

Gerhard Eckel, Francisco Iovino, René Causs

## Modalys

Klangsynthese mit physikalischen Modellen\*

\* Der Aufsatz wurde zuerst in *Proceedings of the International Symposium of Music Acoustics 1995*, Le Normant, Dourdan 1995 veröffentlicht; er erscheint hier zum ersten Mal in deutscher Übersetzung, die vom Autor noch einmal überarbeitet wurde. ↑

1 Vgl. Ph. Depalle, X. Rodet, *De la voix aux instruments*, in: *Cahiers de l'IRCAM*, Nr. 2/1993, S. 121-139. ↑

2 Vgl. G. Eckel, R. González-Arroyo, *Musically Salient Control Abstractions for Sound Synthesis*. *Proceedings of the 1994 International Computer Music Conference*, ACM San Francisco 1994, S. 256-259. ↑

3 ebd. ↑

4 Modalys ist das vom Forschungsteam

Die Art und Weise, wie Komponisten denken und imaginieren, hat sich mit der Entwicklung der Nachrichtentechnik in unserem Jahrhundert radikal verändert. Die Klangübertragung durch Mikrophone und Lautsprecher erlaubt es, das Klangphänomen von seinen mechanischen und akustischen Herstellungsmechanismen (Instrument) durch analoge Repräsentation in Form von elektrischem Strom abzukoppeln. Klangübertragungs- und Speichertechniken (Radio und Tonband) nutzen solche und andere analoge Repräsentationsformen, um den Klang in Raum und Zeit zu delokalisieren. Analoge Klangerzeugungs- und Klangbearbeitungsgeräte (Analogstudio) erlauben die direkte Produktion und Veränderung dieser analogen Klangrepräsentationen. Das gestattet Komponisten, Klänge zu schaffen, die man abstrakt nennen könnte, denn ihre Struktur ist an keine mechanischen und akustischen Systeme (ausgenommen Lautsprecher und Raumakustik) mehr gebunden.

Die digitale Repräsentation von Schallsignalen, wie sie heutzutage in Computersystemen verwendet wird, vergrößert noch einmal die Flexibilität der Komponisten. Digitale Klangsynthese und -bearbeitung ist nicht mehr an die flüchtige Natur des elektrischen Stroms, der den Klang »in der Zeit« repräsentiert, gebunden. Der Computer repräsentiert Schallsignale als Folge von Zahlenwerten »außerhalb der Zeit« und wandelt sie nur bei Bedarf (bei der Ein- und Ausgabe) in die analoge Darstellung um. So entfallen die Beschränkungen, die durch die »kausale Natur« des analogen Studios entstanden sind. Darüber hinaus erlaubt eine digitale Klangrepräsentation, die nicht nur auf bloße Folgen von Abtastwerten beschränkt ist, sondern auch auf abstrakteren mathematischen Modellen zur Klangdarstellung basieren kann, eine gezielte und unabhängige Arbeit an einzelnen Klangeigenschaften.

Allgemein gesprochen ist der Klang durch die moderne Digitaltechnik immaterieller (seine Erzeugung ist nicht mehr an Instrumente und Interpreten gebunden) und zugleich objekthafter geworden (er wird durch Werkzeuge, die an seiner Repräsentation ansetzen, direkt handhabbar).

### Klangsynthese

Unter Klangsynthese verstehen wir alle mathematischen Techniken zur

Interfaces und Klangrepräsentationen unter Gerhard Eckel entwickelte Nachfolgemodell von Mosaic, dem von Jean-Marie Adrien entworfenen und von Joseph Morrison 1991 installierten modalen Klangsynthese-System des IRCAM. Die neue Version ist über den IRCAM Benutzer-Service FORUM IRCAM für DECS, NeXT, SGI und Macintosh Computer erhältlich. [↑](#)

5 Vgl. J. M. Adrien, *The Missing Link: Modal Synthesis*, in: G. de Poli, A. Picalli, C. Roads (eds.), *Representations of Musical Signals*, MTI Press, Cambridge Massachusetts 1991 [↑](#)

