TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik

BMX – Funktionalitäten zur Berechnung des Massenausgleichs

Dipl.-Ing. Daniel Denninger

1 Einleitung - Schubkurbel

2 Analyse der Schubkurbel

3 Zielkriterien der Optimierung

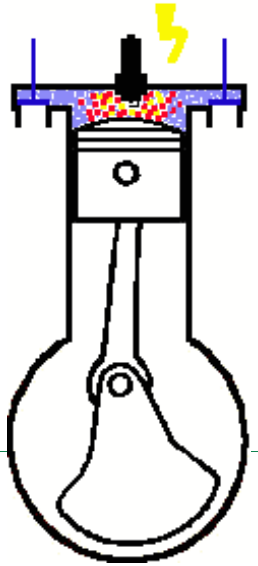
4 BMX - „Durchführbarkeit/Optimierung“

5 Lancaster Ausgleich

6 Ergebnisse

Massenausgleich einer Schubkurbel

- Die Schubkurbel ist eines der bekanntesten und am häufigsten verwendeten **Koppelgetriebe**.
- Sie dient der Umwandlung einer **rotatorischen Bewegung (Kurbel)** in eine **translatorische Bewegung (Schieber)** bzw. umgekehrt.
- Bekanntestes Beispiel eines Schubkurbelgetriebes ist der **Kolbenmotor.**
- Durch die **ungleichförmige Bewegungsübertragung** werden oszillierende Massenkräfte erzeugt, die zu **Gestellschwingungen** führen können.



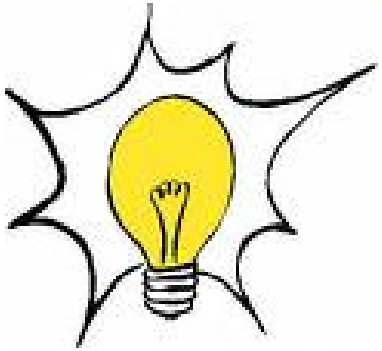
Problemstellung

FRAGE:

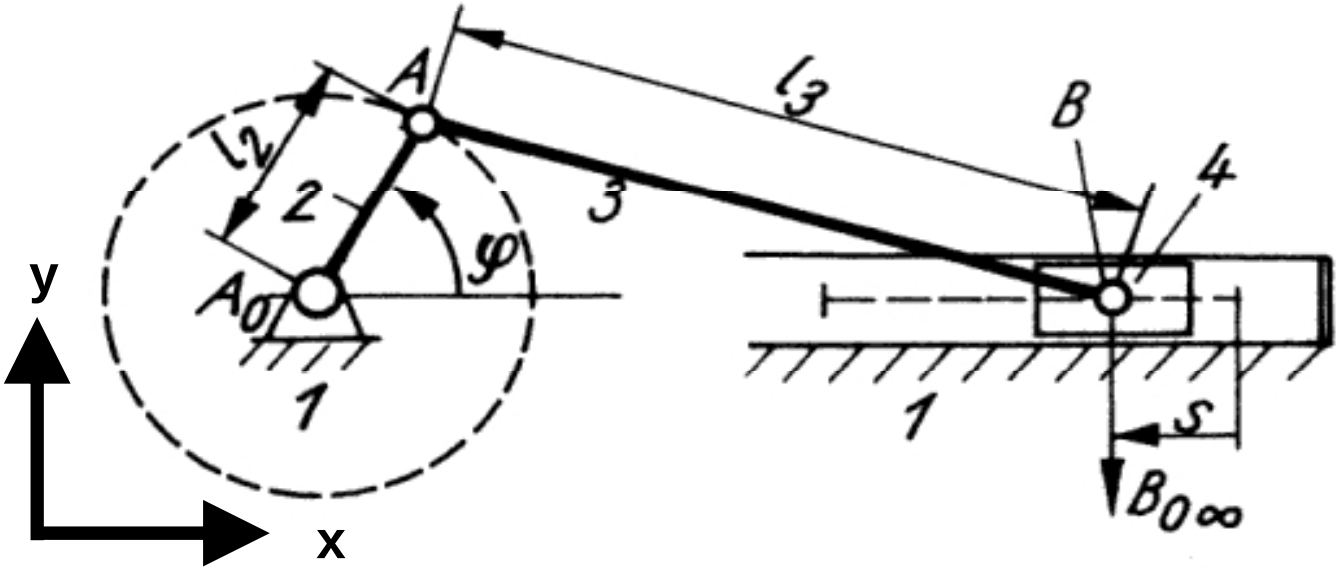
Wie finde ich die optimale Abmessung eines Massenausgleichssegmentes für verschiedene Ausgleichsvorgaben?

LÖSUNG:

Optimierung der Massenparameter eines Motion-Skeletts mit Hilfe Behavioral Modeling Extension!

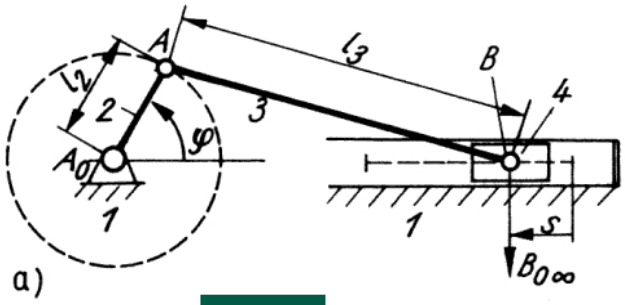


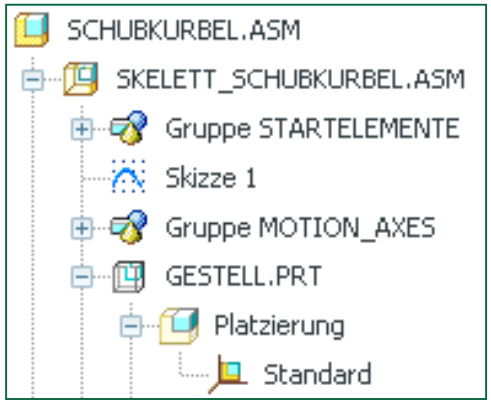
Skizze einer ebenen, zentrischen Schubkurbel



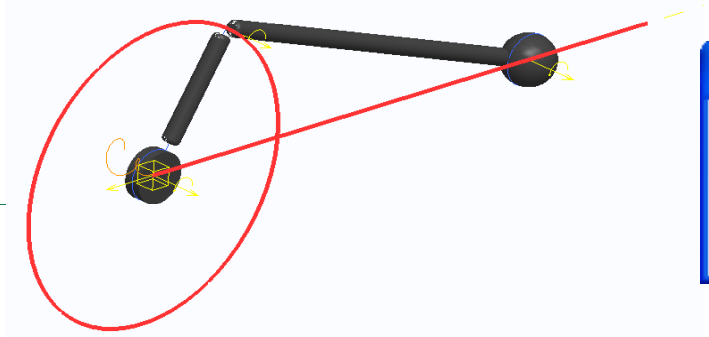
Getriebeglieder		Massenparameter	
Schieber	4	Schieber	m4; Js4
Koppel	3	Koppel	m3; Js3
Kurbel	2	Kurbel	m2; Js2
Gestell (Kurbellager)	1	Gestell (Kurbellager)	m1;
Gestell (Führung)	1	Gestell (Führung)	m1;

