

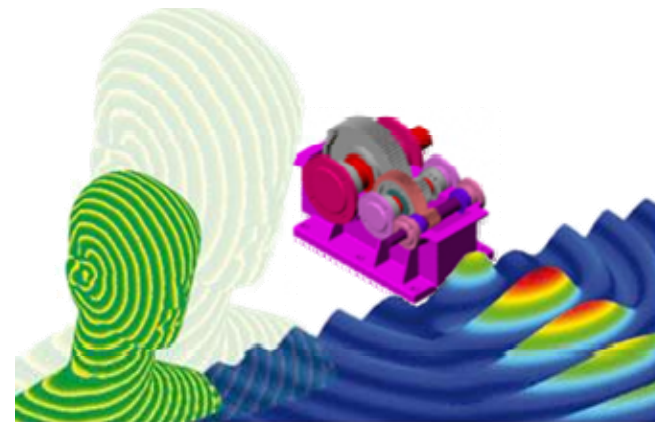
# Optimierung des Geräuschverhaltens feinwerktechnischer Baugruppen

Sten Währisch

Dresden, 5.11.09

## Gliederung

- Motivation
- Lärmbekämpfung und Trends
- Geräuscentstehungskette
- Körperschallanregung
  - Grundlagen der Stoßanregung
  - Reduzierung der Stoßerregung
- Psychoakustik
- Sounddesign von Bedienelementen
- Zusammenfassung



## Motivation

### 1. Lärminderung

- Gesundheitliche Schäden durch Einwirkung von Lärm auf den Menschen
- Gesetze und Normen zu Geräuschemissionen am Arbeitsplatz
- Geräuschemission als wesentlicher Qualitätsfaktor



### 2. Sounddesign

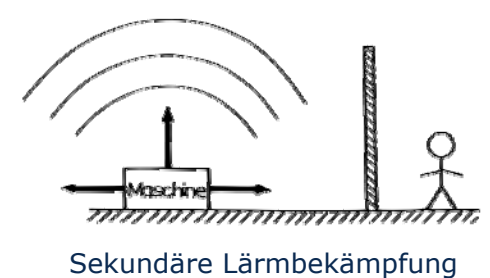
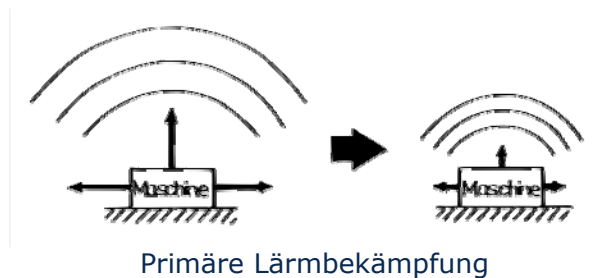
- Klangbild ist wesentlicher Qualitätsfaktor
- Erhöhung der Bediensicherheit durch akustisches Feedback
- Wiedererkennung von Produkten (Markengefühl)



Quelle: [www.Audi.de](http://www.Audi.de)

