

G e o r g F l e i s c h m a n n

SYNTHETISCHE DARSTELLER: ANWENDUNGEN, PROBLEME UND PERSPEKTIVEN

» W i t h i n f i f t y t o a h u n d r e d y e a r s , a n e w c l a s s o f o r g a n i s m s i s l i k e l y t o e m e r g e . T h e s e o r g a n i s m s w i l l b e a r t i f i c i a l i n t h e s e n s e t h a t t h e y w i l l o r i g i n a l l y b e d e s i g n e d b y h u m a n s . H o w e v e r , t h e y w i l l r e p r o d u c e , a n d w i l l e v o l v e i n t o s o m e t h i n g o t h e r t h a n t h e i r i n i t i a l f o r m ; t h e y w i l l b e ›a l i v e‹ u n d e r a n y r e s o n a b l e d e f i n i t i o n o f t h e w o r d . T h e s e o r g a n i s m s w i l l e v o l v e i n a f u n d a m e n t a l d i f f e r e n t m a n n e r t h a n c o n t e m p o r a r y b i o l o g i c a l o r g a n i s m s , s i n c e t h e i r r e p r o d u c t i o n w i l l b e u n d e r p a r t i a l c o n s c i o u s c o n t r o l , g i v i n g i t a L a m a r k i a n c o m p o n e n t . T h e p a c e o f e v o l u t i o n a r y c h a n g e c o n s e q u e n t l y w i l l b e e x t r e m e l y r a p i d . T h e a d v e n t o f a r t i f i c i a l l i f e w i l l b e t h e m o s t s i g n i f i c a n t h i s t o r i c a l e v e n t s i n c e t h e e m e r g e n c e o f h u m a n b e i n g s . T h e i m p a c t o n h u m a n i t y a n d t h e b i o s p h e r e c o u l d b e e n o r m o u s , l a r g e r t h a n t h e i n d u s t r i a l r e v o l u t i o n , n u c l e a r w e a p o n s , o r e n v i r o n m e n t a l p o l l u t i o n . W e m u s t t a k e s t e p s n o w t o s h a p e t h e e m e r g e n c e o f a r t i f i c i a l o r g a n i s m s ; t h e y h a v e p o t e n t i a l t o b e e i t h e r t h e u g l i e s t t e r r e s t r i a l d i s a s t e r , o r t h e m o s t b e a u t i f u l c r e a t i o n o f h u m a n i t y .«¹ *Doyne Farmer and Alletta d'A. Belin*

»Vorhersagen sind schwierig, besonders wenn sie die Zukunft betreffen.« *Niels Bohr*

Einleitung Der achtfüßige Keiler in den Höhlen von Altamira in Nordspanien ist der älteste bekannte Versuch des Menschen, unbelebte Objekte zu beleben (Abb.1). Die C14-Datierung der Höhlenmalereien ergab ein Alter von 13500 Jahren. Die Animation, also die Belebung oder Beseelung (vom lat. animare) des Tieres wurde durch vier zusätzliche Beine erreicht und beschränkte sich noch auf rein zeichnerische Mittel. Die Tempelautomaten des Heron von Alexandria im ersten Jh. n. Chr. waren erste Versuche, künstliche Wesen zu bauen (Abb.2). Mit seinen hydraulisch-pneumatisch angetriebenen Apparaten

Abb.1 Bild des achtfüßigen Keilers in den Höhlen von Altamira, in: B. Thomas, Art of Animation, Hyperion, 1991

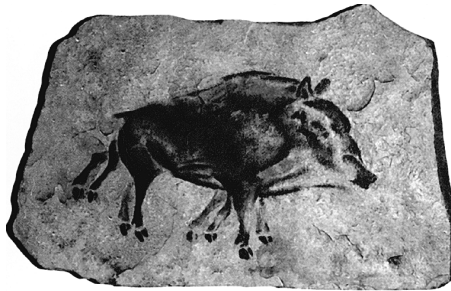


Abb.2 Vogelgruppe des Heron v. Alexandria, Funktionsweise: Wasser fließt in einen geschlossenen Kasten. Die dabei herausgedrückte Luft wird verwendet, um den linken Vogel pfeifen zu lassen. Ist das Wasser bis zur Höhe des im Kasten eingebauten Standrohrs gestiegen, fließt es in einen Eimer, dessen Gewicht die auf eine senkrechte Säule montierte Eule dreht, so daß sie den Vogel anschaut.

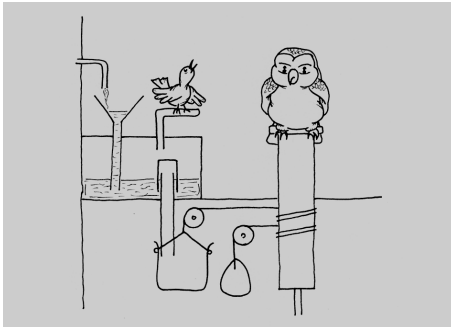


Abb.3 »Der Tod«, Figur in einer Wallfahrtskirche in Altötting, Aufnahme: Thomas Schmitt

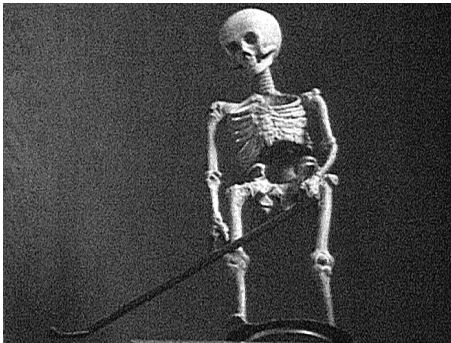
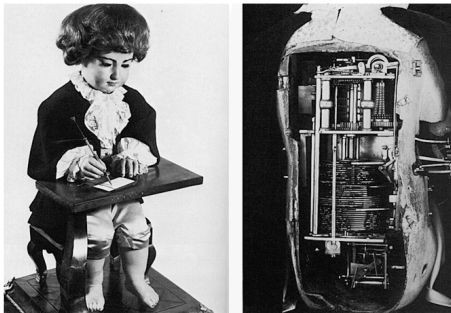


