

RUBATO — Deep Blue in der Musik?

Oliver Zahorka
Ehrendingerstrasse 78 b
CH-5408 Ennetbaden

e-mail: zahorka@ifi.unizh.ch

<http://www.ifi.unizh.ch/groups/mml/musicmedia/staff/zahorka.html>

Am 14. August 1996 wurde eine Pressemitteilung des "Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung" mit dem Titel "Der Computer als Klavierinterpret" veröffentlicht. Darin wurde RUBATO vorrangig als Computerprogramm dargestellt das einen Meisterpianisten ersetzen könnte. Ein Schrecken für jeden Musiker — und für jeden Musiklehrer. Oder doch nicht?

Allzu schlimm kann es aber doch nicht sein; die Pressemitteilung spricht auch davon, dass RUBATO — entwickelt an der Universität Zürich von Prof. Dr. Guerino Mazzola und Oliver Zahorka im Multimedia Lab von Prof. Dr. Peter Stucki — vor allem in der Musikpädagogik und Musikindustrie eingesetzt werden soll.

Doch was kann man in der Musikpädagogik mit einem Computerprogramm machen, das einen menschlichen Musiker zu simulieren vermag? Wieso will man musikalische Interpretation — einen Bereich urmenschlichster Kommunikation — nun mittels Computer nachahmen, vielleicht sogar manipulieren? Im Schweizerischen Fernsehen wurde RUBATO zu Unrecht als moderne Version der Spieldose bezeichnet, im Österreichischen Fernsehen dagegen mit dem Schach-Supercomputer Deep Blue verglichen. Was kann RUBATO denn nun wirklich?

Von der Partitur zur Interpretation

Bei jeder Aufführung eines musikalischen Werkes geht der Musiker von einer *Partitur* aus und gestaltet daraus eine klingende *Interpretation*.

Die *Partitur* ist dabei eine nicht weiter definierte abstrakte Darstellung der Musik auf der *symbolischen* Ebene, z.B. auch die rein geistige Vorstellung einer Improvisationsstruktur. Die *Interpretation* ist die Realisation der Symbole auf der *physikalischen* Ebene. Bei der Interpretation versucht der Musiker sein Wissen um musikalische Zusammenhänge und die Strukturen des Stücks dem Hörer zu offenbaren.

Wie wir aus eigener musikalischer Erfahrung wissen, ist dieser Vorgang alles andere als einfach. Erst gilt es alle Zeichen die in der Partitur vorkommen zu berücksichtigen, und miteinander zu koordinieren; die *Prima-Vista* Interpretation entsteht. Hier wird schon erstmals das Wissen um den Kontext benötigt, wenn nicht nur *textuelle* Zeichen, wie Noten und Dynamikanweisungen, sondern auch *paratextuelle* Spielanweisungen wie *Adagio*, *cantabile* oder *alla turca* vorkommen.

Bei dieser ersten Interpretation sind noch keine analytischen Erkenntnisse eingeflossen. Nun beginnt der Musiker die Partitur genauer zu betrachten; er analysiert den formalen Ablauf, die motivischen Zusammenhänge und harmonischen Strukturen, macht sich Notizen, zeichnet gewisse Stellen des Stücks aus. Er schafft sich eine *Interpretationspartitur*. Ist er soweit,

beginnt er mit dem Einüben der Interpretation, fragt sich welche analytischen Sachverhalte er wie zu Gehör bringen könnte, und probiert verschiedene Möglichkeiten aus. Schlussendlich gelangt er zu “seiner” Interpretation des Stücks.

Ausgehend von dieser Idee wurden RUBATO entwickelt. Neben der grundsätzlichen Trennung von Analyse- und Gestaltungsteil, wurde auch grosser Wert auf die Flexibilität und Erweiterbarkeit der im jeweiligen Teil zur Verfügung stehenden Werkzeuge gelegt. Dies ist besonders wichtig im Hinblick auf die in der Musik herrschende Situation, dass es weder *die* richtige Analyse noch *eine* objektiv richtige Interpretation gibt. Vielmehr muss es möglich sein unter einer Vielzahl vorhandener Ansätze auszuwählen.

