

## Music processing und Kognitive Musikwissenschaft

Uwe Seifert, Kerstin Neubarth, Lüder Schmidt

Musikwissenschaftliches Institut, Universität zu Köln – SFB/FK 427 Medien und kulturelle Kommunikation

Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln, Deutschland

Email: {u.seifert, lueder.schmidt}@uni-koeln.de, k.neubarth@web.de

### Einleitung

Bei der Kognitiven Musikwissenschaft handelt es sich um ein Forschungsprogramm, das im Rahmen des kognitionswissenschaftlichen Forschungsparadigmas durch die Verbindung von kognitions- und medienwissenschaftlichen Fragestellungen eine Transformation musikwissenschaftlicher Forschung anstrebt. Seit dem Jahr 2000 wird in der Lehre der Kölner Musikwissenschaft an einer Integration der durch Kognitions- und Medienwissenschaften bedingten konzeptuellen Neuerungen gearbeitet, um eine Anbindung an die in der Tradition Helmholtz' stehende Systematische Musikwissenschaft zu erreichen. Inzwischen können Lehre und Forschung sich wechselseitig stützend betrieben werden, so dass seit 2004 eine Fokussierung auf die sich durch den veränderten Kontext ergebenden neuartigen Forschungsfragen möglich ist. „Music processing“ wird in der Kognitiven Musikwissenschaft unter der generellen Fragestellung angegangen, inwieweit „Musik“ sich als verkörperte Informationsverarbeitung des menschlichen Geistes wissenschaftlich untersuchen lässt und digitale Simulation methodologisch als ein zentrales Instrument in die musikwissenschaftliche Forschungspraxis zu integrieren ist. Den Bezugsrahmen stellt die Automatentheorie [2] als allgemeine Konzeptualisierung informationsverarbeitender Systeme bereit. Innerhalb dieses Rahmens können neobehavioristisch-konnektionistische [9], klassisch-logische [3] sowie interaktionistische [1] Forschungspositionen und die aus ihnen resultierenden Strategien unterschieden werden.

### Problem Lernfähigkeit

Die Erforschung der Lernfähigkeit informationsverarbeitender Systeme ist für alle drei Positionen von zentraler Bedeutung. Für den Lernprozess ist das Verhältnis von in der Umwelt enthaltener Information und der Komplexität des vom System benötigten Vorwissens bzw. der Art der Lernmechanismen relevant. Die Richtungen unterscheiden sich hinsichtlich dieser Annahmen. Neobehavioristisch-konnektionistische Positionen nehmen an, dass die Umwelt genügend Informationen enthält und bereichsunspezifische einfache Lernmechanismen ausreichen, um Wissen zu erwerben, so dass die Annahme angeborener Prinzipien überflüssig ist. Klassisch-logische Ansätze dagegen postulieren gattungs- und bereichsspezifische angeborene Prinzipien, da die Umwelt nicht genügend Informationen enthält. Interaktionistische Forschungen gehen davon aus, dass es keine bereichsspezifischen Lernmechanismen gibt, aber elementare Mechanismen angenommen werden müssen. Lernen erfolgt durch Interaktion diverser kognitiver Bereiche so-

wie Kopplung des Systems an seine Umwelt. Lerntheoretische Resultate in Verbindung mit entwicklungspsychologischen Untersuchungsergebnissen deuten für natürliche Sprachen darauf hin, dass angeborene bereichsspezifische Prinzipien anzunehmen wären [11].

Innerhalb der Musiktheorie lässt sich eine Theorie der Musik unter Berücksichtigung von Forschungsergebnissen der Erlernbarkeitstheorie entwickeln. Eine solche Theorie steht im Kontext der Frage nach einem angeborenen gattungsspezifischen Musikvermögen, die derzeit vor dem Hintergrund von Ergebnissen der Erlernbarkeitstheorie verstärkt diskutiert wird [5, 6, 7]. Dabei stellt die bislang unbeantwortete Frage, in welche Klasse der Chomsky-Hierarchie musikalische Strukturen fallen, ein zentrales Problem dar, um Argumente wie z.B. das *poverty of stimulus argument* [11] für natürliche Sprachen oder komplexitätstheoretische Überlegungen bzgl. kognitiver Funktionen [9] für „Musik“ analog diskutieren zu können. Die zentrale bisher ungelöste Frage lautet: Lassen sich musikalische Strukturen wie natürliche Sprachen durch selbsteinbettende Rekursivität [3] charakterisieren, so dass sie mindestens in die Klasse der kontextfreien Sprachen fallen?

