



Grundlagen der Computeranimation

Proseminar Computergraphik
Sommersemester 2009

Dozent: Wilfried Mascolus
Lehrstuhl für Computergrafik und Visualisierung
Fakultät Informatik

Christian Hensel
Matrikelnummer: 3313448
s0110837@mail.inf.tu-dresden.de

Inhaltsverzeichnis

Motivation	2
Begriffserläuterung	3
Schlüsselbildanimation	4
Klassische Schlüsselbildanimation	4
Moderne Schlüsselbildanimation	4
Mathematische Methoden	5
Rotation	5
Translation	6
Physikalische Methoden	7
Inverse Kinematik	8
Motion Capturing	9
Facial Animation	10
Weitere Aspekte	11
MPEG	12
Zusammenfassung	13
Bekannte Filme	14
Quellen	15

Motivation

Computer-Animation ist das Fachgebiet der Informatik, welches sich mit computergenerierten Folgen von gerenderten Bildern beschäftigt, welche zusammen eine bewegte Szene ergeben.

Ziel des Vortrags ist es einen Überblick über Methoden der Computeranimation zu vermitteln, sowie deren Stellung in der modernen Welt aufzuzeigen.

In dieser Ausarbeitung geht es vor allen Dingen um folgende Themengebiete: mathematische und physikalische Grundlagen, sowie Inverse Kinematik, Schlüsselbildanimation, Motion Capturing und Grundlagen von Facial Animation. Es werden zum Schluss weitere Aspekte der Computeranimation genannt und es wird noch kurz auf das MPEG Videoformat eingegangen.

In der Praxis wird Computeranimation auf vielfältige Weise genutzt: Sie wird zum Beispiel in Programmen wie 3D Studio MAX, Povray etc. für die Film - Produktion eingesetzt. Aber auch in anderen Bereichen wie der Industrie und nicht zuletzt in Computerspielen findet Computeranimation Anwendung, was die Weiterentwicklung sehr stark vorantreibt.

Begriffserläuterung

Animation:

„Animation“ leitet sich aus dem lateinischen Wort „animare“ ab und bedeutet so viel wie „zum Leben erwecken“.

Es ist im engeren Sinne jede Technik, bei der durch das Anzeigen von Einzelbildern für den Betrachter ein bewegtes Bild geschaffen wird.

Computeranimation:

„Computeranimation“ bezeichnet die Erzeugung von Animationen mit Hilfe von Computern.

Sie verwendet die Mittel der Computergrafik und ergänzt sie um zusätzliche Techniken.

Einem Standbild wird durch Veränderungen Leben angehaucht. Standbilder mit kleinen Veränderungen werden nacheinander in einem Film abgespielt. Meistens wird eine Technik namens „Rendering“ benutzt.

Teilweise unterscheidet man computergestützte und computer-generierter Animation.

Schlüsselbildanimation:

Klassische Schlüsselbildanimation

Hierbei werden zunächst von *Hauptzeichnern* (Schlüsselzeichner, Keyframer) einzelne wichtige Bilder (*Keyframes*) angefertigt, die grobe Bewegungssequenzen vorgeben, welche in der Handlung vorkommen sollen. Zwischen die Keyframes werden dann von anderen Zeichnern (Zwischen(phasen)zeichner, Inbetweener) so viele weitere Bilder gezeichnet (*Interframes*), bis sich in der Bewegung ein flüssiges Bild ergibt.

Die Keyframes für sich betrachtet sind noch mit Comic-Geschichten vergleichbar, deren Bilder noch weit von einander entfernt sind. Erst mit den hinzu kommenden Interframes ergibt sich ein flüssiger Film. Die Herstellung von Keyframes erfordert sehr viel Erfahrung, da sie bei falscher Zeichnung nachfolgend nicht so mit Interframes verbunden werden können, dass der Film natürlich oder glaubhaft wirkt.

Die bei der Schlüsselbildanimation beteiligten Zeichner stehen in einer strengen Hierarchie. Auf tieferen Stufen werden mehr Zeichner benötigt, da immer viel mehr Interframes als Keyframes zu zeichnen sind. Die Hierarchie der Zeichner kann je nach Anforderung und Produktions-Struktur hoch oder niedrig sein. Beispiel für eine einfache Struktur:

- Regisseur_(erstellt Storyboard) Schlüsselzeichner (erstellen Keyframes)
- Zwischen(phasen)zeichner (erstellen Interframes)
- Reinzeichner (pausen alle Bilder noch einmal sauber ab (*cleanup*)).