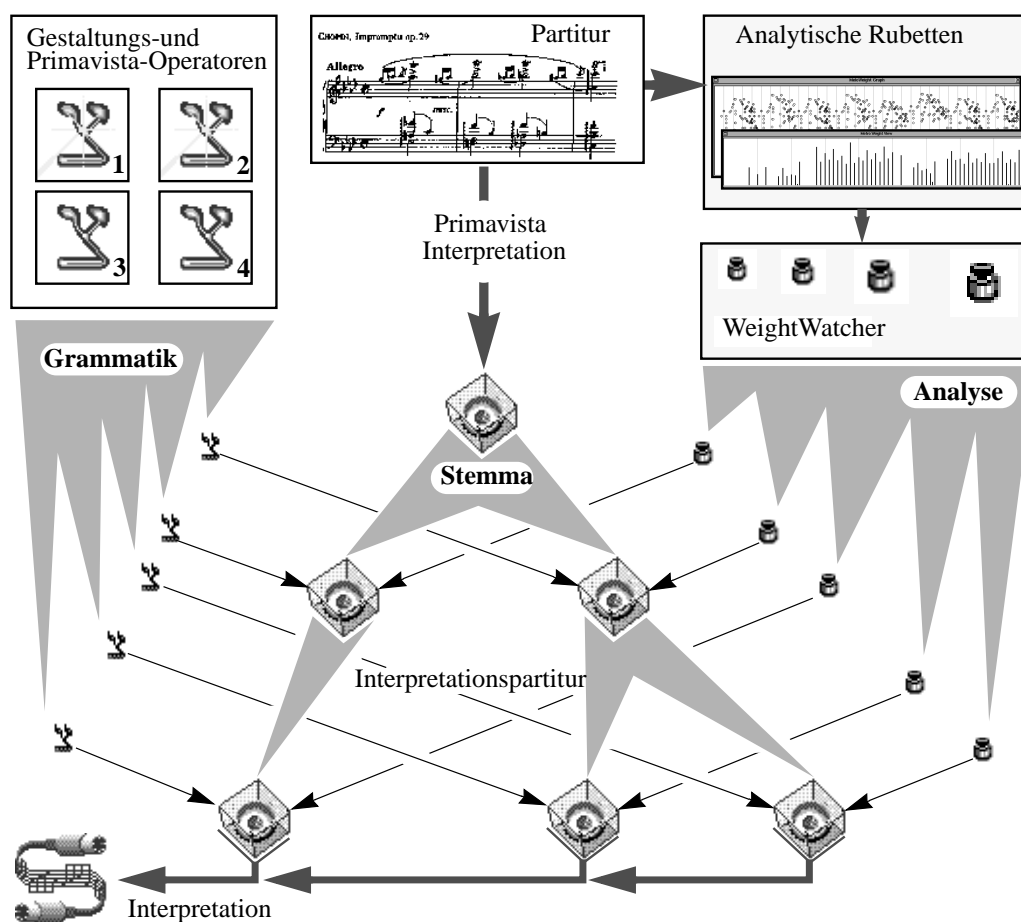


ABBILDUNG 1. Funktionsschema von RUBATO. Die Computerdaten der Partitur werden in den Rubetten einer musikalischen Analyse unterzogen und zu Gewichtsdaten verarbeitet. Die Operatoren verwenden die Gewichte um die Primavista Interpretation weiter zu einer endgültigen Interpretation auszuarbeiten.

Der gewählte modulare Aufbau von RUBATO erlaubt es in Zukunft weitere Werkzeuge zur Analyse und Gestaltung zu entwickeln und dem Benutzer als ladbare Module weiterzugeben.

