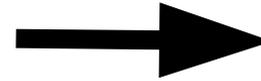
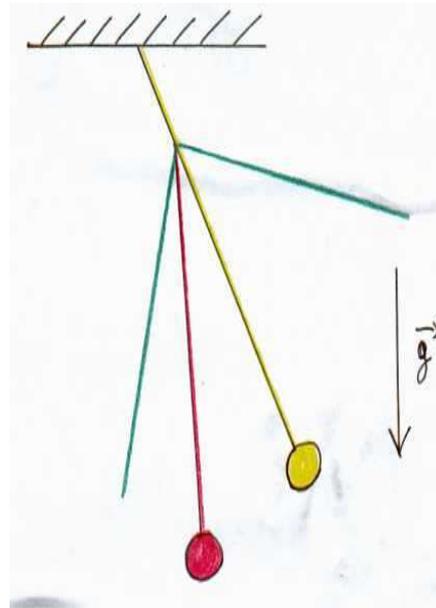


# Modellierung und Simulation von Glocken



Yves Kemp

GK Doktorandenseminar 9.7.2004

# *“Klassische” Methoden der Klangsynthese*

## **Subtraktive Synthese:**

- ◆ 1 (oder mehr) Oszillatoren (z.B. Rechteck oder Sägezahn)
- ◆ Im Zeitverlauf steuerbare Filter
  - ◆ Modulation, Hüllkurven, Controller...
  - ◆ Ändern Obertöne
- ◆ Hüllkurve ändert Zeitverlauf der Lautstärke
- ◆ Recht gut für “Flächenklänge” oder perkussive Instrumente, schwierig für Bläser

# Additive Synthese:

- ◆ Basiert auf Fourieranalyse
- ◆ Klangspektrum wird Oberton für Oberton aufgebaut
- ◆ Zeitverlauf, Schwebung, Klangformung
  - ◆ Subtraktive Nachbearbeitung
  - ◆ Kombination mehrerer Spektren
  - ◆ Separate Programmierung der Obertöne
- ◆ Programmierung komplex, Resultate schwer vorhersehbar
- ◆ Digital klingende, technische und metallische Sounds

# FM-Synthese (Frequenzmodulation):

- ◆ Mindestens 2 Oszillatoren
- ◆ 2. Oszillator ändert Frequenz des ersten
  - ◆ Bis ~10 Hz → Vibrato
  - ◆ Ab ~20 Hz → zum Grundton des Trägers noch weitere Obertöne (10-15 mit 2 Oszillatoren)
- ◆ Sehr schwierig einzustellen, “Ausprobieren”
- ◆ Erste zufriedenstellende Bläserklänge

# Wavetable und Sampling-Methoden:

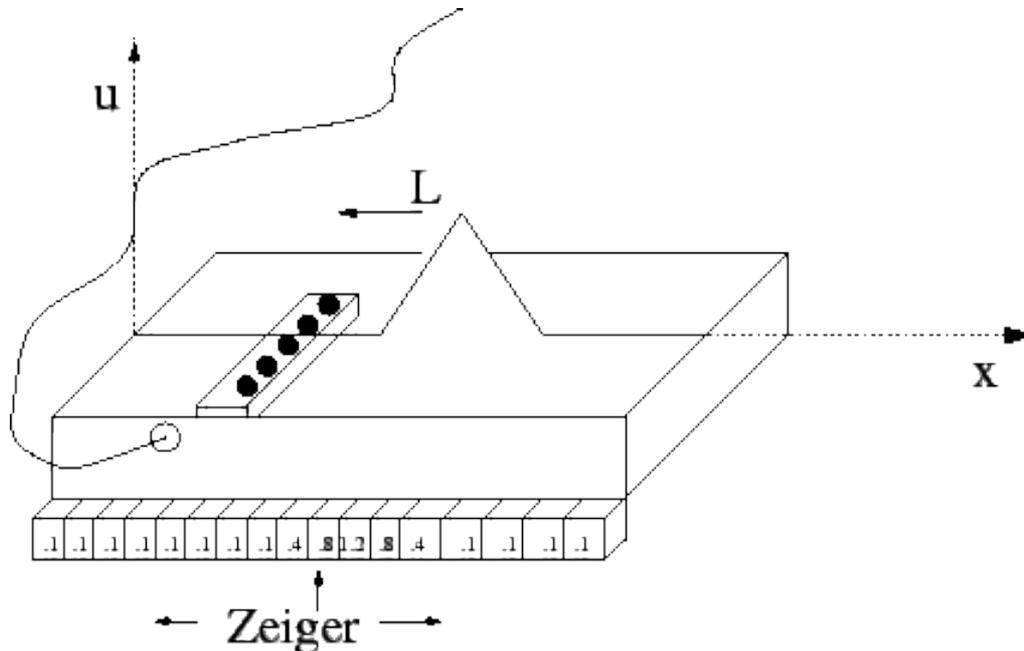
- ◆ Der Ton wird aus vorhandenen Samples abgespielt/gewonnen
- ◆ Veränderbar durch programmierbare Hüllkurven, niederfrequente Oszillatoren oder subtraktive Methoden
- ◆ Beliebig genau am Original
- ◆ Schwierig, neue Klänge zu erzeugen