Diese klassische Schlüsselbildanimation ist sehr personalaufwändig.

Moderne Schlüsselbildanimation

In der Computergrafik funktioniert dieses Prinzip ebenso. Es werden jedoch keine Zwischenzeichner mehr benötigt, da diese Arbeit vom Computer abgenommen wird.

Das zu animierende Objekt liegt in Form eines 3D-Koordinatenkörpers vor, dem Positionen und Formen zugewiesen werden (Parameter), die den Keyframes bei der klassischen Animation entsprechen. Die nachfolgenden Interframes werden vom Rechner selbständig interpoliert. Dies führt zu einem kompletten Bewegungsablauf, der mit beliebig vielen Interframes hergestellt werden kann.

So könnte zum Beispiel für die Animation eines Arms, der nach oben in die Luft greift, drei Keyframes definiert werden, die Schnappschüsse dieser Bewegung entsprechen. Die Interframes werden vom Computer berechnet. Das kann auf verschiedene Weise, linear oder durch Splines (auch Bezier-Kurven genannt) erfolgen. Die tatsächlichen Methoden sind vielfältig.

Die Vorteile bestehen in der Senkung des Personalaufwandes. Andererseits stellt die Methode erhebliche Anforderungen an die Qualifikation der Designer und Computergrafiker. Die Methode kann auch nicht bei komplexen Animationen angewendet werden, wie etwa die Darstellung von Mimik und Gestik. Hier werden andere Methoden, teilweise in Kombination angewendet, wie beispielsweise Motion Capturing (Mocap).

Ein Programm zur Keyframe-Animation ist z.B. After Effects von Adobe.

Mathematische Methoden:

Betrachtet werden starre Körper, solche sind 3D-Objekte, deren Form sich unter Bewegung nicht verändert. Insbesondere bleiben die Abstände aller Punkte im Körper untereinander gleich. Wenn ein 3D-Körper starr ist, dann sind die Bewegungen, die dieser Körper macht, Starrkörperbewegungen.

Bewegungen eines Starrkörpers können nur *Rotation* und *Translation* sein. Wenn unstetige Bewegungen mit eingeschlossen werden, dann ist auch *Spiegelung* möglich.

Denn:

- Aus drei Punkten des Körpers kann eine Orthonormalbasis konstruiert werden.
- Sollen sich die Abstände der Punkte untereinander nicht verändern, so muss diese Orthonormalbasis in eine andere transformiert werden.
- Dies ist nur mit Hilfe von Translation, Rotation oder Spiegelung möglich.

Rotation:

Eine Rotation kann mit einer 3x3-Matrix dargestellt werden. Diese Matrix muss aus der Gruppe SO(3) kommen. Sie erfüllt folgende Eigenschaften:

- Determinante der Matrix ist 1.
- Die Spalten bilden Einheitsvektoren einer Orthonormalbasis. Die Matrix ist also aus O(3).
- Alle Spalten(Zeilen)-vektoren der Matrix stehen *orthogonal* zueinander. (logisch, da Orthonormalbasis)
- Da die Spaltenvektoren orthogonal zueinander stehen folgt, dass die *transponierte Matrix* das *Inverse* ist.

Hinweis: Es gibt auch Matrizen aus O(3), die keine Rotationsmatrizen sind. Diese Matrizen sind die Spiegelungen und werden mit $O(3) \setminus SO(3)$ bezeichnet. Spiegelungen verletzen die erste Eigenschaft: $\det = -1$

Aufbau der Rotationsmatrix

Der *Aufbau der Rotationsmatrix* ist wie folgt. Die folgende Matrix rotiert um die *z*-Achse:

$$\begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Folgende zwei Matrizen rotieren links um die *x*-Achse, rechts um die *y*-Achse:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix}$$

Translation:

Rotationen lassen sich mit 3x3-Matrizen beschreiben. Translationen jedoch nicht. Wir können jedoch auf einfachste Weise unsere Matrix auf eine 4x4-Matrix erweitern, sowie auch 4D-Koordinaten verwenden und können in einem solchen System auch eine Translation darstellen.

