

# Zur Auswahl von Abstraktionsgraden

Andreas Butz \*

Antonio Krüger †

## Zusammenfassung

Um den Rechenaufwand bei der Erzeugung von 3D-Computeranimationen zu begrenzen, werden häufig mehrere Detaillierungsgrade der zugrundeliegenden Modelle verwendet. Einziges Kriterium zur Auswahl dieser verschiedenen Modelle ist jedoch derzeit ihre Entfernung zur Kamera (und damit die Darstellungsgröße), was die Möglichkeiten des Verfahrens bei weitem nicht ausschöpft. Im vorliegenden Beitrag möchten wir zunächst darauf eingehen, in welche Klassen man Abstraktionen von 3D-Modellen einteilen kann. Anschließend diskutieren wir ein Verfahren zur automatischen Ableitung solcher Abstraktionen aus detaillierten Polygonmodellen.

Die Kriterien, nach denen der Abstraktionsgrad der benutzten Modelle gewählt werden kann, unterteilen wir grob in syntaktische und semantische Kriterien. Während der maximale Abstraktionsgrad aus den syntaktischen Kriterien direkt mathematisch bestimmt werden kann, ist für den Einsatz semantischer Kriterien Hintergrundwissen über den Inhalt der Animation notwendig.

## 1 Motivation

Mit der wachsenden Verbreitung grafikfähiger Rechner hat in den letzten Jahren die Verwendung von Graphiken und Animationen zur Visualisierung von Information am Bildschirm stark zugenommen. Insbesondere Echtzeitanimationen in akzeptabler Bildqualität stellen jedoch noch immer hohe Anforderungen an Rechenleistung und Speicherplatz. Eine Möglichkeit dieses Problem zu entschärfen ist die Verwendung mehrerer Detaillierungsgrade der zugrundeliegenden Modelldaten. Durch eine Vereinfachung der Polygonmodelle (*Multiresolution Modeling*) kann die Graphikgenerierung beschleunigt werden, da weniger komplexe Geometriedaten einen geringeren Rechenaufwand zur Folge haben.

Verfahren zur automatischen Ableitung abstrahierter Modelle wurden in den letzten Jahren zunehmend untersucht [HG94, RB93]. Entscheidend für den erfolgreichen Einsatz multipler Modelle ist jedoch die Entscheidungsfindung eines Systems, zu welchem Zeitpunkt während der Bildgenerierung welcher Detaillierungsgrad gewählt werden kann, so daß bei minimaler Polygonanzahl ein ausreichendes Verständnis der resultierenden Graphik/Animation ermöglicht wird. Die meisten Systeme, die Multiresolution Modeling verwenden, treffen eine Entscheidung zur Wahl des geeigneten Modells alleine aufgrund seiner Entfernung zur Kameraposition (Beispiele hierfür sind VRML-Browser [VRM96] und CAD-Programme [RB93]). Das Kriterium Entfernung führt jedoch nur zu einer eingeschränkten Nutzung abstrahierter Modelle. Wir möchten deshalb im vorliegenden Beitrag weitere sinnvolle Auswahlkriterien vorschlagen, wie Schärfentiefe, Ausleuchtung und die

---

\* Landesgraduiertenförderung des Saarlandes, Fachbereich Informatik, Universität Saarbrücken

† Graduiertenkolleg Kognitionswissenschaft, Universität Saarbrücken

Geschwindigkeit bewegter Objekte. Außer zur Verringerung der Rechenzeit können abstrahierte Modelle aber auch als stilistisches Ausdrucksmittel (vgl. auch [PS95]) eingesetzt werden um Bildinhalte besser zu vermitteln. Hierzu muß bekannt sein, welche Objekte für die Bildaussage eine entscheidende Rolle spielen (und daher im *inhaltlichen Fokus* sind) und welche nicht (*Hintergrundobjekte*). Eine dynamische Generierung der vereinfachten Modelle ist hierfür unerlässlich, da nur so jede mögliche Kombination von Fokus- und Hintergrundobjekten berücksichtigt werden kann. Am Beispiel eines implementierten Systems erläutert unser Beitrag schließlich, wie während der automatischen Planung von Animationen alle oben genannten Auswahlkriterien in Betracht gezogen werden können, um so eine optimierte Wahl des Abstraktionsgrades der Modelle zu ermöglichen. Diese Auswahl schont einerseits Rechnerressourcen wie Speicher und Rechenleistung und unterstreicht andererseits die Bildaussage durch Lenkung des visuellen Fokus.

## 2 Abstraktionsklassen

Zunächst gehen wir von der Grundannahme aus, daß Graphiken und Animationen ein bestimmtes kommunikatives Ziel verfolgen. Dies gilt insbesondere für die von uns untersuchte Domäne der technischen Dokumentationen. Der Betrachter muß entscheidende Inhalte der Graphik im Sinne des Autors interpretieren und Bildobjekte realen Weltobjekten richtig zuordnen. Diese Zuordnung wird durch den Abstraktionsgrad der Bildobjekte maßgeblich beeinflusst. Um die richtige Wahl zwischen verschiedenen Abstraktionen eines Bildobjektes treffen zu können, muß der Bedeutungsunterschied zwischen verschiedenen stark abstrahierten Darstellungen bekannt sein. Wir schlagen eine Unterteilung in vier Klassen von Darstellungen vor: 1. *sichtbare*, 2. *diskriminierbare*, 3. *klassifizierbare* und 4. *identifizierbare* Darstellungen von Objekten. Die Klassen sind in absteigender Reihenfolge ineinander enthalten, d.h. identifizierbare Darstellungen sind z. B. immer auch klassifizierbar, diskriminierbar und sichtbar.