Aufbau eines Motion-Skelettes „Schubkurbel“





1. Erzeugen einer neuen Baugruppe
2. Komponentenerzeugung mit den Einstellungen
   Typ: *Skelettmodell* / Untertyp: *Motion*
3. **Motionskelett aktivieren** & Skizze erzeugen
4. Skelett-Körper erzeugen mit den Einstellungen
   Typ: *Skelettmodell* / Untertyp: *Körper*
5. Der erste Körper ist immer gestellfest
6. Weitere Komponenten erzeugen und platzieren
7. Bewegungsfähigkeit testen („*Punkt Ziehen*“)



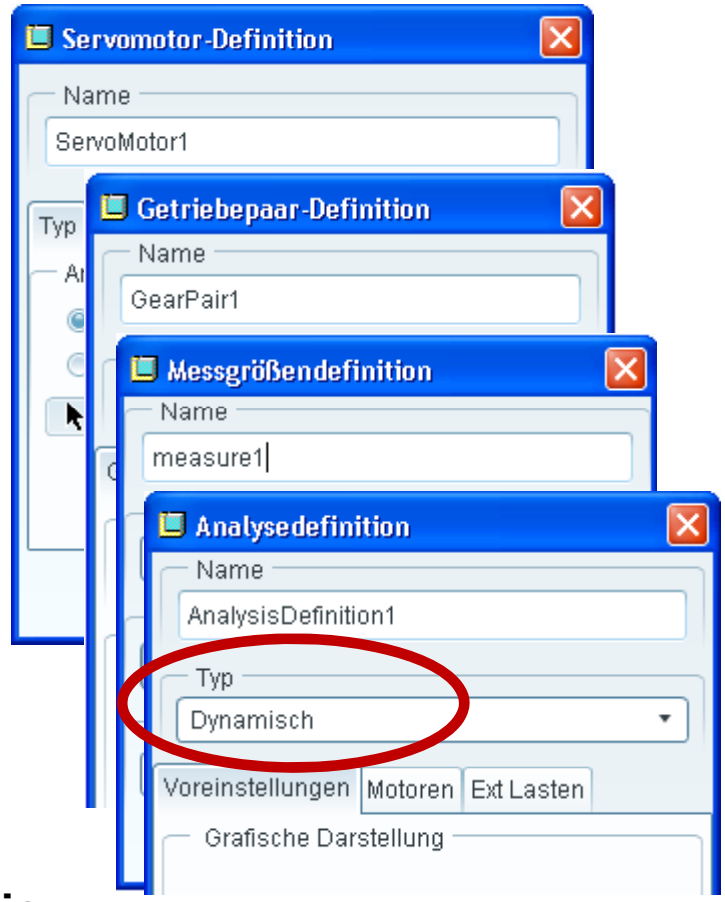
„Dynamische“ Analyse der Schubkurbel

1. In Pro/Mechanismus ist ein entsprechender **Antrieb** (Servomotor) zu definieren.

2. Anschließend können alle funktionsrelevanten **Mechanismus KE´s** (Getriebeverbindungen etc.) definiert werden.

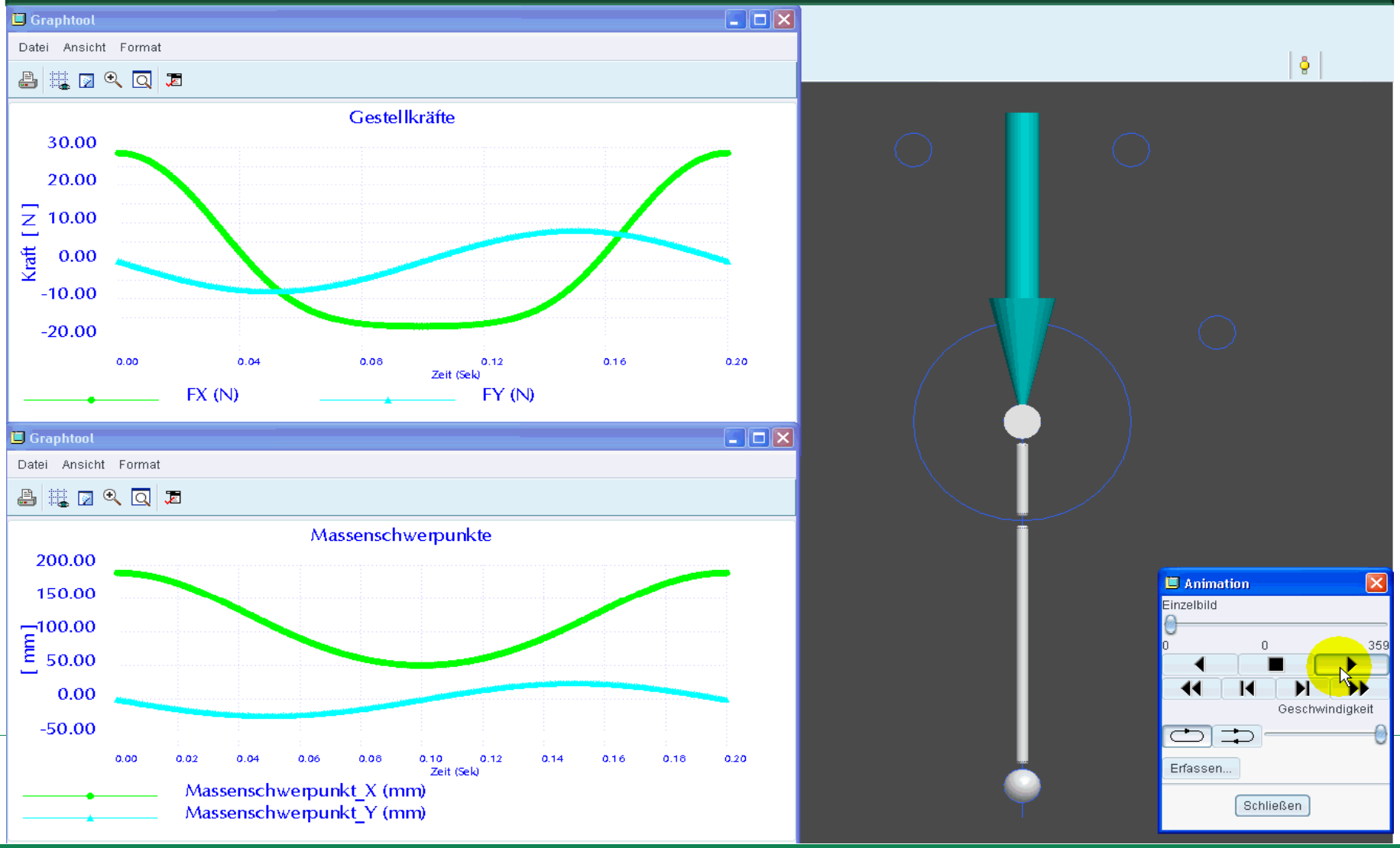
3. Relevante **Messgrößen zum Analysieren** und Optimieren des Getriebes sind zu erzeugen.

