

# Brücken zwischen den Welten –

## Verbindungen von Geräteschnittstellen und Signalverarbeitung für Schwingversuche



27.06.2022  
Thomas Kuttner

## Motivation

### Laboreinrichtungen

- Prüffeld mit servohydraulischen und elektromechanischen Zylindern, elektrodynamischen Schwingerregern
- Messtechnik
- Teststrecke für Fahrversuche

### Randbedingungen: Spezifik des HAW Bereichs

- Fokus auf die Lehre
- (Industrie-)Projekte mit kurzer Laufzeit



# Exemplarische Lösungen



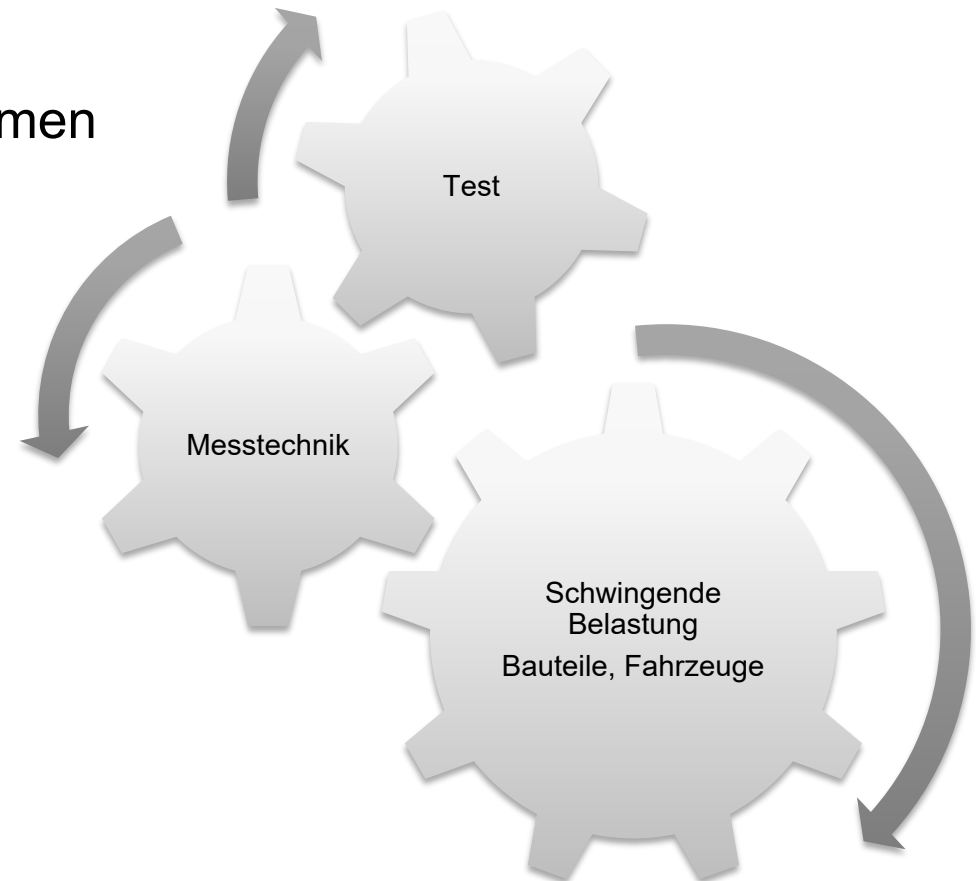
## Motivation

### Betriebsfestigkeit

- Integration von Messtechnik in vorhandene Systeme
- Häufig wechselnde und kurzfristige Prüfaufbauten

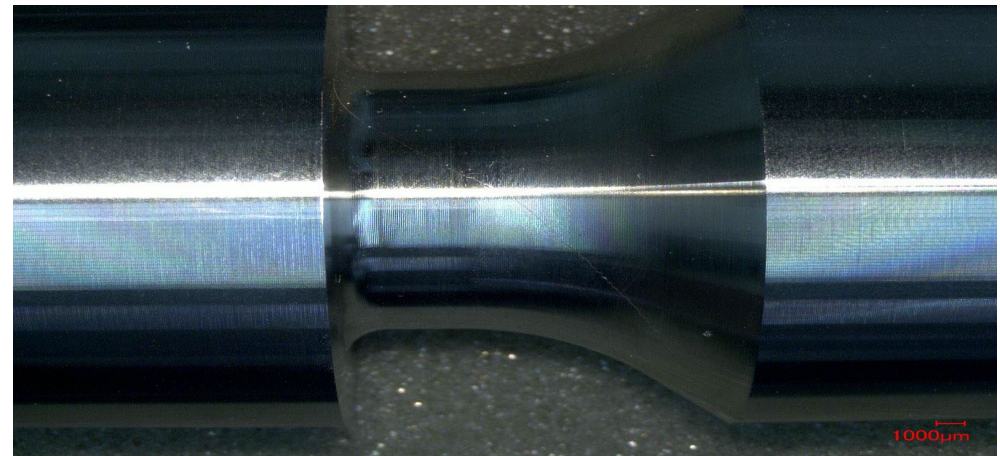
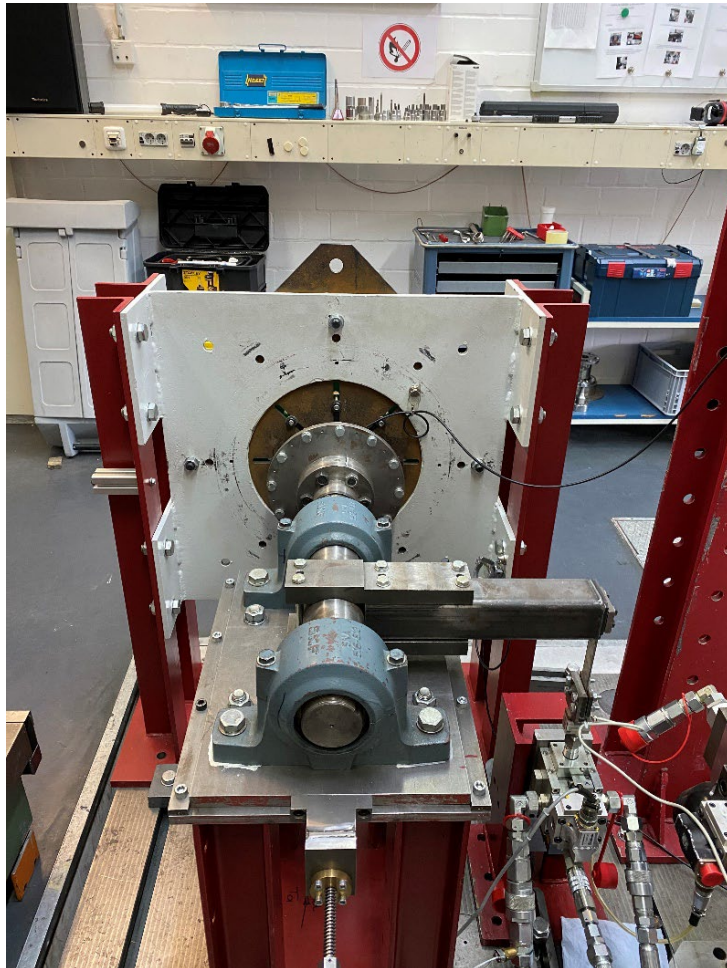
### Anforderungen

- Einfache Schnittstellen
- Passfähigkeit zu vorhandenen Systemen
- Kurzfristige Reaktionszeit
- Risikoarmer Aufbau