### 2.1 Sichtbare Darstellungen

In dieser Klasse sind all jene Darstellungen von Objekten enthalten, die dem Betrachter visuell zugänglich sind. Das bedeutet, daß der Betrachter die Darstellung in der Gesamtgraphik wahrnehmen kann. Weiteren Anforderungen müssen die Darstellungen dieser Klasse nicht genügen. Es ist also durchaus möglich, mehrere Objekte beispielsweise durch eine einzige Fläche im Bild zu repräsentieren. Eine stärkere Form der Abstraktion kann nur durch das Entfernen jeder Darstellung eines Objektes aus der Graphik erreicht werden, so daß diesem Objekt keine bildliche Repräsentation mehr zugeordnet werden kann.

### 2.2 Diskriminierbare Darstellungen

Vertreter dieser Klasse lassen sich genau einem Objekt zuordnen. So geht man z. B. in kartographischen Darstellungen je nach Maßstab von einer nur sichtbaren Darstellung zu einer detaillierteren diskriminierbaren Darstellung über. Zu größeren Einheiten zusammengefaßte Bildinhalte zerfallen in einzelne Entitäten. Zum Beispiel wird ein Waldbestand zunächst

nur durch seine Fläche repräsentiert, bei kleinerem Maßstab jedoch durch die Darstellung der einzelnen Bäume. Die Bestimmung diskriminierbarer Darstellungen läßt sich leicht durch geometrische Schnittberechnungen bzw. Kontrastvergleiche realisieren.

### 2.3 Klassifizierbare Darstellungen

Klassifizierbar ist eine Darstellung, wenn sie Rückschlüsse auf die Zugehörigkeit des dargestellten Objektes zu einer begrifflichen Kategorie zuläßt. Ein Beispiel aus der Kartographie ist die Darstellung von Gewässern. Diese werden vornehmlich blau dargestellt. So wird gewährleistet, daß z. B. die Darstellung eines Flusses klassifizierbar ist. Im Gegensatz zu den beiden vorangegangenen Klassen wird zur Bestimmung von klassifizierbaren Darstellungen zusätzliches Wissen benötigt. Es ist beispielsweise von entscheidender Bedeutung, zu wissen, ob der Betrachter einen Fluß in der Darstellung blau oder rot erwartet.

### 2.4 Identifizierbare Darstellungen

Die letzte und spezifischste Klasse enthält identifizierbare Darstellungen. Eine Darstellung ist genau dann identifizierbar, wenn eine eindeutige Zuordnung zu einem ganz bestimmten realen Weltobjekt möglich ist. Wenn beim Studium einer Stadtkarte das eigene Haus erkannt wird, so war die Darstellung des Hauses in der Karte identifizierbar. Umfangreiches Wissen ist nötig, um zu entscheiden ob eine Darstellung tatsächlich identifizierbar ist. Dazu gehört auch individuelles Wissen verschiedener Betrachter. Der Hausbesitzer erkennt sein eigenes Haus schon bei sehr schematischer Darstellung z. B. aufgrund der Lage anderer Objekte, während ähnliche Darstellungen von anderen Häusern in den meisten Fällen für ihn höchstens klassifizierbar sind.

## 3 Abstraktionstechniken

Aus der Computergraphik sind verschiedene Verfahren bekannt, um die Ressource Rechenzeit im Render-/Animationsprozeß zu schonen. Das sogenannte *Multiresolution Modeling* hat unter diesem Gesichtspunkt in letzter Zeit große Aufmerksamkeit erhalten und gilt als ein vielversprechender Ansatz (für eine ausführliche Diskussion siehe [HG94]). Solche Verfahren reduzieren die Anzahl der Polygone beliebiger oder geschlossener Polygonmodelle. Das Hauptproblem der meisten Ansätze liegt in der Qualität der Abstraktionsresultate. Oft wird nur Wert auf die Minderung der Komplexität der Modelle gelegt, mit der Konsequenz, daß stark abstrahierte Modelle nur in großem Abstand vom Betrachter verwandt werden können. Verfahren, die visuell ansprechendere Ergebnisse liefern, wie z. B. die Methode der *Simplification Envelopes* ([CVM<sup>+</sup>96]) können zur Zeit nicht unter Echtzeitbedingungen eingesetzt werden, da sie zuviel Rechenzeit verschlingen.

Bekannt sind Abstraktionsverfahren auch aus der Intelligenten Informationspräsentation. Sie basieren jedoch auf Modellen, die aus wenigen Objektprimitiven zusammengesetzt sind (In [Fei85] sind es achsenparallele Quader und in [Krü95] beliebige Quader, Zylinder und Flächen). Unser Ansatz erfordert zum einen ein genügend schnelles Verfahren, das Abstraktionen dynamisch zur Laufzeit erzeugt und zum anderen ein Verfahren,

das für allgemeine Polygonmodelle visuell überzeugende Ergebnisse liefert. Wir benutzen einen Multiresolution-Ansatz von Rossignac [RB93], der um verschiedene Eigenschaften erweitert wurde. Das Rossignac-Verfahren ist im wesentlichen ein Filterverfahren mit allen Stärken und Schwächen. So ist es für unsere Zwecke ausreichend schnell, kann aber Aliasing-Effekte nicht verhindern. Die meisten Erweiterungen zielen darauf ab, die negativen visuellen Auswirkungen auf das Endergebnis zu minimieren.