4. Um den Massenausgleich mit BMX zu berechnen muss eine **„Dynamische Analyse“** ausgeführt werden.

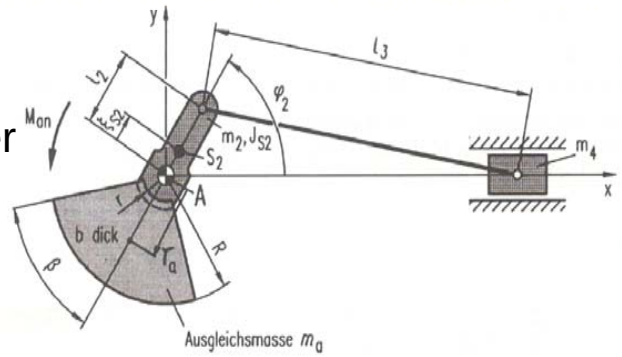


5. Die Analyse des bestehenden Getriebes ist die Voraussetzung für die Definition der Optimierungskriterien.

„Dynamische“ Analyse der Schubkurbel



Grundlagen zum „Ausgleich eines Verdichters“



- Für den idealisierten Fall einer ebenen Schubkurbel sind entsprechende Berechnungsbeispiele zur Ermittlung eines Massenausgleiches vorhanden. (Beispiel: Harmonischer Ausgleich eines Verdichters; Dresig / Rockhausen)
- Im Vordergrund steht die **Reduktion von Gestell-schwingungen** die aus der ungleichförmigen Bewegungs-übertragung und daraus **resultierenden Massenkräften** zu erwarten sind (bei konstanter Antriebswinkelgeschwindigkeit).
- Mit einer Ausgleichsmasse (Segment) an der Kurbel wird versucht, das Erregerspektrum zu verändern, um nicht in die Regionen der **Eigenfrequenz des Gestells** zu gelangen.
- Somit kann beispielsweise die 1. Harmonische der resultierenden Gestellkraftkomponente Fx verringert werden.
- Mit Hilfe dieses Berechnungsbeispieles können die Ergebnisse der BMX-Optimierung analytisch gegen gerechnet werden.

[Lit.: Dresig/Rockhausen: Aufgabensammlung Maschinendynamik. Leipzig; 1994
Dresig/Naake: Vollständiger und harmonischer Ausgleich ebener Mechanismen. VDI; 1994]

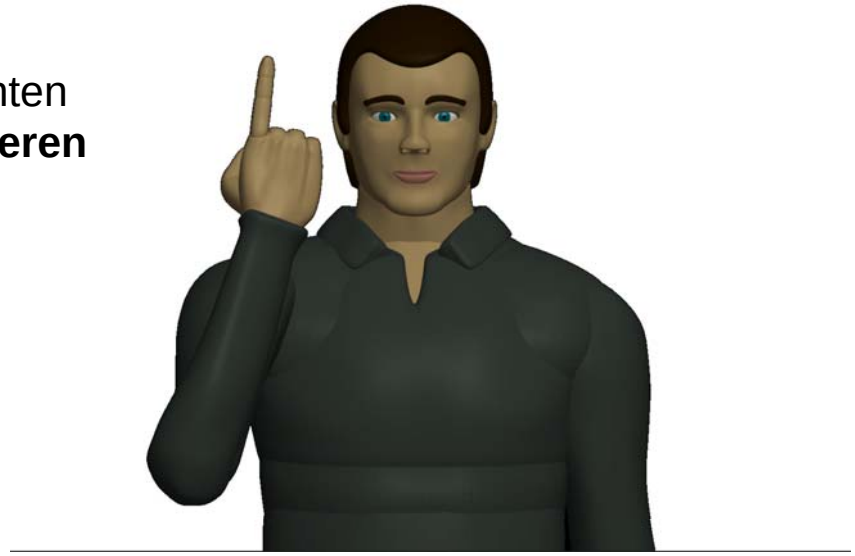
Optimierung: Schwerpunkt, Kräfte, Momente…

Achtung:

1. Ziel ist die Reduktion von Gestellkraftkomponenten
   -> Messgrößen bezüglich dem Gestell definieren

2. Die Bedienung der BMX-Optimierung erscheint relativ simpel, aber:

   - **Was will ich optimieren?**
   - **Bezüglich welcher Parameter?**
   - **Welche Effekte kann ich erzielen?**
   - **Entsprechen meine Simulationsergebnisse der Realität?**



Das Optimierungstool kann ein grundlegendes Verständnis der Problematik nicht ersetzen. Bemühen Sie einschlägige Literatur um Fehler bei der Definition von Zielkriterien zu vermeiden.

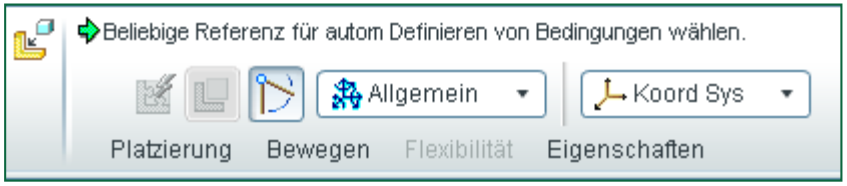
Ausführen einer Bewegungsanalyse

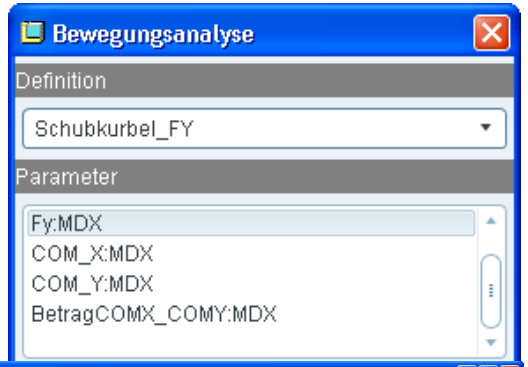
Beispiel: **Gestellkraftkomponente Fy**
(senkrecht zur Schubrichtung)

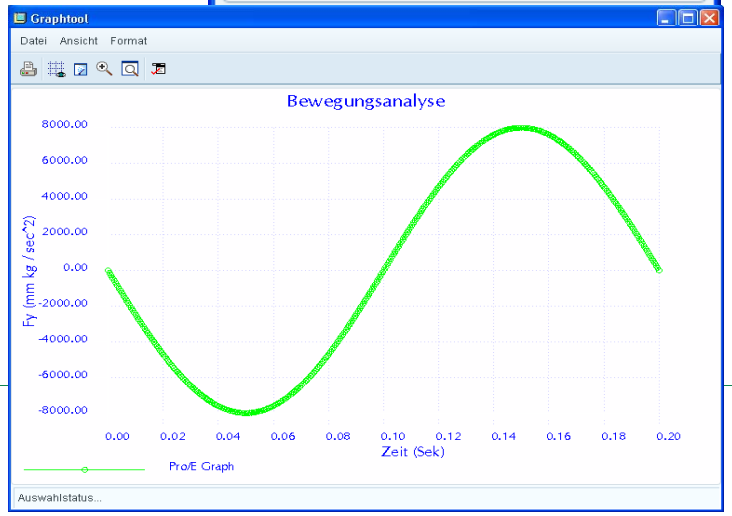
1. Erzeugung einer Messgröße für die Gestellkraftkomponente Fy
   Tipp: Motion-Skelett gestellfest einbauen