### Neuroidale Modellierung

Innerhalb des neobehavioristisch-konnektionistischen Rahmens verfolgt Valiant mit seinem neuroidalen Ansatz [9, 10] das Ziel eines allgemeinen und auf einer gewissen Abstraktionsebene biologisch adäquaten Modells menschlicher Kognition, das vielfältige kognitive Leistungen unter Berücksichtigung physiologischer Bedingungen wie Neuronenzahl, Anzahl und Stärke der Synapsen realisiert. Ein neuroidales Netz ist als Quintupel  $(G, W, X, \delta, \lambda)$  aus dem gerichteten Zufallsgraphen  $G$ , der Menge  $W$  möglicher Verbindungsgewichte, der Menge  $X$  möglicher Zustände von Knoten, der Aktualisierungsfunktion  $\delta$  für die Zustände und der Aktualisierungsfunktion  $\lambda$  für die Gewichtungen definiert. Verschiedene Formen des Lernens – überwachte bzw. unüberwachte Speicherung und Induktion – beruhen auf zwei grundlegenden Mechanismen: JOIN fasst konstitutive Merkmale als Boolesche Konjunktion oder Disjunktion zu einer neuen Merkmalskombination zusammen; LINK bildet eine Assoziation zwischen bereits erlernten primitiven oder komplexen Merkmalen. Lernalgorithmen definieren die Aktualisierungsfunktionen  $\delta$  und  $\lambda$ , die Initialisierung des Netzes (*initial conditions IC*) und die Lernbeispiele (*input sequence IS*).

Als musikbezogene Anwendung wurde ein einfaches neu-

roidales Netz implementiert, das musikalische Akkorde im Modus der unüberwachten Speicherung erlernt. Dabei wird ein Dreiklang als Konjunktion von drei Akkordtönen formuliert, z.B. der C-Dur-Dreiklang als  $C = c \wedge e \wedge g$ . Die Erweiterung des Lernalgorithmus für zwei- auf dreigliedrige Konjunktionen besteht in einer hierarchischen Speicherung des Akkords in zwei Schritten: (1)  $ce = c \wedge e$ , (2)  $C = ce \wedge g$ . Sich daraus ergebende aktuelle Fragestellungen bei der Implementation betreffen die Netzarchitektur (Zyklenfreiheit des Graphen) und die Kontrolle des Netzupdates (Aktivierungsausbreitung und Stabilitätskriterium). Weiterführende Aufgabenstellungen umfassen u.a. die Integration verschiedener Lernmodi in einem Netz (z.B. für Identifikation und Klassifikation von Akkorden) oder die Verarbeitung sequentieller Stimuli (z.B. Akkordfolgen).

### Musikalische Interaktion

Weitere Probleme ergeben sich bei dem Versuch, musikalisches Verhalten in realen künstlerischen oder sozialen Kontexten zu modellieren. Die besprochenen Ansätze beziehen sich in der Regel auf Individuen, die ihr Ausgabeverhalten in Reaktion auf bestimmte Dateneingaben modifizieren und dadurch Verhaltensweisen erwerben. Der Bezug dieser Daten zur Lebenswelt des Individuums und die Art ihrer Eingabe wird jedoch weitgehend aus der Diskussion ausgeklammert und bspw. in gesonderte Module für die Vorverarbeitung sensorischer Stimuli – für das Hören z.B. „auditorische Modelle“ – ausgelagert. Ebenso wird eine situationsadäquate Ausgabe durch symbolische / graphische Darstellungen ersetzt. Untersuchungen in so unterschiedlichen Bereichen wie Sprachwissenschaft, Entwicklungspsychologie kindlicher Fähigkeiten und reaktiver Robotik haben dazu geführt, dass in der Kognitionswissenschaft unter den Begriffen *Embodied Cognition* / *Embodied Cognitive Science* in zunehmendem Maße die körperliche Beschaffenheit und Aktivität eines Individuums und seine dadurch bedingte Kopplung an die Umwelt betont wird. Von besonderem Interesse sind dabei zum einen die Beschaffenheit und relative Anordnung von Sensoren und Aktuatoren eines Individuums sowie deren Zusammenspiel (intermodale Interaktion), zum anderen die Art der Umwelt – inklusive weiterer Individuen – und die Möglichkeiten gegenseitiger Beeinflussung. Theoretische Folgerungen aus dieser Art Überlegungen gehen insofern teilweise (*radical embodiment*, vgl. [4]) über interaktionistische Positionen hinaus, als bisherige Grundannahmen wie die o.g. Fokussierung auf einzelne Individuen oder die Unabhängigkeit kognitiver Systeme revidiert werden. Auch wird in Frage gestellt, dass die klassische Berechenbarkeits- und Automaten-theorie einen ausreichenden Rahmen für die beschriebenen Prozesse bildet [8].