Zur Abstraktion wird zunächst ein dreidimensionales Gitter über das Polygonmodell gelegt. Dieses zerteilt den Raum in sogenannte *Cluster*. Die Größe der Cluster ist entscheidend für den Abstraktionsgrad des Ergebnisses, da alle Knoten, die innerhalb eines Clusters liegen, durch einen einzelnen Knoten ersetzt werden. Dieser Knoten kann durch verschiedene Verfahren bestimmt werden. Wir verwenden ein gewichtetes Verfahren, welches die Kombination von Massenverteilung (Der resultierende Knoten liegt im Massenzentrum der ursprünglichen Knoten), Längenbetrachtung der an die Knoten angrenzenden Kanten (Knoten an langen Kanten werden bevorzugt behandelt) und Berücksichtigung des umgrenzenden Quaders bzw. der konvexen Hülle ermöglicht.

Um den Abstraktionsgrad der Modelle variabler gestalten zu können, erweiterten wir das Verfahren um eine wichtige Eigenschaft: *Variable Clustergrößen* erlauben es, starke Abstraktionsgrade mit schwächeren im abstrahierten Modell zu kombinieren. Die Verwendung eines inhomogenen Gitters kann im Extremfall sogar Fixpunkte bewirken, die dazu beitragen, inhaltlich wichtige Details im Endergebnis zu erhalten. Eine Grundeigenschaft dieses Verfahrens, die wir später ausnützen werden, ist, daß die Clustergröße gleichzeitig den minimalen Abstand zweier Knoten bestimmt.

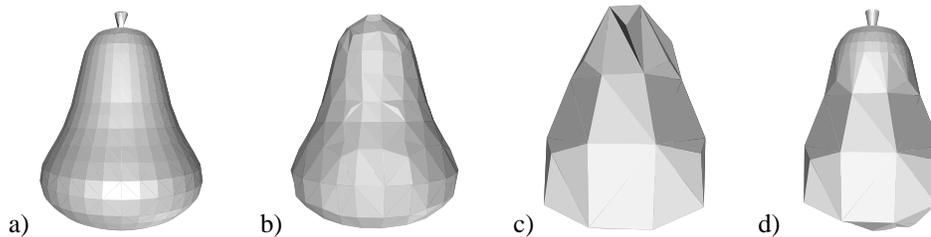


Abbildung 1: Die Sequenz a)-c) verdeutlicht die Auswirkungen des Verfahrens auf das Modell einer Birne unter Berücksichtigung von Knoten, die auf der konvexen Hülle liegen. In d) wurde der obere Teil der Birne vom Abstraktionsvorgang ausgeschlossen.

## 4 Wahl des Abstraktionsgrades

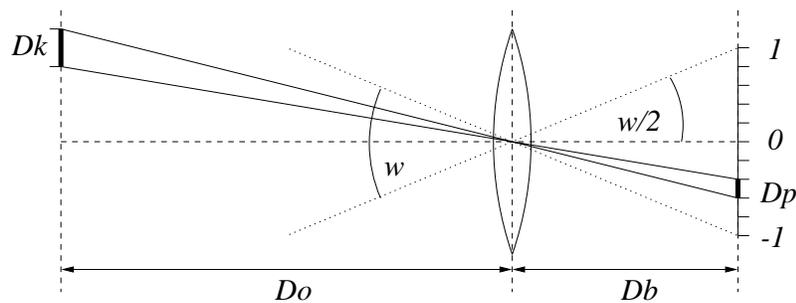
Um die automatisch berechneten Abstraktionen optimal einsetzen zu können, muß ein System Entscheidungen treffen, wann welches Objekt mit welchem Abstraktionsgrad dargestellt werden soll. Für diese Entscheidung steht eine Reihe von Kriterien zur Verfügung, die sich zunächst grob in zwei Klassen unterteilen lassen.

## 4.1 Syntaktische Kriterien

Syntaktisch bedeutet, daß sich die erste Gruppe von Kriterien allein aus der (räumlichen und zeitlichen) Struktur der dargestellten Szene ableiten lassen.

### 4.1.1 Entfernung

Das einzige Kriterium, das in bestehenden Graphik- und Animationssystemen meist ausgenutzt wird, ist die Entfernung eines Objektes zur Kamera. Da ein Objekt mit zunehmender Entfernung immer kleiner und somit bei fester Auflösung immer weniger detailliert dargestellt wird, sinkt der notwendige Detaillierungsgrad der zugrundeliegenden Geometrie mit zunehmender Entfernung. Insbesondere muß bei einem Polygonmodell jedes Pixel im fertigen Bild maximal einem Knoten im Polygonmodell zugeordnet werden. Fallen mehrere Knoten auf ein Pixel in der Projektion, so sind sie nicht mehr getrennt sichtbar und können deshalb zu einem zusammengefaßt werden. Bei dem vorher geschilderten Abstraktionsverfahren nach Rossignac kann die Größe der Cluster also direkt aus der Entfernung des Objektes berechnet werden, und zwar mithilfe folgender Überlegung:



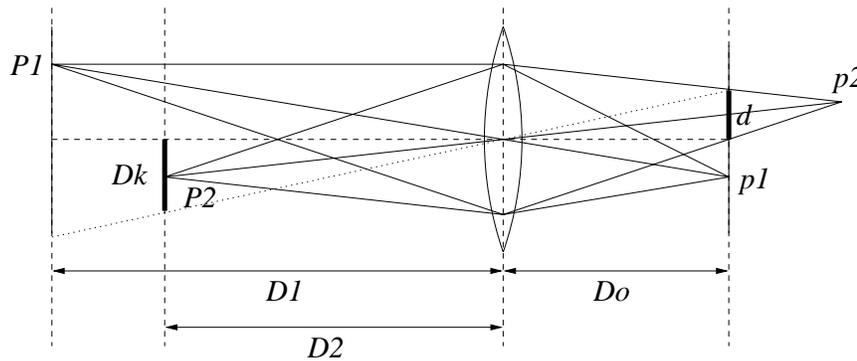
Die Kantenlänge eines Clusters (also der minimale Abstand zweier Knoten) in der Modellwelt entspricht der Kantenlänge eines Pixels in der Projektion. Bei gegebener Kameraeinstellung und Bildauflösung ergibt sich hierfür folgende (auf 2 Dimensionen vereinfachte) Berechnung: Es seien  $w$  der (horizontale) Bildwinkel der Kamera,  $R$  die (horizontale) Bildauflösung in Pixeln,  $D_p$  die (horizontale) Kantenlänge eines Pixels,  $D_k$  der minimale Abstand zweier Knoten,  $D_o$  der Abstand des Objekts vom Objektiv (Gegenstandsweite) und  $D_b$  der Abstand der Projektionsebene vom Objektiv (Bildweite). Dann gelten bei einer Projektion des Bildes auf das Intervall  $[-1, 1]$  unter Ausnutzung der Winkelfunktionen sowie der Strahlensätze folgende Beziehungen:

$$D_p = \frac{2}{R}, \quad D_b = \frac{1}{\tan(\frac{w}{2})}, \quad \frac{D_k}{D_p} = \frac{D_o}{D_b}, \quad \text{also} \quad D_k = \frac{2 * D_o * \tan(\frac{w}{2})}{R}$$

Somit ist die Clustergröße bei gegebener Auflösung direkt linear abhängig von der Objektentfernung und dem Tangens des (halben) Bildwinkels, sowie umgekehrt linear von der Bildauflösung. Aus der Vorüberlegung ist einzusehen, daß ein höherer Detaillierungsgrad als der daraus resultierende keine sichtbare Verbesserung des Bildes ergibt.

### 4.1.2 Schärfe

Objekte, die nicht genau in der Schärfeebene des Objektivs liegen, werden je nach ihrem Abstand zur Schärfeebene unterschiedlich scharf dargestellt. Das heißt, Punkte, die vor oder hinter der Schärfeebene liegen, werden in der Projektion als mehr oder weniger große Kreise dargestellt, die sogenannten *Zerstreuungskreise*.



Betrachten wir folgende Situation: Die Kamera ist auf die Entfernung  $D_1$  fokussiert, das heißt der Punkt  $P_1$  wird scharf auf den Punkt  $p_1$  in der Bildebene abgebildet.  $P_2$  hingegen wird auf den hinter der Bildebene liegenden Punkt  $p_2$  abgebildet und produziert so in der Bildebene einen Zerstreuungskreis vom Durchmesser  $d$ . Für  $d$  gilt (ohne Herleitung) bei endlicher Entfernungseinstellung  $D_1$  die unten angegebene Formel. Aus  $d$ ,  $D_o$  und  $D_2$  läßt sich aber auch direkt der zugehörige Abstand  $D_k$  in der Modellwelt berechnen. Seien  $f$  die Brennweite des Objektivs,  $N$  die eingestellte Blendenzahl,  $D_1$  die Entfernungseinstellung des Objektivs und  $D_2$  die Entfernung des dargestellten Punktes, dann gelten:

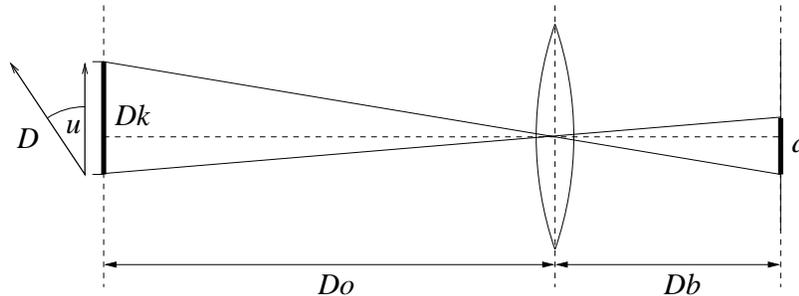
$$d = \left| \frac{f^2 * (\frac{D_1}{D_2} - 1)}{N * (D_1 - f)} \right| \quad \text{und} \quad D_k = d * \frac{D_2}{D_o}$$

