

Workshop

# Computer als Medium

## HyperKult VII

16. bis 18. Juli 1998

Rechenzentrum der Universität Lüneburg

## Vortragspapiere

### Teil I

#### **Peter Schefe**

Also (er)setzte Zarathustra ..... 1

#### **Julia Gentsch, Mischa Latwesen**

Musik für Grasersatz und Lichtsensor..... 15

#### **Dr. Rolf Großmann, Dr. Martin Warnke**

Da Capo Al Segno ..... 17

#### **Uwe Pirr**

Digitale Wasserzeichen, Labels und Fingerabdrücke:

technische Maßnahmen gegen den Datenklau ..... 23

#### **Markus Krajewski**

Die Rose - Vorstudie zu einer kleinen Geschichte der Rekursion ..... 33

#### **Hans Dieter Huber**

Life is a cut-up - Über Intermedialität und ihre Formen ..... 65

#### **Herbert W. Franke**

Der grafische Baum - Ästhetische Aspekte ..... 75

#### **Yvonne Spielmann**

Das Prinzip Collage in der Medienkunst..... 105

#### **Heiko Idensen**

2001: Die Odysse des Wissens ..... 117

#### **Hartmut Winkler**

Über Rekursion. Eine Überlegung zu Programmierbarkeit,

Wiederholung, Verdichtung und Schema ..... 123

#### **Zorah Mari Bauer**

cut ..... 127

#### **Paul Ferdinand Siegart**

Cut, Copy & Publish ..... 139

#### **Andreas Goppold**

Le plus ça change, le plus ça reste le meme:

Auto- und Hetero-Coordination, and the Bio-Algorithmics of Cut and Paste ..... 147

<b>Frank Fiedler</b>	
„Cut, Copy & Waste“ .....	149
<b>Frank Fiedler, Michael Harenberg</b>	
ein ander .....	153
<b>Gabriele Gramelsberger</b>	
Zum Stand der Schwerdatenforschung .....	155
<b>Wolfgang Kiwus</b>	
ABER - Finissage der Ausstellung	
„Technopaignia oder Der geistige Mensch und die Technik“ .....	157
<b>Hartmut Sörgel</b>	
Algorithmische Dichtkunst .....	159
<b>Michael Harenberg</b>	
Virtuelles kopieren akustischer Instrumente .....	161
<b>Nico Dierks, Thorsten Klages, Florian Schmidt</b>	
Whirlpool 8 .....	163
<b>Tilman Baumgaertel</b>	
Copy: net.art.....	169
<b>Dagmar Schmauks</b>	
„You sometimes gain a little, loose a little“-	
Mehrwert und Verlust bei elektronischem Text .....	171
<b>Peter Bexte</b>	
Karl-Valentin als Wiederholungstäter.....	173
<b>Thilo Ruf</b>	
LORA Kultur .....	175
<b>Georg Allmendinger</b>	
Der Visor .....	177
<b>Britta Schinzel</b>	
Geschlechtliche Muster in Informatik und Software.....	179
<b>Uwe G. Adlung</b>	
Die Bedeutung und die Bedeutung von Copy contra Repeat und Link.....	183
<b>Holger Schulze</b>	
Das minimalistische Spiel.....	185
<b>Torsten Meyer</b>	
Der Ursprung der Bilder	
Oder: Über das verlorene Original .....	187
<b>Jörg Kantel, Sven Dierig</b>	
Hypermediale Wissensanordnung und collagierender Umgang mit dem Material?	
Digitales „Bildersammeln“ am Beispiel des VIPP .....	189
<b>Martin Maurach</b>	
Cut and copy the ear. Wiederholung und Gestaltwahrnehmung in der Audiokunst .....	199
<b>Herbert W. Franke</b>	
Computergrafiken .....	213
<b>Teilnehmer- / Adressenliste.....</b>	<b>215</b>

# Also (er)setzte Zarathustra

*Ein Übertext für Niemanden und Jeden*

1

Vom Schreiben im Zeitalter der elektronischen Medien

*Peter Schefe*

'Du sollst nicht kopieren! Du sollst nicht ersetzen! - solche Worte hieß man einst heilig; vor ihnen beugte man Knie und Köpfe und zog die Schuhe aus. Aber ich frage euch: wo gab es je bessere Kopierer und Ersetzer in der Welt.

als es solche heilige Worte waren?

Ist in allem Schreiben selber nicht - Kopieren und Ersetzen?

*Zarathustra: Von alten und neuen Tabellen. S. 12*

## *Zarathustras Vorsatz*

1.

Als Zarathustra dreißig Jahre alt war, verließ er seinen *Schreibtisch* und ging hinauf in die *Bibliothek*. Hier genoß er seines Geistes und seiner Einsamkeit und wurde dessen zehn Jahre nicht müde. Endlich aber verwandelte sich sein Herz, – und eines Morgens stand er in der Morgenröte auf, trat vor die Sonne hin und sprach zu ihr also:

"Du großes Gestirn! Was wäre dein Glück, wenn du nicht die hättest, welchen du leuchtest!

Zehn Jahre kamst du hier herein in meine *Lesestatt*: du würdest deines Lichtes und deines Weges satt geworden sein, ohne mich, meine *Brille* und meinen *Notizblock*.

Siehe, ich bin meiner Weisheit überdrüssig, wie die Biene, die des Honigs zuviel gesammelt hat: ich bedarf der Hände die sich ausstrecken.

Ich möchte verschenken und austeilen, bis die Weisen unter den *Autoren* wieder einmal ihrer Torheit froh geworden sind.

---

<sup>1</sup>Der geneigte Leser vgl. Friedrich Nietzsches: Also sprach Zarathustra. Ein Buch für Alle und Keinen. Stuttgart (reclam) 1951

Dazu muß ich in die Tiefe steigen: wie du des Abends tust. Ich muß, gleich dir, u n t e r g e h e n, wie die Autoren es nennen, zu denen ich hinab will.

Siehe! Dieser Becher will wieder leer werden, und Zarathustra will wieder *Autor* werden."

Also begann Zarathustras Untergang.

## 2.

Zarathustra stieg allein abwärts. Als er aber zu der *Messe* kam, stand auf einmal ein Greis vor ihm, der seinen *heiligen Schreibtisch* verlassen hatte, um *Neues* auf der Messe zu suchen. Und also sprach der Greis zu Zarathustra:

"Nicht fremd ist mir dieser Wanderer; aber er hat sich verwandelt. Wie im Meere lebst du in der Einsamkeit, und das Meer trug dich. Wehe, du willst an Land steigen. Wehe, willst du deine *Texte* wieder selber *schreiben*?"

Und Zarathustra antwortete: "Ich liebe die Autoren."

Sprach's und setzte hinzu: "Was sprach ich von Liebe! Ich bringe den Autoren ein Geschenk."

"Gib ihnen nichts, sagte der Greis. Und willst du ihnen etwas geben, dann laß sie noch darum betteln!"

"Nein, sagte Zarathustra, ich gebe keine Almosen. Dazu bin ich nicht arm genug." Und fragte schließlich: "Und was macht der Heilige auf der Messe?"

Der Heilige antwortete: "Ich bin Kritiker. So diene ich dem Buch."

Als Zarathustra diese Worte gehört hatte, grüßte er den Autor und sprach: "Was hätte ich euch zu geben. Aber laßt mich schnell davon, daß ich euch nichts nehme!"

Als er allein war, sprach er aber zu seinem Herzen: "Dieser Heilige an seinem Schreibtisch hat noch nichts davon gehört, daß das *B u c h* t o t ist."

Als Zarathustra an einen *Kiosk* kam, der sich in der Nähe der Messe befindet, fand er daselbst viel Volk *online*, und er schrieb also zum Volke: "Ich lehre euch den *Überautor*. Der Autor ist etwas, was überwunden werden soll. Was habt ihr getan, ihn zu überwinden?"

Der *Überautor* ist der Sinn der *Schriftlichkeit*. Ich beschwöre euch, meine Brüder, bleibt der Schriftlichkeit treu, und glaubt denen nicht, die euch von Bücher-Hoffnungen reden. Verächter des Schreibens sind es, Absterbende, deren die Schriftlichkeit müde geworden ist; so mögen sie *dahinkritzeln*"

Und Zarathustra schrieb weiter: "Wahrlich ein schmutziger Strom ist der Autor. Man muß schon ein Meer sein, um einen schmutzigen Strom aufnehmen zu können, ohne unrein zu werden.

Seht, ich lehre euch den *Überschreiber*: der ist dies Meer, in ihm kann eure große Verachtung untergehn."

Also begann Zarathustras Untergang.

## DIE SEITEN ZARATHUSTRAS

### *Von der Wiederholung*

Man rühmte Zarathustra einen Weisen, der gut vom Ausschneiden und Einfügen zu schreiben wußte: und alle Jünglinge saßen vor seinen Seiten. Und also schrieb der Weise:

"Ehre und Scham vor der Wiederholung! Geht allen aus dem Wege, die nicht wiederholen, aber stets Neues verbreiten. Schamlos ist der Autor des Neuen.

Keine geringe Kunst ist das Wiederholen:

Zehnmal muß du dich selbst überwinden auszuschneiden aus dem Geschriebenen.

Zehnmal muß du dich mit dir selbst wieder versöhnen, denn schlecht schneidet aus, wer mit sich selbst nicht einig ist.

Zehnmal mußt du lachen und heiter sein, willst du dem Einfügen gerecht werden.

Selig sind die Vervielfältiger, denn sie werden nichts Einfältiges schreiben!"

Selig sind die Vervielfältiger, denn sie werden nichts Einfältiges schreiben!"

Also wiederholte Zarathustra.

## *Vom Leser*

"Von allem Geschriebenen liebe ich nur das, was einer mit seinem Blute schreibt. Schreibe mit Blut: und du wirst erfahren, daß Blut Geist - Text - ist.

Es ist nicht leicht möglich, fremdes Blut zu verstehen: Ich hasse die lesenden Müßiggänger.

Wer den Leser kennt, der tut nichts mehr für den Leser. Noch ein Jahrhundert Leser - und der Geist selber wird stinken.

Daß jedermann lesen lernen darf, verdirbt auf die Dauer nicht allein das Schreiben, sondern auch das Denken.

Einst war der Geist *Dichtung*, dann wurde er zum *Autor*, jetzt wird er gar zum *Surfer*.

Im Web ist der nächste Weg von Seite zu Seite. Aber dazu mußst du lange Beine haben. Seiten sollen Gipfel sein und die, die sie aufsuchen, Große und Hochwüchsige.

Ich empfinde nicht mehr mit euch: ihr seht nach oben, wenn ihr Erhebung verlangt, ich sehe nach unten, weil ich erhoben bin.

Wer von euch kann zugleich surfen und erhoben sein?

Aufwärts geht unser Weg, von der Art hinüber zur Über-Art. Aber ein Grauen ist uns der entartende Sinn, welcher spricht: "Alles für mich."

Macht ist sie, die neue Tugend des Überlesers."

Also schrieb Zarathustra.

## *Von der Programmierung*

"'Wille zur Wahrheit' heißt ihr's, ihr Weisesten, was euch treibt und brünstig macht?

Wille zur *Programmierbarkeit* alles Seienden: also heiße i c h euren Willen!

Alles Seiende wollt ihr erst programmierbar m a c h e n: denn ihr zweifelt mit gutem Mißtrauen, daß es schon programmierbar ist.

Aber es soll sich euch fügen und biegen! So will's eurer Wille. Glatt soll es werden und dem Geiste untertan als sein Spiegel und Widerbild.

Das ist euer ganzer Wille, ihr Weisesten, als ein Wille zur Macht; und auch wenn ihr von *Bugs* und *Tricks* redet und von *Testen* und *Validieren*.

Schaffen wollt ihr die Welt, vor der ihr knien könnt: so ist es eure letzte Hoffnung und Trunkenheit.

Einst sagte man Kunst, wenn man auf eine *Darstellung* blickte, aber ich lehrte euch zu sagen: *Überkunst*.

Könntet ihr Kunst programmieren? So schweigt mir doch von der Kunst. Wohl aber könntet ihr die Überkunst programmieren. Nicht ihr vielleicht selber, meine Brüder! Aber zu Vätern und Vorfahren könnt ihr euch umprogrammieren der Überkunst: und dies sei eurer bestes Programm!

Aber dies bedeute euch Wille zur Wahrheit, daß alles verwandelt werde in *Menschen-Programmierbares*, *Menschen-Projizierbares*, *Menschen-Klickbares*. Eure eigenen Sinne sollt ihr zu Ende programmieren!

Und was ihr Welt nanntet, das soll erst von euch programmiert werden: eure Vernunft, euer Bild, euer Wille, eure Liebe soll es selber werden!

Ach, es ist so viel Lüsterheit in der Programmierung!"

Also ersetzte Zarathustra.



## *Von den Vernetzten*

"Siehe, das ist der Tarantel Höhle: Willst du es selber sehen. Hier hängt ihr Netz.

Also schreibe ich für euch, ihr Prediger der Gleichheit. Taranteln seid ihr und versteckte Rachsüchtige.

Darum reiße ich an eurem Netze, daß ich eure Wut aus eurem *Lyer-Space* locke, ihr Taranteln, die ihr einander *mailt*: "Gleicher Zugang für alle! Gegen alles, was Macht hat!"

Das ist ein Volk schlechter Abkunft und Art, aus euren Gesichtern blickt der *Hacker* und der *Schnüffler*! Mit solchen will ich nicht vermischt und verwechselt werden. Was wäre denn meine Liebe zum Überschreiber, wenn ich anders schriebe?

Und weil es Höhe braucht, braucht es Stufen und Widerspruch der Stufen und Steigenden! Steigen will das Leben und steigend sich wiederholen. Ach, es gibt so viel Lüsternheit nach Wiederholung! Also sicher und schön laßt uns auch Feinde sein, meine Freunde! Wiederschreiben heißt *Widerschreiben*!

Wehe, da biß mich selber die Tarantel, meine alte Feindin. Ja, sie hat sich gerächt! Häng ich doch selber im Netz! Und wehe, nun wird sie mit Rache auch mein Schreiben drehend machen. Wahrlich, kein Dreh- und Wirbelwind ist Zarathustra: und wenn er ein Tänzer ist, nimmermehr doch ein Tarantel-Tänzer! -"

Also mailte Zarathustra.

## *Vom Vorübersurfen*

Also durch viel Volk und vielerlei Seiten, langsam hindurchklickend, gelangte Zarathustra auf Umwegen zurück auf seine Heimatseite. Und siehe, da kam er auch auf das *Magazin der großen Messe*: Hier aber sprang ihm ein schäumender Narrentext ins Auge von dem, welchen das Volk "den Affen Zarathustras" hieß. Denn er hatte ihm etwas von Satz und Fall des Schreibens abgemerkt und schnitt wohl auch gerne vom Schatze seiner Texte aus. Der Narr aber schrieb:

"O Zarathustra, hier ist die große Messe: hier hast du nichts zu suchen und alles zu verlieren. Warum wolltest du durch diesen Schlamm waten? Hier ist die Hölle für Autoren: hier werden große Texte lebendig gesotten und klein gekocht.

Riechst du schon die Schlachthäuser und Garküchen der Textverarbeitung? Dampft nicht diese Messe vom Dunst der geschlachteten Texte?

Siehst du nicht die Texte hängen wie schlaffe, schmutzige Lumpen? Und sie machen noch Online-Magazine aus diesen Lumpen!

Hörst du nicht, wie der Text zum Wortgeschnipsel wurde? Widriges Wort-Spülicht bricht er heraus! - Und sie machen noch Online-Magazine aus diesem Wort-Spülicht!"

Hier aber unterbrach Zarathustra seine Lektüre und klickte hinweg den Abschaum aller Texte.

"In den Abschnitt", tippte er, dich, den man heißt den Affentext Zarathustras. Aber ich frage: Was machte dich suhlen in diesem Wortschlamm, was dich grunzen in diesem Textunrat?

Ich verachte dein Verachten. Mein Verachten singt wie ein Vogel der Liebe, es grunzt nicht wie ein Schwein im Sumpf!"

Also mailte Zarathustra, blickte auf den URL und seufzte und schrieb lange nichts:

"Mich ekelt auch dieser großen Messe und nicht nur dieses Narren. Hier und dort ist nichts zu bessern, nichts zu bösem.

Wo man nicht mehr lieben kann, da soll man - vorübersurfen!"

Also klickte Zarathustra und surfte an der großen Messe vorüber.

## *Von höheren Autoren*

"Als ich zum erstenmal zu den Autoren kam, da tat ich die  
Einschreiber-Torheit, die große Torheit: ich stellte mich ins Web.

Und als ich für Niemanden schrieb, schrieb ich für Jeden. Des  
Abends aber waren *Designer* meine Genossen, und Leichname: und  
ich selber fast ein Leichnam.

Mit dem neuen Morgen aber kam mir eine neue Wahrheit, da  
lernte ich texten: 'Was geht mich Web und Surfer und Surfer-Klick  
und scharfe Surfer-Augen an!'

Ihr höheren Autoren: das lernt von mir: im Web glaubt Niemand  
an höhere Autoren. Und wollt ihr dort publizieren, wohlan! Die Surfer  
aber blinzeln: 'wir sind alle gleich.'

Die Sorglichsten fragen heute: 'wie bleibt der Autor erhalten?'  
Zarathustra aber fragt als der Einzige und Erste: 'wie wird der Autor  
überwunden?'

Der Autor ist etwas, was überwunden werden soll. Was habt ihr  
getan, ihn zu überwinden?

Der Überautor liegt mir am Herzen, der ist mein Erstes und  
Einziges. Der Überautor ist der Sinn der *Schriflichkeit*.

O meine Brüder, was aber groß am Autor ist, daß er eine Brücke  
und kein Zweck ist: was geliebt werden kann am Autor, das ist, daß  
er ein Übergang und ein Untergang ist.

Dieser Surfer-Mischmasch will nun Herr werden alles Autor-  
Schicksals - o Ekel! Ekel! Ekel! O WWW!

Diese Herren von heute überwindet mir, o meine Brüder, - diese  
kleinen Surfer: die sind des Überautors größte Gefahr.

Überwindet mir, ihr höheren Autoren, die kleinen Skriptigkeiten.  
die Pixel-Rücksichten, den JavAmeisen-Kribbelkram, das erbärmliche  
Behagen, das 'Glück der Meisten' -!

'Der Autor muß besser und böser werden' - so lehre ich. Das  
Böseste ist nötig zu des Überautors Bestem.

Also böserte Zarathustra.

## *Von alten und neuen Tabellen*

Also sprach Zarathustra zu seinem Herzen: "Hier sitze ich, alte ungültige Tabellen um mich und auch neue halbgefüllte Tabellen. Wann kommt meine Stunde? - die Stunde meines Niederganges, Unterganges: denn noch einmal will ich zu den Autoren gehen.

Des warte ich nun: denn erst müssen die Zeichen kommen: eine Löwenschrift mit dem Buchstabenschwarm. Inzwischen sitze ich als einer, der Zeit hat, für mich selber.

Das eben ist Schriftlichkeit, daß es Schriften, aber keine Schrift gibt.

Siehe, die sich die Freaks nennen und wollen einzigartig sein: wen hassen sie am meisten? Den, der zerbricht ihre Tabellen der *Regeln*, den Brecher, den Verbrecher - das aber ist der Schaffende.

Daß ich nämlich in Gleichnissen schrieb, und gleich Schriftstellern hinke und stammle: und wahrlich, ich schäme mich, daß ich noch *Schriftsteller* sein muß!

Als Schriftsteller, Rätselrater und Erlöser des Zufalls lehrte ich euch, das Vergangene am Autor zu erlösen und alles 'Man schrieb' umzuschaffen, bis der Wille spricht: 'Aber so wollte i c h es schreiben. So werde ich's wollen -'

Nun warte ich m e i n e r Erlösung -, daß ich das letzte Mal ihnen schreibe.

Denn noch einmal will ich unter die Autoren. U n t e r ihnen will ich untergehen, sterbend will ich ihnen meine reichste Gabe geben.

Seid ihr auch böse genug zu dieser Wahrheit?

Es gibt einen alten Wahn: der heißt: Original und Kopie!

'Du sollst nicht kopieren! Du sollst nicht ersetzen! - solche Worte hieß man einst heilig; vor ihnen beugte man Knie und Köpfe und zog die Schuhe aus.

Aber ich frage euch: wo gab es je bessere Kopierer und Ersetzer in der Welt, als es solche heilige Worte waren?

Ist in allem Schreiben selber nicht - Kopieren und Ersetzen?

O meine Brüder, schneidet aus die alten, setzt mir die neuen Tabellen!"

Also setzte Zarathustra.

## *Vom Gesicht und Rätsel*

"Euch kühnen Suchern Versuchern, und wer sich je mit listigen *Werkzeugen* in das *Web* einsurfte, - euch, denn nicht wollt ihr mit feigem Finger einem *Link* nachtasten, und wo ihr erraten könnt, da haßt ihr es zu erschließen - euch allein erzähl ich das Rätsel, das ich s a h. -.

Düster surfte ich jüngst über leichenfarbne Seiten. So gelangte ich auf eine Seite mit einem Torlink, wo ich verweilte. Klickte ich auf diesen, so zeigte sich dessen Rückseite. Klickte ich diese, so zeigte sich dessen Rückseite und so fort.

Siehe diesen Torlink, sprach ich zu meinem Herzen, der hat zwei Gesichter. Zwei Wege kommen hier zusammen: die ging noch niemand zu Ende.

Diese lange Gasse zurück, die währt eine Ewigkeit. Und jene lange Gasse hinaus - das ist eine andere Ewigkeit.

Sie widersprechen sich, diese Wege; sie stoßen sich gerade vor den Kopf: - und hier an diesem Torlink ist, wo sie zusammenkommen. Der Text des Torlinks steht geschrieben: Klick!

Siehe, sagte ich weiter zu mir, dieser Klick! Von dieser Seite Klick läuft eine lange ewige Gasse rückwärts: hinter uns liegt eine Klick-Ewigkeit.

Muß nicht, was geklickt werden kann, schon einmal geklickt worden sein?

Und sind nicht solchermaßen alle Seiten gelinkt, daß dieser Klick alle kommenden Seiten nach sich zieht? Also - - sich selber noch?

Denn was geklickt werden kann - in dieser langen Gasse hinaus - muß noch einmal geklickt werden!

Müssen wir also nicht ewig wiederklicken?-"

Also klickte ich und immer langsamer: denn ich fürchtete mich vor meinen Gedanken und meinen Hintergedanken.

### *Absturz und Wiederkehr*

Eines Morgens, nicht lange nach seiner Rückkehr auf seine Heimatseite, hackte Zarathustra in die Tasten wie ein Toller, und tippte diese Worte:

"Heraus abgründiger Text, aus meiner Tiefe!

Heil mir! Du kommst! Mein Abgrund schreibt --

Heil mir! heran! Gib die Taste -- ha! laß! Haha! -- Ekel! Ekel! Ekel!

--- WWW mir!"

Kaum hatte aber Zarathustra diese Worte getippt, da stürzte sein Computer ab und blieb lange wie ein Toter. Als er aber wieder anlief, flimmerte sein Schirm und die Tasten versagten ihr Echo.

Solches Wesen dauerte an ihm sieben Tage, seine Techniker aber verließen ihn nicht bei Tag und Nacht.

Endlich, nach sieben Tagen, begann die Schrift zurückzukehren und da glaubten die Techniker, die Zeit sei gekommen, Zarathustra zu mailen:

"Tritt heraus aus deinem Text-Space: das Web wartet dein wie ein Garten.

Kam wohl eine neue Erkenntnis zu dir, eine saure, schwere?

Siehe, alles geht, alles kommt zurück; ewig rollt das Rad des Betriebssystems. Alles stirbt, alles blüht wieder auf, ewig läuft die Zeitscheibe der Prozesse.

Alles bricht, alles wird neu gefügt; ewig baut sich die gleiche Struktur der Daten. Alles scheidet, alles grüßt sich wieder, ewig bleibt sich treu der Ring der Signale.

Krumm ist der Pfad der Ewigkeit."

"O ihr Bit-Narren und Zyklusorgeln, mailte Zarathustra, wie gut wißt ihr, was sich in sieben Tagen erfüllen mußte: unkte und würgte:

- ach, der Autor kehrt ewig wieder! der kleine Autor kehrt ewig wieder.

Ach, Ekel! Ekel! Ekel! WWW!"

Also mailte Zarathustra und seufzte und schauderte; denn er erinnerte sich des Absturzes. Da ließen ihn aber seine Techniker nicht weitertippen.

Also schrieb Zarathustra, da aber geschah es, daß er sich plötzlich wie von unzähligen Buchstaben umschwärmt und umflattert sah, zugleich aber erschien die Löwenschrift auf seinem Schirm.

Zärtlich drückte er die Tasten und es erschien ein Buchstabe gesetzt in Löwenschrift:

"Das Zeichen kommt" sagte er zu sich selbst und sein Herz verwandelte sich.

"Was schrieb ich doch? sprach er endlich langsam, was geschah mir eben?"

Und ihm kam die Erinnerung: "O ihr höheren Autoren, von eurer Not war's ja. Mitleiden! Das Mitleiden mit dem höheren Autor! D a s - hatte seine Zeit!

Wohlan, die Löwenschrift wurde installiert, Zarathustra ward reif, meine Stunde kam:

Dies ist m e i n Morgen, m e i n Tag hebt an: h e r a u f n u n,  
h e r a u f, d u g r o ß e r M i t t a g!"--

Also sprach Zarathustra, verließ seinen Computer gleißend und stark, wie eine Morgensonne, die in eine dunkle Bibliothek scheint.

## **HyperKult VII**

**Lüneburg 16. - 18. Juli 1998**

**Computer als Medium**

### **Musik für Grasersatz und Lichtsensor**

**Klanginstallation, Mischa Latwesen, Julia Gentsch 1998**

Es heißt, nur besonders kluge Leute, oder solche, die sich dafür halten, könnten Gras wachsen hören. Unsere "Langzeit-Klang-Installation" beruht auf dieser Redewendung, frei nach Gottfried August Bürger.

#### **Beschreibung:**

Eine fotoempfindliche Zelle registriert die Menge des durchscheinenden Lichtes der transparenten Schale. Die unterschiedlichen Lichtverhältnisse kommen zustande, indem der Grasersatz wächst, sich verdichtet und somit mehr Licht abfängt. Je mehr Licht registriert wird, desto tiefer ist der Ton. Der immer gleichbleibende tiefe Ton ist der Grundton der Installation, der den Anfangston, also die ursprüngliche Größe des Grasersatzes angibt.

#### **Geräte:**

- Macintosh Computer (Power Mac 7500/100)
- Programm MAX 3.5
- Dia-Tisch (Foto-Platte)
- Fotozelle, die sich am Ende eines ca. 15 cm langen Metalrohrs befindet
- Halogenlampe, mit blauer Folie abgedeckt
- Synthesizer (CS1X)
- "Light to MIDI Interface" des Seminars "Experimentelle Interface Programmierung"
- Kressekultur als Grasersatz

**Mischa Latwesen**

studiert in Lüneburg Angewandte Kulturwissenschaften  
Freier Mitarbeiter bei der Hamburger Morgenpost und TV Today

**Julia Gentsch**

studiert in Lüneburg Angewandte Kulturwissenschaften  
Schwerpunkt: kulturelle und musikalische Anwendungen der Informatik



# Da Capo Al Segno

Dr. Rolf Großmann  
Dr. Martin Warnke

Universität Lüneburg  
Kulturinformatik  
21332 Lüneburg



Hörbeispiel: W.A.Mozart -- Rondo aus KV 311



Cut, Copy & Paste ist, wie so vieles, was sehr neu aussieht, keine Erfindung der Computerleute. Microsoft hat es von Apple abgekupfert, Apple von Xerox, und wenngleich ein direkter Einfluß Mozarts auf diese Softwerker nicht nachzuweisen ist: Wolfgang Amadeus hat natürlich auch schon kopiert und wiederverwendet, mit einem Federkiel wahrscheinlich.

In dem Rondo seiner Klaviersonate KV 311 -- gerade eben gespielt von Glenn Gould -- geht es zu wie in jedem dieser stilisierten mittelalterlichen Rundgesänge: Hauptthema, Copy, Zwischenteil 1, Paste Hauptthema, Zwischenteil 2, Paste Hauptthema, Zwischenteil 3, Paste Hauptthema, und so weiter, bis der Komponist meinte, es sei genug.

Wer hier erste Assoziationen zur Sequenzer-Technik hat, dem soll das auch nicht ausgedreht werden. Jedenfalls kommt die Beliebtheit der Liedform (Sie erinnern sich: Strophe, Refrain, Strophe, Refrain, u.s.w.) in der Sequenzer-produzierten Popmusik nicht von ungefähr.



Einen doppelten Boden und einen doppelten Sinn bekommt das Rondo vom Anfang, wenn man bei Gould nachliest, wie die Einspielung entstanden ist.

In seinem Aufsatz »In den Outtakes ist das Gras immer grüner -- Ein Hörexperiment«<sup>1</sup> beschreibt Gould einen kleinen empirischen Test zur Frage, ob Schnitte in Klassik-Aufnahmen herauszuhören seien. Er verwendete dazu acht

Stücke, größtenteils eigene Aufnahmen, von denen er genau wußte, wie sie entstanden waren.

Auch das Rondo von eben war unter den Beispielmusiken. Gould begründet diese Auswahl folgendermaßen:

"Der Mozart wurde ausgewählt, weil er mehr als die Hälfte aller Klebestellen in dem Test insgesamt enthielt (vierunddreißig) und weil die überwiegende Mehrzahl von diesen das Resultat von Teilaufnahmen oder Regenerierungen war [Regenerierungen sind wiederholte identische Replikationen einmal eingespielten Materials (MW)]. Ich gestehe, daß ich von der Technik der Regenerierung nur widerstrebend Gebrauch mache [...]; in diesem Fall jedoch (bei der betreffenden Sitzung lief uns die Zeit davon, und ich mußte einen Zug erwischen) akzeptierte ich den leichten Ausweg -- schließlich handelt es sich um ein Rondo. [...] Der längste regenerierte Abschnitt in KV 311 umfaßt [...] sechs Schläge; der kürzeste besteht aus einer einzigen für sich gespielten Achtelnote."

Gould berichtet von einer Klebedichte, die im Schnitt eine Klebestelle alle 9,2 Sekunden ergibt; übrigens ist das ziemlich genau die Länge des Rondos selbst.

Nun noch ein Wolpertinger aus dem Gouldschen Labor, seiner Einspielung der Fuge a-moll aus dem ersten Teil des Wohltemperierten Klaviers:



Unzufrieden mit den Resultaten der acht Studio-Takes dieser Fuge, von denen Nr. 6 und Nr. 8 als einzig akzeptable übrig blieben, "zeigte sich, daß beide einen Fehler hatten [...]: beide waren monoton. Jeder Take hatte in der Behandlung des aus einunddreißig Tönen bestehenden Themas der Fuge eine andere Phrasierung benutzt [...]. Take 6 war feierlich, mit Legato und auf recht pompöse Weise mit ihm umgegangen, während in Take 8 das Fugenthema vorwiegend durch Staccato gestaltet war, was zu einem Gesamteindruck der Übermütigkeit führte. [...] Nach höchst nüchterner Überlegung kam man überein, daß weder der teutonischen Strenge von Take 6 noch dem nicht gerechtfertigten Jubel von Take 8 gestattet werden konnte, unsere besten Gedanken zu dieser Fuge darzustellen. [...] Und so wurde [...] zweimal geklebt, wobei sich einmal ein Sprung von Take 6 nach Take 8 in Takt 14 ergibt und ein weiterer, der nach der Rückkehr nach a-Moll (ich habe vergessen, in welchem Takt, aber der Leser ist eingeladen, danach zu suchen) ebenso nach Take 6 zurückkehrt. Erzielt worden war eine Aufführung dieser besonderen Fuge, die bei weitem allem Überlegen war, was wir zu der Zeit im Studio hätten tun können."<sup>2</sup>

Hörbeispiel: J.S.Bach, a-Moll-Fuge aus "Das wohltemperierte Klavier", 1. Teil. BWV 865.

<sup>2</sup> Gould, G.: The Grass Is Always Greener in the Outtakes: An Experiment in Listening, in: Page, T. (Hrsg.): The Glenn Gould Reader. 357-373. London: Faber and Faber 1988. Deutsch: In den Outtakes ist das Gras immer grüner: ein Hörexperiment in "Im Konzertsaal zum Tonstudio", Schriften zur Musik II, München 1987. Übersetzung von Hans-Joachim Metzger.

Neben der profan-praktischen Seite der Zeiteinsparung haben Schnitte in der Musik interessante ästhetisch-mediale Implikationen. Benjamin griff in seinem »Kunstwerk ...«-Aufsatz begrifflich zum Skalpell, als er den fortschrittlichen Kameramann mit dem Chirurgen verglich: "Die Haltung des Magiers, der einen Kranken durch Auflegen der Hand heilt, ist verschieden von der des Chirurgen, der einen Eingriff in den Kranken vornimmt. [...] Magier und Chirurg verhalten sich wie Maler und Kameramann. Der Maler beobachtet in seiner Arbeit eine natürliche Distanz zum Gegebenen, der Kameramann dringt tief ins Gewebe der Gegebenheit ein. Die Bilder, die beide davontragen, sind ungeheuer verschieden. Das des Malers ist ein totales, das des Kameramanns ein vielfältig zerstückeltes, dessen Teile sich nach einem neuen Gesetz zusammen finden."<sup>3</sup>

Dieses neue Gesetz betrifft die Ästhetik des technisch reproduzierten Kunstwerks. Was sich erst bei den technisch produzierten Werken, etwa denen der modernen Popmusik entfalten wird, schlummert latent in Goulds interpretatorischer Praxis, die sich dem ganzheitlichen Werk eines Bach oder Mozart verpflichtet hat, dabei aber zum Skalpell -- ich korrigiere: zur Rasierklinge -- greift.