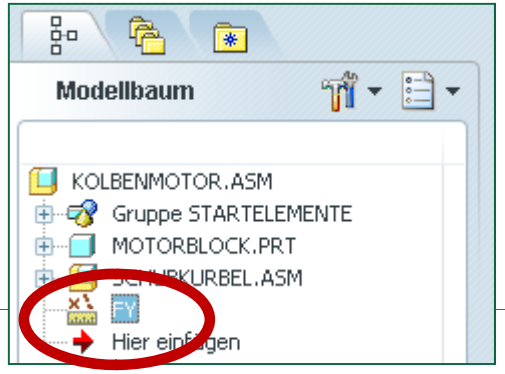
2. Ausführen einer **Bewegungsanalyse** und **KE hinzufügen**

3. **Speichern** der Parameter

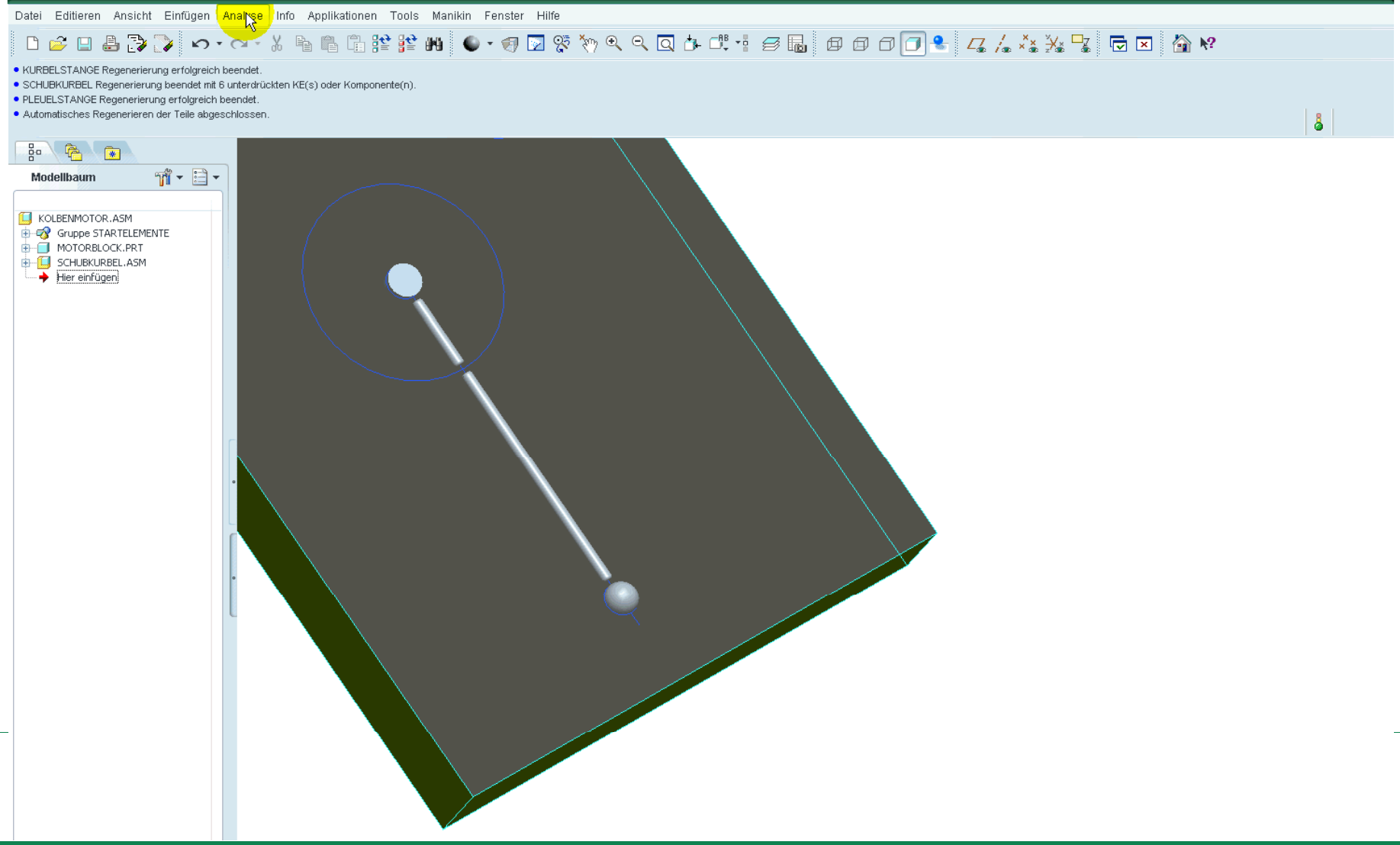






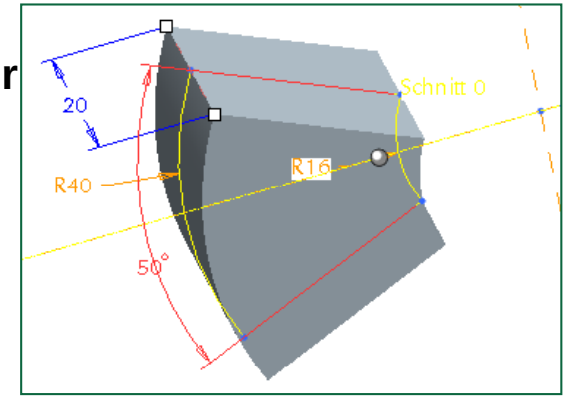


Bewegungsanalyse der Gestellkraftkomponente Fy



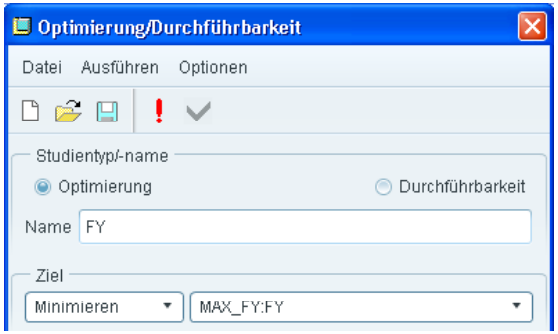
Vorgehensweise „Durchführbarkeit/Optimierung“