## Lärmbekämpfung + Trends

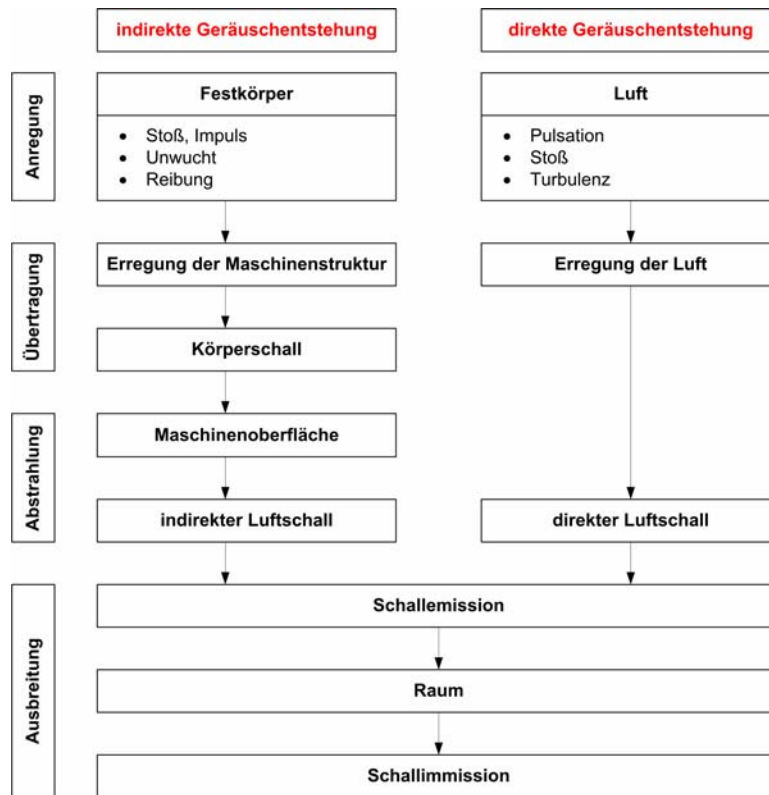
- Primäre Lärmbekämpfung an der Maschine am Wirkungsvollsten (Verursacherprinzip)
- Sekundäre Lärmbekämpfung beschränkt auf Schallausbreitungsweg



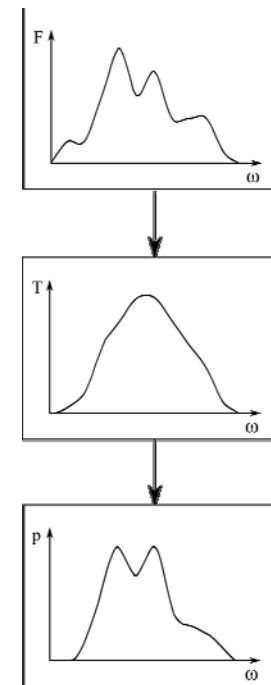
Quelle: Költzsch, P.: Maschinenakustik.  
Institut für Technische Akustik, TU Dresden: 1998

- Tendenzen zu höheren Arbeitsgeschwindigkeiten und Leistungsdichten sowie zum Leichtbau sind mit einer verstärkten Geräusentwicklung verbunden
- Berücksichtigen konstruktiver Gesichtspunkte und Regeln zur Lärminderung bereits in der Produktentwicklungsphase

# Geräuscentstehungskette



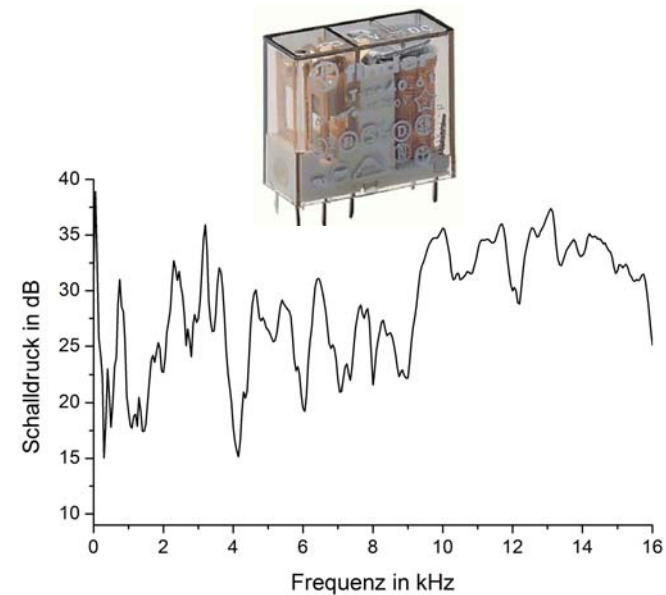
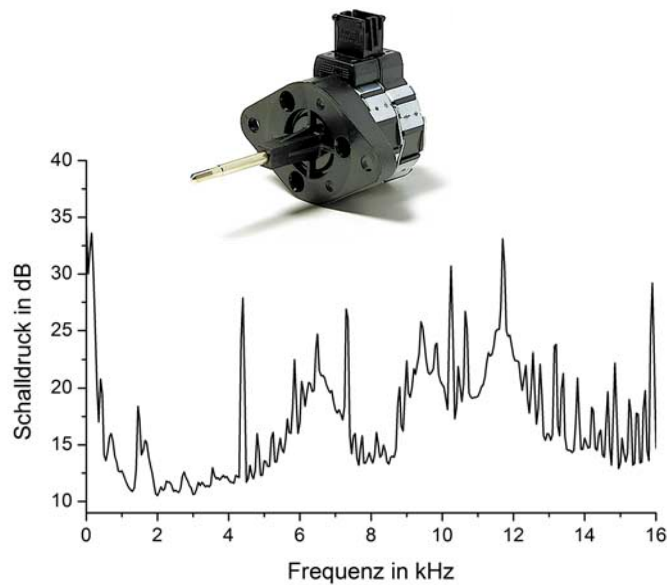
Quelle: nach KOLLMANN



