



### Computerflügel Bösendorfer 290 SE

Der Spezial-Konzertflügel ist vollgestopft mit Computerchips, die jeden Anschlag, jeden Pedalhub eines Pianisten aufzeichnen. Lichtsensoren messen, wie schnell der Hammer auf die Saite prallt. Die Daten werden auf einem Computer gespeichert und analysiert.

# Der Computer als PIANIST

**ARTUR RUBINSTEIN** spielt Chopins Ballade op. 47. Der Computer analysierte jeden Takt nach Tempo und Lautstärke und stellt Rubinsteins Spiel als sogenannten Wurm dar. Der rote Punkt markiert das Ende des Stücks.

Ein Wiener Wissenschaftler bringt Computern bei so zu spielen wie Gulda, Brendel oder Rubinstein. Für das Ergebnis der Arbeit interessiert sich inzwischen die ganze Welt

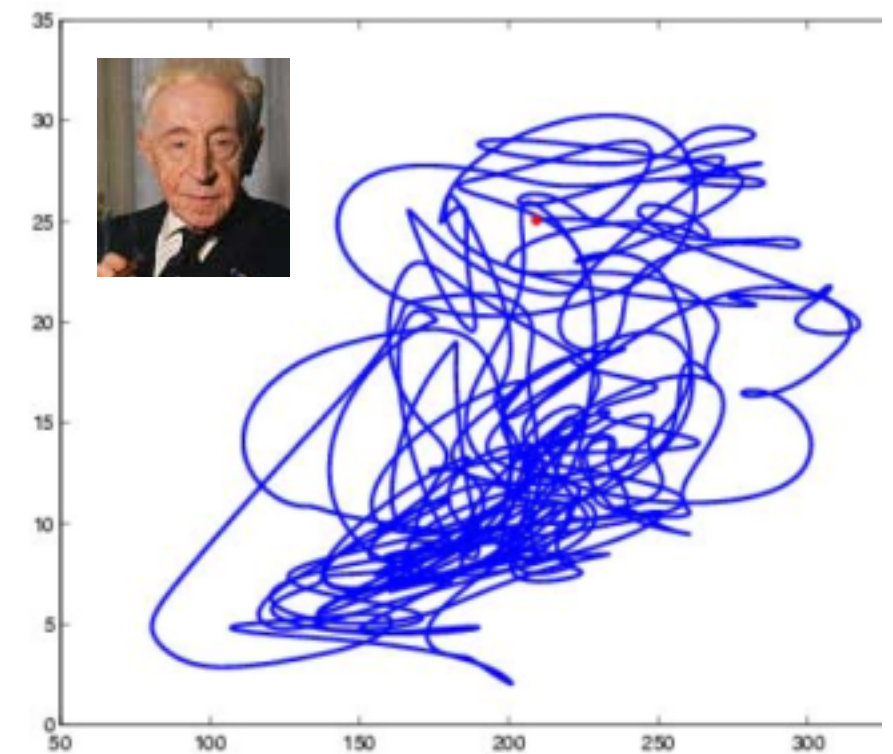
Auf den ersten Blick sieht es aus wie die Kritzelei eines Dreijährigen. Oder wie ein Blatt Papier, auf dem ein Schreibwarenhändler eine neue Füllfeder ausprobiert hat. Tatsächlich ist das Arthur Rubinstein und seine Interpretation von Chopins Ballade op. 47. Sichtbar gemacht auf einem Computer-Monitor.

So wird heute Musikgeschichte geschrieben. Der Wiener Forscher Gerhard Widmer nähert sich Star-Pianisten auf ungewöhnliche Weise. Er schnappt sich ihre Interpretationen klassischer Werke, vermisst sie, analysiert sie und stellt sie optisch dar. Er kann zeigen, wann Rubinstein besonders in die Tasten haut. Wann Gulda das Tempo anzieht. Wann Brendel zum furioso ansetzt.

Aus Rubinsteins Chopin-Interpretation wird so eine Art Endlosfaden. Aus Guldas Version von Beethovens Klavierkonzert Nr.1, Opus 15, 2.Satz ein fetter, roter Wurm, der erst steil aufsteigt, dann eine scharfe Linkskurve zieht, um schließlich in sich zusammenzufallen.

Das alles ist keine Spielerei eines versponnenen Klassik-Freaks, sondern strenge wissenschaftliche Arbeit. Ein Knochenjob zuweilen noch dazu. Das Ergebnis der Bemühung läßt nun aber die Welt aufhorchen. In renommierten Zeitschriften rund um den Globus, vom „Spiegel“ bis zur US-HighTech-Bibel „Wired“ erscheinen seitenlange Reportagen über den Professor aus Wien.

