Anti-Perfektionismus in Computerausgaben am Beispiel von ungenauen Graphiken

Thomas Strothotte, Raúl Rojas, Frank Deconinck
Freie Universität Berlin, Vrije Universiteit Brussel

Zusammenfassung

Praktisch alle Arbeiten zum Thema Computerausgabe haben sich zum Ziel gesetzt, diese immer perfekter zu gestalten. So wird das automatisch generierte Layout bei Schriftstücken von Jahr zu Jahr harmonischer und ausgeglichener gestaltet. Im Bereich der Computergraphik können Darstellungen von Szenen steigender Komplexität kaum noch von Photographien unterschieden werden. Diese Standardisierung auf hohem Darstellungsniveau bleibt allerdings nicht ohne Nachteile. Zum einen kann zur Abstumpfung führen: Darstellungen sehen alle gleich gut aus, welches zu einer gewissen Monotonie in Präsentationen führt. Zum anderen werden die Ausdrucksmöglichkeiten durch die Form einer Darstellung eingeengt.

In diesem Artikel werden solche Nachteile besprochen und Wege aufgezeigt, sie zu umgehen. Hierzu werden Verfahren geschildert, um Graphiken zu erzeugen, die zwar gut gestaltet, aber dennoch nicht "perfekt" sind. Software zur Erstellung solcher Graphiken wird als ein "Skizzen-Renderer" bezeichnet. Ein erster Prototyp wurde mit Mathematica auf einem Macintosh-Rechner beziehungsweise in C auf einer IRIS 4D35 implementiert.

1 Einleitung

Es ist bald zwei Jahrzehnte her, daß Donald Knuth seine Arbeit am TeX mit der Begründung begann, "Mathematics texts don't look as good as they used to" (vgl. Knuth [7]). Er erreichte das Ziel, Texte viel ästhetischer erscheinen lassen zu können. Mit komplexen Algorithmen, die zum Teil auf Backtracking basieren, ist es beispielsweise möglich, Wortumbrüche zu vermeiden und Buchstaben auf einer Seite gleichmäßig zu verteilen.

Parallel hierzu sind im letzten Jahrzehnt in der Computergraphik große Fortschritte darin gemacht worden, Szenen *photorealistisch* darzustellen. Für regelmäßige Formen gelingt dies heute durchaus so, daß synthetisch erzeugte Bilder oft wirken, als wären sie Photographien. Auch natürliche Phänomene wie Nebel und besondere Lichtbedingungen können nachgebildet werden. Problematisch sind allerdings manche natürliche Erscheinungen wie beispielsweise Wellen auf Wasser, Pflanzen und menschliche Bewegungen.

Typisch bei heutigen Softwarewerkzeugen zur Erstellung von Schrift- und Bildmaterialien ist es, daß Benutzer immer mehr dazu neigen, Standardformate für die Ausgabe zu verwenden. Im Textbereich werden Makros (wie z.B. bei LaTeX) oder vordefinierte Formateinstellungen (wie von Verlagen für Autoren von Büchern geliefert) verwendet. Änderungen können mehr (z.B. bei Word) oder weniger (LaTeX) leicht vorgenommen werden, sind für einen Benutzer aber unattraktiv, da er weiß, daß er damit riskiert, das vermutlich "optimale" Layout seines Textes zu zerstören.

Diese Perfektion mit wenig Spielraum für Benutzer, die Form seiner Ausgabe zu beeinflussen, kann zu einer Abstumpfung bei Lesern und Betrachtern führen. So kann auf den ersten Blick ein LaTeX-Dokument erkannt werden. LaTeX-Folien können auf Tagungen in der ganzen Welt gesehen werden. Das Format ist in die Normalität übergegangen, so daß es seinen Reiz verloren hat. Dies kann sicherlich auch einen Effekt auf Leser haben, deren Stimmung und Voreinstellung von der monotonen Form negativ beeinflußt werden können.