6 Vgl. C. Cadoz, *Timbre et causalité*, in: J.-B. Barrière, *Le timbre, métaphore pour la composition*, Christian Bourgeois Editeur/IRCAM, Paris 1991. [↑](#)

7 Siehe Anm. 1. [↑](#)

8 Vgl. Y. Potard, P.F. Baisnée, J.-B. Barrière, *Méthodologie de synthèse du timbre: l'exemple des modes de résonance*, in: J.-B. Barrière, *Le timbre, métaphore pour la composition*, a.a. O. [↑](#)

Klangerzeugung und -veränderung. Jede Technik basiert dabei auf einem bestimmten Modell, das eine Klasse von Klängen repräsentiert und diese simulieren kann. Wir können zwei Modelltypen unterscheiden. Modelle, die das Klangphänomen als Schallsignal beschreiben, werden meist Signal-Modelle genannt (z. B. additive Synthese)<sup>1</sup>. Modelle, die den Erzeugungsmechanismus des Klangs, also einen physikalischen Prozeß beschreiben, werden gewöhnlich als physikalische Modelle bezeichnet (z. B. modale Synthese). Für den Komponisten besteht der wichtigste Unterschied zwischen beiden Modelltypen in der Art und Weise, wie die Modelle parametrisiert sind. Physikalische Modelle verwenden physikalische Parameter (z. B. Geometrie von Körpern, Massen, Kräfte, Gesten), die Parameter von Signal-Modellen orientieren sich meist an der Klangwahrnehmung (z. B. Tonhöhen- und Lautstärkeverläufe). Die Art eines Modells und die Art seiner Parameter sind für eine kreative Arbeit mit Klangsynthese sehr wichtig: Sie definieren den Raum, den der Komponist mit seiner Phantasie erforschen kann.

## Musikalische Motivation

Ein wichtiger Beweggrund für die Verwendung der Klangsynthese im zeitgenössischen Komponieren war die Erweiterung des Klangrepertoires der traditionellen Instrumente. Diesen Wunsch hatten Komponisten (zum Beispiele Varèse) bereits lange bevor Klang synthetisch erzeugt werden konnte, geäußert. Mit der zunehmenden Verbreitung der Klangsynthese in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts konnte er erfüllt werden. Zugleich wurde aber auch ein anderes Potential der Klangsynthese erkennbar: Die Möglichkeit, die Gestaltung des Klangs als integralen Teil der Komposition zu begreifen oder, wie es González-Arroyo formuliert: »Wir möchten Musik mit Klang machen, nicht Klänge, mit denen wir dann Musik machen.«<sup>2</sup> Damit ist die Klangsynthese vollständig in die Domäne der musikalischen Imagination und Komposition integriert. Sie dient nicht mehr allein der bloßen Erweiterung des instrumentalen Klangrepertoires, sondern ist eine eigene Art und Weise, Musik zu denken.

Die Wahl eines oder mehrerer Synthesemodelle für eine konkrete kompositorische Situation ist von fundamentaler musikalischer Bedeutung. Da ein einzelner Klang meist mit verschiedenen Modellen darstellbar ist, hängt diese Entscheidung nicht allein von der Fähigkeit eines Modells zur Abbildung eines realen oder imaginären Klanges ab, sondern vom musikalischen Entwicklungspotential, das sich aus der Wahl eines Modells für eine konkrete kompositorische Situation ergibt<sup>3</sup>. Da ein Modell immer eine ganze Familie von aufeinander bezogenen Klängen beschreibt (strukturiertes Klangmaterial), ist die Art dieser Beziehungen für die Komposition von zentraler Bedeutung. Daraus ergeben sich als wesentliche Anforderungen an Klangsynthesewerkzeuge die effiziente Definition neuer Klangmodelle sowie die nahtlose Kombination bereits bestehender. Besonders im Hinblick auf die zweite Forderung bietet Modalys<sup>4</sup> interessante Möglichkeiten.

