

# Musik als Daten

## **Extraktion von Takt und Rhythmus**

Von Anna Schulze

16.05.06

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

## Übersicht

2.

2.1

2.2

2.3

1. Musiktheorie

2. Beat Detection

3.

3.1

3.2

3.3

3. Rhythmische Merkmale

4. Extraktion rhythmischer Muster

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

2.3

3.

3.1

3.2

3.3

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

1. Musiktheorie

1.1 Metrum

1.2 Rhythmus

1.3 Tempo

1.4 Rhythmik der Gesellschaftstänze

1.

**1.1**

1.2

1.3

1.4

**1.1 Metrum**

➤ *Verhältnis unterschiedlicher Betonungen*

2.

2.1

2.2

2.3

➤ Regelmäßig auftretende Betonungen werden  
**Hauptzählzeiten** genannt

3.

3.1

3.2

3.3

**Takt:** *Gruppierung der Betonungen zu  
einer gedachten Einheit*

➤ **Taktschlag**

➤ **Notenwert**

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

➤ **Taktart**

➤ **Auftakt**

1.

1.1

**1.2**

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

2.3

3.

3.1

3.2

3.3

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

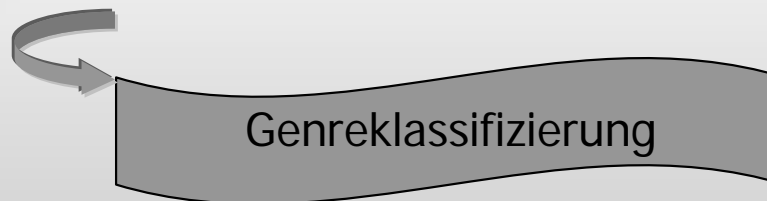
## 1.2 Rhythmus

➤ *Relative Dauer von Klang und Pausen*

➤ Klänge können in **Nebenzählzeiten** erklingen

➤ Musikstücke verwenden Rhythmusmuster

**These:** Es lassen sich typische rhythmische Muster zu bestimmten Musikrichtungen finden



- 1.
- 1.1
- 1.2
- 1.3**
- 1.4
- 2.
- 2.1
- 2.2
- 2.3
- 3.
- 3.1
- 3.2
- 3.3
- 4.
- 4.1
- 4.2
- 4.3
- 4.4

### 1.3 Tempo

- *Absolute Dauer der Taktschläge*
- Angabe hier immer in BPM („*beats per minute*“, Taktschläge pro Minute)
- Weitere Möglichkeiten:
  - MM („*Metronom Mälzel*“)
  - bpm („*bars per minute*“, Takte pro Minute)

### Zusammenhänge:

**Hauptzählzeiten: regelmäßige Betonungen**



**Takt: Gruppierung durch starke und schwache Betonungen**



**Rhythmus: Zusammenspiel von Tönen und Pausen**



**Tempo: dahinfließende Zeit**

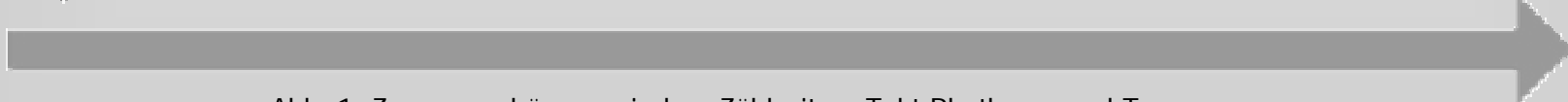


Abb. 1: Zusammenhänge zwischen Zählzeiten, Takt Rhythmus und Tempo

1.

1.1

1.2

1.3

**1.4**

2.

2.1

2.2

2.3

3.