Video: Schnitt auf der Note<sup>4</sup>

Benjamin benutzte für die Schnipseleien der Dadaisten die Sentenz der "rück-sichtlose[n] Vernichtung der Aura ihrer Hervorbringungen, denen sie mit den Mitteln der Produktion das Brandmal einer Reproduktion aufdrücken", andere nannten das Herumschneiden an E-Musik "die Warzen mit Schönheitspflasterchen überkleben", wodurch die "große Linie" zerstört werde. Gould hatte da ganz eigene Ansichten: "[...] das Kleben schadet den Linien nicht. Gutes Kleben baut gute Linien auf, und es sollte nicht viel ausmachen, ob man alle zwei Sekunden klebt oder eine ganze Stunde lang gar nicht, solange das Resultat als zusammenhängendes Ganzes erscheint. Schließlich macht es, wenn man ein neues Auto kauft, wirklich nichts aus, wie viele Arbeitskräfte am Fließband an seiner Produktion beteiligt waren. Je mehr, desto besser eigentlich [...]"<sup>5</sup>

Industrielle Produktion ist für Gould, anders als für konservative Europäer, keine Methode zur Herstellung minderwertiger Massenware, sondern eine technische und kulturelle Selbstverständlichkeit mit ihren eigenen Optionen, die es zu nutzen gilt. Der immer noch weit verbreitete Glaube an ein von neuen Medienwelten unberührtes 'Kunstwerk' weist dagegen beim karajan- oder tendoreorientierten Publikum auf eine bestehende Kontinuität großbürgerlicher romantischer Musikauffassung bis heute hin. Auch wenn 'Video' längst den 'Radio Star' gekillt hat, das Kunstwerk Beethovenscher Prägung wollen wir uns nicht nehmen lassen. Seine Kriterien wie Originalität, Genietum, Wahrheit, Authentizität, Ganzheitlichkeit und organische Gestalt gelten nach wie vor für 'wahre Kunst', und sie gelten noch weit mehr für den Kanon der Werke, die einmal im Zentrum der Ästhetik des 'Werks' gestanden haben.

Haydn, Mozart, Beethoven stehen für die Wenigen, die - so Ernst Theodor Amadeus Hoffmann 1810 - „jene Lyra, welche das wundervolle Reich des Unendlichen aufschließt, anzuschlagen vermögen. Haydn faßt das Menschliche im menschlichen Leben romantisch auf; er ist kommensurabler für die Mehrzahl. Mozart nimmt das Übermenschliche, das Wunderbare, welches im innern Geist wohnt, in Anspruch. Beethovens Musik bewegt die Hebel des Schauers, der Furcht, des Entsetzens, des Schmerzes, und erweckt jene unendliche Sehnsucht, die das Wesen der Romantik ist.“<sup>6</sup>

<sup>2</sup> Gould, G.: The Prospects of Recording, in: Page, T. (Hrsg.): The Glenn Gould Reader. 331-353. London: faber and faber 1988. deutsch "Die Zukunftsaussichten der Tonaufzeichnung" in "Vom Konzertsaal zum Tonstudio", Schriften zur Musik II, München 1987, Übersetzung von Hans-Joachim Metzger.

<sup>3</sup> Benjamin, W.: Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit. Frankfurt/Main: Suhrkamp 1988.

<sup>4</sup> Monsaingeon, B.: Wege der Musik 1. Teil. CAMI. 1988. Sendung 1.10.90 ZDF.

<sup>5</sup> Gould, G.: Music and Technology, in: Page, T. (Hrsg.): The Glenn Gould Reader. 353-357. London: faber and faber 1988. deutsch "Musik und Technologie" in "Vom Konzertsaal zum Tonstudio", Schriften zur Musik II, München 1987, Übersetzung von Hans-Joachim Metzger.

<sup>6</sup> E.T.A. Hoffmann, Besprechung der 5. Symphonie c von Ludwig van Beethoven, in: Allgemeine musikalische Zeitung, Band 12, 1810

Authentizität und Wahrheit der Musik dieser Meister ist ihre innere einheitliche Organisation im Hinblick auf ein Überschreiten der Grenzen des Profanen in das „wundervolle Geisterreich des Unendlichen“. Diese innere Struktur ist einheitlich und organisch, bei Hoffmann erwächst „nur dem tiefen Blick (in die Beethovensche Musik, R.G.) ein schöner Baum, Knospen und Blätter, Blüten und Früchte aus einem Keim treibend“, für einen inspirierten musikalischen Gedanken bei Johannes Brahms „ist's wie mit dem Samenkorn: er keimt unbewußt im Innern fort“.

Genau da liegt das Sakrileg Goulds. Sein klassisch-romantisches Material scheint für moderne Medientechnik völlig ungeeignet, die Rasierklänge seines Technikers operiert - um im Bild Benjamins zu bleiben - nicht einen kranken Patienten, sondern klebt ein 'widernatürliches' Frankenstein-Monster zusammen, das nur mit Hilfe der Technik überleben kann.

Haben denn elektronische Medien je etwas anderes gemacht? Der Freund auratischer Kunstwerke fühlt sich zurecht betrogen, er vergißt jedoch, daß auch die größte Treue ('High Fidelity') der technischen Reproduktion nach Benjamin die Aura, das Hier und Jetzt des Kunstwerks und damit die Bedingung seiner Existenz vernichtet. Die Konsequenz ist die Abkehr vom Mythos der getreuen Abbildung der Medien und die Anerkennung der konstruktiven Aspekte der vermeintlichen medialen 'Vermittler': die Lizenz zum Cut, Copy und Paste.

Doch auch Benjamin Folgerungen sind mehr Wunschdenken als nüchterne Analyse. Nach dem Ende des auratischen Kunstwerks entsteht keine in und durch die Medien neu vergesellschaftete Kunst, sondern ein neuer Mythos. Nach dem Mythos der High Fidelity folgt der Mythos der Produktionstechniken und ihrer Magier, ein Mythos, an dem Gould - neben seinen Kollegen aus der 'populären Musik', den Beatles, den Beach Boys und ihren Studioingenieuren - als einer der Ersten kräftig mitstrickt.

Angesichts der schon erwähnten neuen Stile, etwa des HipHop, der von Zitaten und Loops lebt, gleichsam direkt aus dem Sequenzer kommt, ist die Frage, ob auch folgende Auffassung Goulds noch als noch gültig anzusehen ist: nämlich "... daß man niemals einen Stil zusammenkleben kann -- man kann nur Abschnitte zusammenkleben, die mit einem Überzeugtsein von einem Stil zu tun haben."<sup>8</sup>

Dazu: Schnitt & Sprung in die Jetztzeit:

Video Janet Jackson "Got til its gone"

Janet Jackson zeigt hier, wie man ein Musikstück anlegen muß, damit Zitat und Collage als stilbildende Elemente wirken können, sie mußte sich letztlich sogar bei der Gelegenheit ihrer Europa-Tournee dafür kritisieren lassen, daß ihr Stil nur noch mit den Neuen Medien funktioniert, 'es keinen Sinn mehr mache, wenn auf der Bühne ziemlich hilflose "Echtmenschen" unter der Großbildleinwand herumhüpfen.

Gould war als E-Musiker seiner Zeit offenbar entschieden voraus: kein Wunder, daß er im Moment (16 Jahre nach seinem Tod) posthum als Pop-Star des Pianos seine größten Erfolge feiert, zu einer Zeit, in der alle Musikproduktion selbstverständlich auf technischer Reproduzierbarkeit beruht, oder, um Glenn Gould zu Wort kommen zu lassen: "Ob wir es anerkennen oder nicht, die Langspielplatte verkörpert mittlerweile geradezu die Realität der Musik" (The Prospects...)

Und noch einmal Benjamin: "Das reproduzierte Kunstwerk wird in immer steigendem Maße die Reproduktion eines auf Reproduzierbarkeit angelegten Kunstwerks."

Nun wird auch deutlich, warum sein »Sequenzieren mit analogen Mitteln« von manchen Zeitgenossen Goulds als Sakrileg empfunden wurde: das Material war selbstredend nicht auf Reproduzierbarkeit angelegt -- es stammt schließlich hauptsächlich aus dem 16. bis 18. Jahrhundert. Das ist ein medialer Standortnachteil, den die Beatles und die Beach Boys nicht hatten, als sie sich,

Johannes Brahms 1876, zit. nach Imogen Fellingner, Grundzüge Brahms'scher Musikauffassung, in: Walter Salmen, Beiträge zur Musikanschauung im 19. Jahrhundert, Regensburg 1965, S. 120.

Gould, J.: The Prospects of Recording, in: Page, T. (Hrsg.): The Glenn Gould Reader, 191-193. London: Faber and Faber 1988. deutsch "Die Zukunftsmusik nach der Tonaufzeichnung" in "Vom Konzertsaal zum Tonstudio", Schriften zur Musik II, München 1987, Übersetzung von Hans-Joachim Lauthner.

etwa zeitgleich mit Gould, ebenfalls ins Tonstudio zurückzogen.



Wie sich nach Einführung des Buchdrucks die Rede als massenhaft verbreiteter Text vom Sprechakt löste, so ersetzt nun die Tonkonserve in Millionenaufgabe den Live-Auftritt; wie für Schreibende das Cut, Copy & Paste im Dokuversum alles bislang Geschriebenen zur charakteristischen Maus-Hand-Bewegung ihrer Zukunft wird, gesellte sich bei Gould zur stupenden Fingerfertigkeit des klassischen Konzertpianisten der meisterhafte Umgang mit den Schneidewerkzeugen. In keinem Falle ist der Autor mehr alleiniger auctor, exklusiver Schöpfer mit verbürgender Autorität.

Im Falle der modernen Text-Produktion war nach Foucaults Aufsatz zur Frage "Was ist ein Autor"<sup>9</sup> gar die Rede vom "Tod des Autors"<sup>10</sup>, mußte festgestellt werden, daß für Wahrheit und Wahrhaftigkeit eines Textes nicht mehr eine einzelne Person dingfest gemacht werden kann und soll. Foucault stellt fest, daß man ab dem 17. oder 18. Jahrhundert begann, wissenschaftliche Texte um ihrer selbst willen zu akzeptieren, nicht wegen eines Autors, einer auctoritas wie etwa Hippokrates oder Aristoteles.

Die "Anonymität einer feststehenden oder immer neu beweisbaren Wahrheit; ihre Zugehörigkeit zu einem systematischen Ganzen sicherte sie ab, nicht der Rückverweis auf die Person, die sie geschaffen hatte." (S 19)

Für Goulds arbeitsteilige Produktionsmethoden von Musik ist eine solche Haltung absolut plausibel. Er tadelt die überkommene Überhöhung der Künstler-Persönlichkeit, indem er ironisierend festhält:

"[...] wir neigen dazu, furchtbare Angst davor zu bekommen, ein Urteil zu fällen, wenn wir die Identität desjenigen, der für ein Kunstwerk verantwortlich ist, nicht kennen." Cott, Gespräche..., S. 82

Er setzt vielmehr darauf, daß auch musikalische Artefakte für sich stehen können und sollen und sich emanzipieren vom Hier und Jetzt des Bühnenauftritts eines Stars, er schwärmt vom Tonstudio:

"Die Technologie hat das Vermögen, ein Klima der Anonymität zu schaffen und dem Künstler die Zeit und Freiheit zu geben, seine Auffassung eines Werks nach besten Kräften vorzubereiten [...]" (Glenn Gould in Conversation with Tim Page)

Diese künstlerische Freiheit sollte sehr weit gehen. Im übertragenen Sinne sollte es möglich und erlaubt sein, mit elektronischen Verfahren der Nachbearbeitung sogar zu "Lügen wie gedruckt": "Die Rolle des Fälschers, des unbekannten Herstellers unbeglaubigter Güter, ist emblematisch für die elektronische Kultur. Und wenn dem Fälscher Ehre erwiesen wird für seine Kunstfertigkeit und er nicht mehr geschmäht wird für seine Habgier, werden die Künste zu einem wahrhaft integralen Bestandteil unserer Zivilisation geworden sein." in "The Prospects ..." (ca. S. 138)

Daß er damit nicht nur sein eigenes Metier meinte, belegt nun noch folgender Satz, mit dem er 1974 schon die Debatte um die Wahrhaftigkeit des Bildes aus dem Computer vorwegnimmt: "... und vielleicht wird man mich daran erinnern, daß »die Kamera nicht lügt«, worauf ich nur erwidern kann: »Dann muß es der Kamera umgehend beigebracht werden.« ("Music and Technology")

<sup>9</sup> Foucault, M.: Was ist ein Autor?, (Hrsg.): Schriften Zur Literatur. 7-31. Frankfurt am Main: Fischer 1988.

<sup>10</sup> Barthes, R.: The Death of the Author, in: Image-Music-Text, William Collins Sons & Co Ltd, Glasgow, 1977.



Goulds Schneidetechniken sind - gerade im Kontext einer Ästhetik des 'Werks' - *Widerspruch, Paradoxon* und *Sieg* zugleich. Da wagt es jemand, den Kanon der Genies und ihrer Werke, Mozart, Beethoven und natürlich auch Bach, dessen Aufstieg in den Rang eines Genies nicht der Klassik (sie schätzte eher seine Söhne), sondern der Romantik zuzurechnen ist, aus dem warmen Mief der herrschenden Ästhetik zu reißen und mit Geist und Medientechnik zu zerlegen und zu synthetisieren.

*Widerspruch* heißt hier: In einer Zeit, in der die Realität der Musik die LP Oder CD ist (s.o.), kann das vom 'Ausführenden' konzertant wiederbelebte Werk nicht der letzte Stand möglicher Interpretation sein.

*Paradoxon* heißt: Statt genuiner Medienstile (Beispiel Janet Jackson) benutzt der irgendwie doch noch romantische Interpret Gould (die Architektur des Werks ist ihm heilig, eine autonome Eigengesetzlichkeit der Struktur steht im Zentrum deiner Interpretationen) den Kanon der ganzheitlichen Werke, um neue ganzheitliche Medienartefakte zu schaffen, die nun ihrerseits Kontinuen simulieren.

*Sieg* heißt: Wir hören nichts davon, außer wir sollen es hören. Die Täuschung ist perfekt, das Werk erscheint geschlossen und oft überzeugender als dasjenige 'ehrflicherer' Interpreten.

Glenn Goulds Respektlosigkeit vor dem heiligen Gral klassisch-romantischer Genies - das könnte ein Schlüssel für das Verständnis seiner Art der Mediennutzung sein - erstreckt sich jedoch auch auf die geistige Auseinandersetzung mit ihren Werken. Die für einen klassisch geschulten Interpreten unglaubliche Mißachtung vorgegebener Tempi und Vortragsanweisungen sind da noch kleinere Seitensprünge. Seine Bemerkungen zur Überflüssigkeit des späten Mozart, die ihm von seinem Biographen Michael Stegemann in den Mund gelegt werden („Zwei Herren auf einer Wolke“) geben mindestens tendenziell seine Ansichten über das 'gültige Werk' eines der Komponistengenies wieder.

„G.: (vertraulich) Wissen Sie, Mr. Mozart, „um die Zeit, als Sie damals Salzburg verließen, hätten Sie Ihren Stil 'einfrieren' sollen; wenn Sie sich damit begnügt hätten, Ihre musikalische Sprache in den ca. dreihundert Werken, die Sie dann noch geschrieben haben, nicht wesentlich zu ändern, wäre ich's völlig zufrieden gewesen.“

und weiter:

„M.: Wenn ich Sie recht verstehe, wäre ich also eher zu spät als zu früh gestorben ... ?

G.: Überspitzt gesagt: Ja.“<sup>11</sup>

Daraus läßt sich schließen: Es geht bei Gould immer um hohe Qualität, und zwar im Verständnis des Gouldschen Universums. Gould macht Bach, Mozart, Beethoven zu Gould, im besten interpretatorischen Sinn. Er ist 'Ausführender' eines neuen Zeitalters, mit Geist, Händen und Medientechnik. Wie Jaques Loussier mit „Play Bach“ oder Walter (Wendy) Carlos mit „Switch-On Bach“ ist Gould ein Interpret ohne falsche Rücksichten, sein Resultat einzigartig: Interpretation in einer seltenen Balance zwischen alt und neu, zwischen vertrautem Klang und noch fremd anmutender Medientechnologie.

Ludwig-Amadeus van Mozhooven: Ronduett, Klaviersonate D-Dur KV 311 Nr.7



<sup>11</sup> Michael Stegemann, Colloquium Olympicum (Fictum), Beiheft zur CD „The Glenn Gould Edition“ Sony Classical 1994

# Digitale Wasserzeichen, Labels und Fingerabdrücke: technische Maßnahmen gegen den Datenklau

Uwe Pirr

Humboldt-Universität zu Berlin

Institut für Informatik

*Kurzfassung: Cut, Copy und Paste: die Verbreitung von Daten im Internet funktioniert schon recht gut – wenn auch nicht immer in der gewünschten Geschwindigkeit. Das gilt aber auch für die unerwünschte Verbreitung, die Datenpiraterie. Als technische Gegenmaßnahmen können digitale Wasserzeichen, Labels und Fingerabdrücke zur Sicherung des Copyrights dienen. Sie können zwar den Datenklau nicht verhindern, wohl aber helfen, die unbefugte Verbreitung zu beweisen und/oder den Weg der gestohlenen Daten nachvollziehbar zu machen. In diesem Beitrag werden derartige Verfahren, ihre Einsatzmöglichkeiten und Grenzen vorgestellt.*

*Sonderfall*

## Einleitung

Die zunehmende – auch kommerzielle Nutzung – des Internets als Medium elektronischer Publikationen hat zu einem verstärkten Bedarf an Maßnahmen zum Schutz des Urheberrechts geführt. In dieser Arbeit werden technische Maßnahmen hierzu vorgestellt. Rechtliche und politische Probleme des Urheberrechts und möglicher Schutzmaßnahmen werden in diesem Zusammenhang nicht betrachtet.

Durch die digitale Repräsentation können leicht perfekte Kopien hergestellt werden. Anders als zum Beispiel bei Fotokopien ist ihre Herstellung einfacher und schneller. Die Kopie ist nicht als solche erkennbar – Original und Kopie digitaler Daten haben vollkommen identische Eigenschaften. Fotokopien dagegen enthalten zwar dieselben Daten, unterscheiden sich aber optisch vom Original. Außerdem ist bei digitalen Kopien die Verteilung über Netz oder Diskette einfach und schnell möglich (vergleiche auch [16]).

Als Schutz gegen das unerwünschte Kopieren können zwei komplementäre Techniken dienen: Verschlüsselung und Markierung. Die Verschlüsselung schützt nur die Übertragung

der Daten zum Empfänger. Nach dem Empfang und der Entschlüsselung sind die Daten nicht weiter geschützt und können dann, als vom Original nicht mehr unterscheidbare Kopien, weiterverbreitet werden. Markierungen bleiben dagegen in den Daten bestehen und kennzeichnen sie so. Außerdem ist die Verwendung von Verschlüsselungen in einigen Ländern durch Gesetze beschränkt oder verboten und kann deshalb nicht überall verwendet werden.

Der Sinn der Schutzmaßnahmen ist für den Besitzer des Copyrights, das ist in den meisten Fällen der Autor, relativ eindeutig: sie bieten eine Kontrollmöglichkeit, wer die Daten berechtigt oder unberechtigt verwendet. Außerdem kann der Autor damit in Streitfällen den Nachweis führen, daß es sich wirklich um seine eigenen Daten handelt. Hiermit werden für den Autor die Möglichkeiten der kommerziellen Nutzung der Daten verbessert [13].

Aber auch für die Nutzer bietet eine Markierung eine gewisse Sicherheit, daß die Daten auch wirklich von dem bestimmten Autor stammen und unverändert sind oder Veränderungen erkennbar werden. Damit dienen diese Maßnahmen auch zur Authentisierung der Daten [13].

## Unterschiede: Wasserzeichen, Label, Fingerabdruck

Die Unterschiede von Wasserzeichen, Labels und Fingerabdrücken werden nicht immer ganz eindeutig beschrieben<sup>1</sup>.

Hier werden Zusatzinformationen, die bei der Erzeugung direkt den Daten hinzugefügt werden, als *Wasserzeichen* bezeichnet. Wasserzeichen sind üblicherweise unsichtbar und können nur mit besonderer Software sichtbar gemacht werden. Sie sollen ohne Zerstörung der Daten nicht mehr entfernt werden können. Ihr vorrangiges Ziel ist, die Besitzansprüche an den Daten unzweifelhaft festzuschreiben [13]. Es gibt aber auch sichtbare Wasserzeichen. Die wohl bekannteste Verwendung sichtbarer Wasserzeichen ist die Einblendung von Senderlogos in Fernsehübertragungen. Hiermit soll eine unberechtigte Verwendung der Daten unmöglich gemacht werden, weil sie sofort als solche erkennbar wäre.

Zusätzliche Informationen, die dem Datenstrom hinzugefügt, aber nicht direkt in die Daten eingefügt werden, werden als *Label* bezeichnet. Labels können gesondert in einen Dateiheder geschrieben werden<sup>2</sup>, oder auf einem anderen Medium den Daten hinzugefügt werden<sup>3</sup>. Labels sind in der Regel sichtbar oder können einfach sichtbar gemacht werden. Sie sind technisch einfacher herzustellen als Wasserzeichen. Ihr vorrangiges Ziel ist die Authentisierung für den Benutzer. Die Identifizierung der Daten für den Inhaber des Copyrights ist eher zweitrangig, da Labels leicht zu entfernen sind. Labels als Schutz des Urheberrechts sind eher für die tägliche Arbeit geeignet, nicht für wertvolle Daten [13].

*Fingerabdrücke* sind in der Regel unsichtbar, sie unterscheiden sich von den Wasserzeichen und Labels dadurch, daß sie nicht bei der Erstellung, sondern erst beim Kopieren der Daten hinzugefügt werden. Ziel der Fingerabdrücke ist, Kopierprozesse transparent werden zu lassen. Der Ursprung einer Kopie soll so verfolgt werden können. Technisch gesehen kann die Erzeugung von Fingerabdrücken eine einfache Labelmarkierung oder eine aufwendigere Wasserzeichenmarkierung sein [13].

Die größte Bedeutung als Schutz des Urheberrechts digitaler Daten haben bisher die unsichtbaren Wasserzeichen erlangt.

## Grundlagen unsichtbarer Wasserzeichen

Die Verwendung von digitalen Wasserzeichen ist relativ neu, sie basiert aber auf einer schon recht alten Idee: der *Steganographie*<sup>4</sup>, dem Verstecken von Daten in Daten. Anders als bei kryptographischen Verfahren werden hier Daten nicht (nur) verschlüsselt, sie werden verborgen, so daß ihre Existenz verheimlicht wird [2]. Mit der computergestützten Steganographie können aber nicht nur geheime Nachrichten<sup>5</sup>, sondern auch Wasserzeichen in Texten, Bildern, Bildfolgen und Tönen versteckt werden.

Es gibt aber einen wichtigen Unterschied zwischen der klassischen Anwendung der Steganographie zur Übertragung geheimer Nachrichten und ihrer Anwendung als Copyright-Schutzsystem, der insbesondere bei Angriffen auf diese Systeme wichtig wird: im

1. In [24] werden, entgegen der hier verwendeten Sprachregelung, vom Hersteller eines kommerzielles Wasserzeichensystem, die in die Daten eingebundenen Urheberinformation (Wasserzeichen) als *fingerprints* bezeichnet. Auch Zhao [30] bezeichnet mal versteckte numerische Urheberinformationen (Wasserzeichen) als Fingerabdrücke. An anderer Stelle [29] unterscheidet er *public watermarks* (Label), *ownership watermarks* (Wasserzeichen) und *recipient watermarks* (Fingerabdruck). Berghel und O'Gorman [4] verwenden den Ausdruck *digital fingerprints* für zusätzliche, nicht direkt eingebettete, Informationen (hier Label).
2. Ein Beispiel für ein derartiges Label ist die Copyright-Information, die in QuickTime Movies eingebunden werden kann.
3. Diskettenaufkleber oder CD-Aufdrücke sind solche Label

4. Steganographische Verfahren lassen sich bis in die Antike zurückverfolgen. Vergleiche dazu [2, 12].
5. Steganographische Verfahren umgehen so Beschränkungen und Verbote der Kryptographie, da die Übermittlung geheimer Informationen sich nicht nachweisen läßt [15, 19].



ersten Fall reicht es aus, zu erkennen, daß eine geheime Nachricht übertragen wird und sie sichtbar zu machen. Bei der Anwendung als Copyrightschutz ist die Existenz nicht sichtbarer Informationen klar, sie müssen so verändert werden, daß sie ihr Ziel – die Markierung – nicht mehr erreichen. Folglich verändern sich auch die Anforderungen an steganographische Verfahren bei einem Einsatz als Wasserzeichen.

## Anforderungen an Wasserzeichen

Wasserzeichen sollen normalerweise nicht wahrnehmbar sein und die Qualität der Daten nicht erkennbar verändern. Solche Wasserzeichen werden als *imperceptible* bezeichnet [11]. Da aber einige Kompressionsverfahren (lossy compression) nicht wahrnehmbare Unterschiede entfernen, um so Daten stärker zu komprimieren, können hierdurch auch die Wasserzeichen entfernt werden. Deswegen wird diese Anforderung üblicherweise abgeschwächt: sie sollen nur schwer, d.h. nur für geübte Betrachter im direkten Vergleich mit den nichtmarkierten Daten erkennbar sein.

Wasserzeichen müssen robust gegenüber Transformationen sein. Sie sollen übliche Signalstörungen und -veränderungen, digital-analog-Wandlungen und analog-digital-Wandlungen sowie Kompressionsverfahren unbeschadet überstehen. Wasserzeichen in digitalen Bild- und Videodaten sollen auch geometrische Veränderungen, wie Verschiebungen, Skalierungen und Bereichsausschnitte überstehen.

Außerdem müssen Wasserzeichen natürlich fälschungssicher sein und Entfernungsversuchen widerstehen können. Wenn nur eine einzige markierte Kopie verfügbar ist, kann nur versucht werden, das Wasserzeichen durch Hinzufügen von Störungen oder Veränderungen an den markierten Daten zu entfernen. Ist derselbe Inhalt mit unterschiedlichen Wasserzeichen verfügbar, sind erfolgversprechende Angriffe aufgrund der Unterschiede der Kopien möglich [11]. Auch wenn das gleiche Wasserzeichen in sehr ähnliche

Bilder eingefügt wird, wie es bei digitalen Videofolgen vorkommen kann, kann über statistische Methoden ein Angriff unternommen werden. Wasserzeichen müssen also auch *statistical invisible* sein [26].

Private Wasserzeichen, bei denen die Dekodierung Wissen über den nichtmarkierten Inhalt der Daten erfordert oder bei denen das Wasserzeichen als pseudozufällige Daten nur dem Sender und Empfänger bekannt sind, sind fälschungssicherer als öffentliche Wasserzeichen, bei denen die Markierungen öffentlich bekannt sind.

Üblicherweise sollen Wasserzeichen wegen der geforderten Fälschungssicherheit nicht verändert oder entfernt werden können. Unter bestimmten Bedingungen ist aber gerade dies gewünscht. Wenn zum Beispiel eine Datei so markiert werden soll, daß sie genau einmal kopiert werden kann, muß das Wasserzeichen nach diesem einen Kopiervorgang verändert werden. Dies kann das Entfernen des alten Wasserzeichen und das Hinzufügen eines neuen bedeuten. Sicherer ist es aber, ein zweites Wasserzeichen so hinzuzufügen, daß beide lesbar bleiben, da das andere Verfahren anfälliger gegen Fälschungen ist [11].

Wasserzeichen sollen einfach und schnell herzustellen und zu überprüfen sein. Insbesondere die Überprüfung ist hierbei zeitkritisch, da sie zum Beispiel bei digitalen Videodaten in Echtzeit ablaufen soll [28]. Da einfache Wasserzeichen aber in der Regel auch anfälliger gegen Angriffe sind, kann es sinnvoll und notwendig sein, skalierbare Wasserzeichen zu entwickeln, die dem Sicherheitsbedürfnis angepaßt werden können. Mit skalierbaren Wasserzeichen kann auch der Hardwareentwicklung und der damit einhergehenden Steigerung der Rechenleistung Rechnung getragen werden [11].

Eine wichtige Eigenschaft von Wasserzeichen ist die Informationsmenge, die sie beinhalten können. Dies ist abhängig vom verwendeten Verfahren und von den Trägerdaten. Beispielsweise lassen sich in Bildern mit großen gleichmäßigen Farbbereichen weniger Daten verstecken als in stärker texturierten Bildern [11].

## Wasserzeichen für Texte

Für die Einbettung von Wasserzeichen in Texte werden drei verschiedene Methoden vorgeschlagen: *text line coding*, *word space coding* und *character encoding* [4, 6]. Die Markierung von Texten geschieht normalerweise auf der Ebene von Layoutsprachen, wie Postscript oder PDF, oder auf Bitmap-Ebene, nicht auf direkter Textebene. Derartige Wasserzeichen überstehen keine Umformatierungen. Allerdings entlarven diese Verfahren nicht nur digitale Kopien, auch Fotokopien ausgedruckter Dokumente können so erkannt werden, da die Verfahren auch analog-digital-Wandlungen wie das Ausdrucken überstehen.

Beim *text line coding* werden die Zeilen eines Dokuments in einem optisch nicht wahrnehmbaren Bereich nach oben oder unten verschoben. Die Anzahl der unterzubringenden Codeworte ist natürlich von der Anzahl der Textzeilen abhängig. Für die Entschlüsselung ist die Originaldatei nicht notwendig, da beim unkodierten Dokument von gleichmäßigen Zeilenabständen ausgegangen werden kann [6].

*Word space coding* variiert die Abstände der Worte in einem Text, um zusätzliche Informationen zu verstecken. Auch hier erfolgt die Kodierung in der Seitenbeschreibungsdatei oder in der Bitmapdatei der Seite. Da variable Wortabstände für den Zeilenlängenausgleich bei Blocksatz verwendet wird, ist hierfür die Dekodierung der Originaldatei erforderlich [6].

Beim *character encoding* werden die zusätzlichen Informationen in einzelnen Zeichen verborgen. Bestimmte Merkmale einzelner Zeichen werden geringfügig verändert.

Beispielsweise kann der senkrechte Strich der Buchstaben *b*, *d*, usw. nicht wahrnehmbar verlängert werden. Hier wird für die Entschlüsselung Wissen über die Originaldaten, bzw. über mögliche Veränderungen benötigt [6].

Diese Verfahren setzen natürlich eine gewisse Auflösung des Ausgabegeräts voraus, um genügend Informationen nicht wahrnehmbar unterbringen zu können, eine heute übliche Druckauflösung von mindestens 300 dpi ist aber ausreichend [6, 7]. Durch Kombination dieser Verfahren kann die unterzubrin-

gende Informationsmenge vergrößert werden, das Wasserzeichen kann aber so auch gegen Störungen oder Angriffe sicherer gemacht werden [4, 6, 7, 18].

## Wasserzeichen für Bilder

Wasserzeichen können auf unterschiedliche Arten entweder in den Ortsbereich des Bildes, in den Frequenz- oder einen anderen transformierten Bereich eingebettet werden.

Die einfachste Variante ist die Einbettung des Wasserzeichens durch Veränderung des letzten Bits der Grau- oder Farbwerte (least significant bit: LSB). Derartige Veränderungen sind bei einer Bildtiefe von 8-Bit bei Grauwertbildern oder 24 Bit bei Farbbildern optisch nicht wahrnehmbar. Aber solche Verfahren sind nur wenig robust gegenüber Störungen, Angriffen oder dem Editieren der Bilddaten. Auch Kompressionsverfahren verändern häufig das letzte Bit und zerstören so das Wasserzeichen. Die Positionen der zu verändernden Bits im Bild kann fest eingestellt, von den Bilddaten abhängig oder zufällig gewählt werden [22]. Für die Entschlüsselung des Wasserzeichens bei zufälliger Positionswahl ist der Vergleich mit dem Originalbild notwendig.

Dieses Verfahren kann verbessert werden, wenn die Copyright-Information nicht nur auf einzelne Bildpunkte verteilt wird, sondern größeren Bildbereichen hinzugefügt wird und dabei Farb- und Helligkeitsverteilungen in diesen Bereichen berücksichtigt werden [8]. So kann eine erhöhte Robustheit gegenüber Komprimierungsverfahren erreicht werden.

Bender et al [3] beschreiben mit *Patchwork* ein LSB-Verfahren, bei dem die statistischen Eigenschaften eines Bildes verändert werden, um es so zu markieren. Dieses Verfahren ist relativ unempfindlich gegenüber Kompressionsalgorithmen.

Es existieren auch Ansätze, die nur Farbseparationen durch Wasserzeichen markieren. Das Wasserzeichen erscheint dann nur in einem Farbband. Eine Betrachtung der Daten auf dem Bildschirm ist dann ohne Einschränkungen möglich, erst durch die Farbsepara-

tion beim Drucken wird das Wasserzeichen sichtbar [4].

Statt das Wasserzeichen in den Ortsbereich des Bildes einzubetten, kann auch der Frequenzbereich oder ein anderer transformierter Bereich verwendet werden. Die am häufigsten verwendeten Transformationen sind hierbei die Diskrete-Cosinus-Transformation (DCT), die Fourier-Transformation oder die Wavelet-Transformationen [17]. Wasserzeichen in transformierten Bereichen sind sicherer gegenüber geometrischen Veränderungen der Bilder und robuster gegenüber Kompressionsverfahren. Insbesondere die DCT bietet sich für Wasserzeichen-Verfahren an, da die visuelle Wahrnehmung des Menschen in Bezug auf Veränderungen eines Bildes im DCT-Bereich gut untersucht sind. Außerdem beruht das JPEG-Kompressionsverfahren auf dieser Transformation, das Wasserzeichen kann auf dieses Kompressionsverfahren abgestimmt werden. Es wird so eine sehr gute Robustheit gegenüber der JPEG-Kompression erreicht.

Wasserzeichen im Frequenzbereich können noch weiter durch den *Spread Spectrum* Ansatz verfeinert werden. Hierbei wird das Wasserzeichen nach einer Transformation des Bildes in den Frequenzbereich nicht nur einer einzelnen Frequenz hinzugefügt, sondern über den gesamten Frequenzbereich aufgespreizt [10]. Vorteil ist hier, ebenso wie bei den Verfahren, die statistische Informationen nutzen, daß die Wasserzeicheninformation durch die Transformation und Aufspreizung über das ganze Bild verteilt wird [9]. Ein Entfernungversuch würde das Bild völlig zerstören.

Auch Verfahren, die auf fraktaler Bildkodierung, d.h. auf der Ausnutzung örtlicher Redundanzen in Bildern, beruhen, wurden für die Einbettung von Wasserzeichen untersucht. In die fraktale Beschreibung eines Bildes wird das Wasserzeichen eingebettet. Es kann nur über einen Schlüssel wiedererkannt und extrahiert werden [23]. Derartige Verfahren sind sehr robust gegenüber JPEG-Kompressionen und Tiefpass-Filterungen.