# ***Nachteile “klassischer” Methoden***

- ◆ Am Klangspektrum orientiert
- ◆ Versuch und Irrtum
- ◆ Grosser Bedarf an Speicher (heute kaum ein Problem mehr)
- ◆ Spielen des Instrument schwierig da nichtintuitive und nur schwer vorhersehbare Parameter

# Physikalische Modelle

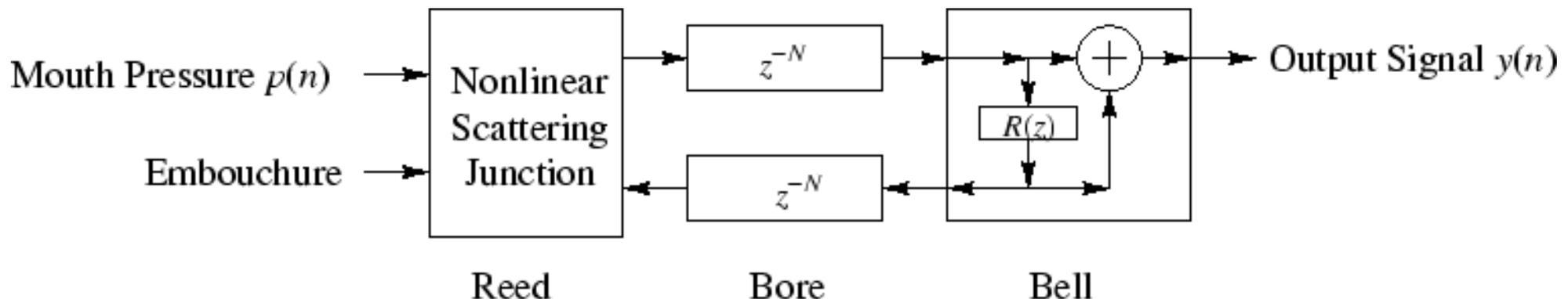
- ◆ Instrument wird modelliert, nicht das Klangspektrum
- ◆ Direkte Interaktion mit Modell
- ◆ Anfang: Karplus-Strong Modell der Saite
  - ◆ Aus der Differentialgleichung einer Welle



- ◆ Vektor enthält Wellenform
- ◆ "Tonabnehmer" tastet die Welle ab
- ◆ Dämpfung durch Mittelung zweier benachbarter Stützpunkte

