

Günther SCHATTER, Emanuel ZÜGER, Christian NITSCHKE, Martin PRADELLA, Dennis LINKE [BAUHAUS-UNIVERSITÄT WEIMAR]

Intuitive grafische Benutzerschnittstellen für die elektronische Klangerzeugung mit Genetischen Algorithmen und Fuzzy-Sets

Intuitive Graphical User Interfaces for the Electronic Sound Generation Based on Genetic Algorithms and Fuzzy Sets

Der Beitrag beschäftigt sich mit der Schaffung grafischer 3D-Benutzerschnittstellen zur elektronischen Klangerzeugung. Verschiedenste MIDI-Geräte sind in der Lage, komplexe 3D-Grafik-Schnittstellen so zu steuern, dass die zielgerichtete Klangerzeugung mit synästhetischen Methoden vereinfacht werden kann. Dies wurde durch den Einsatz von Fuzzy-Logik und Genetischen Algorithmen in einem integrierten Lernsystem möglich, das in kontrollierter Weise die Klangparameter beeinflusst.

This paper reports on the implementation of a graphical user interface for the generation of electronic sounds. We have successfully implemented a complex system of 3D-computer graphical interfaces controlled by several MIDI-devices for a synaesthetic architecture that lowers the difficulties to generate target sounds in a purposeful manner. This approach was possible by processing the sound defining parameters using fuzzy sets and genetic algorithms in a learning environment.

1 Problemsituation

Die Prinzipien der elektronischen Klangerzeugung sind durch die Entwicklung der digitalen Signalverarbeitungstechnik außerordentlich vielfältig und leistungsfähig geworden. Durch den Mangel an intuitiven und leicht bedienbaren Benutzungsschnittstellen wird jedoch die Entfaltung des akustischen Potenzials oft behindert. So sind für die Bedienung moderner Synthesizer neben der Klaviatur oft Dutzende Baugruppen zur Klangparameterwahl und -kontrolle zu koordinieren. Elektronische Instrumente sind mehr und mehr durch eine strikte Trennung von Eingabeschnittstelle und Klangerzeugung gekennzeichnet, die meist durch die

MIDI-Schnittstelle physisch und logisch erfolgt. Dieses Interface führte in produktiver Form zu zahlreichen neuartigen Bedienungsprinzipien im Zusammenhang mit akustischen Gestaltungsabsichten unter dem Begriff *Gestural Control* [1][2][3][7]. Neben positiven Aspekten der Modularisierung bringt das Prinzip aber auch Nachteile mit sich (Begrenzung der Datenrate und Auflösung, Synchronisationsprobleme, Halbduplexbetrieb etc.).

Alternative Bedienkonzepte von elektronischen Instrumenten sind meist für den performativen Einsatz entstanden, bislang aber nur selten zu Industrieprodukten gereift. Viele Anstrengungen zielen auch darauf ab, die Benutzungs-Hemmschwelle insbesondere für Kinder und Laien zu senken, um intuitiv bedienbare Instrumente zu schaffen, die auch kollaboratives Arbeiten – oft unter den Bedingungen einer Vernetzung – einfach erlauben [4][5].

Der vorliegende Beitrag ordnet sich in diese Bemühungen ein, da sich die Nutzung und Bedienung von digitalen Synthesizern nach wie vor an den für Laien und Nichttechniker wenig übersichtlichen Nutzerschnittstellen der analogen Vorbilder orientiert. Ohne Kenntnis der akustischen Zusammenhänge und vielfältigen Syntheseverfahren ist es dem musikalisch interessierten aber technisch wenig versierten Nutzer kaum möglich, einen Klang gezielt zu erzeugen und zu reproduzieren. Der gewählte Ansatz wurde durch die Synästhesie inspiriert, indem spezifische Sinnesreize auch Empfindungen in anderen Sinnesbereichen auslösen können [9][10][11]. Hier sollen Klangeigenschaften unter Zuhilfenahme visueller Vorstellungen individuell beschrieben, zugeordnet, memoriert und reproduziert werden. Da die mentale Abbildung zwischen akustischen und visuellen Informationen zu Metaphern subjektiv und individuell abgestuft erfolgt, ist eine personalisierte Anpassung an das Nutzerverhalten notwendig. Diese Vorgänge werden mit Verfahren der unscharfen Logik und der genetischen Programmierung umgesetzt.

2 Systemkonzept

Ausgangspunkt der neuartigen Schnittstellengestaltung zur Klangsynthese war der durch den Sprachgebrauch gestützte Ansatz, die Charakteristik eines Klangs durch eine praktikable visuelle Metapher zu beschreiben [8]. Im Ergebnis eines Auswahlvorgangs wurden ausgewählten akustischen Eigenschaften korrespondierende Begriffe der visuellen Wahrnehmung im Sinne der Synästhesie gegenüber gestellt. Im praktischen Einsatz wird ein

klangbeschreibender 3D-Körper als grafische Metapher manipuliert, um beabsichtigte akustische Ergebnisse zu erzeugen. Dieser Abbildungsprozess ist keineswegs kausal, eindeutig noch widerspruchsfrei, sondern er ist in hohem Maße subjektiv. Daher erfordert diese Vorgehensweise spezielle Strategien zu einer personalisierten Anpassung. Da Menschen je eigene Vorstellungen von der Widerspiegelung der Klangwelt entwickeln können, wurden Methoden einer freien Personalisierung der Nutzerschnittstelle vorgesehen.

Die Steuerung der klangbestimmenden 3D-Metapher gestalt kann auf konventionelle Weise mittels WIMP-Interface (window, icon, mouse, pointer) oder durch MIDI-fähige Eingabegeräte frei auf einem Bildschirm erfolgen. Durch unkonventionelle Eingabegeräte werden interessante Lösungen insbesondere für die Bühnenpraxis möglich. Die Steuerung von Tonhöhe, Rhythmisik, Melodik sowie ggf. auch von Pegel und Lokalisation werden auf üblichem Wege vorzugsweise über ein MIDI-Interface erzeugt (Abb. 1).

