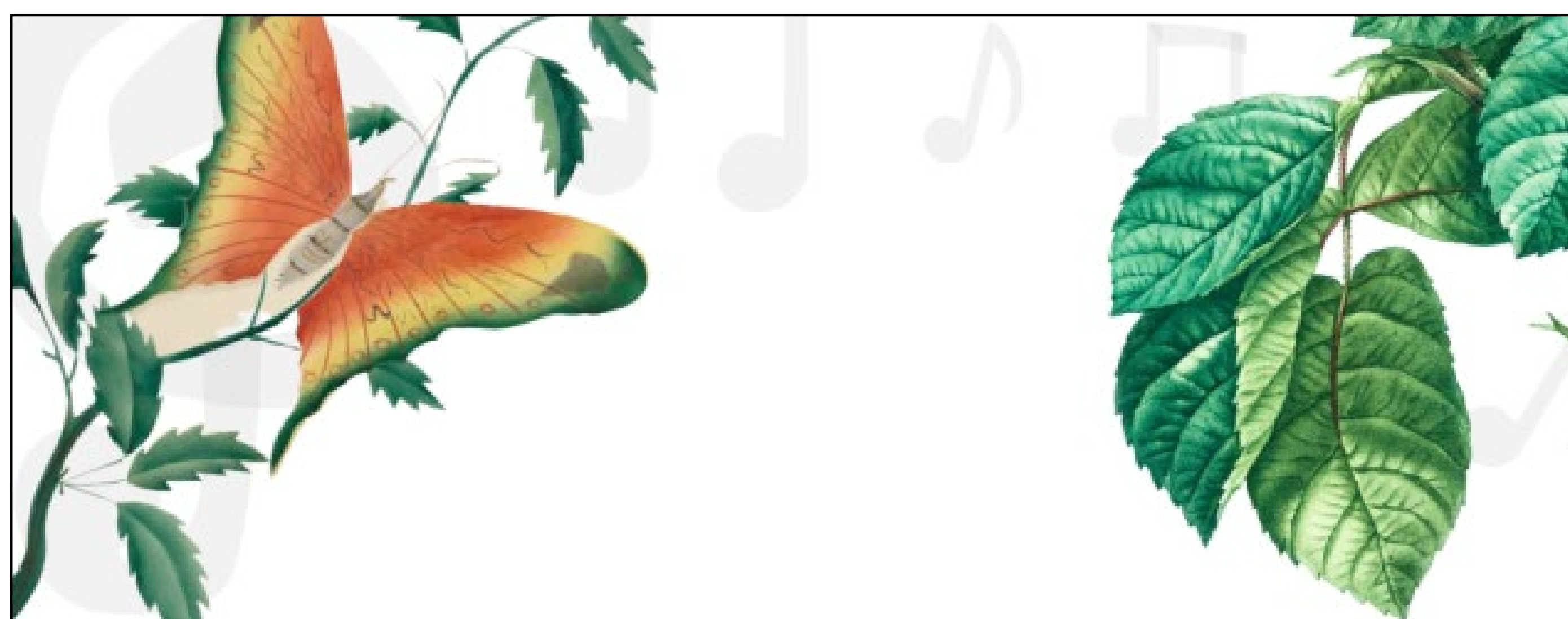




Matineekoncert

12.07.2026, 11:00 Uhr, Botanischer Garten Atrium am Mauergarten

Mit den Ohren eines Computers

Wie Computer Musik analysieren, verstehen und durchsuchen

Prof. Dr. Meinard Müller

International Audio Laboratories Erlangen
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
meinard.mueller@audiolabs-erlangen.de



Block 1: Einführung (Stefan Balke) [1 Minute]

- Wir Menschen erkennen Musik oft schon nach wenigen Sekunden. Wir denken:
 - Ach, das ist Holst!
 - Das klingt nach einer Trompete.
 - Dieses Stück kenne ich doch!
- Aber woher wissen wir das eigentlich? Was passiert dabei in unserem Kopf? Und könnte ein Computer so etwas auch lernen?
- Mit genau solchen Fragen beschäftigt sich die Forschung der **International Audio Laboratories Erlangen** an der Universität Erlangen-Nürnberg. Dort erforscht Professor **Meinard Müller** gemeinsam mit seiner Arbeitsgruppe, zu der auch ich gehöre, wie Computer Musik analysieren, verstehen und durchsuchen können.
- Diese Verbindung von Musik und Wissenschaft möchten wir auch hier in Höxter etablieren. Sie ist ein wichtiger Baustein des geplanten Blasmusikzentrums.
- Lieber Meinard, wir freuen uns auf Deinen Einblick.