Von den Verfahren für Bilder sind Wasserzeichen im Ortsbereich am anfälligsten gegenüber Störungen, Angriffen und Kompressionsverfahren. Außerdem kann mit

ihnen nur eine relativ geringe Informationsmenge eingebettet werden. Die Einbettung in einen transformierten Bereich erhöht die Kapazität und Resistenz des Wasserzeichens. Insbesondere der DCT-Bereich bietet sich hier an, da das JPEG-Komprimierungsverfahren auf dieser Transformation beruht, und so eine große Robustheit gegenüber diesem Verfahren erreicht werden kann [17]

Wasserzeichen für Bildfolgen

## Wasserzeichen für Bildfolgen

Für Bildfolgen können prinzipiell die selben Verfahren wie für Einzelbilder verwendet werden, wenn auch das Problem durch die Datenmenge und erweiterte Angriffsmöglichkeiten schwieriger ist. Sollen alle Bilder einer Bildfolge durch eingebettete Wasserzeichen geschützt werden, sind Markierung und Erkennung von Wasserzeichen natürlich zeitkritisch. Angriffe auf Wasserzeichen können bei Bildfolgen auch durch statistische Verfahren erfolgen. Beziehungen zwischen den markierten Einzelbildern können das Entfernen von Wasserzeichen über Mittelwertbildungen, Interpolation oder statische Analysen einfacher machen.

Es existieren zwei grundsätzliche Strategien, Wasserzeichen in Bildfolgen einzubetten: einmal wird in jedes Einzelbild das selbe Wasserzeichen eingebettet – das Verfahren ist also unabhängig von Bildfolgen. Im anderen Fall wird das Wasserzeichen von Bild zu Bild variiert und ist unabhängig vom vorherigen. Auch hier bieten sich über statistische Verfahren Angriffsmöglichkeiten, insbesondere, wenn die Bilddaten der Folge redundant sind, sich also wenig verändern.

Abhilfe gegenüber diesem Problem schaffen objektgestützte Wasserzeichen [27]. Die Einzelbilder einer Bildfolge werden segmentiert und Objekte extrahiert. Jedes dieser Objekte erhält ein aufgrund seiner Wahrnehmungscharakteristik ein bestimmtes Wasserzeichen zugeordnet, das mit Veränderungen des Objekts in der Bildfolge ebenfalls verändert wird. Das Wasserzeichen verändert sich also für jedes Einzelbild in Abhängigkeit von den Bildeigenschaften, und gleichzeitig blei-

ben Objekte im Bild gegenüber Angriffen durch statistische Analysen und Mittelwertbildungen geschützt. Aufgrund des objektgestützten Ansatzes kann dieses Verfahren an das ebenfalls objektgestützte MPEG-4 Kompressionsverfahren angepaßt werden. In der gegenwärtigen Implementierung werden aber als Objekte nur einfache Blockstrukturen – wie beim gegenwärtigen MPEG-Standard – verwendet [27].

## Wasserzeichen für Audiodaten

Für die Einbettung von Wasserzeichen in Audiodaten können wie bei den Bildern auch *LSB*-Verfahren, d.h. die Veränderung des am wenigsten signifikanten Bits der digitalen Repräsentation der Daten, eingesetzt werden. Allerdings sind diese Verfahren sehr anfällig gegenüber Manipulationen, wenn nicht zusätzliche Redundanzen zur Fehlerkorrektur eingesetzt werden. Ihr Einsatz ist nur in Systemen mit reiner digitaler Übertragung sinnvoll, da Störungen sonst zu leicht die Wasserzeichen entfernen können [3].

Erfolgversprechender sind auch hier Wasserzeichen im Frequenzbereich. Die *Phasencodierung* nutzt die Tatsache aus, daß das menschliche Gehör keine absoluten Phasen, sondern nur relative Phasendifferenzen wahrnehmen kann [3]. Die binäre Zusatzinformation wird durch Veränderung der Phasen jeder Frequenzkomponente der Diskreten-Fourier-Transformation des Audiosignals eingebettet. Hierbei wird die Phase eines initialen Audiosegments durch eine Referenzphase ersetzt, die Phasen der folgenden Segmente werden hieran angeglichen, um so die relativen Differenzen zu erhalten [3, 5].

Auch *Spread Spectrum* Techniken werden für Audiodaten verwendet, insbesondere das *Direct Sequence Spread Spectrum Coding* Verfahren (DSSSC) [3, 5]. Das Wasserzeichen wird mit einem pseudozufälligen Schlüssel und einem Trägersignal multipliziert. Dadurch wird es über den gesamten Frequenzbereich aufgespreizt und kann den Daten hinzugefügt werden. Für die Erkennung des Wasserzei-

chens ist dann der Schlüssel wieder notwendig [3].

Eine interessante Methode für Wasserzeichen in Audiodaten ist *Echo Hiding*. Es beruht auf der Tatsache, daß das menschliche Gehör kurze Echos (1 ms) nicht wahrnehmen kann. Wasserzeichen können durch Einfügen solcher Echos mit einer bestimmten Verzögerung und einer relativen Amplitude erzeugt werden. Durch Variation dieser Parameter können die Werte 0 und 1 kodiert werden. Die Audiodaten werden jetzt in kurze Portionen zerlegt und Echos hinzugefügt [21]. Wasserzeichen, die mit dieser Technik eingebracht werden, überstehen auch analoge Übertragungen [5].

Eine andere Technik, die Eigenheiten des menschlichen Gehörs ausnutzt, ist *Masking*: ein schwacher, aber hörbarer Ton wird unhörbar, wenn zusätzlich ein lauterer Ton ähnlicher Frequenz als Maskierung existiert. Bei weit auseinanderliegenden Frequenzen funktioniert dieses *Frequency Masking* nicht. Sehr ähnlich ist *Temporal Masking*: ein schwaches Signal wird kurz vor (*Pre-Masking*) oder nach (*Post Masking*) einem starken Signal erzeugt. Hiermit wird die Tatsache ausgenutzt, daß es eine Weile dauert, bis wir einen leisen Ton wahrnehmen können, nachdem wir einen lauten Ton gehört haben [1, 5]. Masking Verfahren sind relativ robust gegenüber Störungen, sie überstehen analoge Übertragungen und Kompressionsverfahren [5].

## Grenzen des Copyrightschutzes

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Techniken, Wasserzeichen zu »knacken« und so den Copyrightschutz unwirksam zu machen. Ein neues Wasserzeichen kann hinzugefügt werden (*overwatermarking*) oder das Wasserzeichen kann manipuliert und so unwirksam gemacht werden. *Overwatermarking* wird von vielen Wasserzeichensystemen erkannt und ausgeschlossen, wenn das bereits vorhandene Wasserzeichen mit dem selben System eingebracht wurde. Bei einem Systemwechsel werden derartige Angriffe i.d.R. nicht erkannt und auch nicht verhindert.

Eine der häufigsten Angriffstechniken gegenüber Bildern oder Bildfolgen sind kaum wahrnehmbare geometrische Veränderungen. An der *University of Cambridge* wurde mit *StirMark*<sup>6</sup> ein Tool entwickelt, um Wasserzeichensysteme auf Robustheit gegenüber Angriffen zu testen [21]. Hiermit kann ein Resampling, wie durch Drucken und Einscannen simuliert werden. Auch geometrische Veränderungen, wie kaum bemerkbare Drehungen, Scherungen, Streckungen und Verschiebungen können einzeln oder in Kombination ausgeführt werden.

Auch die Zerlegung eines Bildes in kleine Bereiche und das anschließende Zusammen setzen, so daß das Bild dann aus vielen einzelnen kleinen Bildern besteht (*mosaic-attack*), ist ein wirkungsvoller Angriff, da alle Wasserzeichen-Systeme auf einer Mindestgröße beruhen [21]. Man kann kein Wasserzeichen in nur einem Pixel verstecken.

Eine andere Angriffsform ist die *jitter-attack* [21]: hier werden die Daten in kleine Bereiche zerlegt, aus diesen Bereichen werden dann einzelne kleine Datensegmente entfernt oder hinzugefügt, so daß die Gesamtgröße erhalten bleibt, und die Veränderungen kaum wahrnehmbar sind. Diese Angriffsform kann auch bei Audiodaten erfolgreich sein. Lediglich für *Echo Hiding* Verfahren ist eine weitere Angriffsform, die auf einer Cepstrum-Analyse beruht, notwendig [21].

twirl-Filter 10

## Kommerzielle Schutzsysteme

### PictureMarc

Die Software *PictureMarc* der Firma *Digimarc*<sup>7</sup> ist wohl die populärste Wasserzeichen-Software, da sie mit verschiedenen Bildverarbeitungsprogrammen<sup>8</sup> ausgeliefert wird bzw. in einer *Lite*-Version kostenlos vom Server der Firma *Digimarc* geladen werden kann.

Scrubbing

6. [http://www.cl.cam.ac.uk/users/fapo2/steganography/image\\_watermarking/stirmark/](http://www.cl.cam.ac.uk/users/fapo2/steganography/image_watermarking/stirmark/)

7. [www.digimarc.com](http://www.digimarc.com)

8. *PictureMarc* wird als Plug-in seit der Version 4.0 mit *Adobe Photoshop* ausgeliefert und seit der Version 5.0 mit *Corel Paint* und *Corel Draw* [20].

Filter

→ Inference

Derzeit ist das Verfahren noch auf Bilder beschränkt, soll aber auf digitales Video und Audio erweitert werden.

Nach der Markierung eines Bildes mit einem Wasserzeichen wird das Bild beim Öffnen mit einem Bildverarbeitungsprogramm als markiert erkenntlich. Man kann jetzt mit dem Wasserzeichen-Dekoder die ID-Nummer des Urhebers und eine URL bzw. Faxnummer für weitere Informationen zum Urheber aus den Bilddaten extrahieren. Diese Urheberinformationen werden in einer Datenbank bei *Digimarc* bereitgehalten.

Für die *Lite*-Version ist die Registrierung in der Datenbank kostenlos, für die *Professional*-Version kostet eine Registrierung als Urheber derzeit \$99 pro Jahr. Hier werden neben dem Namen und dem Jahr des Copyrights auch die Adresse sowie Links zur Email-Adresse und Homepage bereitgehalten. Außerdem bietet *Digimarc* für Nutzer der *Professional*-Version eine spezielle Suchmaschine, mit der der Urheber Kopien der auf seinen Namen registrierten Bilder, die im WWW veröffentlicht wurden, suchen kann. [24]

Wasserzeichen können in Bilder in allen von Photoshop unterstützten Bildformate eingebettet werden, die mindestens 256\*256-Pixel groß sind. Verschiedene Farbräume wie CMYK, RGB und LAB sowie Grauwert- und indizierte Bilder werden dabei unterstützt. Die Intensität des Wasserzeichens wird automatisch in Abhängigkeit von den Bildinformationen eingestellt, manuelle Anpassungen sind aber möglich [14, 20].

*Digimarc* behauptet, das das Wasserzeichen Formatkonvertierungen, Transformationen, Kopieroperationen, Editieren und digital-analog-Wandlungen und wieder zurück, durch Drucken und Wiedereinscannen, weitgehend übersteht. Allerdings können einige Effekt-Filter, wie Verdrehungen, das Wasserzeichen unbrauchbar machen, es kann aber nicht völlig entfernt werden [20]. Es kann nur ein einziges Wasserzeichen in ein Bild eingebettet werden. Vorhandene Wasserzeichen werden beim Markierungsversuch erkannt und verhindern so die neue Markierung [14]

Registrierung = ...

### SureSign

Die Firma *Signum Technologies*<sup>9</sup> bietet mit *SureSign* (ehemals *HighWater FBI*, vergleiche auch [20]) ein ähnliches Wasserzeichen-System an. Die Kodierungssoftware wird kommerziell vertrieben, der Dekodierer ist frei erhältlich. Neben der einfachen Kodierungssoftware gibt es auch eine sogenannte Server-Version, die große Mengen von Bildern im Batch-Betrieb markieren kann. Außerdem wird auch ein *Software Development Kit* angeboten, um *SureSign*-Wasserzeichen in neue Anwendungen einzubetten.

Das Wasserzeichen besteht aus zwei Teilen, einer sechsstelligen alphanumerischen Eigentümernummer und einer siebenstelligen ebenfalls alphanumerischen Bildnummer, die beide zusammen das Wasserzeichen bilden, daß dann mit variabler Intensität in die Bilddaten eingebettet wird. *SureSign* unterstützt RGB-, CMYK- und Grauwertbilder in einer Größe von mindestens 250 KB. Das Wasserzeichen soll nach Herstellerangaben eine JPEG-Komprimierung, digital-analog-Wandlungen durch Drucken und die wichtigsten Editieroperationen überstehen, solange das Bild nicht so radikal verändert wird, daß es nicht mehr wiedererkannt werden kann. Auch mit *SureSign* kann nur ein einziges Wasserzeichen eingebettet werden. Allerdings können in Kollagen aus mehreren markierten Bildern einzelne Bereiche nach Wasserzeichen abgesucht werden, und so die verschiedenen Quellen der Kollage identifiziert werden. Sind in einem Bereich mehrere Wasserzeichen, wird nur das erste erkannt [25].

Wie *Digimarc* bietet *Signum* einen Registrierungs-Service an. Gegen Gebühr werden Urheberinformationen, Nutzungsgebühren und Kontaktinformationen zu den markierten Bildern für Benutzer auf einem Server bereitgehalten [24].

### SysCop

Das Schutzprogramm *SysCop* (*System for Copyright Protection*) wurde am Fraunhofer Institut für Grafische Datenverarbeitung (IGD)

in Darmstadt entwickelt. Mittlerweile wird es von der Firma *MediaSec Technologies LLC*<sup>10</sup> vermarktet [24].

In einem Testbetrieb können seit 1995 Daten über einen WWW-Server am IGD<sup>11</sup> mit einem Wasserzeichen versehen werden oder eingebettete Wasserzeichen extrahiert werden [29].

In der kommerziellen Variante gibt es neben einem *Reader* und *Writer* für Windows und Unix-Systeme<sup>12</sup> auch eine Programmierschnittstelle und Skript-Schnittstelle für die Batchbearbeitung großer Datenmengen. Derzeit können Wasserzeichen in verschiedene Bild- (PPM/PGM/PBM, GIF, TIFF, JPEG) und Videoformate (MPEG-1, MPEG-2) eingebunden werden. Wasserzeichen für Audiodaten sollen entwickelt werden.

Das Wasserzeichen wird in zwei Schritten in das Bildmaterial eingebracht. Ausgehend von einem geheimen Schlüssel des Urhebers wird eine bestimmte Anzahl von Bereichen im Bild festgelegt. Auf diese Bereiche wird dann eine Diskrete-Cosinus-Transformation angewandt, und in die transformierten Bereiche werden dann die Copyrightinformationen eingebracht. Die Intensität des Wasserzeichens kann variiert werden. Das gleiche Wasserzeichen kann wiederholt in ein Bild eingebracht werden, was die Robustheit erhöht. Es können aber auch bis zu vier verschiedene Wasserzeichen in das selbe Bild eingebettet werden, ohne daß sie sich gegenseitig beeinflussen.

Das *SysCoP* Wasserzeichen ist visuell und statistisch nicht wahrnehmbar und robust gegen eine Reihe üblicher Bildverarbeitungsoperationen wie Formatkonvertierungen, Farbreduktionen und JPEG-Komprimierung.

10. <http://www.mediasec.com/>

11. <http://syscop.igd.fhg.de/>

12. Eine Macintosh-Version, eine plattformunabhängige Java-Implementierung und Photoshop Plug-ins sind geplant.

9. [www.highwatersignum.com](http://www.highwatersignum.com)

## Zusammenfassung

Die zunehmende kommerzielle Nutzung des Internets hat zu einem verstärkten Bedarf an Copyrightschutz-Maßnahmen geführt. Trotz der Weiterentwicklungen gerade in den letzten Jahren, sind die zur Verfügung stehenden Schutzmaßnahmen nicht perfekt, alle können erfolgreich angegriffen werden.

Es wird vielfach behauptet, das diese Maßnahmen meist für einen praktischen Nutzen ausreichend sind [24]. Das Verhältnis von Aufwand zu Ertrag möglicher Angriffe hat sich zwar zugunsten der Schutzsysteme entwickelt: das Entfernen oder Verändern des Copyrightschutzes kostet Zeit und ist teuer. Copyrightschutz-Systeme haben aber noch nicht den Stand der Kryptografie erreicht, wo auch erst wiederholte Angriffe zu robusteren Systemen geführt haben (vergleiche auch [21]).

Eine weitere, noch zu klärende Frage ist, ob es überhaupt eine generelle Lösung für das Markierungs-Problem geben kann, und ob eine *Theorie der Markierung* entwickelt werden muß, um einer solchen Lösung näherzukommen?

Wert des ganzen?

## Literatur

1. ANDERSON, R., PETITCOLAS, F.: On the Limits of Steganography. – To appear in: *IEEE Journal on Selected Areas in Communications (J-SAC)* 16(4) (1998) – elektronische Version (17.4.98): <http://www.cl.cam.ac.uk/~fapp2/papers/jsac98-limsteg.ps.gz>.
2. BAUER, F. L.: *Entzifferte Geheimnisse. Methoden und Maximen der Kryptologie*. Berlin: Springer, 1995.
3. BENDER, W., GRUHL, D., MORIMOTO, N., LU, A.: Techniques for data hiding. – *IBM Systems Journal* 35(3&4), S. 313-336 (1996) – elektronische Fassung (17.4.98): <http://isj.www.media.mit.edu/projects/isj/SectionA/313.pdf>.
4. BERGHEL, H., O'GORMAN, L.: Digital Watermarking. 1997 – HTML-Seiten (28.4.97): [http://acm.org/~hlb/publications/dig\\_wtr/dig\\_watr.html](http://acm.org/~hlb/publications/dig_wtr/dig_watr.html).
5. BONEY, L., TEWFIK, A. H., HAMDY, K. N.: Digital Watermarks for Audio Signals. *IEEE Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems* (Hiroshima, Japan 1996) – elektronische Fassung (22.4.98): <http://ftp.ee.umn.edu/pub/tewfik/1996/multimedia/mmfinal.ps.Z>, S. 473-480.
6. BRASSIL, J., LOW, S., MAXEMCHUK, N., O'GORMAN, L.: Electronic Marking and Identification Techniques to Discourage Document Copying. *Infocom '94* (1994) – elektronische Fassung (17.4.98): [ftp://ftp.research.att.com/dist/brassil/1994/infocom94a.ps.Z](http://ftp.research.att.com/dist/brassil/1994/infocom94a.ps.Z), S. 1278-1287.
7. BRASSIL, J., O'GORMAN, L., MAXEMCHUK, N. F., LOW, S. H.: Hiding Information in Document Images. *CISS '95* (1995) – elektronische Fassung (17.4.98): [ftp://ftp.research.att.com/dist/brassil/1995/ciss95.ps.Z](http://ftp.research.att.com/dist/brassil/1995/ciss95.ps.Z).
8. BRUYDONCKX, O., QUISQUATER, J.-J., MACQ, B.: Spatial method for copyright labeling of digital images. *Non-linear Signal Processing Workshop* (Thessaloniki, Greece 1995) – elektronische Fassung (20.4.98): [http://poseidon.csd.auth.gr/Workshop/papers/p\\_19\\_2.html](http://poseidon.csd.auth.gr/Workshop/papers/p_19_2.html), S. 456-459.
9. COX, I. J., KILIAN, J., SHAMOON, T., LEIGHTON, T.: Secure Spread Spectrum Watermarking for Images, Audio and Video. *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'96)* (Lausanne, Switzerland 1996) – elektronische Fassung (17.4.98): [ftp://ftp.nj.nec.com/pub/ingemar/papers/icip96.zip](http://ftp.nj.nec.com/pub/ingemar/papers/icip96.zip), S. 243-246.
10. COX, I. J., KILIAN, J., SHAMOON, T., LEIGHTON, T.: A Secure, Robust Watermark for Multimedia. *Information hiding: first international workshop* (Cambridge, UK 1996). Springer – elektronische Fassung (17.4.98): [ftp://ftp.nj.nec.com/pub/ingemar/papers/cam96.zip](http://ftp.nj.nec.com/pub/ingemar/papers/cam96.zip).
11. COX, I. J., MILLER, M. L.: A review of watermarking and the importance of perceptual modeling. *Electronic Imaging '97* (1997) – elektronische Fassung (17.4.98): [ftp://ftp.nj.nec.com/pub/ingemar/papers/ei97.zip](http://ftp.nj.nec.com/pub/ingemar/papers/ei97.zip).
12. DAVERN, P., SCOTT, M.: *Steganography: its history and its application to computer based data files*. Dublin City University, 1995 (CA-0795). – Working Paper – elektronische Fassung (17.4.98): [ftp://ftp.compapp.dcu.ie/pub/w-papers/1995/CA0795.ps.Z](http://ftp.compapp.dcu.ie/pub/w-papers/1995/CA0795.ps.Z).
13. DELAIGLE, J.-F., BOUCQUEAU, J.-M., QUISQUATER, J.-J., MACQ, B.: Digital images protection techniques in a broadcast framework: An overview. Brussels, Belgium: Université Catholique de Louvain Laboratoire de télécommunications et télé-détection, 1996 (ACTS project AC019). – TALISMAN project report – elektronische Fassung (20.4.98): [ftp://ftp.tele.ucl.ac.be/pub/TALISMAN/53\\_DEL\\_1.PS](http://ftp.tele.ucl.ac.be/pub/TALISMAN/53_DEL_1.PS).
14. DIGIMARC CORPORATION: *Digimark Watermarking Guide*. Portland, OR: Digimarc Corp., 1997 – Supplement to User's Guide – elektronische Fassung (17.4.98): [http://www.digimarc.com/dloadfile/Watermarking\\_Guide.pdf](http://www.digimarc.com/dloadfile/Watermarking_Guide.pdf).
15. FRANZ, E., JERICHOW, A., MOLLER, S., PFITZMANN, A., STIERAND, I.: *Computer Based Steganography: How it works and why therefore any restrictions on cryptography are nonsense, at best. Information hiding: first international workshop* (Cambridge, UK 1996). Springer – elektronische Fassung (17.4.98): [http://isse.gmu.edu/~mconnson/Steganography/bio/pub/fjmo\\_96stego.ps](http://isse.gmu.edu/~mconnson/Steganography/bio/pub/fjmo_96stego.ps), S. 7-21.

16. KOCH, E., ZHAO, J.: Towards robust and hidden image copyright labeling. IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing (Neo Marmaras, Greece 1995) – elektronische Fassung (20.4.98): [http://www.crcg.edu/Staff/jzhao/pubs/IEEE\\_Hidden.ps](http://www.crcg.edu/Staff/jzhao/pubs/IEEE_Hidden.ps).
17. LANGELAAR, G. C., VAN DER LUBBE, J. C. A., BIEMOND, J.: Copy protection for multimedia data based on labeling techniques. 17th Symposium on Information Theory in the Benelux (Enschede, The Netherlands 1996) – elektronische Fassung (20.4.98): [http://www-it.et.tudelft.nl/pda/smash/public/benelux\\_cr.html](http://www-it.et.tudelft.nl/pda/smash/public/benelux_cr.html) und <http://www-it.et.tudelft.nl/itbibliography/reports/1996/conf/bnl96.langelaar.ps.gz>.
18. LOW, S. H., MAXEMCHUK, N. F., BRASSIL, J. T., O'GORMAN, L.: Document marking and identification using both line and word shifting. Infocom '95 (Boston, MA 1995) – elektronische Fassung (20.4.98): <ftp://ftp.research.att.com/dist/brassil/1995/infocom95.ps.Z>.
19. MAUTH, R.: Steganography Overcomes Cryptography Restrictions. – *Byte* Jan 97, 40IS 48 (1997).
20. MCKENZIE, M.: Copyright protection: Understanding your options. – *The Seybold Report on Internet Publishing* 1(4) (1996) – elektronische Fassung (20.4.98): <http://www.media.sbexpos.com/specials/Copyright.pdf>.
21. PETITCOLAS, F. A. P., ANDERSON, R. J., KUHN, M. G.: Attacks on copyright marking systems. To appear in: Information hiding '98 (1998) – elektronische Fassung (17.4.98): <http://www.cl.cam.ac.uk/~fapp2/papers/ih98-attacks.pdf>.
22. PITAS, I.: A method for signature casting on digital images. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'96) (Lausanne, Switzerland 1996) – elektronische Fassung (20.4.98): <http://poseidon.csd.auth.gr:80/papers/PUBLISHED/CONFERENCE/139/Pitas96a.ps.Z>, S. 215-218.
23. PUATE, J., JORDAN, F.: Using fractal compression scheme to embed a digital signature into an image. SPIE Photonics East'96 Symposium (Boston, USA 1996) – elektronische Fassung (17.4.98): <http://itswww.epfl.ch/~kutter/publications/fvt.doc.gz>.
24. RAFFELT, P.: Digitale Wasserzeichen. Zeichen gegen Datenklau. – *NET investor* 5/98, S. 34 (1998).
25. SIGNUM TECHNOLOGIES LTD.: SureSign Photoshop Plug-ins. : Signum Technologies Ltd., 1997 – User's Guide – elektronische Fassung (24.6.98): <http://www.signumtech.com/>.
26. SWANSON, M., ZHU, B., TEWFIK, A. H.: Transparent Robust Image Watermarking. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'96) (Lausanne, Switzerland 1996) – elektronische Fassung (17.4.98): [ftp://ftp.ee.umn.edu/pub/tewfik/1996/multimedia/wmk\\_icip96.ps.Z](ftp://ftp.ee.umn.edu/pub/tewfik/1996/multimedia/wmk_icip96.ps.Z), S. 211-214.
27. SWANSON, M. D., ZHU, B., CHAU, B., TEWFIK, A. H.: Object-based transparent video watermarking. IEEE Signal Processing Society 1997 Workshop on Multimedia Signal Processing (Princeton, New Jersey 1997) – elektronische Fassung (20.4.98): <http://www.ee.umn.edu/users/mswanson/MMW97/mmw97.html>.
28. WU, T. L., WU, S. F.: Selective encryption and watermarking of MPEG video. International Conference on Image Science, Systems, and Technology, CISST'97 (1997) – elektronische Version (20.4.98): <http://shang.csc.ncsu.edu/papers/smpeg.ps.gz>.
29. ZHAO, J.: A WWW Service to Embed and Prove Digital Copyright Watermarks. European Conference on Multimedia Applications, Services and Techniques (ECMAST'96) (Louvain-la-Neuve, Belgium 1996) – elektronische Fassung (20.4.98): <http://www.crcg.edu/Staff/jzhao/pubs/ecmast96.ps>, S. 695-710.
30. ZHAO, J.: Look, It's Not There. – *Byte* Jan 97, 40IS 47 - 40IS10 (1997).



---

## Die Rose

### Vorstudie zu einer kleinen Geschichte der Rekursion

---

Markus Krajewski

Markus.Krajewski@hu-berlin.de

<http://infosoc.uni-koeln.de/~krajewsk/>

zitieren als: unveröffentlichtes Typoskript, Berlin, September 1997

Dann, mit vierzig, sitzt ihr,  
o Theologen ohne Jehova,  
haarlos und höhenkrank  
in verwitterten Anzügen  
vor dem leeren Schreibtisch,  
ausgebrannt, o Fibonacci,  
o Kummer, o Gödel, o Mandelbrot,  
im Fegefeuer der Rekursion.

(Hans Magnus Enzensberger)

Schade um die schönen Rosen

(Element of Crime)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zum Begriff der Rekursion</b>	<b>2</b>
1.1	Etymologie . . . . .	2
1.2	Mathematische Definition . . . . .	3
1.3	Informatische Definition . . . . .	4
1.4	Allgemeine Charakteristika . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Anwendungsgeschichte</b>	<b>11</b>
2.1	Antike Zahlentheorie oder Was ist Eins und Eins? . . . . .	11
2.2	Hochmittelalterliche Rechenkünste im Schatten des Sohnes des Gutmütigen . . . . .	14
2.3	Chronologie ("is confused with") moderner Rekursion . . . . .	20
	<b>Literatur</b>	<b>27</b>

## 1 Zum Begriff der Rekursion

Der Versuch einer kleinen Historie der Rekursion erfordert trotz seines Gegenstandes eine lineare, also bestenfalls chronologisch verfahrenende Textkonstruktion. Die Teilmenge der nicht-operativen Schriften setzt immer noch auf das Prinzip der Sukzession: Buchstabe fügt sich an Buchstabe, Wort an Wort, um Zeilen in Absätzen zu reihen. Nur formale Schriften wie mathematische Kalküle oder der alphanumerische Code einer höheren Programmiersprache scheinen die präzise Anschreibung rekursiver Strukturen zu erlauben, die dann die Iteration durch Rücklauffähigkeit ablösen. Diese Vorstudie möchte sich mit jener Beschränkung auf operative Schriften nicht abfinden, um im Gegenzug zu versuchen, rekursive Strukturen in einen allgemeineren kulturgeschichtlichen Zusammenhang zu rücken. Zu diesem Zweck liefert der vorliegende Text exemplarische Ereignisse, die in ihrer Verbindung einen ersten Leitfaden der Anwendungsgeschichte von Rekursionen konstituieren können. Den Ausgangspunkt bietet die mathematische Zahlentheorie der Antike, die als erste eine rekursive Struktur in Prosa zu isolieren erlaubt. Mit Leonardo von Pisa und seinem Bildungsgesetz der sog. Fibonaccizahlen erhält sie dann im Hochmittelalter eine besonders deutliche Form. Dank eines überbrückenden Seitenblicks auf den Manierismus vollzieht sich ein Zeitsprung in die Epoche der Universalen Diskreten Maschine und die sie steuernde Informatik, wo die Rekursion als Programmierfigur in den Blickpunkt gerät. Von dort schließlich gelangt die kleine Untersuchung zum Formkalkül George Spencer Browns und der Figur des Re-Entrys, der zur Grundlage der soziologischen Systemtheorie zählt. Doch zunächst gilt es, eine Begriffsklärung zu unternehmen, die neben einer kurzen Etymologie die ursprünglich mathematische einer informatischen Definition gegenüberstellt, um daraus weitergehende, allgemeine Charakteristika zu gewinnen.

### 1.1 Etymologie

Der vorliegende Text erweckt auf Grund seines Umfangs den Verdacht, die Geschichte der Rekursion sei eher kurz. Tatsächlich reicht der Gebrauch des Wortes auch mathematikgeschichtlich nicht weit zurück. Es wird erst „im 19. Jh. als Fachausdruck der Mathematik nachgewiesen im Syntagma *recurrens series* ‚rücklaufende Reihe‘, gleichbed. mit rekursiv“.<sup>1</sup> Der Begriff selbst lehnt sich an *recursio*, spätlat. für „Zurücklaufen“ an.

In deutschen Texten selten belegt erscheint das Wort *Rekurs* zu Anfang des 17. Jh. in Anlehnung an das frz. *recours*. Daraus abgeleitet taucht im frühen 18. Jh. *rekurrieren* als bildungssprachliche Wendung ebenfalls auf unter dem Einfluß des frz. *recourir* im Sinne von „zurückgreifen, zu etwas/jmdm. seine Zuflucht nehmen, sich auf etwas/jmdm. berufen“.<sup>2</sup> Im

---

<sup>1</sup> Kirkness et al. (1977), Seite 277.

Laufe des 19. Jh. wird der Begriff durch eine juristisch-kaufmännische Verwendung („Regreßrecht ausüben, sich an einen Gewährsmann, einen Verantwortlichen halten“) ergänzt.<sup>3</sup> Erst zu Beginn des 20. Jh. erscheint die adjektivische Ableitung *rekursiv* in mathematischen Arbeiten,<sup>4</sup> mit der Bedeutung „zurückgehend (auf bekannte Werte); durch Zurückgreifen auf Bekanntes gewonnen“.<sup>5</sup>

Versteht man diese letzte Bedeutung indes als eher universelle Denkfigur mit Verwandtschaften und nicht immer klar zu ordnenden Grenzen zu Begriffen wie z.B. *Reflexivität*, *Selbstreferentialität*, *Lernen*, *Kombination* oder aber *Zitat*, läßt sich *Rekursion* unschwer in vielen kulturgeschichtlichen Zusammenhängen nachweisen. Ließt man überdies die Erklärung, Rekursion sei „das Zurückführen einer zu definierenden Größe oder Funktion auf eine oder mehrere bereits definierte“,<sup>6</sup> bleibt allein zu fragen, wie denn dann eine Definition definiert ist? Muß nicht das Definiendum stets auf etwas Bekanntes zurückgeführt werden? Die Rekursion weist jedoch ein Charakteristikum auf, das es – wie zu zeigen sein wird – von einer Definition, die zu sehr an die Definition der Definition erinnert, wohltuend unterscheidet.

## 1.2 Mathematische Definition

Der Begriff der Rekursion existiert nicht im streng mathematischen Sinne. Das *Mathematische Wörterbuch* von Naas/Schmidt listet den Begriff zwar auf, doch die nachfolgende Beschreibung bleibt denkbar kurz mit einem einzigen Verweis: „Rekursion => Transfinite Induktion.“<sup>7</sup> Dort befindet sich dann eine mengentheoretische Definition, die die Rekursion als eindeutige Abbildung fest schreibt:

Sei  $(M, \leq)$  eine wohlgeordnete Menge,  $N$  eine beliebige Menge,  $T$  eine eindeutige Abbildung, die jedem geordneten Paar  $(x, X)$  mit  $x \in M$ ,  $X \subseteq N$  ein Element  $T(x, X) \in N$  zuordnet, dann gibt es genau eine Funktion  $F$  mit:  $F$  ist eine eindeutige Abbildung von  $M$  in  $N$ , und für jedes  $x$  gilt: Wenn  $x \in M$ , so  $F(x) = T(x, F(M_x))$ . Dabei ist  $M_x$  der durch  $x$  in  $M$  bestimmte Abschnitt<sup>8</sup>

<sup>2</sup> ebd.

<sup>3</sup> ebd.

<sup>4</sup> Vgl. dazu den letzten Abschnitt dieses Textes und mit einer ersten zusammenfassenden Studie Péter (1951).

<sup>5</sup> Kirkness et al. (1977), Seite 278.

<sup>6</sup> Dudenredaktion u. Leitung von Günther Drosdowski (1989), Seite 1240.

<sup>7</sup> Naas und Schmid (1979), Seite 482. Bemerkenswerterweise entbehrt die Mathematik nicht der Synonymie.

<sup>8</sup> Naas und Schmid (1979), Seite 740.

In welcher Weise diese Festlegung in Beweisen oder Definitionen Verwendung findet, wird hier nicht weiter von Interesse sein. Festzuhalten bleibt jedoch das Charakteristikum von Rekursion: die Funktion  $F(x)$  ruft sich innerhalb des Definiens mit  $F(M_x)$  selbst auf.

