

Interaktive Montage-Simulation mit wissensbasierter Grafik

Bernhard Jung, Britta Lenzmann, Ipke Wachsmuth
Technische Fakultät, AG WBS (KI)
Universität Bielefeld
{jung,britta,ipke}@techfak.uni-bielefeld.de

Zusammenfassung

Der CODY¹ *Virtuelle Konstrukteur* ist ein wissensbasiertes System für die interaktive Montage von 3D-computergrafisch dargestellten Bauteilen zu komplexen Baugruppen. Als Interaktionsformen stehen dem Benutzer verbale und mausgesteuerte Eingriffsmöglichkeiten zur Verfügung. Um die Ausführung von Montagen in der Simulation zu ermöglichen, werden die geometrischen Beschreibungen der Bauelemente durch logische Beschreibungen angereichert und mit Hilfe wissensbasierter Techniken ausgewertet. Zusätzliches Konstruktionswissen ermöglicht das automatische Erkennen von gefügten Baugruppen.

1 Interaktive Grafiksysteme

Im Konstruktionsbereich finden dreidimensional computergrafisch visualisierte “virtuelle Szenen” zunehmendes Interesse. Dabei wird aus Geometrie- und Materialbeschreibungen von Szenenobjekten (Position, Orientierung, Größe und Farbe, Textur), sowie aus Kamera- und Beleuchtungsmodellen ein fotorealistisches Bild der darzustellenden Szene erzeugt, so daß Entwürfe bereits vor ihrer Realisierung betrachtet werden können.

Während Grafiksysteme zunächst darauf ausgelegt waren, die generierten Bilder dem eher passiven Betrachter zur Verfügung zu stellen, werden in jüngerer Zeit *interaktive Grafiksysteme* erprobt, die ein Einbeziehen des Benutzers in den Erstellungsprozeß ermöglichen. Als traditionelle Interaktionsmöglichkeiten ist die Steuerung durch Tastatur-, Maus- oder Menüeingabe zu nennen. Im Bereich der

¹Das Projekt CODY (“Concept Dynamics”) ist ein Teilprojekt des Sonderforschungsbereichs “Situierete Künstliche Kommunikatoren” (SFB 360) an der Universität Bielefeld. Die Autoren danken M. Hoffhenke, S. Netzeband-Weber und Christian Pütter für ihre Mithilfe.

“Virtuellen Realität” können Benutzer mittels spezieller Ausstattungen in die virtuelle Welt “eintauchen” und sie mit einem Datenhandschuh auf intuitive Weise direkt manipulieren (siehe auch [3]).

Die möglichen Interaktionen sind allerdings noch recht beschränkt. So sind Montagen komplexer Aggregate mit direkter Manipulation bislang schwierig zu bewerkstelligen. Dabei stellen nicht nur mangelnde Taktilität und fehlendes Kraft-Feedback, mithin die Erfahrbarkeit physikalisch bedingter Eigenschaften Hemmnisse dar, sondern auch Defizite der Datenmodelle. Da Visualisierungen von Objektmodellen zunächst nur Bilder “zum Anschauen” liefern, ist eine Rückkopplung in eine interne, sinnkonstruierende Repräsentation notwendig. In der Simulation einer Montage kann zum Beispiel das wirklichkeitsgetreue Fügen von Bauelementen nur gelingen, wenn neben Eigenschaften der einzelnen Bauteile und ihren Verbindungsmöglichkeiten auch Eigenschaften der Baugruppen als Ganzes berücksichtigt werden.

Der im folgenden beschriebene *CODY Virtuelle Konstrukteur* ist ein wissensbasiertes System, das die interaktive Montage von 3D-computergrafisch dargestellten Bauteilen zu komplexen Aggregaten ermöglicht. Die Interaktion erfolgt für einfache Manipulationen, wie Verändern der Betrachterperspektive und Bewegen von Bauteilen, über direkte Maussteuerung. Komplexere Manipulationen, wie das Fügen, Auseinandernehmen und Drehen von Teilaggregaten, werden über verbale Anweisungen vermittelt und vom System selbst teilautonom ausgeführt. Hierdurch kann auf umständliche beziehungsweise teure Eingabegeräte, wie zum Beispiel den Datenhandschuh, verzichtet werden. Um die Umsetzung der Benutzeranweisungen zu ermöglichen, wird die Szene mit den Bauteilen und Aggregaten semantisch repräsentiert (“konzeptualisiert”). Diese Konzeptualisierung wird dynamisch angepaßt, um ein intern verarbeitbares logisches Modell der Szene mitzuführen.