Mit mangelnder Flexibilität bei der Bestimmung der Form der Ausgabe geht einem Autor auch ein wichtiges Ausdrucksmittel verloren. LaTeX produziert ein Dokument in der ersten Rohfassung einer Idee mit der gleichen Perfektion wie das darauf basierende endgültige Werk. Es ist zwar zu beobachten, daß das Sprachniveau eines Schriftstücks ein Indiz für die Qualität des Inhalts ist: So werden oft ungewollt sprachliche Fehler an solchen Stellen gemacht, an denen der Autor sich mit dem Inhalt seines Schreibens unsicher ist. Benutzer haben heute aber praktisch keine Möglichkeiten, die Qualität der Form einer Computerausgabe explizit und bewußt an ihre Einschätzung der Qualität des Inhalts anzupassen. Das ist ein Opfer der Standardisierung.

Mit dem vorliegenden Artikel soll ein Beitrag dazu geleistet werden, Benutzern von Standardsoftware größere Freiheiten einzuräumen. Speziell werden in der Computergraphik Alternativen zu konventionellen computergenerierten Darstellungsformen von Szenen aufgezeigt. Der Artikel ist wie folgt gegliedert: In Kapitel 2 werden einige Arbeiten im Bereich Computergraphik besprochen. Dabei wird zunächst auf konventionelle Darstellungsformen und ihren Einsatz in Arbeitssituationen eingegangen. Anschließend wird auf einzelne Ansätze zu Alternativdarstellungsformen eingegangen. In Kapitel 3 wird der neue Ansatz, mit ungenauen Graphiken zu arbeiten, vorgestellt. Die entwickelten Algorithmen und Beispiele, die mit einem auf einer IRIS 4D35 implementierten Renderer erarbeitet wurden, werden in Kapitel 4 aufgegriffen. Der Artikel endet mit einer Diskussion der Ergebnisse und künftigen Herausforderungen in Kapitel 5.

2 Hintergrund

2.1 Computergraphik in ihrem Arbeitskontext

Die Anwendungen der Computergraphik in Lehre und Forschung konzentrieren sich im wesentlichen auf zwei Bereiche:

a) *Ingenieurwissenschaftliche Anwendungen*, bei denen die Graphik zur Visualisierung von Modellen oder Vorgängen verwendet wird, deren Entwicklung und Korrektheit das primäre Ziel ist, und

b) das *graphischenGewerbe*, bei dem Endverbraucher Informationen über Produkte erhalten.

Dabei werden unterschiedliche Ansprüche an Präsentationen gestellt. Im ersten dieser Bereiche werden oft *wire-frame*-Darstellungen verwendet. Bei vielen Anwendungen, beispielsweise beim CAD, kann hier ein Benutzer in die Visualisierung eingreifen, um das zugrundeliegende Modell abzuändern. Im zweiten Bereich wird hauptsächlich mit *photorealistischen Graphiken* gearbeitet. Dabei ist der Zweck der Visualisierung einzig und allein der, daß sie von einem Benutzer betrachtet werden. Es findet praktisch keine Interaktion zwischen Betrachter und Graphik oder dem dahinter stehenden Rechner statt.

Bei Darstellungen sowohl real existierender als nicht existierender Objekte sind die kommunikativen Ziele einer Darstellung ein zentraler Aspekt beim Design einer Präsentation. Allerdings werden durch die fehlenden Eingriffsmöglichkeiten bei Software zur Erzeugung von Präsentationen Autoren beziehungsweise Designern wichtige Möglichkeiten zur Kommunikation genommen. Um diesen Punkt zu vertiefen, kann auf Begriffe von Goffman [7] zurückgegriffen werden: Die Ausdrucksmöglichkeiten eines einzelnen (und damit die Fähigkeiten, Eindrücke hervorzurufen) schließen in sich zwei Arten von Zeichengebung ein: den Ausdruck, den der Handelnde sich selbst gibt ("information given") und den Ausdruck, den er ausstrahlt ("information given off"). Die erste Art umfaßt Wortsymbole und ihre Substitute (beispielsweise Graphiken), die der einzelne eingestandenermaßen und ausschließlich dazu verwendet, diejenigen Informationen zu vermitteln, die er und die anderen mit diesen Symbolen verknüpfen. Die zweite Art umfaßt Handlungen, die von den anderen als aufschlußreich für den Handelnden aufgefaßt werden, soweit sie voraussetzen können, daß diese Handlungen aus anderen Gründen als denen der Information unternommen wurden. Ist die Form einer Präsentation standardisiert, so ist die Ausstrahlung jeder Präsentation die gleiche. Nach Shannon (siehe beispielsweise Bauer und Goos [2]) ist damit der Informationsgehalt der Ausstrahlung der Darstellung gleich