# Messdatenerfassung mit einem berührungsfreien Drehmomentaufnehmer

- Aufbau des Prüfstandes mit berührungsfreiem Drehmomentaufnehmer



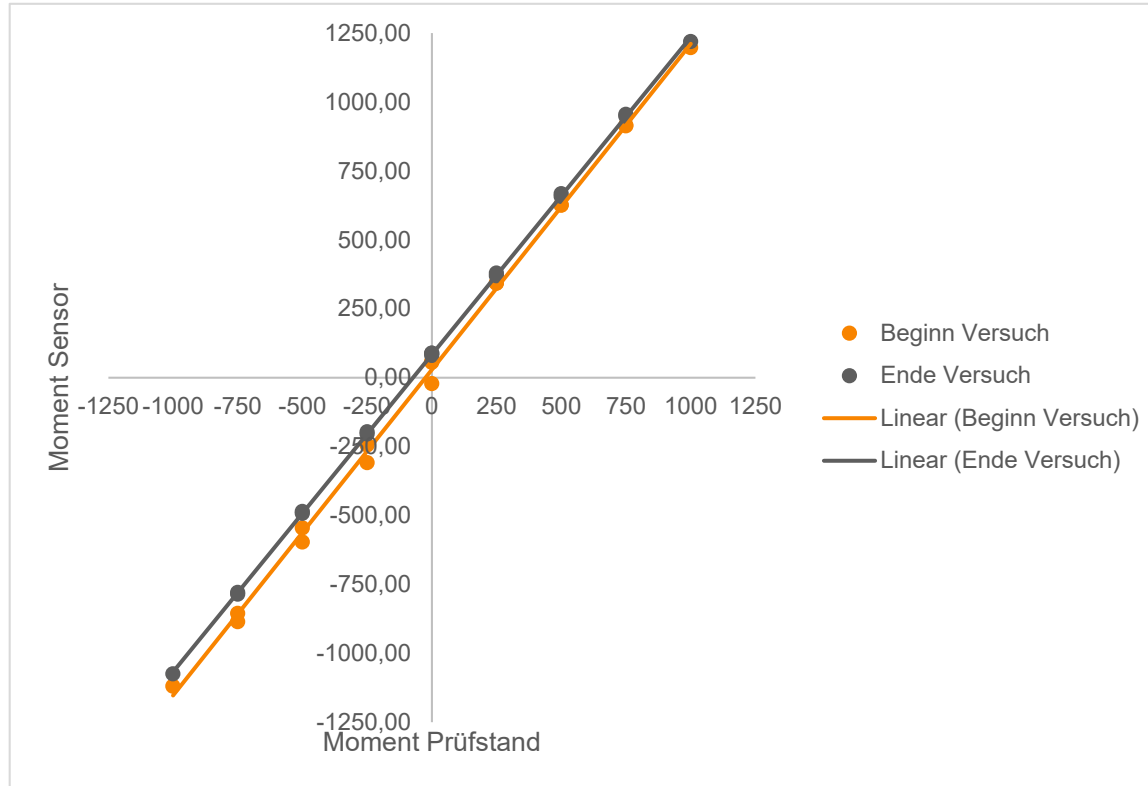
# Messdatenerfassung mit einem berührungsfreien Drehmomentaufnehmer

## Kopplungsarten

Kopplung	Vorteile	Nachteile	Entscheidung
Separate Signalerfassung	Standardlösung	Zwei Datensätze, Synchronisation	
PCM-Signal	Standardlösung, störfest	Keine Schnittstelle	
Analoges Signal	Schnittstelle, eine Datei	Kalibrierung	

# Messdatenerfassung mit einem berührungsfreien Drehmomentaufnehmer

## Kalibrierung

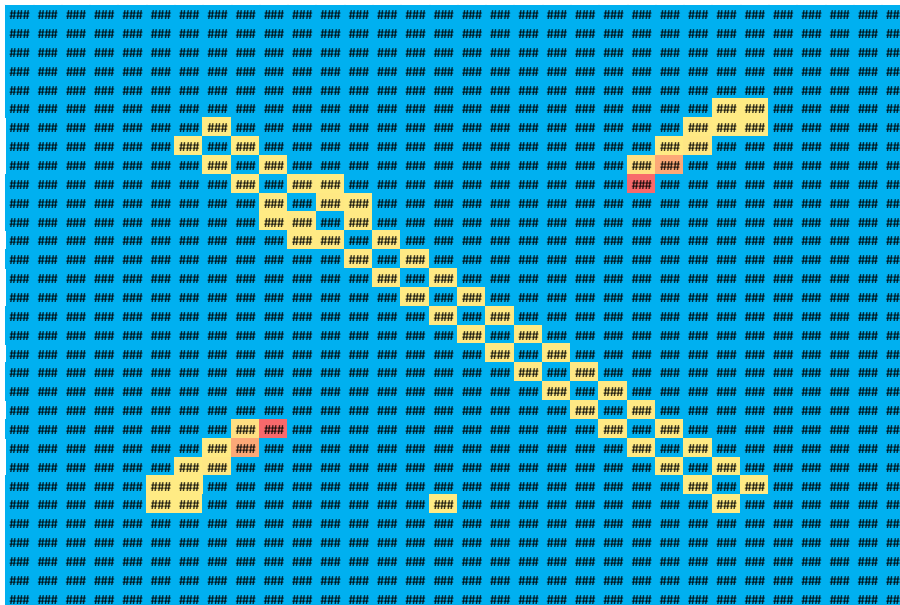


Signal nach der Schwingerermüdung stabil

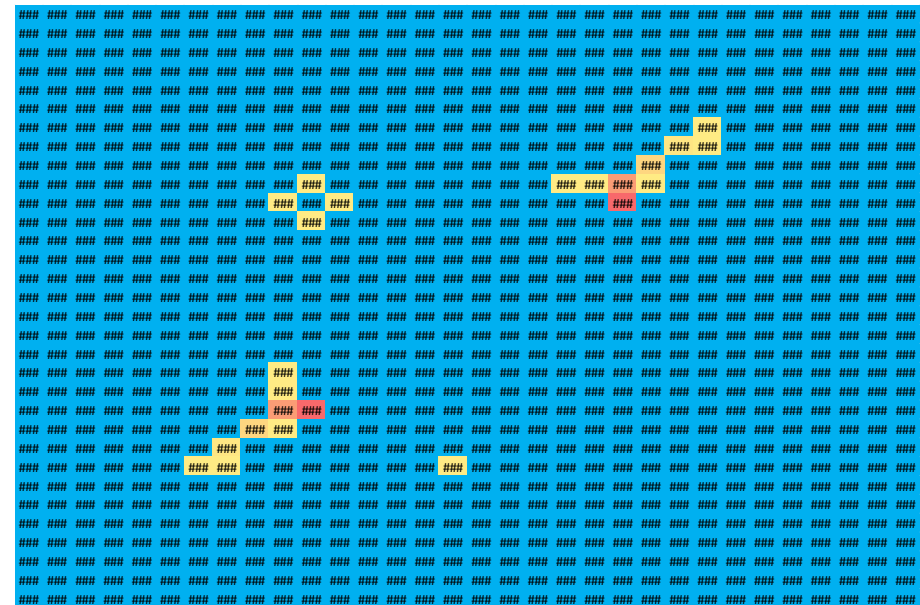
# Messdatenerfassung mit einem berührungsfreien Drehmomentaufnehmer

## Rainflow-Zählung

DMS-Kraftaufnehmer (Referenz)