$$\tilde{F}(\omega) \cdot T(\omega) = \tilde{p}(\omega)$$

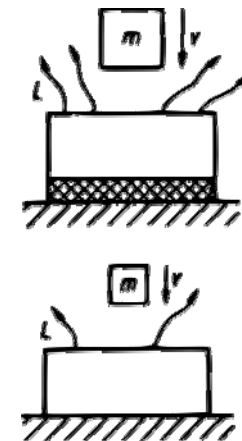
## Körperschallanregung

- Unterscheidung des zeitlichen Verlaufs der Anregungsgröße:
  - Periodische Vorgänge (Unwuchtanregung)
  - Stochastische Vorgänge (Roll- und Gleitbewegungen)
  - **Stoßvorgänge** (Aufeinanderschlagen zweier Körper)



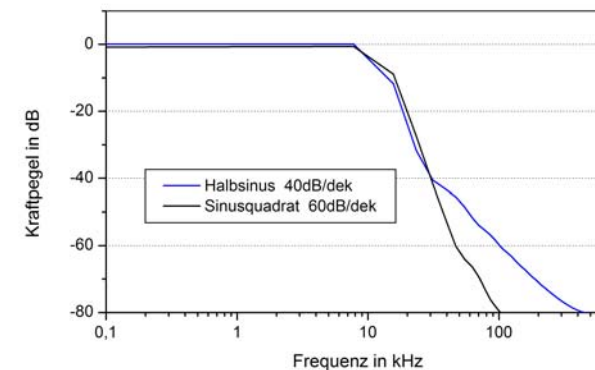
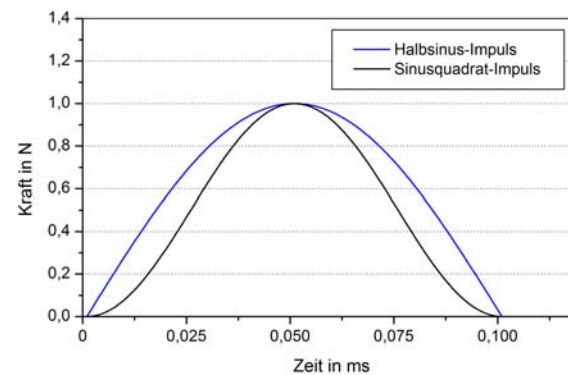
## Grundlagen der Stoßanregung

- Wirksamste Bekämpfung der Stoßgeräusche an der Stoßstelle
  - kaum Schwingungsdämpfung im hörbaren Frequenzbereich
  - Systemresonanz wird durchlaufen!
- Mechanische Kenngrößen für die akustischen Betrachtungen:
  - Übertragener Impuls  $I_{\ddot{u}} = f(m, v, \text{Qualitativer Kraft- Zeit-Verlauf})$
  - Maximale Stoßkraft  $F_{\max} = f(m, v, E, R)$
  - Stoßdauer  $\tau = f(m, v, E, R)$
- Mechanisch-akustische Abhängigkeiten:



- $I_{\ddot{u}} \sim L_p$
- $\tau \sim 1/L_p$

$$I_{\ddot{u}} = \int_0^{\tau} F(t) \delta t$$

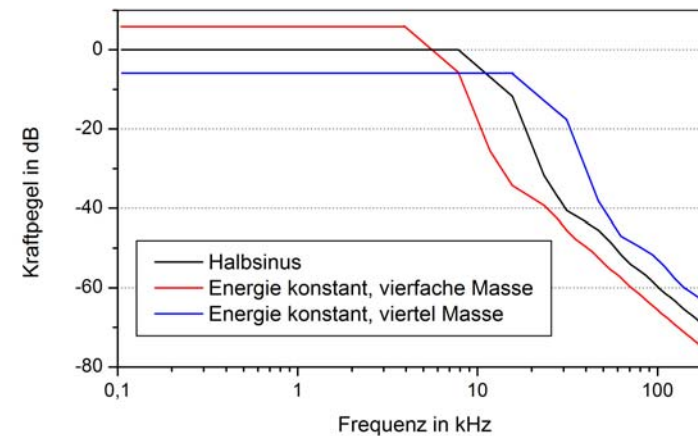


## Reduzierung der Stoßanregung - Impuls

- Impulsreduzierung - wirksamste Maßnahme zur Minderung von Stoßgeräuschen
- Erreichbare Pegelsenkung durch Impuls:

$$\Delta L_I = 20 \lg\left(\frac{m_2}{m_1}\right) + 20 \lg\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

- Rückwirkung auf den Prozess und damit die Leistung einer Maschine beachten
- bei Energiekonstanz Masseverringering und Geschwindigkeitserhöhung günstiger



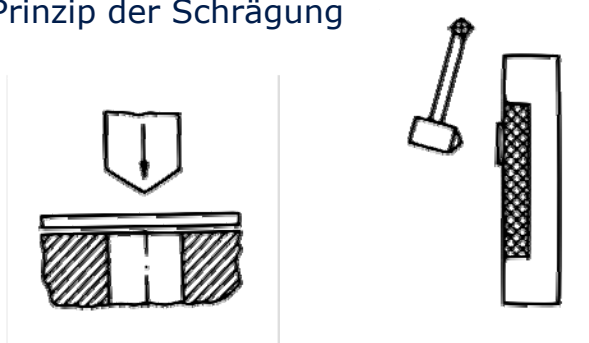


## Reduzierung der Stoßanregung - Stoßdauer

- Verlängerung der Stoßdauer  $\tau$  schränkt Körperschallspektrum ein:
  - konstant bis  $f_\tau = 1/\tau$
  - nur wirkungsvoll wenn  $f_\tau < 10$  kHz
- Erreichbare Pegelabsenkung durch Stoßdauer:

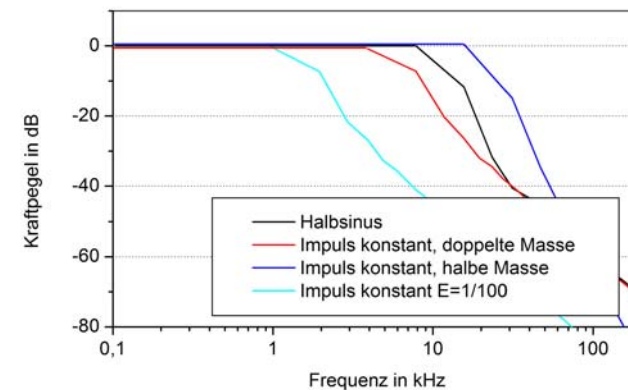
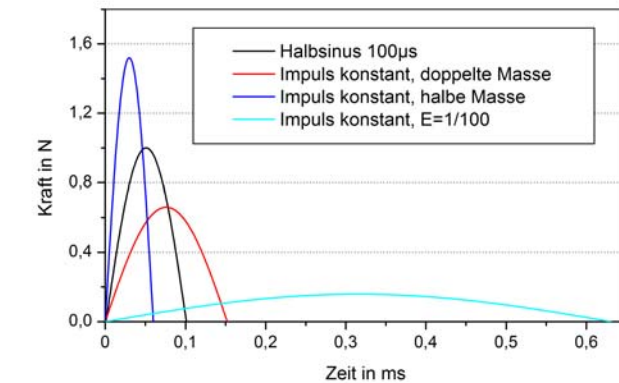
$$\Delta L_\tau = 10 \cdot \lg\left(\frac{\tau_1}{\tau_2}\right) \cdot k_\tau$$