null[1]. Dieses kann als Erklärung für die am Ausgangspunkt der Überlegungen für diesen Artikel stehende Beobachtung genommen werden, daß Präsentationen in standardisierter Form zu einer Abstumpfung bei Betrachtern führen können.

2.2 Alternativdarstellungen in der Computergraphik

In neuerer Zeit entstanden einige Arbeiten mit dem Ziel, Graphiken betont nicht photorealistisch darzustellen, eine Auswahl soll hier kurz angesprochen werden.

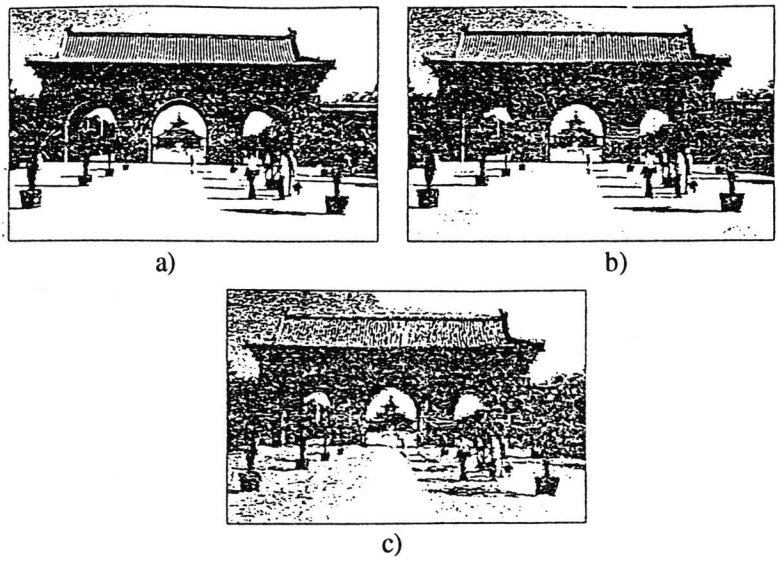

Abb. 1: Eine Photographie a) wird nachgearbeitet: Im Ergebnis wirkt sie dann wie eine Pastellzeichnung b) oder ein Impressionistengemälde c) (Haberli [4], Haggerty [5]).

Bei der von Haberli [4] verfolgten Richtung werden Photographien abgetastet und nachgearbeitet mit dem Ziel, das Ergebnis wie eine Pastellzeichnung oder ein Gemälde eines Impressionisten aussehen zu lassen (siehe Abb. 1). Allerdings entsteht bei solchen Verfahren bei Betrachtern auch eine Täuschung (Baudrillard [1]), denn der Ausgangspunkt ist eine Photographie einer echten Szene, das Erzeugnis dagegen eine Verfälschung. Ferner versuchen Velho und Gomes [12] mit Hilfe rechnerinterner Modelle Gesichter so mit Mustern zu bemalen, daß sie wie mit

[1] Eine Ausnahme ist zwar, daß ein trainiertes Auge anhand einer photorealistischen Graphik, die mit einem kommerziell erhältlichen Renderer erzeugt wurde, erkennen kann, um welchen Renderer es sich handelt. Allerdings dürfte solche "Ausstrahlung" generell uninteressant sein.

Bleistift und vor allem Radiergummi skizziert wirken. Bei diesen Arbeiten liegt der Beitrag ausschließlich bei der Auswahl der Textur (Abb. 2).

Abb. 2: Texturen in einer Graphik (Velho und Gomes [12]).