Als Erprobungsdomäne dient die Konstruktion eines einfachen Flugzeugmodells aus Holzbauteilen, deren Grafikmodelle auf einer “virtuellen Montagefläche” assembliert werden. Um der wirklichkeitsgetreuen Montagemodellierung gerecht zu werden, ist der Virtuelle Konstrukteur mit Wissen über die Fügемöglichkeiten der Bauteile versehen. Ferner werden Modelle sinnvoller Baugruppen in einer statischen Wissensbasis vorgehalten. Durch die Kombination von Auswertungen der Geometriebeschreibung und wissensbasierten Techniken wird die interaktive Manipulation der grafischen Umgebung ermöglicht.

In den folgenden Abschnitten wird der *CODY Virtuelle Konstrukteur* genauer beschrieben (Abschnitt 2), der Einsatz und Nutzen wissensbasierter Methoden am Beispiel einfacher Montagen demonstriert (Abschnitt 3) und im Hinblick auf ihre Übertragbarkeit diskutiert. (Abschnitt 4).

2 Der CODY Virtuelle Konstrukteur

Der CODY Virtuelle Konstrukteur ist ein wissensbasiertes System für die interaktive Montage von 3D-computergrafisch dargestellten Bauteilen zu komplexen Aggregaten. Das System ist als Demonstrator in einem Teilprojekt des SFB 360 "Situierete Künstliche Kommunikatoren" entstanden, um dort entwickelte dynamische Wissensrepräsentationen bei der Verarbeitung verbaler Montageanweisungen zu erproben [1]. Als Beispiel dient die Konstruktion eines einfachen Zielaggregats (Flugzeugmodells) aus Teilen eines Holzbaukastens. Teile dieses Baukastens sind zum Beispiel Schrauben, Muttern und Lochleisten in verschiedenen Größen, die auf vielfältige Weise zusammengebaut werden können. Abbildung 1 zeigt das teilmontierte Flugzeugmodell. Alle sonstigen Aggregate, die sich aus den verwendeten Grundbausteinen herstellen lassen, können auf einer virtuellen Montagefläche gefügt werden.

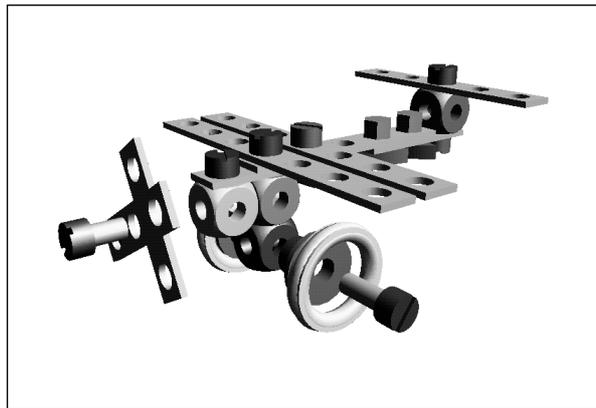


Abbildung 1: Flugzeugmodell aus Holzbauteilen

Zu Beginn einer Sitzung werden dem Benutzer die Bauteile auf der virtuellen Montagefläche präsentiert. Darüber hinaus können zusätzliche Bauteile im Verlauf der Sitzung angefordert werden. Zur Manipulation der Grafik stehen dem Benutzer folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Verändern der Betrachterperspektive durch Bewegen des Betrachterstandorts und Zooming
2. Bewegen und Drehen von Bauteilen und Aggregaten
3. Fügen und Auseinandernehmen von Bauteilen und Aggregaten
4. Drehen von einzelnen Bauteilen in Aggregaten