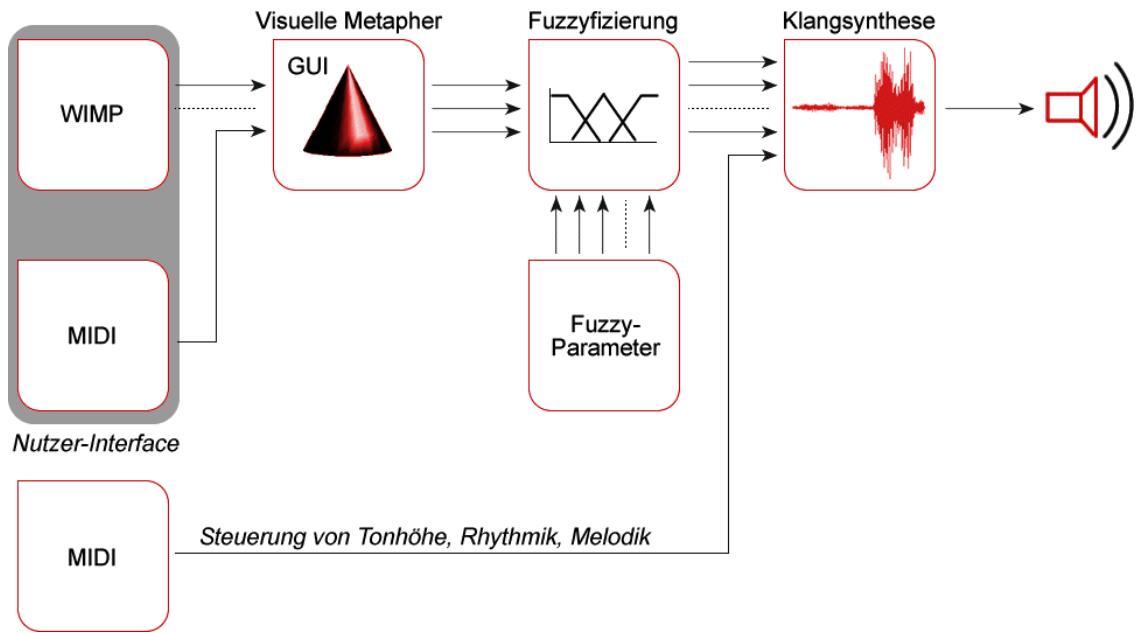


Abb. 1: Systemübersicht des Synthesizers im Arbeitsmodus

Somit besteht das Gesamtsystem aus zwei Software-Komponenten, die anschließend näher erläutert werden:

1. einem Synthesizer für den praktischen musikalischen Einsatz (nachfolgend: *Synthesizer*) sowie

2. einem System zur Personalisierung des Synthesizers (nachfolgend: *Assistent*).

3 Implementierung

3.1 Synthesizer

Die Implementierung des Synthesizers besteht aus drei Komplexen (Abb. 2):

1. die Algorithmen zur Klangerzeugung (Klangsynthese),
2. die Visualisierung der Benutzeroberfläche (Graphical User Interface (GUI)),
3. die Integration einer Schnittstelle zwischen Benutzeroberfläche und Klangerzeuger mittels Fuzzy-Sets.

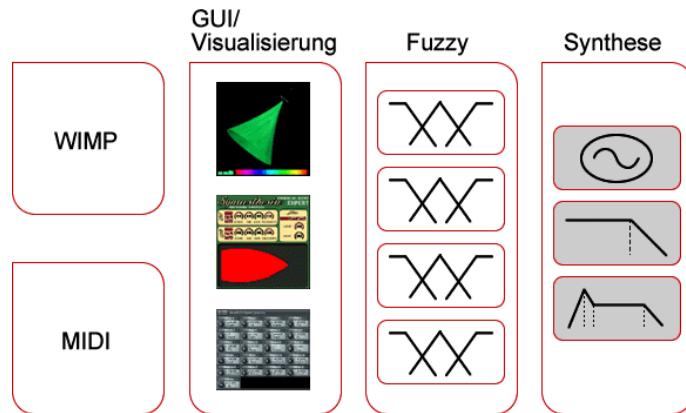


Abb. 2: Blockstruktur des Synthesizers

Für die Klangerzeugung wurde das Prinzip der subtraktiven Synthese gewählt. Folgende Bauteile wurden programmtechnisch umgesetzt: zwei Hochfrequenzoszillatoren, zwei Rauschgeneratoren sowie ein Digitalfilter, jeweils mit ADSR-Hüllkurvensteuerung (Tab. 1). Die Oszillatoren sind in der Lage, Sinus-, Sägezahn- und Pulswellen zu generieren. Der Synthesizer wurde auf Basis der offenen VST-Schnittstelle entwickelt [15].

Die Suche nach einer geeigneten Visualisierung zur Gestaltung der Nutzerschnittstelle stellte sich als stetiger Entwicklungsprozess dar. Das Grundprinzip umfasst die drei abstrakten visuellen Eingabeparameter *Form* (Geometrie), *Farbe* und *Material* (Textur) eines grafischen Modells, wobei dieses selbst als Metapher für den zu formenden Klang angesehen werden

kann. Der grafische Kontext sollte als dreidimensionale Visualisierung eines Klanges dargeboten und vom Benutzer intuitiv als solches verstanden werden.

Zur Anzeige des 3D-Modells wird ein modifiziertes *OpenGL*-Interface verwendet. *OpenGL* ist eine Spezifikation für eine von Plattform und Programmiersprachen unabhängige Schnittstelle zur Entwicklung von 3D-Computergrafik. Erforderlich war hier eine spezielle Anpassung an die Host-Schnittstelle Steinberg VST [15]; der Modifizierungsgedanke ist dem *MIVI Project* [16] entlehnt.

Bauteil	Anzahl	Stellgröße	gesamt
Hochfrequenzoszillator	2	Wellenform Oktavverstimmung Feinverstimmung relative Lautstärke Pulsbreite	10
Rauschgenerator	2	Rauschanteil	2
Digitalfilter	1	Charakteristik Grenzfrequenz Resonanz	3
ADSR-Hüllkurvengenerator	2	Attack (A) Decay (D) Sustain (S) Release (R)	8
Dimension der Regelmatrix			23

Tab. 1: Parameter des implementierten subtraktiven Klangerzeugers

Neben der Integration einer 3D-Oberfläche in ein VST-Plugin war eine weitere Herausforderung durch die notwendige Zuordnung der Parameter zwischen dem stark abstrahierten visuellen Klangmodell und den zugehörigen Parametern des subtraktiven Klangerzeugers gegeben (Tab. 1). Die Grundfrage besteht darin, wie die große Anzahl an Stellgrößen der Klangerzeugung sinnvoll und nachvollziehbar reduziert werden kann.

