



Aktive Schwingungsminderung an gekoppelten Zylindern in Bogenoffsetdruckmaschinen bei Erregung infolge von Kanalschlag

Vortrag am 18.10.2007 im Rahmen der VDD-Seminare in Darmstadt
Dr.-Ing. Markus Messer

Vortrag basiert auf Promotionsvortrag vom 22.5.2007,
TU Darmstadt, Fachbereich Maschinenbau,
Berichtersteller: Prof. Dr.-Ing. Horst Peter Wölfel
Mitberichtersteller: Prof. Dr.-Ing. Edgar Dörsam

- Gliederung:
- ▶ Einleitung und Zielsetzung
 - ▶ Finite-Elemente-Modellierung und -Simulation
 - ▶ Messungen an realer Bogenoffsetdruckmaschine
 - ▶ Aktive Schwingungsminderung
 - ▶ Balkenversuchsstand
 - ▶ Zusammenfassung und Ausblick

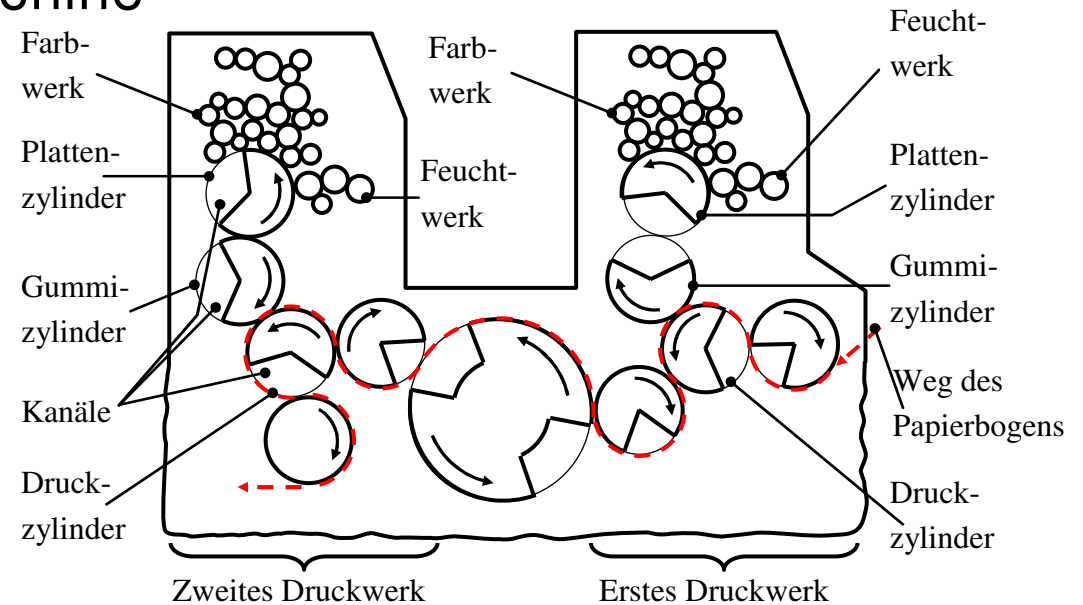


2

EINLEITUNG U.
ZIELSETZUNG

Bogenoffsetdruckmaschine

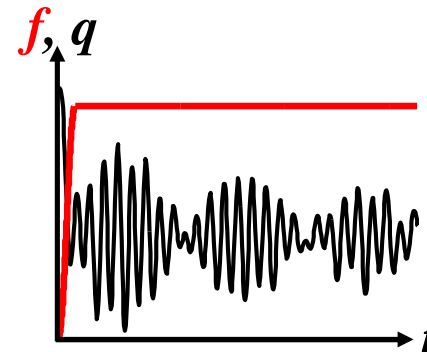
Schematische Darstellung
der Druckwerke einer
Bogenoffsetdruckmaschine



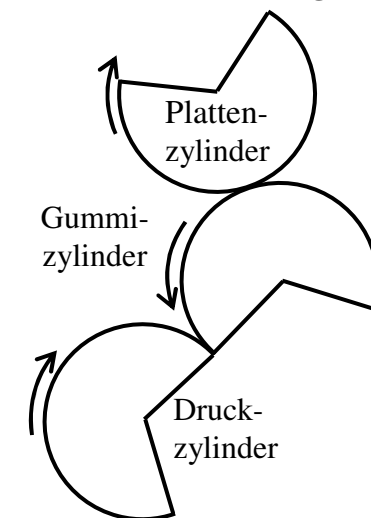
Schwingungen in Druckmaschinen

- ▶ negativer Effekt auf Druckqualität
- ▶ zulässige Zylinderschwingungen im μm -Bereich
- ▶ vielfältige Anregungsmechanismen
- ▶ Beispiel: Kanalschlag (typische Erregung in Offsetdruckmaschinen)

- ▶ Yamaguchi et al. 1997
 - ▶ 16000 Dr/h (4,4 Hz)
 - ▶ transiente Biegeschwingungen (250 Hz)



Kanalschlag





Zielsetzung: Grundsatzuntersuchungen zu den Möglichkeiten der aktiven Schwingungsminderung an Druckmaschinen

3

EINLEITUNG U.
ZIELSETZUNG

- ▶ Beispiel:
 - ▶ radiale und tangential Schwingungen gekoppelter Zylinder einer Bogenoffsetdruckmaschine infolge von Kanalschlag

„Aktive Schwingungsminderung an gekoppelten Zylindern in Bogenoffsetdruckmaschinen bei Erregung infolge von Kanalschlag“

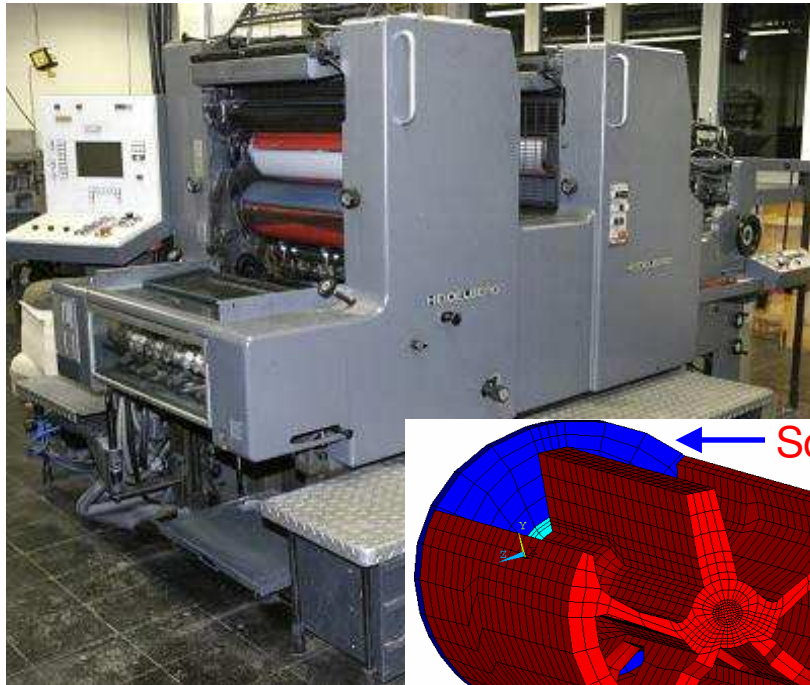
- ▶ Schw erpunkte:
 - ▶ numerische Modellierung und Simulation
 - ▶ Methoden und Werkzeuge zur aktiven Schwingungsminderung
- ▶ Vorgehen:
 - ▶ numerische Modellierung und Simulation von Struktur und Erregung
 - ▶ Validierung des Strukturmodells mit experimentellen Modalanalysen
 - ▶ Kopplung von Finite-Elemente-Programm und Regelungssoftware
 - ▶ Entwicklung von Lösungsansätzen auf Basis piezokeramischer Aktoren
 - ▶ Entwurf aktiver Schwingungsregelungen
 - ▶ experimentelle Untersuchung ausgewählter Lösungsansätze



Bogenoffsetdruckmaschine MOZP 48 cm x 65 cm

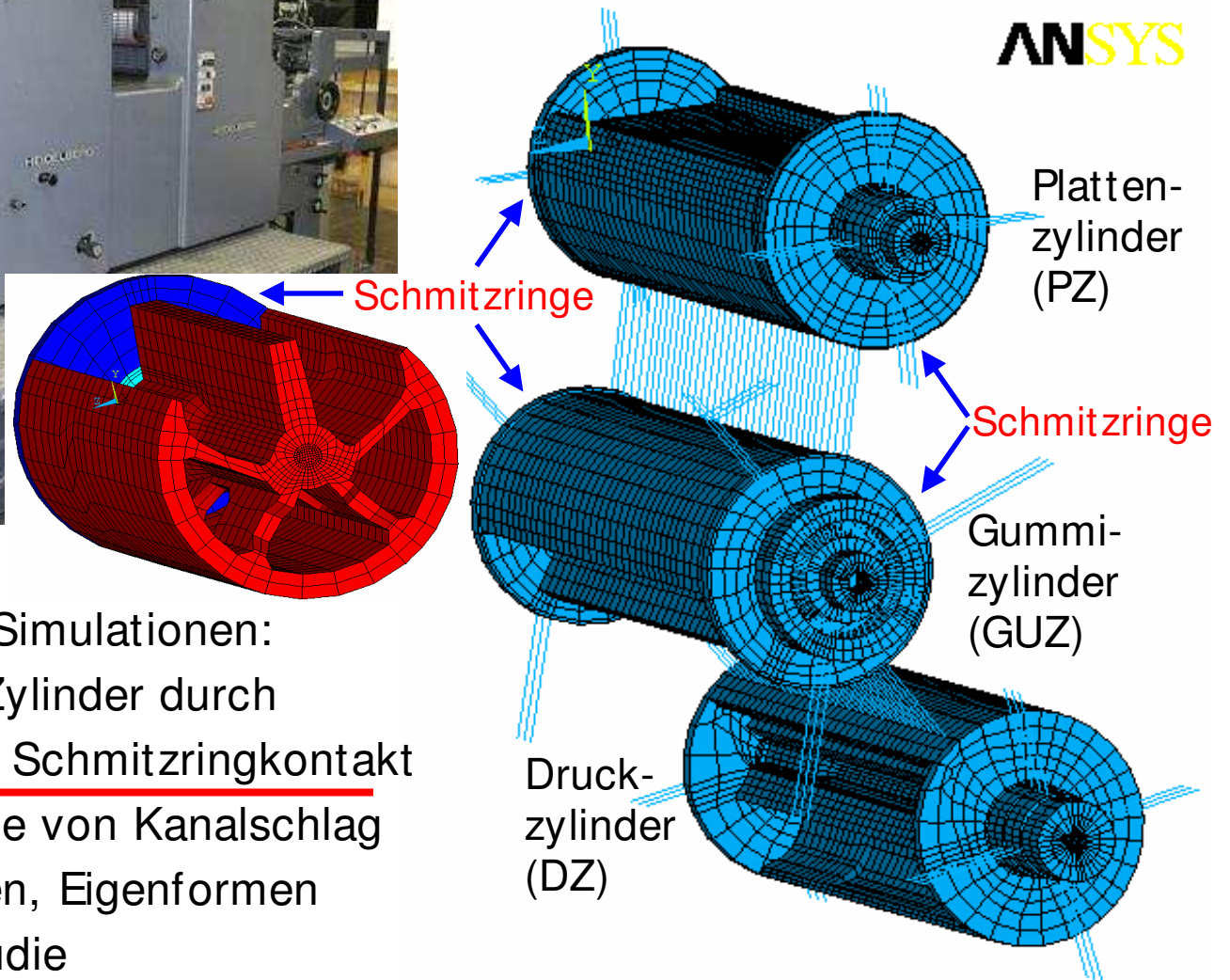
4

FEM



Finite-Elemente-Modellierung von
Platten-, Gummi- und Druckzylinder

ANSYS



Finite-Elemente-Simulationen:

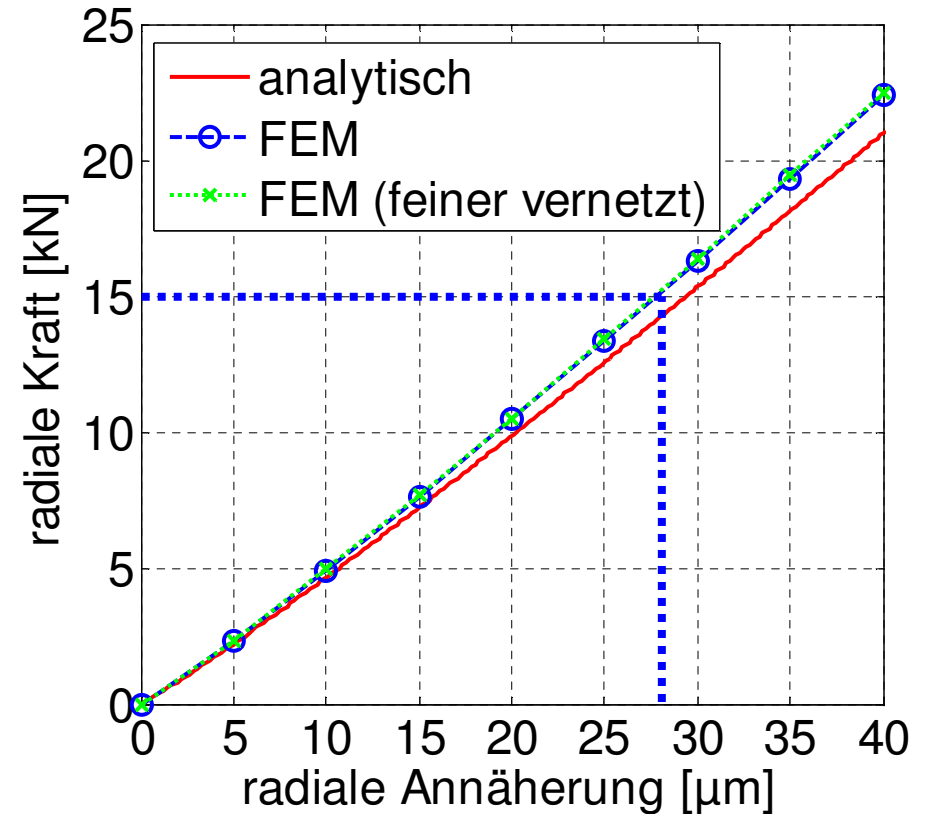
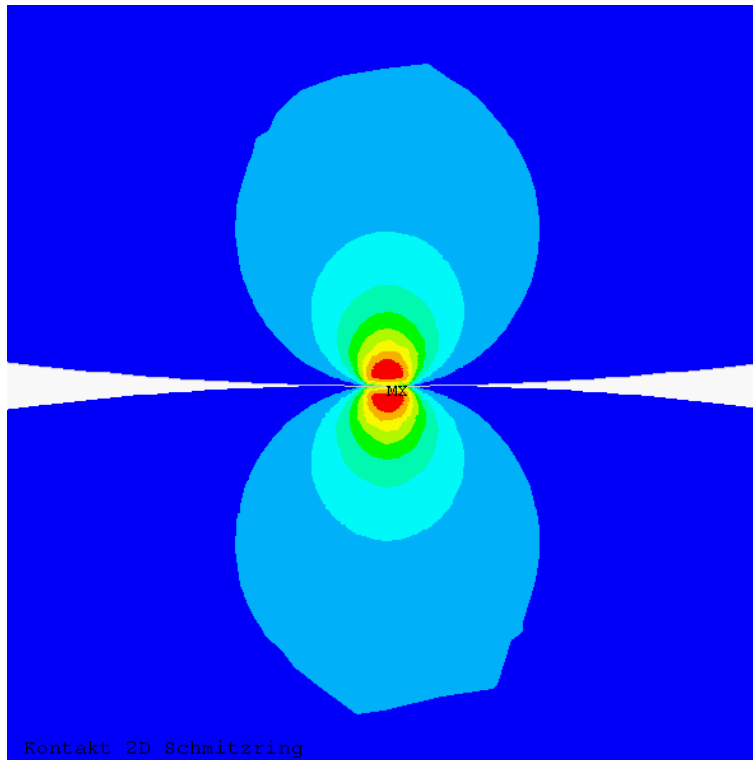
- Kopplung der Zylinder durch Gummituch- u. Schmitzringkontakt
- Erregung infolge von Kanalschlag
- Eigenfrequenzen, Eigenformen
- Sensitivitätsstudie
- erzwungene Schwingungen



Kopplung der Zylinder durch Schmitzringkontakt

5 ▶ 2D-FEM-Modell, Kontaktsimulationen

FEM



▶ analytische Lösung für die radiale Annäherung von Zylindern

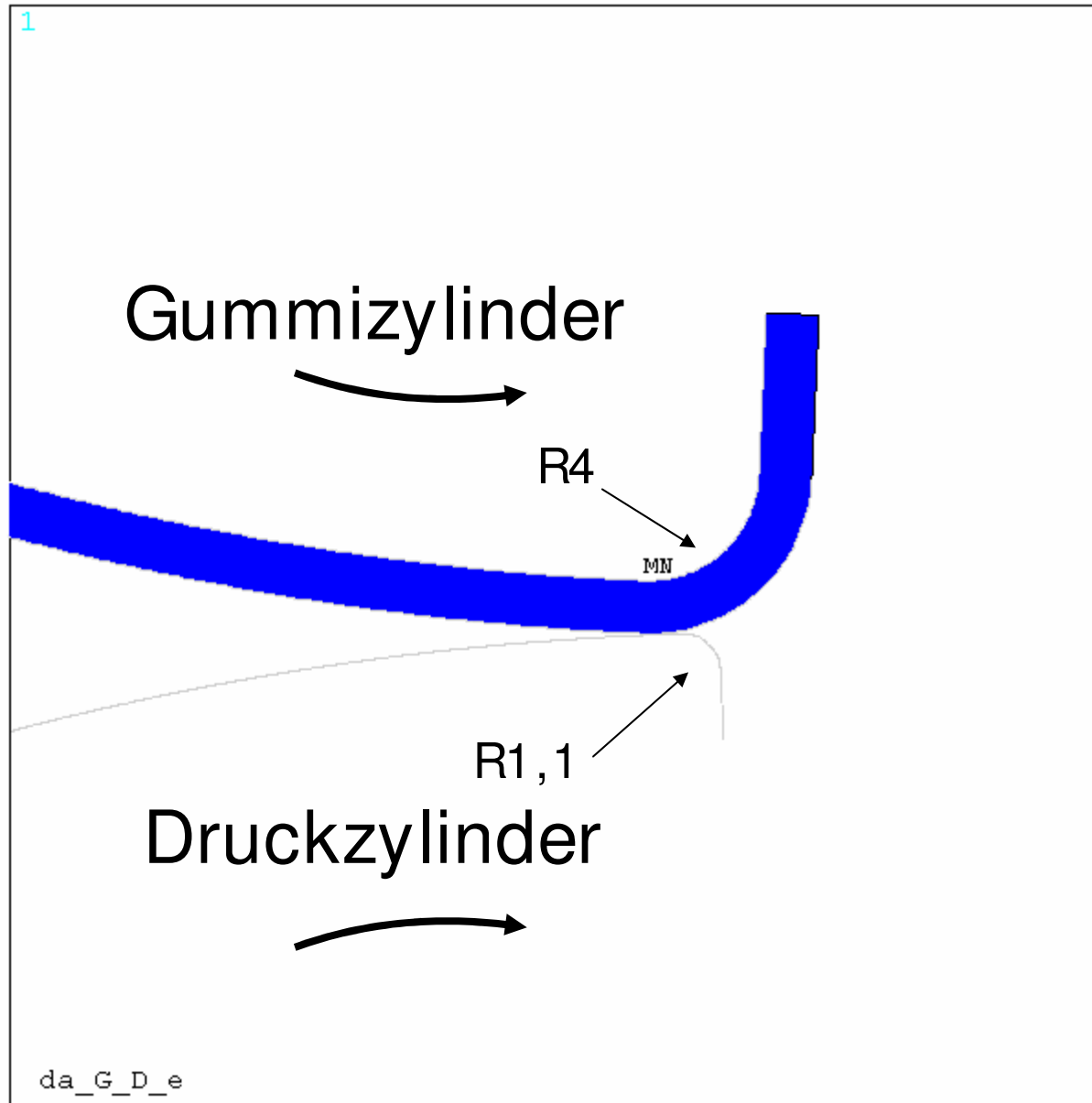
$$\Delta = \frac{2F}{\pi b} \left[\frac{1-\nu_1^2}{E_1} \left(\ln \frac{2r_1}{a} + 0,407 \right) + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \left(\ln \frac{2r_2}{a} + 0,407 \right) \right] \quad (\text{Petersen 1993})$$



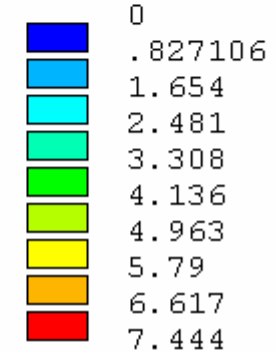
Erregung infolge von Kanalschlag: Druckanfang GUZ/DZ

6

FEM



ANSYS 8.1
JUN 10 2005
11:07:03
NODAL SOLUTION
TIME=1
SEQV (AVG)
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat



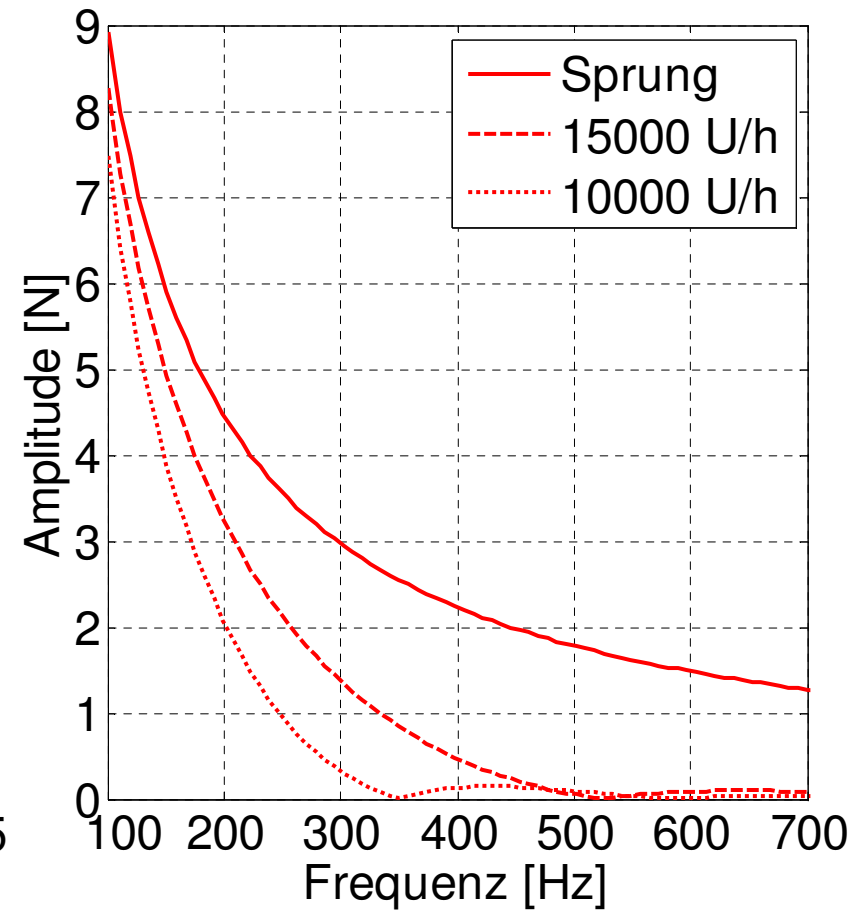
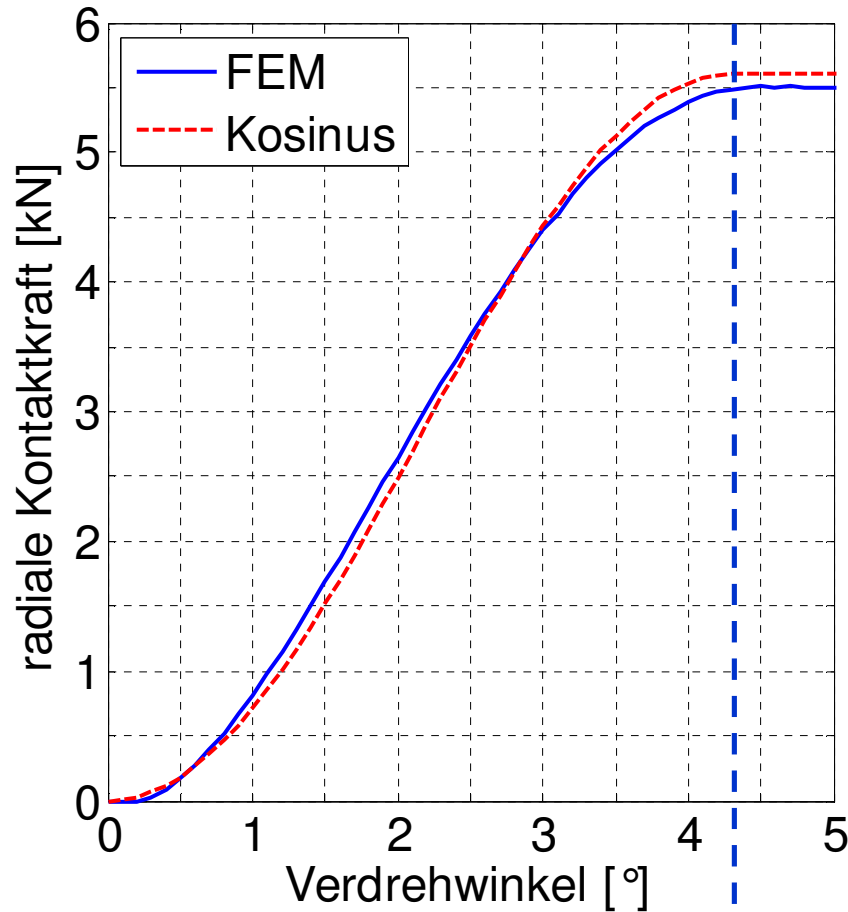