Während 1. und 2. durch direkte (mausgesteuerte) Manipulation vorgenommen werden, werden 3. und 4. über verbale Anweisungen – derzeit über Tastatur – vermittelt. In den verbalen Anweisungen kann Bezug genommen werden auf den Typ der Bauteile (Schraube, Leiste, etc.), auf verschiedene Objekteigenschaften (zum Beispiel Farbe, Form und Größe), sowie auf die räumliche Lage der Konstruktionselemente (zum Beispiel *links*, *rechts* oder Kombinationen wie *links oben*). Neben einzelnen Bauteilen können auch bereits gebaute Aggregate angesprochen werden. Da die Objekte anhand ihrer wahrnehmbaren Eigenschaften benannt werden können, ist es also nicht notwendig, daß dem Benutzer interne Objektbezeichner (z.B. **obj-001**) bekannt sein müssen. Anstelle exakter Typbezeichnungen können Bauteile und Aggregate auch allgemein als *Teil* angesprochen werden. Die folgende Auflistung enthält beispielhaft einige mögliche Anweisungen an den Virtuellen Konstrukteur:

- > *Stecke die linke Schraube durch die rote Scheibe*
- > *Stecke die Schraube in die Mitte der Fünferleiste*
- > *Stecke das linke, hintere Teil von unten in den Block*
- > *Verbinde das Rad mit der Achse*
- > *Setze die Schraube oben auf das Fahrwerk*
- > *Nimm den Reifen von der Felge*
- > *Drehe die Leiste quer zum Leitwerk*

Bei der Auswertung dieser Anweisungen berücksichtigt der Virtuelle Konstrukteur die aktuelle Betrachterperspektive, aber auch dynamisch aufgebautes Wissen über die vorhandenen Bauteile und Aggregate. Dieses Wissen ermöglicht einerseits die Identifikation der in Benutzerinstruktionen angesprochenen Szenenobjekte. Andererseits ermöglicht es die Umsetzung von Konstruktionsanweisungen, sei es beim Fügen, Auseinandernehmen, Bewegen oder Drehen von Bauteilen und Aggregaten.

3 Wissensrepräsentation im Virtuellen Konstrukteur

Die computergrafisch visualisierten Bauteile sind zunächst nur sinnleere Grafikobjekte. Um dem Virtuellen Konstrukteur ein inhaltliches Verständnis und dadurch die situationsgerechte Manipulation der vorhandenen Bauteile und der aus ihnen fügbaren Baugruppen zu ermöglichen, werden die grafischen Szenenobjekte durch frame-artige Objektrepräsentationen erweitert.

Zur Beschreibung der Szenenobjekte sind zwei Wissensbasen definiert: eine Wissensbasis **Bauteilwelt** beschreibt die montage-relevanten Eigenschaften der Bauteile, insbesondere ihre Fügемöglichkeiten; eine Wissensbasis **Flugzeugwelt** enthält Wissen über die sinnvollen Baugruppen des Flugzeugmodells und über die

spezifische Verwendung der multifunktionalen Bauteile in diesem Flugzeug. Im Verlauf einer Sitzung werden für die Szenenobjekte Objektrepräsentationen aufgebaut, wobei auf Konzepte dieser beiden Wissensbasen zugegriffen wird. Die dynamische Aktualisierung dieser Objektrepräsentationen beinhaltet Änderungen der logischen Beschreibungen der Bauteile (Abschnitt 3.1) sowie das automatische Erkennen von konstruierten Baugruppen des Flugzeugmodells (Abschnitt 3.2).

3.1 Wissen über die Bauteile

In der Wissensbasis **Bauteilwelt** sind die montage-relevanten Eigenschaften der Bauteile modelliert. Auf dieses Wissen stützen sich Operationen auf den Szenenobjekten, mit denen das Fügen von Bauteilen, das Bewegen und Drehen von Aggregaten sowie das Drehen einzelner Bauteile in Aggregaten simuliert wird.

Abbildung 2: Konzeptdefinitionen in der Wissensbasis **Bauteilwelt** (vereinfacht)

Der zur Modellierung verwendete Repräsentationsformalismus basiert auf dem Frame-Konstrukt. Die Konzepte werden durch Attribute und Relationen (Spezialisierung, Bestandteil und Verbindung) zu anderen Konzepten definiert. Die Relationen organisieren die Konzepte in einer Spezialisierungs- und einer Bestandteilshierarchie. Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus der Wissensbasis **Bauteilwelt**. Dort sind die multifunktionalen Bauteile, zum Beispiel **SCHRAUBE**, **SCHEIBE** etc., die Verbindungsstellen ("Ports") dieser Bauteile sowie ein Objekttyp für allgemeine, unstrukturierte Bauteilaggregate definiert.