Modellierungsansätze stützen sich auf Prinzipien vollständiger Agenten, die als Software-Agenten oder autonome Roboter realisiert werden [8]. Im Rahmen des Teilprojekts *Künstlerische Interaktivität in hybriden Netzwerken* des SFB/FK 427 sollen zwei mobile Kleinroboter des Typs *Khepera III* in musikalisch-künstlerische Interaktionen integriert werden. Neben

Entfernungssensoren verfügen die Roboter über eine (*KoreSound*-)Audiokarte und werden in das vorhandene Funknetz eingebunden. Außerdem werden sie mit Kameras für die Bewegungserfassung und Gestenerkennung ausgestattet. Die geringe Größe und das Fehlen beweglicher Teile reduzieren die Ausdrucksfähigkeit der Roboter auf globale Bewegungsverläufe sowie die Erzeugung von Signalen, die entweder in Klang umgesetzt werden oder Prozesse auf dem jeweils anderen Roboter bzw. auf im Netzwerk befindlichen Rechnern beeinflussen können. Für die Einbindung in eine Umgebung zur interaktiven Klangprogrammierung (bspw. mit *SuperCollider*) wird zur Zeit eine Schnittstelle entwickelt, um die Steuerung der Roboter über *Open Sound Control* anzusprechen. Da sich mehrere der genannten Komponenten noch in der Entwicklung befinden, wird die erste Herausforderung darin bestehen, ihr Zusammenwirken zu erkunden. Doch auch dabei wird es schon möglich sein, die medienbedingte Veränderung künstlerischer Prozesse in den Blick zu nehmen und einen ersten Schritt zur Modellierung musikbezogenen Verhaltens in einem realistischen Kontext zu tun.

### Literatur

- [1] Agre, P. E. & Rosenschein, S. J. (Hgg.) 1996. Computational Theories of Interaction and Agency. Cambridge, MA: MIT Press
- [2] Arbib, M. A. 1999. Automata, in: R. A. Wilson & F. C. Keil (Hgg.): The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences. Cambridge, MA: MIT Press, 60-63
- [3] Chomsky, N. 1963. Formal Properties of Grammars, in: R. D. Luce, R. R. Bush & E. Galanter (Hgg.): Handbook of Mathematical Psychology, Vol. II. New York/London: Wiley, 325-418
- [4] Clark, A. 1999. An Embodied Cognitive Science?, in: Trends in Cognitive Science 3, 345 - 351
- [5] Fitch, W. T. & Hauser, M. D. 2004. Computational Constraints on Syntactic Processing in a Nonhuman Primate, in: Science 303, 377-380
- [6] McDermott, J. & Hauser, M. D. 2005. The Origins of Music: Innateness, Uniqueness, and Evolution, in: Music Perception 23, 29-59
- [7] Osherson, D. N. & Weinstein, S. 1984. Formal Learning Theory, in: M. S. Gazzaniga: Handbook of Cognitive Neuroscience. New York: Plenum, 275-292
- [8] Pfeifer, R. & Scheier, C. 1999. Understanding Intelligence. Cambridge, MA: MIT Press
- [9] Valiant, L. G. 1994. Circuits of the Mind. Oxford: Oxford University Press
- [10] Valiant, L. G. 2005. Memorization and Association on a Realistic Neural Model. Neural Computation 17(3), 527-555
- [11] Wexler, K. 1991. On the Arguments from the Poverty of the Stimulus, in: A. Kasher (Hg.): The Chomskyan Turn. Oxford: Blackwell, 252-270