- Zeitliche Dehnung durch:
  - Geschwindigkeitsverringering
  - Einfügen elastischer Zwischenglieder
  - Prinzip der Schrägung



TU Dresden, 10.11.2009

Währisch

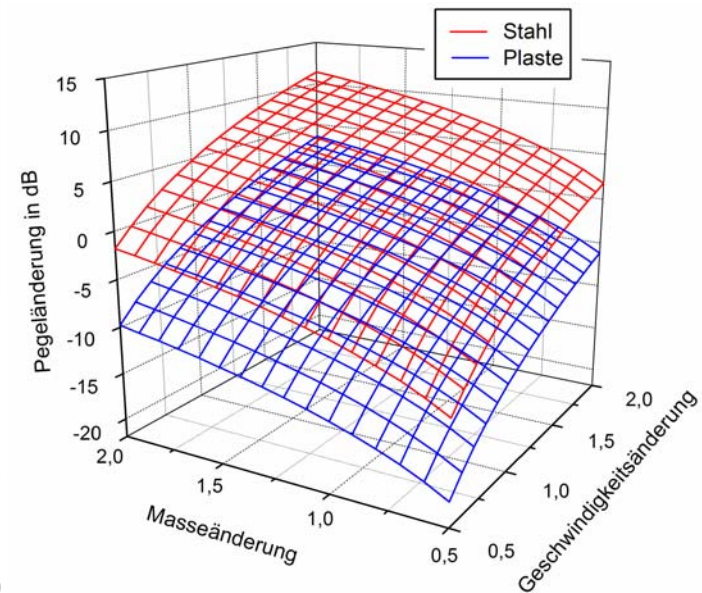
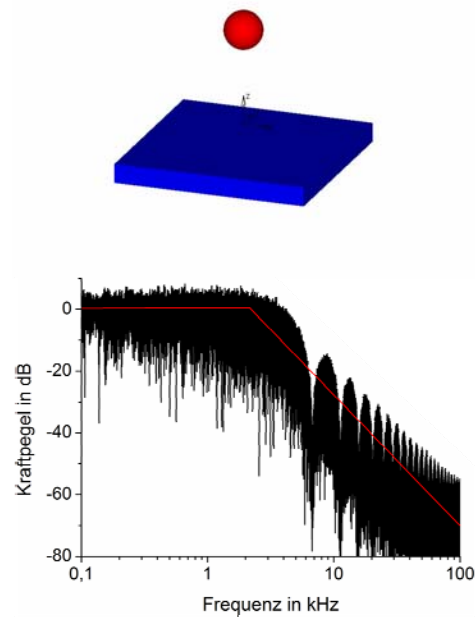
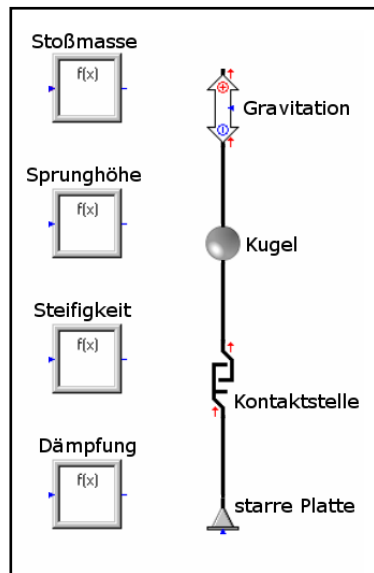