3 Ungenaue Graphiken

Viele Techniken zur graphischen Darstellung von Objekten wurden im Laufe von Jahrtausenden in verschiedenen Kulturen entwickelt, zum Teil auch wieder verworfen. Auf die Vielfalt soll hier nur beispielhaft hingewiesen werden; der interessierte Leser wird an anderer Stelle ausführlich informiert (siehe beispielsweise Regel [9]). Zu den Techniken gehören Zeichen-, Mal-, Druck-, Schablonen-, Schneide- und Reiß-, Kratz-, Schab-, Mosaik- und Einlegetechniken. Jede dieser Techniken existiert in zahlreichen Ausprägungen, von denen nur ein geringer Teil mit Rechnern nachzubilden ist.

Obwohl die Notwendigkeit photorealistischer Graphiken für breitgefächerte Anwendungen nicht in Frage gestellt werden soll, gibt es durchaus Situationen, in denen diese nicht angemessen sind. Davon sollen zwei genannt werden:

1. Um eine Diskussion zu provozieren, beispielsweise über den Erstentwurf eines Objekts durch einen Architekten.

   Entwirft ein Architekt im Auftrag eines Kunden ein Objekt und stellt er den ersten Entwurf zur Diskussion, so will er Änderungswünsche geradezu provozieren, um mit seinem Kunden ins Gespräch zu kommen. Eine photorealistische Darstellung hinterläßt den Eindruck der abgeschlossenen Endgültigkeit; eine Skizze dagegen lädt zur Diskussion ein.

2. Zur Lenkung der Aufmerksamkeit eines Betrachters, beispielsweise bei Lehrmaterialien für den Schulunterricht.

   Ein Lehrer will für eine Lektion über Vogelfedern in seinen Materialien Vögel zeigen, wobei der Schwerpunkt auf den Federn liegt. In einer photorealistischen Graphik sind alle Details der Darstellung gleichermaßen ausgeprägt. Hier wird eine Alternativform benötigt, bei der speziell die Objekte im Zentrum des Interesses hervorgehoben werden. Alle anderen Informationen sollen in den Hintergrund gedrängt werden, um nicht vom Thema abzulenken.

   Besonders bei tastbaren Graphiken für blinde Schüler müssen solche Aspekte berücksichtigt werden, damit die Adressaten sich nicht mit unnötigen Details auseinandersetzen müssen.

Die im vorliegenden Beitrag angestrebte Form von Graphiken unterscheidet sich von photorealistischen Graphiken dadurch, daß den abzubildenden Objekten weniger Details zu entnehmen sind. Sie unterscheiden sich von wire-frame-Darstellungen durch Ungenauigkeiten in Grundformen wie Linien, Kreisen, Kegeln und Polygonen; sie sollen wie von Hand mit Bleistift skizziert wirken. Einzelnen Grundformen, wie den angesprochenen Linien und Kreisen, geben wir das Attribut "ungenau", wenn sie frei wie von Hand gezeichnet wirken. Wir beziehen uns insgesamt auf diese Art der Darstellung als *ungenaue Graphiken*. Ein Programm, welches solche Graphiken aus einer Szenenbeschreibung erzeugt, bezeichnen wir als einen *Skizzen-Renderer*.

Eine fundamentale Eigenschaft ungenauer Graphiken ist, daß sie von einem Endbenutzer edierbar sein müssen. Dies steht im Gegensatz zu photorealistischen Graphiken, die per Definition vom Renderer bereits so perfekt wie möglich produziert werden. Die Dialogmöglichkeit bei ungenauen Graphiken ist ein entscheidender Vorteil und Fortschritt, der es einem Benutzer erstmalig ermöglicht, seine Fachkenntnisse in den Renderingprozeß einzubringen.

4 Verfahren zur Erzeugung ungenauer Graphiken

In diesem Abschnitt zeigen wir, wie mit zunächst einfachen Mitteln Repräsentationen von komplexen Bildern in ihre "handschriftlichen" Äquivalente umgewandelt werden können.