Block 2: Muster erkennen [3 Minuten]

- Keine Sorge, heute gibt es keinen Informatikvortrag. Heute hören wir gemeinsam Musik und schauen nur gelegentlich durch die Brille eines Computers.
- Wenn Sie bei Google einen Satz eingeben, findet die Suchmaschine ähnliche Texte.
- Bei Bildern funktioniert das genauso: Sie können nach Bildern mit Stefan Balke suchen (Stichwort Gesichtserkennung), nach Bildern mit einer Trompete, mit Meerblick oder ganz allgemein nach Bildern mit bestimmten Objekten oder Strukturen.
- Wir machen im Grunde genau dasselbe. Nur eben mit Musik. Wir suchen nach musikalischen Mustern.
- Audio: Trompete spielt den Anfang von Beethovens 5. Sinfonie. Ta-ta-ta-taaa.**
- Fast jeder erkennt dieses Motiv sofort: das berühmte Schicksalsmotiv aus Beethovens Fünfter. Aber woran erkennen wir es eigentlich?
- Nicht wegen der Lautstärke. Nicht wegen des Instruments. Sondern weil unser Gehirn das **Muster** erkennt: eine charakteristische Folge von Tonhöhen und Rhythmen
- Audio: Dasselbe Motiv auf einer Vuvuzela. Ta-ta-ta-taaa.**
- Selbst hier erkennen wir das Motiv sofort wieder. Tatsächlich reicht beim Schicksalsmotiv oft schon der Rhythmus zur Wiedererkennung aus.
- Für uns Menschen ist das selbstverständlich. Für einen Computer ist das eine erstaunlich schwierige Aufgabe. Er muss lernen, dass trotz unterschiedlicher Instrumente, Lautstärken oder Tempi immer noch dasselbe musikalische Muster vorliegt.
- Genau solche Verfahren entwickeln wir in unserer Forschung: Suchmaschinen, die Musik nicht über Titel oder Komponisten finden, sondern über die Musik selbst.

Block 3: Versionserkennung [ca. 2 Minuten]

- Meist stellen wir uns Musik in Form von Noten vor. Dort sind musikalische Muster, wie das Schicksalsmotiv, direkt sichtbar.
- Schwieriger wird es, wenn wir nicht in Noten, sondern in **Musikaufnahmen** suchen wollen, also in dem, was wir tatsächlich hören. Für den Computer sind das zunächst nur Wellenformen, also Luftdruckschwankungen.
- Viele von Ihnen kennen vielleicht die **Shazam-App**. Man hält das Handy an den Lautsprecher und wenige Sekunden später zeigt die App Titel und Interpret an.
- Das funktioniert erstaunlich gut, allerdings meist nur, wenn es genau dieselbe Aufnahme ist. Ist unsere Anfrage eine berühmte Aufnahme von Leonard Bernstein und den Wiener Philharmonikern, dann erkennt Shazam genau diese Aufnahme wieder.
- Eine kurze Anfrage mit einer Aufnahme unseres heutigen Blasorchesters würde dagegen vermutlich zu keinem Treffer führen, obwohl dasselbe Musikstück gespielt wird.
- Frage ins Publikum:** Probieren wir es aus?
- Audio: Orchester spielt Motiv: Ta-ta-ta-taaa**
- Frage ins Publikum:** Findet Shazam einen Treffer?
- In der Forschung interessiert uns deshalb eine schwierigere Frage: Erkennt ein Computer **dasselbe Musikstück** allein anhand der Wellenformen, auch wenn Instrumentierung, Dynamik oder Interpretation unterschiedlich sind?

Block 4: Klang [ca. 3 Minuten]

- Schauen wir uns die Frage einmal von Grund auf an: Warum klingt eigentlich eine Trompete anders als eine Flöte?
- Beide können denselben Ton spielen. Trotzdem erkennen wir sofort, welches Instrument wir hören.
- **Audio: Trompete und Flöte spielen nacheinander denselben Ton.**
- Der Grund ist die **Klangfarbe**. Jeder Ton besitzt seine eigene Mischung aus Obertönen und verändert sich im Laufe der Zeit.
- Wir hören den Unterschied sofort. Für unser Gehirn ist das ganz selbstverständlich.
- Der Computer muss diese Unterschiede erst lernen. Er analysiert dazu die Wellenform und untersucht, welche Frequenzen darin enthalten sind und wie sie sich im Laufe der Zeit verändern.
- Mit einer sogenannten **Frequenzanalyse** können wir den Klang sogar sichtbar machen. Dabei werden die Obertöne eines Instruments und ihr zeitlicher Verlauf sichtbar.
- **Audio: Trompete und Flöte spielen jeweils einmal ohne Vibrato und einmal mit Vibrato.**
- Auch solche Unterschiede kann der Computer messen. Vibrato ist technisch gesehen eine Kombination aus Frequenz- und Amplitudenmodulationen und hinterlässt charakteristische Muster im Signal.
- Daraus ergibt sich die nächste spannende Frage: Kann ein Computer allein anhand dieser Muster erkennen, welche Instrumente gerade spielen?
- Nach dem Konzert können Sie sich das selbst anschauen. An den Ausstellungsständen zeigen wir solche Frequenzanalysen, sogenannte **Spektrogramme**, und erklären, wie Computer Klang sichtbar machen.