Berührungsfreier Drehmomentaufnehmer

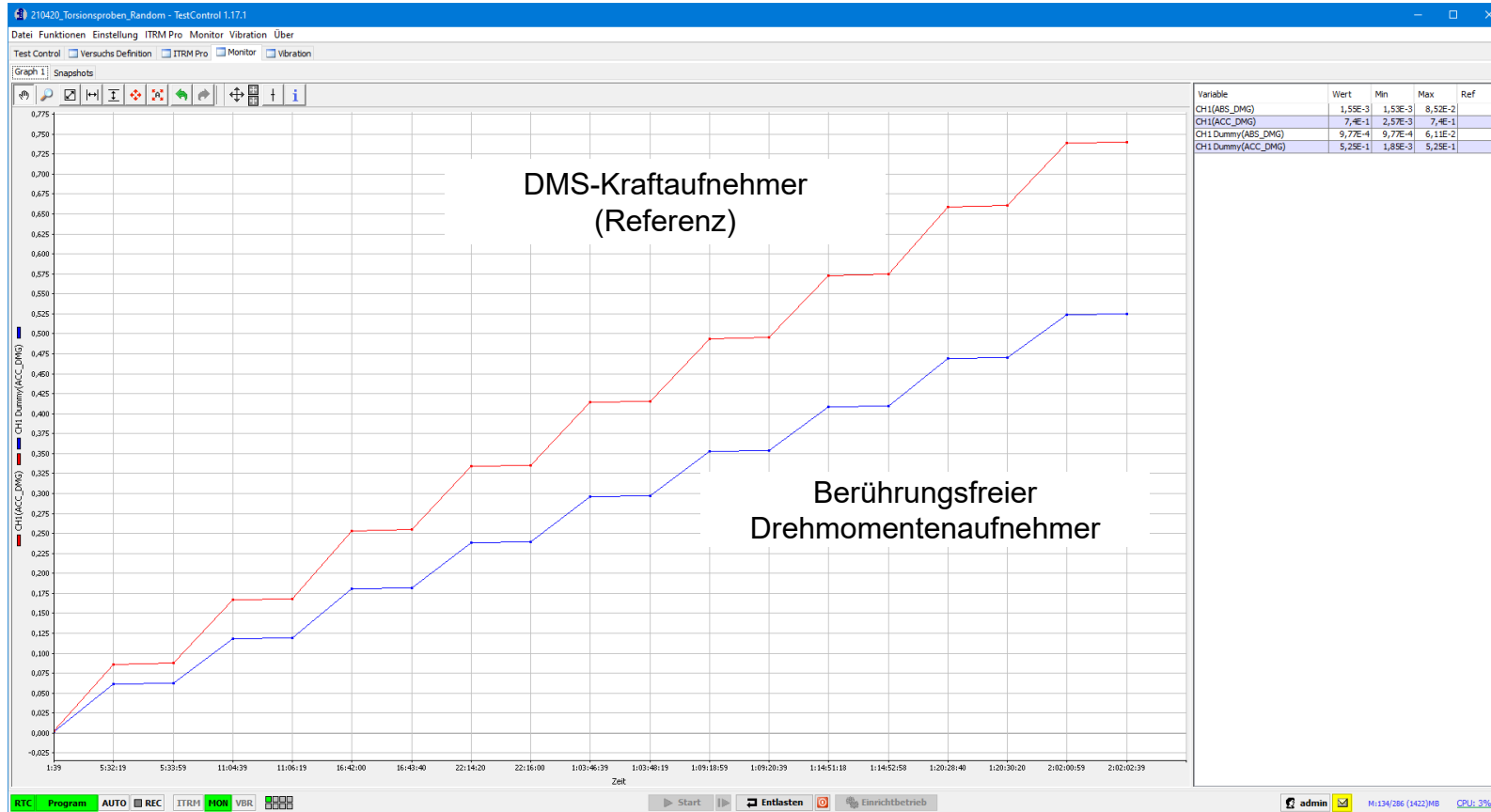


Negative Momente – kleinere Amplituden beim berührungsfreien Drehmomentaufnehmer



# Messdatenerfassung mit einem berührungsfreien Drehmomentaufnehmer

## Schädigungsentwicklung

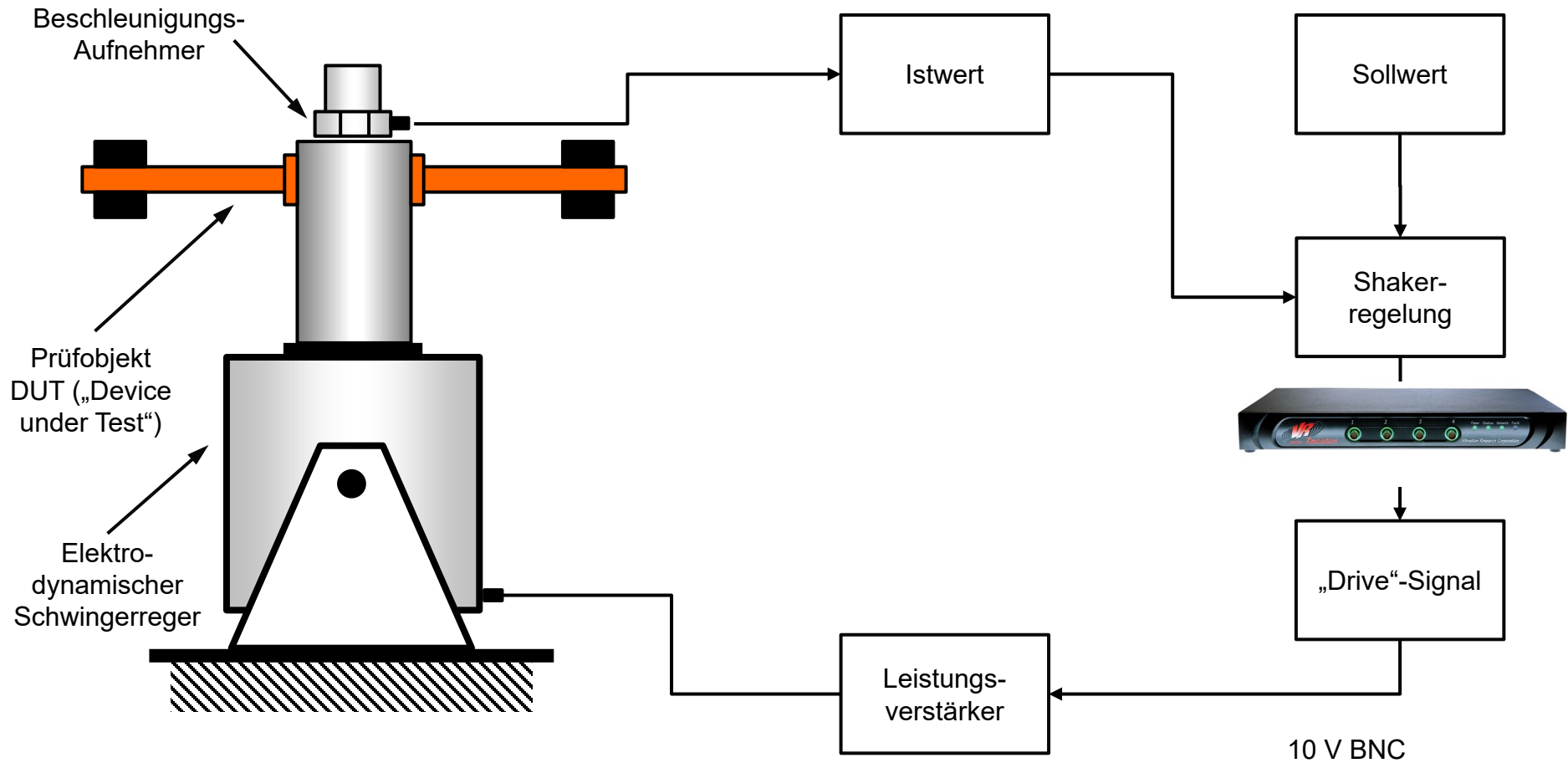


Prinzipiell ähnlicher Verlauf

kleinere Schädigungen beim berührungsfreien Drehmomentenaufnehmer

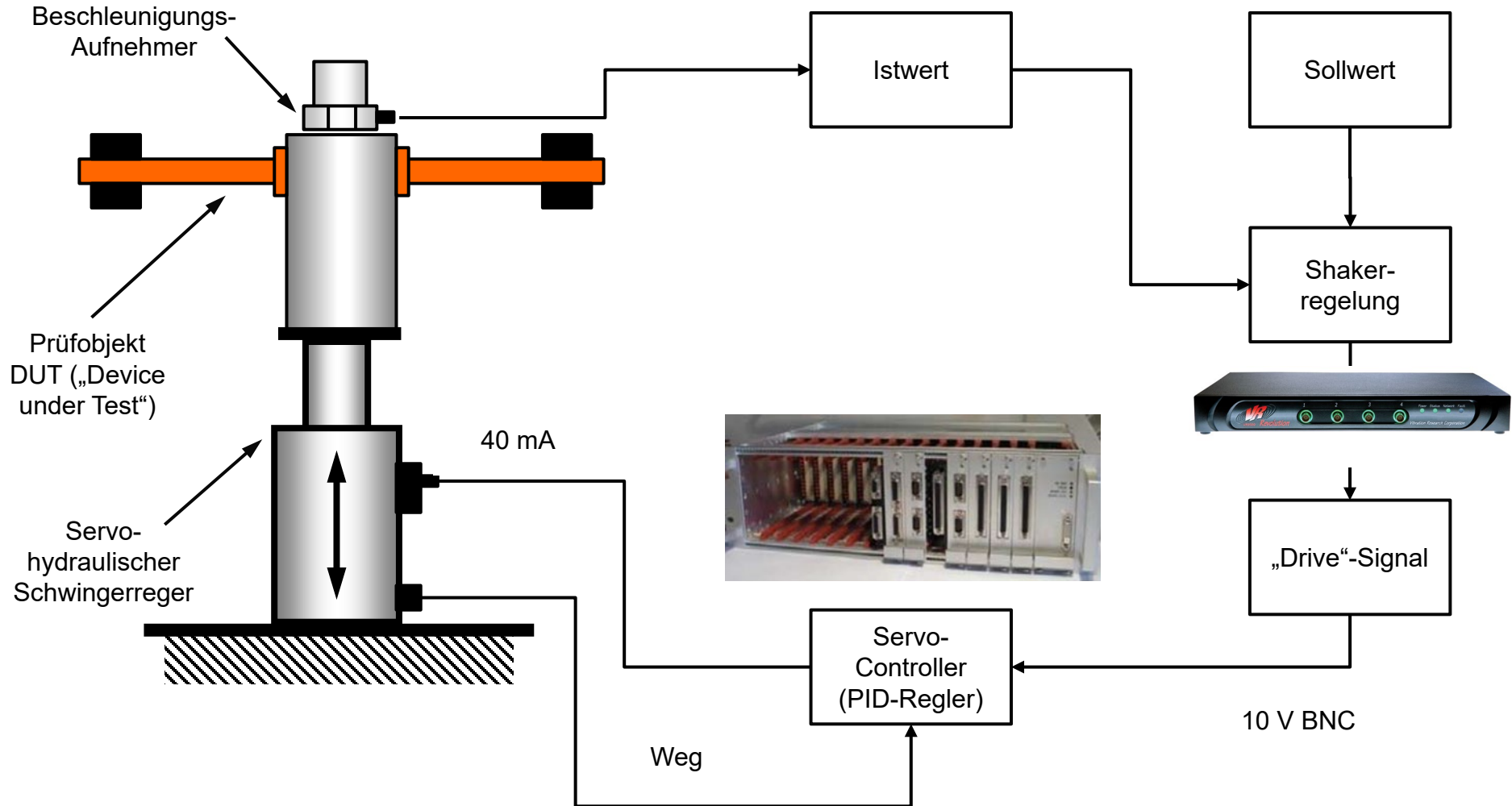
# Shakerversuche mit servohydraulischen Prüfzylindern