Fügen von Bauteilen

Beim Fügen von Bauteilen muß sichergestellt sein, daß sich diese nicht in physikalisch unmöglicher Weise durchdringen, wie in Abbildung 3a am Beispiel einer Schraube und einer Scheibe verdeutlicht. Indem die Form der Szenenobjekte durch umschreibende Quader angenähert wird, können solche ungewollten Situationen mit Hilfe einfacher Tests ausgeschlossen werden (Abbildung 3b). Problematisch an der Verwendung von umschreibenden Quadern ist, daß so zunächst auch das Fügen von Bauteilen ausgeschlossen wird: der Schaft der Schraube soll durch das Loch der Scheibe gesteckt werden können (Abbildung 3c).

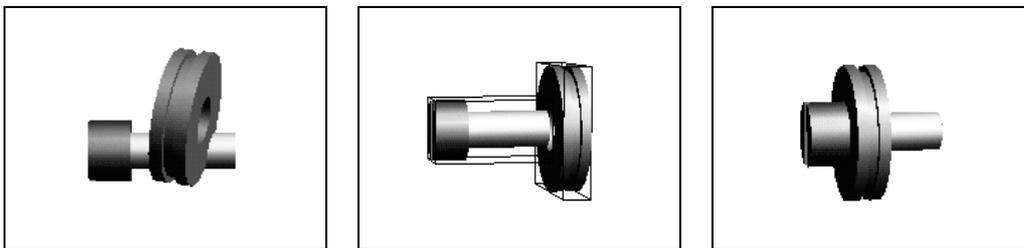


Abbildung 3: Fügen von Bauteilen: (a) verbotene Durchdringung; (b) umschreibende Quader; (c) korrekte Fügung

Um die Bauteile in Entsprechung zu ihren realen Vorlagen fügen zu können, werden für jedes Bauteil dessen *Ports* definiert. Ports sind in zwei Klassen unterteilt: *Nehmerports* und *Geberports*. Beispiele für Nehmerports sind die Löcher der Scheibe, ein Beispiel für einen Geberport ist der Schraubenschaft. Fügehandlungen bestehen so aus dem Verbinden von Nehmerports mit Geberports.

Benutzerspezifizierte Fügehandlungen werden ausgeführt, indem zunächst in der Wissensbasis die benannten Bauteile und die Ports, über die diese verbunden werden, bestimmt werden. Die in der geometrischen Szenenbeschreibung gegebenen Positionen und Orientierungen der Ports sowie die in den Objektrepräsentationen als Attributwerte enthaltenen aktuellen Portkapazitäten ermöglichen die exakte Bestimmung der Zielpositionen beim Fügen.² Nach dem Fügen der Bauteile in der Grafik werden die Wissensrepräsentationen der neuen Objektszene angepaßt. Dazu werden qualitative Verbindungsrelationen zwischen Objektrepräsentationen aufgebaut und in der Bestandteilshierarchie propagiert, Attributwerte aktualisiert und miteinander verbundene Bauteile zu Aggregaten zusammengefaßt (durch Instanzbildung des Objekttyps AGGREGAT). Inferenzen auf den Objektrepräsentationen stellen sicher, daß alle, auch indirekt miteinander verbundenen Bauteile, Bestandteile desselben Aggregats sind.

²In umgekehrter Richtung können qualitative Verbindungsrelationen zwischen Ports auch aus ihrer räumlichen Anordnung in der Szene berechnet werden. Dies ist zur Handhabung von Seiteneffekten bei Fügehandlungen nötig.

Abbildung 4: Objektrepräsentationen der Wissensbasis **Bauteilwelt** (vereinfacht)

Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt der Objektrepräsentationen für die gefügten Bauteile aus Abbildung 3c. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind einige Attribute sowie insbesondere die **Bestandteil-von-Relation** und inverse (propagierte) Verbindungen, nicht dargestellt. Das interne Objekt **schraube-1** hat einen Geberport **schraube-1/schaft** als Bestandteil. Das Objekt **scheibe-1** hat ein Loch als Bestandteil, welches wiederum zwei Lochseiten (Nehmerports) als Bestandteile hat.³ Das Fügen der beiden Bauteile, oder genauer, das Fügen des Schraubschafts von links mit dem Loch der Schraube, wird in der Objektrepräsentation **scheibe-1/loch/s1** durch den Aufbau einer Verbindungsrelation zu **schraube-1/schaft** vermerkt. Die Verbindungsrelation wird dann in der Bestandteilhierarchie propagiert. Auf diese Weise werden die propagierten Verbindungsrelationen zwischen dem Loch und dem Schaft, bzw. der Scheibe und der Schraube aufgebaut. Während der Propagierung werden auch die verfügbaren Kapazitäten des Lochs und des Schafts entsprechend der konsumierten Teilkapazität aktualisiert. Schließlich werden die Scheibe und die Schraube zu einem Aggregat **aggregat-1** zusammengefaßt, für das dynamisch eine neue Objektrepräsentation in die Wissensbasis eingeführt wird.