Abb.4 Zeichnender Knabe von Jaquet-Droz, Sätze auswechselbarer Nocken erlauben die Ausführung von vier Zeichnungen, in: A. Beyer, Faszinierende Welt der Automaten, Callwey, 1983



und Spielwerken gilt er als der Ahnherr der Technik und Theorie der Automaten¹³. Seine Erfindungen waren bis in die Renaissance von Bedeutung, als die Getriebe- und Räderwerktechnik – also die Mechanik – die führende Technikrolle übernahm. Da die Mechanik über weite Strecken verknüpft ist mit der Uhrentechnik, waren die Androiden des Mittelalters auf Kirchtürmen zu finden. Ausgehend von den hammerschwingenden Eisenmännern, die die Uhrzeit an die Glocken schlugen, wurden immer komplexere Figuren-Ensembles entworfen, die verwoben waren in verschiedenste Aktivitäten und die sogar ganze Stücke aufführten (Abb.3). Auf Basis der Uhrwerkstechnologie wurden schließlich Automaten entwickelt, die völlig losgelöst waren von der Funktion der Zeitmessung. Die mechanische Linie erreichte im 18. Jh. einen Höhepunkt in der berühmten Ente Vaucansons und den programmierbaren Automaten der Familie Jaquet-Droz (Abb.4), die in ihrer feinmechanischen Perfektion bis heute unsere Bewunderung hervorrufen¹⁴. Eine Wende hat die Wissenschaft unseres Jahrhunderts eingeleitet. Vor allem die Erkenntnisse der Biochemie, der Neurologie und die Entwicklungen in den Computerwissenschaften haben vollkommen neue Möglichkeiten der Realisierung »künstlichen Lebens« eröffnet. An Projekten zur Analyse, Synthese und Simulation des Phänomens Leben, wird derzeit an breiter Front in den unterschiedlichsten Disziplinen gearbeitet.

Doch wie ernst ist die obige Prognose von Farner und Belin zu nehmen? Stehen wir wirklich an einer neuen Stufe im Evolutionsprozeß? Auf den ersten Blick erinnern die Versprechungen stark an die »Artificial Intelligence« (AI)-Forschungen. Bereits in den sechziger Jahren versprochen namhafte amerikanische Wissenschaftler, die Probleme der künstlichen

Intelligenz seien innerhalb weniger Jahre gelöst. Nicht nur der Name »Artificial Life« (AL), unter dem die neuen »bottom-up« Methoden zur Erschaffung künstlichen Lebens häufig zusammengefaßt sind, erinnert an die bisher gescheiterte AI-Forschung, auch die Methoden und Herangehensweisen überdecken sich teilweise. Doch sind auch grundlegende Unterschiede offensichtlich. Zum Beispiel beschränken sich die Methoden der künstlichen Intelligenz weitgehend auf die Computertechnologie, der Versuch künstliches Leben zu erschaffen oder vorhandenes Leben zu manipulieren, wird dagegen in vielen Disziplinen vorangetrieben. Der im Moment sicherlich bedeutendste Bereich – die Gentechnologie – hat bereits kontrovers diskutierte Ergebnisse hervorgebracht. Die genmanipulierte Krebsmaus, die das europäische Patentamt vor Probleme stellt, ist nur ein Beispiel. Mit den Möglichkeiten der Gentechnologie stehen wir tatsächlich vor einer neuen Dimension menschlichen Handels. Erstmals hat die Evolution Genotypen hervorgebracht, die Phänotypen codieren, die in der Lage sind, ihre eigenen Genotypen zu beeinflussen, d.h. sie zu dechiffrieren, zu verstehen und zielgerichtet zu manipulieren². Die Kopplung von belebten und unbelebten Komponenten in der Medizintechnik ist ein Zwischenbereich. Wir können mittlerweile auf Ersatzteillager von immer komplizierteren Prothesen zurückgreifen, die das Leben verlängern und die Funktionen lebenswichtiger Organe übernehmen. Derzeit konzentrieren sich Forschungen darauf, auch die Funktionen unserer Sinne, insbesondere die des Sehens und Hörens von technischen Geräten übernehmen zu lassen.

Am breitesten angelegt ist der computerbasierte Ansatz zur Erzeugung lebensähnlicher Phänomene. Er reicht auf Hardwareseite von der schon klassischen Robotik über die Architekturen für par-

alle und verteilte Berechnungen bis zum Bio-Computer. Auf Softwareseite werden physikalische und biologische Systemvorgänge nachgebildet, die sich in neuen Disziplinen wie »verteilte Systeme«, »Genetische Algorithmen« oder »künstliche neuronale Netze« niederschlagen. Auch scheinen die Triebfedern für die Beschäftigung mit AL tiefer im menschlichen Wesen verwurzelt zu sein, als es bei der AI der Fall ist. Es sind die alten Träume der Menschheit wiederzuerkennen: die Sehnsucht nach der Unsterblichkeit, die freie Wahl des Aussehens und der Wunsch selbst Schöpfer zu sein.¹¹ Ganz allgemein geht es um das Streben nach Überwindung unserer physikalischen Welt, mit all ihrem Leid und all ihren Beschränkungen.*

Im folgenden wird ein Strang – vielmehr eine Seitenlinie – der Entwicklung künstlichen Lebens näher betrachtet: die virtuellen oder synthetischen Darsteller. Dieser Ansatz beschäftigt sich mit der rechnerbasierten Animation von 3D-Modellen. Unter Animation versteht man allgemein die Belebung unbelebter Gegenstände, z.B. im Zeichentrick durch die hinreichend schnell aufeinanderfolgende Darstellung von Einzelbildern. Aber auch die Möglichkeit Puppen, Roboter und nun auch computergenerierte Figuren agieren zu lassen, gehört zum Bereich der Animation. Insofern können die oben skizzierten mechanischen Ansätze des Altertums und des Mittelalters, so wie auch die moderne Robotik zum Bereich Animation gezählt werden. Bei oberflächlicher Betrachtung sind synthetische Darsteller nichts weiter als bildhafte, animierte Figuren, die als Fortführung herkömmlicher Animationstechniken wie Zeichentrick und Puppenanimation gelten können. Aus ganz praktischen, anwendungsspezifischen Anforderungen leiten sich jedoch Wünsche an die Fähigkeiten der Darsteller ab, die Intelligenz, Wahrnehmung und

Lebendigkeit implizieren. Was vor allem erreicht werden soll, ist die Autonomie, d.h. die (teilweise) Selbstbestimmtheit der Figuren. Die Methoden, die dazu entwickelt werden müssen, sind in den Gebieten künstliche Intelligenz, Robotik, Artificial Life, Kognitionswissenschaften und Computeranimation angesiedelt.

Im zweiten Abschnitt werden zunächst die verschiedenen Einsatzbereiche virtueller Darsteller beschrieben. Der dritte Abschnitt behandelt die verschiedenen Möglichkeiten und Vorzüge, die virtuelle Darsteller im Vergleich zu herkömmlichen Animationsformen bieten. Im vierten Abschnitt wird auf die mit virtuellen Darstellern verbundenen wissenschaftlichen Probleme eingegangen. Der letzte Abschnitt behandelt die Frage, inwieweit und ab wann diese Figuren als »lebendig« oder »intelligent« bezeichnet werden können.