Erregung infolge von Kanalschlag: Druckanfang GUZ/DZ

► radiale Kontaktkraft

7

FEM



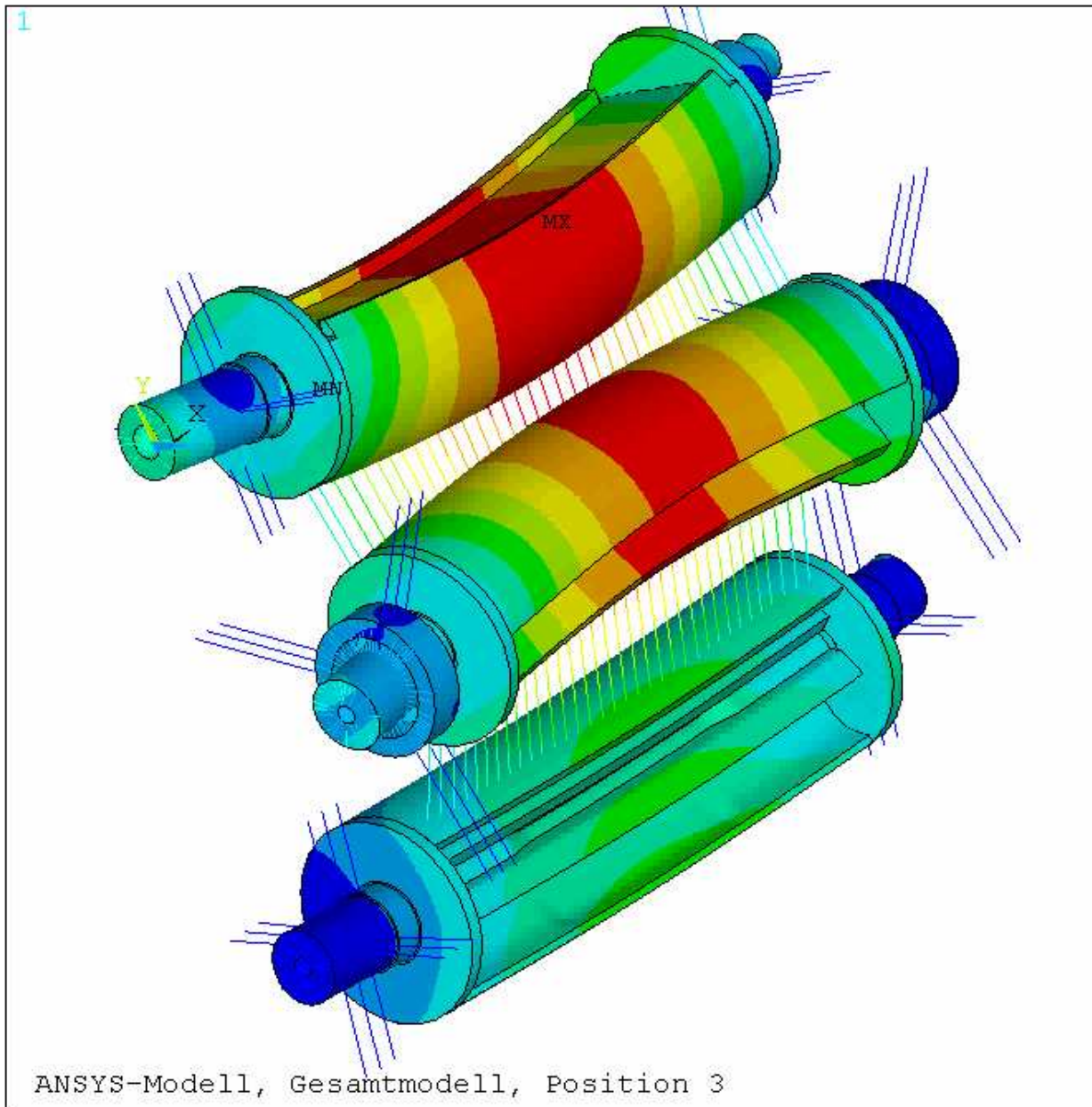
15000 U/h = 1500 °/s \Rightarrow 4,3° entsprechen 2,9 ms



Eigenverhalten (8. Eigenform, gegenphasige Biegeeigenform)

8

FEM



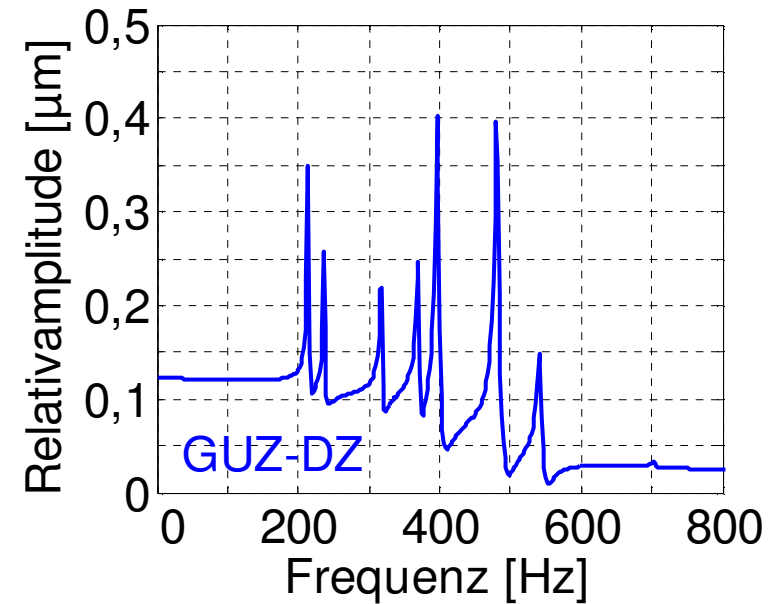
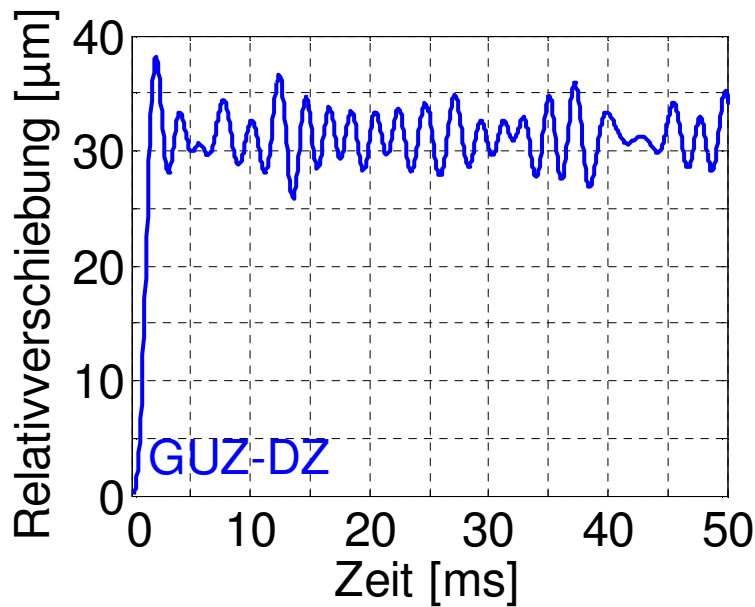
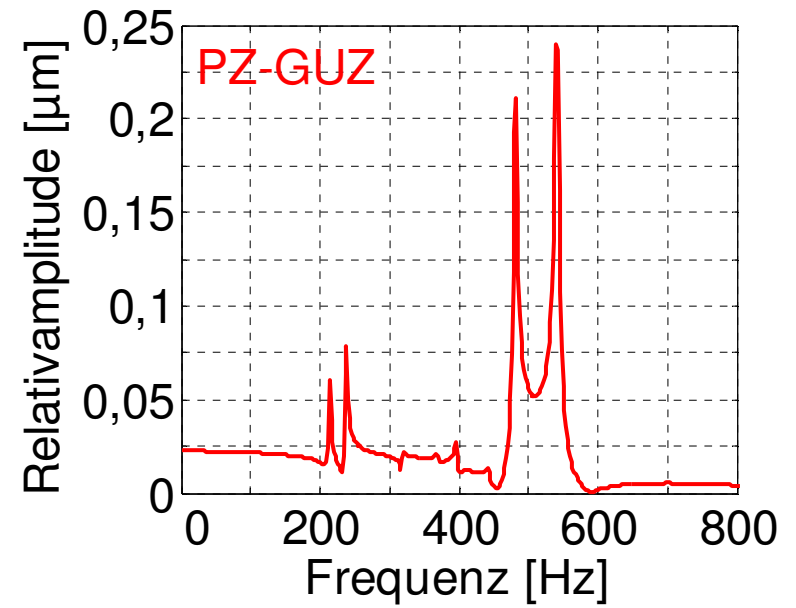
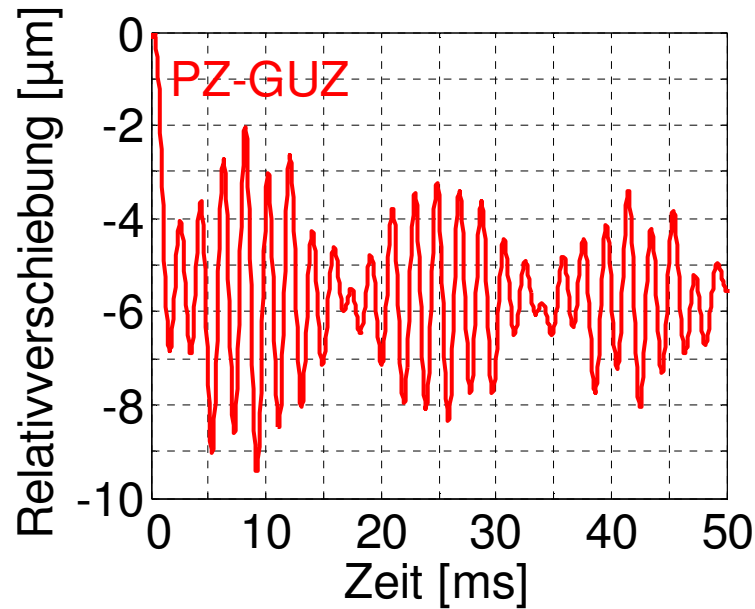
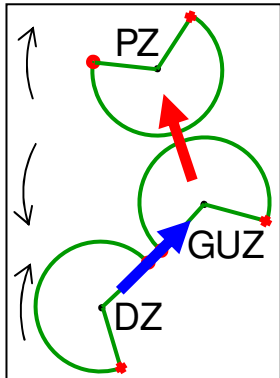
```
ANSYS 8.1  
JUN 23 2005  
14:52:50  
NODAL SOLUTION  
STEP=1  
SUB =8  
FREQ=507.532  
USUM      (AVG)  
RSYS=0  
PowerGraphics  
EFACET=1  
AVRES=Mat  
DMX  =3.193  
SMX  =3.193
```