4.1 Modellieren durch Interpolation

Um Zeichnungen mit dem Computer so zu erstellen, daß der Eindruck entsteht, sie seien per Hand gezeichnet worden, sind drei grundsätzliche Alternativen denkbar:

Einerseits kann ein mechanisches Modell des Hand-Arm-Systems vorgeschlagen werden, und Linien oder Kreise können durch eine Art von Simulation gezeichnet werden. Andererseits kann die graphische Repräsentation eines Objekts als Anfangspunkt dienen und durch stochastische Störungen so verändert werden, daß die gewünschte "Handschriftechtheit" entsteht. Schließlich können Störungen durch ein neuronales Netz vorgenommen werden. Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit dem zweiten Weg, weil die durch diese Methode erzielten Resultate täuschend echt wirken und der erforderliche Rechenaufwand relativ gering ist.

Strichzeichnungen werden anhand von nur wenigen Grundelementen erstellt: Punkten, Linien, Polygonen und Kreisen. In handschriftlichen Dokumenten verändert sich auch die Breite der gezogenen Linien in Abhängigkeit vom Druck auf das Papier. Diesen Effekt haben wir in unserer Implementierung zunächst ausgeklammert, er kann aber mit geringem Aufwand eingebracht werden.

Eine komplexe Zeichnung besteht aus mehreren Grundelementen. In Mathematica (Wolfram [13]) z.B. wird eine Zeichnung durch die Liste der Grundelemente, die sie enthält, dargestellt. Die zwei Elemente, die uns hier interessieren, sind:

- **Line**$[\{x_1, y_1\},\{x_2, y_2\}]$: zieht eine gerade Linie vom Punkt (x_1, y_1) zum Punkt (x_2, y_2)
- **Circle**$[\{x, y\}, r]$: zeichnet einen Kreis mit Radius r und Zentrum (x, y)

Dies sind Mathematica-Funktionen, deren Definition vom Benutzer verändert werden kann. So kann jeder seine eigene Linien- oder Kreis-Funktionen selbst erstellen. Auf diese Weise können ungenaue Linien produziert werden, wenn einige Punkte auf der Linie zufällig ausgewählt werden und auch zufällig (d.h. mit Hilfe eines Zufallszahlengenerators) verschoben werden. Es entsteht eine gebrochene Linie, wenn zwischen den verschobenen Punkten die lineare Interpolation beibehalten wird. Die gebrochene Linie ähnelt eher einer handschriftlichen Linie, die nicht perfekt gezeichnet wird (siehe Abb. 3).

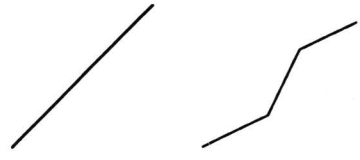

Abb. 3: Eine Linie und ihre Approximation

Um die Täuschung des per Hand gezeichneten zu produzieren, kann jetzt eine Interpolationsmethode verwendet werden, um die gebrochene Linie zu glätten. Dafür können bewegliche Mittelwerte oder Splines der zweiten und dritten Ordnung zu Hilfe gezogen werden (Jain [6]). Abb. 4 zeigt das Resultat der Glättung einer gebrochenen Linie (die durch Verschiebung von vier Punkten der xy-Diagonale produziert wurde) mit einem Spline dritter Ordnung. Das Resultat wirkt wie per Hand gezeichnet.

Es ist nicht schwierig, in Mathematica die Line-Funktion auf diese Weise umzudefinieren, um ungenaue Linien zu bekommen. Auch die Kreis-Funktion kann auf die gleiche Weise umdefiniert werden, um ungenaue Kreise zu erzeugen.

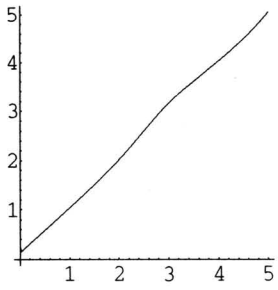

Abb. 4: Ungenaue Linie mit 4 Definitionspunkten

In Abb. 5 werden ein Kreis und ein ungenauer Kreis gezeigt. Der ungenaue Kreis wurde durch die Veränderung der Kreis-Funktion von Mathematica erzeugt, und zwar so, daß der Radius des Kreises keine Konstante mehr ist, sondern eine Funktion des Winkels. Dafür wird die Radiusfunktion $r(\theta)=1$, $\forall\theta \in [0, 2\pi]$, d.h. eine gerade Linie, als ungenaue Linie gezeichnet. Die ungenaue Linie ist eine Funktion r' von θ und wird als Radius für die Darstellung des ungenauen Kreises verwendet. Für die Abb. 5 wurden neun Winkel im Intervall $[0, 2\pi]$ zufällig gewählt, der Radius an diesen Stellen wurde zufällig verlängert oder verkürzt. Durch Interpolation der Radiusfunktion wurde dann der ungenaue Kreis erzeugt. Es wurden etwas mehr als 360 Grad für den Winkelparameter verwendet. Damit lassen sich Kreise erzeugen, die sich am Anfang und Ende überlappen.

