

Rechnerische Modellierung von Glockenklängen

Joachim Grabinski

Nordhausen

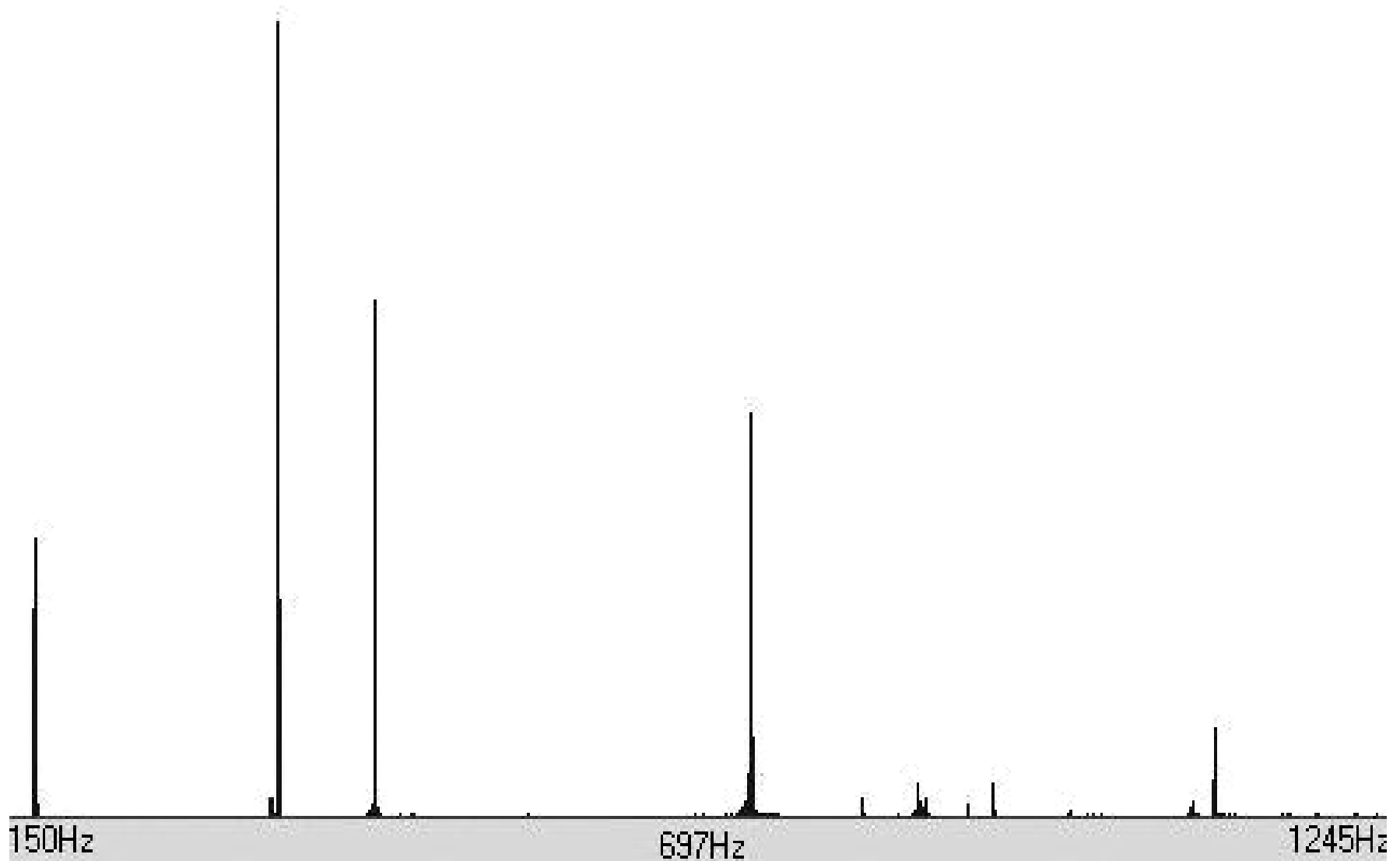
3 Aspekte des Klangs:

- Frequenz
- Zeit
- Amplitude

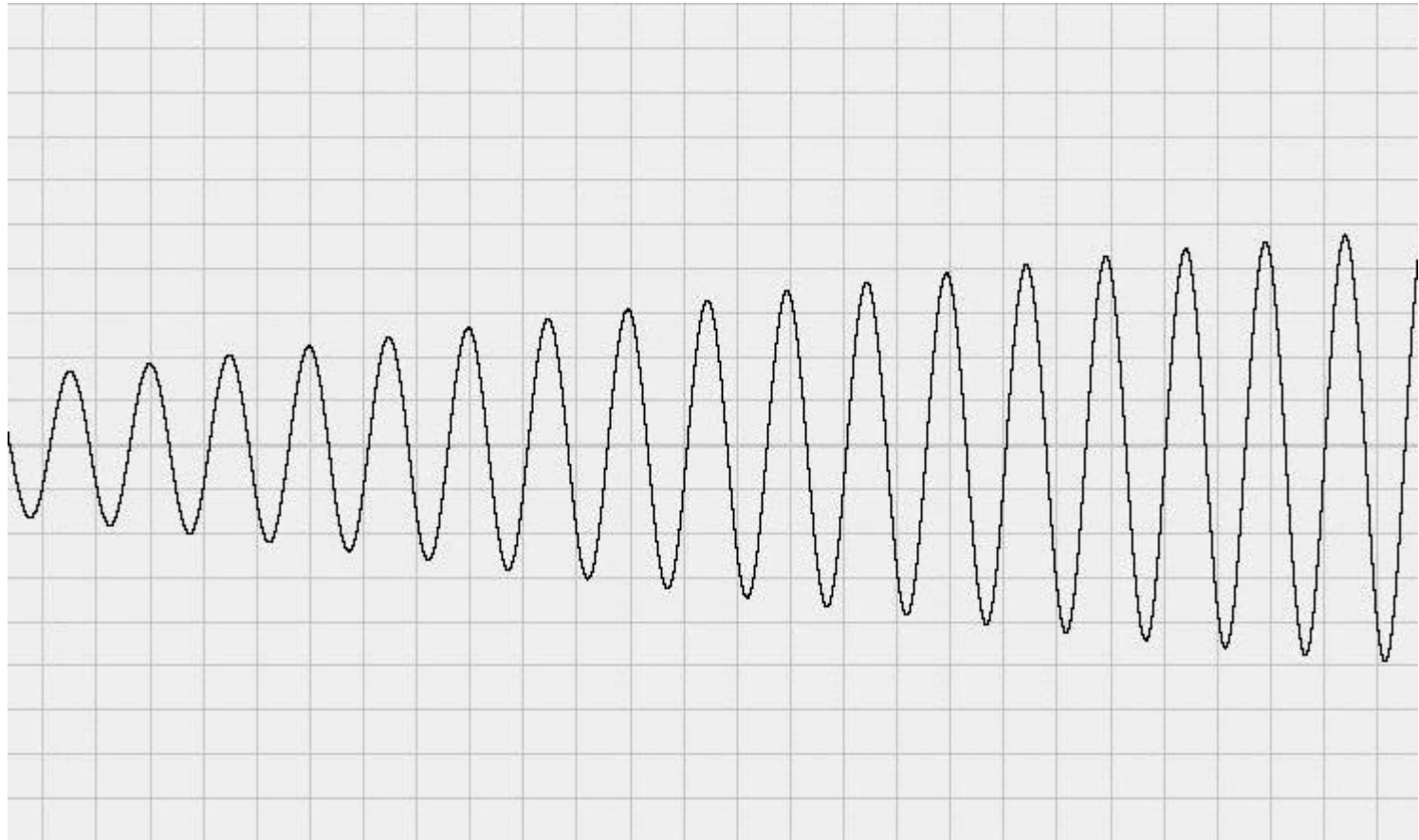
Ablauf Analyse/Synthese

1. Spektralanalyse
2. Herausfiltern der Teiltöne
3. Ermitteln der realen Hüllkurven
4. Modellhafte Nachbildung der Hüllkurven
5. Synthetisierung des Signals