Analog zur Überlegung bei der Objektentfernung läßt sich daraus eine obere Schranke für den Detaillierungsgrad in Abhängigkeit von der Schärfe angeben. Die Grundidee ist, daß es sinnlos ist, mehr als einen Eckpunkt des Polygonmodells in ein Gebiet abzubilden, das der Größe eines Zerstreuungskreises entspricht. Die Größe der Cluster beim Rossignac-Verfahren läßt sich dann mit den angegebenen Formeln entsprechend  $D_k$  wählen. Sie hängt quadratisch von der Brennweite des Objektivs und umgekehrt linear von der eingestellten Blendenzahl ab. Außerdem geht das Verhältnis des Objektabstandes zum Abstand der Schärfeebene ein und für den Sonderfall, daß beide gleich sind (Objekt in der Schärfeebene) wird der Durchmesser des Zerstreuungskreises und damit die Clustergröße Null, was bedeutet, daß wir den höchsten Detaillierungsgrad verwenden müssen.

### 4.1.3 Bewegung

Vergleichsweise einfach liegen die Dinge bei der Betrachtung von Objektbewegungen. Um eine Berechnungsgrundlage zu haben, nehmen wir an, daß der Renderer die entstehende

Bewegungsunschärfe physikalisch korrekt darstellt (was derzeit leider recht wenige Renderer tun). Ein bewegtes Objekt legt in der Zeit  $\Delta t$  von einem Bild der Animation zum nächsten eine bestimmte Wegstrecke  $D$  zurück.



In der Projektion ergibt dies eine Bewegung um  $d$ , abhängig von der Bewegungsrichtung und der Objektentfernung. Diese Wegstrecke hängt linear von der Objektgeschwindigkeit  $v$  und umgekehrt linear von der Bildfrequenz  $n$  ab.

$$\Delta t = \frac{1}{n}, \quad D = v * \Delta t, \quad \text{also} \quad D_k = \left| \frac{v}{n} * \cos u \right|$$

Eine korrekte Darstellung der Bewegungsunschärfe verteilt nun einen Punkt des Objekts auf die Strecke  $d$  in der Projektion. Es ist offensichtlich nicht sinnvoll, mehr als einen Punkt innerhalb  $D_k$  abzubilden, da diese Punkte überlappende Strecken erzeugen würden und somit nicht mehr getrennt sichtbar wären. Wenn wir also annehmen, daß es (bei einigermaßen hoher Bildfrequenz) sinnlos ist, mehr als einen Objektpunkt aus  $D_k$  zu projizieren, so erhalten wir analog zu den vorangegangenen Rechnungen eine obere Schranke für die Clustergröße beim Rossignac-Verfahren.

#### 4.1.4 Beleuchtung

Die Abhängigkeit des Detaillierungsgrades von der Beleuchtung ist leider nicht direkt mit optischen Gesetzen abzuschätzen. Offensichtlich ist jedoch, daß richtig beleuchtete und optimal sichtbare Objekte auch (nach obigen Abschätzungen) voll detailliert dargestellt werden sollten. Objekte hingegen, die im Dunkeln liegen oder so stark beleuchtet werden, daß sie im Weiß ihrer Umgebung verschwinden, können ebensogut weggelassen werden. Zwischen diesen Extremen liegt ein unsicherer Bereich, in dem der Detaillierungsgrad mit der Helligkeit der Beleuchtung zu- bzw. abnimmt. Objekte im Halbdunkel brauchen offensichtlich nicht voll detailliert dargestellt zu werden, da durch die mangelnde Beleuchtung nicht alle Details sichtbar werden. Mangels besserer Berechnungsgrundlage schlagen wir deshalb vor, den Detaillierungsgrad zwischen den geschilderten Eckpunkten (zu dunkel, richtig, zu hell) zu interpolieren, um so eine Abschätzung des benötigten Detailgrades in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke zu erhalten.

#### 4.1.5 Verdeckung und Clipping

Ein letztes Kriterium ist die Verdeckung von Objekten und die Tatsache, daß sie ganz oder teilweise außerhalb der projizierten Bildes liegen. Ist bekannt, daß ein Objekt vollständig durch ein anderes verdeckt wird, so kann seine Geometrie zur Bildberechnung ebensogut weggelassen werden. Für teilweise Verdeckungen gilt dies zwar analog, jedoch übersteigt hier der Aufwand für die exakte Ermittlung der Verdeckung meist den Aufwand, das Objekt komplett in die Bildberechnung miteinzubeziehen. Die Berechnung, daß sich Objekte komplett außerhalb des projizierten Bildes befinden, wird bereits von vielen Renderern durchgeführt und ausgenutzt, um die Rechenzeit zu senken.

Die bisher genannten Kriterien liefern jeweils für sich eine obere Abschätzung für den Abstraktionsgrad bzw. für die Clustergröße beim Rossignac-Verfahren. Die aus allen Kriterien gemeinsam resultierende kleinste obere Schranke ist das Minimum der einzelnen Werte. Ein Modell, das mit einem derart berechneten Abstraktionsgrad dargestellt wird, liefert eine Darstellung, die unter den beiden Aspekten Rechenaufwand und Bildqualität optimal ist. Durch die obigen Überlegungen ist sichergestellt, daß ein höherer Detaillierungsgrad des Modells keine (wesentlich) bessere bildliche Darstellung mehr liefern würde, was die Bildqualität optimiert. Außerdem ist sichergestellt, daß zur Erreichung dieser Bildqualität das Modell so weit wie möglich vereinfacht wurde und somit der Rechenaufwand minimiert ist. Innerhalb der so gesteckten Grenzen kann nun eine Auswahl des Abstraktionsgrades nach semantischen Kriterien erfolgen, da auch sichergestellt ist, daß eine Veränderung des Abstraktionsgrades eine Veränderung des erzeugten Bildes bewirkt.