Mathemathikhistorisch besitzen die sog. *rekursiven Funktionen*, die mit der mengentheoretischen Definition von *transfiniten Induktion* nicht mal mehr das mathematische Teilgebiet gemein haben, die größere Bedeutung gegenüber der transfiniten Induktion. Die rekursiven Funktionen befinden sich indes im ontologischen Kern dessen, was überhaupt ist. „Man pflegt heute die *berechenbaren Funktionen* mit den allgemein-rekursiven Funktionen zu identifizieren“.<sup>9</sup> Getreu der Grundthese des informationstheoretischen Materialismus „Nur was schaltbar ist, ist überhaupt“,<sup>10</sup> läßt sich zeigen, inwiefern rekursive Funktionen die Frage nach dem Sein neu bestimmen: „Eine zahlentheoretische Funktion  $\varphi(n)$  einer Veränderlichen (entsprechend für Funktionen mehrerer Veränderlichen) wird *mechanisch berechenbar* genannt, wenn es eine Rechenmaschine der im folgenden zu beschreibenden Art (*Turing-Maschine*) gibt, mit deren Hilfe man (prinzipiell) für jede natürliche Zahl  $n$  den Funktionswert  $\varphi(n)$  berechnen kann“.<sup>11</sup> Nichts anderes als die Alan M. Turings universale diskrete Maschine, die alle Maschinen simulieren kann, legt fest, daß Funktionen berechenbar sind, wenn sie von ihr mechanisch geschaltet werden können, was allein zutrifft, wenn die Funktionen allgemein rekursiv sind.<sup>12</sup> Oder aus gegensätzlicher Perspektive, um diese ontologische Rekursion zurückzuführen: Das Kriterium der allgemeinen Rekursivität bildet die notwendige Grundlage für mechanisch berechenbare Funktionen. Diese wiederum erlauben die Beschreibung von Operationen als streng festgelegte Verfahren in Form von Algorithmen, was wiederum die Evolution der symbolischen Maschine als Geistestechnologie an einen Punkt führt, von dem aus die Maschine den Menschen selbst zu verdrängen droht.<sup>13</sup> Und übrig bleibt die Maschine.

### 1.3 Informatische Definition

Doch die zu erwartende Vorherrschaft der Maschinen – ohne Anwender – vermag wenig auszurichten, sofern die Apparate nicht schon eingeschaltet sind. Es bedarf nach wie vor des Menschen, der Maschinen baut, sie einschaltet.

---

<sup>9</sup> Naas und Schmid (1979), Seite 483, Hervorhebung von mir.

<sup>10</sup> Kittler (1993), Seite 182.

<sup>11</sup> Naas und Schmid (1979), Seite 483, Hervorhebung im Original.

<sup>12</sup> Vgl. Naas und Schmid (1979), Seite 484 und zur Äquivalenz der verschiedenen Konzepte Gandy (1988).

<sup>13</sup> Vgl. zu der möglichen Verseibständigung der Maschinen und wie es dazu kommt Krämer (1993), insbes. Seite 20f. Jüngst setzte Garry Kasparow wider Willen eine wichtige Markierung auf diesem Weg (Runkel, 1997).

um sie schließlich mit möglichst umfassender Kontrolle zu programmieren. Bzw. zu *bekochen*: „Alan entwickelte es zu einer wahren Kunst, indem er Instruktionen schrieb, die die ‚Hupe‘ der Maschine an verschiedenen Punkten ertönen ließ, wenn neue Parameter erforderlich waren. Auf diese Weise konnte er das ‚Kochen‘ beobachten, während es weiterlief. Der Benutzer hatte auch volle Kontrolle über den Ablauf und den Ausgabemodus der Maschine“.<sup>14</sup> Die Verselbständigung wird erst dann möglich, wenn der Anwender den Code ausführen läßt, indem dieser Code „inkarniert“.<sup>15</sup> Diese Inkarnation erlaubt dann wiederum anderen Prozeduren Gestalt anzunehmen, indem sie sich mitunter selbst aufrufen. Es überrascht daher wenig: die informatische Rekursion besitzt die Kraft zur Reinkarnation: „Als Rekursion bezeichnet man einen Algorithmus, der zu seiner Durchführung und Berechnung sich selbst aufruft, wobei er sich um einen bestimmten Grad vereinfacht.“<sup>16</sup> Doch bleibt unumstritten, wer zuerst gebar: „Ein rekursiver Algorithmus muß natürlich beim ersten Mal von außen angestoßen werden. Ein Programm, das sich ohne jede externe Hilfe selbst aufruft, gibt es nicht.“<sup>17</sup>

Im Anschluß an die mathematische Definition verwendet die Informatik allgemein rekursive Funktionen der nachfolgenden Form. Aus dieser Ausgangsgleichung ergeben sich durch Manipulation der unterschiedlichen Parameter wiederum speziellere Varianten der Rekursion wie die lineare, primitive, wechselseitige oder Endrekursion.

$$f(x) = \begin{cases} g(x) & \text{falls } P(x), \\ h(x, f(r_1(x)), \dots, f(r_k(x))) & \text{sonst.} \end{cases} \quad (1)$$

Bei dieser allgemeinen Definition kann die Funktion  $f(x)$  mehrere, auch verschiedene innere Aufrufe von  $f$  besitzen. Unabdingbar bleibt jedoch der erste Teil der Fallunterscheidung, die Abbruchbedingung  $P(x)$  und die damit induzierte Funktion  $g(x)$ , ohne deren Inkrafttreten der zur Berechnung verwendete Arbeitsspeicher sich allzu schnell erschöpft. „Wichtig für einen rekursiven Algorithmus ist, daß er schließlich so einfach wird, daß er unmittelbar ausgeführt werden kann und nicht weiter auf sich selbst zurückgreifen muß.“<sup>18</sup>

<sup>14</sup> Hodges (1994), Seite 513. vgl. im Anschluß an die verwendete Terminologie Turings Porombka (1997) und auch Abb. 4 in diesem Text.

<sup>15</sup> Vgl. Dudenredaktion u. Leitung von Hermann Engesser (1993), Seite 318.

<sup>16</sup> Schulze (1989), Seite 2293.

<sup>17</sup> Schulze (1989), Seite 2294.

<sup>18</sup> Schulze (1989), Seite 2293.

Ein weiteres programmiertechnisches Hindernis stellt die Schachteltiefe des rekursiven Aufrufs dar, die – relativ zu bereitstehenden Hardware-Ressourcen – die Anzahl der sich selbst zitierenden Prozeduren beschränkt.

Wichtig ist der Terminus *zitieren*, denn die Funktion ruft sich, wie aus Gleichung (1) ersichtlich – streng genommen nicht in vollem „Wortlaut“ selbst auf, sondern unter leicht veränderten Bedingungen:  $f(r_k(x))$  versus  $f(x)$ .<sup>19</sup> Für diese Veränderungen muß der Programmierer stets Sorge tragen, so „daß die entstehenden rekursiven Aufrufe immer *einfacher* werden und schließlich auf einen nichtrekursiven Fall führen“,<sup>20</sup> also  $g(x)$  eintritt. Denn nur so ist gewährleistet, daß der einmal ausgerufene Befehl, der sich in der reinkarnierenden Prozedur vollzieht, biszuweilen zurückkehrt, um nicht im Überfluß des Speichers zu verschwinden. Oder, auf eine rekursionsprogrammatische Formel gebracht: „Das Woher des Rufens im Vorrufen auf ... ist das Wohin des Zurückrufens.“<sup>21</sup>

Rekursionen besitzen einen weiteren, programmierästhetischen Vorteil. Durch ihre Verwendung gelingt es zumeist, eine gestellte Aufgabe mit einsehbarerem und effizienterem Code zu lösen.<sup>22</sup> Die Rekursion als Kunstgriff, denn „[h]inter rekursiven Algorithmen steht immer die Idee, ein Problem auf ein gleichartiges, aber einfacheres Problem zurückzuführen.“<sup>23</sup> Rekursives Programmieren bedeutet, Gruben zu graben, die anschließend mit der Problemlösung geplant werden (vgl. Abb. 1).

---

<sup>19</sup> Vgl. auch die Nähe dieses Umstandes zur Paradoxie: Hofstadter (1989), Seite 137.

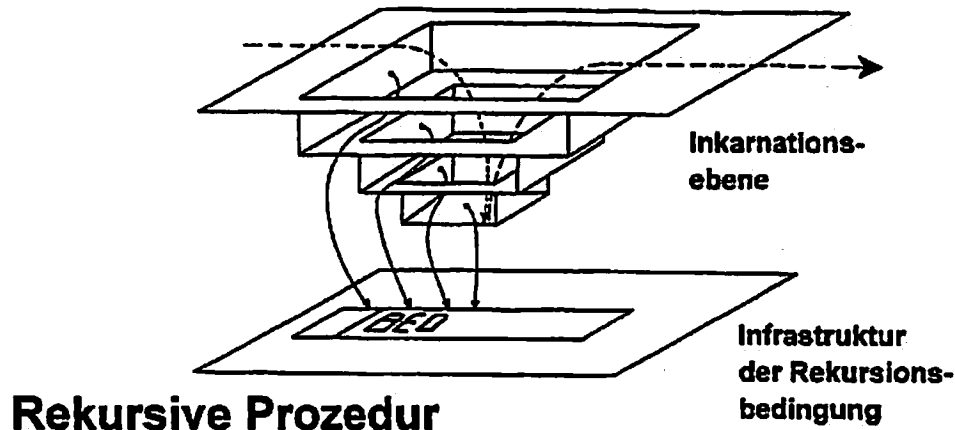
<sup>20</sup> Gamm und Sommer (1994), Seite 119.

<sup>21</sup> Heidegger (1993), Seite 280.

<sup>22</sup> Zitiert nach Gamm und Gamm (1990), Seite 523f.

<sup>23</sup> Gamm und Sommer (1994), Seite 120.

Abbildung 1: Verräumlichung einer rekursiven Programmstruktur.



Quelle: Molzberger (1990), Seite 89 mit eigenen Intarsien.

Einige professionelle Programmierer berichten von tranceähnlichen Zuständen, wenn sie (rekursiv) denken, zumal sie versuchen, den Code zunächst ohne testendes Compiler funktionstüchtig zu entwickeln. Dazu halluzinieren sie die Programmstrukturen räumlich. Nur folgerichtig erscheint die buddhistische Metaphorik: „Frage: ‚Wie sehen Sie z.B. eine rekursive Prozedur?‘ Edwin: ‚Die einzelnen Inkarnationen liegen übereinander – in einem Abstand, der eine klare Unterscheidung gestattet. Die Inkarnationen werden nach unten immer kleiner. Ich sehe die nächste durch ein ‚Loch im Aufruf‘ von oben. Bei mehreren Aufrufen auf einer Ebene verzweigen sich die Röhren nach unten. Ich kann da hinuntersteigen und mir die einzelnen Stockwerke anschauen.“<sup>24</sup>

Wie ein rekursiver Algorithmus zu einer eleganten Problemlösung beitragen kann, sei anhand einer alten Schwierigkeit illustriert. „Im innersten Winkel des Labyrinthes schlief der Minotaurus.“<sup>25</sup> Theseus, athenischer Königssohn und auf Kreta vorgefahren mit schwarzem Segel, wird als erster freiwillig den Irrgarten betreten, um den Stiermenschen zu bekämpfen. „Der Labyrinthos war kein Irrweg in dem Sinne, daß der Eindringende den innersten Winkel nicht hätte finden können: er mußte aber von dort auf demselben Wege zurückkehren können, und das war das Schwierige.“<sup>26</sup> Was Theseus dank Ariadnes Faden ab- und aufwickelnd gelingt, den Minotaurus zu finden, ihn zu erlegen (Abb. 3) und obendrein wieder hinaus zur

<sup>24</sup> Molzberger (1990), Seite 84.

<sup>25</sup> Kerényi (1992), Seite 185.

<sup>26</sup> ebd.

Abbildung 2: Mit ImmerAnDerWandLang ins Labyrinth und retour

```

/* Labyrinth-Algorithmus                                     */
/* Markus Krajewski, 20.06.97                                */
/*                                                             */

ImmerAnDerWandLang:

Wenn MinotaurusGefunden;                                     // Abbruchbedingung...
  Kämpfe;                                                    // ...nicht ohne etwas...
  Gewinne;                                                    // ...Einsatz
  DreheUmPi;                                                  // Um vorwärts zurückzukehren

Anderenfalls

Wenn NOT(alpha=pi) UND VorneFrei; // Damit Theseus nicht flüchtet
  GeheEinSchrittVoran;          // mutig voran
  ImmerAnDerWandLang;           //
  GeheEinSchrittZurück;         // und wieder zurück

Anderenfalls
  Drehe um alpha=pi/2;          // Drehung nach rechts
  ImmerAnDerWandLang;           //
  Drehe um alpha=-pi/2;         // Drehung nach links

```

Versprochenen zu gelangen, ergibt sich allen anderen Sterblichen durch rekursives Handeln. Dazu sei Dädalus beim Bau in Knossos unterstellt, er habe den Irrgarten gemäß des viel späteren manieristischen Grundsatzes entwickelt: „Eine einzige Linie (Linien-Technik) bildet das Bild der besten Labyrinth.“<sup>27</sup> Darüber hinaus seien alle Hindernisse rechtwinklig.<sup>28</sup> Dann gelingt es mit dem Algorithmus (im Klartext) aus Abb. 2, bis in den innersten Winkel des Irrgartens vorzudringen, zu siegen (Abbruchbedingung) und zurückzukehren, indem sich die Rekursionsschleife einfach zurückspult, nicht ohne anschließend die weißen Segel setzend samt Ariadne in See zu stechen.

ImmerAnDerWandLang läßt sich unschwer in allen höheren Programmiersprachen codieren, bzw. grundlegend ebenso in Assembler.<sup>29</sup> Allein die heute so gefragten *Markuplanguages* wie HTML erlauben keine Rekursion als Programmierfigur.

In einer Hochphase des Manierismus, nach Gustav René Hocke im Über-

<sup>27</sup> Hocke (1987), Seite 127.

<sup>28</sup> Aus komplizierteren Labyrinth mit freistehenden Hindernissen und schiefwinkligen Ecken hilft der *Pledge-Algorithmus* stets sicher hinaus, sofern überhaupt ein Ausgang besteht, vgl. Klein (1997), Seite 319.

<sup>29</sup> Vgl. Péter (1976), §4 Die Rekursivität von all dem, was von einem Komputers erhalten werden kann. Seite 53ff.



gang von der Renaissance zum europäischen Barock zwischen 1500 und 1650, kommt es zu einer explosionsartigen Verwendung der Labyrinth-Metapher. Alles wird labyrinthisch, mithin die ganze Welt. Dieser Labyrinth-Kult erreicht insbesondere in den Flechtwerkzeichnungen Leonardo Da Vincis eine neuartige Symbolkraft: Das Labyrinth „wird zu einer Landkarte des Mysteriums, zu einem kryptographischen Symbol der uralten kosmologischen Vorstellung der >Welten-Verknotung<“. <sup>30</sup> Ebenso ist es Leonardo, der mit seinem *Musterbuch der Maschinenelemente* einen „Maschinenkult“ <sup>31</sup> initiiert, welcher von Agostino Remelli fortgeführt bis hin zu Athanasius Kirchers seltsamen Apparaten reicht, womit sich diese manieristische Phase beschließt. Doch auf Maschinen, die ihren Weg durch Labyrinth selbständig suchen, wartet man im 17. Jh. noch vergeblich.

Es sollte noch bis zu Beginn dieses Jahrhunderts dauern, daß Maschinen in ihrer universellsten, d.h. allgemeinsten Form beschrieben und damit theoretisch, d.h. auf dem Papier, <sup>32</sup> vollendet wurden. Die dazu notwendige Entwicklung der Theorie rekursiver Funktionen fällt daher wenig überraschend in die letzte manieristische Hochphase zwischen 1880 und 1950, <sup>33</sup> in der dann Alan Turing Berechenbarkeit in Tabellen zur Maschinensteuerung übersetzt, um mit seiner universellen Maschine, die „die Mathematik materialisiert hatte, [ ... ] die Materie zu mathematisieren.“ <sup>34</sup> Der Unentrinnbarkeit eines Labyrinthes „als Metapher für das berechenbare und unberechenbare Element in der Welt“ <sup>35</sup> ist seitdem mit der nunmehr qua Algorithmus gesicherten Berechenbarkeit ein Ende beschieden.

#### 1.4 Allgemeine Charakteristika

In einem verdichtenden Schritt gilt es nun, drei besondere Merkmale der rekursiven Denkfigur erneut hervorzuheben, bevor diese Charakteristika als Ensemble eine exemplarische, schlaglichtartige Suche im Fundus der Kulturgeschichte erfahren.

---

<sup>30</sup> Hocke (1987), Seite 126.

<sup>31</sup> Hocke (1987), Seite 149.

<sup>32</sup> Vgl. Dotzler (1996).

<sup>33</sup> Vgl. Hocke (1987), Seite 18.

<sup>34</sup> Dotzler und Kittler (1987). Seite 231. Siehe zu dieser Geschichte auch den letzten Abschnitt dieses Textes.

<sup>35</sup> Hocke (1987), Seite 128.

Im Sinne von axiomatisch zugewiesenen Definitionen ist *Wissen* als eine Menge mit endlich abzählbaren Elementen zu betrachten.<sup>36</sup> Jedes Explanans erhält sein Explanandum aus dieser sich dadurch ständig erweiternden (Ausgangs-)Menge. Rekursion heißt dann zunächst Rückgriff auf Bekanntes (Wissen), das als Ausgangsbasis für das neu zu Produzierende dient. Das Neue entsteht dann qua Bildungsgesetz (Algorithmus) aus Verbindung des bereitstehenden Alten, indem sich bereits definierte Wissensbausteine zu einem Explanandum verknüpfen. Das zu Erklärende zitiert das Erklärte.

Die Anwendung des Bildungsgesetzes setzt nun – und das ist die zweite Besonderheit, die den eigentlichen Kunstgriff fundiert – das Explanans bereits als bekannt voraus. Dies erlaubt, daß mit ihm wie mit einem Explanandum verfahren werden kann, ohne daß jenes Wissen zu diesem Zeitpunkt schon tatsächlich bereit stünde. Das zu Erklärende zitiert sich bereits selbst, ohne ins Paradoxe zu geraten. *Scio ut nihil scire*. Die Lösung wird aufgeschoben, temporiert sich. Der Weg dorthin wird jedoch gespeichert, es schachtelt sich bloß (in die Tiefe).

Indes bleibt dieser Kunstgriff nicht allein beschränkt auf formale Sprachen. Er zieht Kreise, z.B. in Paris, 1913. Dort notiert in der *Rue de Fleury*, No. 27, eine 39jährige Amerikanerin den ersten noch seriellen, schon teil-rekursiven Satz der Literaturgeschichte: „Rose is a rose is a rose is a rose“.<sup>37</sup> 1922 verändert Gertrude Stein dieses Diktum zuungunsten der Namensassoziation am Anfang, um ihn in perfekte Serialität zu überführen.<sup>38</sup> Ab sofort ist „a rose is a rose is a rose is a rose ist eine Endlosschleife ... is a rolling stone ... ist ein automatischer Anrufbeantworter ... ist ein fahrendes Auto (Gertrudes Ford) ... ist eine Serie Rosen ... ist Gerüche ... ist eine Serie Nasen ... ist es gibt Serienproduktionen (in Pittsburgh) ... ist es gibt Erklärungen (in Harvard) ... ist es gibt Zaubersprüche (in Paris) ... ist es gibt Mädchen ... ist es gibt Rosen ... aber sie existieren nicht im selben Satz.“<sup>39</sup> Sondern jeweils in jedem neuen „Stockwerk“, das eine weitere Inkarnation der rekursiven Funktion eröffnet.

Was Klaus Theweleit als Spezifikationen der teilrekursiven Struktur – aus Gertrude Steins Biographie – anführt, ist nichts anderes als die Abbruchbedingung  $P(x)$ , die die Rekursion rückführbar werden läßt, um der Definition aus Gleichung (1) zu genügen. Seine Ausführungen  $g(x)$  bewahren die Rose davor, in einer Endlosschleife zu enden, indem sie diese exakt als solche bezeichnet. Die Rekursion schachtelt sich in 12 Inkarnationen, gebetsmühlenartig *a rose is* deklamierend, bis  $P(x)$  eintritt: *a rose is* eine Endlosschleife. Alle weiteren Aussagen  $g(x)$  führen nun wieder aus dem

<sup>36</sup> Und dies ist für diese Argumentation selbst ein Axiom.

<sup>37</sup> Stein (1922), Seite 187.

<sup>38</sup> Stein (1954), Seite 262.

<sup>39</sup> Theweleit (1994), Seite 431.

„Loch“ heraus. Denn, um damit den dritten Punkt der Charakteristika zu benennen, „[m]an kann denken: diese Rose ist eine Rose, ist eine Rose, ist eine Rose. Aber ergiebig ist die Benutzung eines rekursiven Weges nur, wenn sie sich von bestimmten Bedingungen abhängig macht.“<sup>40</sup> Genau diese Bedingungen reichen her, das unablässige Tiefstapeln in die „Stockwerke“ des RAM zu unterbinden, und damit das *Überlaufen* (im Sinne von Desertieren) des Arbeitsspeichers zu verhindern.

## 2 Anwendungsgeschichte

Im folgenden zweiten Teil wird der Versuch unternommen, ein Skelett der Rekursion zu entwerfen, das erste grobe Orientierungspunkte für die diskontinuierliche Entwicklung dieser Denkfigur markieren soll. Damit möge sich der Diskurs der Rekursion in seiner Streuung umreißen, bevor dieser spätestens ab 1930 mit den Arbeiten von Skolem, Hilbert, Gödel und Péter in der Theorie der rekursiven Funktionen explizit wird. Dazu werden mit Hilfe von drei kurzen Lichtblitzen die rekursiven Charakteristika auf die abendländische Kulturgeschichte projiziert, um – frei nach Wilhelm Conrad Röntgen – zu sehen, welches Interferenzbild sich verzeichnet.

### 2.1 Antike Zahlentheorie oder Was ist Eins und Eins?

Als eine der wohl wichtigsten Kulturtechniken des Menschen erweist sich das Zählen. Folgerichtig etabliert sich der Diskurs der Rekursion relativ zur Entwicklung dieser menschlichen Fertigkeit. Jedoch koppelt die Rekursion weniger direkt an den Prozeß des Zählens, als an die viel später einsetzende mathematische und philosophische Reflektion darüber. Schon in den frühesten Kulturen werden Zählvorgänge unternommen, etwa um das erlegte Wild einzuordnen oder die Größe einer Herde bestimmen zu können. Einstufungen der jeweiligen Mengen erhält der Jäger und *Sammler*, indem er die Beute aufreht und bündelt, um sie damit als Menge besser klassifizieren zu können.<sup>41</sup> Er bildet bereits, beispielsweise mit dem Kerbholz, eine eindeutige Zuordnung von Gegenständen (Hirschen) auf Symbole (eingeschnitzte Furchen), die dann als Maß der erzielten Beute – und zum daraus resultierenden Ruhm – dienen. Für diesen Vorgang sind noch keine Zahlwörter notwendig, die dann erst den abstrakteren Umgang mit Mengen und die zugehörige Reflektion erlauben. Sog. primitive Kulturen kennen dann erste Begriffe, die zum Zählen dienen: vielfach jedoch beschränkt sich das Begriffsinstrumentarium auf eine lediglich triadische Unterscheidung: „*Eins*, *zwei* und *viel*“ sind die einzigen numerischen Größen dieser Eingeborenen. „*Die noch immer in der Steinzeit leben*“.<sup>42</sup> konzediert Georges Ifrah in bester

<sup>40</sup> Luhmann (1987), Seite 95.

<sup>41</sup> Vgl. Menninger (1957), Seite 49ff.

kolonialer Manier den „primitiven Völkerstämmen“ in Afrika, Ozeanien und Australien noch heute. Sie besäßen keine Methode, um die Schwelle von einem mitunter konkreten „Zahlengefühl“ hin zur „Fähigkeit des abstrakten Zählens“ zu überschreiten.<sup>43</sup>

Erst die Frage nach der Beschaffenheit der Menge und dem damit verbundenen Problem, wie eine Zählreihe ausgehend von einem Startwert systematisch zu bilden ist, etabliert einen Diskurs der rekursiven Denkfigur. Ein eher intuitives Wahrnehmen und Prozessieren von Zahlen löst sich ab durch abstraktere Reflektionen, wie sich Zahlen ergeben können. Eine erste aufzulösende Entgegensetzung von den Vielen und dem Einem unterscheidet Aristoteles in seiner Metaphysik: Demnach gibt es die kleinste Menge mit nur einer *Einheit*: das Eine.<sup>44</sup> Dem gegenüber existiert das Viele, wobei für ihren Gegensatz folgendes gilt: „diese aber sind einander entgegengesetzt wie *Bezügliches*, das nicht von sich selbst her bezüglich ist. Wir haben an anderer Stelle festgestellt, daß man vom Bezüglichen in zwei Bedeutungen spricht; einerseits im Sinne von Gegenteilen; andererseits im Sinne von Dingen, die sich aufeinander beziehen wie Wissenschaft auf Wißbares, wobei eine Sache ‚bezüglich‘ heißt, weil etwas anderes auf sie bezogen wird.“<sup>45</sup> Das Viele bildet sich also aus der Einheit, insofern es sich auf sie bezieht. Dennoch wird es nicht äquivalent zum Einen, weil es ein Gegenteil bleibt. Die Menge läßt sich nun klassifizieren anhand einer Zahl: „Die Menge ist gewissermaßen die Gattung der Zahl, denn die Zahl ist eine am Einen gemessene Menge. So sind das Eine und die Zahl in gewissem Sinne einander entgegengesetzt, aber nicht als Gegenteile, sondern – so sagten wir schon – wie manches Bezügliche: insofern nämlich sind sie einander entgegengesetzt, als das eine Maß und das andere Gemessenes ist.“<sup>46</sup> Eine Zahl als Gemessenes einer Menge läßt sich daher immer anhand eines Zählprozesses zerlegen und auf das Eine als Startwert zurückführen.

Denn eine (endlich abzählbare) Menge ist immer als Ensemble von (zahlreichen) Einheiten zu sehen, auch wenn der eine Hirsch dem anderen nicht immer gleicht. Die Schwierigkeit besteht eher in dem nicht expliziten Bildungsgesetz des Zählens, sofern noch nicht der Schritt zum Rechnen erfolgt ist. Also wie von einer Zahl zur nächsten übergehen? Wie wird aus Eins (und Eins) zwei? Die Zwei muß der aristotelischen Argumentation zufolge einerseits der Gegensatz zur Eins sein, was durch die von „Eins“ verschiedene Bezeichnung mit „Zwei“ bereits eintritt, andererseits aber auf die Eins

---

<sup>42</sup> Ifrah (1992), Seite 17.

<sup>43</sup> Vgl. Ifrah (1992), Seite 18, 31.

<sup>44</sup> Den Ausführungen zu Grunde liegt die Menge der natürlichen Zahlen  $N$ , natürlich um 300 v. Chr. noch ohne Null.

<sup>45</sup> Aristoteles (1990), Seite 250: Buch I.6, 1057a, Hervorhebung von mir.

<sup>46</sup> Aristoteles (1990), Seite 250: Buch I.6, 1057a.

bezüglich sein, was erfolgt, indem die Zwei selbst zur *Einheit* wird: „An der Zwei erleben wir das Wesen der Zahl stärker als an anderen Zahlen, nämlich das Viele zu Einem zu binden, Vielheit und Einheit zugleich zu sein. Unser Geist legt die Welt auseinander in Himmel und Erde, in Tag und Nacht, in Licht und Finsternis, in rechts und links, in Mann und Weib, in Ich und Du – und je heftiger wir die Spannung zwischen diesen jeweiligen Polen empfinden, desto kräftiger empfinden wir auch ihre Einheit. Das Geeinte zu entzweien, das Entzweite zu einen, diesen Gegensatz von Auseinander und Zusammen hat die Sprache immer wieder niedergeschlagen in Wortbildungen mit dem Zahlwort zwei wie in Zwist und Zwirn, in Diplom und Disput [ ... ] Auch daß in der Zwei das Böse und Abschätzigste liegen kann, hat seinen Grund in jener Unterscheidung: das Zwielight ist kein gutes Licht, der Doppelgänger ein unheimlicher Geselle, und glücklich ist Faust auch nicht über die zwei Seelen ach in seiner Brust.“<sup>47</sup> Wenn die Zwei aber selbst eine Einheit wird, kann sie als solche Ausgangsbasis für eine weitere Sukzession, einen erneuten Durchlauf der Rekursionsschleife sein. Der rekursive Charakter besteht in der Tatsache, daß die vorhergehende Zahl immer als Einheit und damit als gegeben anzusehen ist, so daß sich diese Annahme bis zur Eins als Einheit zurückverfolgen läßt.<sup>48</sup>

Wie diese Rückführung genau aussieht sowohl für das Zählen als auch für die sich bei großen Mengen mittels erforderlicher Komplexitätsreduktion zwangsläufig ergebenden Grundrechenarten, wurde erst mehr als zwei Jahrtausende später in der Theorie rekursiver Funktionen nicht wie noch in der Antike in Prosa, sondern als präzises Formelkalkül notiert: Gegeben seien drei Funktionen

$$f_1(n) = 0, f_2(n) = n, f_3(n) = n'$$

„Jetzt kann man die Addition durch eine vierte Funktion so einführen:

$$\begin{aligned} f_4(0, a) &= a, \\ f_4(n', a) &= (f_4(n, a))' = f_3(f_4(n, a)). \end{aligned} \quad (2)$$

Schreibt man

$$f_4(n, a) = a \pm n,$$

so kann man Gleichung (2) auch so darstellen:

$$f_4(n \pm 1, a) = f_4(n, a) \pm 1.$$

<sup>47</sup> Menninger (1957), Seite 21. Nicht nur die Deutsche Dichtung hebt mit einem Seufzer an.

<sup>48</sup> Nicht immer wird aus Eins und Eins Zwei, wie die Boolesche Algebra belegt, oder aber Thewissen (1991) am Beispiel von Jean Luc Godard (Seite 210ff.) und im größeren Zusammenhang expliziert (Seite 196–510).

[ ... ] Entsprechend wird die *Multiplikation* auf die Addition und damit rekursiv auf den Prozeß des Zählens zurückgeführt.<sup>49</sup> Wegen dieser Rückführbarkeit auf das Zählen lassen sich Symbolmanipulationen in Form von Grundrechenarten ebenso einfach automatisch berechnen, wie Alan M. Turing in seinem berühmten Aufsatz *On Computable Numbers* grundlegend bewiesen hat.<sup>50</sup>

## 2.2 Hochmittelalterliche Rechenkünste im Schatten des Sohnes des Gutmütigen

Von der antiken Zahlentheorie Aristoteles' und der pythagoräischen Tradition gilt es nun, einen zeitlichen Sprung in das Hochmittelalter zu vollführen. Dort erscheint um 1200 im zahlentheoretischen Diskurs des Abendlandes ein Symbol, das, indem es sich anschreibt, für Nichts steht, und infolgedessen – nur scheinbar paradox – die zeitgenössische Mathematik und damit die Rechenkunst nachhaltig verändert: die Null. Demjenigen, der (sich) dieses wirkungsvolle Symbol *einhandelte*, gebührt auch in der Geschichte der Rekursion eine besondere Erwähnung. Doch zuvor soll ein kurzer Blick, die sich zwischen Antike und ausgehendem Mittelalter entwickelnden Errungenschaften der Mathematik skizzieren.

Sowohl das griechische als auch das römische Zahlensystem eignen sich zwar, einfache Abzählvorgänge und zum Teil sogar schriftliche Rechnungen zu bewerkstelligen. Doch für komplexere Prozesse wie die Grundrechenarten gar in Kombination oder Abrechnungen wie sie Kaufleute im täglichen Geschäft benötigen, bietet das Zahlensystem für viele mittelalterlichen Menschen unüberwindbare Hürden. Um seine Rechenfähigkeit zu verfeinern, benötigt der zählende Abendländer andere Abbildungen dieses Vorganges, welche erst durch ein effizientes Ziffern- und mit Hilfe eines Stellenwertsystems ermöglicht werden.

Um die Geschwindigkeit der Rechenkünste zu verbessern, bedienten sich bereits die Griechen zu aristotelischer Zeit technischer ( $\tau\epsilon\chi\eta$ ) Medien, namentlich eines Rechentisches mit Rechensteinen nebst aufgemalter Rechen-  
tafel.<sup>51</sup> Die Römer kennen dann bereits einen miniaturisierten Handabakus,<sup>52</sup> der das Rechnen mit aufgereihten Kieselsteinen, lat. *calculi*, erlaubt.

---

<sup>49</sup> Meschkowski (1978), Seite 281.

<sup>50</sup> Vgl. Turing (1987), Seite 17–60. Eine anschauliche Erläuterung dieses Schrittes befindet sich in Péter (1976), §1. „Rekursionen in der Muttersprache der Computer“, Seite 9ff und §4. „Die Rekursivität von all dem, was von einem Computer erhalten werden kann“, Seite 53ff.

<sup>51</sup> Vgl. Menninger (1958), Seite 110.

<sup>52</sup> Vgl. Menninger (1958), Seite 113. Schon hier zeichnet sich der Trend zur Verkleinerung der Rechenbausteine ab, der heute bis zur 32MBit-Chip- und Holographie-Technologie vorangeschritten ist.

Sowohl im Zuge der Wirren während des untergehenden römischen Reiches als auch im frühen Mittelalter verzeichnen die Quellen nur spärliche Hinweise auf Rechenhilfsmittel, die daher eine gesicherte Auskunft verweigern, wie in Klöstern gerechnet wurde. Erst mit dem französischen Mönch Gerbert d'Aurillac (\* um 945, † 1003), der als Sylvester II. im Jahre 999 die Papstwürde empfängt, erfahren die Mönchsschüler ausgehend von Gerberts Kloster in Reims die unbedingte Bekanntschaft mit dem Abakusrechnen. Diese Methode, das Rechnen zu lernen, übt großen Einfluß auf die zeitgenössischen Rechenschulen aus und zieht demzufolge allmählich weite Kreise. Gegen die Widerstände der in römischen Traditionslinien Rechnenden versucht Gerbert letztendlich erfolglos das arabisch-indische Ziffernsystem samt Null durchzusetzen, das er bei Aufenthalten im maurisch besetzten Teil Spaniens von dortigen Rechenmeistern gelernt hatte.<sup>53</sup>

Die Schwierigkeit, die das Rechnen im Hochmittelalter eingedenk der defizitären Ziffern- und fehlenden Stellenwertsysteme bedeutet, fördert einen Dienstleistungssektor, der mit den ab 1200 langsam sich verbreitenden Innovationen nicht ohne erheblichen Widerstand allmählich seine Beschäftigung verliert. Bis ins 13. Jh. besitzen die Rechenmeister nahezu exklusives Wissen um das Ein-mal-Eins, das nicht nur dem einfachen Bürger, sondern auch dem überwiegenden Teil der Kaufmannsgilde fehlt. Rechnen ist nicht nur eine privilegierte Kunst, die den Meistern demnach gar den Status von Magiern bis hin zu Teufelspaktierern verleiht, sondern erfordert mithin Schwerstarbeit. „Eine Multiplikation, die heute ein durchschnittliches Kind in einigen Minuten ausführt, konnte für diese Spezialisten mehrere Stunden äußerst schwieriger Arbeit bedeuten.“<sup>54</sup> Die Beherrschung der abacistischen Rechenverfahren kostet selbst den Eingeweihten viel Mühe, wie eine mittelalterliche Quelle andeutet: „regulae quae a sudantibus abacistis vox intelliguntur“.<sup>55</sup> Die für die gesamte mittelalterliche Ökonomie erforderliche Rechenfähigkeit wird von einigen wenigen, schwitzenden Privilegierten beherrscht, die ihre Macht dem Umgang mit einem Rechenbrett verdanken. Vor diesem Hintergrund erstaunt es nicht, daß das Buch, welches die unterentwickelten Abacus-Rechenverfahren wie kein anderes durch das Prinzip des Algorithmus<sup>56</sup> revolutioniert und schließlich ablöst, sich den rarnenden Titel *Liber Abbaci* gibt. Nicht nur der damit hervorgerufene Paradigmenstreit von Algoristen vs. Abacisten, der die gelehrte und Kaufmannswelt

<sup>53</sup> Vgl. Ifrah (1992), Seite 223.