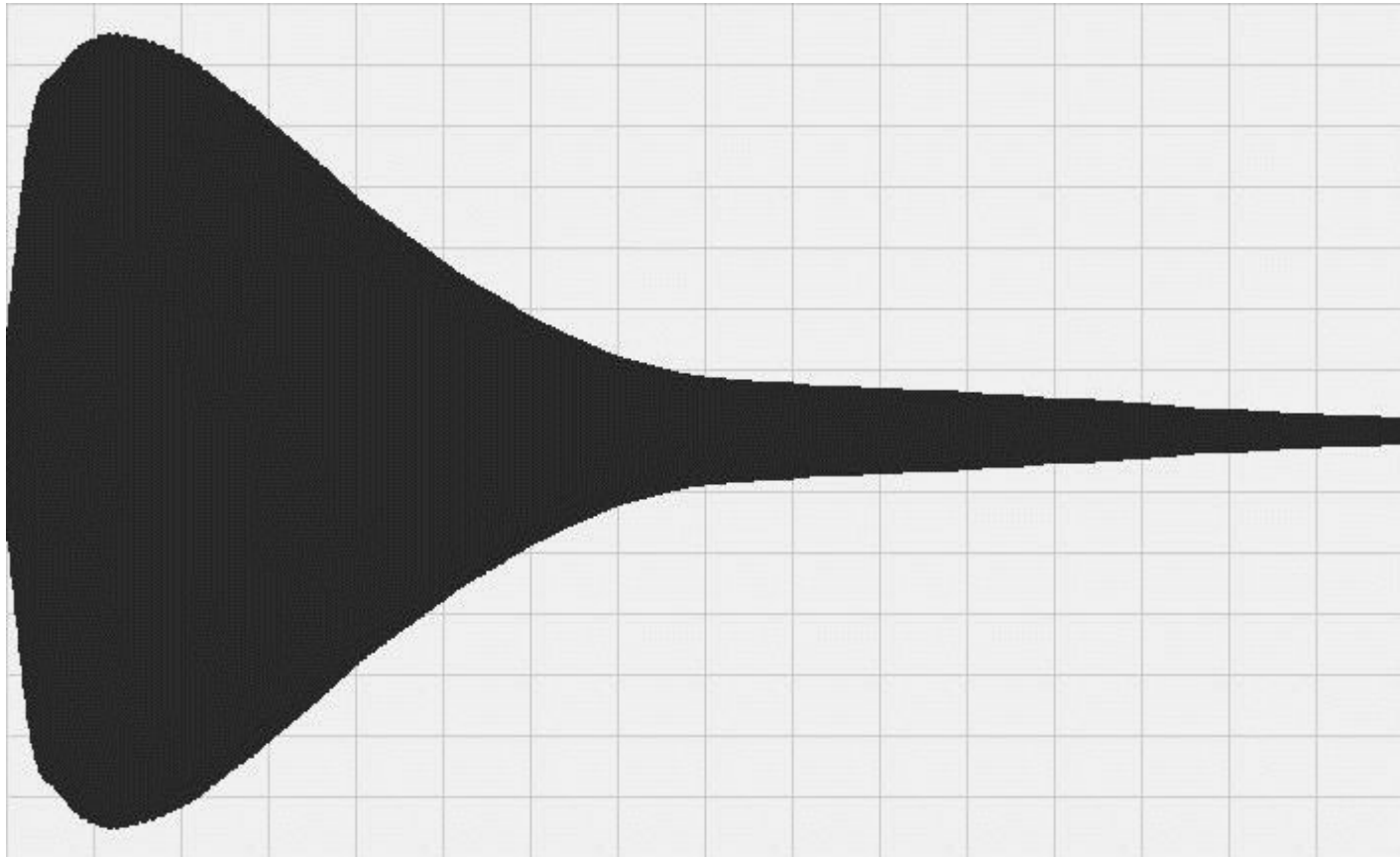
Spektralanalyse



Signalverlauf eines Teiltons



Hüllkurve



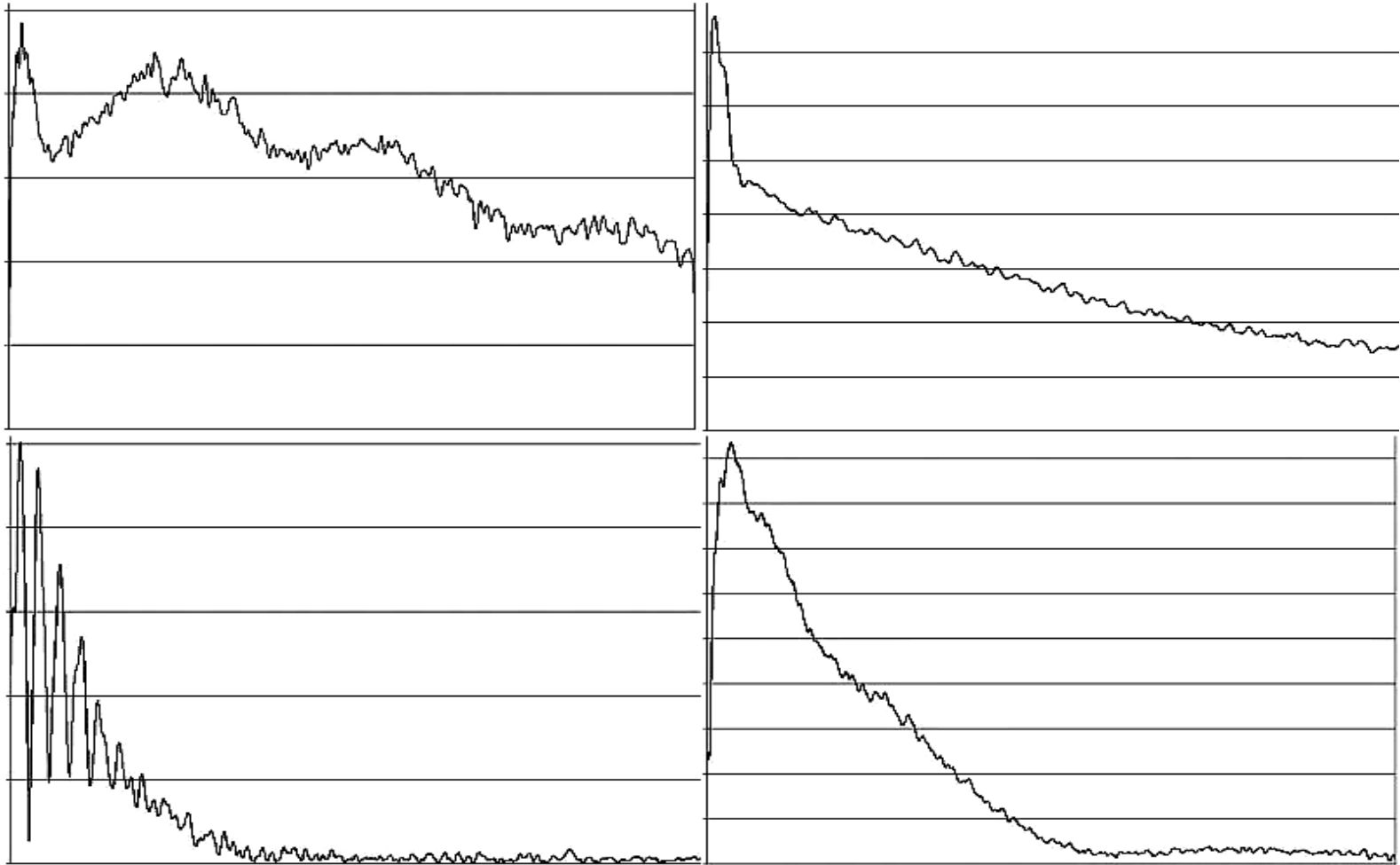