Die Verschiebung um den Vektor $(x_0, y_0, z_0)^T$ kann wie folgt dargestellt werden:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & 0 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x + x_0 \\ y + y_0 \\ z + z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Dies ist auch schon die Schreibweise in homogenen Koordinaten.

Aufbau der homogenen Koordinaten

Ein Vektor in homogenen Koordinaten hat immer eine 1 als viertes Element:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \mapsto \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Die Überführung einer *Rotationsmatrix* und eines *Translationsvektors* in eine Matrix in homogenen Koordinaten geschieht wie folgt:

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{pmatrix} \text{ und } \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} \mapsto \begin{pmatrix} a & b & c & x_0 \\ d & e & f & y_0 \\ g & h & i & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Auch eine *Skalierung* um einen Faktor f lässt sich darstellen

$$\begin{pmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & f \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f \cdot x \\ f \cdot y \\ f \cdot z \end{pmatrix}$$

Es lassen sich auch *Perspektivische Projektionen* darstellen. Hier die Projektion auf die x,y-Ebene.

$$\underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{d} & 1 \end{pmatrix}}_{\text{Perspektivische Projektion}} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{Parallel-Projektion}} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{d} & 1 \end{pmatrix}}_{\text{Perspektische Transformation}}$$

Perspektivische Projektion Parallel-Projektion Perspektische Transformation

Weiterhin ist eine *Textur - Interpolation* möglich sowie die *Linearkombination von Transformationen*.

Physikalische Methoden:

Man bedient sich hierbei der Disziplin der Kinematik. Die Kinematik ist die Lehre der Beschreibung von Bewegungen von Punkten im Raum. Dabei werden die Größen Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung betrachtet. Folgen der Bewegungen werden in der Kinematik nicht betrachtet. Die Dynamik berücksichtigt zusätzlich auch Kräfte, die bei der Bewegung wirken.

Die Kinematik fand schon in der Robotik große Anwendung. Roboter bestehen aus zwei Strukturen: *starre Elemente* und *Gelenke*. Es gibt zwei verschiedene Arten von Gelenken: *Beugegelenke* und *prismatische Gelenke*. In der Computeranimation haben jedoch nur die Beugegelenke eine Bedeutung.

Absolute Koordinaten

Jedes einzelne starre Element hat seine eigenen Freiheitsgrade, die von allen anderen Elementen unabhängig sind. Zu den Freiheitsgraden gehören sowohl Position des Elementes als auch die Orientierung des Elementes. Dies ist die Repräsentation, die häufig durch Motion-Capturing erzeugt wird. In dieser Repräsentation gibt es zu viele Freiheitsgrade, was das ganze ineffizient macht. Es ist schwierig, Constraints zu formulieren. Sind die einzelnen Werte falsch gesetzt, fällt das Skelett auseinander.

Hierarchische (relative) Repräsentation

Hier wird das Skelett hierarchisch aufgebaut. Meistens wird dabei von der Hüfte als Ursprung ausgegangen. Freiheitsgrade sind nun die einzelnen Winkel der Gelenke. Constraints für die einzelnen Gelenke lassen sich nun sehr einfach angeben, indem man die Winkel beschränkt.

- Diese Notation verwendet einen Baum von lokalen Koordinatensystemen. Das Koordinatensystem der Wurzel ist das Weltkoordinatensystem. Die einzelnen Koordinatensysteme lassen sich erzeugen, indem man eine Matrixmultiplikation der einzelnen homogenen Rotations-Translations-Matrizen entlang des Pfades des Baumes durchführt. z.B.

$$\text{Hand} = \text{Hüfte} \cdot \text{Körper} \cdot \text{Oberarm} \cdot \text{Unterarm}$$

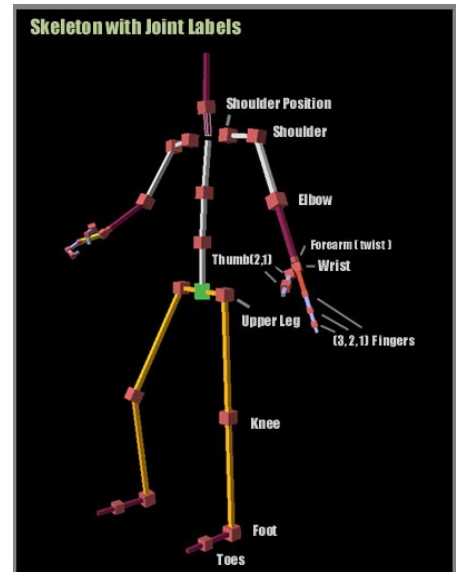
- Die Blätter des Baumes werden *Endeffektoren* genannt.
- Im *BVH-Format* werden Motioncapture-Daten angegeben, indem das Skelett definiert wird und dessen Freiheitsgrade (hier Channels genannt) und anschließend für jedes Frame der Bewegung die Werte der einzelnen Channels gegeben werden.