3.1

3.2

3.3

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

## 1.4 Rhythmik der Gesellschaftstänze

Tänze	Taktart	Grund- rhythmus	Normales Tempo (in BPM)	Tempo Bereiche (in BPM)
Samba	2/4	1 a2	104	92 - 137
Rumba	4/4	-	104	73 - 245
Cha Cha Cha	4/4	2 3 4 + 1	128	116 - 128
Jive	4/4	1 a2	176	124 - 182
Langsamer Walzer	3/4	<b>1</b> (2) 3	84 - 90	78 - 106
Wiener Walzer	3/4	<b>1</b> (2) 3	180	168 - 190
Quickstep	4/4	<b>1</b> 2 a <b>3</b> 4 a	200 - 208	189 - 216
Tango	2/4 4/4	<b>1</b> + 2 + a	64 - 66 (128 - 132)	112 - 140

Tab. 1: Merkmale der Musiken (Quellen: [1], [2], [4])

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

**2.**

2.1

2.2

2.3

3.

3.1

3.2

3.3

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

## 2. Beat Detection

2.1 Onset Detection

2.2 Clustering of Inter-Onset Intervals

2.3 BeatRoot (Dixon)



1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

**2.1**

2.2

2.3

3.

3.1

3.2

3.3

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

## 2.1 Onset Detection

- Filtern (Hochpass) und glätten des Signals
- Bilden der **Amplitudenhülle**
- Suchen der Maxima dieser Hülle
- Anschlagsverzögerung beachten

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

**2.2**

2.3

3.

3.1

3.2

3.3

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

## 2.2 Clustering of Inter-Onset Interval

- *Zeit (in sec) zwischen zwei aufeinander folgenden Betonungen*
- Erweiterung durch sämtliche Paare von Betonungen
- Gruppierung der Intervalle (in Cluster)
- Ordnen der Cluster nach Elementanzahl (Annahmen/Hypothesen über das Tempo)
- Repräsentation in einem *Inter-Onset Interval Histogram* (y-Achse: Auftrittshäufigkeit der Intervalle, x-Achse: Zeit in sec.)

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

**2.3**

3.

3.1

3.2

3.3

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

## 2.3 BeatRoot

- *Programm zur Taktschlagserkennung (Dixon)*
  
- Graphische und akustische Darstellung der ermittelten Taktschläge
  
- Arbeitet in 2 Phasen:
  - Tempo Einschätzung
  - *Beat Tracking*

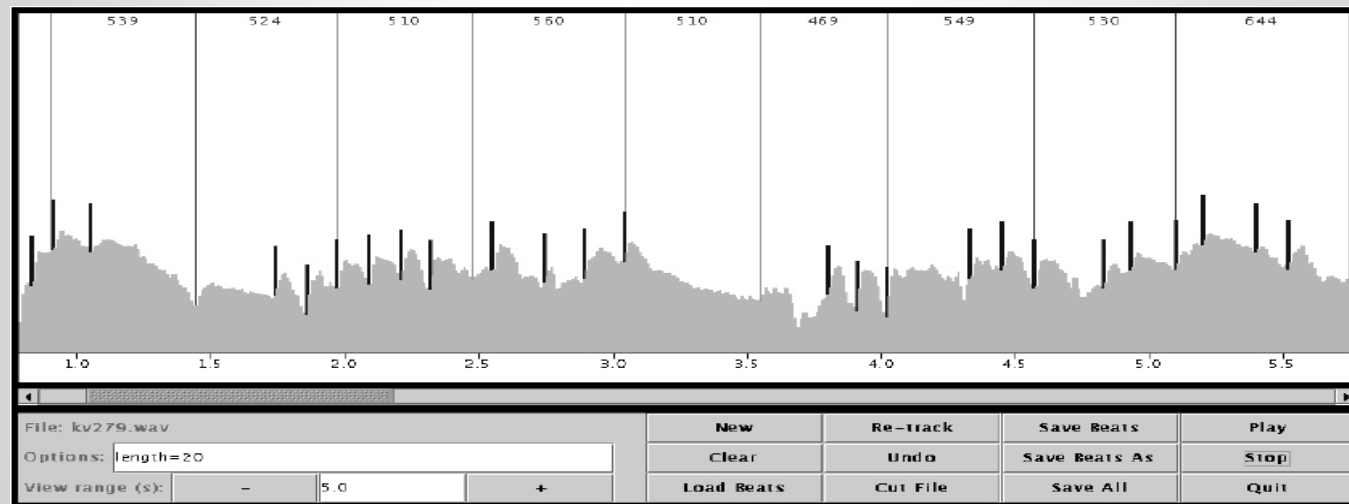


Abb. 2: Screenshot des *beat trackers* (entnommen aus [3])

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

**2.3**

3.