Jede Klangsynthese steht und fällt mit der Qualität der modellierten Hüllkurven

Klangbeispiel

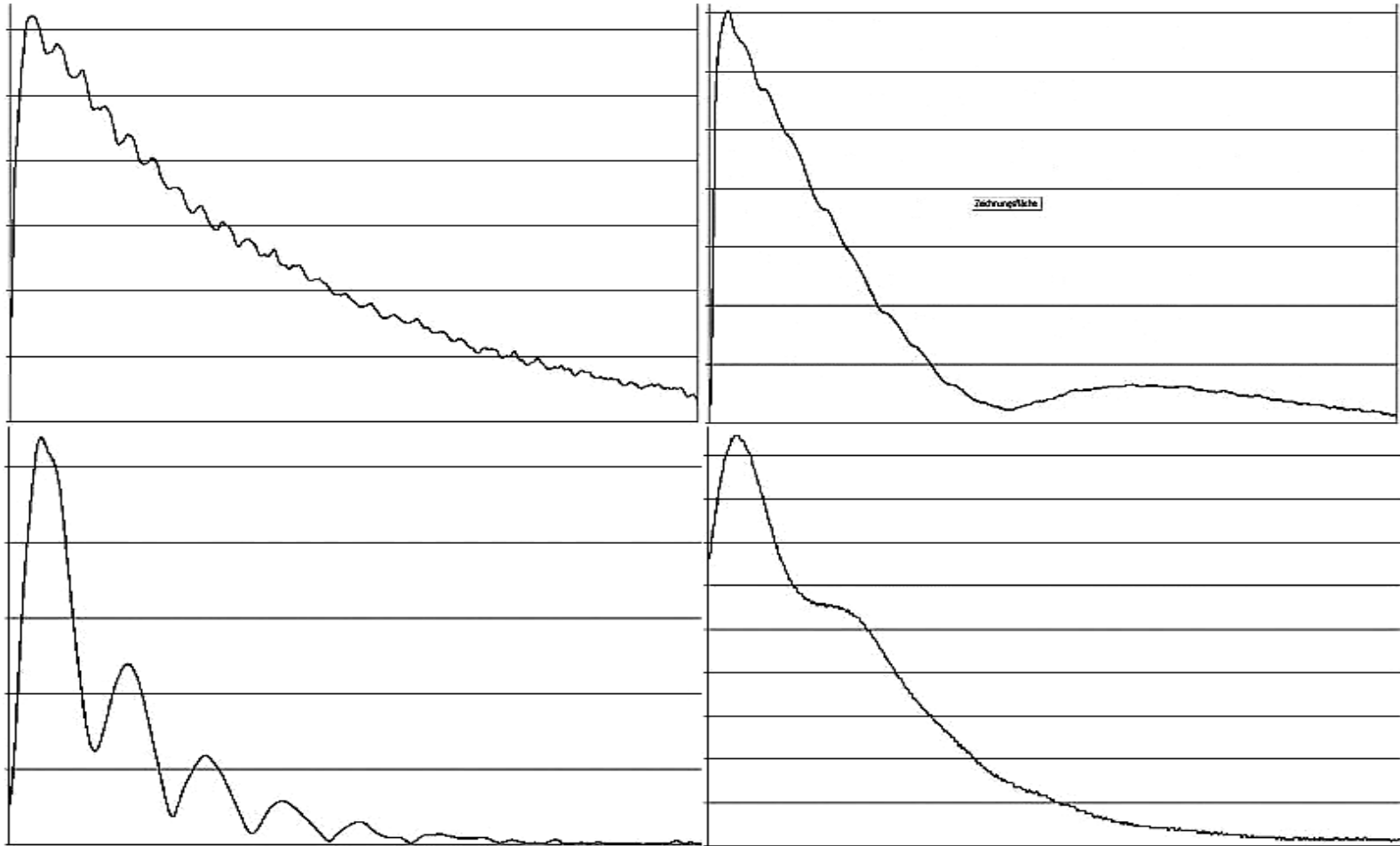
Ruhende Glocke mit dem Klöppel
angeschlagen, abwechselnd Originalklang
und synthetisierter Klang