Blockschaltbild einer Prüfsystems mit elektrodynamischem Schwingererreg



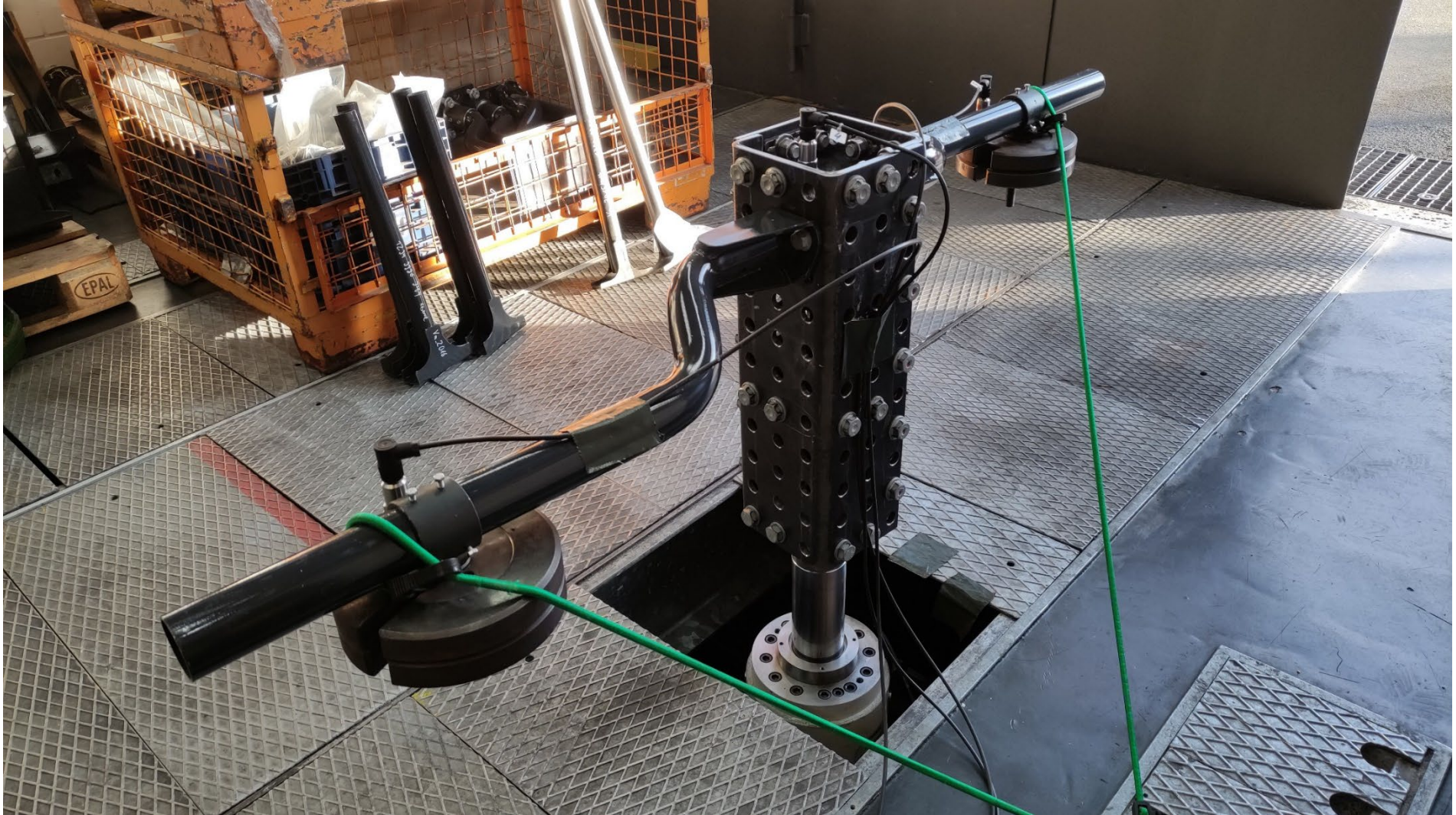
# Shakerversuche mit servohydraulischen Prüfzylindern

Blockschaltbild einer Prüfsystems mit servohydraulischem Schwingerreger



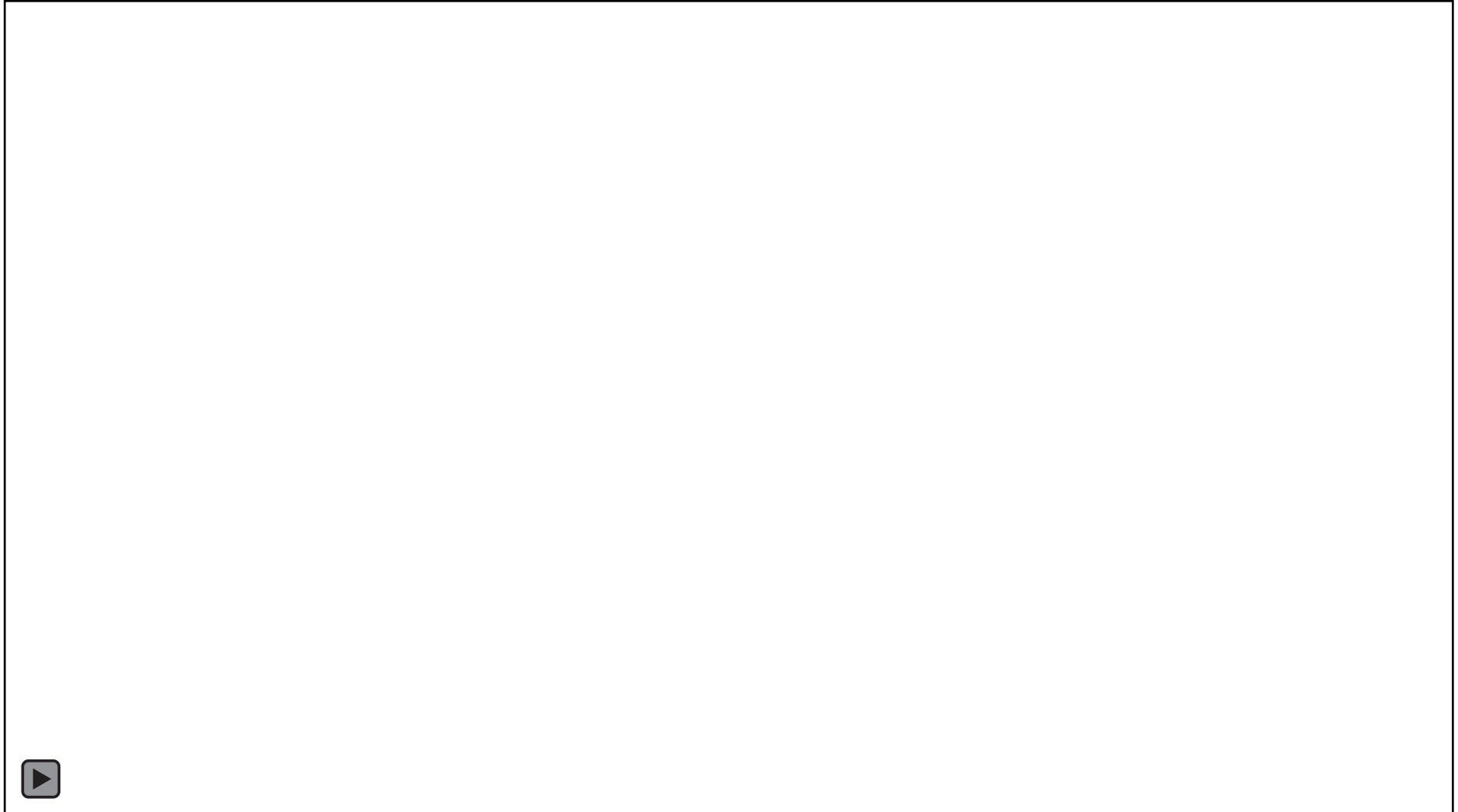
# Shakerversuche mit servohydraulischen Prüfzylindern