“Gewichtige” Analyse

Die analytischen Module, *Rubetten* genannt, machen im allgemeinen eine genaue systematische Analyse des ganzen Stücks, oder ausgewählter Teile davon. Die im Rahmen der jeweiligen Analyse anfallenden Resultate werden als Gewichte ausgedrückt. Je nach Analyse können

die Gewichte einzelne Töne oder Gruppen von Tönen betreffen. Diese Gewichte bedeuten *per se* nichts anderes, als dass irgend ein Ton in Bezug auf die gemachte Analyse eine bestimmte relative Wichtigkeit hat. Die mittels der analytischen Rubetten gewonnenen neutralen Gewichte können dann für die Gestaltung weiter verwendet werden.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Implementierung ist ein im Sinne systematischer Musikwissenschaft exaktes Analyseverfahren, das sich mathematisch beschreiben lässt. Zum jetzigen Zeitpunkt sind bereits einige Werkzeuge zur Analyse vorhanden:

- Die *MetroRubette* gewichtet Töne aufgrund ihres metrisch-rhythmischen Kontextes. Abgesehen von Noten können beliebige Symbole der Partitur, so lange sie eine definierte Einsatzzeit haben, in der metrischen Analyse mitverarbeitet werden. So kann z.B. der Einfluss von Taktstrichen oder Akzentzeichen auf die rhythmische Gestaltung mitberücksichtigt werden.
- Die *MeloRubette* untersucht ein Stück auf motivische Ähnlichkeiten (Abb. 2). Sie listet die vorkommenden melodische Gestalttypen auf und berechnet anschliessend deren Gewicht, basierend auf Häufigkeit und Ähnlichkeitsabstand zueinander. Zum Schluss erhält wiederum jeder Ton die Summe der Gewichte der ihn enthaltenden Motive. Bei den Gestalttypen kann zwischen *diastematischem Index*, *elastischer* und *starrer* Gestalt gewählt werden.