1. Erzeugen und Einfügen eines Segmentrohlings (Kurbel).
   Ziel: Optimierung **Geometrie -> Volumen ->Massenparameter**

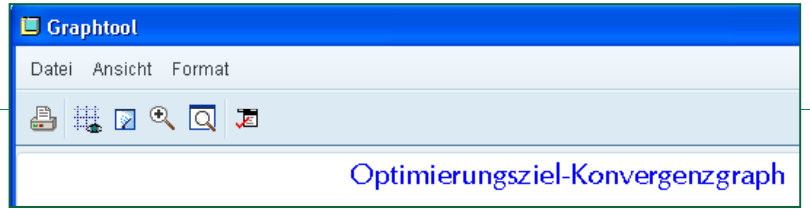


2. Starten einer Optimierungsstudie:

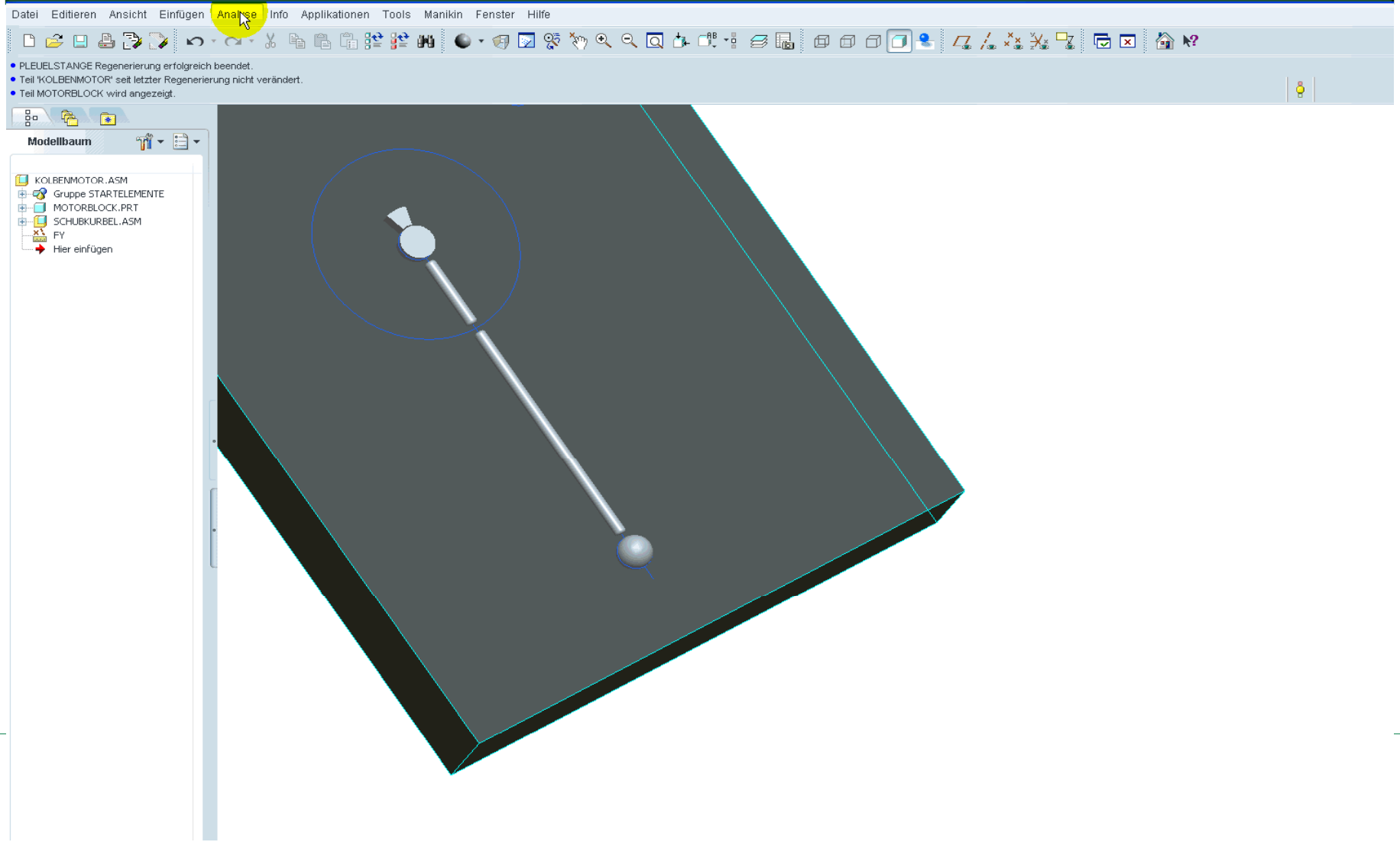
   - Ziel: **Minimierung der Maxima**
     der Gestellkraftkomponente Fy
   - Bedingungen: **Keine**
   - Variablen: **Segmentgeometrien**



