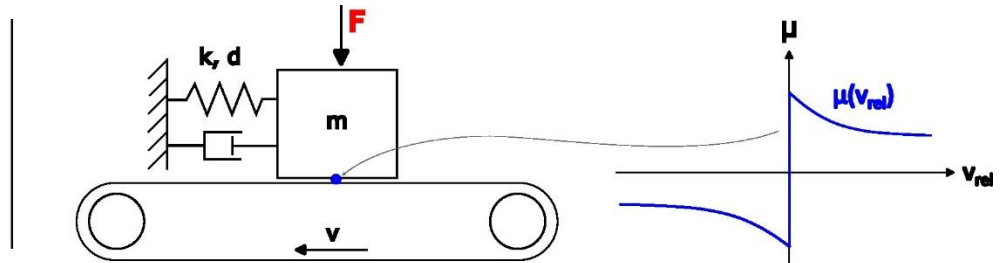


## Bachelorarbeit

# Numerische Simulation von Minimalmodellen für Bremsenknarzen

## Motivation

Beim Bremsenknarzen handelt es sich um ein niederfrequentes Geräuschphänomen, welches bei der Betätigung der Bremse im stillstandsnahen Geschwindigkeitsbereich auftreten kann. Die Anregung kommt dabei durch eine Haft-Gleit-Bewegung zwischen dem Bremsbelag und der Bremsscheibe zustande. In der Folge beginnt das Fahrwerk zu schwingen, was als unangenehmes Geräusch im Fahrzeug zu hören ist. Um die physikalische Wirkkette von Bremsenknarzen besser zu verstehen, können Minimalmodelle herangezogen werden. Anschließend ist ein sehr einfaches Einfreiheitsgrad-Modell gezeigt, welches den Stick-Slip-Effekt in der Bremse beim Knarzen abbilden kann:



$$m\ddot{x} + d\dot{x} + kx = F \cdot \mu(v_{rel})$$

Die Bewegungsgleichung ist im Allgemeinen nichtlinear und weist eine Diskontinuität der rechten Seite auf, welche durch das Reibungsgesetz entsteht. Daher hängt die numerische Lösung stark vom verwendeten Integrations-schema als auch den Integrationsparametern ab.

## Aufgabe

Im Rahmen der Arbeit sollen mehrere Mehrfreiheitsgrad-Modelle für Bremsenknarzen aufgebaut und untersucht werden. Dafür ist zunächst ein robustes Integrationsschema für das obige Minimalmodell zu implementieren. Anschließend soll dieses auf verschiedene Mehrfreiheitsgrad-Modelle aus der Literatur angewendet werden. Die Modelle sollen mit Messdaten aus Fahrversuchen abgeglichen werden. Dabei soll bewertet werden, inwiefern mit den Modellen das Bremsenknarzen abgebildet werden kann. Für ein ausgewähltes Mehrfreiheitsgrad-Modell soll außerdem untersucht werden, welche Parameter einen relevanten Einfluss auf das Knarzen haben. Die Arbeit kann sowohl in Deutsch als auch in Englisch verfasst werden.

## Meilensteine

- Einarbeitung in Bremsenknarzen
- Herleitung einer analytischen Lösung für das Einfreiheitsgrad-Modell
- Implementierung eines robusten Integrationsschemas für die numerische Lösung (Matlab / Simulink)
- Aufbau verschiedener Mehrfreiheitsgrad-Modelle aus der Literatur
- Abgleich der Modelle mit Fahrzeugmessungen (von BMW)
- Parameterstudie für ein ausgewähltes Mehrfreiheitsgrad-Modell
- Dokumentation und Visualisierung der Ergebnisse

## Literatur

- [1] S. Hegde (2015): Study of Friction Induced Stick-Slip Phenomenon in a Minimal Disc Brake Model. In *Journal of Mechanical Engineering and Automation*. DOI: 10.5923/c.jmea.201502.20
- [2] D. Meng *et al.* (2019): Sensing and Quantifying a New Mechanism for Vehicle Brake Creep Groan. In *Shock and Vibration*, vol. 2019, Article ID 1843205, DOI: 10.1155/2019/1843205
- [3] S. Huemer-Kals *et al.* (2022): Advancements on bifurcation behavior and operational deflection shapes of disk brake creep groan. In *Journal of Sound and Vibration* Vol. 534. DOI: 10.1016/j.jsv.2022.116978
- [4] R. I. Leine *et al.* (1998): Stick-Slip Vibrations Induced by Alternate Friction Models. In *Nonlinear Dynamics* Vol. 16, pp. 41-54. DOI: 10.1023/A:1008289604683

## Betreuer:

Christoph Dietz | Raum N1155 | christoph.dietz@tum.de | christoph.dietz@bmw.de