Folie 9 von 15

## Reduzierung der Stoßanregung - Gesamtpegel

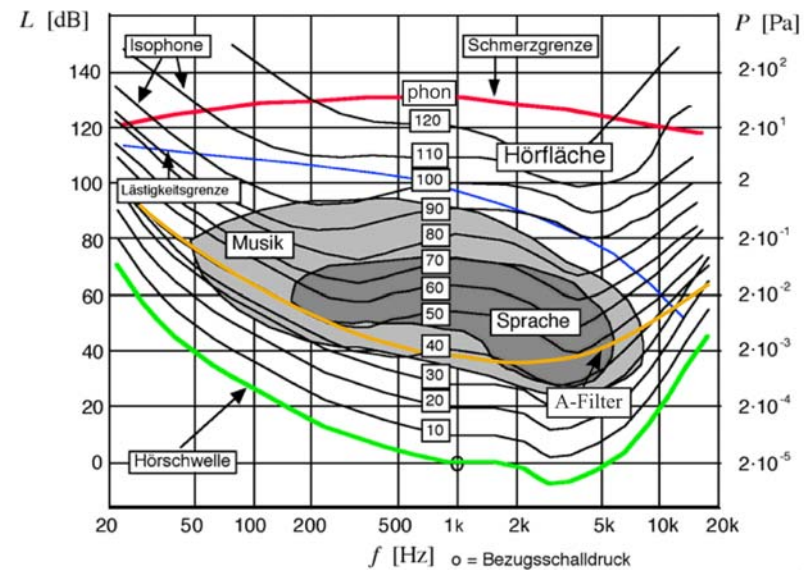
- Gesamtpegelsenkung ergibt sich aus Impulsänderung und Stoßdaueränderung:

$$\Delta L = 20 \lg \left( \frac{m_2}{m_1} \right) + 20 \lg \left( \frac{v_2}{v_1} \right) + k_\tau 10 \lg \left( \frac{\tau_1}{\tau_2} \right)$$



## Psychoakustik

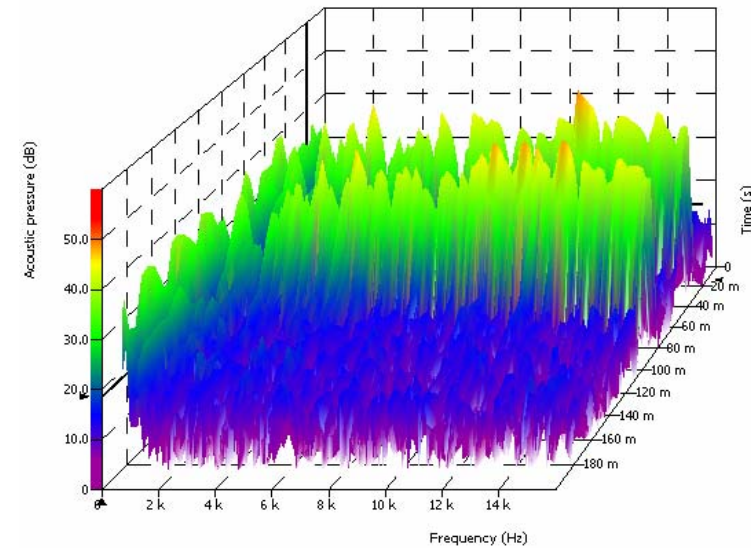
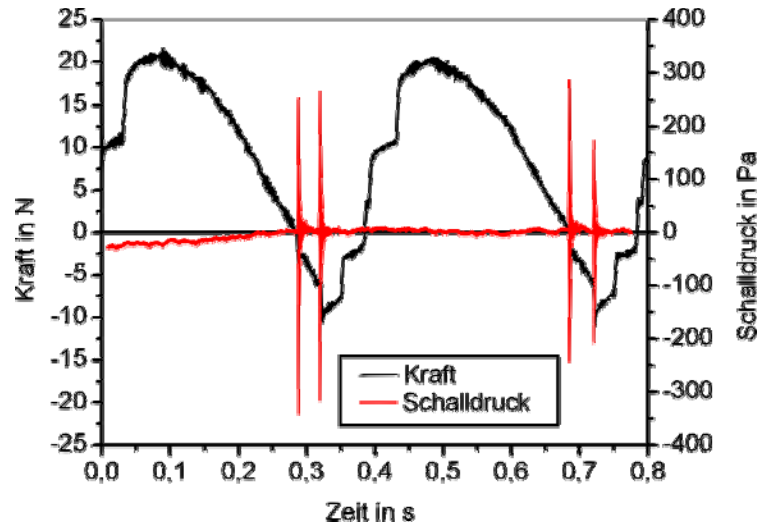
- Abbildung physikalische Parameter auf gehörgerechte Parameter
- Grundregel: 10 dB Pegelerhöhung = doppelte Lautstärke
- Verhältnis von wahrgenommener Lautstärke und Schalldruckpegel ist frequenzabhängig
- Lautstärkeeinfluss wächst mit zunehmender Bandbreite