3. Ergebnis: **Konvergenzgraph** zeigt Optimierung der Gestellkraftkomponente

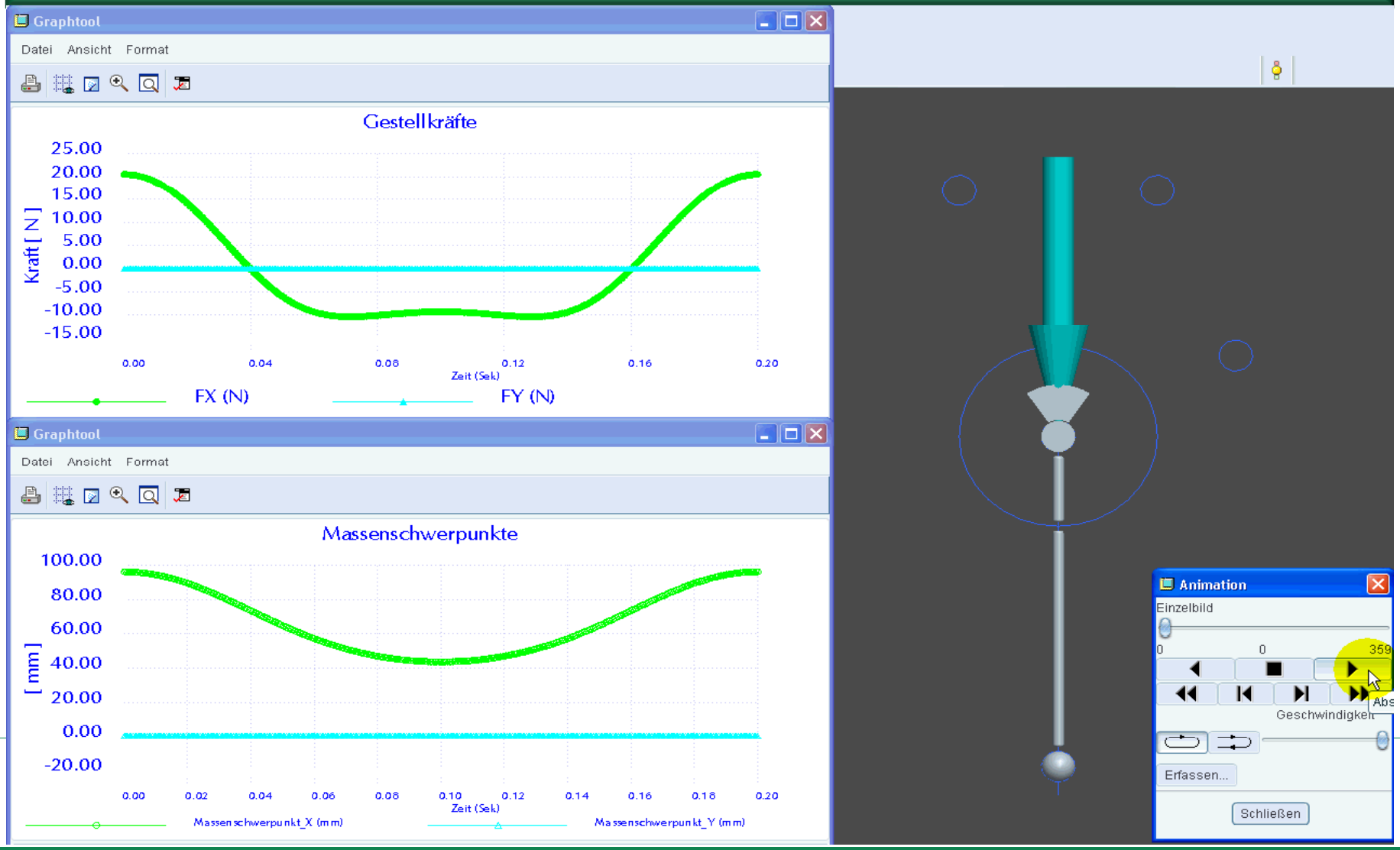


Optimierung der Gestellkraftkomponente Fy



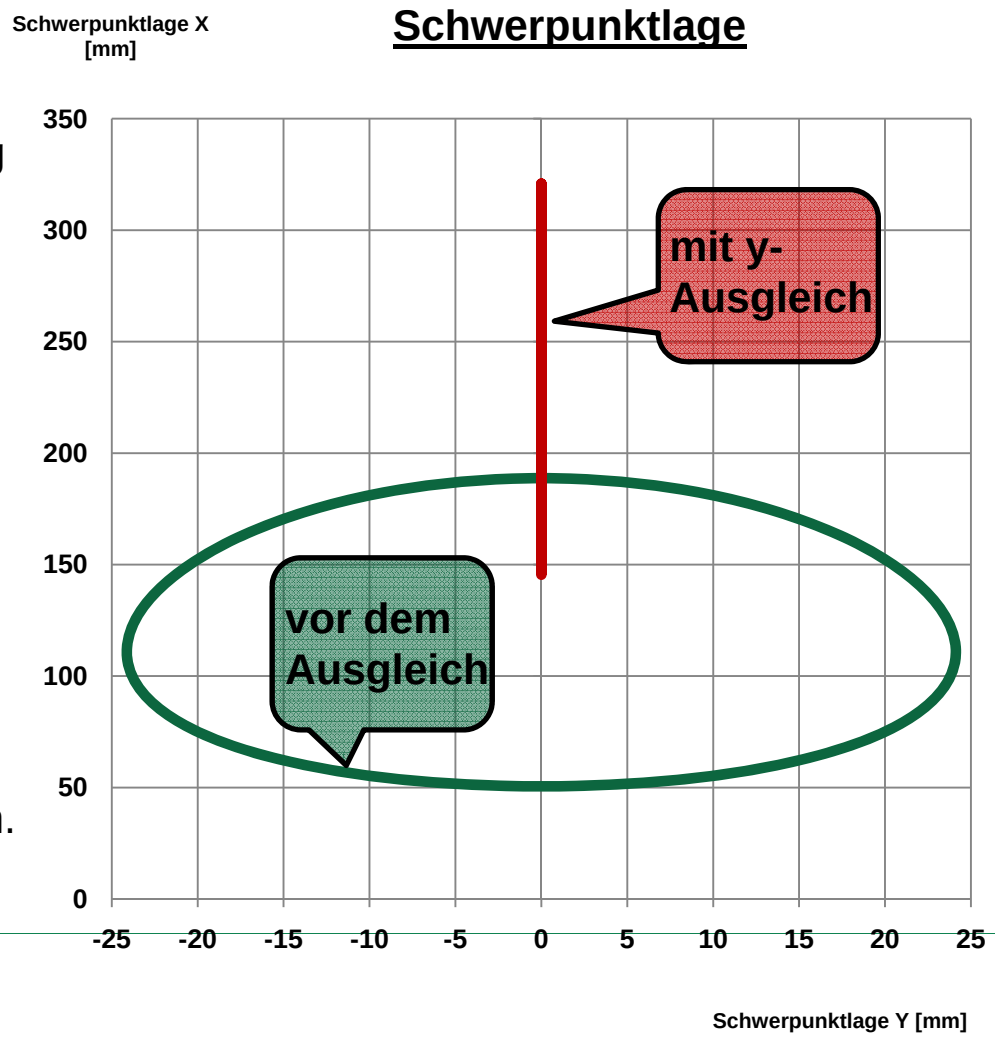
BMX - „Durchführbarkeit/Optimierung“

„Dynamische“ Analyse der Schubkurbel mit Fy - Ausgleich

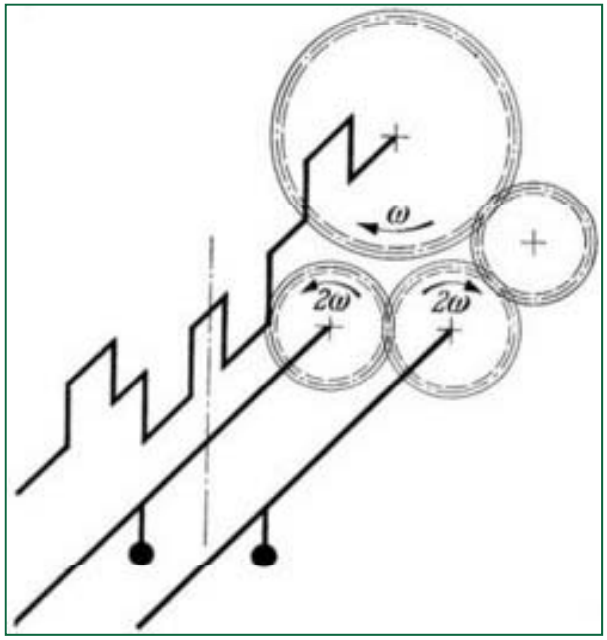


Schwerpunktlage des Schubkurbelgetriebes

- Im Diagramm ist die Lage des Massenschwerpunktes während einer **vollständigen Kurbelumdrehung** dargestellt.
- **Vor** dem Anbringen des Ausgleiches ist eine deutliche Ausdehnung in x- und y-Richtung erkennbar (**grün**).
- Durch den **Ausgleich der Gestellkraft-komponente Fy** oszilliert der resultierende Massenschwerpunkt der Schubkurbel in x-Richtung (**rot**).
- Zum weiterführenden Ausgleich muss das System um eine **gegensinnig oszillierende Trägheit** erweitert werden.