Da auch durch die Verwendung eines 3D-Modells die Anzahl der Freiheitsgrade der Klangerzeugung nicht eindeutig abgebildet wird, kann eine lineare Zuordnung zwischen den Parametern nicht eingesetzt werden. Eine wichtige Anforderung ist, dass sich alle Stellgrößen gleichzeitig aufeinander beziehen können und zudem wahrnehmungspsychologische Phänomene des menschlichen Hörempfindens berücksichtigt werden müssen. Der Einsatz

von Fuzzy-Controllern bietet hier eine Lösung an; eine Komplexitätsreduktion und eine Integration von vorhandenem Wissen werden möglich.

Die Transformationsebene besteht aus mehreren unabhängigen Fuzzy-Controllern, die das Wissen um die Wirkungsweisen und Eigenheiten von subtraktiven Klangerzeugern sowie Phänomene der menschlichen Wahrnehmung abbilden. Da diese Informationen zum Teil sehr subjektiv sind, ist das Design der Fuzzy-Controller so angelegt, dass eine flexible Anpassung ermöglicht wird.

Die Implementierung der Fuzzy-Controller basiert auf der Free Fuzzy Logic Library [17]. Die Programmierung der Controller erfolgt dabei über die von der International Electrotechnical Commission [18] entwickelte Fuzzy-Control-Language (FCL) [19]. Die entsprechenden ASCII-Dateien (Abb. 3) werden zur Laufzeit in das VST-Plugin eingebunden.

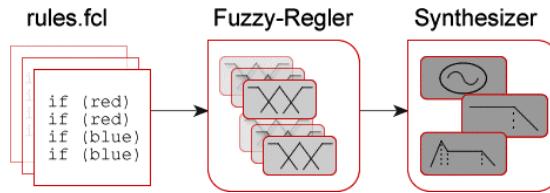


Abb. 3: Zusammenwirken der Fuzzy-Baugruppen

Material und Form des 3D-Modells visualisieren statische Klangeigenschaften. Dafür wurden Textureigenschaften bestimmt, die innerhalb der Möglichkeiten des Klangerzeugers liegen und als Metapher nachvollziehbar sind [8]: weich bzw. nachgiebig, glatt bzw. hart und rau bzw. stachelig. Aus der Struktur des realisierten Klangerzeugers ergibt sich die Verwendung eines diskreten Schalters für diesen Parameter.

Farb-Gefühl-Kopplungen sind nur bedingt zu verallgemeinern. Daher führte die Auswahl der Objektfarbe zur Verwendung des *Wasserhahnprinzips*, welches der Farbe Rot einen warmen, der Farbe Blau einen kalten Charakter zuschreibt. Der Charakter soll auch im resultierenden Klang des Synthesizers wiedergegeben werden. Dabei ist diese Farbassoziation weniger psychologisch begründet, als vielmehr kulturell gewachsen und kann daher als etabliert angesehen werden. Die Nutzerschnittstelle verwendet für die Wahl der Farbe eine stufenlose Einstellmöglichkeit in Form eines Farbbalkens. Hier kommt nun die Komplexitätsreduktion

mittels unscharfer Abbildungen zum Einsatz: Die beiden Parameter *Farbe* und *Material* abstrahieren durch Fuzzy-Logik auf den höher dimensionierten Parameterraum der für die Manipulation von Oszillatoren und Filterelement notwendig ist.

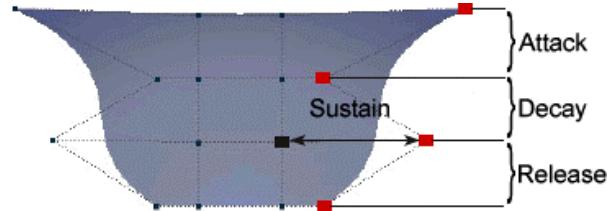


Abb. 4: ADSR-Modell als Vorlage für eine Visualisierung der Klangform

Die Eingabemöglichkeit mit der größten Variabilität ist durch die Form des 3D-Modells gegeben. Hiermit werden die Hüllkurven und damit die Änderung des Klangs über der Zeit wahlweise durch eine lineare Abbildung von Eingabe- auf Stellgrößen oder durch eine unscharfe Abbildung mittels Fuzzy-Logik gesteuert. Die Form des 3D-Modells ist dabei von der Geometrie abgeleitet, die aus den Stützstellen der vier Stufen einer ADSR-Hüllkurve besteht (Abb. 4).

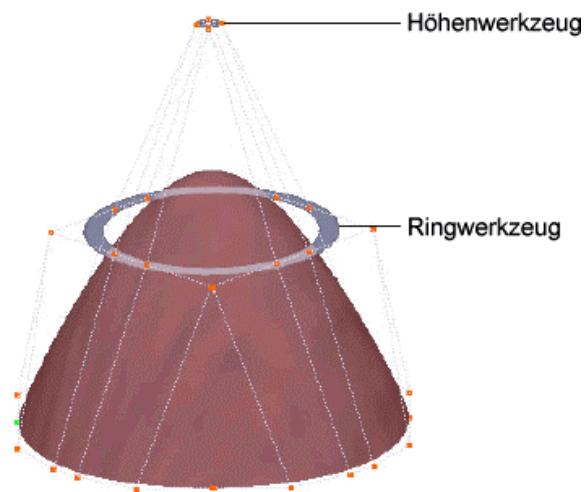


Abb. 5: Formwerkzeuge (Höhenwerkzeug: Parameter Höhe [0,1] = maximale Höhe des Objekts / aktuelle Höhe des Objekts; Ringwerkzeug: Parameter Weite [0,1] = maximale Weite des Objekts / aktuelle Weite des Objekts; Ringwerkzeug: Parameter Ringhöhe [0,1] = aktuelle Höhe des Objekts / aktuelle Höhe des Rings)

Die Stützstellen werden als Kontrollpunkte eines Bézier-Interpolationverfahren verwendet, welches dem 3D-Modell eine geschlossene und stetige Optik verleiht sowie die stufenlose Verformbarkeit gewährleistet. Insgesamt ergeben sich damit drei Eingabeparameter: *Höhe*, *Weite* und *Wölbung*. Diese werden durch die Translation von Bézier-Kontrollpunkten beeinflusst und vom Benutzer über zwei unabhängige Werkzeuge gesteuert (Abb. 5).