<sup>54</sup> Ifrah (1992), Seite 220.

<sup>55</sup> Ein mittelalterlicher Schriftsteller, zit. nach Menninger (1978), Seite 137: „Regeln, bloß kaum von den schwitzenden Abacisten verstanden werden“ (zitiert).

<sup>56</sup> Zur Herkunft des Begriffs aufgrund der latinisierten Namensmutation des arabischen Gelehrten Abu Abdallah Muhammad ibn Musa al-Chwarizmi al-Baghdaadi (ca. 780-850), vgl. Krämer (1988), Seite 50ff.

vs. die konservativen Rechenkünstler für einige Jahrhunderte beschäftigt, sondern auch die letztendliche Durchsetzung der arabisch-indischen Ziffern gegenüber den bisher verwendeten römischen ist dem *Liber Abbaci* des Leonardo Pisano, genannt Fibonacci (aus *filius bonacci*), aus dem Jahre 1202 zu verdanken. Leonardo wird ca. 1170 in Pisa geboren, stirbt ca. 1250. Sein Vater, dessen „Übername“ Bonaccio (= der Gutmütige) lautet, treibt im mediterranen Raum Handel, insbesondere mit Nordafrika. Gemeinsam mit seinem jugendlichen Sohn weilt er als Vorsteher der pisanischen Handelsvertretung in der algerischen Stadt Bejaia, ehemals Bugea, wo Leonardo, „der fruchtbarste Mathematiker, den das Mittelalter hervorgebracht hat [ ... ] in die Kunst der neun indischen Ziffern eingeführt“ wird.<sup>57</sup> Aber nicht nur die neun Ziffern, damals noch *figurae*, ebenso das von Leonardo mit dem lat. *cephirum* bezeichnete Zeichen 0 findet gleich zu Beginn des Buches Erwähnung. In Paraphrase: (Ihre metaphysische Begründung erfährt die Null indes erst am 18. Mai 1696 mit dem *Wunderbaren Ursprung aller Zahlen aus 1 und 0*: Gottfried Wilhelm Leibniz reduziert das Rechnen von den vertrauten neun Ziffern und der Null kurzerhand auf die 241 Jahre später so wichtige Dichotomie aus 0 und 1; erfindet das binäre Zahlensystem, um darin den schöpferischen Ursprung zu verorten. Anstatt dem Symbol „10“ das bisher übliche Signifikat „zehn“ zuzuordnen, ersetzt er letzteres durch „zwei“, um damit – nach heutiger Notation – die Basis der Exponentialsummen von 10 auf 2 zu verschieben. Völlig analog zu den damals gebräuchlichen Grundrechenarten leitet er dann tabellarisch die Rechenvorgänge für die neuen Signifikanten ab:  $10 + 10$  sind dann 100, und mit schriftlicher Addition ergibt sich aus 1001 und 11000 unter Berücksichtigung von Übertragsoperationen 100001.<sup>58</sup> „[S]o gibt dieses schöne Vorbild eine angenehme und hohe Betrachtung über das *unum necessarium*, wie namentlich aus Gott allein, als dem Vollkommensten und Einfältigsten] Eins, und sonst Nichts, alle anderen Dinge entspringen.“<sup>59</sup>)

Dank des *Liber Abbaci* steht mit der Null ab 1202 eine Diskurseinheit bereit, die der Durchsetzung des schriftlichen Rechnens, basierend auf Algorithmus und Stellenwertsystem, starken Vorschub leistet. Leonardos Mathematikbuch tritt entgegen seinem Titel an, das meistermythische Abacusrechnen zu verdrängen, um zum Referenzwerk für arabisch-algorithmische Rechenverfahren zu werden, mithin der neuzeitlichen Arithmetik und Algebra auf der Basis des dezimalen Stellenwertsystems den Weg zu bereiten. Es waren wiederum die Kaufleute, die – mit der neuen schriftlichen Rechentechnik bekannt gemacht – ihre relativ einfache Erlernbarkeit und die daraus resultierenden ökonomischen Vorteile erkannten. Fortan enthalten sie die not-

<sup>57</sup> Menninger (1958), Seite 242.

<sup>58</sup> Vgl. Leibniz (1973), Seite 230 und 233.

<sup>59</sup> Vgl. Leibniz (1973), Seite 234.



wendigen Abrechnungen den Rechenmeistern vor, und führen sie stattdessen selbst durch. Ihren Berufsstand in Gefahr sehend eröffnen die traditionellen Abacisten daraufhin einen Kampf der Buchführungen gegen die Algoristen. Die Einflußnahme der traditionellen Rechenbrettrechner überzeugt die Magistrate der prosperierenden oberitalienischen Städte, um der allzuschleunigen Etablierung der rechen-souveränen Kaufleute mit dem vorsichtigen Einwand auf mögliche Fälschungen und Betrugereien zu begegnen. 1299 erläßt der Rat von Florenz eine Verordnung, in der er die Verwendung der indischen Ziffern bei der Notierung von Geldbeträgen unter Strafe stellt.<sup>60</sup>

Ungeachtet der manifesten politischen Relevanz liefert das *Liber Abaci* zahlreiche weitere mathematische Innovationen: Neben den *aufsteigenden Kettenbrüchen*, die Fibonacci zwar nicht wie heute üblich rekursiv anschreibt, sondern als Zahlenreihen im Zähler und Nenner,<sup>61</sup> enthält Leonardos Mathematikbuch auch jene Zahlenreihe, die seinem Namen bis heute den Platz in den Registern von Mathematikbüchern sichert, die sog. Fibonacci-Zahlen. Man stelle sich den idealen Ort zur raschen Evolution einer Kaninchenpopulation vor, also Bedingungen von ausreichender Nahrung, keinen natürlichen Feinden und ebenso nicht stattfindender Sterblichkeit innerhalb der Population. Die Horde beginnt sich nun aus einem ideal zeugungsfähigen Kaninchenpaar zu entwickeln, das eine jeweils neue Generation in Form wiederum eines einzigen Paares Jungkaninchen hervorbringt. Ein Paar bildet die Elterngeneration für ein neues Paar jedoch erst nach einer Pause – Zeit für die Entwicklung zur Geschlechtsreife – von einer Generation. Die Frage ist nun, wieviel die Anzahl der Kaninchen nach  $n$  Generationen beträgt? Die Antwort ergibt sich als Summe aus den Kaninchenpaaren der vorhergehenden Generation und der Anzahl des Nachwuchses.<sup>62</sup> Fibonacci gelingt es damit, die Gesetzmäßigkeit für ungebremstes Wachstum anzugeben, die sich ähnlich wie die Definition der natürlichen Zahlen bei Aristoteles als rekursive, also allein auf die von ihr – im zweifachen Wortsinn – erzeugten Werte zurückgreifende Zahlenreihe verzeichnet. Diese Gesetzmäßigkeit läßt sich nun gemäß Gleichung (1) der allgemeinen Rekursion wie folgt übersetzen:

<sup>60</sup> Vgl. Menninger (1958), Seite 244.

<sup>61</sup> Vgl. Lüneburg (1992), Seite 64. Siehe dort auch die Behauptung, daß Fibonacci „keine Rekursion kennt“ (ebd.), der entschieden widersprochen werden darf, wie Leonardos Beobachtung an Kaninchenpopulationen sofort zeigt.

<sup>62</sup> Bei den obigen Ausführungen orientiere ich mich sinngemäß an Worobjow (1977), Seite 4–5 und Peters (1989), Seite 97, da mir das *Liber Abaci* lediglich in einer interpretierten und teils unerträglich plaudernden Lesart vorliegt, welche sich bei der Wieder-nahme der Fibonacci-Folge auf die Bemerkung „Sie kommt wirklich vor“ beschränkt. Lüneburg (1992), Seite 193. Den Kodex – auch den von Baldassarre Boncompagni 1877 besorgten Nachdruck – konnte ich leider nicht einsehen.

Es sei  $k = 2$ ,  $r_1(x) = x - 2$  und  $r_2(x) = x - 1$ . So ergibt sich:

$$f(x) = \begin{cases} g(x) & \text{falls } P(x), \\ h(x, f(x-2), f(x-1)) & \text{sonst.} \end{cases}$$

Unter Berücksichtigung von  $h(x, y_1, y_2) = y_1 + y_2$  läßt sich die Folge der Fibonacci-Zahlen folgendermaßen anschreiben:

$$\text{fib}(n) = \begin{cases} 1, & \text{falls } n \leq 1, \\ \text{fib}(n-2) + \text{fib}(n-1), & \text{sonst.} \end{cases} \quad (3)$$

Der Parameter  $k = 2$  steht für die idealisierte Populationsentwicklung, also für die Beschränkung auf lediglich ein neues Paar Junge, bzw. den Verzicht auf umfangreicheren Nachwuchs mit mehr als zwei zu berücksichtigender Funktionen  $r$ . Demnach repräsentiert  $r_1$  die Eltern und  $r_2$  die Nachgeborenen. Zwei rekursive Aufrufe innerhalb der Funktionsdefinition,<sup>63</sup> also die Summation des Vorgängers mit dem Vorgänger des Vorgängers, liefern dann folgende Wertetabelle:<sup>64</sup>

$n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...
$\text{fib}(n)$	1	1	2	3	5	8	13	21	34	55	89	144	...

Um mathematischen Einordnungskriterien zu genügen, sei eine Kurzcharakteristik der Fibonacci-Zahlen erwähnt: die Folge besitzt wie leicht ersichtlich keine Häufungspunkte, ist streng monoton steigend, gehorcht einem unbeschränkten Wachstum und konvergiert demzufolge nicht gegen einen Grenzwert.<sup>65</sup>

Wenngleich Fibonacci diese Zahlenreihe aus einem – leicht – idealisierten Gedankenexperiment gewinnt, stellt sich nicht nur hinsichtlich der Rechenkünste die Frage: Wie kann man diese Zahlenreihe jetzt anwenden?

alfabet

1

abrikostræerne findes. abrikostræerne findes

<sup>63</sup> Vgl. auch Gumm und Sommer (1994), Seite 126ff. Péter (1951), Seite 19 oder Hofstadter (1989), Seite 164.

<sup>64</sup> Bemerkenswert: Die Induktion zur Berechnung der Fibonacci-Folge beginnt bei Null, also mit  $n = 0, 1, 2, \dots$ , um die Definition aus Gleichung (3) für den Wert bei  $n = 2$  nicht auf Nichtdefiniertes zu führen. Manche Autoren (etwa Péter (1951), Seite 19, definieren  $\text{fib}(0) = 0$ , womit sich die Null also auch im Wertebereich der Folge befindet – vielleicht als Hommage an Fibonaccis Verdienst für sein Außenhandelsprodukt.

<sup>65</sup> Vgl. zu den basalen und einigen nicht mehr trivialen zahlentheoretischen Eigenschaften Worobjow (1977).

2

bregnerne findes; og brombær, brombær  
og brom findes; og brinten, brinten

3

cikaderne findes; cikorie, chrom  
og citrontræer findes; cikaderne findes;  
cikaderne, ceder, cypres, cerebellum

4

duerne findes; drømmerne, dukkerne  
dræberne findes; duerne, duerne;  
dis, dioxin og dagene; dagene  
findes; dagene døden; og digtene  
findes; digtene, dagene, døden<sup>66</sup>

:

Die dänische Schriftstellerin Inger Christensen läßt die Strophen ihres Langgedichts *alfabet* nicht allein mit dem jeweils nachfolgenden Buchstaben des römischen Alphabets beginnen, sondern ordnet die Anzahl ihrer Verse gemäß der Fibonacci-Zahlen bis zur  $n = 14$ ten Strophe mit  $\text{fib}(14) = 610$  Versen. Und mit einem rekursiven Verfahren nicht genug, beginnt jene 14. Strophe Leonardos Kaninchen-Bildungsgesetz erneut aufzunehmen, um mit spielerischer Variation den mallarméschen Zufall zu zitieren.<sup>67</sup> „Ich betrachte es als Aufgabe eines Schriftstellers, einen Code / zu konstruieren, der den Würfelwurf lesbar macht“.<sup>68</sup>

Doch literarische Rekursion beschränkt sich keineswegs auf fibonaccische Strukturen. „[I]ch legte mich, nachdem ich, nachdem ich mich nach dem Aufklauben der Steine in mein Zimmer begeben, diesen letzten Abschnitt meiner Beobachtungen niedergeschrieben hatte, auf mein Bett, streute mir ein paar Salzkörner in die Augen und sah, nach einem kurzen, verschwom-

<sup>66</sup> Christensen (1988), Seite 6ff. lautet übersetzt: „alphabet // 1 die aprikosenbäume gibt es, die aprikosenbäume gibt es // 2 die farne gibt es; und brombeeren, brombeeren / und brom gibt es; und den wasserstoff, den wasserstoff // 3 die zikaden gibt es; wegwarte, chrom / und zitronenbäume gibt es; die zikaden gibt es; / die zikaden, zeder, zypresse, cerebellum // 4 die tauben gibt es; die träumer, die puppen / die töter gibt es; die tauben, die tauben; / dunst, dioxin und die tage; die tage / gibt es: die tage den tod; und die gedichte / gibt es: die gedichte, die tage, den tod ...“. ebd., Seite 7ff.

<sup>67</sup> Vgl. Christensen (1988), Seite 115.

<sup>68</sup> Christensen (1988), Seite 41. Für September 1997 wird von Oskar Pastior ein Gedicht namens *Die Gimpelschneise* zur Veröffentlichung angekündigt, in dem ebenfalls die Fibonaccischen Zahlen zur Verwendung gelangen (Urs Engeier Verlag, Zürich).

menen Stadium, ein Bild vor mir“.<sup>69</sup> Dieses Bild könnte beispielsweise wie Abb. 1 ausgesehen haben. In Anlehnung an rekursive Prozeduren, die in ihrem Ablauf sich selbst aufrufen, läßt sich diese Rekonstruktion – darauf zielend einen Produktionszustand zu erreichen, um genau die Sätze „Ich legte mich ...“ schreiben zu können – als eine rückbezüglich erinnerte Zeitachse.

### 2.3 Chronologie („is confused with“) moderner Rekursion

Um die Genealogie der Rekursion im 20. Jh. näher zu beschreiben, sollen in diesem letzten Abschnitt zunächst die Rückgriffe auf die Geschichte (als Zeitachse) rückgekoppelt werden mit der Theorie rekursiver Funktionen, um anschließend ihre Entwicklung bis hin zu einer derzeit aktuellen „Super“-Theorie zu skizzieren.

Den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts, in denen die Theorie rekursiver Funktionen entsteht, geht eine Entwicklung voraus, die sich unschwer an den manieristischen Maschinenkult anknüpfen läßt. Das Bemühen, Rechnen zu automatisieren, beginnt mit dem Leibnizschen Rechenautomat von 1673, fortgeführt von Charles Babbage *Analytical* und *Differential Engine*, die allesamt noch ohne Rekursion auskommen müssen, kulminiert es schließlich in einem Ensemble unabhängiger Ideen, die drei Mathematiker in der letzten Hochphase des Manierismus in kurzer Abfolge entwerfen.

Zuerst im Jahre 1900 in Paris und später 1928 in Bologna in präzisierter Form stellt David Hilbert der mathematischen Gemeinde drei Fragen zu den Grundlagenproblemen ihrer Wissenschaft: Ist die Mathematik *vollständig*, insofern jede Annahme beweisbar oder zu widerlegen ist? Ist das mathematische Gedankengebäude *widerspruchsfrei* in allen Teilen? Ist die Mathematik *entscheidbar*, d.h. gibt es ein *genau festgelegtes Verfahren* (Algorithmus), das jede mathematische Behauptung zu einer Entscheidung führt, ob sie nun wahr oder falsch ist. Bekanntlich schon 1931 wird Hilberts Annahme, alle drei Fragen mit „Ja“ beantworten zu können, durch Kurt Gödels berühmten Aufsatz *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I* erschüttert, der beweist, daß innerhalb jedes Axiomensystems (mithin also der gesamten Mathematik in Form der *Principia Mathematica* und darüber hinaus) unentscheidbare Aussagen bestehen, die wiederum das ganze System *unvollständig* sein läßt.<sup>70</sup>

Dem polnisch-amerikanischen Mathematiker Emil L. Post wird zugeschrieben, einige der Ideen Kurt Gödels und Alan Turings hinsichtlich eines „genau festgelegten Verfahrens“, das dazu diene Formeln zu *berechnen*, vorweggenommen, sie jedoch in den 20er Jahren unveröffentlicht gelassen zu haben.<sup>71</sup> So ist es offiziell Alonzo Church, Mathematiker und Logiker

<sup>69</sup> Weiss (1964), Seite 56.

<sup>70</sup> Vgl. dazu ausführlich Hofstadter (1989), insbes. Seite 17–23 und 218f.

<sup>71</sup> Vgl. Hodges (1994), Seite 147.

in Princeton, der am 15. April 1936 als erster den Beweis, daß das Hilbertsche Entscheidungsproblem negativ zu beantworten, also unlösbar sei, im hauseigenen *Journal for Symbolic Logic* zur Publikation einreicht. Nahezu gleichzeitig äußert Alan M. Turing jenseits des Atlantiks Ideen zu einem anderen Nachweis, wie das Entscheidungsproblem negativ zu bescheiden sei gegenüber seinem Logik-Lehrer M.H.A. Newman. Aus dieser Idee entsteht dann im Laufe des Jahres 1936 der Artikel, der zur Grundlage für die maschinelle Berechnung (von Zahlen) werden sollte.<sup>72</sup> Beide Beweise des nicht zu lösenden Entscheidungsproblems stützen sich auf jeweils eigene Begriffe von *Berechenbarkeit*, deren Äquivalenz Alan Turing im Sommer 1937 und eine andere Arbeitsgruppe bestehend aus Church, Kleene und Rosser nachweisen. Churchs Vorgehensweise, mit Hilfe eines sog.  $\lambda$ -Kalküls die Berechenbarkeit zu definieren,<sup>73</sup> und Turings Verfahren einer endlich oft Null und Eins schreibenden und lesenden Maschine mit unendlich langem Papier als Speicher wird schließlich ergänzt durch eine ebenso äquivalente Definition: der *Theorie rekursiver Funktionen*.

Während Alan Turing seine theoretischen Entwürfe der universalen Maschine weniger auf elaborierte mathematische Traditionen als denn auf originelle eigene Ideen stützt, gleichwohl inspiriert durch die *Natural Wonders Every Child Should Know* wie beispielsweise dem Auftauchen der Fibonacci-Zahlen auf Kiefernzapfen oder Gänseblümchen,<sup>74</sup> läßt sich die Theorie rekursiver Funktionen – wenngleich nicht tief – zurückverfolgen bis zum Ende des 19. Jh.

Im folgenden entfaltet sich daher ein zeitlicher Bogen hinsichtlich der mathematischen Verwendung des Begriffes *Rekursion*, obschon die Denkfikur, wie Robin Gandy einräumt, sich unschwer bis Euklid (also auch bis Aristoteles) zurückverfolgen lasse.<sup>75</sup> Diese Chronologie ist weniger als die Skizze einer inhaltlichen Entwicklung, denn als eine entlang einer Zeitachse – nicht-rekursiv – aufgereichte Bibliographie zu lesen.

1888 verwendet Julius Wilhelm Richard Dedekind eine erste primitiv-rekursive Funktion in seinem Buch: *Was sind und Was sollen die Zahlen?*. Dedekind erkennt, daß primitiv-rekursive Funktionen dazu dienen können, zu definierende Funktionen schematisch festzuschreiben, was er als „Definition durch Induktion“ bezeichnet.<sup>76</sup>

<sup>72</sup> Vgl. Hodges (1994), Seite 131 und Turing (1987).

<sup>73</sup> Vgl. Hodges (1994), Seite 132.

<sup>74</sup> Vgl. Hodges (1994), Seite 240f. Zur grundlegenden Bedeutung der *Natural Wonders Every Child Should Know* für Turing vgl. ebd., Seite 14–39.

<sup>75</sup> Vgl. Gandy (1988), Seite 72.

<sup>76</sup> Dedekind (1888), zit. nach Gandy (1988), Seite 72.

- 1891 Der Göttinger Mathematiker David Hilbert verwendet mehrere sich überlagernde Kurven rekursiv, um damit ein Quadrat auszufüllen.<sup>77</sup>
- 1905 In *Über die Grundlagen der Logik und Arithmetik* erwähnt Hilbert erstmals eine „rekurrente“ Beziehung.<sup>78</sup>
- 1923 Thoralf Skolem zeigt, daß der überwiegende Teil der zahlentheoretischen Funktionen den Definitionen von primitiver Rekursivität genügen. Er versucht, den Begriff der Berechenbarkeit durch Anwendung von „rekurrirender Denkweise“ zu schärfen.<sup>79</sup>
- 1923 taucht in Hilberts Arbeit zum ersten Mal das Wort *Rekursion* auf.<sup>80</sup>
- 1926 ist es wiederum Hilbert, der dem Begriff *Rekursion* zu großer Popularität verhilft, indem er behauptet, *alle* zahlentheoretischen Funktionen seien primitiv-rekursiv.<sup>81</sup>
- 1928 Wilhelm Ackermann widerlegt zunächst Hilberts These der umfassenden primitiven Rekursivität durch die alternative Definition einer primitiv-rekursiven Funktion, die ihrerseits nicht mehr diesen Charakteristika gehorcht. Daher erweitert er die primitiv-rekursiven Funktionen durch eine umfassendere Klasse, die allgemein-rekursiven.<sup>82</sup>
- 1931 schlägt Kurt Gödel in seinem mathematikgeschichtlich bedeutsamsten Aufsatz *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I* die definitive Definition der primitiv-rekursiven Funktionen vor, die er schlicht *rekursiv* nennt.<sup>83</sup>
- 1934 Rósz Péter prägt für die unter dem Begriff *rekursiv* verwendete eingeschränkte Klasse von Funktionen das Attribut *primitiv*. David Hilbert und Paul Bernays greifen ihre Bezeichnung in den *Grundlagen der Mathematik I* auf, indem sie der Rekursivität einen umfassenden Abschnitt widmen.<sup>84</sup>

---

<sup>77</sup> Vgl. Krämer (1988), Seite 166.

<sup>78</sup> Hilbert (1905), zit. nach Gandy (1988), Seite 72.

<sup>79</sup> Skolem (1923), zit. nach Krämer (1988), Seite 166.

<sup>80</sup> Hilbert (1923), zit. nach Gandy (1988), Seite 72f.

<sup>81</sup> Hilbert (1926), zit. nach Gandy (1988), Seite 73, ohne allerdings bereits von *primitiver* Rekursivität zu sprechen.

<sup>82</sup> Ackermann (1928), zit. nach Krämer (1988), Seite 168.

<sup>83</sup> Gödel (1931), zit. nach Gandy (1988), Seite 73.

<sup>84</sup> Hilbert und Bernays (1934), Seite 25ff. 286–382, insbes. 325.

1936 Church und Kleene postulieren die Äquivalenz der drei Berechenbarkeits-Konzepte von Turing, Church und den rekursiven Funktionen.<sup>85</sup> Man spricht von der sog. *Church-Turing-These*.

1939 findet die rekursive Zahlentheorie ihren Einsatz bei Hilberts und Bernays Bemühungen um eine Arithmetisierung der Metamathematik.<sup>86</sup>

1951 Einen ersten Überblick über die mathematische Theorie rekursiver Funktionen liefert Rózsa Péter, um ihr eine Wendung von der Zahlentheorie hin zur Analysis zu geben.<sup>87</sup> Weiterführungen ihres formalistischen Konzeptes durch R.L. Goodstein.<sup>88</sup>

1959 László Kalmár hält der Church-Turing-These entgegen, nicht einer Berechenbarkeit im *intuitiven* Sinne zu genügen.<sup>89</sup>

1976 Übertragung der Theorie rekursiver Funktionen auf Grammatik und Wortbildungsfunktionen bzw. auf basale und höhere Programmiersprachen.<sup>90</sup>

Im Frühjahr 1947 trifft Norbert Wiener, Mitbegründer und mit den *Cybernetics* auch Verkünder von rückkoppelnder Regel- und Steuerungstechnik,<sup>91</sup> in England mit Alan M. Turing, Erfinder der universalen Maschine, zusammen, um die „fundamentalen Ideen“ der Kybernetik, die so eng an Turings maschinelle Rechenverfahren und somit an die Theorie rekursiver Funktionen anknüpft, zu besprechen.<sup>92</sup> Unter Weltkriegsbedingungen<sup>93</sup> arbeitet Wiener 1943 bereits – gemeinsam mit John von Neumann und Vannevar Bush – an der technischen Steuerungslehre, um sie mit der „Geburtsurkunde“<sup>94</sup> der Kybernetik gleich um eine philosophische Dimension anzureichern. Die Grundunterscheidung dieser frühen Form von Systemtheorie besteht in Analogie zur widerständigen Elektrizitätslehre des 19. Jh.: *Steuerung* ereignet sich in gekoppelten Systemen, die *in Reihe* zu schalten sind, währenddessen *Regelung* auf rück-gekoppelte, also parallel geschaltete Systeme setzt. Trotz des Schwerpunkts auf technischen Ausführungen, die die

<sup>85</sup> Kleene (1936) zit. nach Péter (1976), Seite 29.

<sup>86</sup> Vgl. Hilbert und Bernays (1939), Seite 210ff.

<sup>87</sup> Vgl. Péter (1951).

<sup>88</sup> Vgl. Goodstein (1965), zit. nach Meschkowski (1978), Seite 283.

<sup>89</sup> Vgl. Kalmár (1959), zit. nach Krämer (1988), Seite 169.

<sup>90</sup> Vgl. Péter (1976).

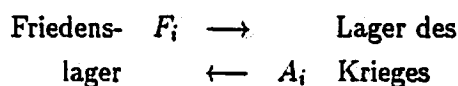
<sup>91</sup> Vgl. Wiener (1948).

<sup>92</sup> Vgl. Hodges (1994), Seite 165.

<sup>93</sup> Vgl. Hutter (1986), Seite 174.

<sup>94</sup> Nach Ikoniewski und Kempisty (1966), Seite 10, der Aufsatz Rosenblueth et al. (1943).

*Cybernetics* „unzusammenhängend und fast unlesbar“<sup>95</sup> werden läßt, gewinnt diese Publikation schnell erhebliche öffentliche Aufmerksamkeit, um in den 60er Jahren – neben dem Marxismus – zur dominanten Theorie mit populärer Geltung zu werden. Wenig überraschend sind daher die Versuche, Kybernetik in alltäglichen Zusammenhängen nachzuweisen (etwa Abb. 4), sie biszuweilen ohne Formelkalkül,<sup>96</sup> aber mit marxistischer Ideologie für die Allgemeinheit aufzubereiten, z.B. bei der Frage, wie sich friedliebender Freund und aggressionsgeladener Feind als Systeme gegenseitig determinieren: „Die Möglichkeit der friedlichen Koexistenz beispielsweise ergibt sich nicht aus einer Minderung des aggressiven Charakters der imperialistischen Bourgeoisie – dieser hat sich im Gegenteil verschärft –, sondern aus dem veränderten Kräfteverhältnis in der Welt:



Das Lager des Friedens wirkt auf das Lager des Krieges ein und umgekehrt; aber die Faktoren  $F_i$  des Friedens und die Kriegsfaktoren  $A_i$  ergeben eine Resultante zugunsten von  $F_i$ , die – kybernetisch gesprochen – heute schon einer gewissen Steuerung des einen Lagers durch das andere entspricht.“<sup>97</sup>

Eine wichtige Weiterentwicklung der Kybernetik entsteht 1979 durch Heinz von Foersters Einbeziehung der beobachterrelevanten Erkenntnistheorie Humberto Maturanas, die mit der Kurzformel „Anything said is said by an observer“ angeführt sei.<sup>98</sup> Demnach lassen sich Paradoxien – etwa Epimenides, des Kreters, Satz „Alle Kreter lügen“ – nicht auf der Ebene eines Beobachters gewinnbringend betrachten, sondern allein mit Hilfe von Beobachtung der Beobachtung zwar nicht lösen, aber doch behandeln.<sup>99</sup> Zuständig für eine Theorie der Beobachter zeichnet die Kybernetik zweiter Ordnung, *Cybernetics of Cybernetics*, die sich auf zwei Konzepte stützt: „The one is a calculus of infinite recursions; the other one is a calculus of self-reference.“<sup>100</sup> Die Kopplung der Kybernetik zweiter Ordnung mit soziologischer Systemtheorie (nach Talcott Parsons) ist bekanntlich der Ausgangspunkt von Niklas Luhmann. Folgerichtig erscheint Systemtheorie angelegt als *rekursives* Beobachten. Beobachtung zweiter Ordnung, die mit der Unterscheidung von Unterscheidungen arbeitet. Soziale Systeme, ent- und bestehend aus autopoietischen Kommunikationen, operieren ausschließlich

<sup>95</sup> Houghes (1994), Seite 165.

<sup>96</sup> Vgl. Greniewski und Kempisty 19661.

<sup>97</sup> Klaus 1981, Seite 181.

<sup>98</sup> von Foerster 1979, Seite 7.

<sup>99</sup> Vgl. Luhmann 1987, Seite 115f.

<sup>100</sup> von Foerster 1979, Seite 7.



selbstreferentiell, d.h. „daß sie mit jeder Operation sich auch auf sich selbst beziehen.“<sup>101</sup> Kommunikation ist bereits eine solche sich selbst beobachtende Operation, bei der unterschieden wird. Schon das Beobachten ist nur als Unterscheidung mit einer anschließenden *Bezeichnung* der einen Seite der Unterscheidung zu denken: „Die Unterscheidung selbst ist die Markierung einer Grenze mit der Folge, daß in der *einen* Form *zwei* Seiten entstehen mit der weiteren Folge, daß man nicht mehr von der einen Seite zu anderen gelangen kann, ohne die Grenze zu überschreiten. [ ... ] Weiter ist bemerkenswert, daß diese ‚Zwei-Seiten-Form‘ nur verwendbar, nur anschlussfähig ist, wenn sie mit einer Bezeichnung gekoppelt ist, die festlegt, von welcher Seite man auszugehen hat.“<sup>102</sup> Beobachten ereignet sich also, indem eine Form unterschieden und eine Seite der Form – gleichsam die privilegierte, die andere bleibt der „unmarked space“ – bezeichnet wird, um als Ausgangspunkt für sich anschließende Unterscheidungen zu dienen.

Soll systemtheoretisches Beobachten nun dazu beitragen, beispielsweise – wie in der Wissenschaft durchaus erwünscht – neue Erkenntnisse zu fördern, reicht es nicht aus, allein zu beobachten. „Wie kann man *diese Zeile* JETZT anwenden?“<sup>103</sup> läßt sich zwar in ihrer Form unterscheiden und bezeichnen, doch gibt erst die Beobachtung dieser Beobachtung Aufschluß über Funktion und Situierung dieser Zeile, trägt mitunter zum Verstehen bei.<sup>104</sup> Zwar bezieht sich die Beobachtung zweiter Ordnung stets auf die erster, wählt jedoch in der Regel eine andere Unterscheidung als die erste(r). „Der Beobachter zweiter Ordnung muß an Beobachtungen erster Ordnung anschließen können. Insofern ist und bleibt er selbst, bei allen Unterschieden der Unterscheidungen, die er verwendet, und bei allem Interesse an Widerlegung oder Korrektur, an Entlarvung, Aufklärung, Ideologiekritik, Moment desselben Systems rekursiven Beobachtens von Beobachtungen.“<sup>105</sup>

Besteht zwischen der Unterscheidung in der Beobachtung erster Ordnung und derjenigen zweiter Ordnung kein Unterschied, liegt der Spezialfall der *Selbstbeobachtung* vor. Die Beobachtung erster Ordnung unterscheidet beispielsweise die Zeile „Wie kann man *diese Zeile* JETZT anwenden?“ von ihrem umgebenden Text, indem sie *diese* und keine andere Zeile unterscheidet und bezeichnet. Um aber nun zu verstehen, wie diese Beobachtung auf

<sup>101</sup> Luhmann (1987), Seite 593.

<sup>102</sup> Luhmann (1990a), Seite 79f.

<sup>103</sup> Lichtenberg (1994), Seite 511. [L 358].

<sup>104</sup> Vgl. als scharfen Beobachter dieser Beobachtung: Stanitzek (1992).

<sup>105</sup> Luhmann (1990a), Seite 86. Neuste Rekursion im System der Beobachtung zweiter Ordnung: Den bereits bezeichneten Funktionssystemen *Die Kunst*, *Das Recht*, *Die Wissenschaft*, *Die Wirtschaft*, *Der Schönsteplatz in der Gesellschaft* (letzter Titel zit. nach Felix Reidenbach, Die niedlichen, in: *Texte zur Kunst*, Jg. 6, Nr. 22, Seite 9.) setzt – wie könnte es anders sein in einer selbstreferentiellen Theorie – *Die Gesellschaft der Gesellschaft*, Frankfurt am Main, 1997, in zwei Bänden.