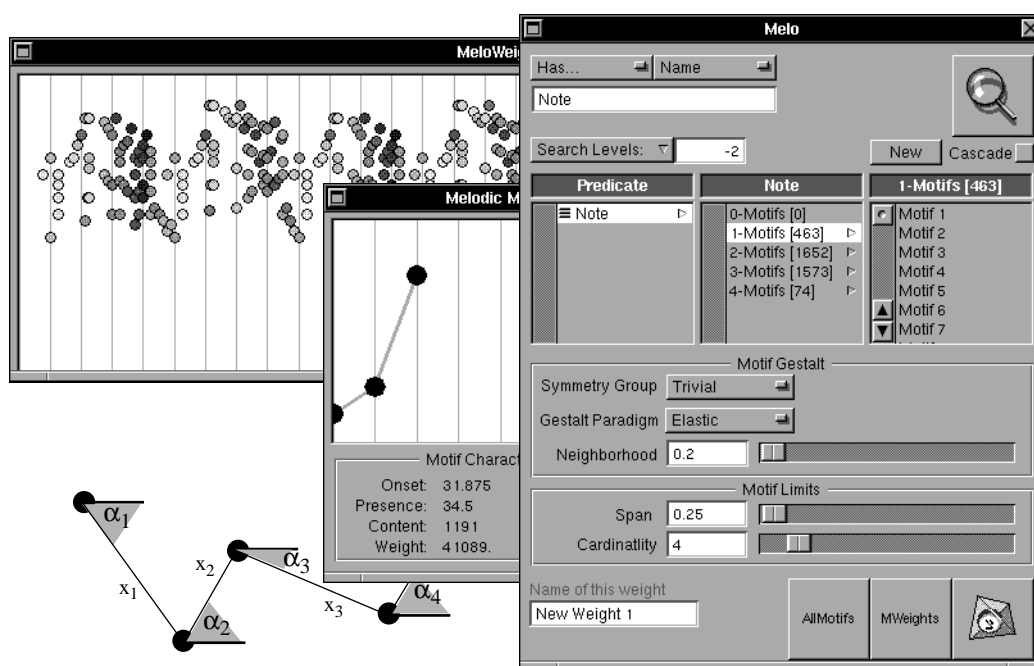


ABBILDUNG 2. Rechts im Vordergrund das Steuerungsfenster der MeloRubette mit einer Auswahlliste aller gefundenen Motive. Einzelne Motive können im "Melodic Motifs" Fenster angesehen werden. Im Hintergrund ist im "MeloWeight Graph" die Darstellung des melodischen Gewichts eines ganzen Stücks zu sehen. Links unten die graphische Darstellung der elastischen Gestalt eines Motivs durch Winkel und Längen.

- Die *HarmoRubette* macht eine an die Riemannsche Funktionstheorie angelehnte, explizite harmonische Analyse. Neben einer Vielzahl anderer Parameter kann auch variiert werden wie weit der Kontext vor und nach einem Akkord zu dessen harmonischer Bestimmung mitberücksichtigt werden soll. Für jeden Akkord wird eine Wahrscheinlichkeitsverteilung bezüglich Funktion und Tonart berechnet. Die möglichen harmonischen Pfade durch ein Stück, inklusive der Modulationen, werden graphisch dargestellt (Abb. 3). Steht der harmo-

nische Pfad fest, wird wiederum für jeden Ton ein Gewicht resultierend aus seiner jeweiligen Relevanz für die Funktion des ihn enthaltenden Akkords — so ist die kleine Sept für die Auszeichnung eines Akkords als Dominante relevanter als dessen Quinte — und der relativen Spannung des Akkords in seinem Umfeld berechnet.

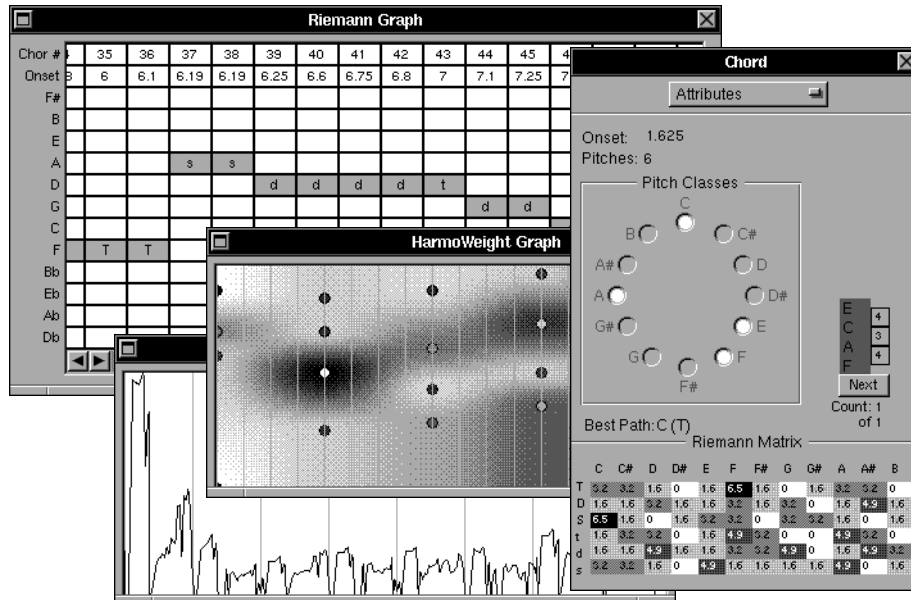


ABBILDUNG 3. Verschiedene Fenster der HarmoRubette. Im Fenster "Riemann Graph" ist der errechnete harmonische Pfad zu sehen, der "HarmonicWeight Graph" zeigt quasi die "Landschaft" der Einzeltongewichte und die zwischenliegenden Werte als Graustufenverlauf an. Links unten ist die Projektion dieses Gewichts auf die Achse der Einsatzzeiten zu sehen. Rechts vorne, im "Chord"-Inspektor, wird ein ausgewählter Akkord mit seinen Tonklassen, einer der möglichen Terzschichtungen, und der Wahrscheinlichkeitsverteilung bezüglich Funktion und Tonart angezeigt.