3.2 Personalisierung der 3D-Oberfläche

Die Komplexitätsreduktion folgt einer unscharfen Logik, die Untersuchungen zufolge der Subjektivität des Benutzers unterliegt. Aus diesem Grund wurde ein Assistent entwickelt, durch den eine Personalisierung des Synthesizers ermöglicht wird. Die Idee ist dabei, dass der Benutzer vorgegebenen Metaphern des 3D-Modells – seinem Empfinden nach – bestmöglich passende Klänge des Klangerzeugers zuordnet. Die Zuordnungen von visuellen Repräsentationen der Klänge und Parametern des Klangerzeugers werden als nichtlineares Regelwerk erfasst und in die entsprechenden ASCII-Dateien (FCL-Dateien) eingetragen; diese repräsentieren die Fuzzy-Controller.

Bei der personalisierenden Konfiguration werden zwei Strategien verfolgt: Zum Einen soll ein technisch und musikalisch versierter Nutzer die Parameterzuordnung ohne Einschränkung der Parametervielfalt im manuellen Betrieb festlegen können (Abb. 6), zum Anderen soll eben diese Vielfalt für einen weniger versierten Nutzer im automatischen Betrieb eingeschränkt werden (Abb. 7). Hier wird ein iterativer Optimierungsprozess basierend auf Prinzipien der Künstlichen Intelligenz eingesetzt, über den versucht wird, durch den Nutzer gegebene Klänge (Zielklänge) in digitaler Form mit den Möglichkeiten des Klangerzeugers bestmöglich zu approximieren (Resultatkänge).

Als Metaphern werden zum Einen diejenigen verwendet, die sich anschaulich gesehen an den Ecken des zweidimensionalen Raumes befinden, der durch die Parameter *Farbe* und *Material* aufgespannt wird, zum Anderen jeweils die Eckpunkte, die durch die minimalen und maximalen Ausprägungen der Größen *Höhe*, *Weite* und *Wölbung* bestimmt sind. Die Metaphern wurden so ausgewählt, dass sie eine gute Basis für die automatische Ermittlung von Fuzzy-Controllern bieten. Um den Nutzer nicht zu überfordern wurde ein Kompromiss zwischen der Anzahl der Metaphern und dem Zeitbedarf der Personalisierung gefunden.