Quelle:  
[www.mu-sig.de](http://www.mu-sig.de)

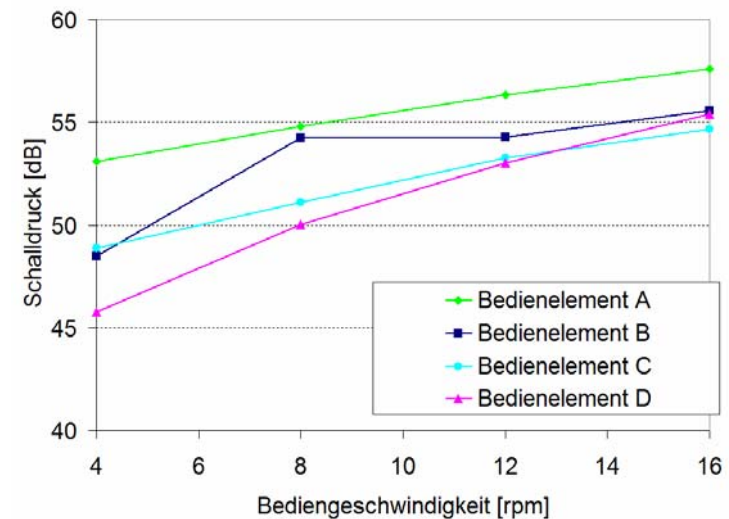
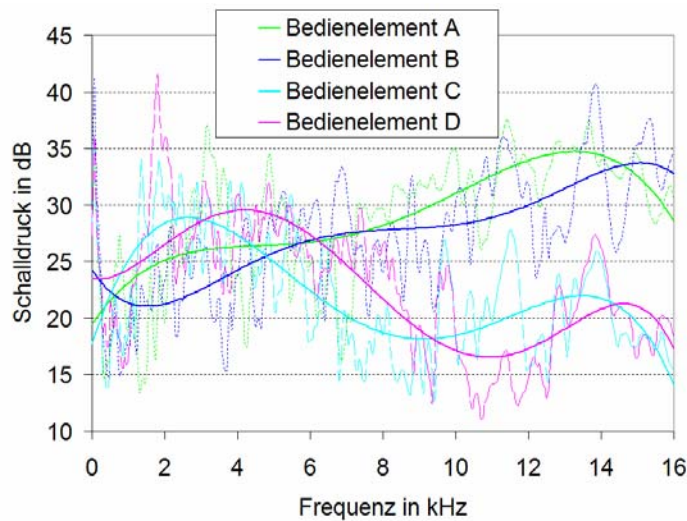
## Sounddesign von Bedienelementen

- Akustisches und haptisches Verhalten gekoppelt
- Zuordnung von Schalldruck-Zeit-Verlauf zu Gerätefunktion liefert Geräuschursachen



## Sounddesign von Bedienelementen

- Breitbandiges Spektrum erzeugt angenehmes Geräusch
- Vermeiden von Systemresonanzen
- Bedienerunabhängiges akustisches Verhalten



## Zusammenfassung

- Minimale Geräusentwicklung bzw. angenehmes Klangbild ist wesentlicher Qualitätsfaktor
- Vorschriften und Grenzwerte zum Schutz vor Lärm
- Grundsätzlich gilt: Weich und schwer ist leise, steif und leicht ist laut!
- Effektivste Lärmbekämpfung durch unmittelbare Maßnahmen (Verursacherprinzip)
- Pegelsenkung bei stoßerzeugten Geräuschen aus Kraftanregungsspektrum bestimmbar
- Schallpegel abhängig von Impuls und Stoßdauer:  $L_p \sim I$ ,  $L_p \sim 1/\tau$
- Optimierung der Konstruktionsparameter für maximale Pegelsenkung unter Beachtung der Funktionssicherheit (Robustoptimierung)
- Maßnahmen zur Verminderung der Schalleistung stets an derjenigen Schallquelle einsetzen, welche den größten Einzelpegel aufweist