Was die Welt fasziniert: Widmer ist in der Lage darzustellen, warum Gulda wie Gulda klingt. Brendel wie Bren-



del. Rubinstein wie Rubinstein. Und er ist dabei seinem Computer beizubringen, das auch zu können. Beethoven so zu spielen wie Glen Gould. Oder Mozart wie Martha Agerich. Der Computer produziert Emotionen, obwohl er gar nicht weiß, was das ist. Das ist neu.

**KÜNSTLICHE INTELLIGENZ.** Mit 13 gewann Gerhard Widmer den Vorarlberger Landeswettbewerb für Klavier, mit 15 schmiss er die vorgezeichnete Karriere als Pianist hin. „Ganz ehrlich: Ich war zu faul zum Üben“. Heute ist der Informatiker Professor am Institut für Medizinische Kybernetik und Artificial Intelligence an der MedUni Wien sowie Chef der Gruppe Maschinelles Lernen & Data Mining am Österreichischen Forschungsinstitut für Artificial Intelligence (ÖFAI) im Schottenhof in der Wiener Innenstadt.

Widmer beschäftigt sich seit 10 Jahren mit Künstlicher Intelligenz. Er versucht Computer zu entwickeln, die Dinge tun, welche man mit Intelligenz verbindet. Also Sprache verstehen, Musik verstehen. Lernen können.

In die Sache kam Dampf als dem Forscher 1998 vom FWF der „START-Preis“ zuerkannt wurde. 874.000 Euro für sechs Jahre.

● Der Wiener Konzertpianist Roland Batik stellte Widmer 13 Mozartsonaten zur Verfügung – aufgenommen auf dem Bösendorfer Computerflügel 290SE. Das Instrument steckt voller Computerchips und Meßgeräte, die jeden Anschlag, jeden Pedal-Hub eines Pianisten registrieren. Lichtsensoren messen, wie schnell der Hammer auf die Saite prallt. Alle Daten werden gespeichert.

● Dann engagierte Widmer einen Musiker, der ein Jahr lang dafür aufwendete, Tonaufnahmen von 26 berühmten Pianisten händisch zu vermessen. Takt für Takt. Widmer: „Wir haben heute eine sehr große Zahl an Mozart-Stücken, Chopin, Schubert und ein bißchen Beethoven. Insgesamt eine gigantische Datenmenge, die in ihrer Art einzigartig auf der Welt ist.“

● Dann ging es an die Analyse. Zu klären waren Grundfragen: Wo verhalten sich alle Musiker ähnlich? Gibt es Grundregeln des Klavierspiels, der Interpretation. Und: Was macht dann den Stil eines bestimmten Künstlers aus?

Wie man dem Problem zu Leibe rücken wollte, war schnell festgelegt: Es galt als erstes, Lautstärke- und Temposchwankungen im Spiel von Pianisten zu untersuchen. „Damit wird schon relativ viel von einer Interpretation gemessen.“

Um den Stil in einem Musikstück zu finden, darf der Computer das Stück so oft hören, wie er will. Für den PC sind allein die Schallwellen relevant. Das am ÖFAI entwickelte Beat-Tracking-Programm

„Beat Root“ identifiziert anhand der Schallwellen Noten, Akkorde und Zeitpunkte, wo es glaubt, dass etwas passiert. Es versucht zu erraten, wo der Takt ist und markiert diesen. In der akustischen Version mit lauten Kuhglocken-Schlägen.

Mozart hört sich deshalb am Institut so an wie ein Almbtrieb auf den Tiroler Bergen.

**PIANISTEN SPIELEN FALSCH.** Bei Rock, Pop und sogar Jazz-Musik funktioniert das Messen außerordentlich gut. Bei klassischer Musik muß händisch nachgebessert werden. Hunderte Aufnahmen wurden so vermessen und markiert. Das für den Laien erstaunliche Ergebnis: Eigentlich spielen alle Pianisten falsch!



**GERHARD WIDMER**  
Der Spezialist für Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen ist dem Ausdrucksreichtum von Pianisten auf der Spur



## So spielen vier Star-Pianisten Beethoven

Mit Hilfe sogenannter Würmer können die Wiener Wissenschaftler die Spielweise von Star-Pianisten visualisieren. Jeder Takt (hier: Klavierkonzert von Beethoven, Opus 15) wird vom Computer registriert und auf Tempo und Lautstärke hin untersucht. Spielt der Pianist schneller, wandert der Wurm nach rechts. Spielt er lauter, steigt der Wurm nach oben. Dabei verläßt die Wurmspur mit der Zeit. Die vier Beispiele rechts zeigen deutlich, wie verschieden die Künstler Tempo und Lautstärke variieren.