*sich selbst* anzuwenden ist, muß erneut die Unterscheidung Text/Kontext gewählt, also mit der Beobachtung zweiter Ordnung nochmals der Unterschied zwischen zwei Seiten getroffen werden. Diese Unterscheidung schloß bereits in der ersten den unmarkierten Kontext aus. Daher gelingt die Beobachtung zweiter Ordnung nur, wenn wieder ein Kontext zur Unterscheidung bereit steht, nämlich dieser, hier und JETZT. Wie kann aber ein Kontext überhaupt verwendbar sein, wenn er vorher erfolgreich abgegrenzt wurde? Dies funktioniert allein mit Hilfe der Figur des „Re-entry“ nach dem Formkalkül George Spencer Browns, die den Wiedereintritt beider Seiten einer zuvor getroffenen Unterscheidung in die eine bezeichnete Seite erlaubt, so daß dort fortan diese Unterscheidung anschließbar bleibt.<sup>106</sup>

Die Zeile läßt sich daher nun anwenden, indem sie hiermit JETZT von diesen Kontext ausgeschlossen, sie durch entsprechenden Freiraum abgegrenzt wird, um sie ganz auf sich selbst zu applizieren:

#### *Wie kann man diese Zeile JETZT anwenden?*

Zu fragen bleibt, ob die Systemtheorie nicht unter der Hand eine Umwertung der bisher vorgeführten mathematischen, informatischen und allgemeinen Definitionen von Rekursion vornimmt? Man kann unterscheiden einerseits die Selbstreferentialität im Sinne eines relationalen Bezugs auf sich selbst, der mit der Bezüglichkeit bei Aristoteles oder dem Auftauchen der Funktion  $f$  im Definiens aus Gleichung (1) korrespondiert. Andererseits stellt sich die Figur des Re-entry ein, die den relationalen Charakter vernachlässigt zugunsten einer asymmetrisch unterschiedenen Form, die in ihre eine bezeichnete Seite, den Wiedereintritt ihrer selbst als Eingeschlossenes und Ausgeschlossenes erlaubt. Davon abgesetzt wird schließlich die Rekursivität, die sich beim Wechsel von einer Ordnung zur nächsten, beim Übergang von der Beobachtung zur Beobachtung der Beobachtung ereignet. Auch in diesem Fall besteht keine relationale Beziehung mehr von einem Ergebnis, das um zu entstehen vorher bereits selbst ein Ergebnis erbracht hat, das um zu entstehen vorher bereits selbst ... bis hin zu einer Abbruchbedingung, die erfüllt sein muß. Denn die Beobachtung zweiter Ordnung benutzt – vom Spezialfall der Selbstbeobachtung abgesehen – eine andere, unterschiedliche Unterscheidung als in der Beobachtung erster Ordnung. Die systemtheoretische Verwendung der Rekursion gerät vielmehr zum relationsdurchtrennten Aufruf eines Aufrufs: eine Differenz, die eine Differenz macht, die eine Differenz macht ...

Den bisherigen Definitionen von Rekursivität wie etwa in Gleichung (1) wird daher das Gleichheitszeichen aufgekündigt, denn der relationale Cha-

<sup>106</sup> Vgl. Spencer Brown (1969), Seite 69–76.

rakter verschwindet dank Beobachtung zweiter Ordnung und Re-entry. Was besagt dann noch die Definition von Rekursion in *Gleichung (1)*?

"We may note that in these experiments the sign

=

may stand for the words

is confused with."<sup>107</sup>

Was hieß Rekursion noch gleich? Sich auf sich selbst beziehen, bis was abbricht? Zitieren ohne Ende? „Eine ganz berühmte Frau hat einmal gesagt, eine Rose ist eine Rose ist eine Rose ist eine Rose. Und ich glaube, diese Frau hatte recht.“<sup>108</sup>

## Literatur

Ackermann, Wilhelm, 1928. Zum Hilbertschen Aufbau der reellen Zahlen. *Mathematische Annalen*, Nr. 99, 118–133.

Aristoteles, 1990. *Metaphysik*. In der Übersetzung von Friedrich Bassenge. Philosophiehistorische Texte. Akademie-Verlag, Berlin.

Christensen, Inger, 1988. *alfabet/alphabet. digte/gedichte*, Band 2 von *Dänische Literatur der Moderne herausgegeben von Bernhard Glienke*. Kleinheinrich, Münster. Aus dem dänischen und mit einer nachbemerkung von Hanns Grössel.

Dedekind, Julius Wilhelm Richard, 1888. *Was sind und Was sollen die Zahlen?* Vieweg, Braunschweig.

Dotzler, Bernhard und Kittler, Friedrich, 1987. Alan M. Turing. Nachwort. In: ders., *Alan M. Turing. Intelligence Service. Schriften*, Seiten 211–233. Brinkmann & Bose, Berlin.

Dotzler, Bernhard J., 1996. *Papiermaschinen. Versuch über Communication & Control in Literatur und Technik*. LiteraturForschung. Akademie Verlag, Berlin.

Dudenredaktion u. Leitung von Günther Drosdowski (Hrsg.), 1989. *DUDEN Deutsches Universalwörterbuch A–Z*. Dudenverlag, Mannheim. Wien. Zürich. 2., völlig neu bearb. u. stark erw. Auflage.

<sup>107</sup> Spencer Brown (1969), Seite 69. Ob und inwieweit diese Logik einen Mehrwert fördert, ist in *Flaws of Form* von Paul Cull und William Frank, in: *International Journal of General Systems*, Jg. 5, 1979, Seite 201–211 erörtert.

<sup>108</sup> Helge Schneider, *Guten Tach und Auf Wiedersehn*. Compact Disc, 1993.

- Dudenredaktion u. Leitung von Hermann Engesser (Hrsg.), 1993. *DUDEN Informatik. Ein Sachlexikon für Studium und Praxis*. Dudenverlag, Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich, 2., vollst. überarb. u. erw. Auflage.
- Gandy, Robin, 1988. The Confluence of Ideas in 1936. In: Herken, Rolf (Hrsg.), *The Universal Turing Machine. A Half-Century Survey*, Seiten 55–111. Oxford University Press, Oxford New York u.a.
- Gödel, Kurt, 1931. Über formal unentscheidbare Sätze der *Principia Mathematica* und verwandter Systeme I. *Monatshefte für Mathematik und Physik*, Nr. 38, 173–198.
- Goodstein, Reuben L., 1965. *Constructive Formalism. Essays on the Foundations of Mathematics*. Leicester University Press, London, 2. Auflage.
- Greniewski, Henryk und Kempisty, Maria, 1966. *Kybernetische Systemtheorie ohne Mathematik*. Dietz Verlag, Berlin.
- Gumm, Heinz-Peter und Sommer, Manfred, 1994. *Einführung in die Informatik*. Addison-Wesley, Bonn u.a.
- Heidegger, Martin, 1993. *Sein und Zeit*. Max Niemeyer Verlag, Tübingen, 17., unveränd. Nachdr. der 15., an Hand der Gesamtausg. durchges. Aufl. mit den Randbemerkungen aus dem Handex. des Autors im Anh.
- Hilbert, David, 1905. Über die Grundlagen der Logik und der Arithmetik. In: *Verhandlungen des dritten internationalen Mathematiker-Kongresses, Heidelberg vom 8. bis 13. August 1904*, Seiten 174–185. Teubner, Leipzig.
- Hilbert, David, 1923. Die logischen Grundlagen der Mathematik. *Mathematische Annalen*, Nr. 88, 151–165.
- Hilbert, David, 1926. Über das Unendliche. *Mathematische Annalen*, Nr. 95, 161–190.
- Hilbert, David und Bernays, Paul, 1934. *Grundlagen der Mathematik. Erster Band*. Band XL von *Die Grundlehren der mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen*. Verlag von Julius Springer, Berlin.
- Hilbert, David und Bernays, Paul, 1939. *Grundlagen der Mathematik. Zweiter Band*. Band L von *Die Grundlehren der mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen*. Verlag von Julius Springer, Berlin.
- Hocke, Gustav René, 1957. *Die Welt als Labyrinth. Manierismus in der europäischen Kunst und Literatur. Durchgesehene und erweiterte Ausgabe*. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg. Erstveröffentlichung: 1957/59.
- Hodges, Andrew, 1994. *Alan Turing, Enigma*. Band 1 von *Computerkultur*. Springer-Verlag, Wien New York, 2. Auflage. Erstveröffentlichung: 1983.

- Hofstadter, Douglas R., 1989. *Gödel, Escher, Bach. Ein Endloses Geflochtenes Band*. Klett-Cotta, Stuttgart, 12. Auflage.
- Ifrah, Georges, 1989. *Universalgeschichte der Zahlen*. Campus Verlag, Frankfurt am Main.
- Ifrah, Georges, 1992. *Die Zahlen. Die Geschichte einer großen Erfindung*. Campus Verlag, Frankfurt am Main, New York. Erstveröffentlichung: 1985.
- Kalmár, László, 1959. An Argument against the Plausibility of Church's Thesis. In: Heyting, Arend (Hrsg.), *Constructivity in Mathematics*, Seiten 72-80. North-Holland, Amsterdam.
- Kerényi, Karl, 1992. *Die Mythologie der Griechen. Band 2: Die Heroengeschichten*, Band 30031 von dtv. Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 13. Auflage.
- Kirkness, Alan. Link, Elisabeth, Nortmeyer, Isolde et al. (Hrsg.), 1977. *Deutsches Fremdwörterbuch. Begonnen von Hans Schulz, fortgeführt von Otto Basler, weitergeführt im Institut für deutsche Sprache*, Band Dritter Q/R. Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- Kittler, Friedrich, 1986. *Grammophon Film Typewriter*. Brinkmann & Bose. Berlin.
- Kittler, Friedrich, 1993. Real Time Analysis, Time-Axis Manipulation. In: ders., *Draculas Vermächtnis*, Seiten 182-206. Reclam, Leipzig.
- Klaus, Georg, 1961. *Kybernetik in philosophischer Sicht*. Dietz Verlag. Berlin.
- Kleene, Stephen C., 1936. General recursive functions of natural numbers. *Mathematische Annalen*, Nr. 112, 727-742.
- Klein, Rolf, 1997. *Algorithmische Geometrie*. Addison-Wesley-Longman. Bonn.
- Koch und Goos, 1990. Rekursion. In: Krückeberg, Fritz und Spaniol, Otto (Hrsg.), *Lexikon Informatik und Kommunikationstechnik*. Seiten 525-526. VDI Verlag, Düsseldorf.
- Krämer, Sybille, 1988. *Symbolische Maschinen. Die Idee der Formalisierung in geschichtlichem Abriß*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Darmstadt.
- Krämer, Sybille, 1993. Operative Schriften als Geistestechnik. Zur Vorgeschichte der Informatik. In: Scheffe, Peter, Hastedt, Heiner, Dirrich, Yvonne et al. (Hrsg.), *Informatik und Philosophie*. Seiten 69-83. 31. Wissenschaftsverlag, Mannheim. Leipzig. Wien. Zürich.

- Leibniz, Gottfried Wilhelm, 1973. Wunderbarer Ursprung aller Zahlen aus 1 und 0. In: Zacher, Hans J. (Hrsg.), *Die Hauptschriften zur Dydik von G.W. Leibniz. Ein Beitrag zur Geschichte des binären Zahlensystems*, Seiten 231–235. Vittorio Klostermann, Frankfurt am Main. Erstveröffentlichung: 18.(?) Mai 1696.
- Lichtenberg, Georg Christoph, 1994. Heft L. Physikalische und philosophische Bemerkungen 1796–1799. In: ders., *Sudelbücher II. Materialhefte. Tagebücher*, Band II von *Schriften und Briefe*. Herausgegeben von Wolfgang Promies. Zweitausendeins, Frankfurt am Main, 5. Auflage.
- Luhmann, Niklas, 1987. *Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie*, Band 666 von *suhrkamp taschenbuch wissenschaft*. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Luhmann, Niklas, 1990a. Beobachten. In: ders., *Die Wissenschaft der Gesellschaft*, Kapitel 2, Seiten 68–121. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Luhmann, Niklas, 1990b. *Ökologische Kommunikation. Kann die moderne Gesellschaft sich auf ökologische Gefährdungen einstellen?* Westdeutscher Verlag, Opladen, 3. Auflage. Erstveröffentlichung: 1986.
- Lüneburg, Heinz, 1992. *Leonardi Pisani Liber Abbaci oder Lesevergnügen eines Mathematikers*. B-I-Wissenschaftsverlag, Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich.
- Menninger, Karl, 1957. *Zählreihe und Zahlsprache*, Band I von *Zahlwort und Ziffer. Eine Kulturgeschichte der Zahl*. Vandenhoeck & Ruprecht. Göttingen, 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage.
- Menninger, Karl, 1958. *Zahlschrift und Rechnen*, Band II von *Zahlwort und Ziffer. Eine Kulturgeschichte der Zahl*. Vandenhoeck & Ruprecht. Göttingen. 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage.
- Meschkowski, Herbert, 1978. *Problemgeschichte der neueren Mathematik (1800–1950)*. Bibliographisches Institut. Mannheim. Wien. Zürich.
- Molzberger, Peter, 1990. Und Programmieren ist doch eine Kunst. *Ästhetik & Kommunikation*. Jg. 19. Nr. 75. 79–88.
- Naas, Josef und Schmid, Hermann Ludwig, 1979. *Mathematisches Wörterbuch. Mit Einbeziehung der theoretischen Physik*. Band II. Akademie Verlag, Berlin, unveränderter Nachdruck der 3. Auflage.
- Pórer, Rózsa, 1951. *Rekursive Funktionen*. Akadémiai Kiadó - Akademischer Verlag, Budapest.
- Pórer, Rózsa, 1976. *Rekursive Funktionen in der Computer-Theorie*. Akadémiai Kiadó, Budapest.

- Peters, Thomas, 1989. *Rekursive Algorithmen*. Ferdinand Dümmlers Verlag, Bonn.
- Porombka, Stephan, 1997. Ausschweifende Interaktion. Alan Turing vor der Black-Box. *VERSTÄRKER*, Jg. 2, Nr. 2. <http://www.uni-koeln.de/~amd47/vs002/>.
- Rosenblueth, Arturo, Wiener, Norbert und Bigelow, Julian, 1943. Behavior, Purpose, and Teleology. *Philosophy of Science*, Jg. 10, 18–24.
- Runkel, Wolfram, 1997. Kasparow und der Mann in der Rechenmaschine. *Die Zeit*, Jg. 52, Nr. 21, 76.
- Schulze, Hans Herbert, 1989. *Rekursion*, Band 5 von *Computer Enzyklopädie. Lexikon und Fachwörterbuch für Datenverarbeitung und Telekommunikation*. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg.
- Skolem, Thoralf A., 1923. Begründung der elementaren Arithmetik durch die rekurrierende Denkweise ohne Anwendung scheinbarer Veränderlichen mit unendlichem Ausdehnungsbereich. *Videnskaps Akademi (or-selkapets) i Kristiana (or Oslo) (Mat.-Naturv. Klasse) Skrifter*, Nr. 6, 38ff.
- Spencer Brown, George, 1969. *Laws of Form*. George Allen and Unwin Ltd., London.
- Stanitzek, Georg, 1992. Systemtheorie? Anwenden? In: Brackert, Helmut und Stückrath, Jörn (Hrsg.), *Literaturwissenschaft. Ein Grundkurs*, Band 523 von *rowohlts enzyklopädie*, Kapitel VIII, Seiten 650–663. Rowohlt, Reinbeck.
- Stein, Gertrude, 1922. *Geography and Plays*. The Four Seas Company, Boston.
- Stein, Gertrude, 1954. *As Fine As Melanctha*. Yale University Press. New Haven.
- Theweleit, Klaus, 1991. *Orpheus und Eurydike*. Band 1 von *Buch der Könige*. Verlag Stroemfeld/Roter Stern, Basel und Frankfurt am Main. 2., überarb. Auflage.
- Theweleit, Klaus, 1994. *Recording angels' mysteries. Zweiter Versuch im Schreiben ungebetener Biographien. Kriminalroman. Fallbericht und Aufmerksamkeit*. Band 2y von *Buch der Könige*. Stroemfeld/Roter Stern. Basel Frankfurt am Main.
- Turing, Alan M., 1987. *Intelligence Service. Schriften*. Brinkmann & Bose. Berlin. Herausgegeben von Bernhard Dotzler und Friedrich Kittler.

von Cube, Felix, 1970. *Technik des Lebendigen. Sinn und Zukunft der Kybernetik*. Deutsche Verlags Anstalt, Stuttgart.

von Foerster, Heinz, 1979. Cybernetics of Cybernetics. In: Krippendorf, Klaus (Hrsg.), *Communication and Control in Society*, Seiten 5-8. Gordon and Breach Science Publishers, New York, London, Paris.

Weiss, Peter, 1964. *Der Schatten des Körpers des Kutschers*, Band 53 von *edition suhrkamp*. Suhrkamp. Frankfurt am Main. Geschrieben: 1952.

Wiener, Norbert, 1948. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. The Technology Press, Paris, New York, Cambridge/Mass.

Worobjow, Nikolaj N., 1977. *Die Fibonaccischen Zahlen*. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin. 3. Auflage. Erstveröffentlichung: 1954.



HANS DIETER HUBER  
"LIFE IS A CUT-UP"  
ÜBER INTERMEDIALITÄT UND IHRE FORMEN  
(VORTRAG AUF DEM WORKSHOP "COMPUTER ALS MEDIUM (HYPERKULT VII)" LÜNEBURG,  
16.7.98)

I

Zwischen Kunst im klassischen Sinne und Kultur im populären Sinne besteht ein besonderes Verhältnis der Einschließung bzw. der Ausgrenzung. Denn nicht jedes Kulturereignis ist gleichzeitig ein Kunstereignis. Umgekehrt aber bildet jedes Kunstwerk und jedes Kunst-Ereignis automatisch einen Bestandteil des kulturellen Systems unserer Gesellschaft. Zwischen dem kulturellen Gesamtsystem und dem Teilsystem der Kunst bestehen infolgedessen zahlreiche und komplexe Austauschmöglichkeiten. Es ist hier nicht der Ort, die historische Geschichte von Intermedialität nachzuzeichnen, wie man diese Austauschleistungen zwischen den Medien der Kultur und der Kunst bezeichnet. Vielmehr soll anhand einer spezifischen Kulturtechnik, nämlich dem Cut-Up, eine solche intermediale Austauschleistung näher untersucht werden, um ein differenzierteres Verständnis für die Formen des Wandels und Austausches zwischen Kunst und Kultur in unserer heutigen Gesellschaft zu entwickeln.

II

Eine der wichtigsten literarischen Methoden, das kulturelle Archiv der Sprache intermedial zu nutzen, ist das sogenannte CUT UP. Diese literarische Technik wurde Ende der 50er Jahre in Paris von dem amerikanischen Maler Brion Gysin und seinem Freund, dem Schriftsteller William Burroughs entwickelt (Abb. 1: Titel v. *The Third Mind*, 1978). Im Jahre 1958 zog Burroughs, nachdem er sich mit Hilfe einer Apomorphin-Kur von seiner Drogenabhängigkeit befreit hatte, von Tanger nach Paris und ließ sich in dem legendären Beat Hotel in der Rue Git-le-Coeur 9 nieder. Er brachte einen Koffer voller Manuskripte mit, aus denen nicht nur der Roman *Naked Lunch* zusammengestellt wurde. Auch *The Ticked That Exploded*, *The Soft Machine* und *Nova Express* wurden in den nächsten Jahren aus einem Konvolut von etwa 1000 Einzelseiten unter der Mithilfe von Jack Kerouac zusammengestellt und kompiliert.

Das Cut-Up ist im Prinzip eine Übertragung der Montagetechnik, die in der Malerei des synthetischen Kubismus bei Pablo Picasso, bei Max Ernst, Kurt Schwitters oder auch vom späten Paul Klee entwickelt wurde, auf den Prozeß des Schreibens. Ich zeige als Vergleiche eine Collage von Kurt Schwitters MZ 439, 1922 (Abb. 2) und eine Seite aus einem Cut-Up

Scrapbook vom 18. Februar 1952 von William Burroughs.<sup>1</sup> (Abb. 3) Bereits vorhandene Textangebote werden nach bestimmten Regeln zerrissen, zerschnitten oder gefaltet und die dabei entstehenden Textkombinationen neu erfasst.

Burroughs hat sich zur Methode des Cut-ups in einem Vortrag vor dem Schriftstellerkongreß in Edinburgh 1962 geäußert:

Textseiten werden zum Beispiel in 4 Teile zerschnitten, die Teile werden umgestellt, es ergeben sich neue Anordnungen von Wort&Bild Komplexen - Beim Schreiben meiner beiden letzten Bücher, ... , habe ich eine Variation der cut-up Methode verwendet, die ich 'fold-in' Methode nenne: - Eine Textseite (...) wird in der Mitte der Länge nach gefaltet und auf eine andere Textseite gelegt — Die beiden Texthälften werden ineinander 'gefaltet', d. h. der neue Text entsteht indem man halb über die eine Texthälfte und halb über die andere liest.

Die fold-in Methode bereichert die Textherstellung um die Möglichkeit der Rückblende, wie sie im Film benutzt wird und gestattet es dem Schriftsteller, sich auf seiner 'Zeitspur' vor & zurück zu bewegen - Etwa so: ich nehme Seite 1 und falte sie in Seite 100; den daraus resultierenden Text füge ich als Seite 10 ein - Beim Lesen von Seite 10 blendet der Leser also zeitlich vor zur Seite 100 und zurück zur Seite 1 - Das déjà-vu Phänomen läßt sich so nach Wunsch und Maß erzeugen.

[Cutupszene aus dem Burroughsfilm]

In einem Interview mit Daniel Odier aus dem Jahre 1969, das unter dem Titel *The Job* veröffentlicht wurde, findet sich ein mögliches Motiv für diese radikale Dekonstruktion von Sprache:

Der Schriftsteller weiß nicht, was Wörter sind. ... . Die Fähigkeit des Malers, sein Medium zu berühren und in die Hand zu nehmen, führte vor sechzig Jahren zu Montage-Techniken. Es ist zu hoffen, daß die Ausweitung der *cut-up* Techniken zu präziseren Wortexperimenten führt ... . Diese Techniken können dem Schriftsteller zeigen, was Wörter sind und ihm eine greifbare Kommunikation mit seinem Medium vermitteln. Dies wiederum könnte zu einer präzisen Wissenschaft der Wörter führen und aufzeigen, wie bestimmte Wortkombinationen bestimmte Auswirkungen auf das menschliche Nervensystem haben.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> The Burroughs File. 1984.

<sup>2</sup> ibd., S.11 f.

Es geht im Cut-Up um die Frage des Kommunizierens des Schriftstellers mit seinem Medium und um das physische Greifbarmachen der Materialität der Sprache. Im Cut-Up bedient sich der Schriftsteller der schon existierenden Sprache als eines kulturellen Archivs, das er in seine Einzelteile zerlegt, um sie als Grundelemente zur Konstruktion neuer Hyper-Texte zu benutzen. Die Sprache und nicht die Natur ist das Rohmaterial, an dem der Dichter ansetzt und aus dem er seine Formen konstruiert. Mit der Cut-Up-Methode wird das literarische Schreiben ein selbstreferentieller Prozeß. Texte entstehen nur noch aus Texten und aus nichts anderem mehr.

Aber der Dichter kann aus der Sprache nicht ausbrechen. Es gibt keinen Ausweg aus dem Gefängnis der Worte, sondern nur den langsamen Umbau. Wie der Philosoph Josef Mitterer gezeigt hat,<sup>3</sup> kann das Zeichensystem der Sprache nur auf andere Zeichen im selben System referieren. Aber niemals kann sich Literatur auf eine unabhängig von jeglicher Beschreibung beschreibbare Welt oder Wirklichkeit beziehen.

Statt von Realität spricht Burroughs daher konsequenterweise lieber vom REALITY STUDIO, in dem der Film der Wirklichkeit in endlosen Schleifen heruntergespult wird. Die Möglichkeit des Schriftstellers besteht darin, in dieses REALITY STUDIO einzudringen, am Drehbuch herumzuschneiden oder dem Film einen neuen Schnitt zu verpassen.

### III

Zahlreiche Beat-Autoren wie William S. Burroughs, Allen Ginsburg oder Rolf-Dieter Brinkmann experimentierten daher auch mit dem Tonband, der Fotografie oder dem Film.

[Filmausschnitt früher Burroughsfilm]

Dies bedeutet im Prinzip eine fundamentale Kritik an der Sprache als dem wichtigsten gesellschaftlichen Medium von Wirklichkeitskonstruktion. Sprache war für sie ein Gefängnis der Worte, ein Kontrollinstrument der Gesellschaft, das zerstört werden mußte, um den Virus aus dem Wirtsorganismus zu befreien. Die Kultur fungierte in ihrer Sicht als das entscheidende Dispositiv, das die Unterdrückung von Lust und Freiheit des Menschen im Namen von Sitte und Anstand bewerkstelligte. So hatte Sigmund Freud ihre Funktion in seinem berühmten Aufsatz "Über das

<sup>3</sup> Josef Mitterer: Jenseits der Philosophie. Wider das dualistische Erkenntnisprinzip. Wien: Passage Verlag 1992

Unbehagen in der Kultur" beschrieben. Die Sprache ist aufgrund ihrer massiven kulturellen Kontrollfunktion als ein Medium literarischer Produktion nicht mehr geeignet. Sie ist letztendlich durch die Machtverhältnisse korrumpiert. Die Neuen Medien wie Tonband, Film, Video oder Computer stellten dagegen in den 60er Jahren eine noch unbelastetere Möglichkeit dar, die Befreiung des Individuums aus den Fesseln der Gesellschaft in Angriff zu nehmen. Sie waren noch nicht durch kulturelle Normen und Traditionen belastet, wie die Sprache als Hauptmedium der Disziplinierung und Unterdrückung des Subjekts. Schlagwörter wie "Film als Waffe" oder der Begriff der Gegenkultur stellten wichtige Themen des kulturellen Diskurses der 60er Jahre und 70er Jahre dar.

#### IV

Burroughs selbst und andere experimentierten mit dem Ineinanderschneiden verschiedener Soundtracks und der Beschleunigung des Schnittes bis an die Grenzen der Unterscheidungsfähigkeit des kognitiven Systems.

[frühe Burroughsfilme]

Um die Geschwindigkeit der Schnitte noch weiter zu beschleunigen und dabei neue Bewußtseinserfahrungen zu machen, experimentierten der englische Mathematiker Ian Sommerville und Brion Gysin bereits Ende der 50er Jahre mit einer sogenannten Flickermaschine. Ein von Gysin auf der Innenseite mit farbigen Kalligraphien bemalter Pappzylinder wurde mit mehreren senkrechten Schlitzern versehen, deren Abstände sich von oben nach unten verringerten. Innen hing auf halber Höhe eine Glühbirne. Das Ganze wurde auf einen Plattenteller gesetzt und mit 78 Umdrehungen pro Minute in Bewegung versetzt.

[Ausschnitt 1 min. DREAMACHINE]

Wenn man den Kopf mit geschlossenen Augen von oben nach unten führte, geriet man an eine bestimmte Stelle der Trommel, an der die stroboskopischen Lichtblitze die Frequenz der sog. Alpha-Hirnwellen perturbierten. Sommerville und Gysin beriefen sich dabei auf das Buch *The Living Brain* des englischen Neurophysiologen Gray Walter. Beide haben ihre Seh-Erfahrungen mit der Flickermaschine ausführlich beschrieben. Gysin hat darüber hinaus eine Theorie des Flickers entwickelt, die heute im Kontext des Radikalen Konstruktivismus und der Neurobiologie Humberto Maturanas gelesen, als ein frühes Modell der Perturbation geschlossener operierender Systeme aufgefasst werden muß.

Die fluktuierenden Elemente der Flickerfolge begünstigen das Entstehen autonomer "Filme", ... . Was ist Kunst? Was ist Farbe? Was ist Sehen? Diese uralten Fragen verlangen neue Antworten, wenn man im Licht der DREAMACHINE die gesamte alte und moderne abstrakte Kunst mit geschlossenen Augen sehen kann. (...)

DREAMACHINES machen die fundamentale Ordnung sichtbar, die in der Physiologie des Gehirns gegenwärtig ist.

Sie selbst sind der Künstler, wenn Sie sich vor eine DREAMACHINE stellen und die Augen schliessen. (...) Die leuchtenden inneren Visionen, die auf einmal durch Ihren Kopf wirbeln, werden durch die Aktivität Ihres eigenen Gehirns hervorgebracht. (...) DREAMACHINE-Visionen beginnen gewöhnlich mit dem meteorschnellen Durchzug nicht abreisender Serien von abstrakten Elementen. Diesen mag sich nach einiger Zeit das deutliche Erkennen von Gesichtern, Figuren und die augenscheinliche Abfolge höchst farbenreicher Pseudo-Ereignisse anschliessen.<sup>4</sup>

Eine technologische Weiterentwicklung der primitiven Flickermaschinen der sechziger Jahre stellen die sogenannten MIND MACHINES der 90er Jahre dar. Es handelt sich dabei um brillenartige Geräte mit Kopfhörern, in denen stroboskopische Lichtreizungen und kurze Tonimpulse verschiedener Frequenzen die sensorischen Oberflächen des neuronalen Systems massiv in Aktivität versetzen. Eine künstlerisch gelungene Umsetzung dieses Flickerprinzips findet man z .B. in James Turrells *Change of State*, 1991; einem geschlossenen Wahrnehmungsraum, in dem man mittels eines Stroboskops verschiedene sensorische Reizungen des kognitiven Systems hervorrufen kann.

## V

Im Medium Film hatte sich die Cut-Up-Methode vor allem in den sog. *Non-Camera* Filmen etabliert, die mit bereits vorgefundenem Filmmaterial arbeiteten. Einer der frühesten Filme der Nachkriegszeit, der ohne jegliche Dreharbeiten entstanden ist und nur vorgefundenes Material (*found footage*) verwendete, ist der wenig bekanntgewordene Film der italienischen Künstler Gianfranco Baruchello und Alberto Grifi mit dem Titel *La verifica incerta* aus dem Jahr 1964. Er wurde aus einer riesigen Menge (etwa 150.000 m) zur Vernichtung bestimmter amerikanischer Spielfilme der Jahre 1950-1960 zusammengeschnitten. Hier wurde auf ein bestehendes, aber von der Vernichtung bedrohtes kulturelles Archiv von Filmsequenzen

<sup>4</sup> Brion Gysin: *Dreamachine*, in: *Gasolin* 23. no. 7. S.206.

zurückgegriffen, welche bereits eine eigene erzählerische Logik enthielten. Das 35mm-Filmmaterial wurde nach einer ersten Selektion durch Baruchello und Grifi auf 16mm umkopiert, wobei die horizontal gestauchten Cinemascope-Bilder mit ihrem Originalton beibehalten wurden. Der Eingriff des Cut-Up in das REALITY STUDIO des Hollywoodfilms erzeugt einen *Breakthrough into the Grey Room* des kognitiven Systems, das durch die neue Montage visuellen und auditiven Irritationen ausgesetzt wird.

[Ausschnitt Baruchello-Film]

Bei einer sehr schnellen Schnittfolge von Bildern benötigt das kognitive System etwa 80-100 Millisekunden Verarbeitungszeit, um aus der neuronalen Reizung eine kognitive Synthese zu bilden. Wenn innerhalb dieser Zeit ein zweiter Reiz dargeboten wird, beeinflusst er die Konstruktion des ersten. Man nennt dieses Phänomen in der Wahrnehmungspsychologie *retroaktive Maskierung*. In der kognitiven Synthese des Beobachters entsteht also eine Form, die weder eine vollständige Konstruktion des ersten noch des zweiten Reizes ist, sondern ein emergentes Phänomen, das nicht aus der Summe der beiden Einzelreize erklärt werden kann. Die Technologie des Films macht sich diese Zeitspanne von 80 Millisekunden, die das kognitive System zur Verarbeitung benötigt, zunutze. Denn bei einer Projektionsgeschwindigkeit von 24 Bildern in der Sekunde ist jedes Bild nur in einer Dauer von 20 Millisekunden zu sehen. Die kognitive Konstruktion aus diesen kontinuierlichen Perturbationen ist keine einfache Summenaddition, sondern sie entsteht in einem Prozeß der Selbstorganisation sensorischer Aktivitäten des Gehirns.

Viele Experimentalfilmmacher haben sich dieses Phänomen zunutze gemacht, um durch schnelle, hintereinandergeschaltete Einzelbildprojektionen neuronale Aktivitäten im Gehirn des Beobachters hervorzurufen, die ein rein mentales Produkt sind und in keinsten Weise auch nur in irgendeiner Form auf der Filmschicht selbst existieren. In seinem 1968 entstandenen Film T,O,U,C,H,I,N,G hat der amerikanische Experimentalfilmer Paul Sharits dieses Prinzip der Einzelbildmontage verwendet, um sowohl virtuelle Farben als auch Scheinbewegungen im kognitiven System des Beobachters zu erzeugen. Die Tonspur ist durch eine Schleife endlos geschlossen, so daß sich das Wort *Destroy* ständig wiederholt. In der monotonen Repetition dieses Wortes entstehen autonome, auditive Konstruktionen im Gehirn.

[Ausschnitt]

Wie ein direkter Kommentar oder eine intermediale Transformation ins Medium Video mutet das 15 Jahre später entstandene CHARMANT-BAND des deutschen Videokünstlers Klaus vom Bruch aus dem Jahre 1983 an. Er verwendet für den Schnitt dieselbe Cut-Up-Methode wie Sharits mit dem einzigen Unterschied, daß in die Endlossequenz eines abstürzenden Flugzeugs in jedes 12. Standbild das Porträt des Künstlers einkopiert ist. Die Endlosschleife der Tonspur operiert im Prinzip mit demselben kognitiven Mechanismus wie im Film von Paul Sharits.

[Ausschnitt]

Statt DESTROY lautet die Stimme CHARMANT, statt Film sehen wir Video. Was Paul Sharits noch auf mechanischem Wege, also durch mühseliges Montieren und Kleben, herstellen mußte, ist hier bereits auf rein elektronischem Wege kompiliert worden.

## VI

Während der Beschleunigung der Bilder beim Film und beim Video technologische Obergrenzen gesetzt sind, ist im Bereich der Audioakustik oder der Audioelektronik im Prinzip eine fast unendlich schnelle Beschleunigung des Mediums möglich, so daß man statt von einer Flicker-Perturbation von einem permanenten Feedback sprechen kann. Das Feedback kann als ein rekursives Prozessieren des Mediums beschrieben werden. Es beschleunigt den Rückkopplungszyklus derart, daß das System als Durchlauferhitzer wirkt und die Materialität des Mediums nach außen stülpt. Im rosa Rauschen, in der stehenden Rückkopplung oder im weißblauen Glühen des Monitors wird das Medium selbst zur Form im Hypermedium.