Interpretation als Ausdruck von Strukturverständnis

Die beiden Ausnahmen unter den Rubetten sind die PrimaVistaRubette und die PerformanceRubette.

Die *PrimaVistaRubette* erlaubt einerseits nicht-numerischen Werten (z.B. relative Dynamikanweisungen wie *crescendo*) einen Wertebereich zuzuordnen, andererseits gewisse Standardwerte (z.B. absoluten Dynamikanweisungen wie *mf*) numerisch festzulegen. Als Resultat erhält man Prima-Vista Gewichte die den *Tempo-*, *Agogik-* und *Dynamikverlauf* des Stücks skizzieren.

Die *PerformanceRubette* schlussendlich fungiert als Gestaltungsmodul. Obwohl als Modul konzipiert, ist sie eine zentrale Einheit von RUBATO. Ihre Funktionalität umfasst die für den Aufbau der eingangs genannten *Interpretationspartitur* notwendigen Mittel und ist durch Operatoren erweiterbar. *Operatoren* sind Elemente einer *Interpretationsgrammatik*, und unterteilen eine Interpretationspartitur hierarchisch in *Interpretationszellen*. Sie bestimmen, wie die analytischen Gewichte kombiniert und eingesetzt werden, um verschiedene Aspekte einer Interpretation — Agogik, Dynamik, Intonation, Artikulation — zu gestalten.

Die vorhandenen Operatoren erlauben sowohl einfache und grobe Eingriffe, die von der Anpassung der Endergebnisse (*Physical*) bis zur Veränderung der zugrundeliegenden Partitur

gehen (*Symbolic*), als auch komplexe und subtile Modifikationen der Agogik (*Tempo*) oder einer beliebigen Auswahl aller Bereiche zusammen (*Scalar*).

Ähnlich dem klassischen Prozess des Übens wird eine gute Interpretation durch sukzessive Verfeinerung und gezielten Einsatz der gestalterischen Mittel erreicht. So können zuerst grobe Unterteilungen (z.B. formale Abschnitte, linke und rechte Hand einer Klavierpartitur) gemacht werden, auf welche zuerst dieselben analytischen Gewichte einwirken. In weiteren Schritten können diese Interpretationszellen aber völlig unterschiedlichen Gestaltungen unterworfen werden. Alle Interpretationszellen die durch Operatoren erzeugt werden sind bis zum Schluss vorhanden und abrufbar. Veränderungen einer hierarchisch höheren Zelle vererben sich auf alle nachfolgenden Stufen. Bildlich gesprochen kann man also jederzeit zum Tag x zurückkehren und “an dem Tag anders üben”.

Schach oder Musik

Doch auch der Computer kann Tage bis Wochen brauchen bis er eine Interpretation inklusive einiger Analysen vollständig errechnet hat. Einen kleinen Eindruck der Komplexität vermitteln die folgenden Zahlen zur melodisch-motivischen Analyse. Robert Schumanns “Träumerei” (“Kinderszenen”, op. 15 Nr. 7), ein kurzes Klavierstück von 463 Tönen, enthält 3'309 Motive bestehend aus zwei bis vier Töne, welche höchstens eine Viertelnote voneinander entfernt sein dürfen. Eine Verdoppelung der Motivspannweite auf eine halbe Note fördert schon 25'745 Motive zu Tage; das siebenfache! Und da die Berechnung des motivischen Kontextes auf paarweisen Vergleichen beruht, wird die Anzahl der Motivvergleiche um den Faktor 49 von 10'949'481 auf 536'524'569 erhöht. Bei einer Motivspannweite von einem Takt und einer zulässigen Motivlänge von zwei bis acht Tönen — was durchaus vernünftig und der musikalischen Praxis entsprechend ist — erhalten wir 4.92×10^{16} Motive.