Inverse Kinematik:

Inverse Kinematik (oft abgekürzt als IK) bezeichnet das Gegenteil zur vorwärts gerichteten Kinematik.

Bei der inversen Kinematik wird das letzte Glied der kinematischen Kette bewegt und in die gewünschte Position gebracht. Die übrigen Glieder der Kette nehmen entsprechend den Freiheitsgraden ihrer Gelenke eine passende Lage ein.

Verständlich beschreiben läßt sich dies mit dem menschlichen Arm der mit seinen Gelenken eine kinematische Kette darstellt. Legt man den Finger auf eine bestimmte Stelle muß man nicht darüber nachdenken welche Stellung Handgelenk Ellenbogen und Schulter einnehmen müssen. Deren Stellung ergibt sich von selbst.



Die Lage der einzelnen Glieder muß nicht eindeutig sein. Es kann mehrere Konfigurationen der Kette geben die zur gewünschten Lage des letzten Gliedes führen. (Hält man die Hand vor dem Körper fest kann man trotzdem den Ellenbogen nach oben oder unten bewegen).

Die Schwierigkeit bei der Berechnung von inversen Kinematiken liegt darin aus den vorhandenen Möglichkeiten eine sinnvolle Konfiguration auszuwählen. Vor allem sollen bei einer Bewegung des Endgliedes die übrigen Glieder keine plötzlichen Sprünge zwischen verschiedenen Konfigurationen machen.

Bei der vorwärts gerichteten Kinematik wird die Stellung der einzelnen Gelenke zwischen den Kettengliedern vorgegeben. Daraus ergibt sich eine eindeutige Lage des letzten Gliedes.

Motion Capturing

In der 3D-Animationsbranche wird das Motiontracking/-capturing, kurz MoCap, verwendet, wenn die Körpermimik von Computerfiguren besonders überzeugend und natürlich wirken soll. Die Vielfalt der subtilen Bewegungsnuancen eines Körpers wird auch der erfahrenste Animator ohne Hilfe niemals vollständig erfassen, geschweige denn per tagelanger Handarbeit reproduzieren können. MoCap wird zudem auch ganz allgemein genutzt, um Zeit bei der Animation von Figuren gegenüber der aufwändigen Handanimation einzusparen.



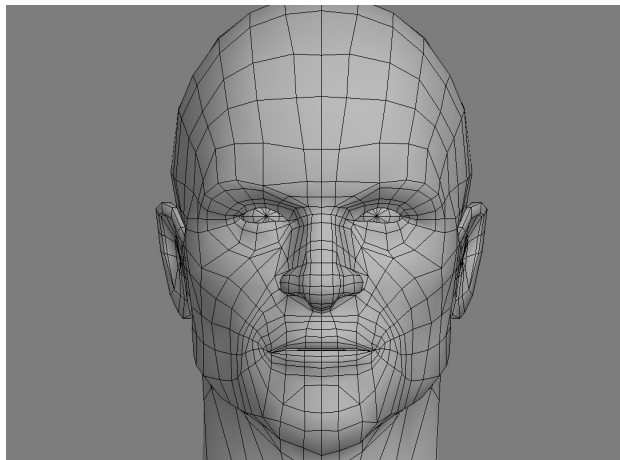
Erfassung von Bewegungsdaten im Motioncapture- Verfahren.
Bild: © Square Pictures/ Columbia-Tristar