 fis¹ (Schilling Apolda 1927)

Hüllkurvenbeispiele 1

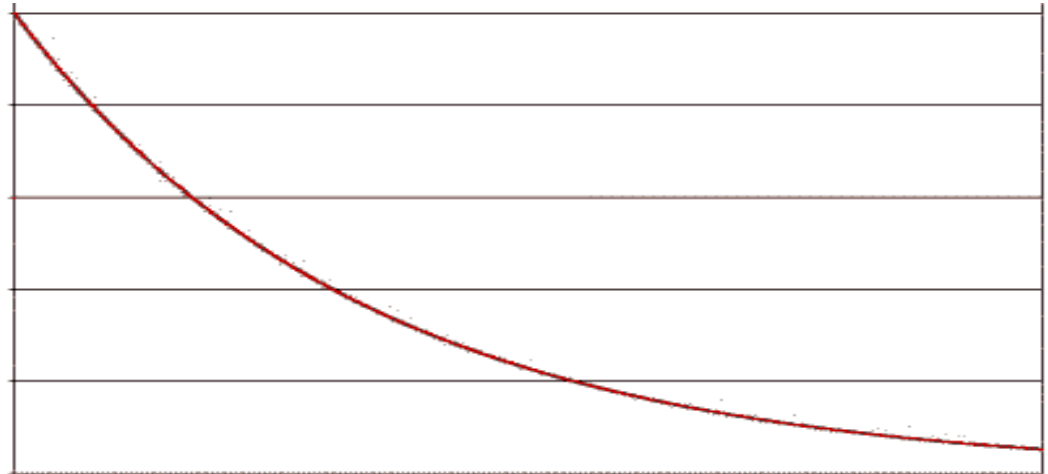


Hüllkurvenbeispiele 2

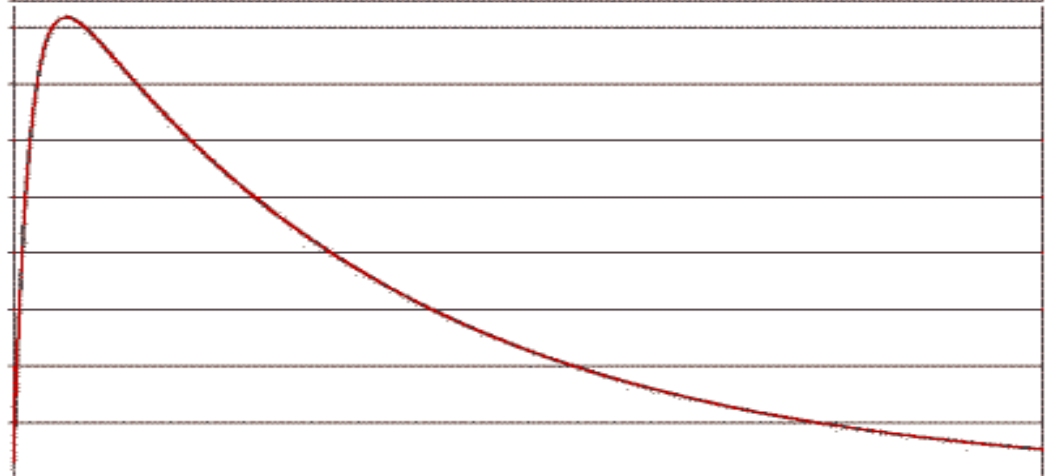


Einfache Hüllkurvenmodelle

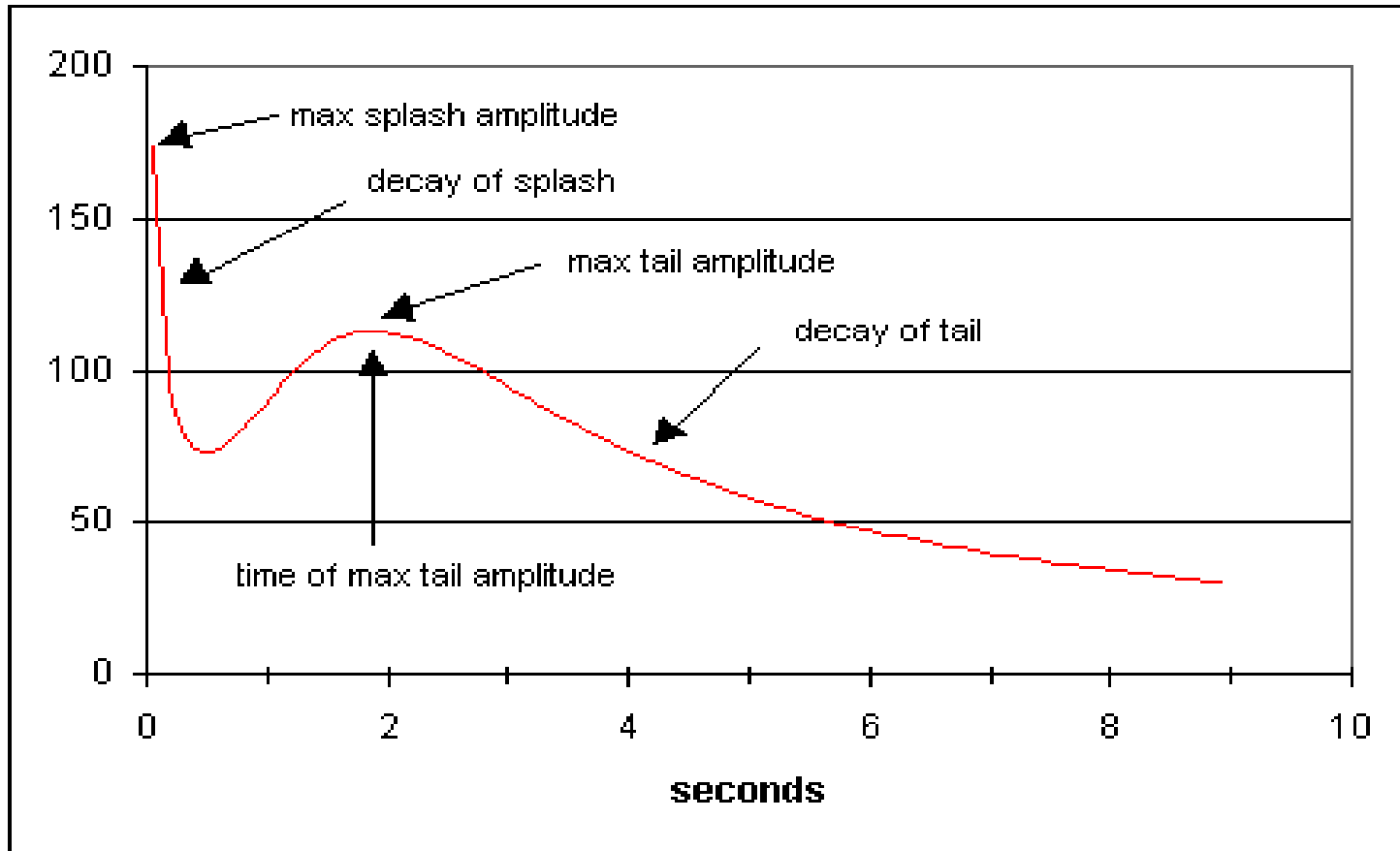
einfachste Form:



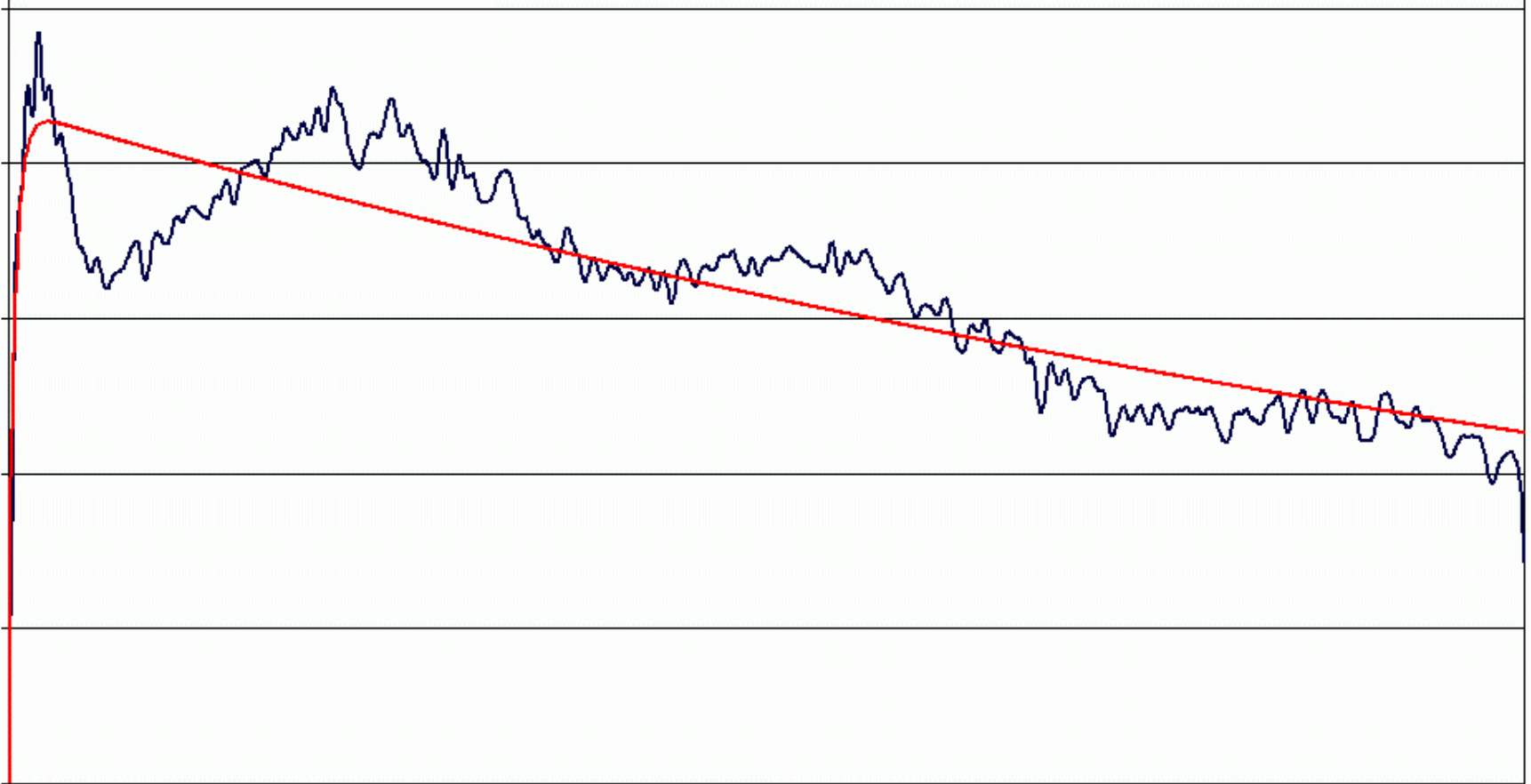
mit Einschwingvorgang:



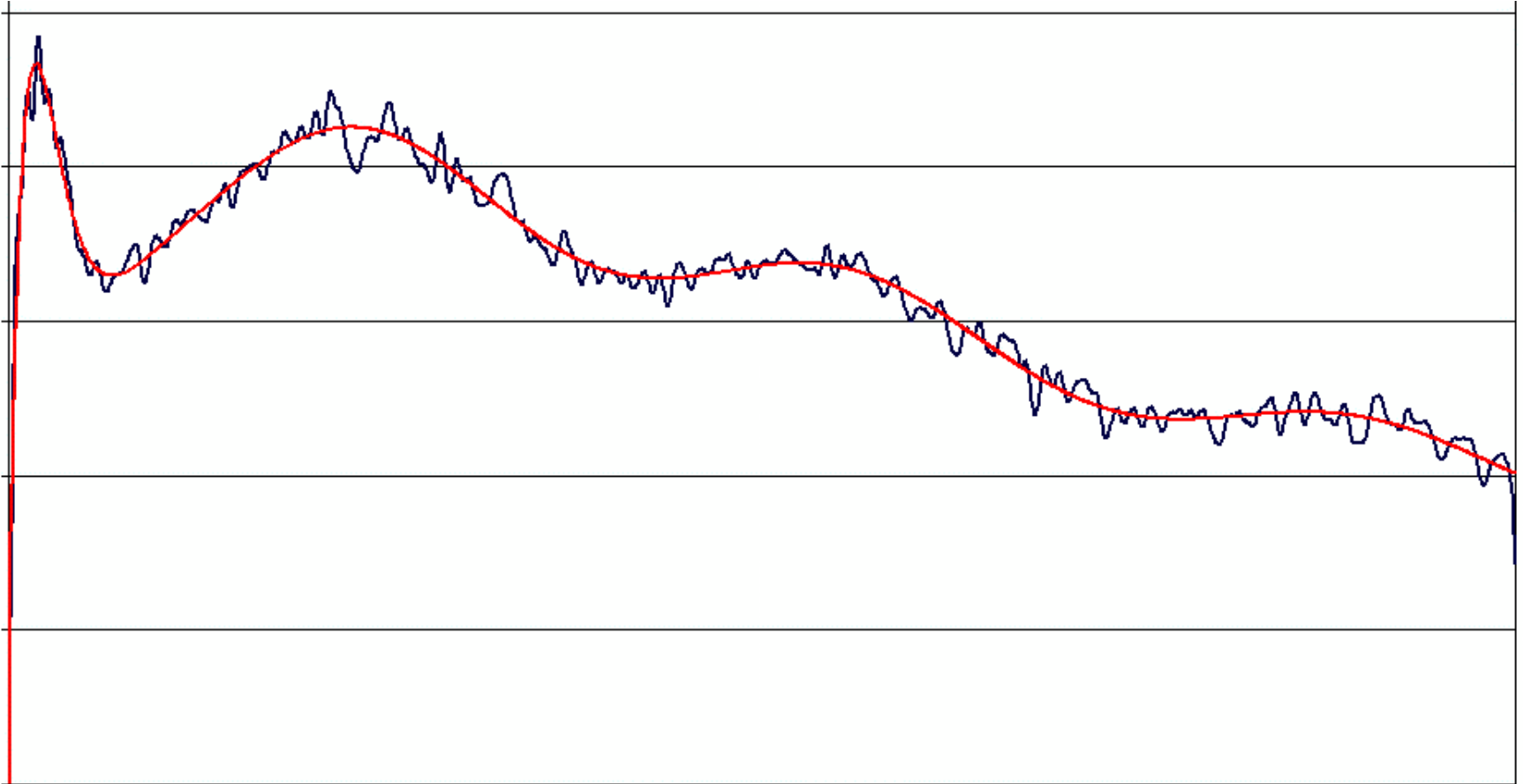
Hüllkurvenmodell n. Hibbert



Original und Modell 1



Original und Modell 2



Mathematisches Modell


$$u(t) = \sum_{i=1}^n a_i(t) \cdot \sin(\omega_i t) + u_{noise}$$

$$a_i(t) = c_0 \cdot (1 - e^{-b_{01}t}) \cdot e^{-b_{02}t} + \sum_{k=1}^m c_k \cdot e^{-b_k t} \cdot \sin\left(2\pi \frac{t + t_k}{T_k}\right)$$

Klangbeispiele

Ruhende Glocke angeschlagen,
abwechselnd Originalklang und
synthetisierter Klang

 es¹ („Vinzelle“, Frankreich 1870)

 Ramsachglocke (sehr grobe Modellierung mit
einer Auswahl von Teiltönen)

Was noch zu tun bleibt...

- durch Filterung nicht auflösbare Schwebungen
- Phasensprünge (sich kreuzende Hüllkurven)
- Automatisierung der Hüllkurvengewinnung
- Modellierung des Schlaggeräusches
- bessere Modellierung des Einschwingvorgangs

Nutzen

- Synthese bestätigt die Analyse
- Möglichkeit der objektiven Bestimmung der Abklingdauer
- Erkennung langfristiger Änderungen des Schwingungsverhaltens
- Argumente für/gegen Gießerzuweisungen
- einfache Simulation von Tonkorrekturen

Fazit

- Klänge realer Glocken lassen sich mit beliebiger Genauigkeit modellieren
- Präzise erzeugte synthetische Glockenklänge sind von realen nicht mehr zu unterscheiden

Nachtrag: Problem bei Frequenzverschiebung realer Lauteklange

- Teiltonfrequenzen
 - Anschlagzahl
 - Abklingdauer
 - Dopplereffekt
- Diese 4 Aspekte lassen sich bei Verschiebungen im Frequenz- und Zeitraum niemals alle gleichzeitig berucksichtigen!