In analoger Weise werden bei der Demontage die Bauteile in der Grafik getrennt, in der Wissensbasis qualitative Verbindungsrelationen gelöscht, die Attributwerte für die aktuellen Kapazitäten von Ports zurückgesetzt, und, wenn nötig, Objektrepräsentationen für Aggregate aus der Wissensbasis entfernt.

Bewegen von Aggregaten

Beim Bewegen von aggregierten Bauteilen müssen alle miteinander verbundenen Teile gemeinsam bewegt werden. Dies ist bei den oben beschriebenen Objektrepräsentationen dadurch möglich, daß gefügte Bauteile zu dynamisch erzeugten Aggregaten zusammengefaßt sind. Soll ein Aggregat bewegt werden, kann der Virtuelle Konstrukteur dessen Bestandteile bestimmen und die einzelnen Bauteile gemeinsam bewegen.

Soll zum Beispiel das zusammengesetzte Objekt **aggregat-1** aus Abbildung 4 bewegt werden, dann müssen in der Objektszene dessen Bestandteile **scheibe-1** und **schraube-1** verschoben werden.

Drehen von Bauteilen in Aggregaten

Beim Drehen von Bauteilen innerhalb eines Aggregats muß bestimmt werden,

³Das logische Modell für Löcher enthält *Lochseiten*, um die Seitigkeit einer Verbindung beschreiben zu können.

um welche Rotationsachse diese Bauteile zu drehen sind und welche anderen Teile in Abhängigkeit davon mitgeführt werden müssen.

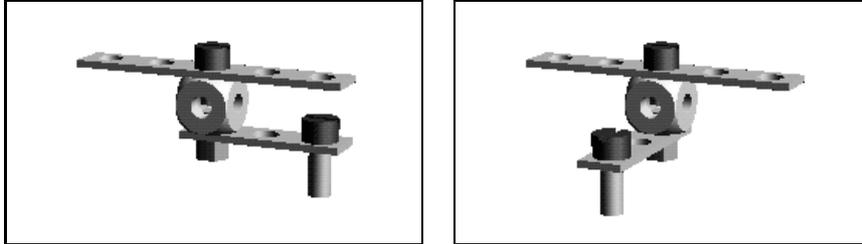


Abbildung 5: Drehen eines Bauteils innerhalb eines Aggregats

Abbildung 5 zeigt ein Beispiel für das Drehen von Bauteilen in einem Aggregat. Die Aufgabe ist hier, die unten angebrachte kurze Leiste quer zur langen Leiste zu drehen. Der Virtuelle Konstrukteur löst diese Aufgabe wie folgt: Zuerst wird die Drehachse bestimmt, indem eine Schraube gesucht wird, die mit der kurzen Leiste direkt und mit der langen indirekt verbunden ist. Die Ausrichtung dieser Schraube legt die Drehachse fest. In einem nächsten Schritt werden alle weiteren Bauteile bestimmt, die mit der kurzen Leiste verbunden sind. Diese Teile, im Beispiel die vordere Schraube, werden bei der anschließenden Rotation mitbewegt.

Die Objektrepräsentationen in der **Bauteilwelt** ermöglichen Beschreibungen und Manipulationen komplexerer Szenenobjekte unabhängig von speziellen Montageaufgaben. Wissen über das zu konstruierende Flugzeugmodell ist in der Wissensbasis **Flugzeugwelt** definiert.