3.1

3.2

3.3

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

## 2.3.1 Beat Tracking

- Erstellen von *beat tracking agents* für jede Hypothese
  
- Möglichkeiten der *agents*
  - Voraussagen von Taktschlägen
  - Verknüpfung mit rhythmischen Ereignissen
  - Erzeugen eines neuen *agent*
  - Einstellen der Arbeit
  
- Wahl der besten Hypothese mittels einer Auswertungsfunktion

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

2.3

**3.**

3.1

3.2

3.3

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

## 3. Rhythmische Analyse

3.1 Diskrete Wavelet Transformation (DWT)

3.2 Beat Histogram

3.3 Rhythmische Merkmale

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

2.3

3.

**3.1**

3.2

3.3

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

## 3.1 Diskrete Wavelet Transformation (DWT)

- Zeitlich lokale Betrachtung des Signals (wie bei STFT)
- Bereiche können zeitlich skaliert werden; hohe zeitliche Auflösungen möglich
- Zerlegung des Signals (Frequenzbänder)
- Kompakte, leicht zu verarbeitende Darstellung

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

2.3

3.

3.1

**3.2**

3.3

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

## 3.2 Beat Histogram

- *Häufigkeit und Stärke (y-Achse) der Periodizitäten in BPM (x-Achse)*
  
- Phasen zum erstellen des *Beat Histogramms* (vorher DWT):
  - *Full Wave Rectification* (FWT)
  - *Low Pass Filtering* (LPF)
  - *Downsampling*
  - *Normalization* (NR)
  - *Autokorrelation* (AR)

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

2.3

3.

3.1

**3.2**

3.3

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

### 3.2.1 Phasen zu Erstellung eines Beat Histogramm

- *Full Wave Rectification (FWR)*

$$y(n) = |x(n)|$$

- *Low Pass Filtering (LPF)*

$$y(n) = (1 - \alpha)x(n) + \alpha y(n - 1)$$

- *Downsampling*

$$y(n) = x(kn)$$

- *Normalization (NR)*

$$y(n) = x(n) - E(x(n))$$

- *Autokorrelation (AR)*

$$y(n) = \frac{1}{N} \sum_n x(n)x(n + \tau)$$



1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

2.3

3.

3.1

3.2

**3.3**

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

### 3.3 Rhythmische Merkmale

➤ Merkmale:

- Period0(P0)

- Amplitude0(A0)/ Amplitude1(A1)/  
Amplitude2(A2)/ Amplitude3(A3)

- RatioPeriod1(RP1)/ RatioPeriod2(RP2)/  
RatioPeriod3(RP3)

➤ Merkmalsvektor:

$$\vec{m} = (P0, A0, RP1, A1, RP2, A2, RP3, A3)$$

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

2.3

3.

3.1

3.2

3.3

**4.**

4.1

4.2

4.3

4.4

## 4. Extraktion rhythmischer Muster

4.1 Aufbereitung der Daten

4.2 Bestimmung des Taktes

4.3 Extraktion der Muster

4.4 Genreklassifizierung

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

2.3

3.

3.1

3.2

3.3

4.**4.1**

4.2

4.3

4.4

## 4.1 Aufbereitung der Daten

- Umwandlung in PCM Format

- Bilden einer Amplitudenhülle mit einem RMS („*root mean square*“) Filter:

$$y(n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=nh}^{(n+k)h-1} x(i)^2}{kh}}$$

mit

$$h = \frac{rl}{b}$$

- Genau  $b$  Werte pro Takt

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

2.3

3.

3.1

3.2

3.3

4.

4.1

**4.2**

4.3

4.4

## 4.2 Bestimmung des Taktes

➤ Position des ersten Taktes  $m(1)$  wird mit Hilfe von BeatRoot bestimmt

➤ Bestimmung jedes weiteren Taktes mit Korrekturfaktor  $\delta(i)$ :

$$m(i+1) = m(i) + b + \delta(i)$$

$$\delta(i) = \arg \max_{k=-d}^d \sum_{j=0}^{b-1} y(m(i) + b + k + j) * z(i, j)$$

$$z(i, j) = \sum_{k=1}^i y(m(k) + j)$$

$$d = \left\lfloor \frac{b}{20} \right\rfloor (5\%)$$

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

2.3

3.