Schwingungen infolge von Kanalschlag: radiale Relativschwingungen

9

FEM

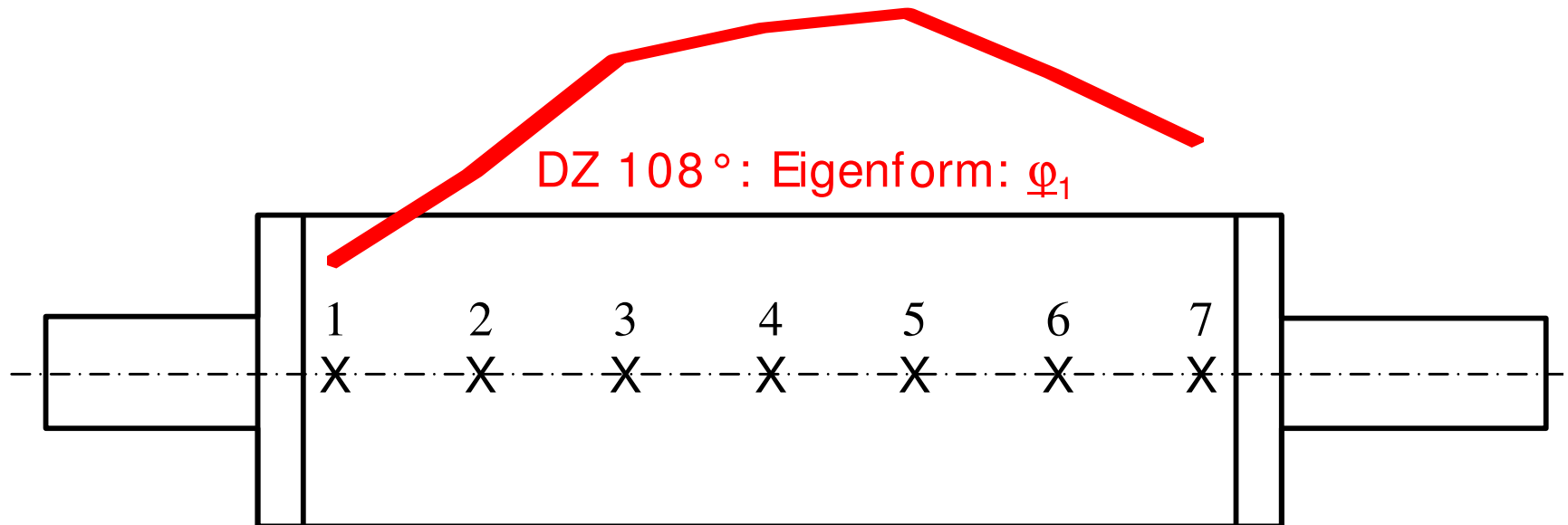
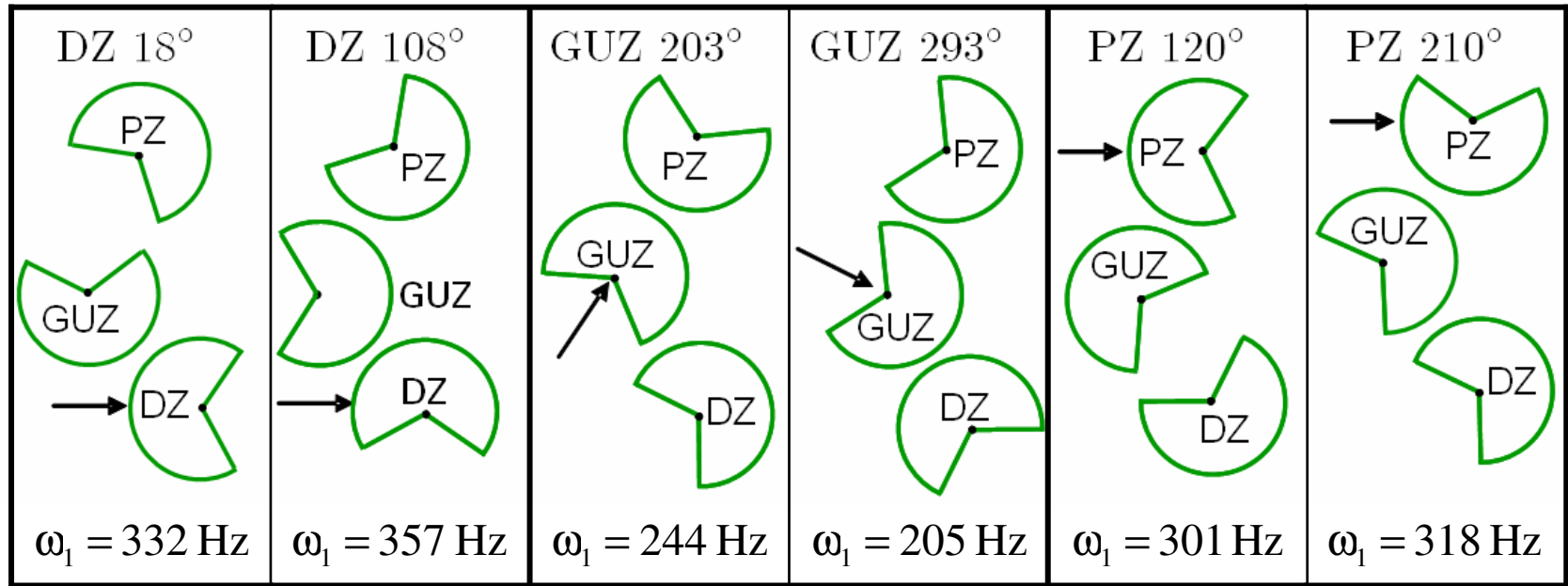




Experimentelle Modalanalysen (Druckwerk 2)

10

MESSUNGEN





Lösungsansätze zur aktiven Schwingungsminderung

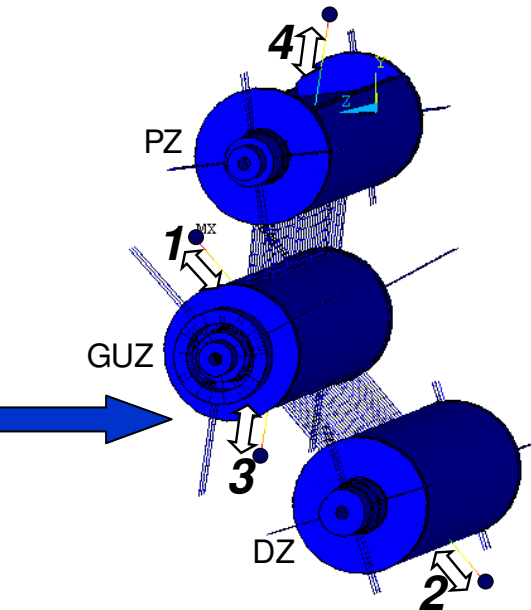
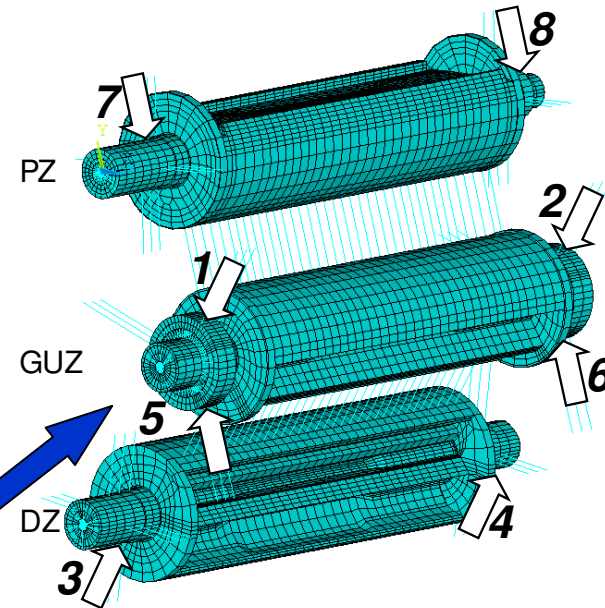
11

PSt1000/35/40 VS45
Piezomechanik GmbH

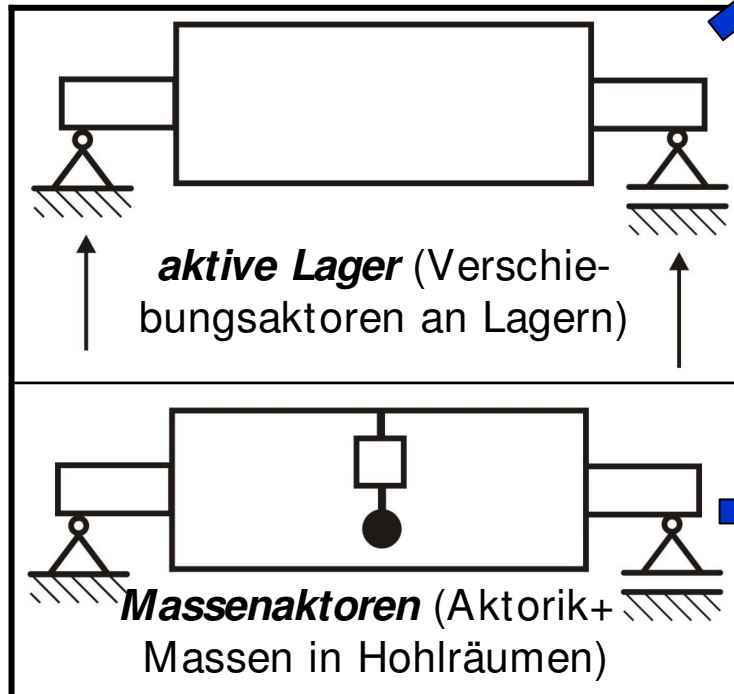
$$F_{druck} = 50 \text{ kN}$$

$$F_{zug} = 6 \text{ kN}$$

40 μm Hub
(0 ... 1000 V)



AKTIV





Aktive Schwingungsminderung

12

- ▶ Untersuchung verschiedener Regelstrategien
 - ▶ linear-quadratische Optimalregelung
 - ▶ Zustandsbestrafung
 - ▶ Ausgangsbestrafung
 - ▶ robuste Regelung mit der μ -Synthese
- ▶ Modellerweiterungen
 - ▶ Verstärkerdynamik
 - ▶ Kalman-Filter zur Schätzung der Zustandsgrößen
 - ▶ unsichere Eigenfrequenzen
 - ▶ Tiefpaßfilter
 - ▶ digitale Abtastung
- ▶ Untersuchung verschiedener Systemstörungen
 - ▶ Sensorausfall, Aktorausfall
 - ▶ Sensorrauschen
 - ▶ Aktorsteifigkeiten
 - ▶ Eigenfrequenzen

AKTIV



Aktive Schwingungsminderung

13

- ▶ Kopplung von Finite-Elemente-Programm und Regelungssoftware

- ▶ Datenexport über modale Größen

$$\mathbf{M}^g \ddot{\mathbf{p}} + \mathbf{D}^g \dot{\mathbf{p}} + \mathbf{K}^g \mathbf{p} = \mathbf{f}^g$$

- ▶ Zustandsraumdarstellung

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} \\ \mathbf{y} &= \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}\mathbf{u} \end{aligned} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{p} \\ \dot{\mathbf{p}} \end{bmatrix}$$