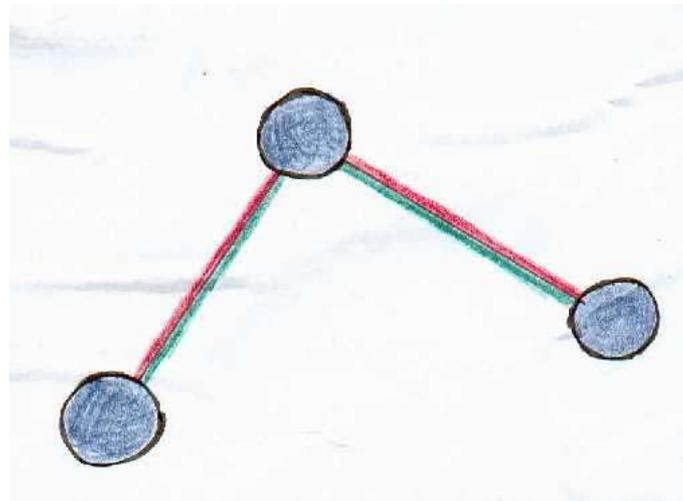
# Physikalische Modelle: Waveguide

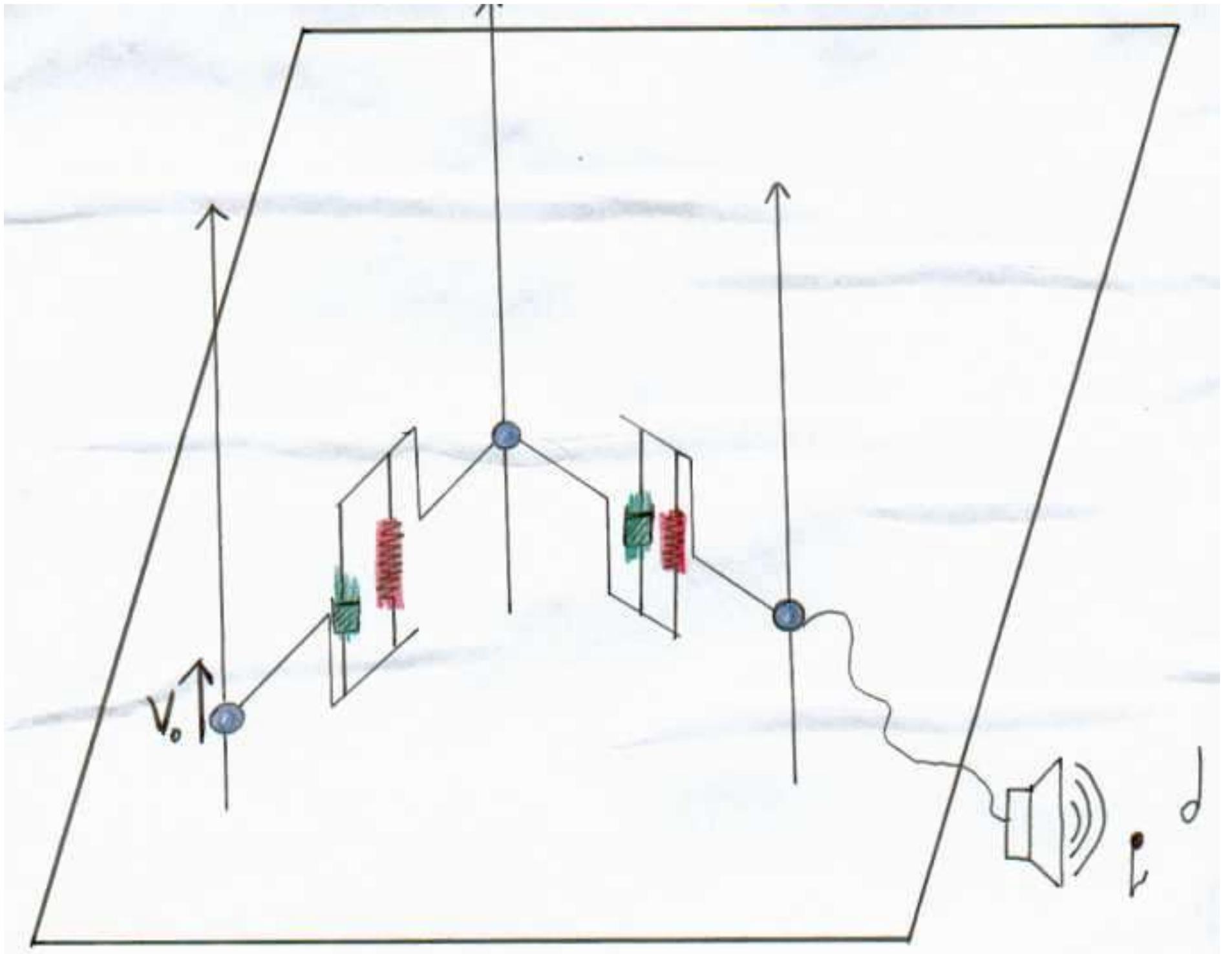
- ◆ Waveguide (Stanford)
  - ◆ Verzögerungselemente + digitale Filter
  - ◆ Welle läuft in beide Richtungen, wird reflektiert an den Enden
  - ◆ Einzelne Modelle für einzelne Elemente (z.B. Schalltrichter, Steg, Korpus...)
  - ◆ Kommerziell eingesetzt (z.B. Clavia Nordlead)