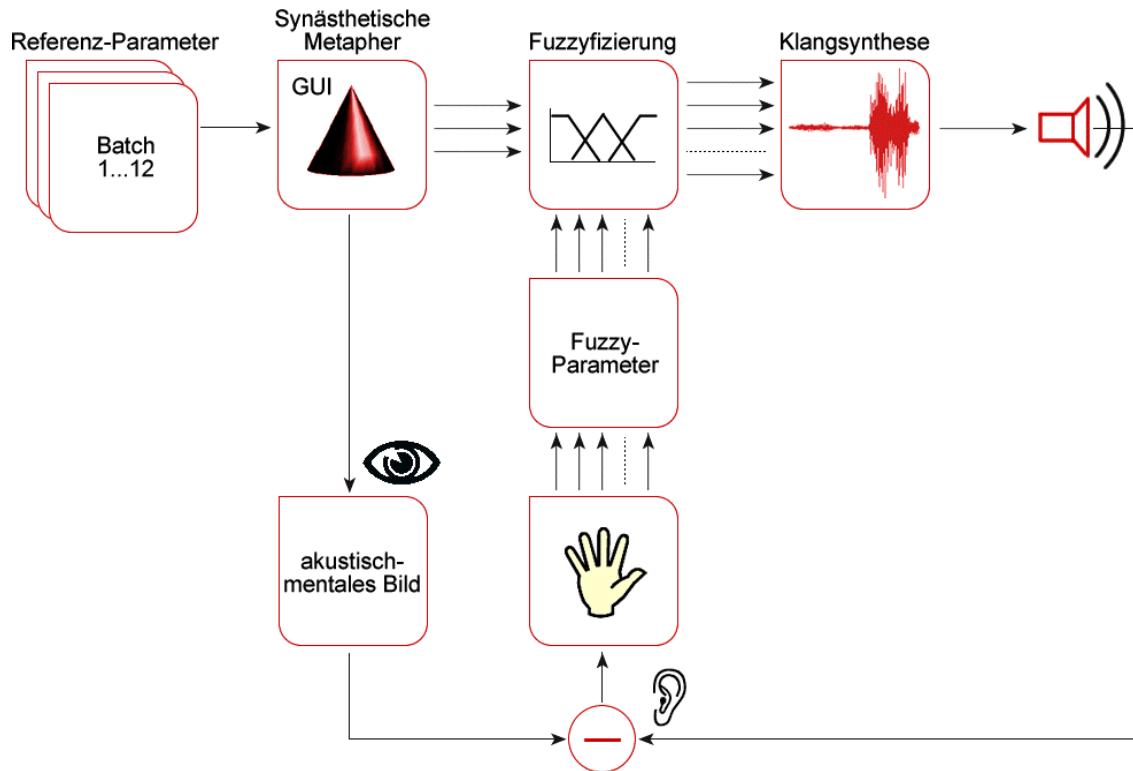


Abb. 6: Manueller Betrieb des Assistenten

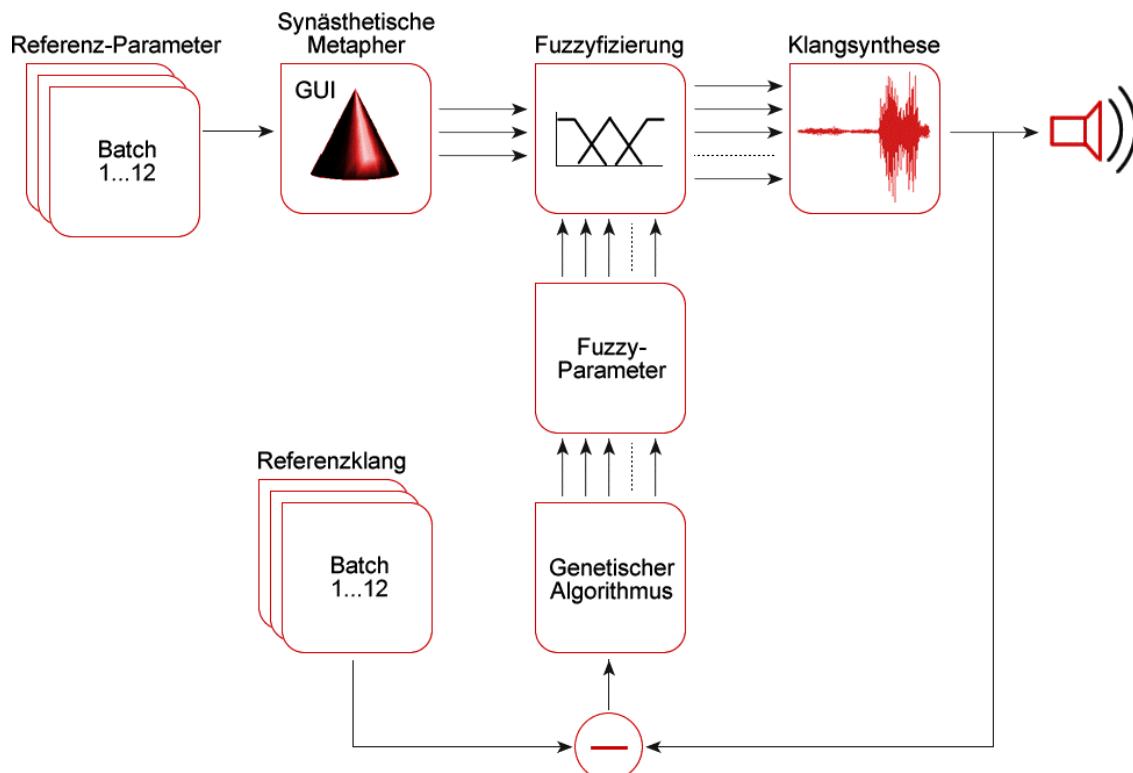


Abb. 7: Automatischer Betrieb des Assistenten

Der Ablauf der Personalisierung gestaltet sich wie folgt:

1. Dem Nutzer werden diese 12 visuelle Metaphern vorgegeben (Abb. 8). Für jede dieser Metaphern ist ein Resultatklang zu ermitteln, der den vom Nutzer gegebenen Zielklang bestmöglich approximiert. Die Suche kann je nach technischem Hintergrund des Nutzers wahlweise im manuellen oder automatischen Betrieb erfolgen.
 - a) Manueller Betrieb: Eine Reihe visueller Referenzmetaphern wird vorgegeben, denen nutzervereinbarte Klangmuster durch hörend-abgleichende Versuche zugeordnet werden.
 - b) Automatischer Betrieb: Den visuellen Referenzmetaphern werden Klangmuster in digitaler Form idealtypisch zugeordnet. Ein Genetischer Algorithmus versucht, die Vorgaben auf der Basis des konkreten Syntheseverfahrens optimal nachzubilden.
2. Der Assistent erzeugt auf Basis der ermittelten Parameterkombination die entsprechenden FCL-Dateien zur Verwendung im Synthesizer.

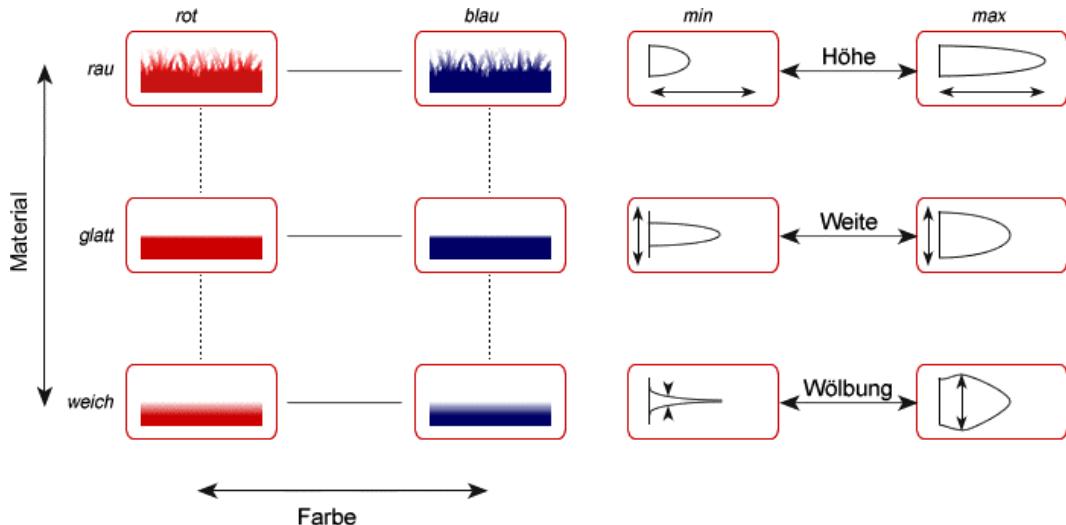


Abb. 8: Die 12 verwendeten Metaphern im Assistenten

Beim manuellen Betrieb beschränkt sich die Funktionalität des Assistenten auf das Erfassen der Stellgrößen pro Metapher und anschließende Erzeugung der Fuzzy-Controller für den Synthesizer. Im automatischen Betrieb muss der Assistent jedoch eine Parameterkombination

finden, die das Ergebnis des Klangerzeugers (Resultatklang) so nahe wie möglich an das vom Benutzer vorgegebene Audiobeispiel (Zielklang) herankommen lässt. Dies geschieht jeweils, indem eine große Menge von möglichen Resultatkängen erzeugt und mit dem Zielklang verglichen wird. Dabei ist eine zielgerichtete Strategie bei der Findung von Parameterkombinationen zu verfolgen.