Weiterführende Ausgleichsmöglichkeiten

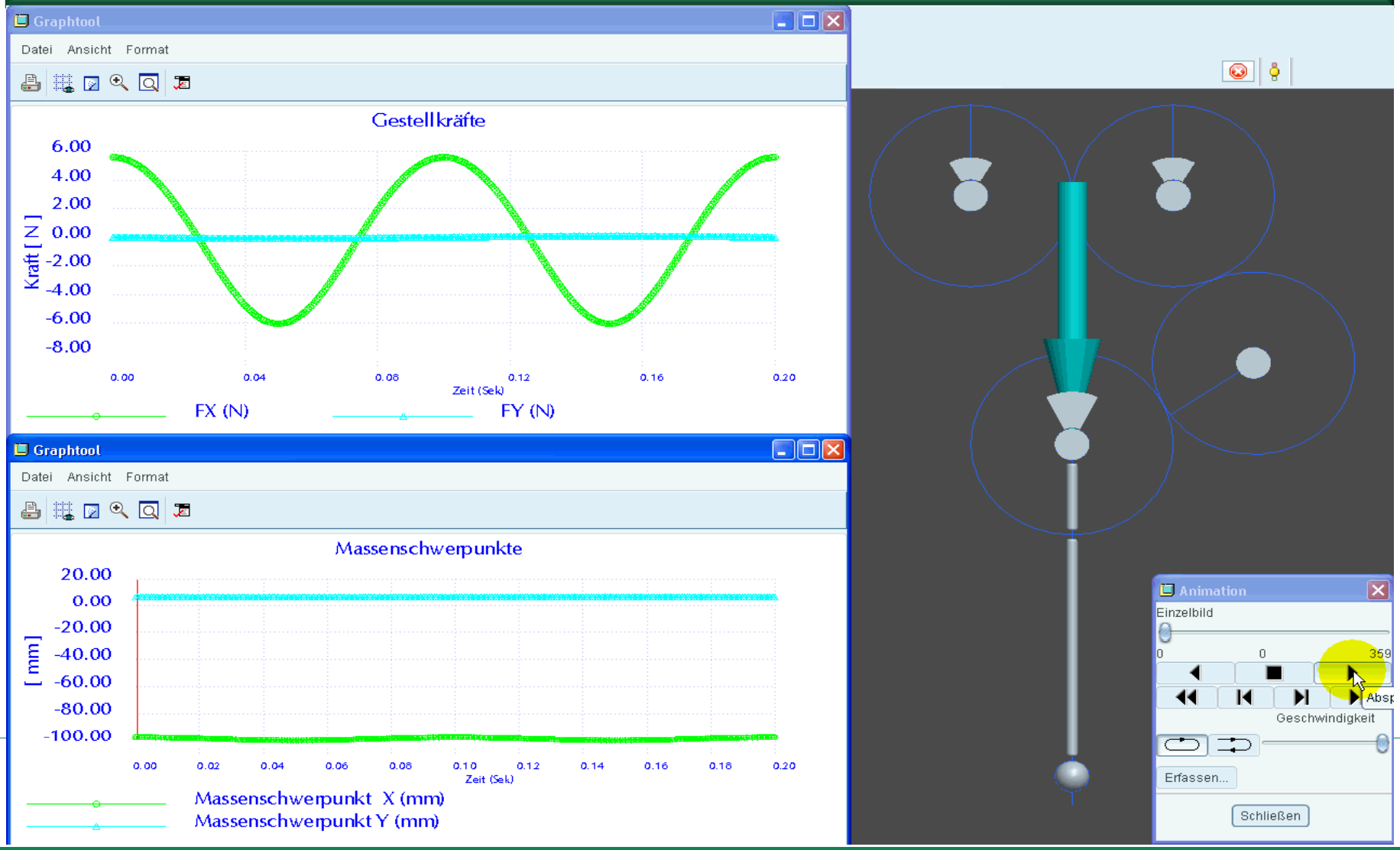


- An einer Welle kann nur eine rotierende Kraft und/oder ein rotierendes Moment erzeugt werden.
- Mit zwei Ausgleichswellen, die gegenläufigen Drehsinn aufweisen (s. Bild), kann eine oszillierende Kraft und/oder ein oszillierendes Moment erzeugt werden.
- Eine Übersetzungsstufe stellt dabei die Motorordnung ein (bei 4-Zylindermotoren wird meist die doppelte Drehzahl mit gegenläufigem Drehsinn gewählt um die Massenkräfte 2. Ordnung zu reduzieren).
- Der gemeinsame Schwerpunkt der Ausgleichsmassen muss sich in der Motormittelebene befinden (s. Bild).
- Wenn die Ausgleichswellen auf gleicher Höhe liegen, erzeugen sie eine oszillierende Kraft der 2. Ordnung. Höhenversetzte Ausgleichswellen können ein zusätzliches Wechselmoment der 2. Ordnung um die Motorlängsachse erzeugen.

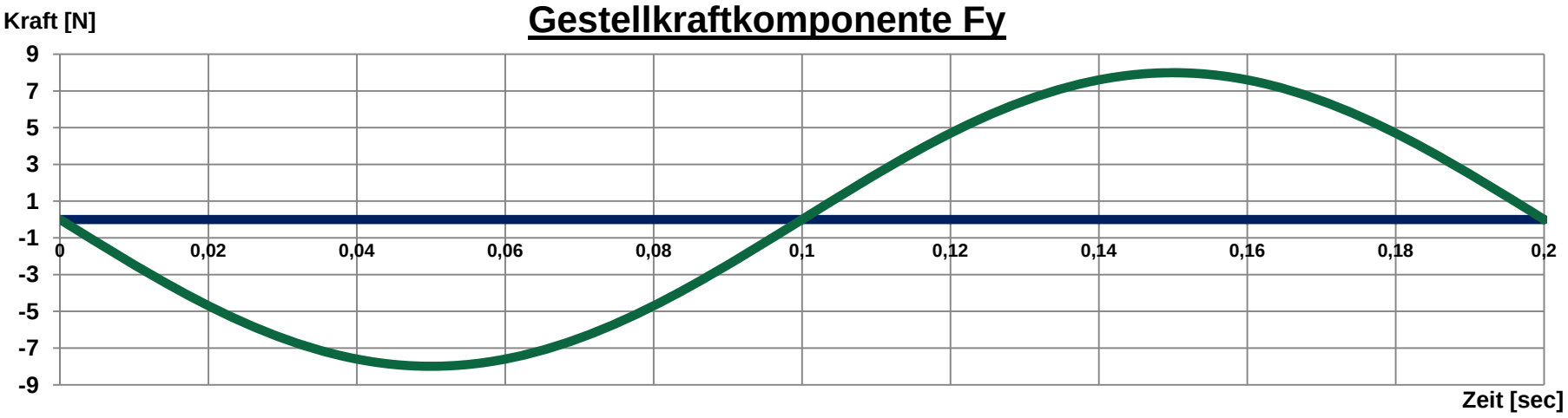
[Lit.: Mass/Klier: Kräfte, Momente und deren Ausgleich in der Verbrennungskraftmaschine. (Die Verbrennungskraftmaschine Band 2) Wien; 1981]