Einsatzfelder synthetischer Darsteller Die Palette der Anwendungen für virtuelle Darsteller ist breit. Ein für die Industrie wichtiges Feld sind biomechanische und ergonomische Analysen.³ Biomechanische Analysen findet man vor allem bei Crash-Simulationen. Anforderungen an die Sicherheit von Automobilen, Flugzeugen oder anderen Geräten, die bei fehlerhafter Funktion oder in extremen Situationen Menschenleben gefährden, haben zur Modellierung komplexer mehrgliedriger Massensysteme geführt, mit deren Hilfe die Kräfteverhältnisse bei Zusammenstößen oder Stürzen simuliert werden können. Die synthetischen Darsteller für biomechanische Analysen verhalten sich weitgehend passiv, computerbasierte ergonomische Analysen dagegen erfordern aktives Handeln der Darsteller. Mit Hilfe ergonomischer Analysen soll der menschliche Faktor beim Entwurf von technischen Geräten und Gegenständen des täglichen Gebrauchs

stärker berücksichtigt werden. Die Spannweite reicht von Untersuchungen zur Ergonomie räumlicher Anordnungen von Bedienelementen, über die Berechnung der Belastungen und der Ermüdungskurven des Menschen beim Ausführen bestimmter Tätigkeiten, bis hin zur Simulation des Sichtfeldes von virtuellen Akteuren in verschiedenen Arbeitsumgebungen. Hier wird eine im CAD-Bereich zu beobachtende Tendenz deutlich: Der Entwurfsprozeß für komplexe technische Apparate aller Art wird immer mehr in die Maschine verlegt.

Das Mensch-Maschine-Interface ist noch immer geprägt von Bildschirm, Maus und Tastatur. Auch die graphischen Bedienoberflächen sind bis auf wenige Ausnahmen sogenannte WIMP-Schnittstellen**. Spracherkennungs- und Sprachsyntheseverfahren versprechen für die Zukunft eine natürlichere Kommunikation mit dem Computer. Doch mit wem wird der Benutzer dann sprechen und wer spricht zu ihm? Die natürlichste Form der menschlichen Kommunikation ist das Gespräch von Angesicht zu Angesicht. Die Methoden der Gesichtsanimation sind deshalb sehr interessant für die Gestaltung zukünftiger Mensch-Maschine-Schnittstellen. Jedoch stellt die naturgetreue Animation synthetischer Gesichter eine große Herausforderung dar. Die perzeptiven Fähigkeiten des Menschen beim Erkennen und Interpretieren von Gesichtern sind enorm ausgeprägt. In Bruchteilen einer Sekunde können wir eine bestimmte Person in einer großen Menge erkennen oder kleinste Stimmungsschwankungen bei einem uns vertrauten Menschen ausmachen. Diese Fähigkeit macht die Gesichtsanimation zu einem der schwierigsten Probleme der Computeraanimation (Abb.5). Allerdings gilt es noch zu untersuchen, ob computeranimierte Gesichter mehr als ein Experiment sein können, oder ob eine körperlose Stimme nicht genauso, vielleicht sogar besser für die Mensch-Maschine-Kommunikation geeignet ist. Weitere Anwendungen der computergenerierten Gesichtsanimationen finden sich in der Medizin, die Volumenmodelle verwendet, um in präoperativen Tests Gesichtsoperationen besser planen zu können, sowie im Bereich der Bildcodierung, wo mit den Methoden der Gesichtsanimation die Übertragungsraten z.B. beim Bildtelefon drastisch reduziert werden können.

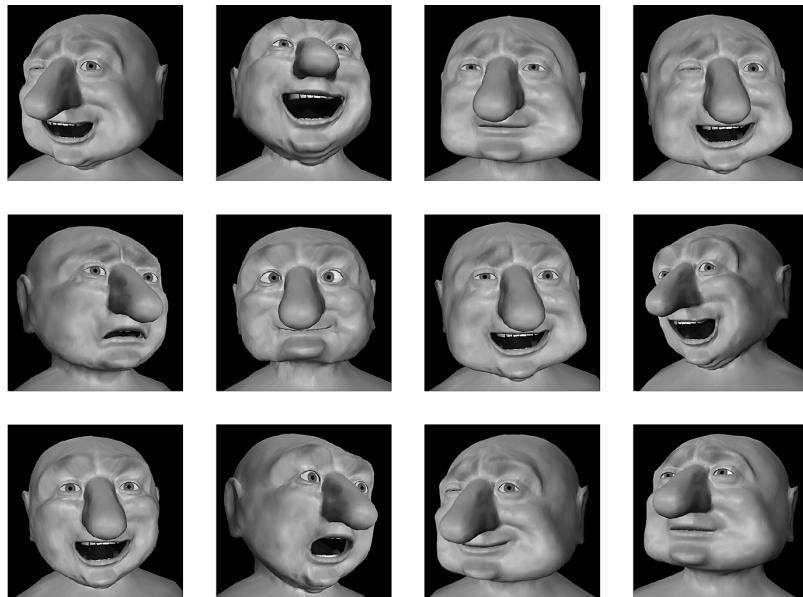
Ein weiteres Spielfeld für synthetische Darsteller ist der Unterhaltungssektor. Allein die wirtschaftlichen Interessen sind schon Garant dafür, daß in den Bereichen Film, Fernsehen und Virtual Reality synthetische Darsteller einen dauerhaften Platz finden, egal ob es photorealistische Nachbildungen des Menschen oder Charakteranimationen sind. Die explosionsartige Zunahme der Auftritte computergenerierter Darsteller in Filmproduktionen

* Diese Träume werden nicht vom Autor geträumt. Jedoch sollen hier die mit den AL-Forschungen verbundenen ethischen, philosophischen oder gesellschaftsrelevanten Fragen nicht diskutiert werden (siehe dazu z.B.5/6)

** WIMP = Windows, Icons, Menus, and Pointing Devices.

der letzten Jahre sind ein hinreichendes Beispiel dafür. In den meisten Fällen sorgen sie für bisher nicht realisierbare Spezialeffekte oder übernehmen gefährliche Stunts. Es gibt inzwischen sogar erste Versuche, Film- und Fernsehproduktionen komplett im Computer entstehen zu lassen, d.h. daß Schauspieler, Handlung, Kulissen, Lichtsituationen und Kameraeinstellungen, einschließlich der gesamten Nachbearbeitung »berechnet« werden. Aber nicht nur in der Filmproduktion sind synthetische Darsteller sinnvoll einsetzbar, sondern bereits in frühen Phasen der Filmplanung. Für die Vorbereitung von Filmen werden üblicherweise Storyboards verwendet, die allerdings den Bildeindruck und die Ideen des Kameramanns bzw. Regisseurs nur unzureichend wiedergeben und vor allem Bewegungsabläufe nicht erfassen können. Mit computerbasierten Filmplanungs-Systemen können dagegen einzelne Einstellungen und Szenen, Kamerafahrten und Schnitte getestet werden, wodurch die Filmschaffenden die Möglichkeit haben, Ideen interaktiv zu entwickeln. Obwohl interaktive Computergrafik-Systeme zur