Die Menge der erzeugbaren Resultatkänge ist gegeben durch die Menge der Parameterkombinationen $C = P_1 \times \dots \times P_{23}$, dem Kreuzprodukt der Mengen der Parameterwerte P_i ($i = 1 \dots 23$). Die Güte einer Kombination c repräsentiert den Abstand zum Zielklang und wird mit Hilfe der Bewertungsfunktion $f: C \rightarrow \mathbf{R}_+$ bestimmt. Ziel ist es, eine optimale Kombination $c^* \in C$, die einen Resultatklang repräsentiert, so auszuwählen, dass gilt: $f(c^*) \leq f(c) \forall c \in C$. Dies führt zu einem Problem der kombinatorischen Optimierung

$$P = (C, f).$$

Beim vorliegenden Algorithmus zur subtraktiven Klangerzeugung ergibt sich ein Lösungsraum von $C = 5,4 \cdot 10^{44}$ potenziell erzeugbaren Klängen. Da eine Lösungsfindung mit Hilfe vollständiger Verfahren (Evaluation aller möglichen Lösungen) eine zu hohe Rechenzeit beansprucht, wird hier ein approximatives Verfahren eingesetzt. In diesem Zusammenhang wurde ein Genetischer Algorithmus [20][21][22] entwickelt, der die Suche schnell auf potenziell interessante Gebiete des Lösungsraumes lenken soll. Ein Genetischer Algorithmus ist ein generisches Lösungsverfahren, welches den natürlichen Prozess der Evolution [23] abstrahiert. Er arbeitet parallel mit einer Menge von Lösungen, die miteinander interagieren können. Das Ziel ist, aus einer per Zufall erzeugten Initial-Population mit der Zeit immer bessere Generationen von Lösungen zu erzeugen.

Das vorliegende Optimierungsproblem lässt sich durch den Genetischen Algorithmus abstrahieren (Abb. 9). Ein Resultatklang (Individuum) wird durch seine zur Synthese erforderliche Parameterkombination c (Genom) eindeutig bestimmt. Aus einer zufällig erzeugten Initial-Population (Menge von Individuen) werden iterativ verbesserte Lösungsmengen (Generationen) durch mathematische repräsentierte Operationen nach dem Muster der Selektion, Kreuzung und Mutation der beteiligten Individuen erzeugt. Die Selektions- bzw. Überlebenswahrscheinlichkeit eines Individuums wird durch seine Fitness bestimmt. Durch die Bewertungsfunktion f wird jedem Individuum ein Wert für dessen Fitness zugeordnet.

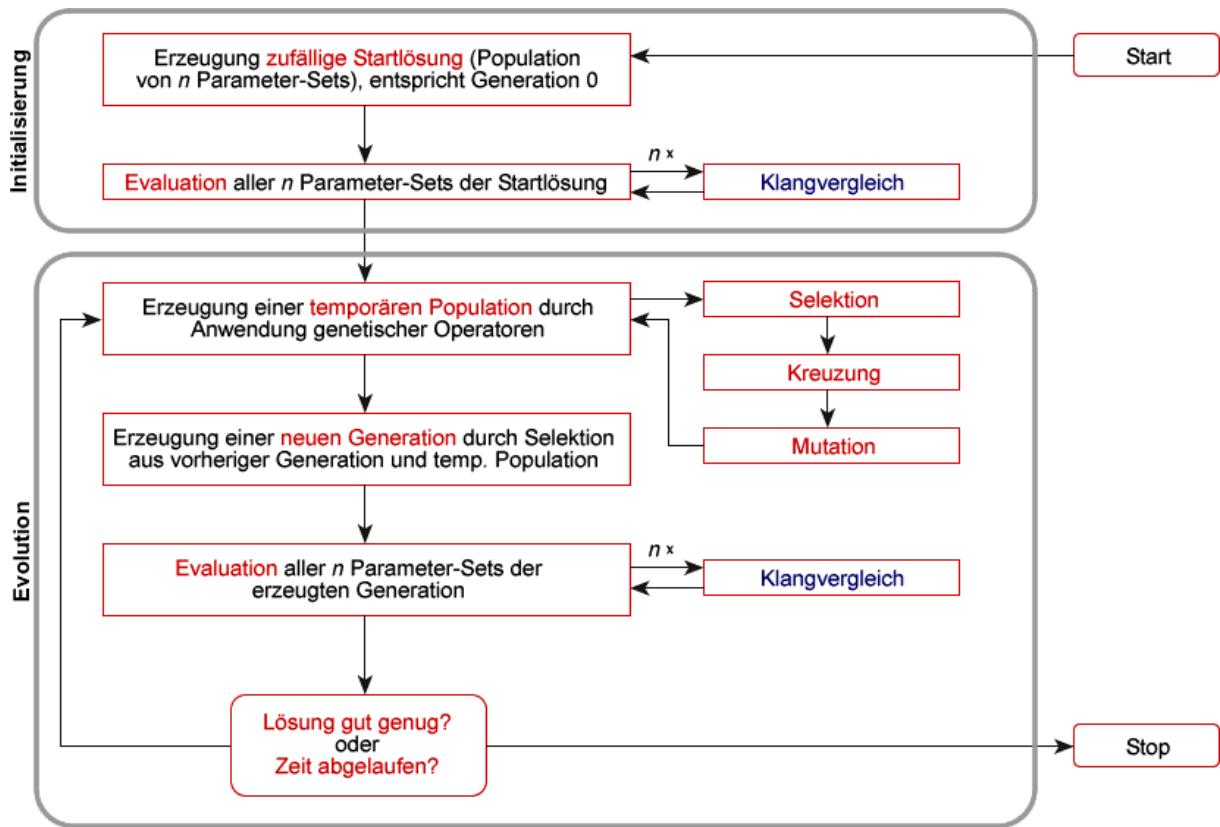


Abb. 9: Ablaufschema des Genetischen Algorithmus

Als Abbruchkriterium wird neben der Anzahl der durchlaufenen Generationen auch ein Konvergenztest eingesetzt. Getestet wird, ob in einem bestimmten Zeitraum eine vorgegebene Verbesserung der Fitness erreicht werden konnte. Ist dies nicht der Fall, wird eine Konvergenz gegen einen optimalen Fitnesswert angenommen und abgebrochen. Das ist nötig, da die Fitness von der Möglichkeit der Approximation des vom Nutzer gelieferten Zielklanges durch den Klangerzeuger abhängig ist. Der Wert für die Fitness eines vorgeschlagenen Resultatklanges wird aus der Unterschiedlichkeit zum Zielklang ermittelt. Beide Klänge werden einem Verfahren unterzogen (Abb. 10), das aus den jeweiligen Amplitudenspektren ein Differenzspektrum berechnet. Es wird eine Gewichtung und Irrelevanzreduktion entsprechend psychoakustischer Gesetzmäßigkeiten vorgenommen [24]. Je niedriger das Differenzspektrum, desto höher fällt der Wert für die Fitness des entsprechenden Resultatklanges (Individuum) aus.