AKTIV

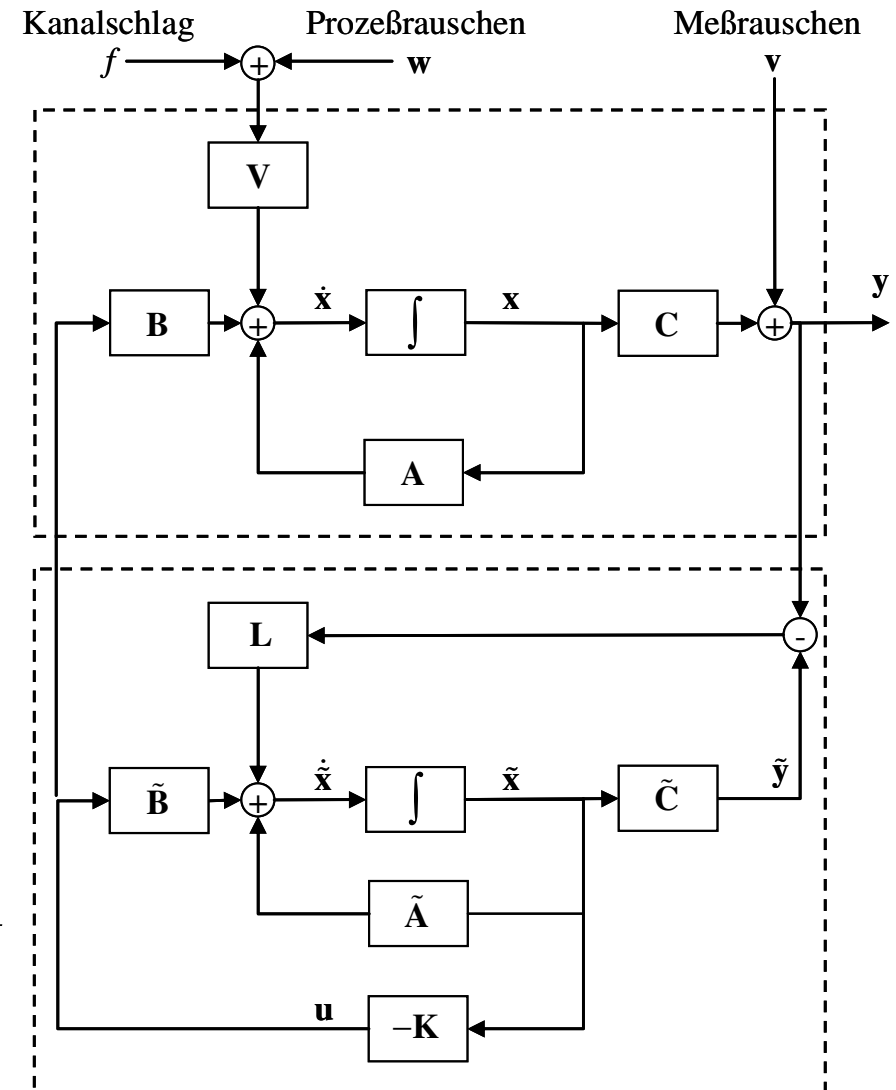
- ▶ linear-quadratische Optimalregelung

- ▶ Zustandsbestrafung

$$J = \int_0^{\infty} (\mathbf{x}^T \mathbf{Q}\mathbf{x} + \mathbf{u}^T \mathbf{R}\mathbf{u}) dt$$

- ▶ Ausgangsbestrafung

$$J = \int_0^{\infty} \left(\sum_{i=1}^r q_{ii} y_i^2(t) + \mathbf{u}^T \mathbf{R}\mathbf{u} \right) dt$$



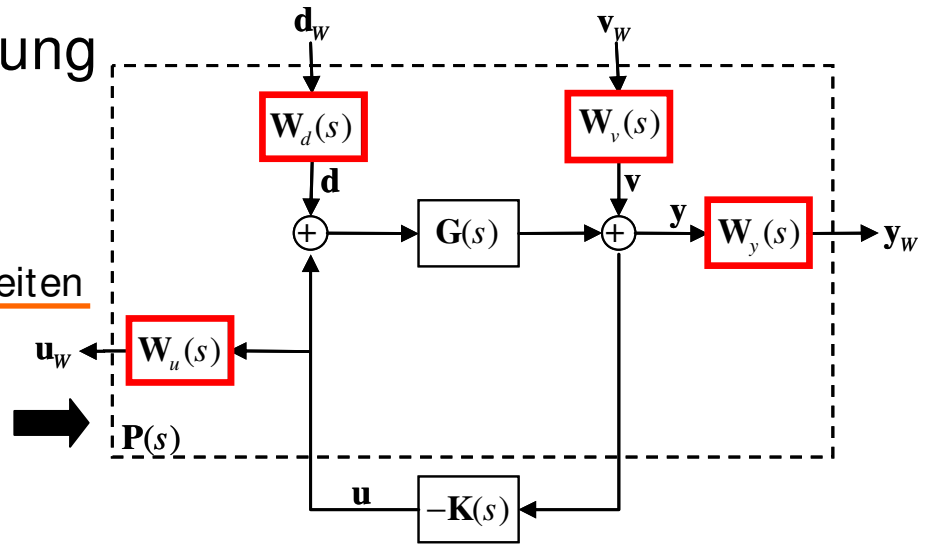


Aktive Schwingungsminderung

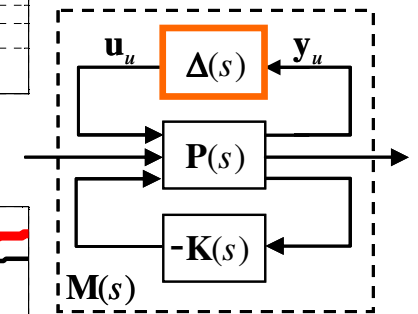
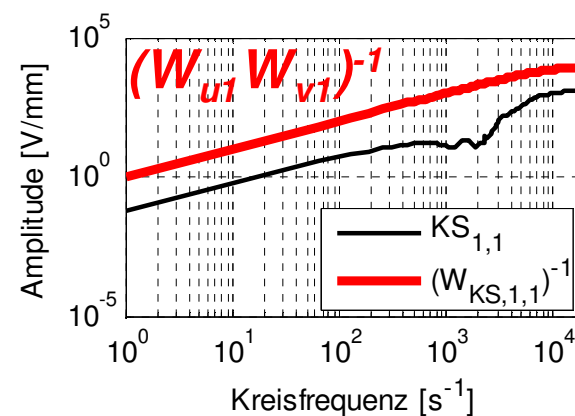
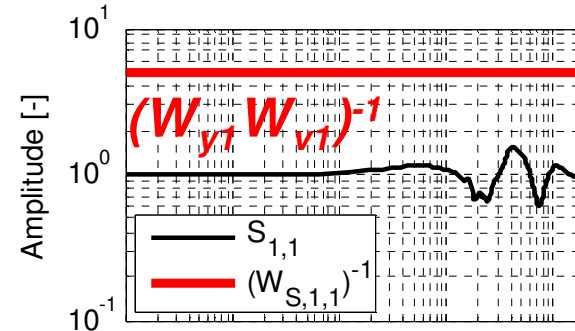
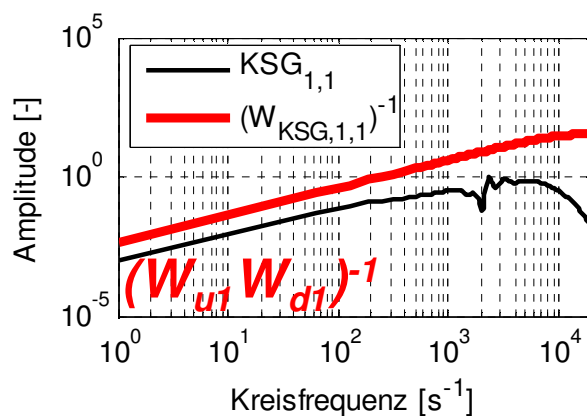
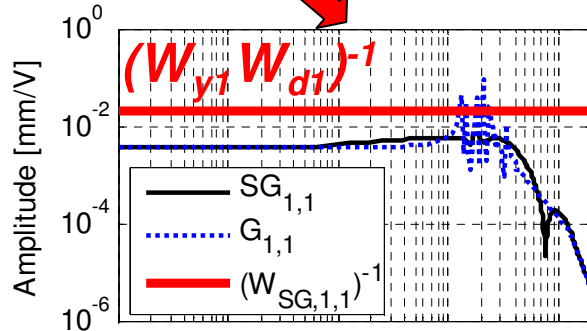
14

▶ robuste Regelung mit der μ -Synthese

- ▶ Berücksichtigung von Unsicherheiten
- ▶ Auslegung im Frequenzbereich
- ▶ Regelstrecke mit Gewichtungen
- ▶ Übertragungsfunktionen und Schranken



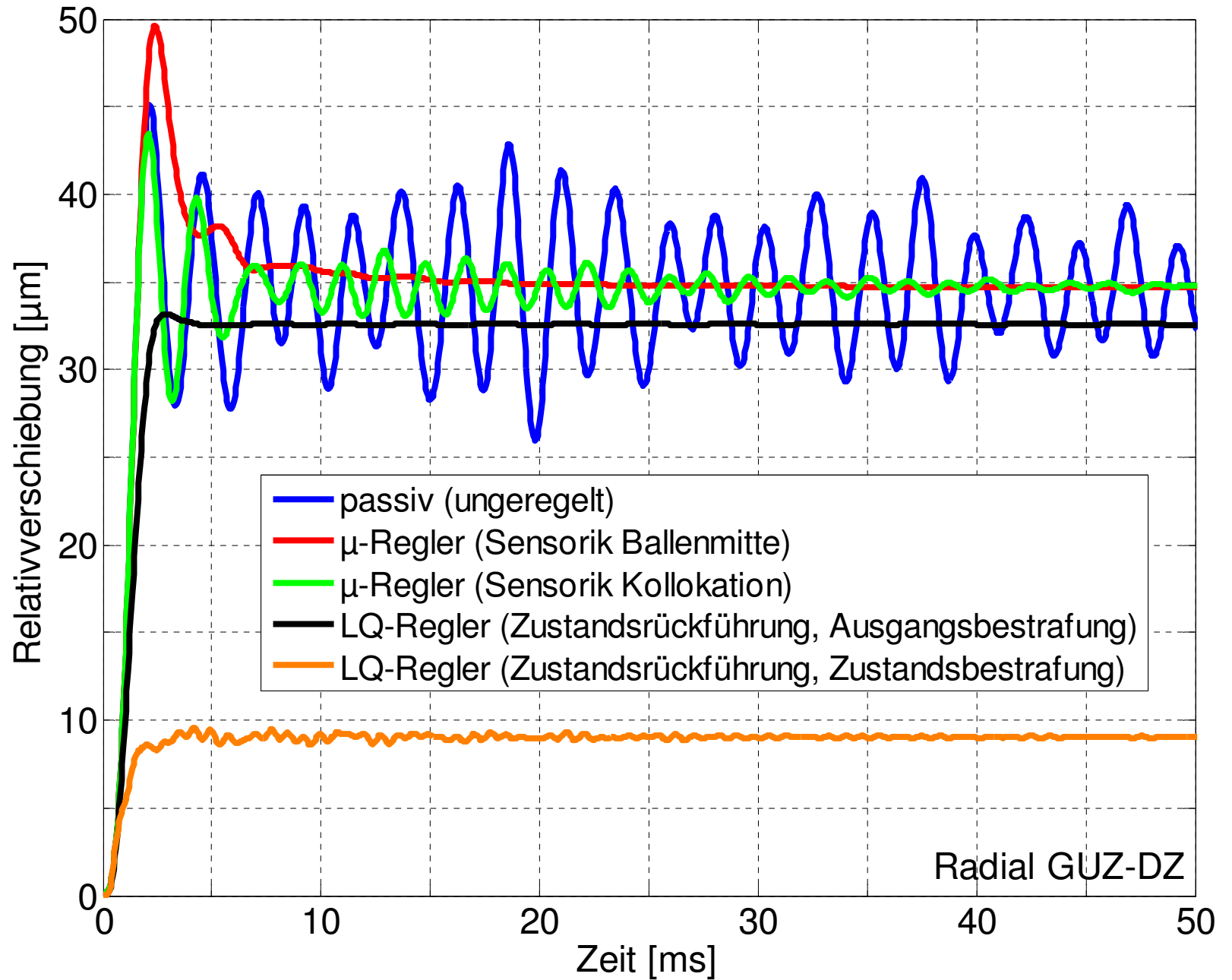
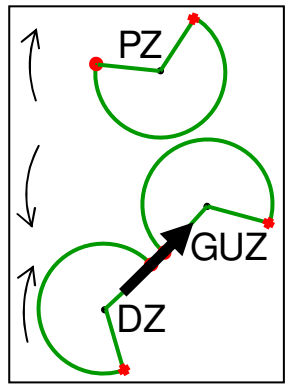
AKTIV