Der technische Ablauf ist der, dass ein oder gar mehrere Körperschauspieler gleichzeitig zunächst mit sogenannten Markern an Körpergelenken und anderen Schlüsselpositionen versehen werden. Das *Performen* der Bewegungen erfolgt dann in einem von Kameras umschlossenen Bereich. Zwischen 10 und 200 rundherum verteilte Kameras erkennen mit einer Auflösung von 60 bis 200 Bildern pro Sekunde, wo sich ein Marker gerade in Ihrem gefilmten Blickfeld befindet, und erkennen sogar wenn er kurz aus dem Blickfeld verschwindet weil er von einem anderen Körperteil verdeckt wird. Diese Positionen geben die Kameras an den Tracking-Computer weiter, der dann von den gemeldeten Richtungen ausgehend, Schnittpunkte, und somit tatsächliche Positionen der Marker im dreidimensionalen Raum berechnet. Diese Daten werden

wiederum an einen Animationsrechner weitergegeben, der die Bewegung der Marker auf die virtuelle Figur auflegt. Dort sieht man live, zur Kontrolle des Ergebnisses, eine Vorschau mit einem vereinfachten 3D-Modell, das dann dieselben Bewegungen ausführt wie der Schauspieler aus Fleisch und Blut.

Facial Animationen

Das Gesicht gilt als der kommunikativste Teil des menschlichen Körpers. Merkmale wie Rasse, Proportionen, Augenfarbe oder Ästhetik lassen uns Menschen erkennen. Feine Veränderungen des Gesichtsausdrucks (Mimik) werden erkannt. Diese Fähigkeiten werden vom jungen Menschen als erstes erlernt. Erforschung von Anatomie und Mimik spielen in der Wissenschaft seit Ende des 16. Jahrhunderts eine Rolle. Es ist daher eine große Herausforderung für die 3D Animation. Um ein Gesicht zu modellieren, bedarf es der Modellierung des ganzen Kopfes. Es gibt noch keine animierte Modelle des menschlichen Kopfes, die alle anatomischen Details berücksichtigen. Für die Charakteranimation reichen vereinfachte Modelle zu. Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Beschaffung von Daten z.B. Zeichnungen, plastische Modelle, optische Scanverfahren... Von der Struktur hat sich ein Modell mit polygonalen Oberflächen bewährt:



Das Gesicht muss sich natürlich verformen lassen. Polygone müssen sich jedem Gesichtsausdruck anpassen können (Augenlider und Lippen). Die Dichte der oberflächenbeschreibenden Information sollte sich an der Topologie des Gesichts orientieren. Daher wählt man eine große Anzahl an kleinen Polygonen für ein gutes Ergebnis. Dabei müssen sich die Polygonecken mit den Falten im Gesicht decken. Bei der Modellierung eines realen Gesichtes sollte man außerdem Symmetrien der Gesichtshälften vermeiden.

Facial Expression Coding System (FACS)

Das FACS ist ein System, welches komplett an die Anatomie des menschlichen Gesichtes ausgerichtet ist. Es spielt eine große Rolle für die Gesichtsanimation und beschreibt die grundsätzlichen Muskelaktionen des Gesichtes und deren Auswirkungen auf die Mimik. Man geht hierbei von den kleinsten wahrnehmbaren Einzelaktionen der mimischen Muskulatur aus, den Action Units (AU). Es gibt insgesamt 44 dieser AU's. Allerdings gibt es keine absolute genaue Beziehung zwischen ihnen und den tatsächlichen Muskeln, da ein Muskel für verschiedene Ausdrucksmöglichkeiten des menschlichen Gesichtes verantwortlich sein kann. Theoretisch kann man bis zu 20 AU's zu einem Gesichtsausdruck kombinieren. Zusätzlich können die Intensität in einer 5er Skala, das Timing und die Events (ein oder mehrere AU's) angegeben werden.

Weitere Aspekte der Computeranimation

Um computergenerierte Szenen in Zukunft noch realer darstellen zu können, konzentriert man sich verstärkt auf Aspekte wie :

Der besseren Synchronisation von Charakteren mit der Umwelt, z.B. das Greifen von Gegenständen mit der Hand, die Stellung des Fußes auf unebenen Gelände, der Kollision mit Hindernissen...

Bessere sprach basierte Animationen, wobei hier der Schwerpunkt auf besserer Lippensynchronisation liegt.

Stärkere Konzentration auf die Animation von Haaren und Wege diese so detailliert wie möglich darzustellen, allerdings ohne jedes einzeln programmieren zu müssen. (Siehe Final Fantasy , Die Mächte in dir)

Blickpunkt auf Verfärbungen der Haut, einzelne Adern, Erröten der Haut bei Peinlichkeiten etc.

Das Einbringen von Unvollkommenheiten auf der Haut, beispielsweise kleine Pickel und Poren, Schmutz...