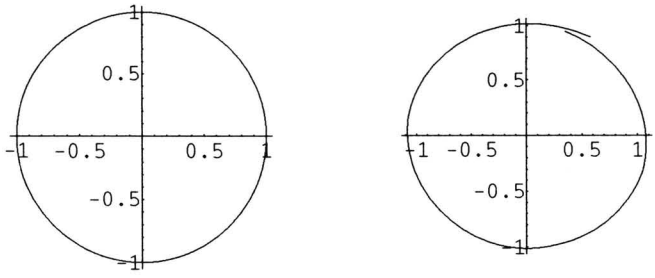

Abb. 5: Ein Kreis und ein ungenauer Kreis

Abb. 6 illustriert, wie die Genauigkeit der Graphikerzeugung durch die Wahl der Interpolationsordnung verändert werden kann. Der linke und rechte Kreis wurde durch dieselbe Perturbation von neun Punkten im Kreis erzeugt. Der linke Kreis wurde aber mit einer Interpolation erster Ordnung der Radiusfunktion erzeugt und der zweite mit einer Interpolation dritter Ordnung. Der rechte Kreis wirkt gleichmäßiger als der linke. Die Wahl der Interpolationsordnung kann als Parameter eines Skizzen-Renderers vom Benutzer selbst gewählt werden.

Polygone können auf zweierlei Weise verarbeitet werden: Als Ansammlung von Linien reicht es, wenn jede einzelne Linie ungenau gezeichnet wird, oder die Ecken

und einige andere Punkte des Polygons können zufällig verschoben werden. In diesem letzten Fall kann eine Glättung des Polygons berechnet werden, die wie gewünscht ungenau aussieht. Die Glättung des Polygons kann für jede Koordinate unabhängig berechnet werden.

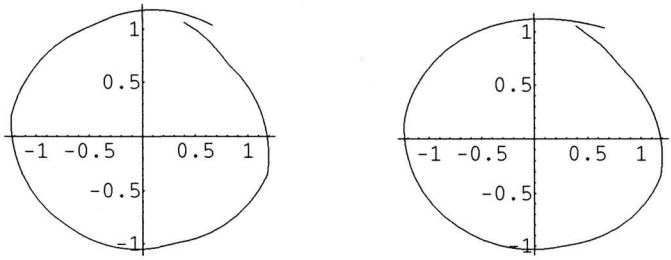

Abb. 6: Ungenaue Kreise mit Interpolationsordnungen 1 und 3

4.2 Algorithmische Perturbation eines Modells

Um ein Beispiel der Möglichkeiten der im letzten Abschnitt dargestellten Methode zu geben, haben wir die Abb. 7 und 8 erzeugt. Beide wurden aus derselben graphischen Repräsentation abgeleitet, einmal mit den normalen graphischen primitiven Funktionen und ein andermal mit den ungenauen Funktionen.

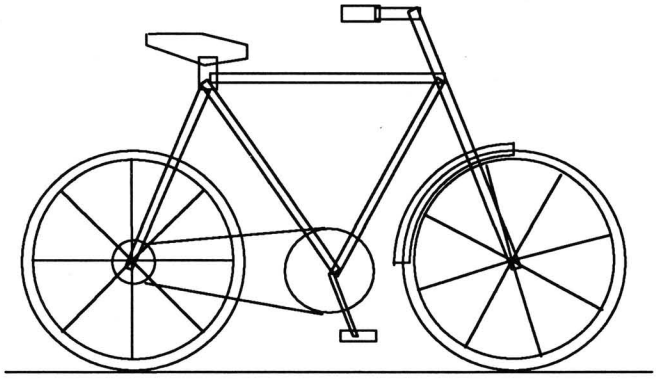

Abb. 7: Darstellung eines Fahrrads

Es kann uns vorgehalten werden, daß bestimmte Interpolationsmethoden manchmal eine allzu gute Glättung berechnen, die aus diesem Grund künstlich wirkt. Kubische Splines können z.B. manchmal "zu rund" wirken. Die Lösung dafür besteht darin,