Daraus lässt sich schliessen, dass ein Einbezug *aller möglichen* Motive in die Analyse zu einer kombinatorischen Unzahl führt, die heute erst mit Supercomputern zu bewältigen ist. Der Mensch verarbeitet solche unkontrollierbare kombinatorische Komplexität nur noch mit Hilfe seiner Intuition.

So betrachtet stellt sich die Frage, ob eine adäquate Supercomputer-Anwendung — wenn es darum geht Computerleistungen mit der eines Menschen zu vergleichen, wie dies erst kürzlich wieder in einem Match zwischen dem Schach-Weltmeister Kasparov und dem Supercomputer Deep Blue versucht wurde — nicht am ehesten im Bereich der musikalischen Interpretation zu suchen wäre.

Die Suche nach einem harmonischen Pfad ist durchaus vergleichbar mit dem Ablauf eines Schachspiels: In beiden Fällen gibt es bestimmte Regeln (Stimmführung, Spielregeln) wie man von einem Zustand (Akkord, Stand der Figuren) zu nächsten kommt. Dabei beeinflusst jeweils die vorherige Entscheidung die nachfolgende, und es gibt oft lokal keine “beste” Lösung. Erst ein globaler Zusammenhang erlaubt die lokale Entscheidungen — seien es nun Modulation oder das Verfolgen einer bestimmten Strategie — zu Werten.

Spielt der Computer “besser”?

Egal welche Anwendung nun betrachtet wird, immer wieder wird die Frage nach dem “besseren” Spiel gestellt. Und obwohl bei einem Schachspiel der Gewinner festgestellt werden kann,

ist es schwer zu sagen, ob das ganze Spiel auch “besser” geführt wurde. Traditionellerweise entspricht dies dem Vergleich von Interpretationen in der Musik. Eine absolute Aussage darüber ist (zum Glück) nicht möglich, denn es gibt keine “beste” Interpretation eines Stücks; Musik lässt viele mögliche Interpretationen zu. Jede davon kann nur dahingehend bewertet werden, ob sie einen bestimmten Aspekt der Komposition “mehr oder weniger” realisiert oder zum Ausdruck bringt.

Gerade hier eröffnet RUBATO neue Perspektiven zur Beurteilung von Interpretation. Dabei geht es gar nicht darum das “beste” zu finden, sondern etwas über musikalische Strukturen und Interpretationsvorgänge zu erfahren. Experimentell kann irgend ein Aspekt der Komposition, beispielsweise eine metrische Analyse, herausgepickt und auf eine bestimmte Art, zum Beispiel als Gestaltung der Dynamik, realisiert werden. Das kritische Anhören des Resultats kann vielerlei Hinweise geben. So können folgende Fragen, die auch für Musikpädagogen von Interesse sind, diskutiert werden:

- in welchem Rahmen ist eine Gestaltungsanweisung musikalisch sinnvoll?
- welche Analyse ist für welche Aspekte der Interpretation aussagekräftig?
- wie können kompositorische Strukturen “hörbar” gemacht werden?
- führt eine bestimmte Analyse zu neuen Erkenntnissen bezüglich der Interpretation?
- werden analytische Sachverhalte bzw. wichtige Strukturen der Komposition durch traditionelle Stilelemente der Interpretation verdeckt?