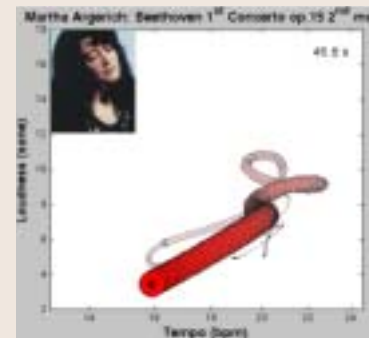
Sie ändern das Tempo von Takt zu Takt, dehnen und stauchen die Zeit nach ihrem Gutdünken. Aber: erkennen kann das nur der Computer. „Den meisten Menschen fällt das nicht weiter auf“, meint Widmer. Hörer empfinden diesen „falschen“ Takt eher als regelmäßig und den „richtigen“ als unnatürlich, als tot.

**DER GULDA-WURM.** Nach der Takt-Messung wurde vom Computer auch der Verlauf der Lautstärke gemessen. Wo spielen Pianisten laut, wo leise?

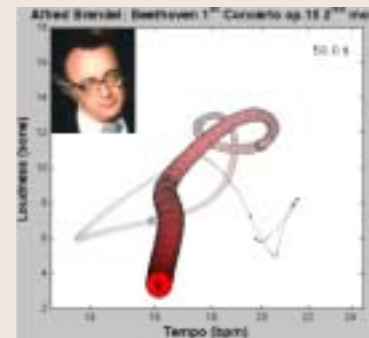
Wie unterschiedlich Klavier-Virtuosens das selbe Musikstück angehen, können die Forscher vom ÖFAI auf eindrucksvolle Weise zeigen. Widmer: „Und wir wollten das Klavierspiel nicht nur vermessen. Wir wollten es in einem zweiten Schritt auch sichtbar machen.“ Gelungen ist ihnen das mit Hilfe von Würmern.

Die Grundidee, Tempo und Lautstärke zweidimensional darzustellen, stammt vom deutschen Musikwissenschaftler Langner. Widmer und sein Team entwickelten daraus ihre spezielle Form der Visualisierung, den Wurm: Der Computer mißt Takt für Takt Tempo und Lautstärke eines Pianisten und markiert dies fortlaufend auf einer Skala. Ein wurmähnliches Gebilde entsteht. Spielt der Meister schneller, schiebt sich der Wurm nach rechts, spielt er lauter, bewegt sich das Tier nach oben.

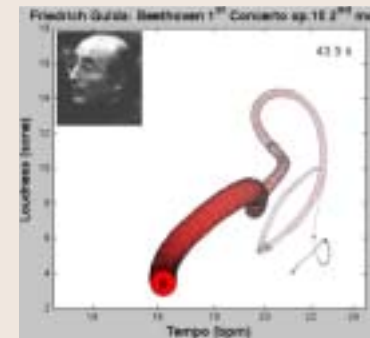
Kurven, Schlingen und Salti entstehen. Vergleicht man die Würmer mehrerer Pianisten zum gleichen Stück, wird schlagartig klar, wie sehr die Interpretationen variieren. Die Noten sind die selben, doch offensichtlich überträgt jeder Pianist sie in seine ureigene Sprache. Stellt sich also die Frage: Gibt es einen Gulda-



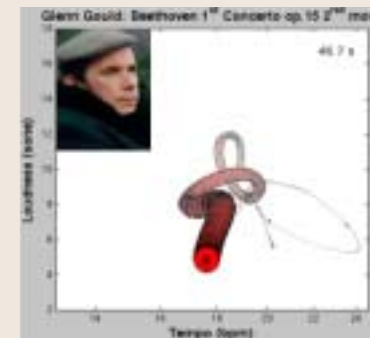
**MARTHA ARGERICH**  
Die geborene Argentinierin spielt das Beethoven-Stück leiser als alle anderen. Ihr Wurm bewegt sich stark in der Horizontalen, kaum nach oben.



**ALFRED BRENDEL**  
Auch der zweite Österreicher von Weltrang variiert stark in Tempo und Lautstärke. Spielt stellenweise wesentlich langsamer als die anderen.