Abb.5 »Das unbekannte MdB«, ein virtueller Politiker, eine Serie von Gesichtsausdrücken, Animation: Detlef Bollmann



Modellierung und Animation von 3D-Darstellern seit den frühen siebziger Jahren im Einsatz sind, werden synthetische Figuren erst durch die neueren Entwicklungen für das Fernsehen interessant. Zum Beispiel hat die Verfügbarkeit echtzeitfähiger »Motion Capture« Systeme die überzeugende Liveanimation von 3D-

Figuren ermöglicht. Bei dieser als »Performance Animation« bezeichneten Methode werden die Bewegungen echter Schauspieler abgegriffen und auf computergenerierte Figuren übertragen. Hierdurch werden neue Formen der interaktiven Herstellung und Kontrolle von Charakteranimationen ermöglicht. Zusammen mit der Technik der virtuellen Studios werden z.B. neue Programmkonzepte für das interaktive Fernsehen realisierbar.

Virtuelle Welten und Cyberspace, häufig euphorisch gepriesen als die unbegrenzten Informations-, Kommunikations- und Lebensräume der Zukunft – das ultimative Interface – sind ein weiterer Anwendungsbereich für synthetische Darsteller. Eine realistische Einschätzung des Potentials und der Konsequenzen dieser Technologie ist derzeit noch nicht möglich. Können künstliche Welten wirklich neue Wege der Wahrnehmung, der Gestaltung und des Forschens eröffnen? Wieweit trägt das Konzept der virtuellen Realitäten, und vor allem wohin trägt es? Unzweifelhaft jedoch ist, daß virtuelle Welten in irgendeiner Form »bewohnt« sein müssen. Unbelebte Welten sind langweilig, und Langeweile ist die Angst unserer Zeit. Viel wichtiger aber ist, daß ein wesentlicher Teil des Potentials künstlicher Welten für »ernsthafte« Anwendungen ungenutzt bliebe, z.B. im Bereich der Ausbildung, der Telepräsenz oder der Architektur.

Zum Potential synthetischer Darsteller Klassische Animationsformen wie Zeichentrick, Puppenspiel und Knetgummi-Animation haben im Laufe der Zeit eigene Stilmittel entwickelt. Die Computeranimation dagegen ist noch auf der Suche nach ihren eigenen Ausdrucksmöglichkeiten, dies gilt insbesondere auch für die 3D-Charakteranimation. Es wird sich zeigen, ob die Herausarbeitung computerspezifischer Stilmittel und Ästhetiken gelingt. Von produktionstechnischer Seite werden im Vergleich zu den herkömmlichen Animationsformen bereits jetzt entscheidende Vorteile deutlich. Ein wichtiger Vorteil synthetischer Darsteller wurde bereits erläutert, die Echtzeitanimation. Sie ermöglicht, etwa im Gegensatz zum Zeichentrick, Liveauftritte der Figuren. Außerdem ist die Produktion von 3D-Charakteren inzwischen auch preisgünstiger und schneller möglich als mit traditionellen Animationstechniken. Gerade durch die kostengünstige Herstellung wird diese Animationsform auch für das Fernsehen interessant. Im Vergleich zum Film handelt es sich bei den Einsatzfeldern virtueller Darsteller im Fernsehen um Low Budget Produktionen. Auch Kopplungen mit Realaufnahmen sind mit computeranimierten Figuren leichter möglich als bei Cartoons. Lichtverhältnisse und Materialien können interaktiv aufeinander abgestimmt werden, Sets bzw. virtuelle Studioeinrichtungen sind in Sekundenschnelle austauschbar.

*** Jean Baudrillard [16]:
 »Die Compact Disc. Sie nutzt sich nicht ab, selbst wenn man sie benutzt. Das ist schrecklich. Als ob man sie niemals benutzt hätte. Als ob man selber gar nicht da wäre. Wenn Gegenstände durch eure Berührung nicht altern, dann seid ihr tot.«
 Zum Leidwesen des nicht-philosophischen CD-Benutzers altert die Compact Disc schneller als uns lieb ist, die Lebensdauer ist sehr viel kürzer als erwartet. Alle Materie ist Zerfalls- und Alterungsprozessen unterworfen. Synthetische Darsteller unterliegen allein deshalb nicht der Alterung, weil es keine Gegenstände sind, nichts was man anfassen könnte. Was sie nicht altern läßt, ist ihre Kopierbarkeit. Auf diese Weise können sie das Medium auf dem sie gespeichert sind »überleben«. Die Herstellung der identischen Replikation mit Hilfe des Kopierbefehls ist der Jungbrunnen.

Die wirtschaftlichen und produktionstechnischen Vorteile synthetischer Darsteller gehen aber noch viel weiter. Es ist leicht die Figuren zu klonen, d.h. sie müssen nur einmal modelliert und in einen animierbaren Zustand gebracht werden, dann sind sie beliebig häufig, auch an verschiedenen Orten gleichzeitig und beliebig lange einsetzbar, unter voller Verfügbarkeit ihrer Fähigkeiten. Bereits erstellte Animationen sind aus Bibliotheken abrufbar und können zu neuen Animationen umgearbeitet werden. Szenische Abläufe sind beliebig oft wiederholbar ohne die kleinste Abweichung oder Ermüdung des Akteurs. Letztlich sind alle Teile der Figur (Hände, Arme, Gesicht, aber auch Bewegungsabläufe, Texturen, Mimik, Gestik, Accessoires etc.) wiederverwendbar und mit Teilen von anderen Figuren kombinierbar, ohne Abnutzung, Verschleiß und Alterung.*** Im Laufe der Zeit werden Bibliotheken, nicht nur von allen möglichen Extremitäten und Materialien entstehen, sondern auch Bibliotheken von Bewegungen, um so die Wiederverwendbarkeit ästhetisch erfolgreicher Animationen zu gewährleisten. Auch die erste Agentur für virtuelle Darsteller ist im Entstehen. Einige amerikanische Schauspieler haben bereits die Rechte an ihren digitalen Doubles verkauft.