Zur Diskussion standen diese Fragen auch im Rahmen eines dreitägigen Feldversuchs an der Musikhochschule in Karlsruhe. Unter Beobachtung von unabhängigen deutschen Musikwissenschaftlern wurde mit RUBATO eine Interpretation von Robert Schumanns “Kurioser Geschichte” (“Kinderszenen” op.15 Nr. 2) erarbeitet, und auf einem MIDI-Bösendorfer Konzertflügel abgespielt. Immer wieder wurden die Auswirkungen einzelner analytischer Gewichte und die Resultate verschiedener Einstellungen der Interpretationsparameter miteinander verglichen und abgewogen. Schlussendlich wurden die von den Anwesenden als “musikalisch sinnvoll” eingestuften Interpretationen auf Band aufgenommen, und mit Einspielungen von Martha Argerich und Tatjana Nikolajewa verglichen. Die computergerechneten Interpretationen wurde als “analytischer” und “weniger lebendig” eingestuft als jene von Argerich; ein erwartbares Resultat. Dass aber Tatjana Nikolajewa, Professorin am Moskauer Konservatorium, “weniger schumannsch” spielt als RUBATO ist erstaunlich. Dies wiederum wirft die Frage auf, was nun eigentlich das “schumannsche” einer Interpretation ausmacht. Und deren Beantwortung rückt mit Hilfe von RUBATO in greifbare Nähe.

RUBATO in Forschung und Lehre

Fragen wie die gerade angeschnittene werden an internationalen Musikforschungs-Symposien immer wieder heiss diskutiert, Lösungsansätze waren bisher aber wenige zu sehen. RUBATO stellt eine Plattform für künftige Diskussionen im den Bereichen der systemtischen Musikwissenschaft und der Interpretationsforschung zur Verfügung.

Die Software wird bereits in verschiedenen Projekten und Lehrveranstaltungen in Deutschland erfolgreich eingesetzt. So habilitiert Dr. Joachim Stange-Elbe an der Universität Osnabrück mit RUBATO über *Analyse- und Interpretationsperspektiven zu J.S. Bachs “Kunst der Fuge” mit Werkzeugen der Objektorientierten Informationstechnologie*. An der Universität Würzburg

setzt Dr. Reinhard Kopiez, Professor für Systematische Musikwissenschaft, RUBATO in Seminaren mit Studenten ein. Die Musikwissenschaftlerin Anja Fleischer hält an der Berliner Humboldt Universität ebenfalls Seminare zu Mathematischer Musiktheorie mit RUBATO.

Einer weiteren Verbreitung, vor allem in schweizerischen akademischen Kreisen und in der Musikpädagogik, steht nichts im Wege. Die Software RUBATO kann kostenlos über das Internet heruntergeladen und benutzt werden. Um die Fähigkeiten von RUBATO einem breiteren Publikum zugänglich zu machen, und gleichzeitig in Richtung Supercomputing zu erweitern, wird gegenwärtig mit Mitarbeitern des Multimedia Labs der Universität Zürich über die Möglichkeit der Implementierung als Web-Applikation diskutiert.

Kontakt. Beratung und Informationen unter folgenden Anschriften:

Prof. Dr. Guerino Mazzola, Bettlistrasse 42, 8600 Dübendorf,
(Tonband gegen Unkostenbeitrag von 5 Fr.)
E-Mail: gbm@presto.pr.net.ch

Oliver Zahorka, Ehrendingerstrasse 78 b, 5408 Ennetbaden
E-Mail: zahorka@ifi.unizh.ch

Elektronische Publikationen, ftp-download und Informationen zu RUBATO:
<http://www.ifi.unizh.ch/groups/mml/musicmedia/musicmedia.html>

Technische Voraussetzungen um RUBATO zu benutzen. Hardware: IBM-kompatibler PC mit Intel Prozessor (mindestens 486er) oder NeXT-Hardware. Betriebssystem: NEXTSTEP ab Version 3.3.

Der Autor. Oliver Zahorka war massgeblich an der Entwicklung von RUBATO beteiligt und ist Autor bzw. co-Autor mehrerer internationaler Publikation. Er studiert Musikwissenschaft, Informatik und Linguistik an der Universität Zürich und schreibt momentan seine Lizentiatsarbeit *Melodietheorie und -analyse — Betrachtung unter dem Gesichtspunkt von Ehrenfels' Gestalttheorie* bei Prof. Dr. Ernst Lichtenhahn. Die musikalische Praxis der Interpretation und Improvisation kennt er aus fünfzehnjähriger Erfahrung als E-Bassist im Bereich Rock und Popmusik.