## 4.2 Semantische Kriterien

Während die syntaktischen Kriterien anhand rein geometrischer Betrachtungen ermittelt werden konnten, ist dies bei der Bestimmung semantischer Kriterien nicht mehr möglich. Inhaltliche Aspekte einer Graphik oder Animation entscheiden letztendlich, welche Objekte relevant sind und welche nicht. Die folgenden Abschnitte erläutern drei semantische Kriterien und zeigen, auf welchem zusätzlichen Wissen die Einordnung der Objekte einer Szene in die in Abschnitt 2 beschriebenen Abstraktionsklassen beruht.

### 4.2.1 Fokus

Der Entwurf graphischer Abstraktionen orientiert sich, wie der Graphikentwurf im allgemeinen, an Präsentationszielen [Ris95, And95, Fei85]. Diese Ziele gilt es im Ergebnis des Entwurfsprozesses zu erfüllen. Beispiele für Präsentationsziele sind: *Erläutere funktionale Zusammenhänge zwischen Objekten*, *Zeige die räumliche Position eines Objektes*, *Illustriere den Zusammenbau eines Objektes* oder *Verdeutliche Handlungsabläufe an Objekten*.

In Anlehnung an [GS86, Ris95] gehen wir davon aus, daß Präsentationsziele eine attentionale Fokusstruktur einer Graphik implizieren. Diese Struktur zerteilt eine Graphik in zwei Bereiche, die in unterschiedlichem Maße zur Erfüllung des Präsentationszieles beitragen und dementsprechend unterschiedlich starke Aufmerksamkeit des Betrachters verlangen. Diese Unterteilung ist hilfreich bei der Zuordnung von Darstellungen zu den in Abschnitt 2 beschriebenen Abstraktionsklassen.

**Fokusobjekte:** Objekte im inhaltlichen Fokus sind von besonderer Bedeutung für die Graphik und müssen meist *identifizierbar* oder *klassifizierbar* dargestellt werden.

**Hintergrundobjekte:** Alle Objekte, die nicht im inhaltlichen Fokus sind, bezeichnen wir als Hintergrundobjekte. Allerdings können diese unterschiedlich wichtig für das Präsentationsziel sein. *Landmarken* sind Objekte, die oft eine Identifizierung von Objekten im inhaltlichen Fokus erst ermöglichen. Dies muß sich auch im Abstraktionsgrad der Darstellung widerspiegeln. *Diskriminierbare* Darstellungen sind für Landmarken meistens unerlässlich. Bei den restlichen Objekten muß entschieden werden, ob eine *sichtbare* Darstellung nötig ist (um z. B. Größenverhältnisse richtig darzustellen) oder, ob diese tatsächlich weggelassen werden können.

Es stellt sich nun die Frage, wie von einem Abstraktionssystem gewährleistet werden kann, daß Objektdarstellungen im Endergebnis tatsächlich *identifizierbar* oder *klassifizierbar* sind. Grundsätzlich führt dies zu Betrachtungen, die sich auf die (komplexe) Problematik des Bildverstehens zurückführen lassen. Wir wollen hier nur einige wenige Aspekte aufgreifen und Heuristiken vorschlagen, die akzeptable Ergebnisse liefern.

**Hauptachsen und Silhouette:** Nach [Mar82] sind Hauptachsen wichtige Wiedererkennungsmerkmale für Objektklassen und sollten für *klassifizierbare* Objekte unbedingt erhalten bleiben. Auch von der Silhouette sollte nicht zu stark abgewichen werden. Hilfsmittel zur Berücksichtigung dieser Faktoren sind Vektoren, die die Hauptachsen repräsentieren, sowie die konvexe Hülle und markante Ausprägungen (wie z. B. besonders stark konkave Einschnitte) des Modells. Für das Rossignac-Verfahren muß die Clustergröße so gewählt werden, daß die entsprechenden Merkmale erhalten bleiben. Dies kann durch ein inkrementelles Verfahren erreicht werden, das mithilfe einer Evaluierungskomponente die Clustergröße immer weiter heraufsetzt, bis ein akzeptabler Wert gefunden wurde. Eine einfachere Lösung besteht darin, jedem Modell eine einmal ermittelte optimale Clustergröße zuzuordnen. Hauptachsen lassen sich erhalten, wenn die Knoten in der Nähe der Achsenenden als Fixpunkte behandelt werden.

**Signifikante Attribute:** Eine einfache Heuristik, die *identifizierbare* Darstellungen gewährleistet, ist es, die entsprechenden Objekte aus dem Abstraktionsprozeß ganz herauszunehmen. Diese Vorgehensweise ist in vielen Fällen jedoch zu konservativ, denn oft sind es nur einige wenige Attribute, die eine *identifizierbare* Darstellung von einer *klassifizierbaren* unterscheiden. Sind diese Attribute eines Objekts bekannt, so genügt es, die entsprechenden Details bei der Abstraktion zu erhalten und ansonsten für das Objekt eine *klassifizierbare* Darstellung zu wählen.