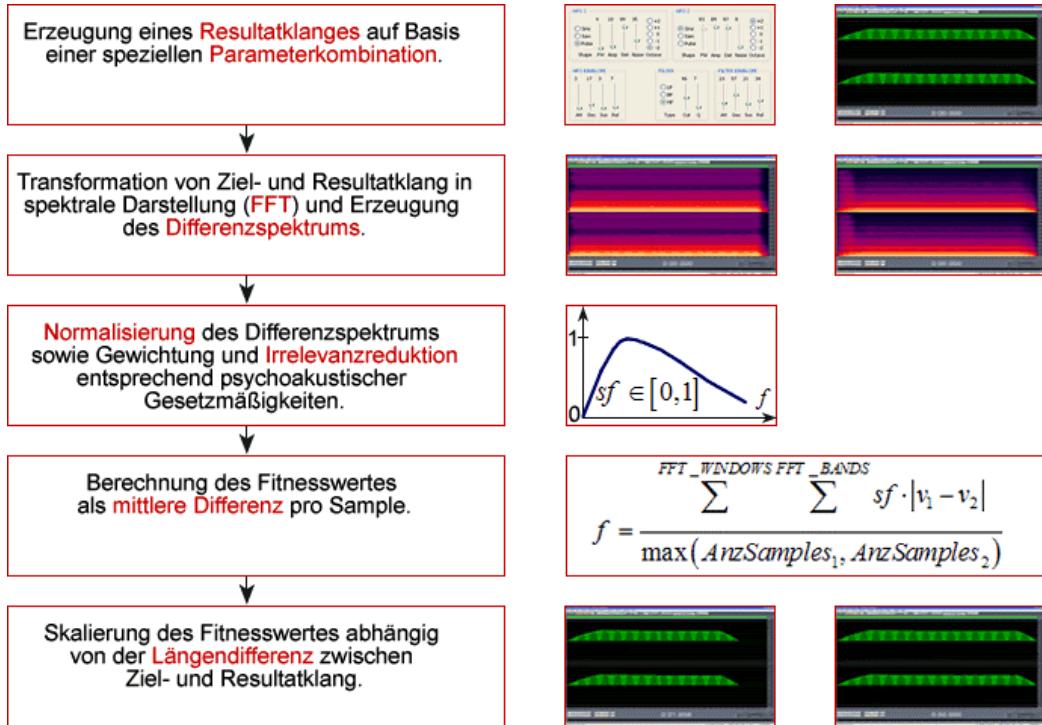


Abb. 10: Bestimmung des Fitnesswerts eines Resultatklanges im automatischen Betrieb

Für den Test des Assistenten im automatischen Modus wurde die Konfiguration des genetischen Algorithmus experimentell bestimmt. Dabei wurden 10 Populationen mit je 70 Individuen parallel entwickelt. Als Operatoren wurden 2-Punkt-Kreuzung und Flip-Mutation mit Wahrscheinlichkeit von 0,9 und 0,03 eingesetzt. Es wurden maximal 500 Generationen entwickelt, wobei nach jeweils 50 Generationen ein Konvergenztest durchgeführt wurde.

4 Erfahrungen

Die Entwicklung des Synthesizers wurde von zwei wichtigen Fragen begleitet:

1. Können Klänge durch die Metaphern *Material*, *Form* und *Farbe* kategorisiert und beschrieben werden?
2. Wie subjektiv ist die Zuordnung von Klängen und Metaphern?

Durch Anwendertests und Befragungen stellte sich heraus, dass die Verwendung der visuellen Metapher als alleinige Steuerung des Synthesizers keineswegs eine allgemeingültige Sichtweise trifft. Es ist notwendig, das klangliche Resultat der dargebotenen Visualisierung

für jeden Benutzer individuell zu konfigurieren. Diese Erkenntnis führt zur Entwicklung des Assistenten für die Konfiguration der Fuzzy-Controller.

Für Experten stellte das Personalisieren im manuellen Betrieb kein Hindernis dar. Mit Hilfe von Beispielklängen wurde die automatische Suche nach passenden synthetischen Approximationen getestet (Tab. 2).

Zielklang	Benötigte Anzahl Generationen	Terminierung durch Konvergenz	Bewertung des Resultatklanges
Akkordeon	500	-	gut
Piano	329	x	gut
Nylon-Gitarre	500	-	gut
Streicher	500	-	mittel
Vibraphon	348	x	schlecht
Sprache	312	x	keine Ähnlichkeit

Tab. 2: Resultate für verschiedene Zielklänge im automatischen Betrieb des Assistenten

Die Güte der Resultatklänge hängt dabei von der verwendeten Klangerzeugung sowie den Zielklängen ab. Wie erwartet stellte sich heraus, dass ein Klang, der mit den Möglichkeiten des Klangerzeugers durch Parametereinstellung von Experten gut nachgebildet werden kann, auch im automatischen Betrieb gut angenähert wird. Komplexe – insbesondere impulsartige Klänge – erreichen weniger gute Ergebnisse unter einem erhöhten Zeitbedarf. Für alle Zielklang-Beispiele wurden bis auf kleine Abweichungen die korrekten Klanglängen samt Hüllkurven ermittelt.

Mit Synthesizer und Assistent wurde ein System geschaffen, mit dessen Hilfe Experimente zur Beantwortung der Fragenstellungen nach der Möglichkeit einer Steuerung von Klängen durch visuelle Metaphern sowie der Subjektivität einer solchen Zuordnung durchgeführt werden konnten. Es wurde eine zweistufige Testreihe durchgeführt, die aus der Generierung und der Verifikation von Hypothesen bestand. Im ersten Schritt wurden Experten mit der Aufgabe betraut, den Synthesizer mit Hilfe des Assistenten im manuellen Betrieb zu personalisieren. Die gefundenen Metapher-Klang-Zuordnungen sollten in einem zweiten Schritt von den Probanden verifiziert werden. Dazu wurden die während der Personalisierung eingestellten Resultatklänge mehrfach in veränderter Reihenfolge dargeboten und von den Testpersonen auf Projektionen des Metaphern-Raumes abgetragen.