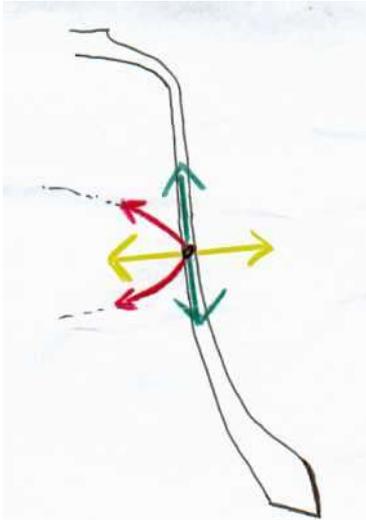
# *Masse-Feder-Modell*

- ◆ Entwicklung in Grenoble
- ◆ Repräsentiert Materie (Masse) und deren Interaktion (Feder, Dämpfung,...)
  - ◆ Keine finite Elemente, sondern Modell!
- ◆ Eventuell auch nichtlineare Interaktionen möglich (Kraft Bogen-Saite, Stösse)
- ◆ Nur 1-Dimensionale Bewegungen





# Die Glocke: Geometrisch-Mechanisch

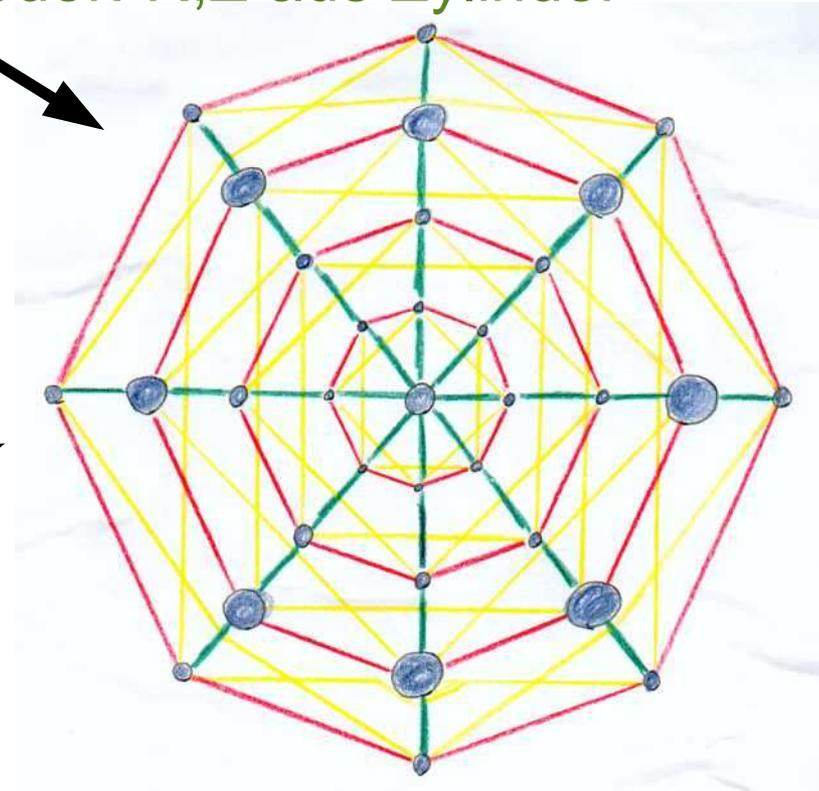
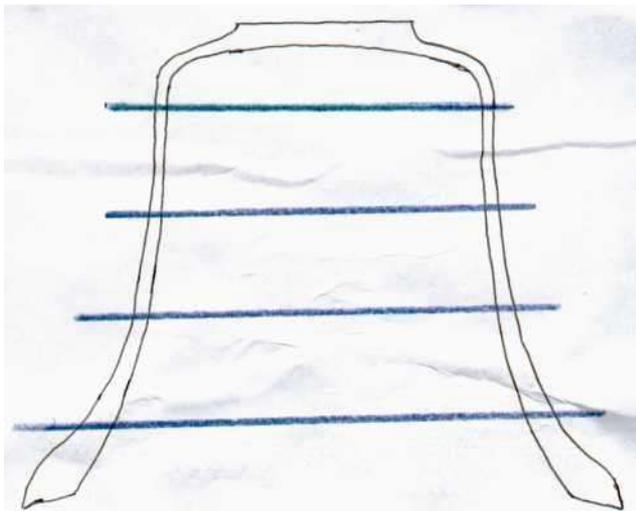