Mit der Erfindung des Videosystems entstand das erste Mal in der Geschichte der Bildmedien die Möglichkeit, Aufnahme und Wiedergabe zeitlich so zu beschleunigen, daß sie fast gleichzeitig stattfinden. Man bezeichnet diese Möglichkeit des Videos als *Closed Circuit*. Wenn man den Kreislauf zwischen Aufnahme und Wiedergabe, also zwischen Kamera und Bildschirm schließt, erhält man ein visuelles Feedback. Die Formen und Farben des Feedbackzyklus hängen von der technologischen Struktur des Aufnahmesystems, der dazwischengeschalteten Elektronik und des Wiedergabesystems ab. Formen, Farben und Kreislaufzyklen lassen sich durch verschiedene Variablen wie Brennweite, Blende und verschiedene Filter am Farbgeber fast beliebig ändern.

### [Ausschnitt: Entstehung des Feedback]

Durch das geschlossene, selbstreferentielle Operieren des Feedbackzyklus erzeugt sich das Bild vollständig aus sich selbst heraus. Es entsteht ein sich selbst organisierendes, geschlossenes System autonomer Farben, Formen und Bewegungen, die sich im *Closed Circuit* ständig re-produzieren. Form reproduziert sich aus Form, Farbe aus Farbe und Bewegung aus Bewegung.

Die Möglichkeit der Gleichzeitigkeit begünstigte den Ausbau des Mediums Video zu einem interaktiven System. Eine der frühesten Arbeiten, in der die interaktiven Übertragungsmöglichkeiten des Fernsehens künstlerisch genutzt wurden, stellt das Happening *Hello* von Allan Kaprow aus dem Jahre 1969 dar, welches im Rahmen des Fernsehprogramms *The Medium Is The Medium* ausgestrahlt wurde. Die interaktiven Formen des Fernsehmediums, die auf der Möglichkeit des *closed circuit* beruhen, wurden in dieser Arbeit für eine künstlerische Installation genutzt. Mit Hilfe des lokalen Fernsehsenders WGBH in Boston wurden zwei Übertragungsterminals im öffentlichen Stadtraum installiert, sowie ein weiterer Terminal im Fernsehstudio des Senders. Die Bild- und Tonkanäle waren jedoch so miteinander verschaltet, daß manche Teilnehmer sich nur hören, aber nicht gleichzeitig sehen konnten. Andere dagegen konnten sich nur sehen, ohne sich gleichzeitig hören zu können. Dritte wiederum konnten nur gesehen und gehört werden, ohne selbst die Möglichkeit zur direkten Interaktion zu haben.

(Ausschnitt)

## VII

Im Bereich der Audioelektronik nennt man das Prozessieren von Formen akustischer Medien *Soundsampling*. Analog oder digital abgespeicherte Soundsequenzen können beliebig ineinander gemischt, überblendet, rückwärts gespielt, gefiltert, wiederholt, beschleunigt oder verlangsamt werden.

Die früheste Musikkomposition, die vorfabrizierte, auf einem Tonband gespeicherte Soundsequenzen in einer Live-Aufführung benutzte, ist das Stück *Deserts* von Edgar Varese aus den Jahren 1949-54. Neben live gespielten Passagen enthält das Stück drei Brüche, in denen vorfabriziertes Tonmaterial vom Band abgespielt wird. Es ist unter dem unmittelbaren Eindruck des 2. Weltkriegs entstanden. Maschinengewehrgeräusche und Fliegersirenen wechseln mit schwer identifizierbaren, metallischen



Schleifgeräuschen ab. Dazwischen gibt es in klassischer Orchesterbesetzung komponierte Passagen, die wie Reste einer heilen, aber nicht mehr möglichen, Welt der Musik anmuten. Das Stück stieß bei seiner Pariser Uraufführung 1954 beim Publikum auf Empörung und Unverständnis. Trotzdem setzte der Komponist damit einen Meilenstein in der Musikgeschichte. Es ist auch heute noch ein radikales, bedrückendes und beunruhigendes Musikstück. *Deserts* bildet den Höhepunkt einer langen Phase von Experimenten, in der sich Varèse mit multimedialen Projekten für Theater, Kino und Lichtprojektion beschäftigt hatte. Der totale Gegensatz von Bild- und Klangmedien war das entscheidende, gestalterische Element in seinem Werk. Ich zeige einen Ausschnitt aus einer Inszenierung des Ensemble Moderne unter der Leitung von Peter Eötvös unter der Regie des amerikanischen Videokünstlers Bill Viola aus dem Jahre 1994, der eine kontrapunktisch angelegte Videokomposition zu dem Musikstück erarbeitet hat.

[Ausschnitt]

Die New Yorker Performance- und Multimediakünstlerin Laurie Anderson ist in den siebziger Jahre mit einer präparierten Violine, einer sog. *Tape Bow Violin*, aufgetreten. Statt dem Roßhaarbezug des Geigenbogens hatte Anderson ein bespieltes Stück Tonband in den Bogen eingespannt. Auf dem Geigenkorpus war ein Tonabnehmer montiert, der an einen elektrischen Verstärker angeschlossen war. Laurie Anderson konnte nun das vorfabrizierte Tape vorwärts und rückwärts abspielen, unterschiedlich schnell und in verschiedenen Teilstücken auf den Tonkopf aufsetzen. Ich führe Ihnen ein kurzes Stück vor, mit dem programmatischen Titel

*Ethics is the Aesthetics of the Few-ture (Lenin)*, 1976

Das digitale Soundsampling ist dem Cut-Up sehr ähnlich, da es nur auf analog vorstrukturierte, akustische Formen zurückgreifen kann. Nicholas Collins, ein Schüler des New Yorker Komponisten Alvin Lucier, benutzt die im Raum vorhandenen Radioweilen verschiedener Sender als Medium für seine live-elektronischen Performances. Er speichert Fragmente der während der Performance auftretenden Radiosendungen digital ab. Diese Samples können dann von ihm getriggert, gefiltert, in eine Endlosschleife eingegeben, rückwärts abgespielt oder in andere Tonlagen und Geschwindigkeiten transponiert werden. Collins spielt bestimmte musikalische Grundmuster, die bereits im Sampling System selbst gespeichert sind, um ein komplexes, symphonisches Wechselspiel zwischen den einzelnen Sounds zu erreichen, wie man es auch in den Bestandteilen der jeweiligen live-elektronischen Kompositionen findet.

[Ausschnitt aus Devils Music, 1985)

Von hier aus war der Schritt nicht mehr weit zur Techno- und Rave-Szene der 90er Jahre, die vor allem die digitalen Samplingmethoden konsequent zur Erzeugung schneller, rhythmischer Beats und Loops verwendete. Hier findet man erstaunlicherweise auch wieder eine enge Kooperation zwischen Literaten, Musikern und Künstlern. Ich zeige einen kurzen Ausschnitt aus der Mayday- Rave-Party in Düsseldorf 1994 mit dem DJ Carl Cox:

[Ausschnitt, 43 sec.]

X

Wenn ich nun zur Anfangsthese zurückkomme und daran erinnere, daß die Kunst nur ein kleiner, aber gewichtiger Teilbereich des kulturellen Gesamtsystems unserer Gesellschaft ist, dann läßt sich gegenwärtig eine besonders starke Auflösung der traditionellen Systemgrenzen beobachten. Künstler wie Laurie Anderson oder Andrea Fraser arbeiten in typischen, als unkünstlerisch geltenden Kontexten, während Personen, die wir typischerweise nicht als Künstler bezeichnen würden, wie Pit Schultz oder Geert Lovink oder der habilitierte Verhaltensökologe Carsten Höller in traditionellen Kunstinstitutionen wie der documenta präsentiert wurden. Während sich die Grenzlinien zwischen High und Low, E und U, Kunst und Pop gegenwärtig verwischen und auflösen, ist es vor allem ein Künstler, der alle diese Scheinprobleme auf eine souveräne, lockere und spielerische Art und Weise zusammenmixt: nämlich Nam June Paik. Von Geburt Koreaner, ausgebildet in Deutschland in klassischer Komposition und europäischer Philosophie, zuhause im Schmelztiegel von New York, zeigt er immer wieder in seinen Arbeiten, wie das repressive Kontrollprogramm der Kultur und die Innovationen der Kunst dazu benutzt werden können, ein intermediales Amaiagam zu schaffen, bei dem es letztlich keine Rolle mehr spielt, ob man es als Kunst oder als Unterhaltung bezeichnet.

Ich zeige einen Ausschnitt aus einer Live-Satelliten-Übertragung aus dem Jahre 1988, die von Paik anlässlich der Eröffnung der Olympischen Spiele in Seoul realisiert wurde. In dem hier gezeigten Ausschnitt tritt der New Yorker Tänzer und Choreograph Merce Cunningham zu den elektronischen Klangunterklängen des Komponisten David Tudor auf. Zeitgleich spielt Ryuichi Sakamoto in Tokyo das Stück *Chisagu No Hanaya*, in dem drei, in Kimonos gekleidete Japanerinnen ein Volkslied auf einem traditionellen,

japanischen Musikinstrument spielen. Es handelt sich um eine sog. *Shanshin*, ein banjo-artiges Saiteninstrument, dessen Resonanzfell aus einer Schlangenhaut besteht. Paik amalgamiert mit Hilfe der Satellitenübertragungstechnik und modernsten elektronischen Schnittverfahren beide Bild- und Tonkulturen auf eine so beeindruckende Weise, daß man sich sehr gut vorstellen kann, wie eine zukünftige Globalisierung und Intermedialisierung von Kunst und Kultur aussehen könnte.

[Ausschnitt 2:42 ca.]

# Der Grafische Baum

## Ästhetische Aspekte

Herbert W. Franke

### Allgemeine Bemerkung zu den Kunst-Mathematik-Beziehungen

Als Tatsache ist festzustellen, daß mathematisch beschreibbare Konfigurationen oft ästhetisch wirksam sind. Wie nicht anders zu erwarten, sind es insbesondere Menschen mit mathematischen Vorkenntnissen und Interessen, die von solchen Darstellungen angesprochen werden. Diese Beobachtung steht in Einklang mit den Erkenntnissen der rationalen Kunsttheorie, die den ästhetischen Prozess in die Nähe des kognitiven Verhaltens stellt. Es geht um das Vergnügen, das man beim Erkennen der im ästhetischen Gegenstand enthaltenen Ordnungen empfindet, und es ist verständlich, daß eine gute Voraussetzung dafür Vorkenntnisse der aufgegriffenen Thematik, in diesem Fall eben der Mathematik, sind. Dadurch bestätigt sich wieder, daß die ästhetische Wirksamkeit einer Klasse von Kunstwerken vom psychologischen und soziologischen Umfeld der Adressaten abhängt. In der Tat gibt es also so etwas wie eine "Kunst für Mathematiker", die, nicht zuletzt weil sie frei von semantischer Überfrachtung ist, auch kunsttheoretisch interessante Aspekte aufwirft.

Unter den Visualisierungen mathematischer Zusammenhängen gibt es einige, die - vergleichbar mit den 'objects trouvés' - ästhetisch auffälliger sind als andere. Es ist aber auch möglich, solche Objekte gezielt derart zu konstruieren und weiterzuentwickeln, daß die erwähnten Voraussetzungen für gelingende explorative Prozesse gegeben sind ( - ganz nach der Vorgehensweise der konventionellen Kunst ). Das ist speziell dort der Fall, wo sich komplex scheinende Konfigurationen auf einfache und kurze Weise beschreiben lassen, und es erklärt auch die besondere Aufmerksamkeit, die die Fraktale auch außerhalb der reinen Wissenschaft gewonnen haben. Zu diesen Fraktalen gehören auch die Grafischen Bäume.

Der Grafische Baum ist die Veranschaulichung einer geometrischen wie auch einer logischen Struktur von grundlegender Bedeutung. Er wird bei der grafischen Modellierung von pflanzlichen Strukturen ebenso angewandt wie bei der Darstellung hierarchischer Abhängigkeiten in der Kommunikation. Ein besonderer Aspekt ist sein fraktaler Charakter. Das Bildungsschema von Grafischen Bäumen steht in engem Zusammenhang mit der Verkleinerungs-Vervielfältigungs-Kopiermaschine und der dazugehörigen Transformationsmatrix aus der linearen Fraktaltheorie.

## Grafische Bäume in 2D

Der Prototyp des Grafischen Baums ist zweidimensional, doch läßt sich die grundlegende Operation, die aus einer Linie ein verzweigtes Gebilde macht, auch auf drei Dimensionen übertragen. Versuche hierzu sind besonders lohnenswert - und mit der *Mathematica*-Programmiersprache auch höchst einfach -, weil dabei viele bisher noch nie gesehene räumliche Gebilde entstehen.

Der Grafische Baum dient auch als Beschreibungsbasis verschiedener geometrischer Strukturen der Biologie. Ein Beispiel dafür sind die Kieselalgen, deren Skelette in einigen Fällen dreidimensionale Realisationen Grafischer Bäume sind. Bekannt sind diese auch als Konstruktionsgrundlage von simulierten Pflanzenteilen, beispielsweise von Sträuchern und Blättern, wobei meist die möglichst realistische Darstellung im Vordergrund steht; Aufgaben dieser Art werden in diesem Beitrag nicht berücksichtigt.

### ■ 1. Schritt - die Verzweigung

Ein einfach verzweigter Grafischer Baum ist im Wesentlichen durch zwei Parameter, den Winkel und den Verkürzungsfaktor, gekennzeichnet. Eine naheliegende Erweiterung des Bildungsschemas, nämlich die Mehrfachverzweigung, bleibt zunächst unberücksichtigt.

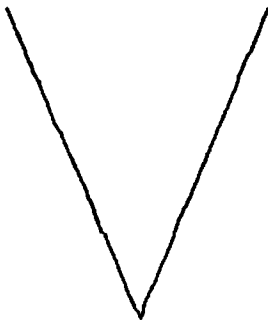
Zuerst wird ein iteratives Programm für die Darstellung von Grafischen Bäumen abgeleitet

```
Needs["Geometry`Rotations`"]
```

```

verkuerzung = 2/3;
winkel = Pi/8;
gabel[Line[{anfangsPunkt_, endPunkt_}]] :=
{
  Line[{
    endPunkt,
    endPunkt + verkuerzung Rotate2D[
      endPunkt - anfangsPunkt,
      winkel,
      {0, 0}]
  ]],
  Line[{
    endPunkt,
    endPunkt + verkuerzung Rotate2D[
      endPunkt - anfangsPunkt,
      -winkel,
      {0, 0}]
  ]]
}
Show[Graphics[gabel[Line[{0, 0}, {0, 1}]]],
  AspectRatio -> Automatic
];

```



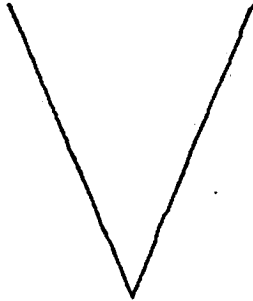
## ■ 2. Schritt - die Iteration

Um diese Funktion iterierbar zu machen, ist eine Aufbereitung nötig.

```

vau[lines_] := Flatten[Map[gabel, lines]]
Show[Graphics[vau[{Line[{{0, 0}, {0, 1}}]}]]
    ]],
    AspectRatio -> Automatic
];

```



Nun kann man daraus ein Programm für die Darstellung des Grafischen Baums entwickeln.

```

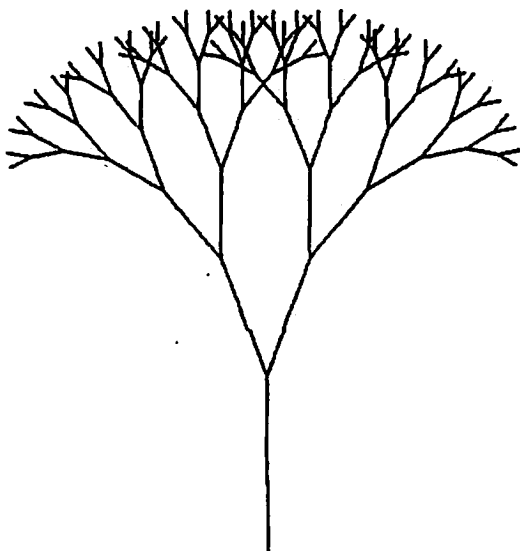
baum[alpha_, bruch_, iterationszahl_, optionen_] :=
  Module[{},
    winkel = alpha;
    verkuerzung = bruch;
    Show[Graphics[
      NestList[
        vauForm,
        {Line[{{0, 0}, {0, 1}}]}],
        iterationszahl
      ]
    ],
    optionen,
    AspectRatio -> Automatic,
    PlotRange -> All
  ]
];

```

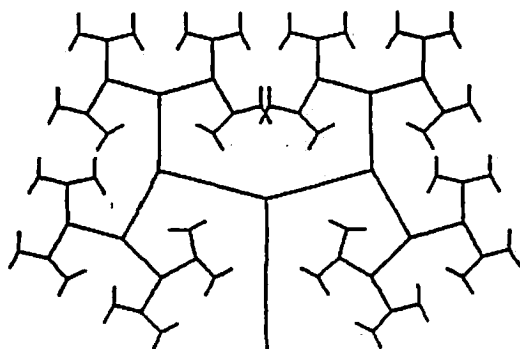
## ■ Beispiele für Grafische Bäume

Durch Abwandlung der drei vorgesehenen Parameter ergibt sich eine ganze Reihe verschiedener Konfigurationen.

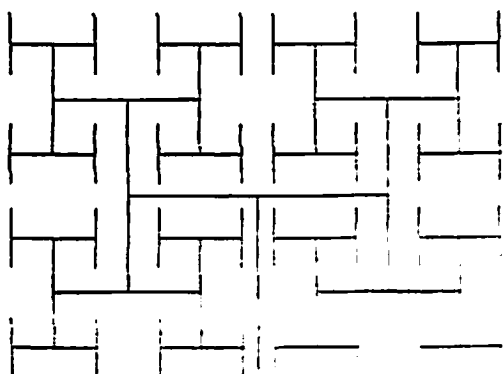
baum[Pi/9, 5/7, 6];



baum[Pi/2.4, 5/7, 6];

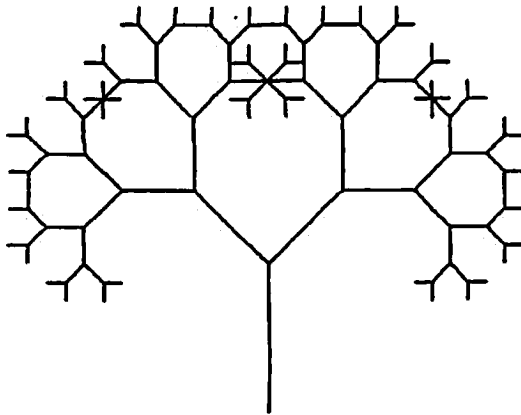


baum[Pi/2, 3/4, 6];



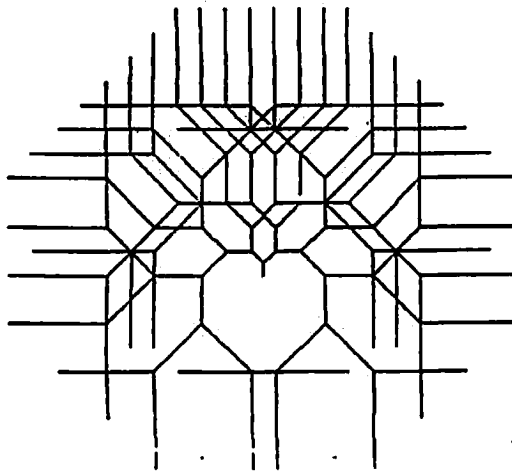


`baum[P1/4, 1/√2, 6];`

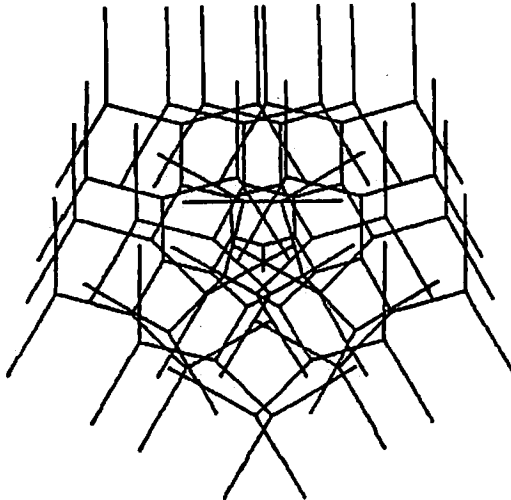


Läßt man den Verkleinerungsfaktor über 1 steigen, dann erhält man sukzessive vergrößerte Konfigurationen - gewissermaßen ein übersteigertes Wachstum von einem Keim aus.

`baum[P1/4, 2/√2, 6];`



```
baum[Pi/2.4, 5/4, 6];
```



Wie dieses und andere Beispiele zeigen, kann schon der kahle Grafische Baum von beachtlichem grafischen Reiz sein. Dieser lässt sich noch gehörig steigern, wenn man die geraden Linien durch andere Elemente als Bausteine ersetzt, beispielsweise durch Trapeze, Kreissegmente u.ä.

## ■ Grafische Bäume aus Bausteinen

Wir benötigen eine Funktion, die die geraden Linien, aus denen der Grafische Baum besteht, in geometrische Elemente umsetzt. Die Linien sind als Listen gegeben, so wie sie von der Funktion `vauForm` geliefert werden. Als Baustein wird im nächsten Programm ein Trapez verwendet.

```
element[Line[{a_, b_}]] :=
Module[
{
  p = Rotate2D[
    a + .5*(b - a),
    -Pi/20,
    a
  ],
  q = Rotate2D[
    a + .5*(b - a),
    Pi/20,
    a
  ]
},
{
  Line[{a, p}], Line[{p, b}], Line[{b, q}], Line[{q, a}]
}
]
```

Daraus wird nun die für Nest benötigte homogenisierte Form gewonnen.

```

flatElements[lines_] := Flatten[Map[element,
                                     lines]]

a = {0, 0}; b = {0, 1};
Show[Graphics[{
  flatElements[ Nest[vauForm, {Line[{a, b]}], 3] ]
}],
  AspectRatio -> Automatic, Frame -> False, Axes -> False
];

```

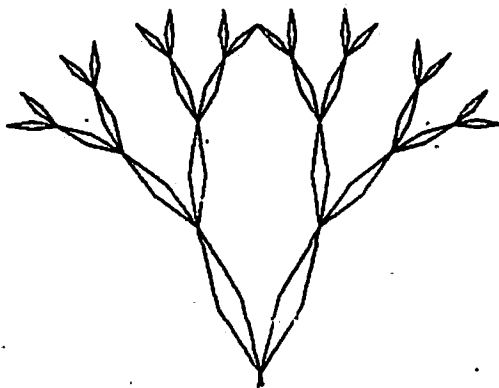


Da NestList verschachtelte Klammern enthält, muß es mit Flatten homogenisiert werden.

```

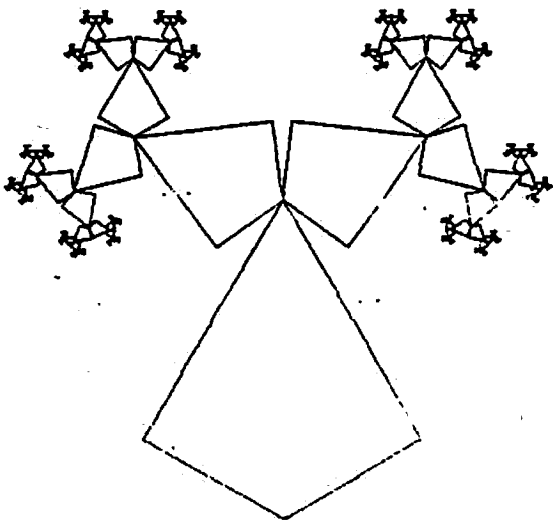
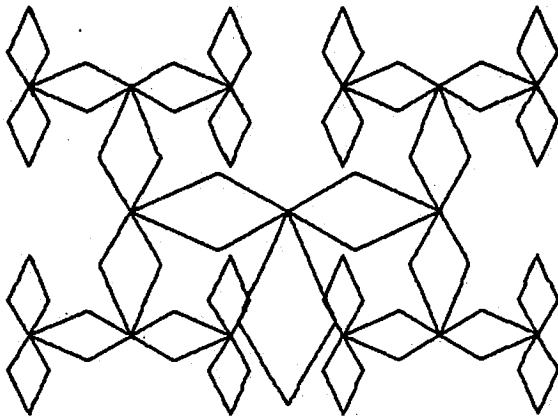
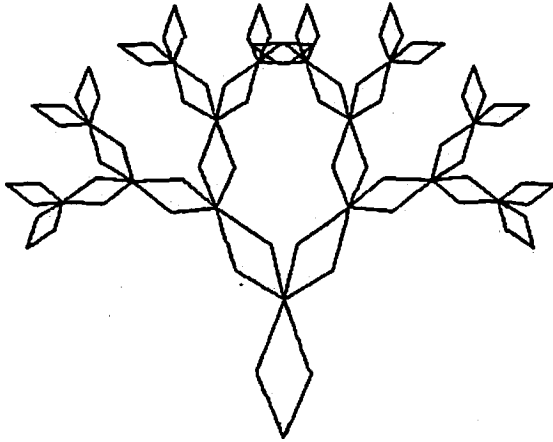
a = {0, 0}; b = {0, 1};
Show[Graphics[{
  flatElements[ Flatten[ NestList[vauForm, {Line[{a, b]}], 4] ] ]
}],
  AspectRatio -> Automatic, Frame -> False, Axes -> False
];

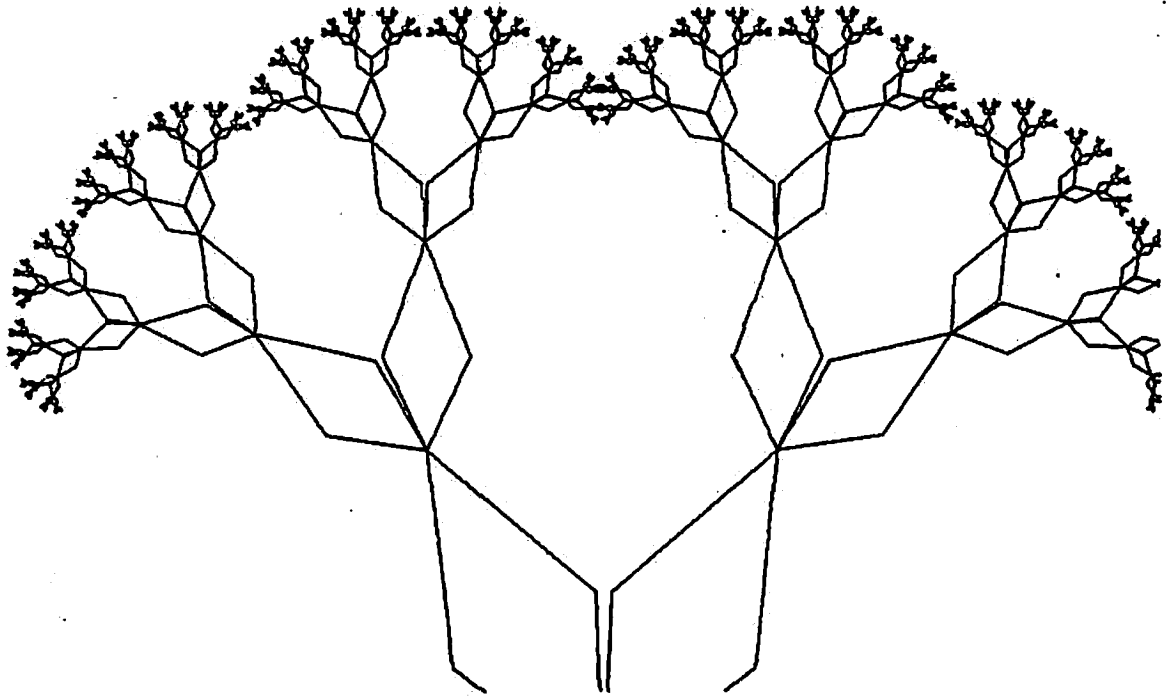
```



## ■ Beispiele für zweidimensionale Grafische Bäume

Durch Änderung der Parameter, speziell des Winkels für das Trapez, erhält man vielfache Abwandlungen der grafischen Darstellungen.





### Grafische Bäume in 3D

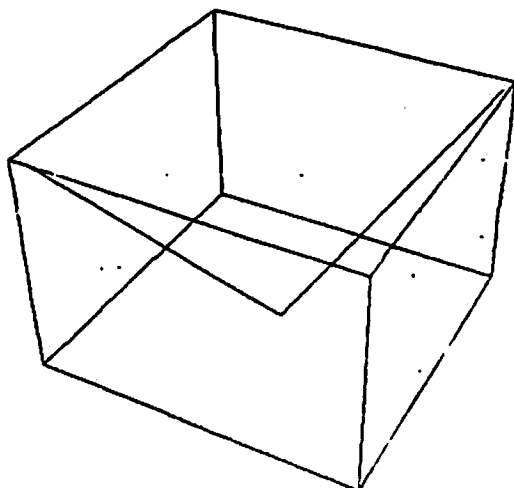
Die Ableitung des Programms erfolgt genau nach dem schon im zweidimensionalen Fall eingeschlagenen Weg.

## ■ 1. Schritt - die Verzweigung

```

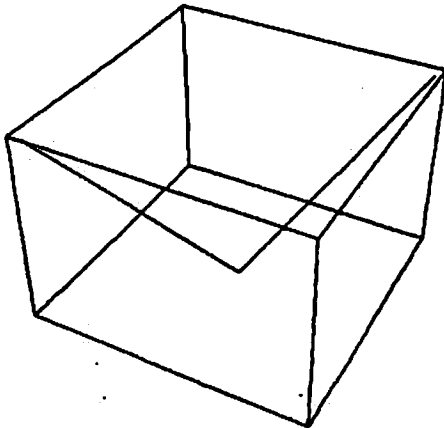
(*verkuerzung3D = 2/3;
winkel1 = Pi/8; winkel2 = Pi/6; winkel3 = Pi/5;*)
(*verkuerzung3D = 4/5;
winkel1 = Pi/3; winkel2 = Pi/3; winkel3 = Pi/3;*)
verkuerzung3D = 3/5;
winkel1 = Pi/4; winkel2 = Pi/4; winkel3 = Pi/4;
gabel3D[Line[{anfangsPunkt_, endPunkt_}]] :=
{
  Line[{
    endPunkt,
    endPunkt + verkuerzung3D Rotate3D[
      endPunkt - anfangsPunkt,
      winkel1, winkel2, winkel3,
      {0, 0, 0}]
  ]},
  Line[{
    endPunkt,
    endPunkt + verkuerzung3D Rotate3D[
      endPunkt - anfangsPunkt,
      winkel1, -winkel2, winkel3,
      {0, 0, 0}]
  ]}
]
}
Show[Graphics3D[gabel3D[Line[{(0, 0, 0), (0, 0, 1)}]]],
  AspectRatio -> Automatic];

```



## ■ 2. Schritt - die Iteration

```
vauForm3D[lines_] := Flatten[Map[gabel3D, lines]]
Show[Graphics3D[vauForm3D[{Line[{{0, 0, 0}, {0, 0, 1}}]}],
      ],
      AspectRatio -> Automatic];
```

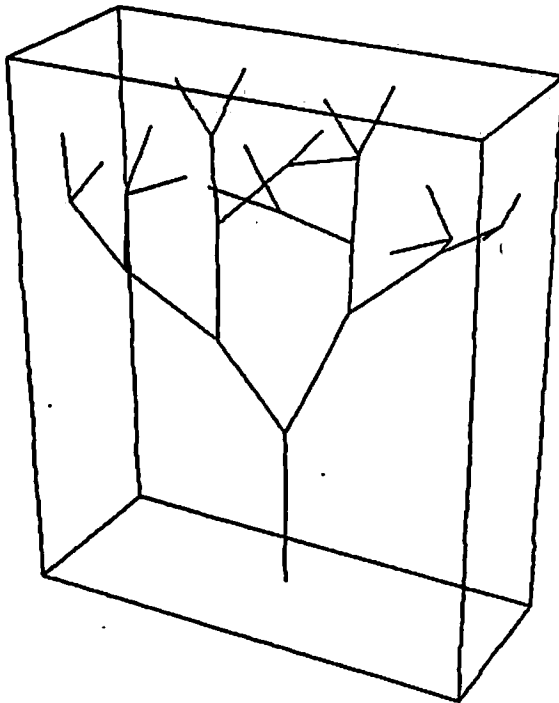


```
baum3D[alpha_, beta_, gamma_,
       schrumpffaktor_, iterationszahl_, optionen_] :=
Module[{
  winkel1 = alpha, winkel2 = beta, winkel3 = gamma,
  verkuerzung3D = schrumpffaktor;
  Show[Graphics3D[
    NestList[
      vauForm3D,
      {Line[{{0, 0, 0}, {0, 0, 1}}]},
      iterationszahl
    ]
  ],
  ],
  optionen,
  AspectRatio -> Automatic,
  PlotRange -> All
]
```

## ■ Beispiele für dreidimensionale Grafische Bäume

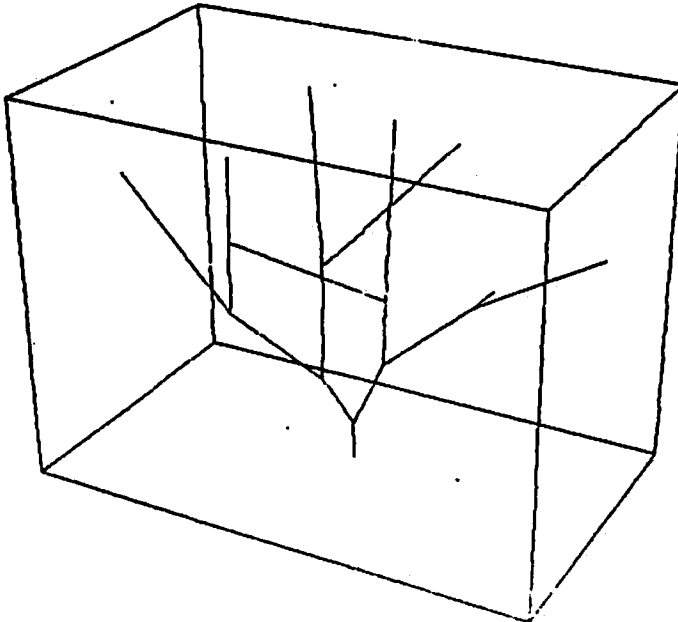
Da die Gabeln bei jeder Generation um denselben Winkel verdreht angesetzt werden, ergeben sich Gebilde von Spiralcharakter.

```
baum3D[Pi/2, Pi/3, Pi/5, 4/5, 4, ViewPoint -> {1.442, -2.562, 1.512}];
```



Ein Beispiel mit einem Verkürzungsmaß größer als 1:

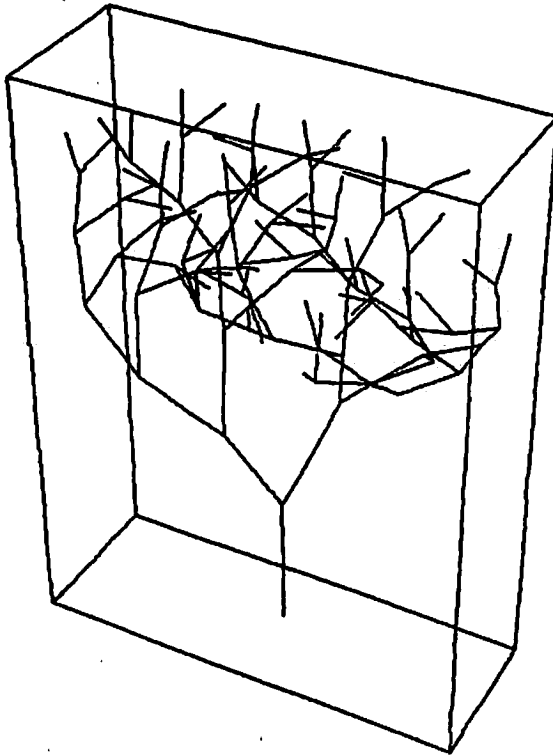
```
baum3D[P1/2, P1/4, P1/4, 5/3, 3, ViewPoint -> {1.442, -2.662, 1.512}];
```



Das typische Aussehen eines Baums offenbart sich erst bei höheren Iterationszahlen - wobei sich allerdings rasch lange Rechenzeiten ergeben.