## Versuchsaufbau



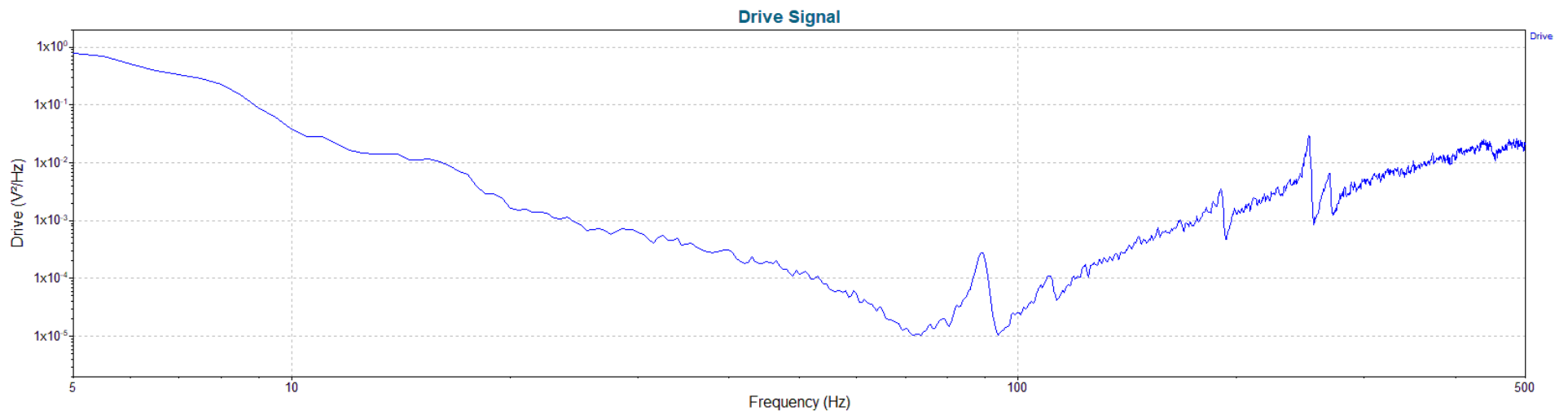
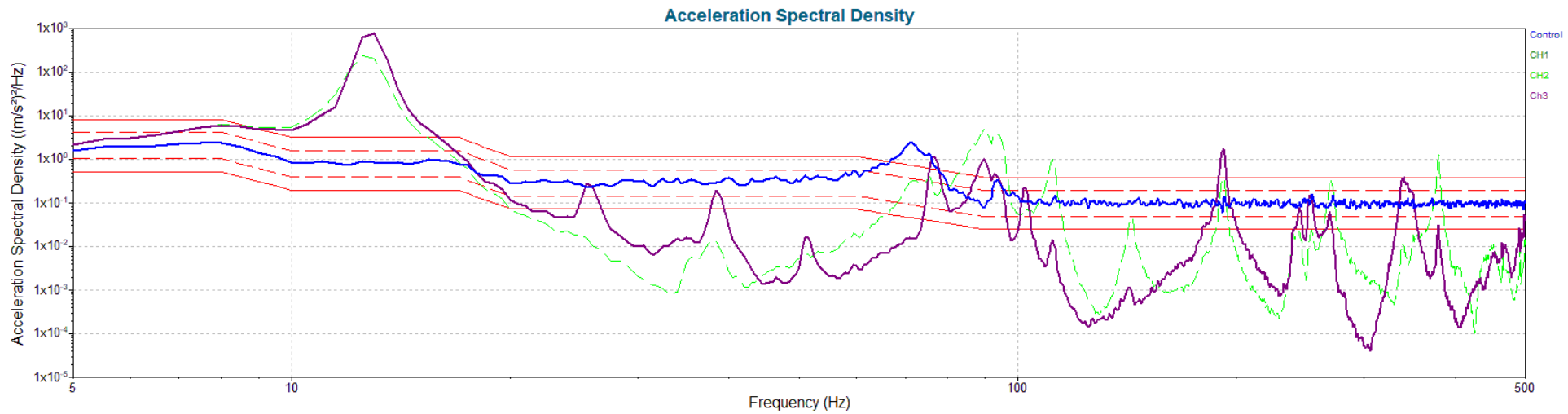
# Shakerversuche mit servohydraulischen Prüfzylindern

## Versuchsaufbau



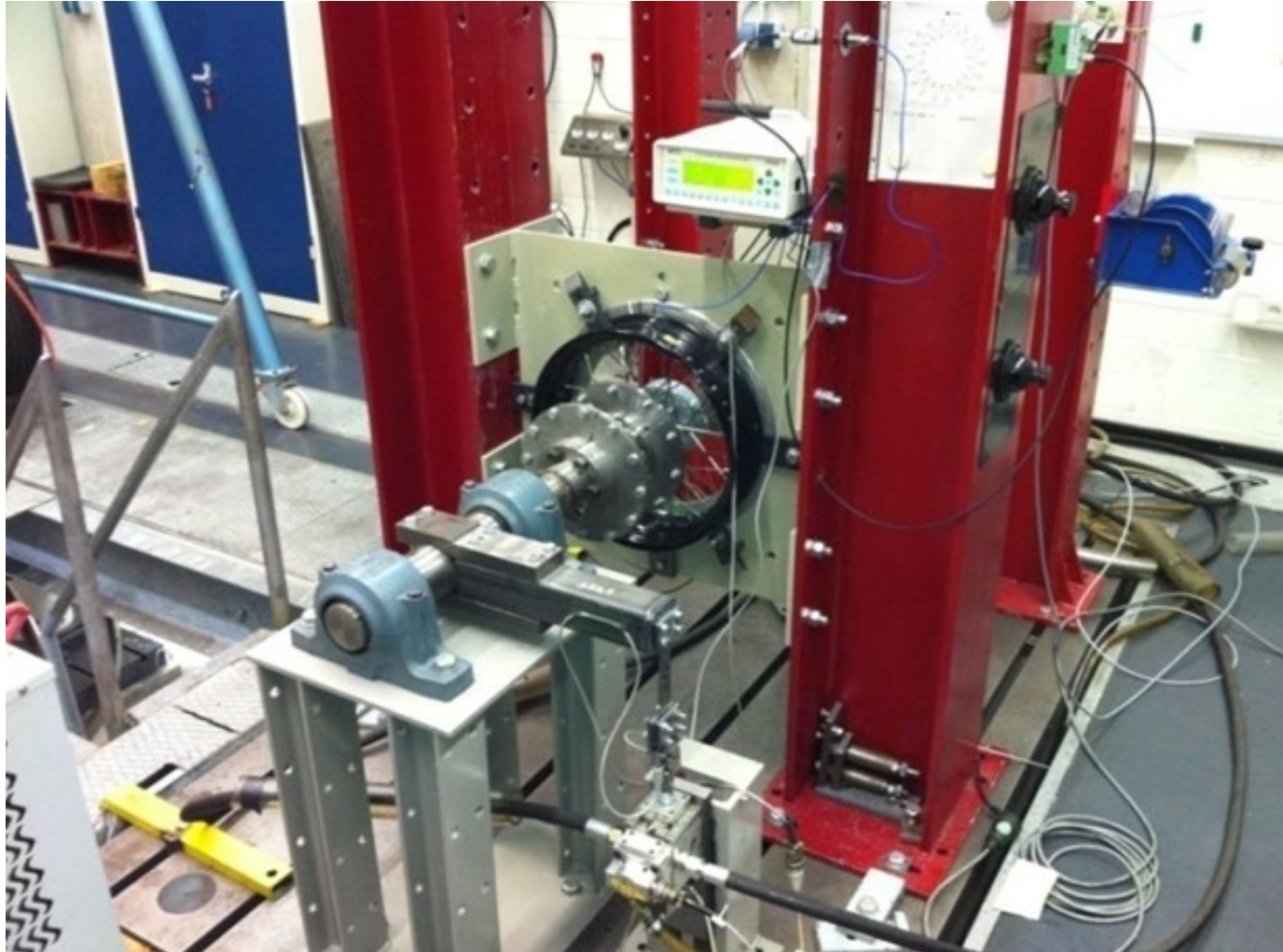
# Shakerversuche mit servohydraulischen Prüfzylindern