## Modalys

Das Modalys-Synthesemodell basiert auf vier Typen von Elementen (Objekte, Interaktionspunkte, Interaktionsmodule und Steuermodule), mit denen der Komponist ein virtuelles Instrument bauen und spielen kann. Objekte beschreiben

schwingende Körper, die durch ihre geometrischen Eigenschaften (z. B. Saiten, Platten oder Membrane) und das Material, aus dem sie bestehen, definiert sind. Auf der Grundlage dieser Beschreibung berechnet Modalys die modale Repräsentation dieser Körper, die für den Syntheseprozess benötigt wird (Frequenz, Dämpfungsfaktor und Schwingungsform für jeden Schwingungsmodus). Mit Interaktionsmodulen, die die Art der Interaktion zwischen Objekten beschreiben (z. B. Schlagen, Zupfen oder Streichen einer Saite) lassen sich Beziehungen zwischen Objekten angeben. Die Interaktionspunkte beschreiben die (variablen) Positionen an den Objekten, wo diese mit anderen in Interaktion treten. Schließlich lassen sich mit den Steuermodulen die Verläufe von variablen Syntheseparametern (z. B. Koordinaten von Interaktionspunkten, Kräfte, Geschwindigkeiten) spezifizieren.

Die modulare Natur des Modalys-Synthesemodells garantiert große Flexibilität bei der Konstruktion von Instrumenten. Dieses Merkmal, das sich aus der einheitlichen Repräsentation aller schwingenden Objekte als modale Matrizen ergibt, unterscheidet Modalys von vielen anderen, auf physikalischen Modellen basierenden Synthesetechniken. Neben rechnerischer Effizienz bietet die Modaldarstellung aber noch einen weiteren wichtigen Vorteil. Die explizite Repräsentation der Frequenzen und Dämpfungsfaktoren aller Schwingungsmodi erlaubt eine direkte Manipulation der spektralen Eigenschaften des Klangmaterials<sup>5</sup>. Damit steht Komponisten die sonst für physikalische Modelle eher untypische Möglichkeit der Artikulation spektraler Klangeigenschaften mit der harmonischen Organisation einer Komposition zur Verfügung. Während in der ersten Version von Modalys (Mosaic) der direkte Zugang zu den modalen Daten nicht direkt unterstützt wurde, besitzt die neue Version verschiedene Steuermodule für deren statische und dynamische Veränderung. So kann der Komponist modale Daten direkt nach seinen Vorstellungen adaptieren. Zu bedenken ist allerdings, daß eine willkürliche Modifikation der modalen Repräsentation die Realitätstreue des physikalischen Modells beeinträchtigen kann. Deshalb verliert die direkte Veränderung modaler Daten ihren Sinn, wenn das ursprüngliche Interesse für die Verwendung eines physikalischen Modells verlorengeht. Wann dieser Punkt erreicht ist, hängt von der musikalischen Verwendung ab und sollte nicht durch das Synthesemodell definiert werden, sondern der Hörerfahrung des Komponisten überlassen werden.

### **Warum überhaupt physikalische Modelle?**

Die oben beschriebenen Erweiterungen von Modalys scheinen dem eigentlichen Beweggrund für die Verwendung physikalischer Modelle in der Klangsynthese zu widersprechen: die Berücksichtigung der Kausalität physikalischer Systeme<sup>6</sup>. Doch welches Interesse gibt es überhaupt an der Einführung der Kausalitätszwänge in ein Synthesemodell, wo doch ein Motiv zur Verwendung der Klangsynthese im musikalischen Komponieren die Befreiung des Klangs von den Zwängen der physikalischen Systeme (der musikalischen Instrumente) ist? Da sich ein Komponist nie der Klangsynthese bedienen würde, um traditionelle Instrumente nachzuahmen oder sie zu ersetzen, wenn sie direkt eingesetzt werden könnten, bleibt nur das Interesse an Klängen, die zwischen den mittels musikalischer Instrumente und anderen schwingenden Systemen (einschließlich physikalischer Modelle) erzeugbaren konkreten Klängen auf der einen und den mittels Signalmodellen leicht erzeugbaren abstrakten Klängen auf der anderen Seite rangieren. Das Interesse für

diese (wahrnehmungsmäßige) Zweideutigkeit teilen viele Komponisten und es ist, abgesehen vom extremen Fall der Suche nach Klängen ohne jede Beziehung zu unserer Hörerfahrung, das plausibelste Motiv zur Verwendung von Klangsynthese.

