/Tennis.*

Die für TECHDOC vorgenommenen Erweiterungen erlauben, mit Prozeß–Definitionen nun Vor- und Nachbedingungen zu verbinden. Die Vorbedingungen sind in einer Weise zu formulieren, daß die Wissensbasis mit ASK überprüft werden kann. Es können dabei auch existenzielle Quantoren verwendet werden (:FOR-SOME). Existenziell quantifizierte Variablen auf der obersten Ebene solcher Terme sind in den Nachbedingungen dann zugänglich. Die Nachbedingungen wiederum sind so zu formulieren, daß sie mit TELL der Wissensbasis kommuniziert werden können. Mit dieser Erweiterung kann simuliert werden, wie sich durchgeführte Aktionen in der Wissensbasis auswirken (siehe auch 7.5).

Im folgenden wird die Aktion MAKE-SURE (Sicherstellen, daß ein Sachverhalt zutrifft) als komplexe mentale Aktion definiert (vgl. 6.2.4). Die Vorbedingung ist, daß der Handelnde (hier: SENSER) nicht bereits weiß, daß der Sachverhalt (hier: PHENOMENON) zutrifft (sonst erübrigt sich eine Handlung). Die Nachbedingungen besagen, daß einerseits der Handelnde nun weiß, daß der Sachverhalt zutrifft, und andererseits, daß der Sachverhalt auch in der Wissensbasis als zutreffend geführt wird ((truth-value (penman-kb::phenomenon ?self) true)).

```
(defconcept make-sure
  :is (:and penman-kb::complex-mental-active
            :primitive)
  :annotations
   ((action-preconditions
     ((:fail (known-by (penman-kb::senser ?self)
                       (penman-kb::phenomenon ?self)))))
    (action-postconditions
      ((known-by (penman-kb::senser ?self) (penman-kb::phenomenon ?self))
       (truth-value (penman-kb::phenomenon ?self) true)))))
```

Eine andere Erweiterung erlaubt, sprachspezifische Lexikalisierungen zu definieren (siehe auch 7.4.3).

Verallgemeinerte Sprechakte

Verallgemeinerte Sprechakte dienen der Umsetzung von Instanzen aus der Wissensbasis in SPL–Terme. Sie verweisen unter der Rolle propositional–content auf eine Instanz der Wissensbasis. Diese Instanz wird dann so umgesetzt und mit ggf. benötigten SPL–Parametern versehen, wie es der Intention des Sprechaktes entspricht. U.a. sind definiert der Sprechakt, den Leser zu einer Handlung aufzufordern (prompt-reader-to-act), der Sprechakt faktische-Aussage (factual-statement), der Sprechakt Warnung und der Sprechakt Im-Text-hervorheben. Eine Aufforderung an den Leser führt zum Setzen des SPL–Parameters Imperativ, eine faktische Aussage wird – sofern keine temporale Information enthalten – mit Tempus Präsens versehen, usw.

Planstrukturen

Die Repräsentation von Plänen (hier: Plänen zur Durchführung von Wartungsarbeiten) ist die zentrale Datenstruktur für eine ganze Reihe von Aspekten des TECHDOC–Systems:

- Repräsentierte Pläne stellen die Basis für die Generierung der Dokumentstruktur dar (vgl. 8.2).
- Im Autorenwerkzeug können Planstrukturen aufgebaut und editiert werden (vgl. 8.1).
- Für den Simulationsmodus liefern sie die benötigten Informationen (vgl. 7.5).

Im Kern beruht die Planrepräsentation auf einem hierarchischen Planmodell, d.h. Pläne bestehen aus Planschritten. Diese können entweder als elementar angesehen werden (d.h. sie erlauben keine weitere Zerlegung) oder als komplexe Elemente, die dann rekursiv wiederum als Pläne dargestellt und erneut in ihre Teilschritte zerlegt werden können.

Solche hierarchischen Planmodelle werden in vielen Systemen des automatischen Planens verwendet (s. z.B. [Charniak, McDermott 1985]). Das typische Vorgehen ist dabei, ausgehend von einem aktuellen Zustand einer modellierten Welt und einem gewünschten Zielzustand eine Folge von Operatoren zu suchen, die bei Anwendung auf den aktuellen Zustand schließlich zum Endzustand führen. Die Operatoren entsprechen dann den Schritten auf oberster Ebene. Sie stellen entweder elementare Übergänge dar oder erlauben eine rekursive Expansion.

Die Pläne in TECHDOC sind nun erweitert gegenüber diesem Basismodell. Dies hat vor allem damit zu tun, daß sie ja nicht nur für die Simulation von Aktionen Verwendung finden, sondern überzeugend kommuniziert werden sollen. Daher ist es notwendig, sie um eine ganze Reihe von Informationen zu erweitern. Dies betrifft insbesondere die Begründungen, gegebenenfalls allgemeine Aussagen, die Hintergrundinformation bereitstellen, und insbesondere Warnungen und Vorsichtshinweise.

Der Kern der Pläne in TECHDOC, die Aktionssequenz, könnte aus einem Planungssystem kommen. Bei anderen Teilen der Pläne, z.B. den Warnungen vor möglichen Fehlern, Hinweisen darauf, welche Substanzen beispielsweise nicht verwendet werden dürfen u.ä., dürften derzeitige Planungssysteme allerdings überfordert sein. Für das realisierte System wurde der Ansatz gewählt, die Pläne und insbesondere ihre Annotationen durch einen menschlichen Benutzer erstellen zu lassen. Hier kann man sich auch arbeitsteilige Vorgehensweisen vorstellen, z.B. in der Form, daß die von einem Planungssystem zunächst gelieferte Rohversion eines Plans durch einen Nutzer mit Hinweisen ergänzt wird.

Für die Aktionssequenzen wird zusätzlich eine Gruppierung unter pragmatischen Gesichtspunkten vorgenommen, so etwa die in „Schaffen der Vorbedingungen“, „Demontage des alten Teils“, „Installation des neuen Teils“, „Schaffen der Nachbedingungen und Kontrolle“ als eine mögliche Strukturierung für den abstrakten Plan „Austausch eines Ersatzteils“.

Die Ordnungsbeziehungen zwischen den Planschritten müssen ebenfalls repräsentiert sein. Teilweise ließen sie sich allerdings auch aus den Beziehungen zwischen Vor- und Nachbedingungen von Aktionen errechnen.