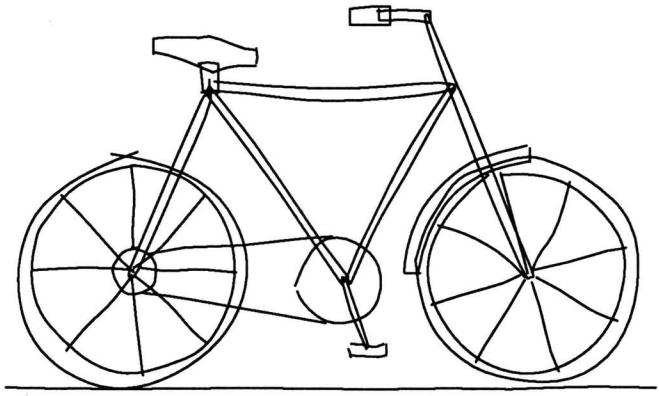

Abb. 8: Ungenaue Graphik eines Fahrrads

mehr Punkte auf Linien und Kreisen zu verschieben, damit die Gleichmäßigkeit der Glättung aufgehoben wird. Auch die Parameter der Interpolationsfunktion können verändert werden, bis der gewünschte Verfremdungsgrad erreicht wird.

Ein wesentlicher Vorteil der dargestellten Methode liegt darin, daß sie "kontextfrei" ist. Der Renderer braucht keine Information über die Objekte, die gezeichnet werden, da nur die Grundfunktionen verändert werden. Dies erfordert allerdings, daß die stochastische Perturbation der Linien und Kreise sich in gewissen Grenzen hält. Wäre die Perturbation zu groß, könnte der Zusammenhang eines ganzen Bildes verlorengehen, wenn z.B. der äußere Kreis eines Reifens den inneren Kreis überschneidet. Bei sehr komplexen Bildern kann die richtige Auswahl der Interpolations- und Störungsparameter die Qualität der Ausgabe (im Sinne von Täuschung) erhöhen. Aus diesem Grund wurde ein Editor für ungenaue Graphiken erstellt.

4.3 Edieren ungenauer Graphiken

Die Edierbarkeit einer ungenauen Graphik ist einer der entscheidenden Fortschritte gegenüber herkömmlichen photorealistischen oder wire-frame-Graphiken. Eine Veränderung in einer photorealistischen Graphik kann prinzipiell nur dadurch bewirkt werden, daß das zugrundeliegende Modell abgeändert wird. Bei ungenauen Graphiken dagegen werden Modell und Präsentation getrennt voneinander behandelt.

Für Skizzen-Rendering wird zunächst ein globaler Genauigkeits-Parameter verwendet. Hierdurch werden beispielsweise bei dem in Kapitel 4.2 angesprochenen Verfahren das Ausmaß der Perturbation gewählt und auch bestimmt, wieviele Details

gezeichnet werden. Nach der Generierung kann ein Benutzer Teilbereiche der Graphik markieren und für diese den Genauigkeits-Parameter neu auswählen. Neben der Änderung des Genauigkeits-Parameters kann ein Benutzer für einzelne Grundelemente wie Linien die zugrundeliegenden Kontrollpunkte manipulieren.

Von den Algorithmen her gestalten sich dabei die Übergänge zwischen Regionen unterschiedlicher Genauigkeit schwierig. Verfahren hierzu wurden kürzlich untersucht (Semmler [10]).