MPEG - 4

MPEG-4 ist ein MPEG-Standard (ISO/IEC-14496), der unter anderem Verfahren zur Video- und Audiodatenkompression beschreibt. Ursprünglich war das Ziel von MPEG-4, Systeme mit geringen Ressourcen oder schmalen Bandbreiten (Mobiltelefon, Video-Telefon, ...) bei relativ geringen Qualitätseinbußen zu unterstützen. Da H.263, ein Standard der ITU zur Videodekodierung und -kompression, die eben erwähnten Voraussetzungen bereits sehr gut verwirklicht hat, wurde er ohne größere Änderungen in MPEG-4 integriert.

Zusätzlich zur Videodekodierung wurden auch noch einige Audiostandards, wie das bereits in MPEG - 2 standardisierte Advanced Audio Coding (AAC) sowie die Unterstützung für Digital Rights Management, welches unter der Bezeichnung IPMP (Intellectual Property Management and Protection) läuft, in den Standard aufgenommen.

Das offizielle Containerformat von MPEG-4 ist MP4, es haben aber auch andere Formate weite Verbreitung gefunden. Beispiele hierfür sind AVI, welches vornehmlich bei DivX, Xvid oder x264 zum Einsatz kommt, und MKV, welches flexibler als MP4 ist, und im Computerbereich gerne für H.264 (MPEG-4 Part 10) verwendet wird. (Im Gegensatz zu MP4 und AVI handelt es sich bei MKV allerdings um einen offenen Standard).

Zusammenfassung

Computeranimation ist und bleibt eine der größten Herausforderungen der Informatik. Man steckt sehr viel Aufwand in immer komplexere Methoden zur Charaktermodellierung und geht immer stärker auf Details ein, die auf Grund von immer leistungsfähigeren Computern erst möglich wurden. Hierbei findet die Computeranimation auch in anderen Bereichen Anwendung, z.B. in der Medizin um schwere Operationen vorher simulieren zu können oder in der Architektur, um ein Gebäude bereits darstellen zu können, bevor man mit den tatsächlichen Bauarbeiten beginnt. Stark angetrieben wird die Entwicklung vor allem durch die Unterhaltungsindustrie, insbesondere bei Filmen und Computerspielen, wobei man teilweise mehrere Millionen und sehr viel Zeit in die Implementierung von computergestützten Szenen steckt.

Chronologische Liste von computer-generierten Filmen und deren Einnahmen:

Jahr	Name	Hersteller	Einnahmen in Millionen
1995	Toy Story	Pixar	316 \$
1998	Antz	DreamWorks Animation	240 \$
1998	Das große Krabbeln (A Bug's Life)	Pixar	249 \$
2001	Die Monster AG (Monsters, Inc.)	Pixar	525 \$
2001	Shrek – Der tollkühne Held	DreamWorks Animation	484 \$
2001	Final Fantasy: The Spirits Within	Square Pictures	110 \$
2002	Ice Age	Blue Sky Studios	328 \$
2003	Findet Nemo	Pixar	865 \$
2004	Shrek 2	DreamWorks Animation	920 \$
2004	Die Unglaublichen	Pixar	631 \$
2004	Der Polarexpress	Sony Pictures Animation	163 \$
2005	Madagascar	DreamWorks Animation	533 \$
2006	Ice Age 2: Jetzt taut's	Blue Sky Studios	652 \$
2007	Shrek der Dritte	DreamWorks Animation	799 \$
2007	Könige der Wellen	Sony Pictures Animation	311 \$
2007	Ratatouille	Pixar	621 \$
2007	Bee Movie	DreamWorks Animation	298 \$
2008	Horton hört ein Hu!	Blue Sky Studios	155 \$
2008	Kung Fu Panda	DreamWorks Animation	632 \$
2009	Monsters vs. Aliens	DreamWorks Animation	n.A.

Quellen

Internet:

- Wikipedia
- Google
- <http://www.pixar.com>
- <http://www.grundstudium.info/animation/>
- <http://www.techfak.uni-bielefeld.de/>

Bücher:

- Character Animation in Depth (by Doug Kelly; Creative Professionals Press)
- A Guide to Computer Animation for tv, games, multimedia and web (by Marcia Kuperberg; Focal Press Visual Effects & Animation)
- Computergrafik & -animation (by Uwe Graz; tewi)