3.2 Wissen über das Konstruktionsziel

Die Wissensbasis **Flugzeugwelt** enthält Wissen über das Konstruktionsziel, in diesem Fall über den Aufbau und die Benennungen von Baugruppen des Flugzeugmodells sowie über Flugzeugteile, die die spezielle Funktion der Bauteile in den Flugzeugbaugruppen beschreiben. Dieses Wissen ermöglicht dem Virtuellen Konstrukteur unter anderem, auf der virtuellen Montagefläche gefügte Aggregate als Baugruppen des Flugzeugmodells zu erkennen. Darüber hinaus wird durch entsprechende Inferenzen über der Wissensbasis die spezifische Verwendung der ursprünglich multifunktionalen Bauteile in diesen Baugruppen bestimmt. Hierdurch können in folgenden Benutzeranweisungen auch neu konstruierte Baugruppen angesprochen, beziehungsweise Bauteile entsprechend ihrer Funktion in der Konstruktion benannt werden.

Im Gegensatz zu der unstrukturierten, "flachen" Aggregierungsmöglichkeit aus der **Bauteilwelt**, die nur einer einfachen Sammlung von verbundenen Bauteilen

Abbildung 6: Konzeptdefinitionen der Wissensbasis **Flugzeugwelt** (vereinfacht)

entspricht, können die in der **Flugzeugwelt** definierten Baugruppen in weiteren Unterbaugruppen strukturiert sein. Das **FLUGZEUG** besteht zum Beispiel aus dem **RUMPF**, dem **FAHRWERK**, dem **LEITWERK** usw. Die Zerlegung der Baugruppen in ihre Bestandteile endet bei den einzelnen Bauteilen.

Die Konzepte der **Flugzeugwelt** werden, wie die Konzepte der **Bauteilwelt** durch Attribute beschrieben und über Relationen in einer Spezialisierungs- und einer Bestandteilshierarchie angeordnet. Darüber hinaus stellt die **als-bauteil**-Relation Konzepte der **Flugzeugwelt** in Bezug zu Konzepten der **Bauteilwelt**. Durch *Constraints* werden Beziehungen zwischen Bestandteilen von zusammengesetzten Objekten beschrieben.

Die **als-bauteil**-Relation definiert, welches Bauteil ein Flugzeugteil realisiert. Wie in Abbildung 6 gezeigt, wird zum Beispiel das Flugzeugteil **ACHSE** durch das Bauteil **SCHRAUBE** realisiert. Jedes Bauteil kann verschiedene Funktionen im Flugzeugmodell annehmen, zum Beispiel kann die Schraube auch als Propellerbefestigung fungieren.

Constraints beschreiben die räumliche Anordnung der Bestandteile von Baugruppen. Es sind zwei Arten von *Constraints* vorgesehen: *Logische* *Constraints* fordern die Existenz qualitativer (propagierter) Verbindungsrelationen zwischen den Bestandteilen; *geometrische* *Constraints*, zum Beispiel **parallel** und **orthogonal**, legen die relative Orientierung von Bestandteilen fest. Die Definition des Konzepts **FAHRWERK** in Abbildung 6 enthält neben den Bestandteilen (zwei Achsensysteme und ein Fahrwerkblock) die logischen *Constraints*, daß jedes der beiden Achsensysteme mit dem Fahrwerkblock verbunden sein muß, sowie den geometrischen *Constraint*, daß die beiden Achsensysteme parallel sind, d.h. daß sie also an gegenüberliegenden Seiten des Fahrwerkblocks montiert sind. Abbildung 7 zeigt auf der linken Seite ein Fahrwerk und auf der rechten Seite ein Aggregat, das aus denselben Bauelementen besteht, bei dem aber der geometrische *Constraint* verletzt ist, daß die beiden Achsensysteme parallel zueinander sein müssen.

Eine wichtige Fähigkeit des Virtuellen Konstrukteurs ist, daß er vom Benutzer konstruierte Baugruppen dynamisch erkennt. Für die erkannten Baugruppen werden neue Objektrepräsentationen in die Wissensbasis eingeführt. Die Funktion der Bauteile im Flugzeugmodell wird erkannt und die dazugehörigen Objektrepräsentationen bezüglich den Konzepten der **Flugzeugwelt** spezialisiert.