Aktive Schwingungsminderung: aktive Lager

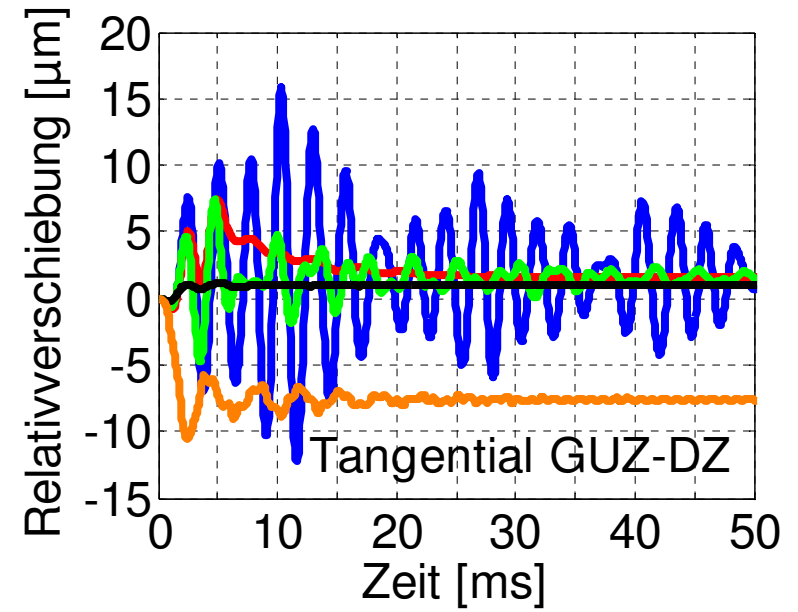
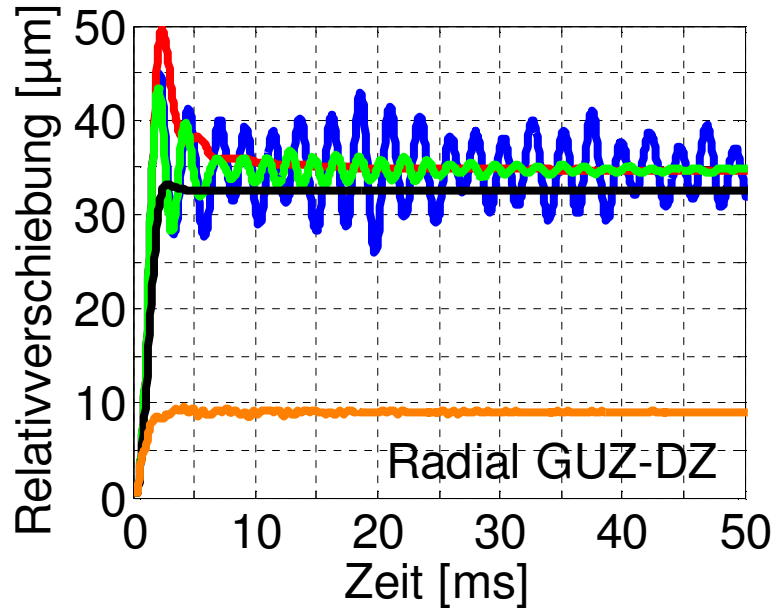
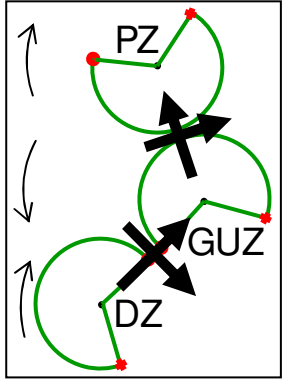
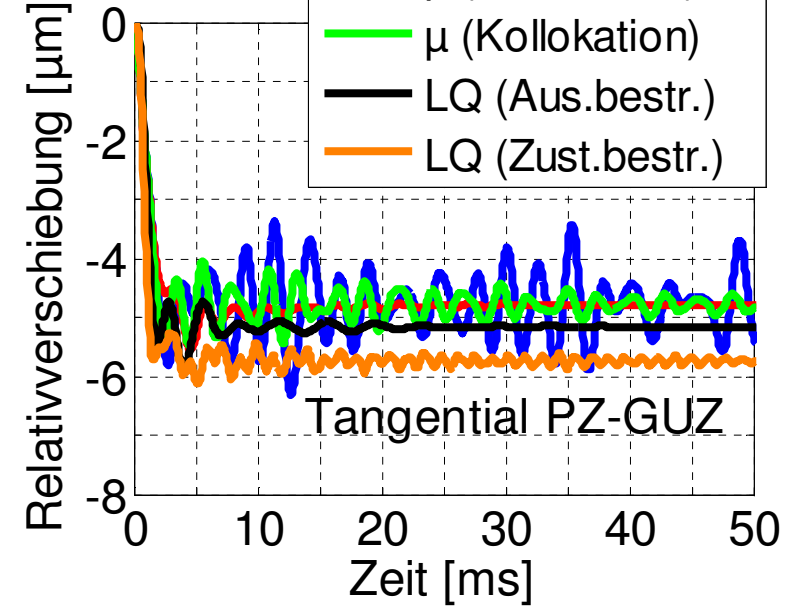
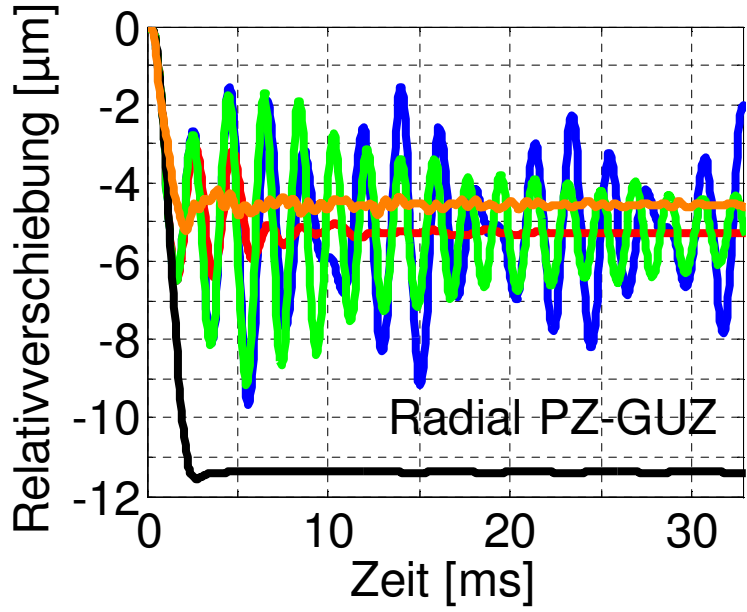
15





16

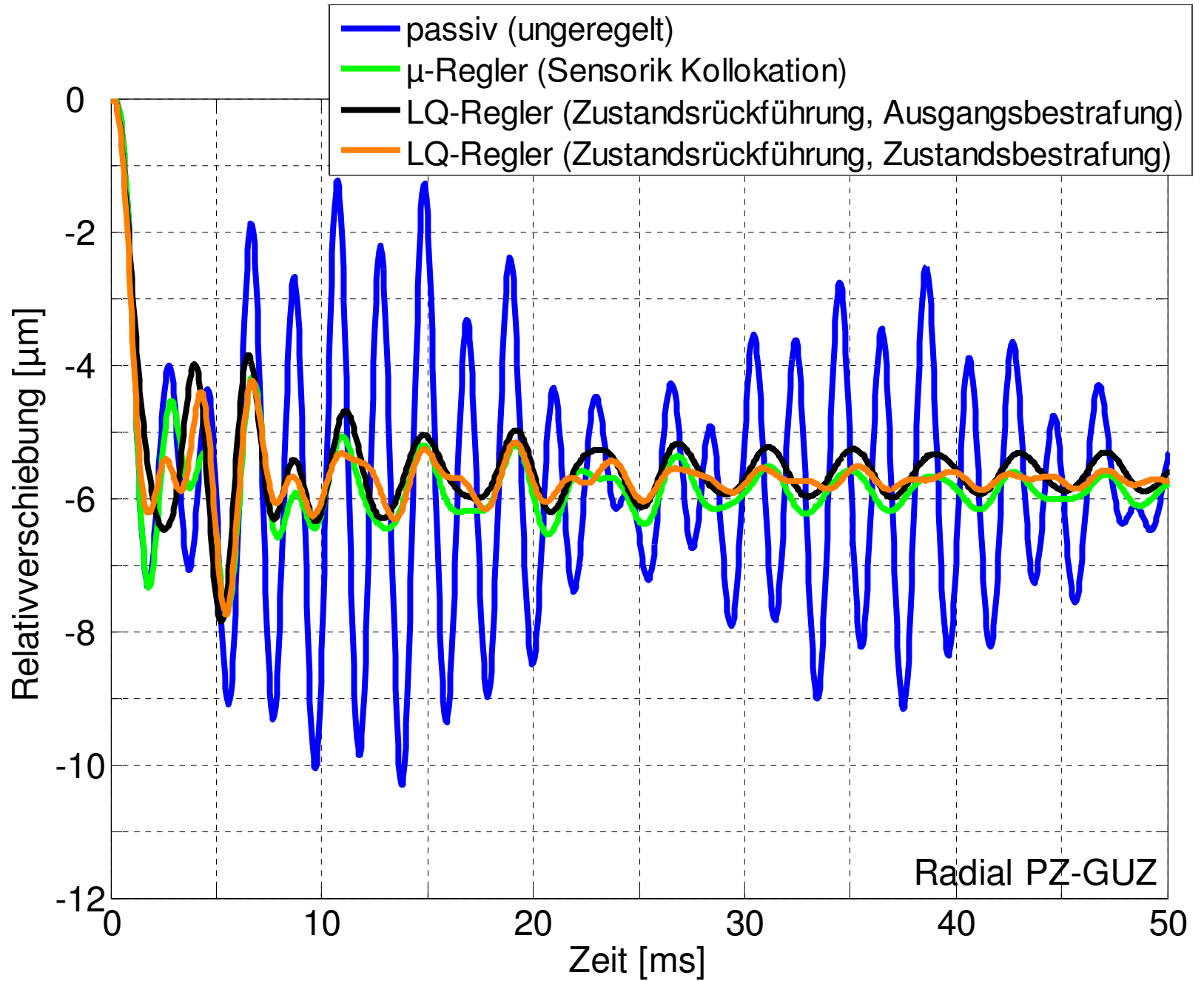
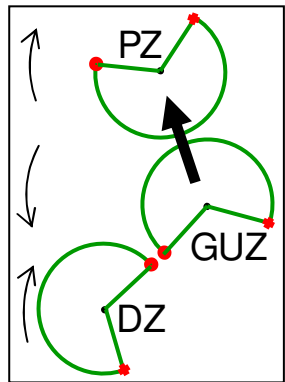
Aktive Schwingungsminderung: aktive Lager