➤ Frequenzbereich bis 500 Hz möglich



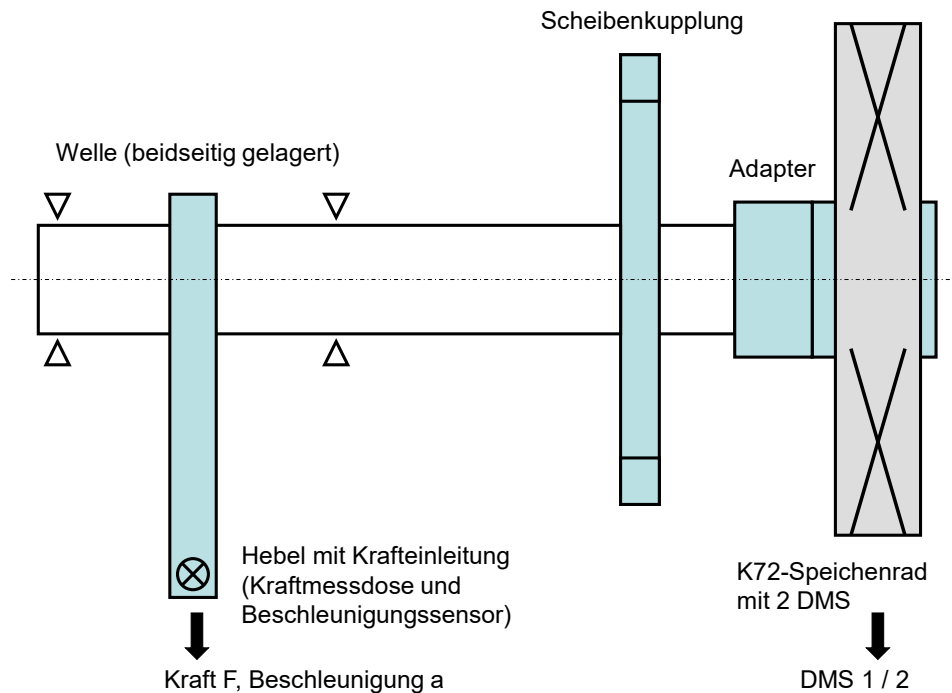
# Optimierung von Versuchsaufbauten durch Signalverarbeitung

## ➤ Anwendungsbeispiel Rad-Torsionsprüfstand



# Optimierung von Versuchsaufbauten durch Signalverarbeitung

gleichzeitige Messung der Kraft am Aktuator und der Spannung am Bauteil bei Anregung mit breitbandigem Rauschsignal

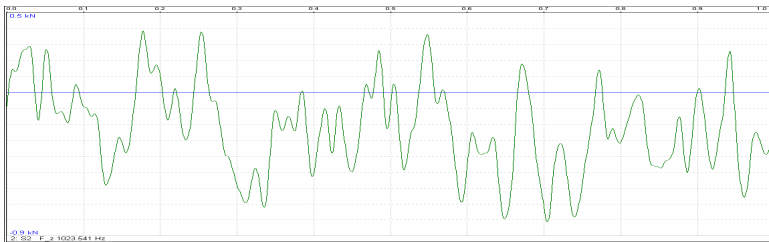




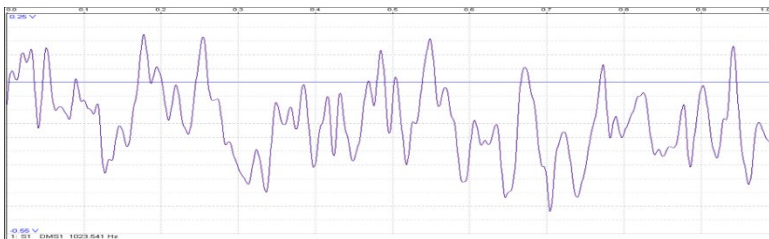
# Optimierung von Versuchsaufbauten durch Signalverarbeitung

Auswertung durch Bildung der Übertragungsfunktion nach Fast-Fourier-Transformation (FFT)

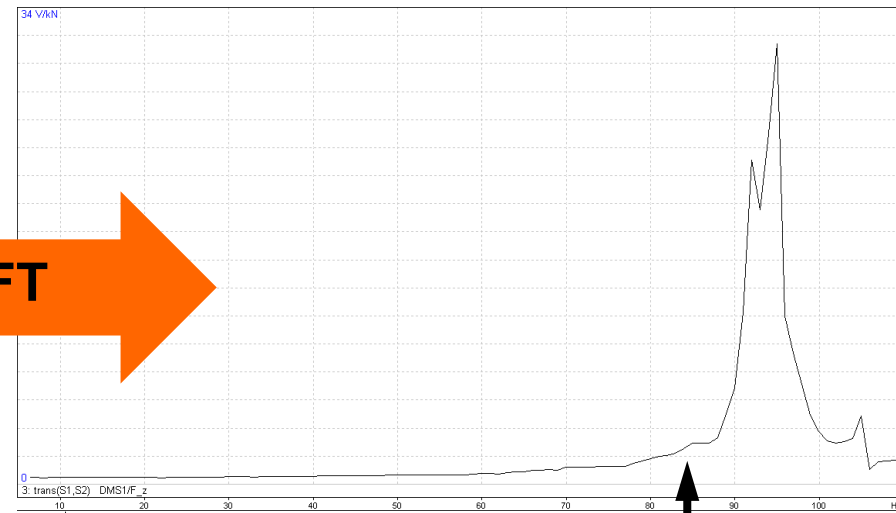
Kraft-Zeit-Verlauf



Spannung-Zeit-Verlauf



Übertragungsfunktion Spannung / Kraft als Funktion der Frequenz



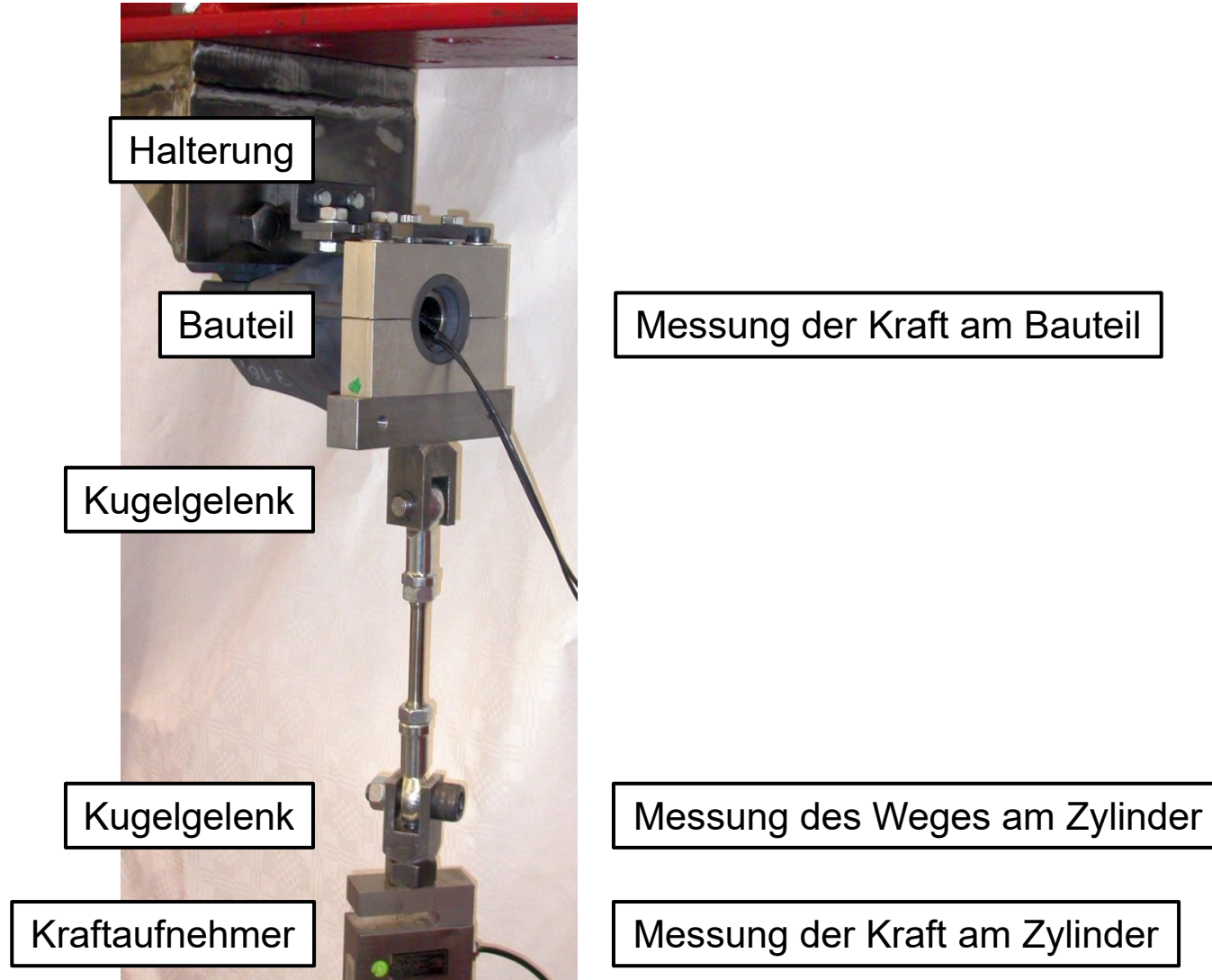
geringer Messfehler bei geringer Frequenz