Während die unstrukturierten Aggregate der **Bauteilwelt** durch vergleichsweise einfache Inferenzmechanismen erzeugt werden können, erfordert die Erkennung der strukturierten Baugruppen der **Flugzeugwelt** aufwendigere Techniken, die aus

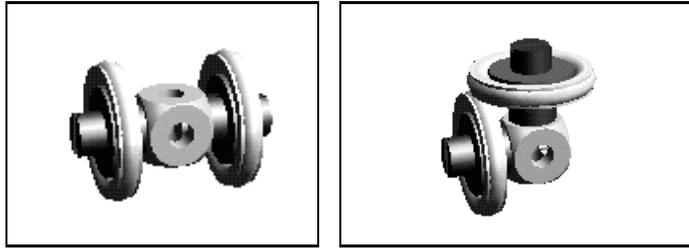


Abbildung 7: a) Fahrwerk b) Kein Fahrwerk

der Existenz von Teilen, die auf bestimmte Weise angeordnet sind, die Existenz des Ganzen erschließen (*Compositional Inferencing*; [2]).

Abbildung 8: Objektrepräsentationen der Wissensbasis **Flugzeugwelt** (vereinfacht)

Werden zum Beispiel zwei Achsensysteme mit demselben Block an gegenüberliegenden Seiten verbunden, so wird dadurch ein **FAHRWERK** konstruiert. Der Virtuelle Konstrukteur erkennt dieses Fahrwerk, indem er überprüft, ob alle notwendigen Bestandteile eines Fahrwerks vorhanden sind und die durch Constraints definierten Bedingungen erfüllt sind. Während die logischen Constraints über die Verbindung zwischen den Achsensystemen und dem Block als qualitative Relationen in den Objektrepräsentationen gespeichert sind, wird der geometrische Constraint, daß die beiden Achsensysteme parallel zueinander sein müssen, in der geometrischen Beschreibung der Objektszene überprüft. Nachdem das Fahrwerk erkannt wurde, kann nun für den **BLOCK**, der im Flugzeugmodell auch als Motor oder Cockpit fungieren könnte, dessen Funktion als **FAHRWERKBLOCK** berechnet werden. Abbildung 8 zeigt einen Ausschnitt der Objektrepräsentationen für die Baugruppen aus Abbildung 7. Für das Fahrwerk wurde eine neue Objektrepräsentation **fahrwerk-1** in die Wissensbasis eingeführt. Der Block **flugzeugteil-1** dieses Fahrwerks war vor der Montage des Fahrwerks als allgemeines **FLUGZEUGTEIL** klassifiziert, und wurde danach zum **FAHRWERKBLOCK** spezialisiert. Das Aggregat aus Abbildung 7b, das keine Baugruppe des Flugzeugmodells darstellt, wird durch **baugruppe-1** repräsentiert. Dessen Block **flugzeugteil-2** hat keine spezielle Funktion im Flugzeugmodell, so daß dieser als allgemeines **FLUGZEUGTEIL** klassifiziert ist. In folgenden Konstruktionsanweisungen kann nun auch das Fahrwerk angesprochen werden (*„montiere das Fahrwerk am Rumpf“*) und dessen Block spezifischer als *Fahrwerkblock* bezeichnet werden.

4 Diskussion

Mit dem Virtuellen Konstrukteur wurde ein System beschrieben, das eine interaktive Simulation einfacher Montagen durch wissensunterstützte Computergrafik ermöglicht. Logische und geometrische Szenenbeschreibungen werden herangezogen, um verbale Montageanweisungen auszuwerten und auszuführen. Durch dynamisch aktualisierte Konzeptualisierung der geometrischen Szenenbeschreibung können sich die Montageanweisungen zu jedem Zeitpunkt begrifflich auf die aktuell für den Benutzer sichtbare Szene beziehen. Darüber hinaus kann zu jedem Zeitpunkt die Szene durch Mauszugriff (Bewegen und Drehen von Objekten etc.) manipuliert werden.

Die Übertragbarkeit der beschriebenen Verfahren auf CAD-basierte Konstruktionsdomänen erscheint durchaus möglich. Hierzu müßten CAD-Modelle gemäß der Fügемöglichkeiten durch eine logische Beschreibung vervollständigt und entsprechendes Konstruktionswissen modelliert werden. Das System ist derzeit auf SGI-Workstations einsetzbar.

Literatur

- [1] B. Jung, I. Wachsmuth. Dynamische Konzeptualisierung. SFB 360 Report 94/9, Universität Bielefeld, 1994.
- [2] L. Padgham, P. Lambrix. A Framework for Part-of Hierarchies in Terminological Logics. In *Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Proc. KR'94*. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA (1994) 485–496.
- [3] I. Wachsmuth, W. Krüger, and Y. Cao. Virtuelle Räume. *KI 94/1*, 26-33.