5 Besprechung und Ausblick

Dieser Artikel untersucht Alternativen zum Ziel der Perfektion bei Computerausgaben, welches in der Informatik seit Jahrzehnten verfolgt wird. Der konstruktive Beitrag der vorliegenden Arbeit besteht darin, zu zeigen, daß es durchaus möglich ist, algorithmisch synthetische Graphiken zu erzeugen, die von dieser Perfektion abweichen, trotzdem aber ausgeglichen wirken und gewisse kommunikative Ziele des sie einsetzenden Benutzers befriedigen können.

Aus technischer Sicht lassen sich aus diesem Artikel eine Vielzahl neuer Fragestellungen ableiten. Wie können Größen wie Licht und Entfernung vom Betrachter in ungenauen Graphiken dargestellt werden? Können standard Renderer mit den hier vorgestellten Methoden kombiniert werden, um ungenaue Graphiken wiederum zu vervollständigen? Können Constraints auf die Perturbationen dazu beitragen, daß ungenaue Graphiken noch besser wirken? Wo liegt der Übergang zwischen ungenauen Graphiken und Texturen bei photorealistischen Graphiken?

Trotz der verlockenden Möglichkeiten der Technik muß auch bei der Herstellung ungenauer Graphiken das Prinzip von Tufte [10] berücksichtigt werden: Er vertritt den Standpunkt, daß "Graphics should impress by the power of the data and not by the power of the technology used to produce them". Dabei ist noch unklar, ob ein Betrachter sich von einer genauen Graphik mehr von der Sache ablenken läßt (beispielsweise weil er nach Ungereimtheiten sucht) als von einer ungenauen (beispielsweise weil er versucht, Regelmäßigkeiten in der Ungenauigkeit zu erkennen).

Der durch den Artikel aufgeworfene und darin vertretene Ansatz kann über Graphik hinaus auf verschiedene Bereiche der Computerausgabe erweitert werden. Neben Textausgaben (Standardisierung durch LaTeX und Word) steht hier auch der Bereich der graphischen Benutzungsoberflächen, wo sich die verschiedenen Systeme kaum mehr voneinander unterscheiden. Auch hier könnte eine sichtbare Individualisierung im Rahmen des gestalterisch Vertretbaren eine interessante Bereicherung sein.

Literatur

[1] Baudrillard, J. (1991): Interview in: Der Spiegel 6/1991, S. 220-221.

[2] Bauer, Friedrich L. und Gerhard Goos (1973): Informatik: Eine einführende Übersicht, Erster Teil. Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag, S. 42-50.

[3] Goffman, E. (1959): Wir alle spielen Theater. München: R. Piper & Co., S. 6.

[4] Haberli, Paul (1990): "Paint By Numbers: Abstract Image Representations". Computer Graphics 24 (4), August 1990, S. 207-214.

[5] Haggerty, Michael (1991): "Almost Automatic Computer Painting". IEEE Computer Graphics & Applications, November 1991, S. 11-12.

[6] Jain, A. (1989): Fundamentals of Digital Image Processing. London: Prentice-Hall.

[7] Knuth, Donald (1984): The TeX Book. Reading, MA: Addison-Wesley.

[8] Kosko, B. (1992): Neural Networks and Fuzzy Systems. London: Prentice-Hall.

[9] Regel, Günther (1963): Techniken des bildnerischen Gestaltens. Berlin: Volk und Wissen, Volkseigener Verlag.

[10] Semmler, Jürgen (1992): Verfahren zur maschinellen Erzeugung von Skizzen aus formalen Szenenbeschreibungen. Studienarbeit, Institut für Informatik der Freien Universität Berlin, Oktober 1992.

[11] Tufte, Edward R. (1983): The Visual Display of Quantitative Information. Cheshire, CN: Graphics Press.

[12] Velho, Luis und Jonas de Miranda Gomes (1991): "Digital Halftoning with Space Filling Curves". Computer Graphics 25 (4), Juli 1991, S. 81-90.

[13] Wolfram, Stephan (1991): Mathematica - A System for Doing Mathematics by Computer. Redwood-City, CA: Addison-Wesley.

Thomas Strothotte und Raúl Rojas
Freie Universität Berlin
Institut für Informatik
Nestorstr. 8-9
D-1000 Berlin 31

Frank Deconinck
Vrije Universiteit Brussel
Laarbeeklaan 101 / KRO-1
B-1090 Brussel