Aktive Schwingungsminderung: Massenaktor

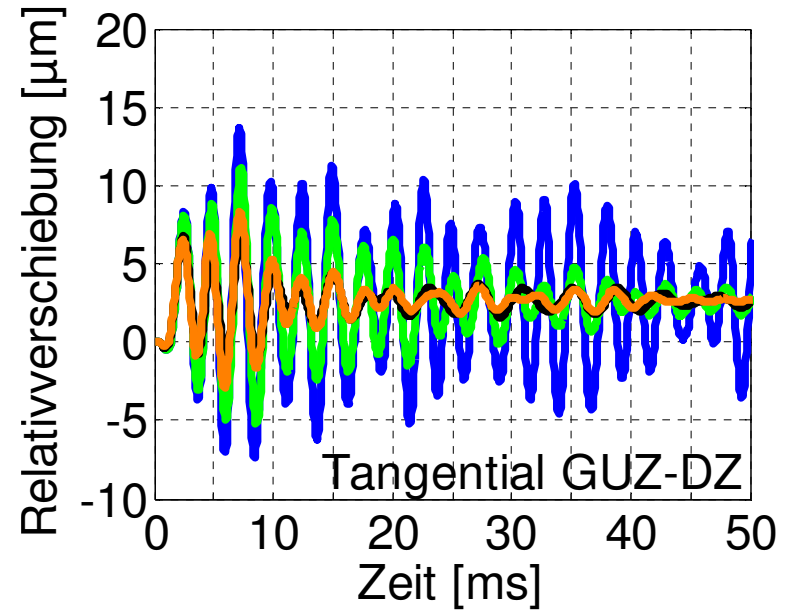
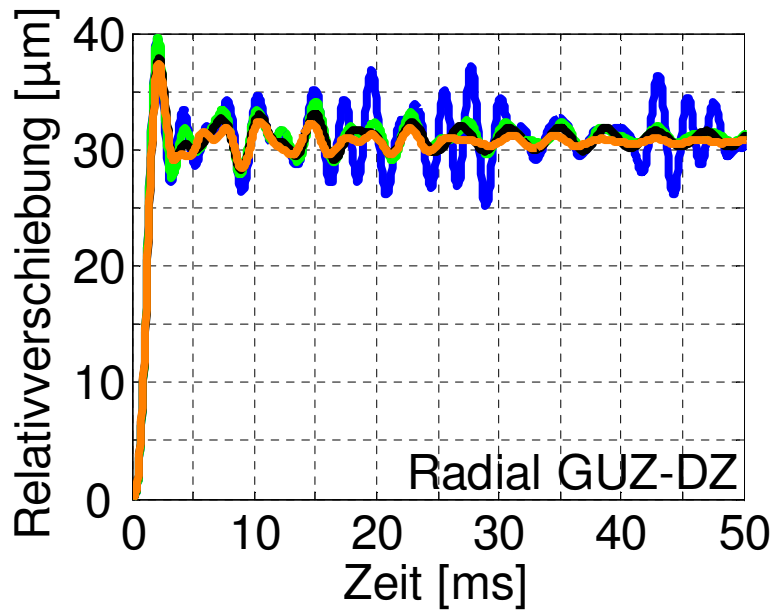
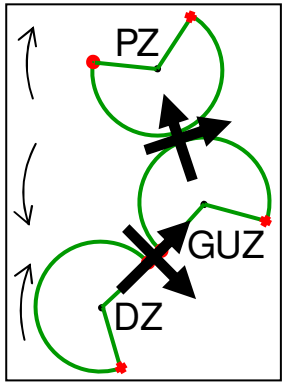
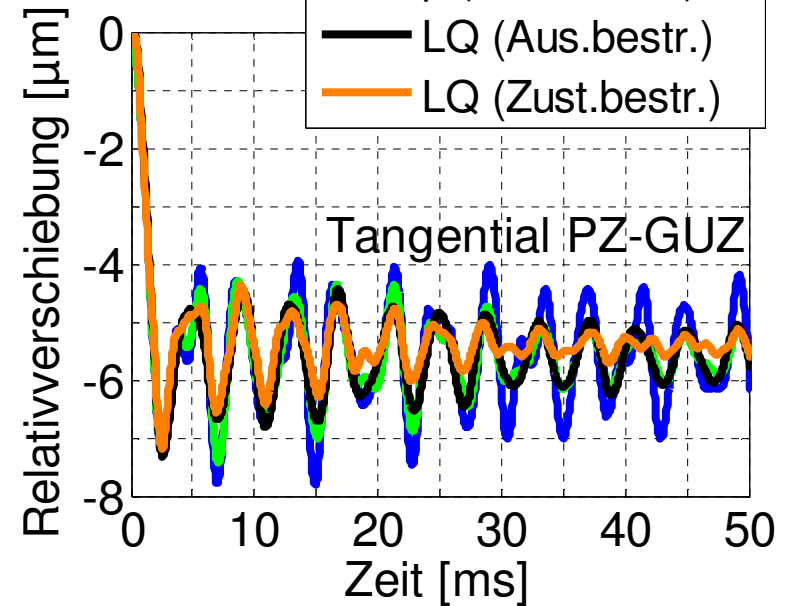
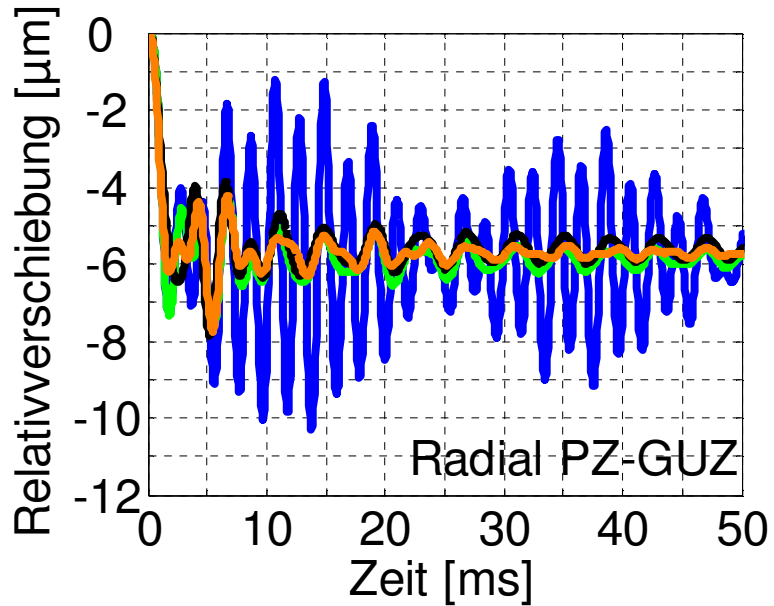
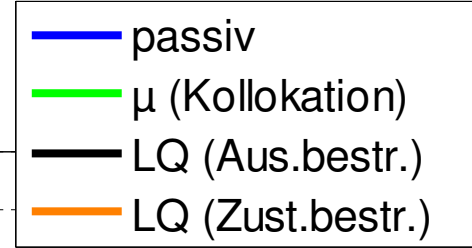
17





18

Aktive Schwingungsminderung: Massenaktor

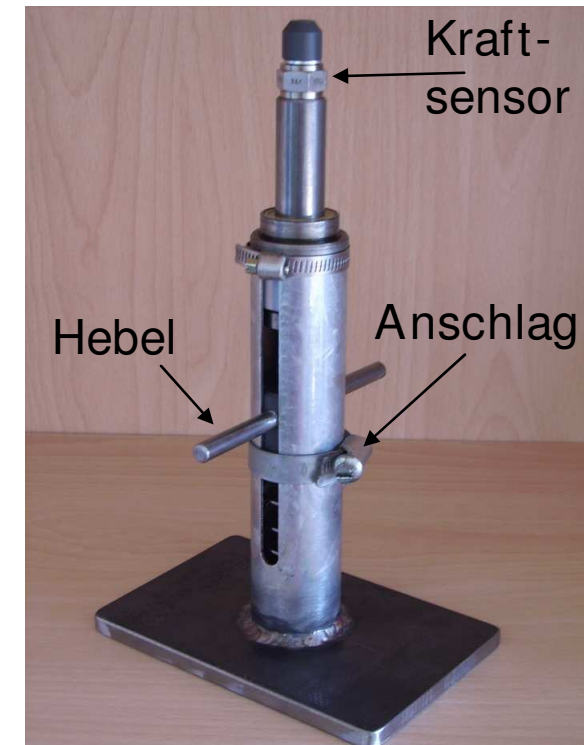
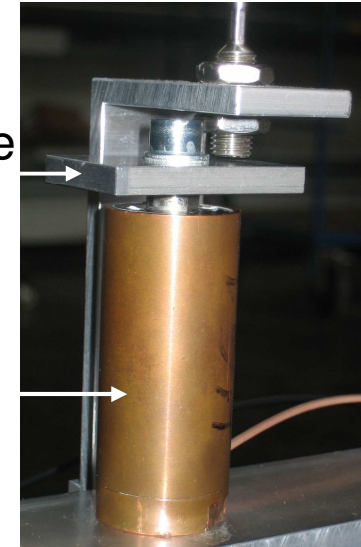
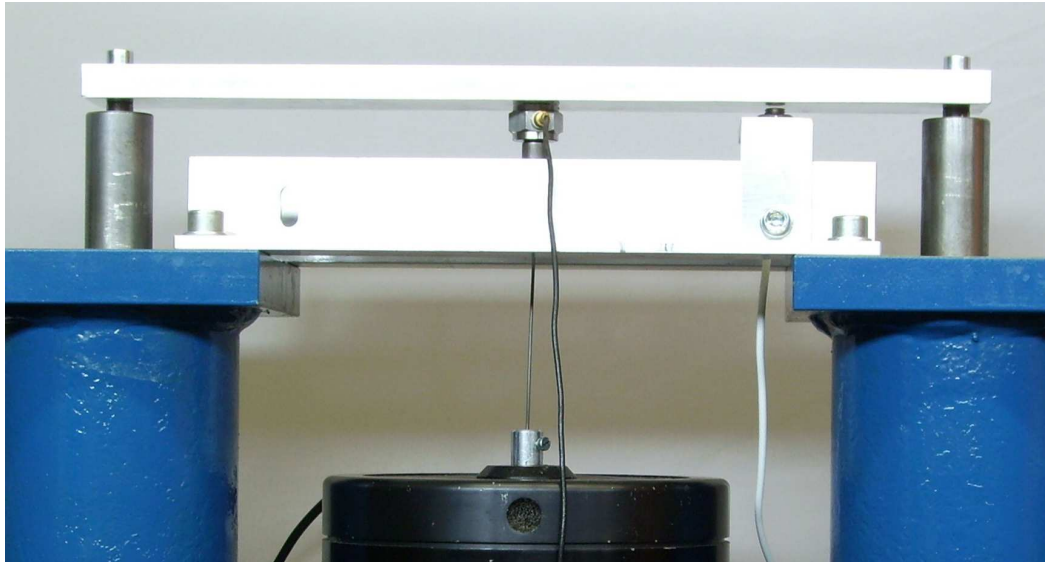