Die Hypothese, dass eine allgemeine Farbe-Material-Klang-Synästhesie existiert, lässt sich ansatzweise bestätigen. Probleme bereiten die Parameter für die zeitliche Invarianz des Klanges. Der Ansatz für die Form-Klang-Synästhesie ist schwer haltbar. Es hat sich in diesem Zusammenhang herausgestellt, dass insbesondere die Auswirkungen der Metaphern *Weite* und *Wölbung* nicht intuitiv zu erfassen sind.

Wegen der Komplexität der Fragestellungen ist eine abschließende Aussage zu den Wechselwirkungen von visuellen und akustischen Parametern noch nicht vollständig möglich. Die geschaffene experimentelle Basis erlaubt jedoch, weiteren Fragestellungen synästhetischer Wahrnehmungsphänomene in systematischer Form auf den Grund zu gehen.

5 Zusammenfassung

Im Ergebnis der Arbeiten entstand ein Modulsystem mehrerer virtuell-analoger Klangerzeuger, variabler 3D-Computergrafik-Metaphern, vielfältiger Mensch-Maschine-Schnittstellen und ein Maschinenlernsystem, welches Genetische Algorithmen, digitale Signalverarbeitung, Fuzzy-Logik und Klangerzeugung vereint. Auf Grundlage der Ergebnisse scheint es aussichtsreich, weitere Metaphern und Syntheseverfahren zu erproben und deren Tauglichkeit auf der Grundlage von psychologischen Testverfahren weiter gründlich zu untersuchen.

Die Schaffung personalisierter Nutzungskonzepte kann künftig für viele komplexe Systeme ein sinnvoller Weg sein. In diesen Kreis gehören auch leistungsfähige elektronische Musikinstrumente. Damit Kinder und Laien diese künftig leichter bedienen und schneller zu schöpferischen Leistungen gelangen können, sollten Entwicklungsarbeiten auf der Basis des maschinellen Lernens, effizienterer Algorithmen und verbesserter Gerätetechnik fortgeführt werden.

Literatur

- [1] Wanderley; M.; Battier, M.: Electronic Controllers in Music Performance and Composition. In: Trends in Gestural Control of Music, CD. IRCAM Paris 2000.
- [2] Jordà, S.: FMOL: Toward User-Friendly, Sophisticated New Musical Instruments. Computer Music Journal 26(2002)3, S. 23-39.
- [3] Cook, P.: Principles for Designing Computer Music Controllers.
<http://www.cs.princeton.edu/~prc/CHI01Web/prcchi01.pdf> (Zugriff 12.10.2004)
- [4] Farbood, M.; Pasztor, E.; Jenings, K.: Hyperscore: A Graphical Sketchpad for Novice Composers. IEEE Computer Graphics and Applications. 24(2004)Jan./Feb., S. 50-54
- [5] Robson, D.: Play!: Sound Toys for Non-Musicians. Computer Music Journal. 26(2002)3, S. 50-61.
- [6] Wanderley, M. M.; Orio, N.: Evaluation of Input Devices for Musical Expression: Borrowing Tools from HCI. Computer Music Journal. 26(2002)3, S. 62-76.
- [7] Mulder, A. G.: Design of Virtual Three-dimensional Instruments for Sound Control. Dissertation Groningen, 1989.
- [8] Thies, W.: Grundlagen einer Typologie der Klänge. Verlag Karl Dieter Wagner Hamburg, 1982.
- [9] Cytowic, R. E.: Synesthesia: a union of the senses. MIT Press Cambridge, 2002
- [10] Harrison, J. E.; Baron-Cohen, S.: Synesthesia: Classic and Contemporary Readings. Blackwell Publishers, 1996. ISBN 0631197648
- [11] Luckner, P.: Multisensuelles Design. Hochschule für Kunst und Design Halle-Giebichenstein, 2002. ISBN 3890190318.
- [12] Burton, A. R.: Generation of Musical Sequences with Genetic Techniques. Computer Music Journal. 23(1999)4, S. 59-73.
- [13] Miranda, E. R.: At the Crossroads of Evolutionary Computation and Music: Self-Programming Synthesizers, Swarm Orchestras and the Origins of Melody. Evolutionary Computation 12(2004)2, S. 137-158.
- [14] Leman, M.: Visualization and Calculation of the Roughness of acoustical Musical Signals using the Synchronization Index Model. Proceedings DAFX-00 Verona, 2000.
- [15] Steinberg 3rd Party Developers, http://www.steinberg.net/Steinberg/Developers.asp?Langue_ID=4 (Zugriff 12.10.2004)

- [16] MIVI – a musical instrument visual interface. University of York.
<http://www.nashnet.co.uk/mivi/index.htm> (Zugriff 12.10.2004)
- [17] Free Fuzzy Logic Library, <http://fll.sourceforge.net> (Zugriff 12.10.2004)
- [18] International Electrotechnical Commission, <http://www.iec.ch> (Zugriff 12.10.2004)
- [19] Fuzzy-Control-Language (IEC 61131-7), working draft 1.0,
<http://www.fuzzytech.com/binaries/ieccd1.pdf> (Zugriff 12.10.2004)
- [20] Mitchell, M.: An Introduction to Genetic Algorithms. Bradford Books. MIT Press, 1999, ISBN 0262133164.
- [21] Karr, C. L.; Freeman L. M. (ed.): Industrial Applications of Genetic Algorithms. CRC Press, Boca Raton, 1998. ISBN 0849398010.
- [22] Hentschel, J.: Digitale Klangsynthese mit Hilfe Genetischer Algorithmen. Diplomarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, 2002.
- [23] Pohlheim, H.: Entwicklung und systemtechnische Anwendung Evolutionärer Algorithmen. Shaker-Verlag Aachen, 1998. ISBN 3826540972.
- [24] E. B. Goldstein E. B. (Hrsg.): Wahrnehmungspsychologie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2002. ISBN 3827410835.