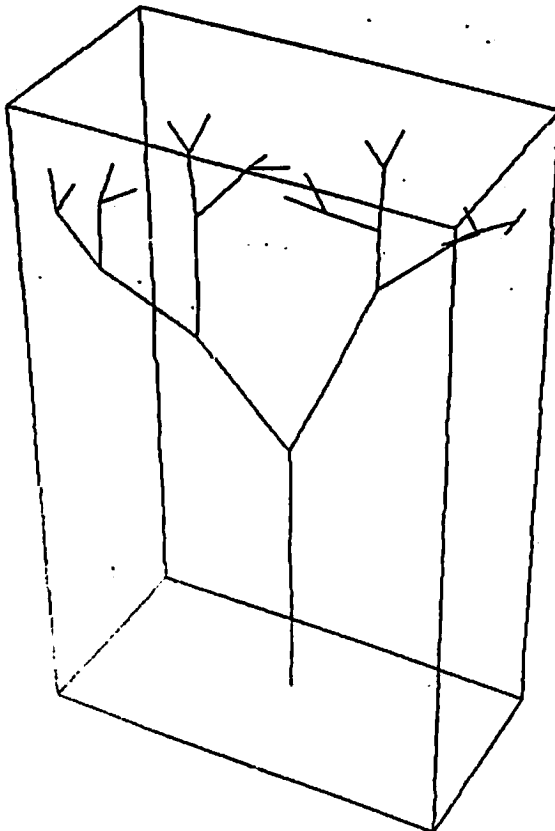


```
baum3D[P1/8, P1/4, P1/5, 5/6, 6];
```



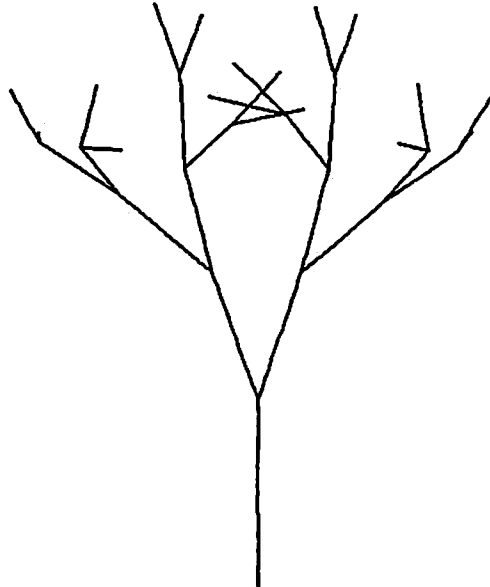
Da der folgende räumliche Grafische Baum nur einen einzigen Verzweigungswinkel aufweist, ist er besonders regelmäßig aufgebaut.

```
baum3D[P1/6, P1/6, P1/6, 3/5, 4];
```



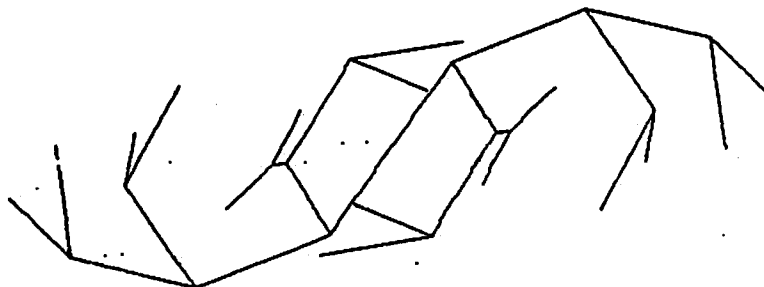
Ein Blick von der Seite gibt einen besseren Eindruck über die Symmetrie des Gebildes.

```
baum3D[Pi/6, Pi/6, Pi/6, 4/5, 4,  
  ViewPoint -> {-0.000, 3.383, 0.000},  
  Boxed -> False];
```



Aufschlußreich ist auch der Blick von oben:

```
baum3D[Pi/6, Pi/6, Pi/6, 4/5, 4,  
  ViewPoint -> {0.000, 0.000, 3.384},  
  Boxed -> False];
```



## Grafische Bäume aus Bausteinen in 3D

Durch Ersatz der geraden Linien durch beliebige dreidimensionale Elemente lassen sich die räumlichen Grafischen Bäume in Konfigurationen umwandeln, die auch Entwürfe für Skulpturen sein könnten.

```

a = {0, 0, 0}; b = {0, 0, 1};
element3D[Line[{a_, b_}]] :=
Module[
{
  p = Rotate3D[
    a + .5*(b-a),
    Pi/5, -Pi/20, Pi/8,
    a
  ],
  q = Rotate3D[
    a + .5*(b-a),
    Pi/5, Pi/20, Pi/8,
    a
  ]
},
{
  Line[{a, p}], Line[{p, b}], Line[{b, q}], Line[{q, a}]
}
]

```

Daraus wird nun die für Nest benötigte homogenisierte Form gewonnen.

```

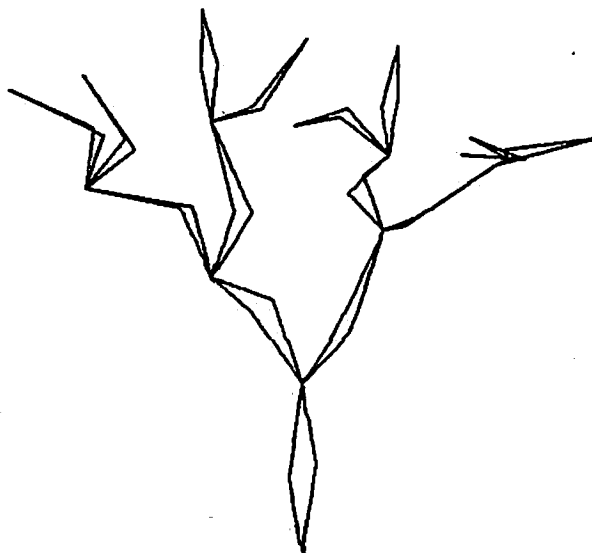
flatElemente3DflatElemente3D[lines_] := Flatten[Map[element3D,
  lines]]

Show[Graphics3D[{
  flatElemente3D[ Nest[vauForm3D, {Line[{a, b}]}], 3] ]
},
AspectRatio -> Automatic, Boxed -> False, Axes -> False
];

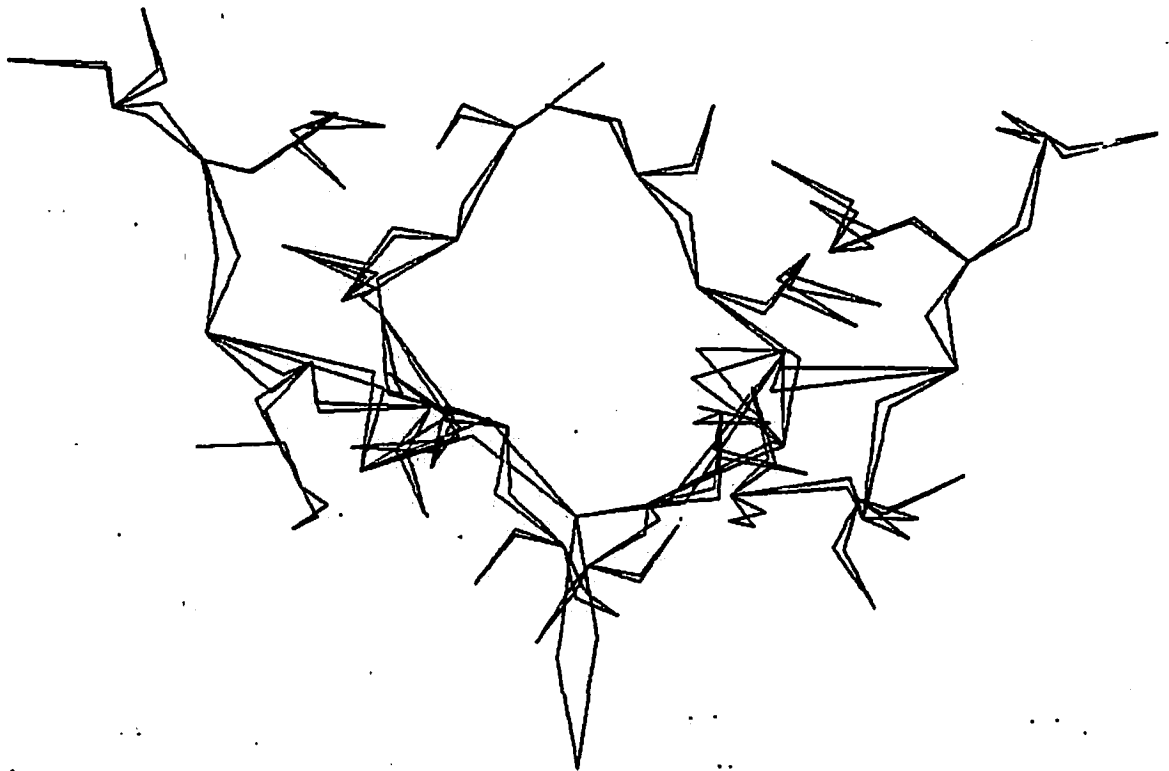
```



```
Show[
  Graphics3D[{
    FlatElements3D[ Flatten[
      NestList[vauForm3D, {Line[{a, b}]}], 3] ]
    ],
  AspectRatio -> Automatic, Boxed -> False, Axes -> False
];
```



```
Show[
  Graphics3D[{
    flatElemente3D[ Flatten[
      NestList[vauForm3D, {Line[{a, b}]}], 5] ]
    ],
  AspectRatio -> Automatic, Boxed -> False, Axes -> False
];
```



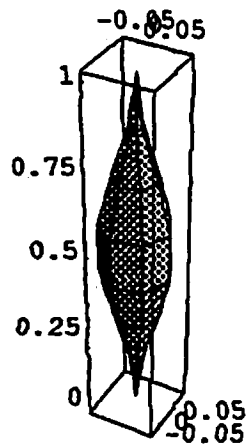
## Grafische Bäume aus Streben

Noch konkreter werden die auf beschriebene Weise erzeugten Körper, wenn man als Bausteine ausgefüllte dreidimensionale Elemente verwendet. Dazu wird zunächst eine Strebe konstruiert, die anstelle der Linien treten soll.

```

g = ParametricPlot3D[{
  .1 * (Sin[z * Pi]) ^ 2 * Cos[u],
  .1 * (Sin[z * Pi]) ^ 2 * Sin[u],
  z},
{z, 0, 1}, {u, 0, 2 Pi},
PlotPoints -> 8
];

```



Dieser Körper muß zu elementaren Transformationen fähig sein, u.zw. zu einer

Drehung, gegeben durch die Eulerschen Winkel - dreh1, dreh2, dreh3 - ,

Verschiebung durch den Verschiebungsvektor - schiebV - ,

Dehnung durch einen Dehnungsvektor für alle drei Koordinatenrichtungen - dehnV.

```
Needs["Graphics`Shapes`"]
```

```

dreh1 = .2; dreh2 = .3; dreh3 = .6;
schiebV = {0, 0, 2}; dehnV = {.75, .4, .5};
transForm[g3D_] :=
  Show[{
    AffineShape[
      TranslateShape[
        RotateShape[
          g3D,
          dreh1, dreh2, dreh3
        ],
        schiebV
      ],
      dehnV
    ],
    AffineShape[
      TranslateShape[
        RotateShape[
          g3D,
          dreh1, -dreh2, dreh3
        ],
        schiebV
      ],
      dehnV
    ]
  ],
  DisplayFunction -> Identity (*unterdrückt die Zeichnung*)
]

```

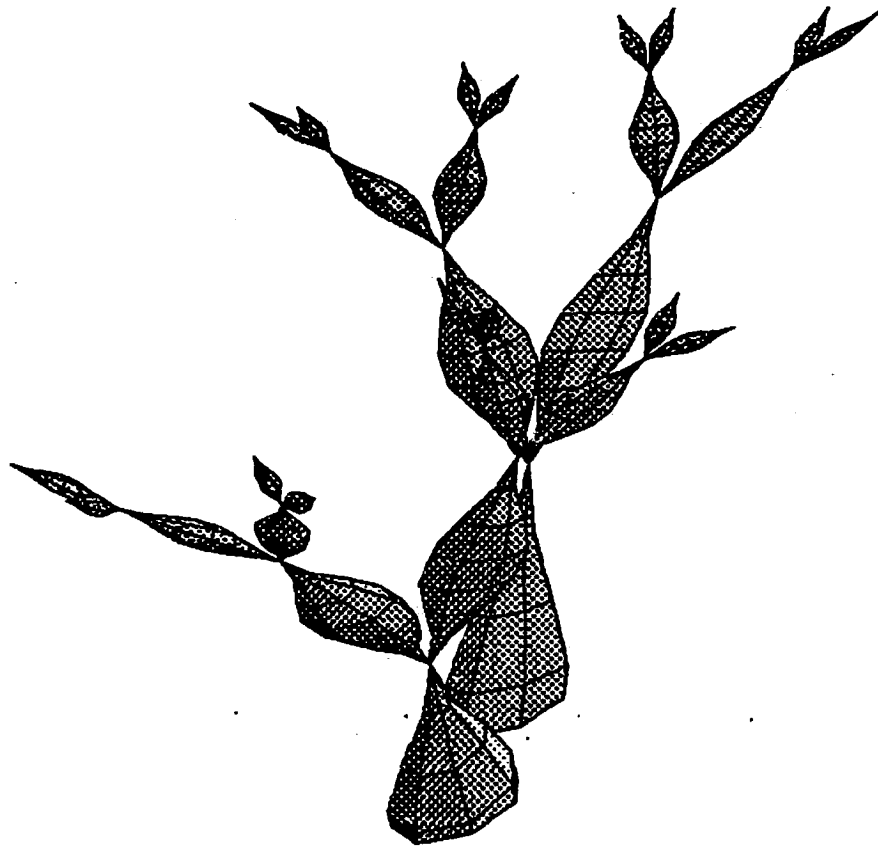
NestList liefert schließlich den gesamten Baum.

```

zweig[{g3D_}] := NestList[transForm, {g3D}, 4]

```

```
Show[zweig[{g}],  
  Axes -> False, Boxed -> False,  
  ViewPoint -> {-1.570, -2.233, 2.000},  
  DisplayFunction -> $DisplayFunction];
```



## Grafische Bäume aus Polyedern

Auf der Grundlage des Grafischen Baums lassen sich aber auch Strukturen erzeugen, die das Prinzip der sukzessiven Verzweigung nicht mehr so gut erkennen lassen, doch von beachtlichen grafischen Reiz sein können. Es folgen einige Versuche mit Polyedern und verschiedenen abgeleiteten Formen, wie sie im Paket Graphics`Polyhedra` angeboten werden.



## ■ Oktaeder

```
Needs["Graphics`Polyhedra`"]

a = {0, 0, 0}; b = {0, 0, 1};
elementOktaeder[Line[{a_, b_}]] :=
Module[
{
h = a + .5 * (b - a)
},
{
Polyhedron[Octahedron, h, .3 * ((b - a) . (b - a))^(1/2)]
}
]
```

Daraus wird nun die für Nest benötigte homogenisierte Form gewonnen.

```
FlatOktaeder[lines_] := Flatten[Map[elementOktaeder,
lines]]

Show[{
FlatOktaeder[Flatten[NestList[vauForm3D, {Line[{a, b}]], 5] ] ]
},
AspectRatio -> Automatic, Boxed -> False, Axes -> False
];
```

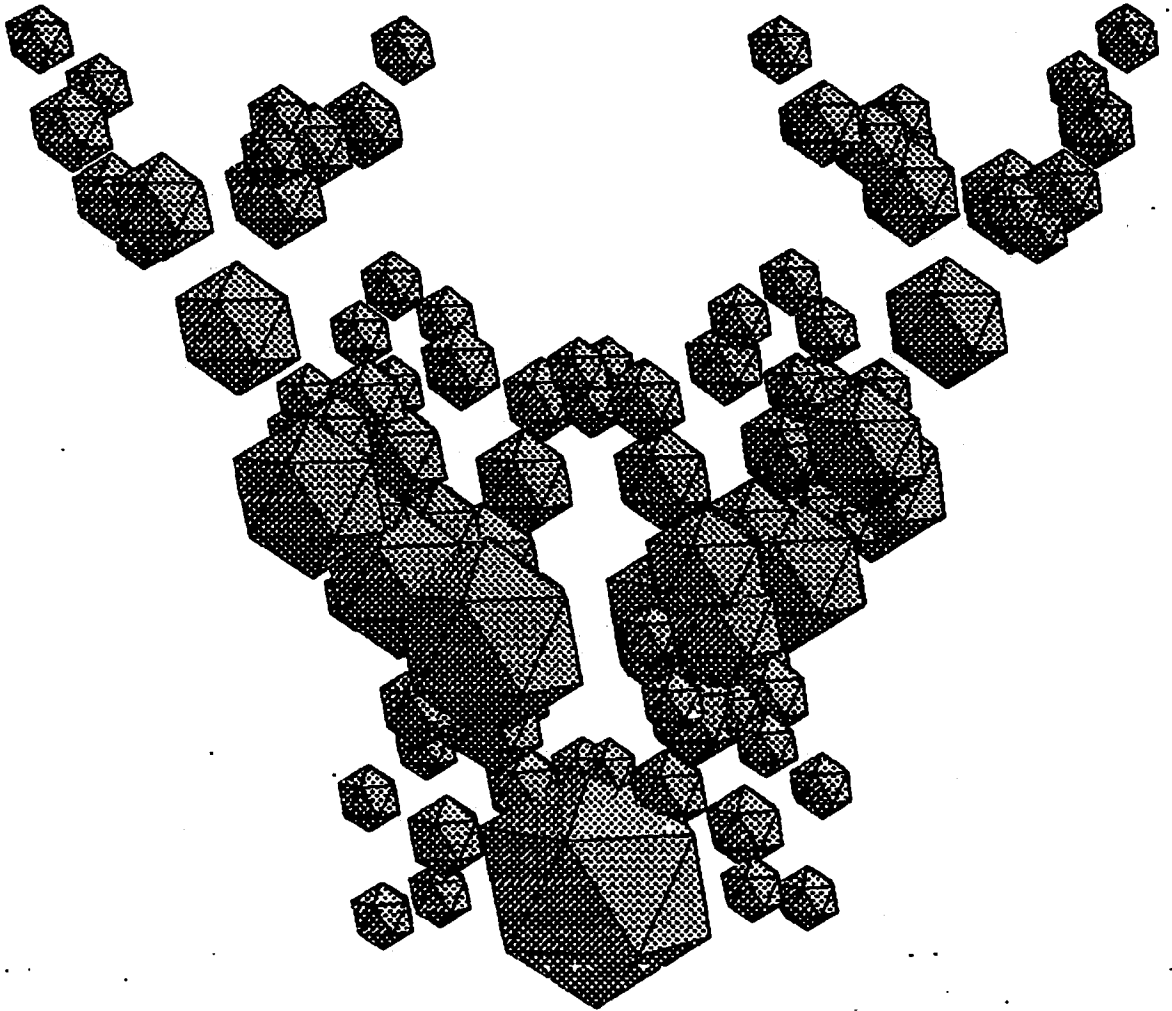
## Ikosaeder

```
a = {0, 0, 0}; b = {0, 0, 1};
elementIkosaeder[Line[{a_, b_}]] :=
Module[
{
h = a + .5 * (b - a)
},
{
Polyhedron[Icosahedron, h, .3 * ((b - a) . (b - a))^(1/2)]
}
]
```

Daraus wird nun die für Nest benötigte homogenisierte Form gewonnen.

```
FlatIkosaeder[lines_] := Flatten[Map[elementIkosaeder,
lines]]
```

```
Show[{
  flatIkosaeder[ Flatten[ NestList[ vauForm3D, {Line[{a, b}]}], 6] ] ]
],
  AspectRatio -> Automatic, Boxed -> False,
  ViewPoint -> {0.240, 3.822, 0.286}
];
```



## Würfel

```
Needs["Graphics`Polyhedra`"]
```

```

a = {0, 0, 0}; b = {0, 0, 1};
elementWuerfel[Line[{a_, b_}]] :=
Module[
{
h = a + .5*(b-a)
},
{
Polyhedron[Cube, h, .3*(b-a).(b-a)^(1/2)]
}
]

```

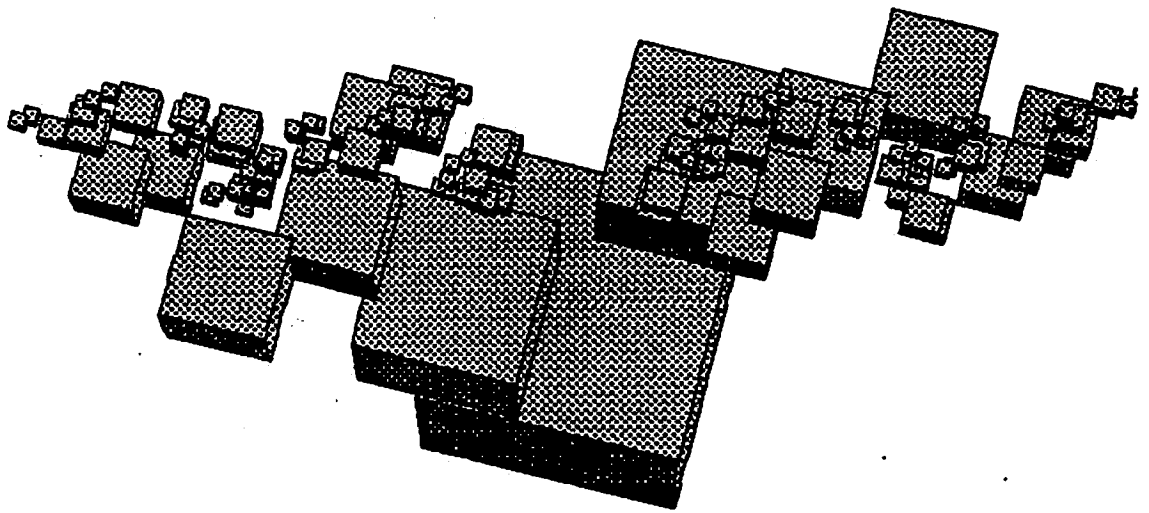
Daraus wird nun die für Nest benötigte homogenisierte Form gewonnen.

```

elementWuerfel[lines_] := Flatten[Map[elementWuerfel,
lines]]

```

```
Show[{
  flatWuerfel[Flatten[NestList[vauForm3D, {Line[{a, b]}], 6]]],
},
  AspectRatio -> Automatic, Boxed -> False,
  ViewPoint -> {0.292, -1.137, 5.158}
];
```

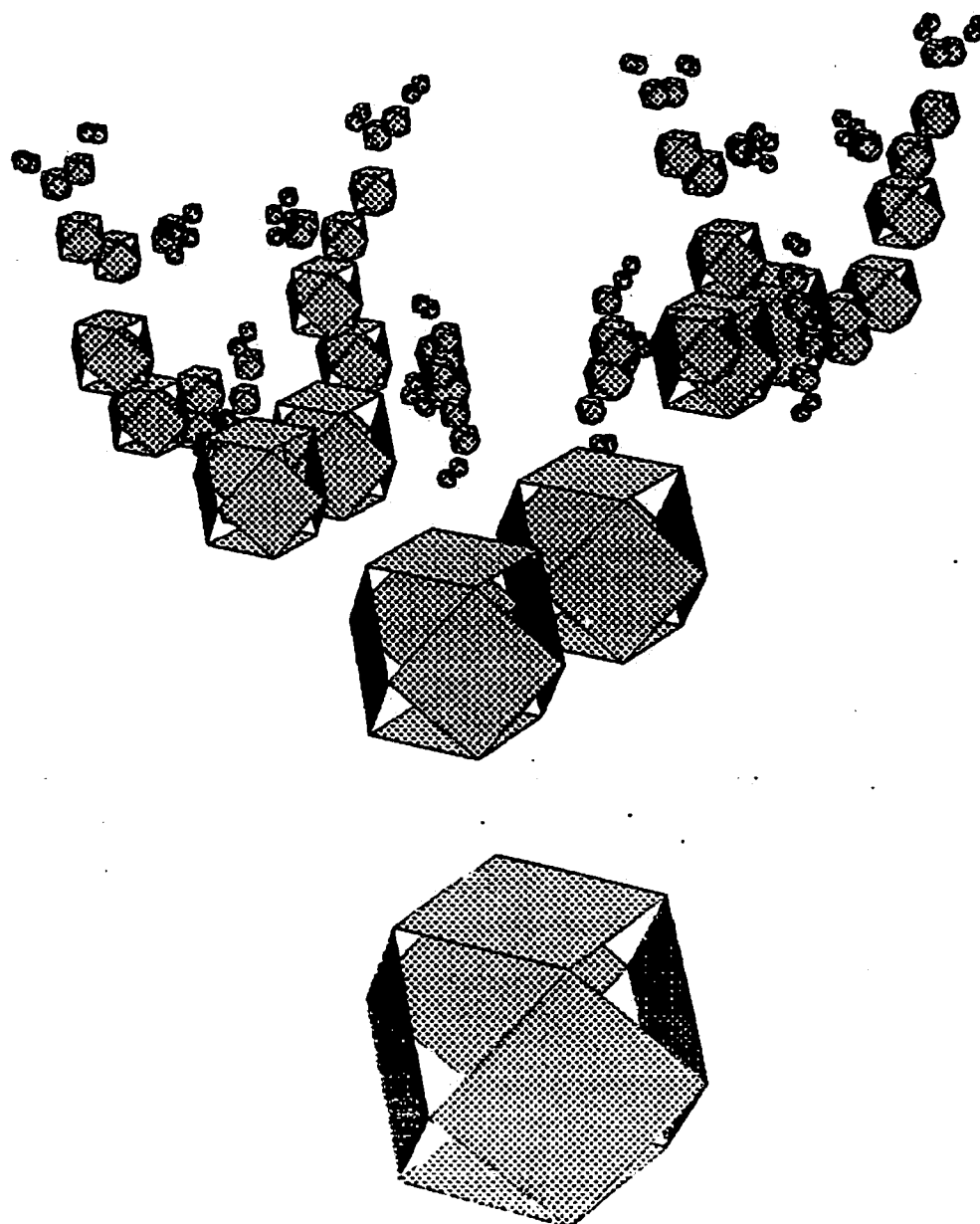


## ■ Gestutzter Würfel

```
a = {0, 0, 0}; b = {0, 0, 1};
elementTruncWuerfel[Line[{a_, b_}]] :=
Module(
{
  h = a + .5*(b - a)
},
{
  OpenTruncata[Polyhedron[Cube, h, .3*((b - a) . (b - a))^(1/2)], .5]
}
);
```

```
flatTruncWuerfel[lines_] := Flatten[Map[elementTruncWuerfel,  
lines]]
```

```
Show[{  
  flatTruncWuerfel[Flatten[NestList[vauForm3D, {Line[{a, b]}], 6]] ]  
},  
  AspectRatio -> Automatic, Boxed -> False,  
  ViewPoint -> {-0.850, -3.205, 1.268}  
];
```



## ■ Kugelprojektion

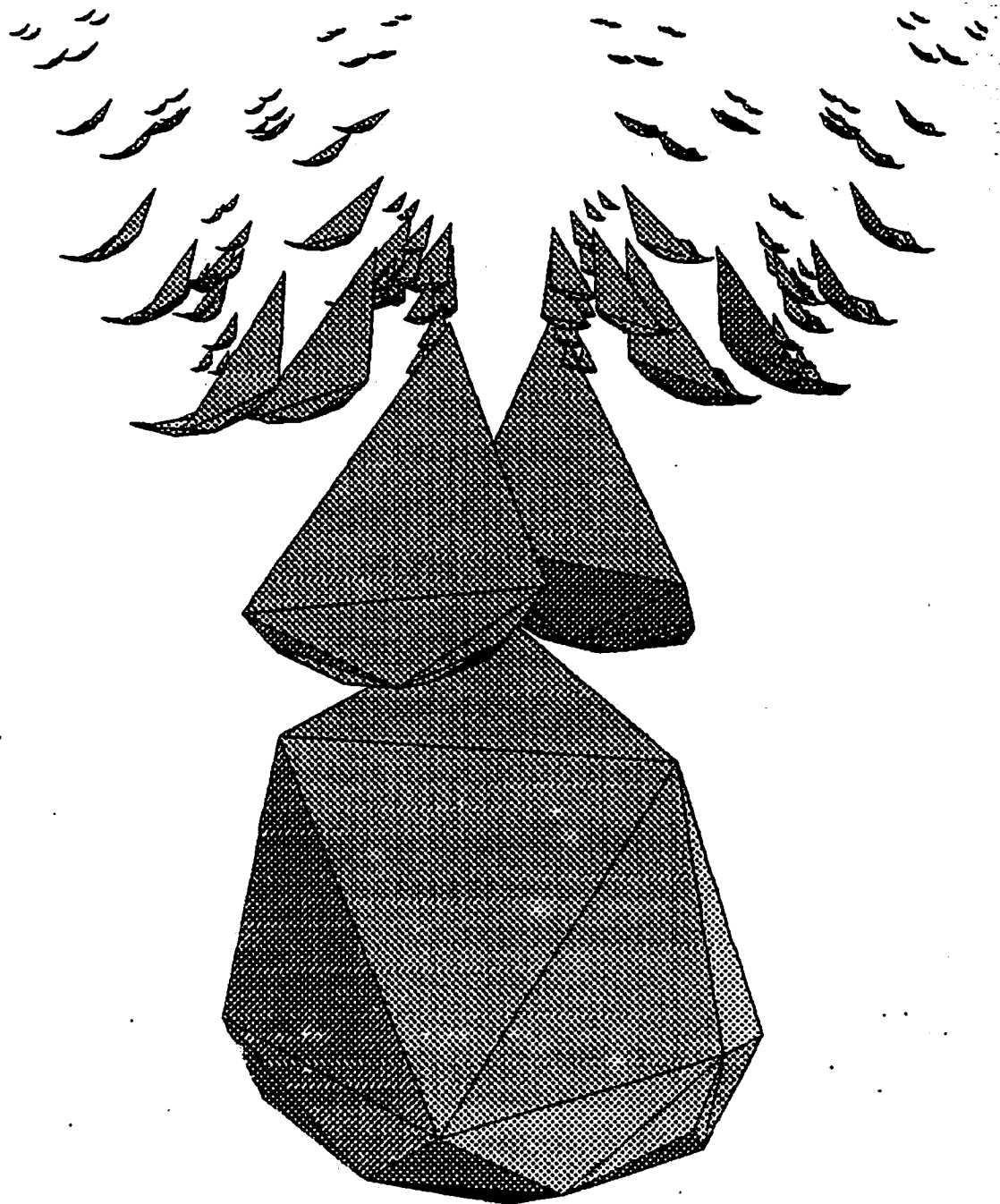
Eigenartige Effekte, die nicht ohne weiteres erklärbar sind, ergeben sich beim Einsatz des ebenfalls im Polyeder-Paket angegebenen Objekts Geodesate.

```
a = {0, 0, 0}; b = {0, 0, 1};
elementKugel[Line[{a_, b_}]] :=
Module[
{
h = a + .5*(b - a)
},
{
Geodesate[ Polyhedron [Tetrahedron], 3, h, .5*(b - a) . (b - a)^(1/2)]
}
]
```

Daraus wird nun die für Nest benötigte homogenisierte Form gewonnen.

```
elementKugel[lines_] := Flatten[Map[elementKugel, lines]]

Show[{
flatKugel[Flatten[NestList[vauForm3D, {Line[{a, b}]], 6] ] ]
},
AspectRatio -> Automatic, Boxed -> False,
ViewPoint -> {1.277, -4.973, 1.275}
];
```



Durch dieses Ergebnis werden weitere Versuche angeregt, die in den Bereich der künstlerischen Betätigung, zur experimentellen Ästhetik, führen. Als besonders befriedigend empfundene kognitive Prozesse treten dann auf, wenn man bei der Betrachtung von verschiedenen Richtungen her plötzlich jene Sicht entdeckt, die den einfachen Aufbau der Gebilde erkennen lassen.

## Bemerkung

Bei der Beschäftigung mit "mathematischer Kunst" kann man konventionell vorgehen und die computergenerierte Zeichnung als Endprodukt oder als Entwurf für später real ausführbare Skulpturen betrachten - wobei auf die physikalische Eigenschaften wie Stabilität usw. Rücksicht zu nehmen ist. Interessanter scheint es, mathematisch beschreibbare Gebilde zu entwerfen, die real nicht bestehen könnten - z.B. weil sie sich aus einzeln im Raum schwebenden Teilen zusammensetzen. Im übrigen können sie sich als virtuelle Mobiles in Bewegung befinden.

Im Sinn der Anregung für den Benutzer ist es wünschenswert, ihm das Resultat in einer Form zu übergeben, die ihm eigene Beschäftigung und Weiterentwicklung mit dem vom "Künstler" konzipierten Objekt erlaubt. Als Medium bietet sich hierfür die Diskette oder auch die CD-ROM an, die neben ausgeführten grafischen Darstellungen auch die zugehörigen Programme enthalten. In diesem Zusammenhang werden manche in Bezug auf die Medienkunst diskutierten Aspekte erneut aufgeworfen, insbesondere jene, die sich auf Fragen des Originals, des Urheberrechts und des Vertriebsmodus richten.