Interessanter als die bereits jetzt nutzbaren wirtschaftlichen Vorteile der Wiederverwendbarkeit und Kombinierbarkeit aller Teilkomponenten synthetischer Darsteller, sind die Perspektiven die sich eröffnen, wenn die Möglichkeiten der Universalmaschine Computer voll ausgeschöpft werden. Durch die Verbindung von Computeranimation, Artificial Intelligence und Artificial Life können autonome Darsteller (zum Begriff Autonomie siehe unten) realisiert werden. Am einfachsten wäre der Umgang mit den computeranimierten Figuren, wenn sie einsetzbar wären wie reale Schauspieler. Dazu muß der Darsteller in der Lage sein das Drehbuch zu »lesen« und die Anweisungen des Regisseurs zu »verstehen«. Der synthetische Schauspieler muß anschließend selbst »wissen«, wie er die Rolle zu spielen hat. Der Regisseur muß die Möglichkeit haben, die Aktion im Dialog mit dem Darsteller zu korrigieren. Das geht soweit, daß auch das Aussehen und der Charakter des Darstellers neu definiert werden können, was einer Neubesetzung der Rolle gleichkommt, ohne das Wissen des Darstellers zu verlieren. Solche autonome synthetische Darsteller sind natürlich eine kontroverse Zielsetzung. Ungeachtet der wissenschaftlichen Frage ob sie jemals realisierbar sind, muß der Forschungsansatz von Künstlern (insbesondere Schauspielern) als Provokation aufgefaßt werden. Wo bleibt der künstlerische Ausdruck, die Haltung und Intention? Können Maschinen überhaupt Kunst machen, oder bleibt es per Definition eine menschliche Fähigkeit? Festzuhalten bleibt, daß Wissenschaftler an der Verwirklichung autonomer synthetischer Darsteller arbeiten.

Was aber ist über ein produktionstechnisches Interesse Hinausgehendes erreicht, wenn autonomes Verhalten verwirklicht ist? Aus wissenschaftlicher Sicht interessanter als perfekte synthetische Darsteller ist das Potential der Methoden und Algorithmen, das durch diese Forschungen in den beteiligten Wissenschaftsdisziplinen angereichert werden. Strategien, die von der Natur erfolgreich bei der Entwicklung komplexer Systeme eingesetzt werden, sind z.B. die Modularisierung und die emergente Hierarchisierung. Besonders leistungsfähig ist die evolutionäre Optimierung, d.h. die durch Replikation, Mutation, sexuelle Rekombination und Selektion gesteuerte Systemanpassung. Die permanente Anwendung dieser Prinzipien führte zu biologischen informationsverarbeitenden Systemen, die sich besonders durch Robustheit und Adaptivität unter veränderten Bedingungen auszeichnen. Die Übertragung dieser Strategien auf Probleme der technischen Informationsverarbeitung öffnet ein Universum von Möglichkeiten für die Entwicklung mächtiger Werkzeuge. So kann die biologische Evolution Vorbild sein bei der Entwicklung genetischer Algorithmen, z.B. für leistungsstarke Such- und Optimierungsverfahren oder beim sog. »data mining« und der Navigation in komplexen Informationsräumen und Netzwerken. Ungeachtet dieser interessanten Perspektiven für unterschiedliche Forschungsdiziplinen, beschränkt sich der nächste Abschnitt auf die anstehenden wissenschaftlichen Fragestellungen bei der Kreierung synthetischer Darsteller.

Wissenschaftliche Problemstellungen Nur wenige Forschungsprojekte verfolgen Ziele, die von konkreten Anwendungsanforderungen vollkommen losgelöst sind. Zwar arbeiten einzelne Wissenschaftler daran, Phänomene wie Bewußtsein, Lebendigkeit, Autonomie oder Intelligenz ohne praktischen Bezug nachzubilden, in der Regel jedoch stehen praktische Anforderungen im Vordergrund. Die synthetischen Figuren müssen in den jeweiligen Anwendungsgebieten qualitative, funktionale und ökonomische Vorgaben erfüllen. Mit den jeweiligen Einsatzgebieten synthetischer Darsteller sind unterschiedliche Animationsprobleme und Anforderungen verbunden, für die spezifische Lösungen entwickelt werden. Virtuelle Darsteller in Filmen (siehe z.B.⁷⁾ sollen meist besonders naturgetreu aussehen, anders etwa, als Figuren für ergonomische und biomechanische Analysen, bei denen die Funktionalität im Vordergrund steht⁸. Wieder andere Anforderungen werden an 3D-Charakteranimationen gestellt (Abb.6). In vielen Fällen aber sind die wissenschaftlichen Probleme, die mit der Entwicklung von synthetischen Darstellern einhergehen, auf andere Anwendungs- und Forschungsfelder der Computeranimation übertragbar und finden sogar in anderen wissenschaftlichen Fakultäten Interesse. Bei der derzeitigen Herangehensweise verteilen

sich die Probleme auf zwei zeitlich aufeinanderfolgende Phasen. Erstens auf die Figurenerstellung, d.h. die Festlegung des Aussehens der Figur, der Gewinnung des 3D-Modells und der Bestimmung des Charakters und der Mimik. Zweitens auf die Animation der Figur und ihre Einbindung in die Szene, d.h. ihre Interaktion mit der Umwelt.

Jeder Figurenanimation voraus geht der weitgehend traditionelle Prozeß der Charakter- bzw. Figurenentwicklung. Der Idee einer Figur folgen Skizzen, in denen eine erste Vorstellung vom Aussehen zu Papier gebracht wird. Im Unterschied zur Entwicklung von Zeichentrickfiguren muß die computeranimierte Figur allerdings unter Berücksichtigung der Beschränkungen der Computeranimation entworfen werden. Es hat sich gezeigt, daß Zeichner, die ausschließlich Erfahrungen im Bereich der klassischen Animationen haben, Figuren entwickeln, die sich mit den gegenwärtigen Möglichkeiten der Grafikkrechner nicht oder nur äußerst schwer realisieren lassen. Die Nahtstelle zwischen den Entwurfszeichnungen und den 3D-Modellen im Rechner ist die Digitalisierung. (Abb.7) Durch die Einführung von 3D-Scannern auf der Basis der Lasertechnologie wurde ein schwieriger und zeitaufwendiger Schritt wesentlich vereinfacht. Auch wenn die kommerziell verfügbaren Animationswerkzeuge sich in den vergangenen Jahren stetig weiterentwickelt haben, stellt die Modellierung von menschlichen Gesichtern und Körpern noch immer ein Problem dar, das mit den zur Verfügung stehenden Modellierungswerkzeugen nur unbefriedigend gelöst werden kann. Das vom Scanner erzeugte regelmäßige 3D-Gitter eignet sich nicht direkt für die Animation der Figur. Der Digitalisierungsprozeß liefert außerdem weit mehr Datenpunkte als für eine ausreichend genaue Rekonstruktion der Oberfläche nötig sind. Vor allem für die Benutzung