3.1

3.2

3.3

4.

4.1

4.2

**4.3**

4.4

## 4.3 Extraktion der Muster

- Zusammenfassen der  $b$  Werte pro Takt zu einem Vektor:

$$v_i = \langle y(m(i)), y(m(i)+1), \dots, y(m(i)+b-1) \rangle$$

- Verwenden eines *k-means-Algorithmus* (4 Cluster)

- Charakteristisches rhythmisches Muster  $p(n)$  aus dem größten Cluster  $C_j$

$$p(n) = \frac{1}{|C_j|} \sum_{k \in C_j} y(m(k) + n)$$

- Keine Informationen über das Tempo

### 4.3.1 Beispiele rhythmischer Muster

- 1.
- 1.1
- 1.2
- 1.3
- 1.4
- 2.
- 2.1
- 2.2
- 2.3
- 3.
- 3.1
- 3.2
- 3.3
- 4.
- 4.1
- 4.2
- 4.3**
- 4.4

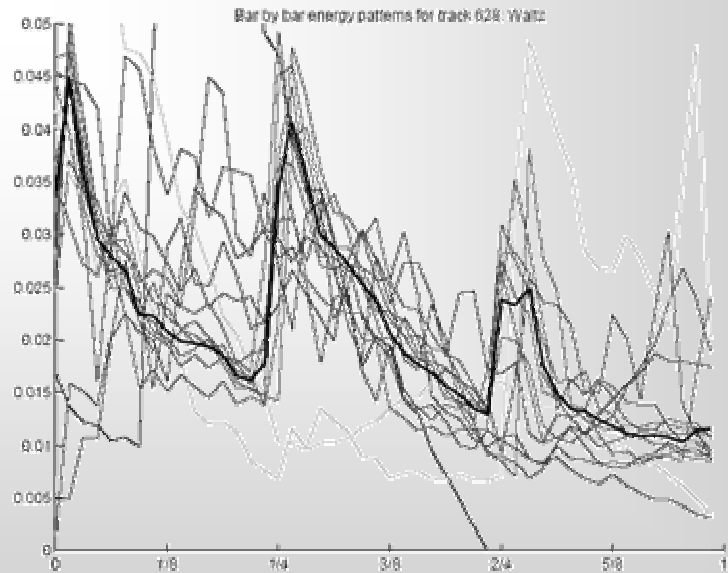
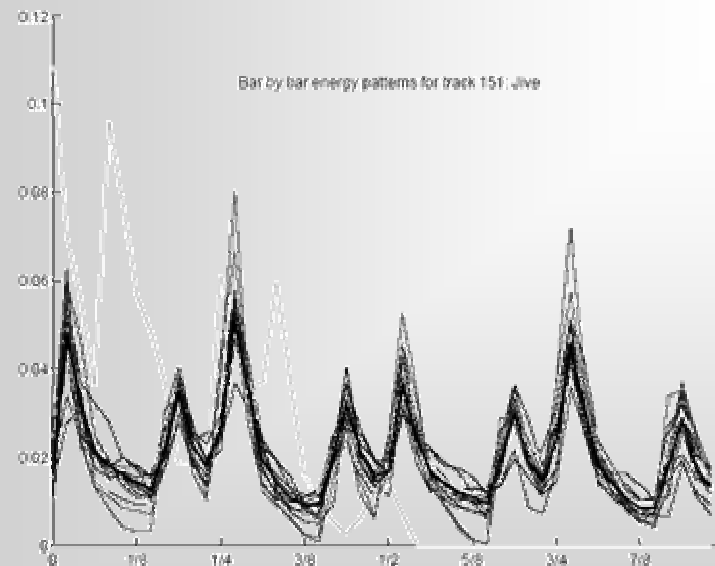
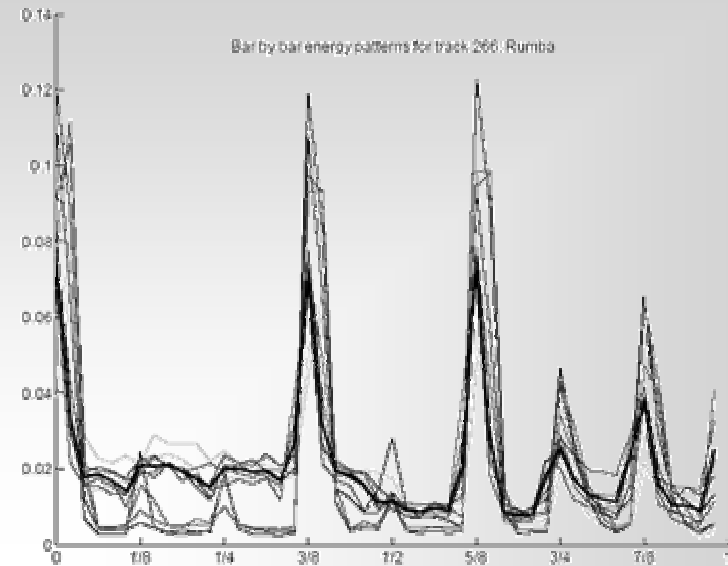
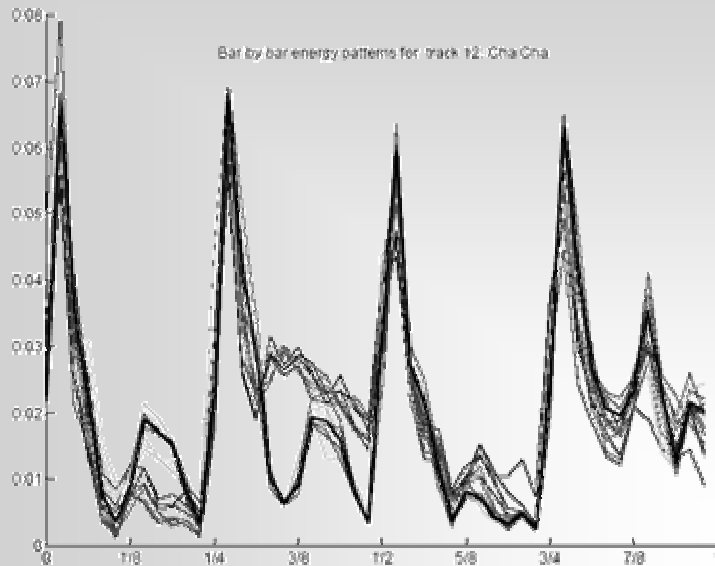