Block 5: Zusammenspiel und Intonation [ca. 3 Minuten]

- Bisher haben wir immer nur ein einzelnes Instrument betrachtet. In einem Orchester wird die Aufgabe plötzlich viel schwieriger.
- **Audio: Das Orchester spielt einen kurzen Ausschnitt aus „Jusa, geh voran“ mit guter Intonation.**
- Das klingt gut! Jetzt spielen wir dieselbe Stelle einmal so, wie sie hoffentlich nur in der Probe klingt.
- **Audio: Dasselbe Beispiel wird absichtlich möglichst schief gespielt.**
- Das hören wahrscheinlich alle sofort: Irgendetwas stimmt hier nicht. Die Intonation passt nicht mehr, die Töne liegen nicht mehr genau übereinander.
- Stimmen Töne nicht exakt zusammen, entstehen Reibungen zwischen den Klängen. Der Klang wird rau, und es entstehen sogenannte **Schwebungen**. Das kann man besonders gut mit zwei Instrumenten hören.
- **Audio: Zwei Posaunen spielen zunächst sauber zusammen und dann leicht gegeneinander verstimmt.**
- Für uns ist der Unterschied sofort hörbar. Aber könnte ein Computer das auch erkennen? Könnte er einem Orchester oder einer Musikerin später einmal Rückmeldung geben: „**Hier seid ihr ein kleines bisschen zu tief**“ oder „**diese beiden Stimmen passen noch nicht ganz zusammen**“?
- Das ist eine erstaunlich schwierige Aufgabe. Für den Computer besteht selbst ein großes Orchester zunächst nur aus **einer einzigen Luftdruckschwingung**, in der alle Instrumente gleichzeitig enthalten sind.
- Er muss diese Mischung zunächst wieder in ihre einzelnen Klangquellen zerlegen. Dieses Forschungsgebiet nennen wir **Quellentrennung**.
- Um solche Fragestellungen überhaupt untersuchen zu können, sind **Mehrspuraufnahmen**, sogenannte **Multitrack-Aufnahmen**, eine enorme Hilfe. Dabei wird jedes Instrument einzeln aufgenommen, obwohl später wieder das ganze Orchester zu hören ist.
- Genau dazu dient auch dieses Projekt. Neben dem Konzert entstehen solche Aufnahmen, mit denen wir neue Verfahren entwickeln und testen können. So verbinden wir musikalische Praxis und wissenschaftliche Forschung.

Block 6: Beat Tracking und Tempo [ca. 3 Minuten]

- Bisher haben wir gefragt: **Was** wird gespielt? Jetzt kommt eine ganz andere Frage: **Wann** wird etwas gespielt?
- Musik lebt vom richtigen Timing. Wir Menschen spüren diesen musikalischen Puls meist ganz intuitiv. Diesen Puls nennt man den **Beat**. Daraus ergibt sich das **Tempo** eines Musikstücks.
- Beim nächsten Beispiel können wahrscheinlich fast alle sofort mitklatschen.
- **Audio: Weserlied.**
- Das klappt erstaunlich gut. Für uns Menschen ist das ganz selbstverständlich. Und auch für einen Computer ist das eine vergleichsweise leichte Aufgabe.
- Jetzt wird es schwieriger. Versuchen Sie beim nächsten Beispiel wieder mitzuklatschen.
- **Audio: Stück mit starkem Rubato und deutlichen Temposchwankungen.**
- Gar nicht so einfach, oder? Die Musik wird schneller, dann wieder langsamer. Manche Einsätze kommen bewusst etwas früher oder später. Musiker nennen das **Rubato**.
- Genau solche Fragen beschäftigen uns in der Forschung: Wie kann ein Computer den musikalischen Puls erkennen, auch wenn sich das Tempo ständig verändert?

Block 7: Abschluss [ca. 2 Minuten]

- Vielleicht haben Sie heute gemerkt, dass in Musik viel mehr steckt, als man auf den ersten Blick hört. Musik besteht eben nicht nur aus Noten, sondern aus Klang, Ausdruck, Zusammenspiel und Emotionen.
- Heute haben wir gesehen: Ein Computer muss lernen,
 - musikalische Muster zu erkennen,
 - Musikstücke wiederzufinden,
 - Instrumente zu unterscheiden,
 - Klang zu verstehen,
 - Zusammenspiel zu analysieren und
 - Tempo und Rhythmus zu verfolgen.
- Genau mit solchen Fragen beschäftigen wir uns in unserer Forschung.
- Unser Ziel ist nicht, Musikerinnen und Musiker zu ersetzen, sondern sie zu unterstützen: beim Üben, im Unterricht und beim Verstehen und Bewahren unserer musikalischen Kultur.
- Ich hoffe, Sie genießen die weiteren Stücke heute mit etwas anderen Ohren. Vielen Dank!