der Daten in Echtzeitanwendungen ist eine signifikante Reduktion der Datenmenge nötig. In der Literatur sind verschiedene Verfahren beschrieben, um die Anzahl von Polygonen zu reduzieren. Die bisher entwickelten Verfahren wurden allerdings nicht im Hinblick auf die Animation optimiert und sind deshalb nicht geeignet für komplexe Bewegungsanforderungen wie die Gesichts- und Figurenanimation. Hilfreich wäre ein Polygonoptimierungsverfahren, bei dem die Reduktion speziell im Hinblick auf die Animation durchgeführt wird. Doch sind die verfügbaren Scanner generell nur ein Hilfsmittel, das langfristig weggelassen sollte. Von den Figuren muß ein reales Modell existieren, z.B. ein Gipsmodell, das abgetastet werden kann. Das Gipsmodell wird meist ausschließlich für den Scan-Prozeß hergestellt. Wünschenswert wären Werkzeuge, die den Prozeß zwischen den gezeichneten Entwürfen einer Figur und dem animierbaren 3D-Modell im Rechner vereinfachen, also den Umweg über das Gipsmodell und den 3D-Scanner durch eine automatische Generierung des 3D-Modells aus den Skizzen ersetzen

Ein weiterer zeitaufwendiger und schwieriger Schritt ist die Modellierung der Mimik und Gestik der Figur. Für komplexe Figuren kann dieser Prozeß durchaus mehrere Wochen intensive Arbeit bedeuten. Obwohl bereits viel Forschungsarbeit auf dem Gebiet der virtuellen Darsteller geleistet wurde, ist die Modellierung eines differenzierten Charakters noch immer eine frustrierende Aufgabe für den Animator. Eine effektive, polygonorientierte Methode, die auf den von 3D-Scannern gelieferten Daten aufbaut, ist die Einführung eines zweistufigen Modells. Hierbei existiert ein grobes, dafür aber handhabbares Modell, das für das Anlegen der Ausdrücke und die Durchführung von Line-Tests verwendet wird. Ein verfeinertes, hochauflösendes Modell wird auto-

matisch auf der Grundlage der zur Verfügung stehenden Scannerdaten berechnet. Auch die Interpolation der Animation, d.h. die Berechnung der räumlichen Bewegungen der im feinen Modell zusätzlich vorhandenen Punkte durch geeignete Mittelung der umliegenden Polygonecken, wird bei dieser Methode automatisch durchgeführt. Damit sind auch Figuren mit zehntausenden von Polygonen realisierbar. Die Mimik der Figur muß dabei allerdings vom Animator entworfen und modelliert werden. Eine weitere Verkürzung der Modellierungsphase verspricht die automatische Generierung der Mimik. So könnte auf der Basis genetischer Algorithmen eine selektive Generierung von Gesichtsausdrücken erfolgen. Große Anforderungen stellt auch die Modellierung und Animation von Kleidung und Haaren. Auf dem menschlichen Kopf wachsen durchschnittlich 100.000 Haare, die modelliert und einzeln animiert werden müssen. Ein zusätzliches Problem ergibt sich aus der Tatsache, daß ein einzelnes Haar dünner ist als ein Bildpunkt des Monitors. Auch Kleidung stellt noch immer ein großes Problem dar, insbesondere für die Echtzeitanimation. Schwierig hierbei ist die Modellierung und Animation der Faltenbildung, die die Berechnung der Eigenkollision der Objekte erfordert. Auch die Modellierung der Materialität von Stoffen ist schwierig und noch nicht gelöst.

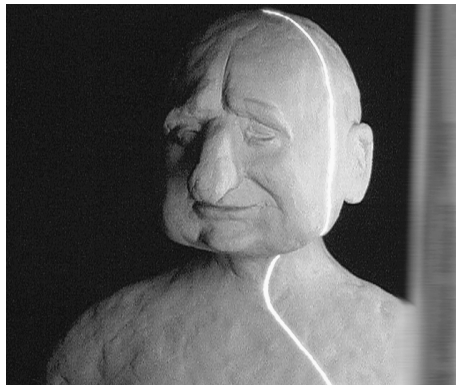
Ein weiterer Fragenkomplex im Zusammenhang mit synthetischen Darstellern ist im Bereich der Animation angesiedelt. Das Fernziel, autonomes Verhalten der Darsteller, wurde bereits



Abb.6
»Das unbekannte MdB«,
Rede im Deutschen Bundestag
Animation:
Detlef Bollmann

erläutert. Der Begriff Autonomie (griech. Selbstgesetzlichkeit oder Selbstbestimmtheit, im Gegensatz zur Heteronomie, der Fremdbestimmtheit) hat verschiedene Bedeutungen in den Gebieten Ethik, Psychologie oder Recht. Für technische Systeme wurde der Begriff verwendet, um Regelkreise zu beschreiben, die äußere Störeinflüsse auf ein Minimum reduzieren, d.h. in autonomen technischen Systemen müssen sich die zukünftigen Zustände und Wirkungen allein aus inneren Ursachen und nicht durch äußere Einwirkungen ergeben. Im Zusammenhang mit computerbasierten Ansätzen wird unter Autonomie häufiger die Fähigkeit eines Systems verstanden, seinen eigenen Input und Output zu bestimmen, d.h. das System besitzt immer eine

Abb. 7
3D - Digitalisierung der
Gipsfigur »des unbekannten MdB«



gewisse »Freiheit« gegenüber seinem Designer oder Beobachter.⁸ Es ist allerdings schwer, den Begriff der Freiheit eines technischen Systems näher zu spezifizieren, wenn er mehr bedeuten soll als Unvorhersagbarkeit, die von Programmen leicht zu erfüllen ist. Da es in unserem Falle um das Verhalten der synthetischen Darsteller geht, sollte man auch besser von Interaktionen mit der Umgebung sprechen, als vom Input/Output-Verhalten des Systems. Den ambitionierten Ansatz, autonome Systeme im letzteren Sinne zu entwickeln, hat sich eine Reihe von Disziplinen in den sog. Kognitionswissenschaften zur Aufgabe gemacht.