**FRIEDRICH GULDA**  
Der 2000 verstorbene heimische Star-Pianist beginnt schnell, bringt immer wieder laute Passagen. Sein Wurm zeichnet eindrucksvolle Kurven.



**GLENN GOULD**  
Der kanadische Ausnahmemusiker erreicht das höchste Tempo, variiert aber nicht so stark in der Lautstärke. Sein Wurm bleibt kompakter.

Wurm? Und den Brendel-Wurm? Und kann der Computer sie erkennen?

Gerhard Widmer fütterte zu diesem Zweck den Computer mit Aufnahmen, die er analysieren und auf Charakteristika hin untersuchen wollte. Dann wurde der Maschine ein noch nie gehörtes Stück in Form eines Wurms vorgelegt - der Computer sollte beantworten, von wem der Wurm stammte. Die Erkennungsrate lag sensationell hoch bei 80 Prozent und darüber!

Gerhard Widmer: „Der Computer kann sogar Pianisten erkennen, wenn er an Mozart-Stücken gelernt hat und dann einen Chopin als Test kriegt.“

**MOZARTS SPRACHE.** Der Vorgang erinnert frappant an die Genforschung: Bei der Daten-Analyse zerschneidet der Computer die Wurm-Kurven in Schnipsel, gruppiert sie und errechnet daraus Prototypen. Macht er das mit mehreren Interpreten, lassen sich sogar die „typischen“ Merkmale eines Komponisten finden. Für Mozart etwa entdeckte der Computer 24 immer wieder vorkommende Bausteine: sozusagen die Buchstaben des Mozart-Alphabets.

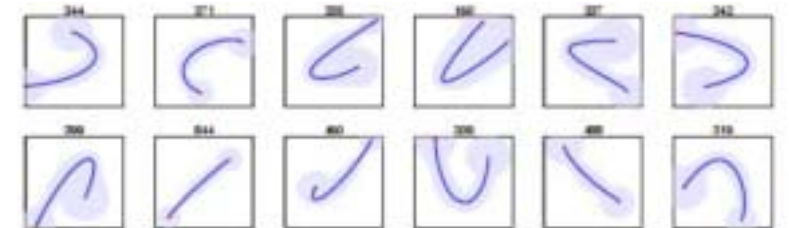
Den genetischen Code des Musizierens jagen Widmers Leute aber auch auf einem anderen Terrain. Sie wollen, dass der Computer selbst lernt, Musik zu spielen. Zu diesem Zweck wurde die Maschine mit den von Roland Batik eingespielten Mozart-Sonaten und den dazugehörigen Notentexten gefüttert. (106.000 Noten mußten dafür in den Computer eingegeben werden!) Aus der Beziehung von Aufnahme und Notentext sollte der Computer Regeln (also wiederkehrende Aus-

drucksmuster) finden und lernen. Gerhard Widmer entwickelte dazu einen eigenen Lernalgorithmus.

Ergebnis: In allen 13 Mozart-Sonaten entdeckte der PC nur 17 Regeln. Beispiel: Folgt auf zwei kurze Noten eine lange, wird die zweite kurze etwas länger gespielt.

Der Computer ist in der Lage, diese Regeln auch auf ihn unbekannte Stücke anzuwenden. Bei einem Wettbewerb für Computerinterpretation in Japan gewann Widmers Team 2003 auf Anhieb den zweiten Preis. Sieger wurde ein händisch optimiertes Programm. Das Wiener Programm aber hatte sich alles selbst beigebracht.

Wie Gulda oder Rubinstein kann die Maschine noch nicht spielen, aber wie ein Profi-Pianist klingt sie allemal. Zumindest für Laien. Und: Viele der am ÖFAI entwickelten Methoden und auch Widmers Lernalgorithmus können völlig musikunabhängig eingesetzt werden. Ja man könnte solche Methoden sogar verwenden, um Börsenkurse damit vorherzusagen. Aber das erwähnt Gerhard Widmer eher ungern. **SABINE MAIER ■**



**INFOS IM WEB**  
Unter [www.oefai.at](http://www.oefai.at) findet man das Österreichische Forschungsinstitut für Artificial Intelligence. Infos zum Musik-Projekt, Publikationen und das Team unter [www.oefai.at/music](http://www.oefai.at/music).

**DAS MOZART-ALPHABET**  
Datenanalyse durch Künstliche Intelligenz: Der Computer erkennt und findet „Bausteine“, die für die Musikstücke bestimmter Komponisten typisch sind und immer wieder vorkommen - und formt daraus eine Art musikalische Alphabet. Im Bild einige der 24 für Mozart typischen Buchstaben.