Balkenversuchsstand

Aluminiumbalken (328 mm × 40 mm × 12 mm) zusätzliche Masse

19



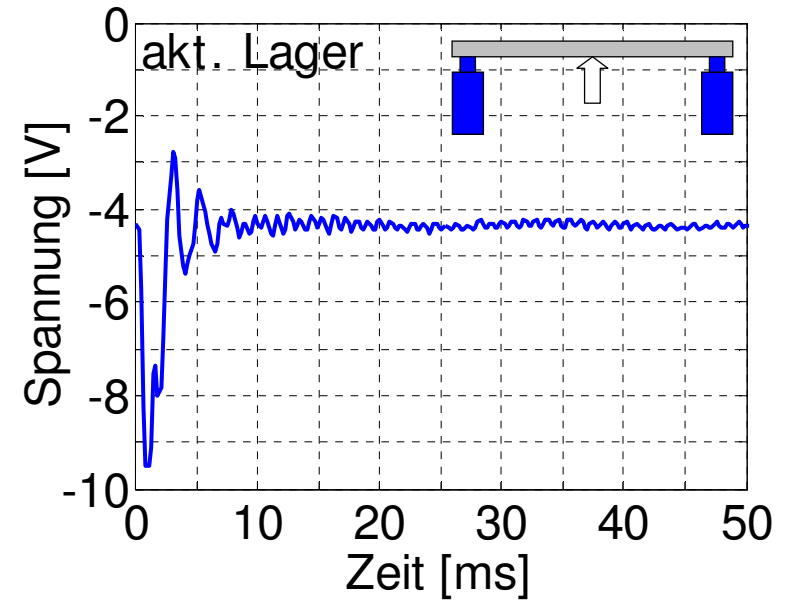
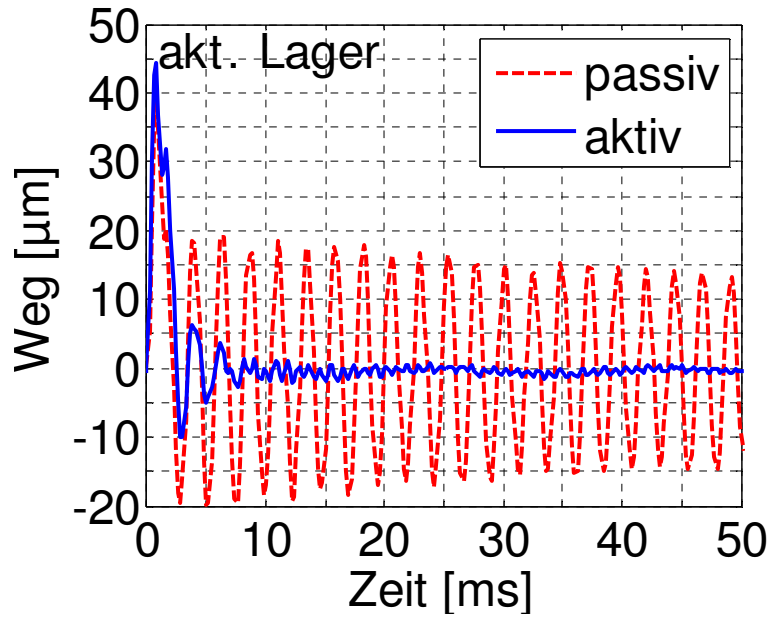
BALKEN

	<i>Balken ohne Piezostapelaktoren</i>	<i>Balken mit aktiven Lagern</i>	<i>Balken mit Massenaktor</i>
f_1	456 Hz	415 Hz	320 Hz
D_1	0,6 %	0,5 %	0,8 %

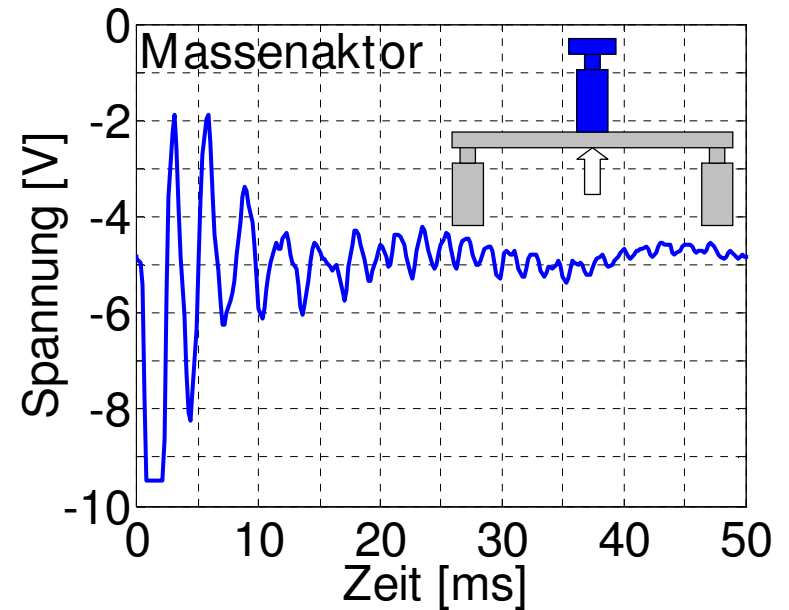
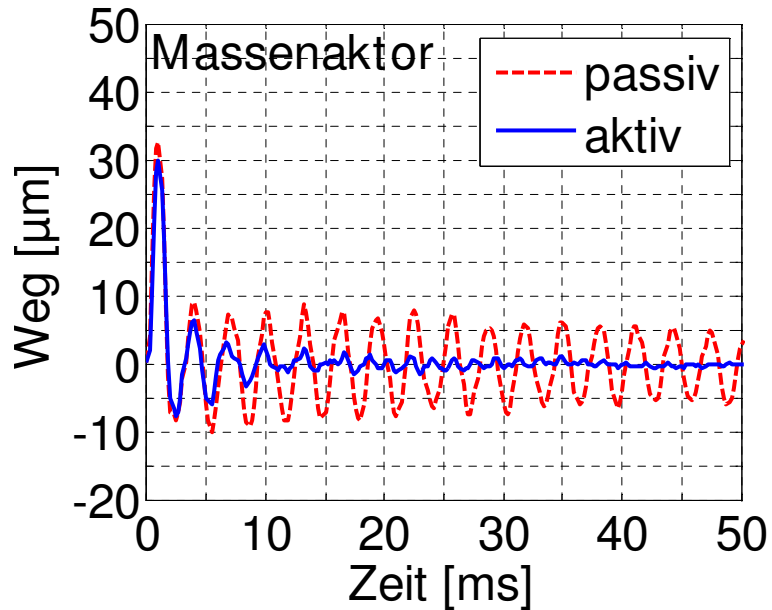


Balkenversuchsstand: schlagartige Erregung, μ -Regler

20



BALKEN

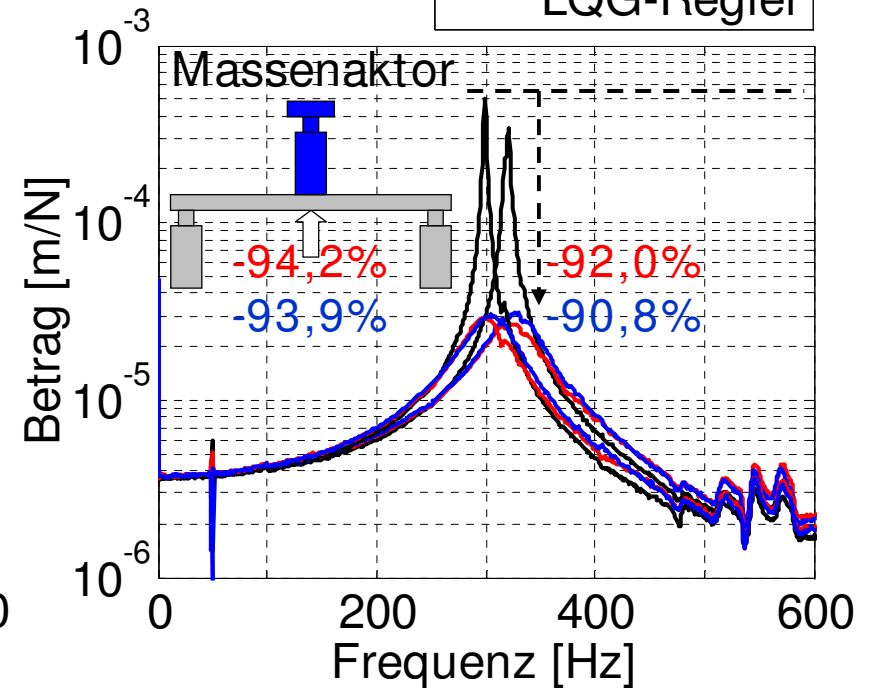
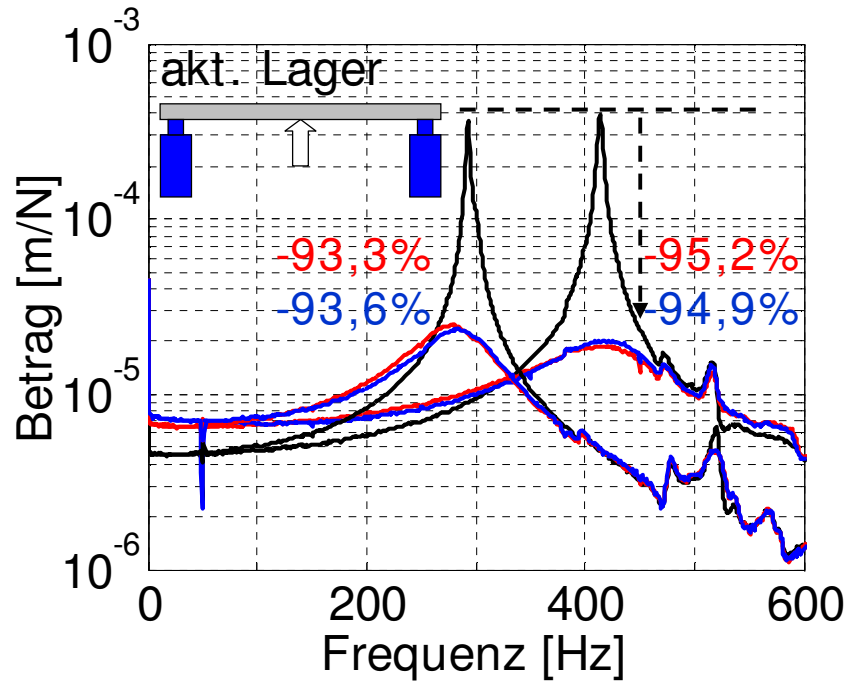




Balkenversuchsstand: Rauschanregung mit Shaker

Systemveränderung durch Zusatzmassen

21



BALKEN

- ▶ Zusatzmassen auf Balken
 - ▶ Massenaktor: 60 g $\rightarrow \omega_1$ verändert sich von 320 Hz auf 300 Hz
 - ▶ aktive Lager: 199 g $\rightarrow \omega_1$ verändert sich von 415 Hz auf 295 Hz
- ▶ Regler funktionieren auch bei Systemveränderung
- ▶ Regelgüte verschlechtert sich im Fall aktive Lager etw as



Zusammenfassung und Ausblick (Teil 1 von 2)

22

- ▶ In dieser Arbeit wurde die aktive Schwingungsminderung an Druckmaschinen am Beispiel Kanalschlag untersucht.
- ▶ Im Vordergrund standen die numerische Modellierung und Simulation.
- ▶ Dabei wurden Methoden und Softwarewerkzeuge zur aktiven Schwingungsminderung an Druckmaschinen behandelt.
 - ▶ Kopplung von Finite-Elemente-Programm und Regelungssoftware
 - ▶ Auslegung verschiedener Regler
 - ▶ linear-quadratische Optimalregler (Zustands-/Ausgangsbestrafung)
 - ▶ robuste Regler mit der μ -Synthese
- ▶ Für die aktive Schwingungsminderung wurden verschiedene Lösungsansätze auf Basis piezokeramischer Aktoren entwickelt.
- ▶ Die Lösungsansätze aktive Lager und Massenaktor wurden eingehend numerisch untersucht.
 - ▶ Der Ansatz aktive Lager erfüllt die Anforderungen an die Schwingungsminderung.
 - ▶ Der Ansatz Massenaktor zeigt ein Potential für die aktive Schwingungsminderung und läßt sich über die Optimierung verschiedener Parameter (z.B. Aktorhub) weiter verbessern.

ZUSAMMEN-
FASSUNG



Zusammenfassung und Ausblick (Teil 2 von 2)

23

- ▶ Mit experimentellen Modalanalysen wurde die Anisotropie der Zylinder quantifiziert, und die FEM-Modelle wurden validiert.
- ▶ Die Lösungsansätze aktive Lager und Massenaktor zeigen eine gute Schwingungsminderung am Balkenversuchsstand.

Ideen für weiterführende Arbeiten:

- ▶ Umsetzung der Lösungsansätze aktive Lager und Massenaktor im realen Experiment an einer rotierenden Struktur.
 - ▶ z.B. Aufbau eines Zwei- oder Drei-Zylinderversuchsstandes, an dem die aktive Schwingungsminderung sowohl an einer Rollenoffset- als auch an einer Bogenoffsetzylindergruppe erprobt werden kann
 - ▶ umfassende experimentelle Untersuchungen bzgl. Sensorik, Aktorik und Regelung
 - ▶ experimentelle Analyse von Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit
- ▶ Im Prinzip ist bekannt, wann die Kanalschlagerregung wirkt. Es ist zu untersuchen, inwieweit diese Kenntnis vorteilhaft genutzt werden kann.

ZUSAMMEN-
FASSUNG