Die Interaktion mit der Umgebung hat bei synthetischen Darstellern zwei Ausprägungen. Erstens kann die Interaktion rechnerintern stattfinden, d.h. eine virtuelle Figur interagiert mit einer virtuellen Welt, zweitens kann es sich um Interaktionen zwischen einer 3D-generierten Welt und der Realwelt handeln. Beispiele für ersteres sind ergonomische und biomechanische Analysen. Beispiele für letzteres sind Film- und Fernsehwendungen. Im Bereich der »virtuellen Studios« haben Fernsehmo-

deratoren erste Erfahrungen mit den Interaktionsproblemen zwischen virtuellen und realen Welten gesammelt. Das größte Problem ist die Orientierungslosigkeit der Moderatoren. Sie befinden sich in der Regel in einer »blue box« und sehen nur auf einem kleinen Monitor die Gesamtsituation. Die Interaktion mit der virtuellen Welt erfordert viel Übung und gelingt bei einfachen szenischen Abläufen. Technische Schwierigkeiten bereiten Überdeckungen, d.h. Situationen, in denen Teile des virtuellen Sets sowohl vor als auch hinter den realen Personen liegen sollen^{****}. Umgekehrt erfordert die Echtzeit-Analyse der Szenerie (z.B. von Videobildern), die für autonome Interaktion der synthetischen Darsteller mit der Realwelt notwendig ist, komplexe Bildverarbeitungsverfahren. Noch schwieriger gestaltet sich die Situation, wenn wir die obige Definition von Autonomie zugrundelegen. Sie fordert die Eigenbestimmung des Inputs, d.h. der Darsteller muß die Kameras zur Aufnahme der Realsituation selbst steuern können. Ungeachtet der Frage, ob sie überhaupt erstrebenswert ist, wird echte Autonomie für virtuelle Darsteller in naher Zukunft nicht realisierbar sein. Realisierbar und im Animationsalltag wertvoll sind aber partielle Automatisierungen der Animation. Zum Beispiel verwendet der Animator viel Zeit, um zu einem gesprochenen Text lippensynchrone Mundbewegungen zu animieren. Werkzeuge zur Sprachanalyse auf der Basis von Fourierkoeffizienten, gekoppelt mit trainierten neuronalen Netzen, erlauben die automatische Generierung lippensynchroner Sprachanimation. In ähnlicher Weise lassen sich weitere kleine Einzelschritte automatisieren, die im Zusammenspiel die Erstellung von Figurenanimationen wesentlich vereinfachen und beschleunigen.

Zur Lebendigkeit und Intelligenz virtueller Darsteller

Ein Rückblick auf die Geschichte zeigt, daß die Modelle für künstliches Leben jeweils die Technologie aber auch die Paradigmen ihrer Zeit widerspiegeln. So wurden in der Blütezeit der Mechanik Androiden aus mechanischen Elementen realisiert und selbst der Mensch wurde mit komplexen mechanischen Maschinen verglichen. Auf ähnliche Weise schlägt sich die Informationstheorie in den Grundthesen der AL-Forschung nieder und Begriffe aus der Computerwelt, die inzwischen massenweise Eingang in die Alltagssprache gefunden haben, dienen der Konstruktion von Analogien zwischen Mensch und Computer. Die Lemmata, Theoreme und Korollare der Informations- und Berechenbarkeitstheorie sind Kraft ihrer Form gültig und damit unabhängig vom Trägermaterial, auf dem sie realisiert werden. Dies wurde zur Arbeitshypothese der AL-Forschung erhoben: Leben und Lebendigkeit wird als eine Eigenschaft der logischen Form und nicht der Materie betrachtet. Die biologische Form des Lebens, wie wir es auf der Erde vorfin-

^{****} Aus diesem Grund sind z.B. Umarmungen von realen und virtuellen Personen nicht realisierbar.

den, wird eingebettet in die erweiterte Sicht des Lebens wie es sein könnte, wo immer und in welcher Form auch immer, man es finden mag². Wenn diese Prämisse stimmt, kann Leben auch auf dem Siliziumchip erzeugt werden. Diese Annahme wird durch die These von Church (-Gödel, -Turing) gestützt, die sich dem Problem von der Seite des Algorithmus-Begriffes nähern. Falls Leben (oder Verstand, Geist, Bewußtsein, Intelligenz) berechenbar sein sollte, dann läßt es sich auch mit heute verfügbaren Rechnern realisieren.

Wenn wir akzeptieren, daß Leben eine Eigenschaft der Form ist, eine Struktur in Raum und Zeit, die nicht an eine spezifische Materie gebunden ist, wird es schwer, die Grenze zwischen »lebendig« und »nicht lebendig« zu ziehen. Es existiert noch keine allgemein anerkannte Definition, wenngleich es verschiedene Charakterisierungsversuche gibt, z.B. von Schrödinger⁹, Monod¹⁰, Maturana und Varela¹⁵. Zudem sind diese Modelle nicht direkt in die Computerwissenschaft zu übertragen und zu nutzen. Bei oberflächlicher Betrachtung biologischen Lebens ist es relativ leicht, eine Liste von Eigenschaften anzugeben, die ein System erfüllen sollte, damit es als lebendig anerkannt wird. Einige der Kriterien sind: Selbstreproduktion, Stoffwechsel, Interaktion mit der Umgebung, gegenseitige Abhängigkeit der einzelnen Teile, Stabilität unter Störungen, die Fähigkeit sich zu entwickeln¹. Es ist allerdings sehr zweifelhaft, ob diese Kriterien notwendig oder gar hinreichend sind, um Leben zu charakterisieren. Aus der Biologie wissen wir, daß auch bei kohlenstoffbasierten Systemen die Grenze zwischen lebendig und nicht lebendig nicht klar zu ziehen ist, z.B. haben Viren keinen eigenen Stoffwechsel. Andererseits werden fast alle Kriterien ohne weiteres von Computerviren oder von formalen Automaten erfüllt, die so einfach strukturiert sein können, daß die Vernunft sich weigert, sie als lebendig anzuerkennen. Allerdings wird dabei vergessen, daß diese formalen Konstrukte auf einer hohen Ebene spezifiziert sind. Ihre Realisierung kann eine komplexe Ausdifferenzierung auf niedrigeren Ebenen erfordern. Wie alle Programme, laufen auch Computerviren üblicherweise auf höchstintegrierten Siliziumchips ab, d.h. die Aktivität dieser Viren bedeutet ein komplexes Zusammenspiel von Millionen von Transistoren in einer Geschwindigkeit, die im Nanosekundenbereich liegt. Auf dieser Ebene beobachtet, scheinen sie hinreichend komplex, um als lebendig zu gelten.