großer Messfehler bei Annäherung an die Resonanzfrequenz

- Definition von begründeten Grenzwerten für den Betrieb des Prüfstandes

# Optimierung von Versuchsaufbauten durch Signalverarbeitung

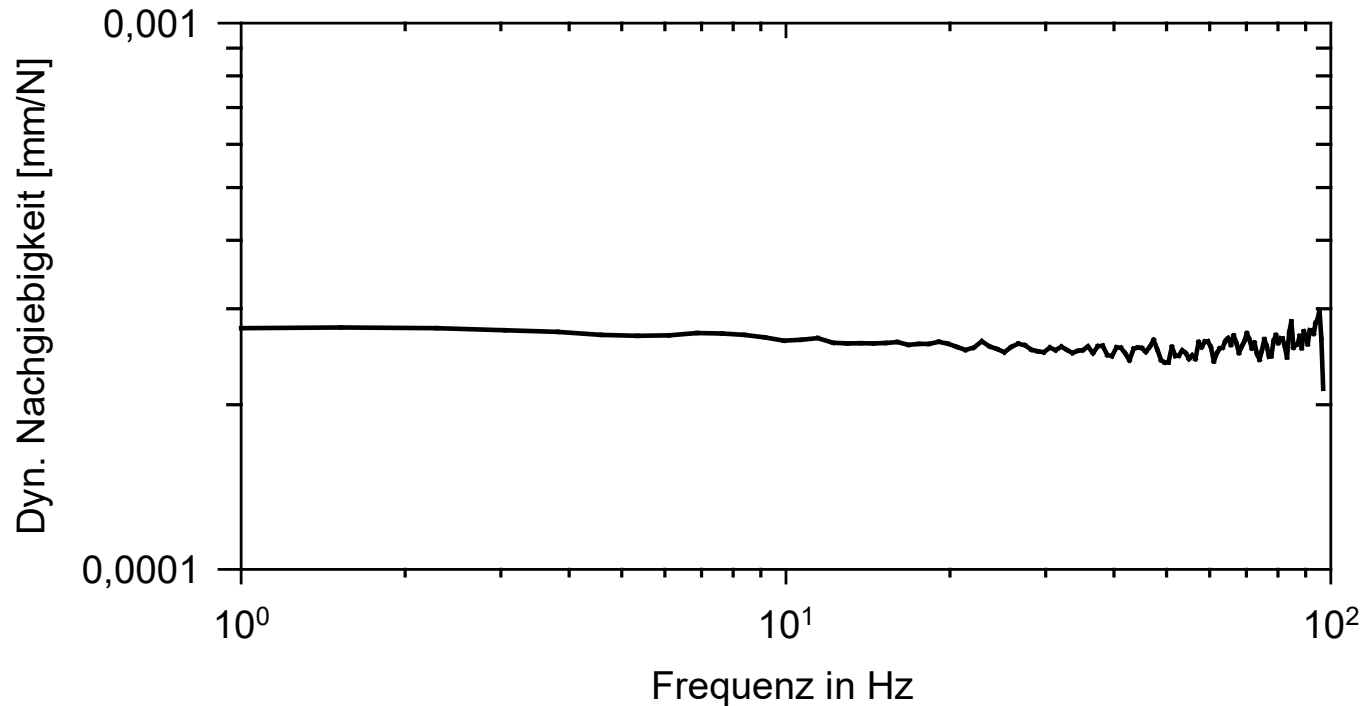
## Optimierung eines Biegeversuchs



# Optimierung von Versuchsaufbauten durch Signalverarbeitung

Messung der dynamische Nachgiebigkeit („Weg geteilt durch Kraft“)

- Anregung mittels Rauschsignal
- gleich

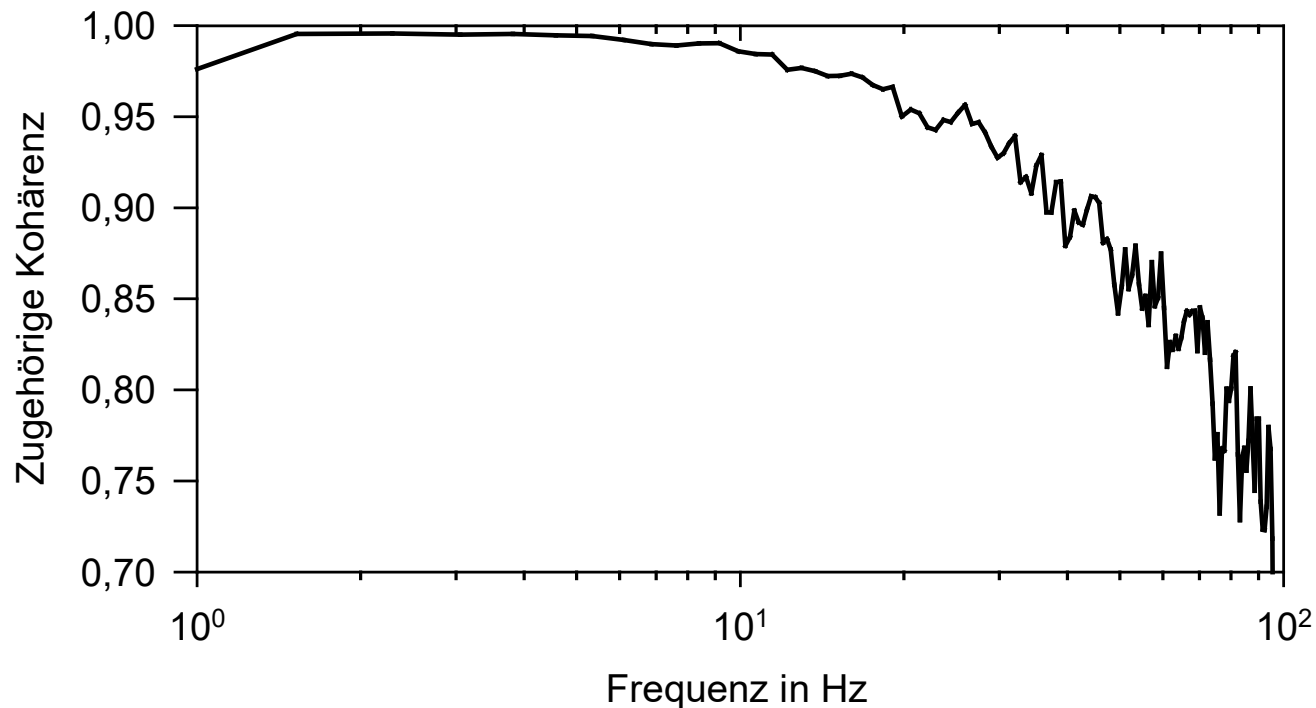


- konstanter Verlauf über der Frequenz  
→ keine Anregung von Eigenfrequenzen im Versuchsaufbau

# Optimierung von Versuchsaufbauten durch Signalverarbeitung

## Messung der Kohärenz

- Maßzahl für den statistischen Zusammenhang (Korrelation) von zwei Signalen
- Wert „0“ → keine Korrelation
- Wert „1“ → vollständige Korrelation



- ab 10 Hz Absinken der Korrelation durch Spiel  
→ schlechtere Regelbarkeit

# Brücken zwischen den Welten –

## Verbindungen von Geräteschnittstellen und Signalverarbeitung für Schwingversuche

Alles Leben ist  
Problemlösen.  
[Karl Popper]

„Keep it  
simple and  
stupid.“

In der  
Kopplung von  
Messtechnik  
gibt nicht die  
eine, einfache  
Lösung.