Abb. 3 (entnommen aus [2])

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

2.3

3.

3.1

3.2

3.3

4.

4.1

4.2

4.3

**4.4**

## 4.4 Genreklassifikation

- Extraktion typischer Muster eines Genre mit *10-fold cross-validation*
- Klassifikation mit verschiedenen Algorithmen:
  - *k-Nearest-Neighbour Algorithmus*
  - *decision tree learning*
  - *Regressionsanalyse*
- *Distanz zweier Muster:*
$$D(i, j) = \sqrt{\sum_{k=1}^b (p_i(k) - p_j(k))^2}$$
- *Klassifikationsrate von bis zu 50%*
- *Bei Kombination bis zu 96%*

## Literaturverzeichnis

- [1] Schmidt, U.: *"Tanzen ist Musik"*, 3. Auflage. Deutscher Tanzbuch Verlag (dtb), 2001
- [2] Dixon, Gouyon, Widmer: *"Towards Characterisation of Music via Rhythmic Pattern"*. Universität Pompeu Fabra, 2004
- [3] Dixon, S.: *"Automatic Extraction of Tempo and Beat from Expressive Performance"*. Austrian Research Institute for Artificial Intelligence, 2001
- [4] Gouyon, Dixon: *"Dance Music Classification: A Tempo-Based Approach"*. Universität Pompeu Fabra, 2004
- [5] Krol, L. und Mzyk, M. *"Extraction of Rhythmical Features of Audio Signal"*. Seminararbeit Uni Münster, 2005