Die konkreten computerbasierten Ansätze zur Realisierung künstlichen Lebens, z.B. Larry Yeager¹¹, Thomas Ray¹, Karl Sims¹², Rodney Brooks⁴, machen den Unterschied zwischen frühen Methoden der künstlichen Intelligenz und dem Artificial Life Ansatz deutlich, obwohl die Grenzen in den Methoden und

Ansätzen der beiden Gebiete mittlerweile verschwimmen. Intelligenz ist eine Eigenschaft, die sich im Evolutionsprozeß relativ spät entwickelt hat. Die AI-Forschung wollte zunächst direkt ein körperloses Gehirn im top-down Entwurf spezifizieren und implementieren. Dieser Ansatz wurde inzwischen korrigiert, die AI hat sich aus der Falle des symbolverarbeitenden Ansatzes befreit. Man hat erkannt, daß menschliche Perzeption ein aktiver Prozeß ist, für den das Agieren und Experimentieren in einer Umgebung wesentlich ist, d.h. die Körperlichkeit ist wesentlich für die Herausbildung von Fähigkeiten. Unser Körper ist unsere Verbindung mit der externen Realität. Es wird auch allgemein akzeptiert, daß Intelligenz eng gekoppelt ist mit dem lange



Aus dem Trailer zum Wettbewerb »Cyberstar«, Produktion TAG/TRAUM_ LAB im Auftrag des WDR

verkannten »gesunden Menschenverstand«, d.h. Erfahrungen und Fertigkeiten müssen im täglichen Umgang mit einer »Außenwelt« erlernt werden und sich dort bewähren. Dennoch wird nach wie vor der gesamte Evolutionsprozeß vernachlässigt und versucht, nur das Resultat, die Krone der Schöpfung, die menschlichen Fähigkeiten zu realisieren. Die AI-Forschung geht einen anderen Weg. Sie versucht zunächst, elementare Fähigkeiten mit Hilfe emergenter Systeme nachzubilden. Elementare Fähigkeiten sind z.B. die Fortbewegung, sich auf Grundlage evolutionärer Prinzipien zu reproduzieren und einfachste Dinge in der Umgebung wahrzunehmen und darauf zu reagieren. Erst wenn diese Basismechanismen verstanden und realisierbar sind, werden unter Rückgriff auf die bereits erlernten Fähigkeiten, höhere Ebenen entwickelt. Auf diese Weise hofft man, Stufe um Stufe emporzusteigen. Intelligenz oder die Fähigkeit eine Sprache zu erlernen und mit abstrakten Symbolen umzugehen, soll aus den niedrigeren Ebenen »emergieren« und nicht a priori gegeben sein. Die ganz praktische Frage für die effektive Realisierung autonomer synthetischer Darsteller heißt: Welche Fähigkeiten der Figuren können über top-down Ansätze erreicht

werden und welche müssen über langwierige bottom-up Verfahren entwickelt werden?

Die Frage, unter welchen Voraussetzungen virtuelle Darsteller als lebendig gelten können, bleibt hier unbeantwortet. Es erscheint sinnlos, Lebendigkeit an bestimmten Kriterien festzumachen, wie z.B. Selbstreproduktion, die im Fall der virtuellen Darsteller nicht einmal wünschenswert ist. Stoffwechsel, als Energielieferant für natürliche Systeme, ist nicht nötig, da virtuelle Darsteller ihre Energie aus der Steckdose beziehen. Selbst die evolutionäre Weiterentwicklung muß kein Kriterium sein. Wenn man die Forderung ernst nimmt, daß Leben eine Eigenschaft der Form ist, eine Struktur in Raum und Zeit, dann kann es nicht entscheidend sein, wie es zu dieser Form gekommen ist, ob durch menschliche Einsicht und Ingenieurleistung, oder durch (blinde) Mutation und den Selektionsdruck der Umwelt. Lebendigkeit scheint auch keine notwendige Bedingung für die Realisierung autonomer Systeme zu sein. Andererseits erscheint der Begriff Intelligenz allein zu schwach, um das langfristige Potential synthetischer Darsteller zu charakterisieren. Zumindest, wenn man die Präzisierung maschineller Intelligenz von Turing zugrundelegt. Intelligenz, wie sie durch den Turing-Test definiert wird, ist explizit von der äußeren Erscheinung losgelöst und kann damit nicht als Bewertungskriterium für die Leistungsfähigkeit virtueller Darsteller herangezogen werden. Gerade aber das Agieren und Reagieren in einer realen oder synthetischen Umwelt und die visuelle Erscheinung ist für synthetische Darsteller entscheidend. Für die Einbindung des Körpers und die Bewertung der Qualität einer Animation brauchen wir den physischen Turing-Test.

Literatur

- 1 Doyne Farmer and Alletta d'A. Belin, ›Artificial Life: The Coming Evolution‹, in: *Artificial Life II*, ed. C. Langton, C. Taylor, J.D. Farmer, S. Rasmussen, Addison-Wesley, 1992
- 2 C. Langton, ›Artificial Life‹, in: ders. (ed.), *Artificial Life* Addison-Wesley, 1989
- 3 N. Badler, C. Phillips, B. Webber, *Simulating Humans: Computer Graphics Animation and Control*, Oxford University Press, 1993
- 4 *Making them Move: Mechanics, Control, and Animation of Articulated Figures*, ed. N. Badler, B. Bar - sky, D. Zeltzer, Morgan Kaufmann, 1991
- 5 *Thinking Computers and Virtual Persons: Essays on the Intentionality of Machines*, ed. E. Dietrich, Academic Press, 1994
- 6 M. Caudill, *In Our Own Image: Building an Artificial Person*, Oxford University Press, 1992
- 7 N. Magnenat Thalmann, D. Thalmann, *Synthetic Actors in Computer-Generated 3D Films*, Springer Verlag, 1990
- 8 M. Courant, B. Hirsbrunner, K. Stoffel, *Managing Entities for an Autonomous Behavior*, in: N. Magnenat Thalmann, D. Thalmann, *Artificial Life and Virtual Reality*, John Wiley & Sons Ltd., 1994
- 9 E. Schrödinger, *What is Life*, Cambridge University Press, 1967

10 J. Monod, *Zufall und Notwendigkeit*, Deutscher Taschenbuch Verlag, 1975

11 *Genetische Kunst – Künstliches Leben*, Hrsg. K. Gerbel, P. Weibel, *Ars Electronica* 93, PVS Verleger, 1993

12 K. Sims, ›Evolving Virtual Creatures‹, in: *SIGGRAPH 94 Conference Proceedings*, Addison Wesley, 1994

13 *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*, Hrsg. J. Mittelstraß, BI-Wissenschaftsverlag, 1980

14 W. Händler, *Geschichte der mathematischen Maschinen und Datenverarbeitung*, Vorlesungsskript, Universität Erlangen, 1982

15 H. Maturana, F. Varela, *Der Baum der Erkenntnis*, Goldmann Verlag, 1984

16 J. Baudrillard, ›Wie kann man über seinen Schatten springen, wenn man keinen mehr hat?‹, in: ders.: *Die Illusion des Endes oder der Streit der Ereignisse*, Berlin, 1994