#### 4.2.2 Konsistenz, Persistenz und Kontext

Die Verwendung verschiedener Abstraktionsgrade für gleichartige Objekte führt zu Verwirrungen beim Betrachter und sollte vermieden werden. Wurde für ein Objekt eine Abstraktion ermittelt, so kann diese zur Darstellung anderer gleichartiger Objekte übernommen werden. Sind mehrere Präsentationsziele nacheinander zu erfüllen (wie es z. B. die Beschreibung eines funktionalen Zusammenhangs oder eines Handlungsablaufs erforderlich macht), so müssen Persistenzkriterien berücksichtigt werden, die die Darstellung der

Objekte einschränken. Da verschiedene Präsentationsziele bewirken können, daß Objekte vom Hintergrund in den inhaltlichen Fokus wechseln und umgekehrt, dürfen diese als Hintergrundobjekte nicht zu stark abstrahiert werden. Wir verwenden in diesem Fall *klassifizierbare* Darstellungen. Der Kontext einer Präsentation hat zusätzlichen Einfluß auf die Wahl der Abstraktionsgrade. Besteht z. B. die Möglichkeit, Objekte durch Annotation in der Präsentation zu beschriften (ein solches System wird in [PS96] vorgestellt), so kann der Abstraktionsgrad der Objekte wesentlich höher sein, da eine Klassifizierung oder Identifizierung durch die Beschriftung erfolgt. Auch kann das unterschiedliche Hintergrundwissen verschiedener Betrachter voneinander abweichende Interpretationen einer Abstraktion zur Folge haben. Kontextwissen wird von uns zur Zeit nicht berücksichtigt.

## 5 Automatische Animation

Als Beispiel eines Systems, das 3D-Animationen generiert und dabei Multi Resolution Modeling gezielt einsetzt, soll das System CATHI vorgestellt werden, das am DFKI Saarbrücken im Rahmen des Projektes *PPP* ([AGH<sup>+</sup>93]) entwickelt wurde.

### 5.1 Scriptgenerierung

CATHI generiert, ausgehend von einer inhaltlichen Spezifikation auf sehr hoher Ebene (Präsentationsziel) zunächst ein Drehbuch (Script) für die Animation, wobei verschiedenste Parameter wie Präsentationszeit, Graphikleistung des Ausgabemediums und stilistische Präferenzen berücksichtigt werden. Dieses Script enthält eine vollständige geometrische Beschreibung der Animation einschließlich Kameraführung, Beleuchtung, Objektbewegungen und Objekteigenschaften wie Farbe, Transparenz und Abstraktionsgrad. Die Zerlegung des Scripts in Untersequenzen wird in einer kontextsensitiven Grammatik festgelegt, die letztlich das Aussehen der generierten Animationen bestimmt. Diese Scriptgrammatik bestimmt sämtliche Parameter der Animation bis ins Detail und aus ihr werden hierarchisch aufgebaute Animationsscripte generiert. Die spezifizierten Parameter lassen sich grob in mehrere Gruppen unterteilen.

Parameter zur Kamerasteuerung sind einerseits die Position der Kamera, ihre Blickrichtung und Orientierung. Außerdem werden aber auch die Brennweite (bzw. der Bildwinkel) der Kamera, ihre Entfernungseinstellung und Blendenöffnung spezifiziert. Somit besteht die Möglichkeit, (einen geeigneten Renderer vorausgesetzt), außer Kamerafahrten und Schnitten auch Tiefenschärfefeffekte gezielt einzusetzen. Letzteres ist zwar derzeit noch nicht in Echtzeit darstellbar, was aber nur eine Frage der Rechenleistung ist und sich somit mit den nächsten Rechnergenerationen von selbst lösen wird. Der Einsatz solcher Effekte wird durch die Scriptgrammatik bestimmt.

Die Beleuchtung der Modellwelten geschieht durch die Angabe von Lichtquellen im Animationsscript. Das System CATHI kennt derzeit 4 Arten von Lichtquellen: ambientes Licht, gerichtetes Licht, Punktlichter und Scheinwerfer. Aus den ersten drei Lichtarten wird zunächst eine Grundausleuchtung der Szenerie erstellt, die alle Bereiche der Modellwelt soweit ausleuchtet, daß ein natürlicher Gesamteindruck entsteht, und sämtliche Objekte gut

sichtbar und in angenehmer Helligkeit dargestellt sind. Als gestalterisches Mittel können nun während der Animation Scheinwerfer eingesetzt werden, die nur bestimmte Objekte beleuchten und sie somit optisch hervorheben, während die Gesamtbeleuchtung zurückgenommen wird.

Objekte in der Modellwelt können sich in ihrer Position oder anderen Eigenschaften verändern. Bewegungen von Objekten sind durch ihre Trajektorien modelliert, sofern sie zur Modellwelt gehören. Außerdem gibt es Objektbewegungen, die nicht zur Modellwelt gehören, sondern vom Animationssystem berechnet werden. Dies sind beispielsweise die Objektbewegungen, die zu einer Explosionsdarstellung der gezeigten Modelle führen. Im Script tauchen all diese Objektbewegungen als Menge elementarer Bewegungen der Modelle auf und spezifizieren die Positionen und Orientierungen der Objekte zu jedem Zeitpunkt. Außer in ihrer Position können Objekte auch in anderen Eigenschaften wie Farbe und Transparenz manipuliert werden. Dadurch können Objekte beispielsweise farbig aufblinken oder (auch teilweise) durchsichtig gemacht werden, sobald sie andere Objekte verdecken. Der Einsatz dieser Effekte ist ebenfalls in der Scriptgrammatik festgelegt.