Signalanalyse  
am Prüfstand  
führt zu  
besseren  
Versuchen.

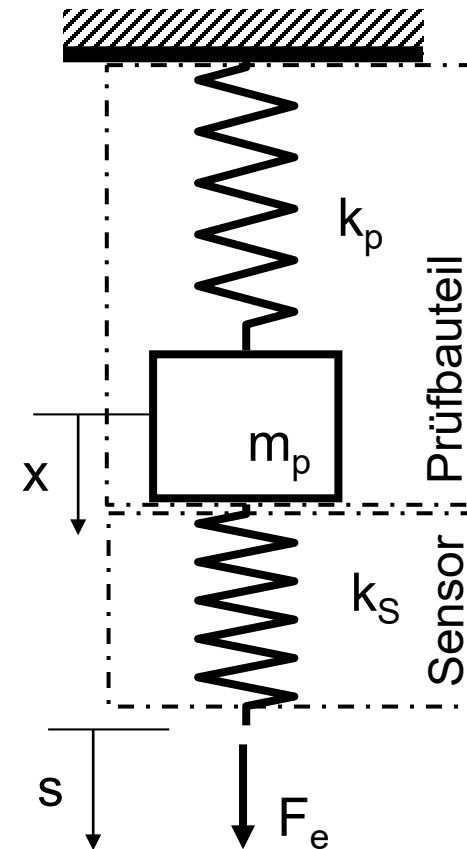
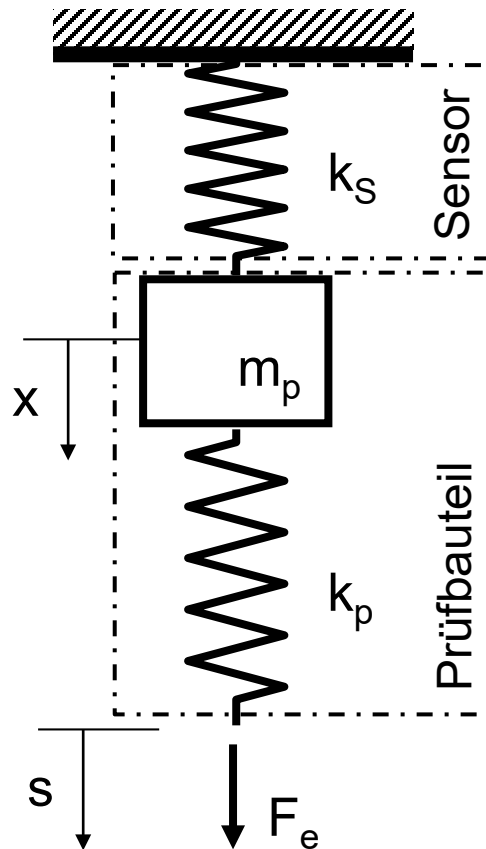
27.06.2022

Thomas Kuttner

# Optimierung von Versuchsaufbauten durch Signalverarbeitung

## Dynamische Optimierung von Prüfständen

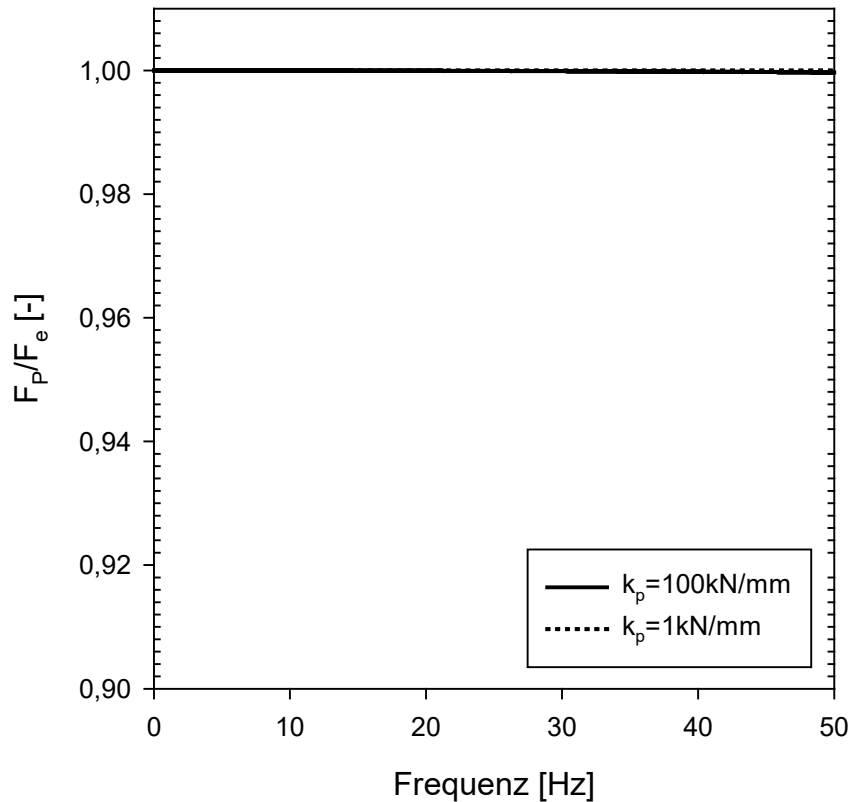
- Betriebsfestigkeitsprüfstände: Anregung von Eigenfrequenzen im Prüfaufbau soll vermieden werden
- Beispiel: Positionierung Kraftaufnehmer ( $k_S = 500 \text{ kN/mm}$ )



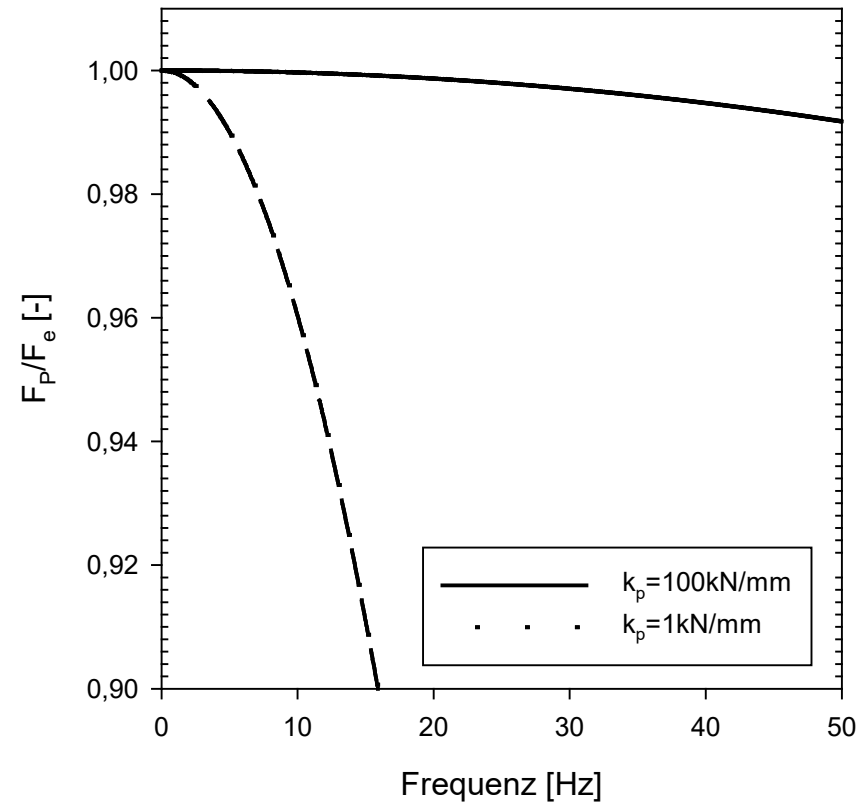
# Optimierung von Versuchsaufbauten durch Signalverarbeitung

- Kraftaufnehmer am Lastrahmen: hohe Messgenauigkeit, unabhängig von der Probensteifigkeit
- Kraftaufnehmer am Zylinder: hohe Messgenauigkeit nur bei steifen Proben, großer Messfehler bei weichen Proben

Kraftaufnehmer am Lastrahmen



Kraftaufnehmer am Zylinder



- Kraftaufnehmer nach Möglichkeit am Lastrahmen o.ä. Festpunkt anbringen
- GGB:

$$F_e = k_p x + m_p \ddot{x}$$

- Möglichkeiten zur Minderung des Messfehlers:
  - kleine Frequenzen (geringe Beschleunigungskräfte)
  - Kompensation der Beschleunigungskräfte durch Messung der Beschleunigungen am Kraftaufnehmer