Bei der Verwendung von Signalmodellen besteht das Problem für die Steuerung des Syntheseprozesses hauptsächlich darin, ein System von Regeln (ein Kontrollmodell) zu schaffen, das eine bestimmte Identität des Klangphänomens durch entsprechende Parametrisierung garantiert. Diese Identität ist eine Voraussetzung zur Verwendung des Klangmaterials in einem musikalischen Diskurs (d. h. es ist in einem bestimmten Kontext wiederzuerkennen, kann in Skalen angeordnet werden etc.). Bei der physikalischen Modellierung ist ein solches Regelsystem (Kausalität, räumliche Repräsentation) bereits im Synthesemodell enthalten. Deshalb ist es auch so einfach, mit physikalischen Modellen realistische Klänge und mit Signalmodellen abstrakte Klänge zu produzieren. Realistisch bedeutet hier, daß unsere Wahrnehmung einem Klangphänomen leicht einen Herstellungsmechanismus (eine Klangquelle) zuordnen kann, abstrakt heißt, daß so eine Zuordnung nur schwer möglich ist. Das bedeutet nicht, daß es keine natürlichen abstrakten Klänge gibt. Auch natürliche Klänge können für unsere Wahrnehmung abstrakt werden, aber gewöhnlich sind diese sehr schwer zu erzeugen und zu steuern (z. B. Multiphonics auf Blasinstrumenten). Ein physikalisches Modell bietet in diesem Falle viel bessere Steuermöglichkeiten, vorausgesetzt es ist hinreichend detailliert, um die in Frage kommenden Klänge erzeugen zu können. Für die Komposition ist das implizite Regelsystem von physikalischen Modellen deshalb besonders interessant, weil unsere Wahrnehmung auf Klänge spezialisiert ist, die unter diesen Bedingungen (Kausalität) entstehen. Wollen wir z. B. abstrakte Klänge produzieren, so lehren uns diese Bedingungen (die als Bezugspunkt unserer Wahrnehmung immer präsent sind), realistische Klänge zu vermeiden. Sind wir an einer kompositorischen Artikulation von abstraktem und realistischem Klangmaterial interessiert, müssen wir nach Möglichkeiten suchen, in das Regelsystem physikalischer Modelle eingreifen zu können. Genau darum geht es bei den Erweiterungen zu Modalys. Die von Modalys auf der Basis der physikalischen Beschreibung schwingender Körper berechneten modalen Repräsentationen können direkt beeinflußt werden. In der aktuellen Version von Modalys ist dieses neue Merkmal jedoch noch nicht sehr weit entwickelt und wir sehen es eher als Experiment an. Die Erfahrungen, die Komponisten damit machen werden, sind aber für die künftige Entwicklung in dieser Richtung eine wichtige Voraussetzung.

## **Ausblick**

Ein allgemeines Ziel der Entwicklung von Synthesystemen ist die Konvergenz von physikalischen und Signalmodellen<sup>7</sup>. Die neue Version von Modalys bietet hierfür schon verschiedene interessante Möglichkeiten. Ein neuer Objekttyp zur Simulation von Schwingungen eines dimensionslosen Punkts wurde entwickelt. Dieses Objekt kann direkt mit der Beschreibung der IRCAM Resonanzmodelle<sup>8</sup> arbeiten. Diese Datensätze stammen von Schlaginstrumenten und sind mit der modalen Repräsentation weitgehend kompatibel (ihnen fehlt nur die räumliche Information). Aus der Perspektive der physikalischen Modellierung könnte auch diese Erweiterung als widersprüchlich angesehen werden, da deren wesentliche Differenz gegenüber anderen Synthesetechniken darin besteht, »daß die räumlichen Eigenschaften der

kausalen Strukturen im Modell berücksichtigt werden«<sup>9</sup>. Doch unter dem oben beschriebenen integralen Gesichtspunkt ist diese Erweiterung nur logisch. Über den Sinn einer solchen Vorgehensweise entscheiden letztlich nicht wissenschaftliche, sondern einzig kompositorische Kriterien.

*(Übersetzung: Sabine Sanio)*

© positionen, 29/1996, S. 12-14