## 5.2 Abstraktionsgrade

Nach der bisherigen Beschreibung ist offensichtlich, daß das System CATHI zu jedem Zeitpunkt die notwendigen Informationen besitzt, gezielt bestimmte Abstraktionsgrade auszuwählen. Da die komplette Kamerasteuerung bekannt ist, können die syntaktischen Kriterien direkt berechnet und die entsprechenden Modelle abgeleitet und eingesetzt werden. Die Ableitung der Modelle übernimmt das Abstraktionssystem  $\mathcal{ARP}$ .  $\mathcal{ARP}$  ist das Nachfolgesystem zu PROXIMA ([Krü95]) und erzeugt geometrische Abstraktionen für den Einsatz in der technischen Dokumentation mithilfe der in Abschnitt 3 geschilderten Verfahren. Da in CATHI die Präsentationsziele der Animation ebenfalls bekannt sind, können auch die aus ihnen ableitbaren semantischen Kriterien sofort berücksichtigt werden. Fokusobjekte der Animation werden detailliert gezeigt, Hintergrundobjekte bleiben je nach Situation erkennbar oder klassifizierbar. Somit können alle in Abschnitt 4 genannten Kriterien zur Festlegung der Abstraktionsgrade der verwendeten Modelle ausgenutzt werden und die entstehenden Animationen sind wie eingangs gefordert unter den Kriterien Rechenaufwand und Ausdrucksstärke optimiert.

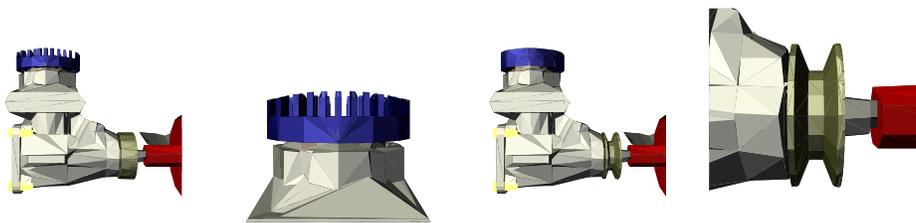


Abbildung 2: Die obige Sequenz verdeutlicht den Wechsel des inhaltlichen Fokus durch eine Veränderung der Abstraktionsgrade.

## Danksagung

Die geschilderten Abstraktionsverfahren wurden implementiert von Tatjana Klajić und Christoph Stahl. Die von uns benutzte Graphiksoftware Geomview wurde entwickelt am Geometry Center der University of Minneapolis, Minnesota.

## Literatur

- [AGH<sup>+</sup>93] E. André, W. Graf, J. Heinsohn, B. Nebel, H.J. Profitlich, T. Rist, A. Schauder und W. Wahlster. *PPP - Personalized Plan-Based Presenter*. Interner Bericht D-93-5, DFKI, Saarbrücken, 1993.
- [And95] Elisabeth André. *Ein planbasierter Ansatz zur Generierung multimedialer Präsentationen*. Dissertation, Universität Saarbrücken, 1995.
- [CVM<sup>+</sup>96] Jonathan Cohen, Amitabh Varshney, Dinesh Manocha, Greg Turk, Hans Weber, Pakaj Agarwal, Frederick Brooks und William Wright. *Simplification Envelopes*. In: Siggraph'96, New Orleans, 1996.
- [Fei85] Steven Feiner. *APEX: An Experiment in the Automated Creation of Pictorial Explanations*. IEEE Computer Graphics and Applications, 5(11):117–123, 1985.
- [GS86] B.J. Grosz und C.L. Sidner. *Attention, Intentions and the Structure of Discourse*. Computational Linguistics, (12):175–204, 1986.
- [HG94] Paul Heckbert und Michael Garland. *Multiresolution Modeling for Fast Rendering*. In: Proceedings of Graphics Interface'94, S. 43–50, 1994.
- [Krü95] A. Krüger. *PROXIMA: Ein System zur Generierung graphischer Abstraktionen*. Diplomarbeit, Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 1995.
- [Mar82] David Marr. *Vision*. W.h. Freeman and Company, 1982.
- [PS95] Bernhard Preim und Thomas Strothotte. *Tuning Rendered Line-Drawings*. In: Winter School of Computergraphics, Plzen, S. 228–238, 1995.
- [PS96] Bernhard Preim und Thomas Strothotte. *Illustrating Anatomic Models – A Semi-Interactive Approach*. 1996.
- [RB93] Jarek Rossignac und Paul Borrel. *Multi-Resolution 3D Approximations for Rendering Complex Scenes*. In: Geometric Modeling, 1993.
- [Ris95] T. Rist. *Wissensbasierte Verfahren für den automatischen Entwurf von Gebrauchsgraphik in der technischen Dokumentation*. Dissertation, Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 1995.
- [VRM96] VRML2.0. *Specification by Silicon Graphics Inc.*. <http://vrml.sgi.com/moving-worlds/index.html>, 1996.