Massen: Aus Dicke des Schnittes

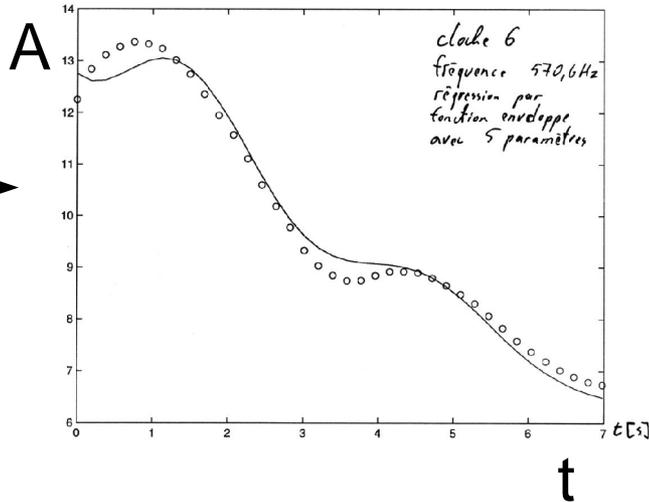
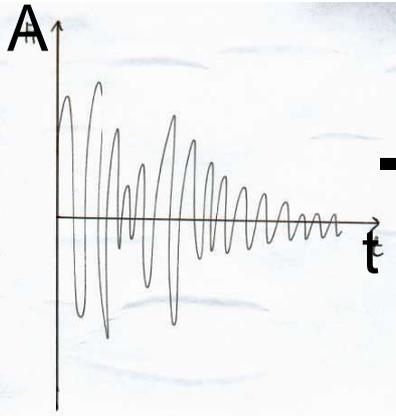
Feder: R,Z aus schwingender Ring

Feder: R,Z aus schwingender Ring  
mit Dicke

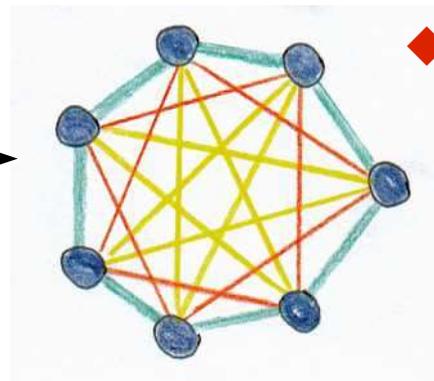
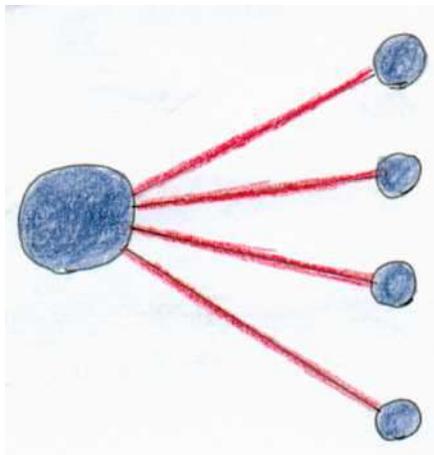
Feder: R,Z aus Zylinder



# Die Glocke: Fouriersynthese



- ◆ Aufnahme einer Glocke
- ◆ Spektrum mittels Fouriertransformation
- ◆  $A \cdot \exp(-\alpha t)$  für jeden Oberton
- ◆ Schwingungen sind zwei nahe gelegene Obertöne
- ◆ Ungekoppeltes Modell
- ◆ Durch Fouriertransformation gekoppeltes Modell



# Zusammenfassung

- ◆ Klangsynthese ist ein interessantes Feld
- ◆ Methoden der Physik übertragbar
- ◆ Physikalisches Verständnis ermöglicht bessere Modelle