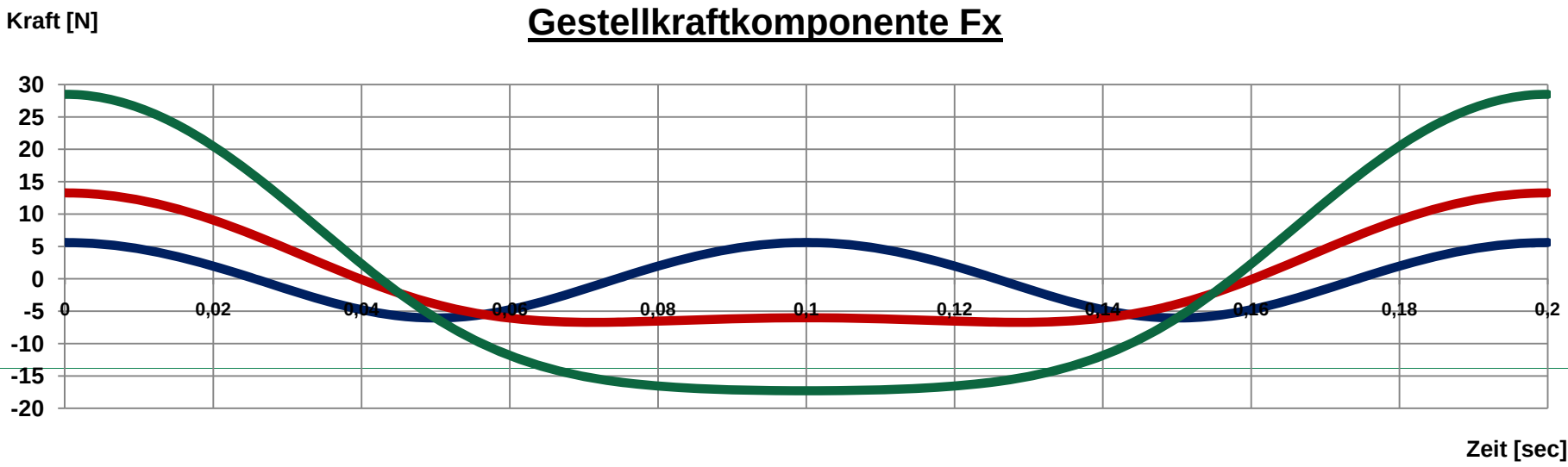
Lancaster Ausgleich

„Dynamische“ Analyse der Schubkurbel mit Lancaster-Ausgleich

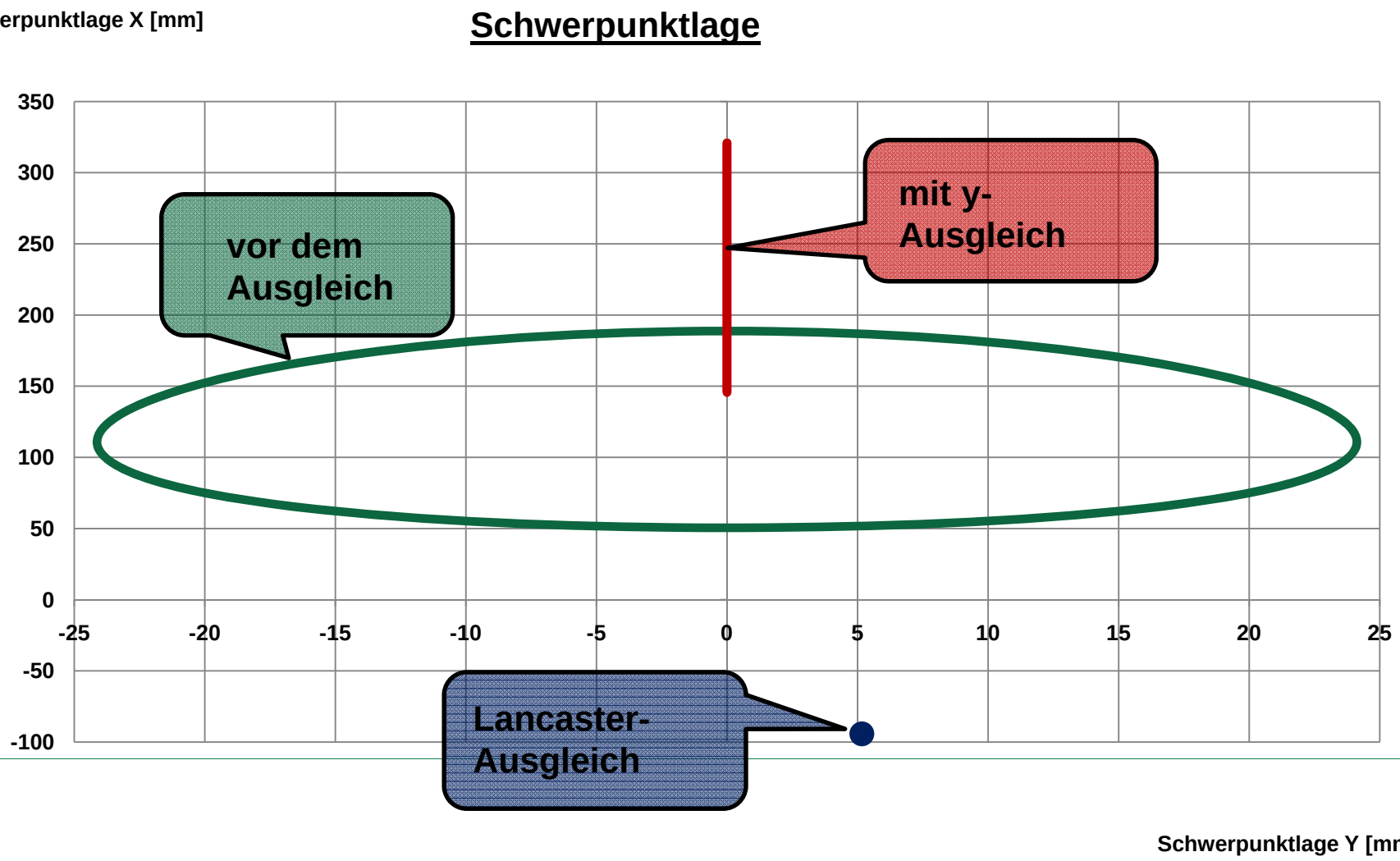


Schwerpunktlage und Kräfte





Schwerpunktlage und Kräfte



Fragen?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dipl. Ing.
Daniel Denninger

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik
Email: daniel.denninger@mb.tu-chemnitz.de
URL: http://www.tu-chemnitz.de/mb/MHT
Tel.: +49 (0) 371 531 38476