

Name, Vorname: .....

Sem.-Gr./Matr.: .....

Matr.-Nr.: .....

Wiederholungsprüfung ?  2.W?

## Simulations- und Entwicklungswerkzeuge in der Fahrzeugtechnik

(SS 2021)

### Belegaufgabe „Schwungmassenprüfstand“

#### Titel:

Numerische Simulation eines Schwungmassenbremsenprüfstands.

#### Aufgabe:

Zur Untersuchung, Prüfung und Abnahme von Reibbremsen sind Schwungmassenprüfstände weit verbreitete Prüftechnologien. Dabei bildet die rotatorische Schwungmasse  $J$  die translatorische Masse des Fahrzeuges ab. Über die E-Maschine kann gezielt eine Drehzahl angefahren werden. Zusätzlich zur mechanischen Schwungmasse, kann mit der E-Maschine eine sogenannte „Schwungmassensimulation“ durchgeführt werden. Hierfür soll ein trivialer PI-Regler eingesetzt werden. Beim Anlegen eines Bremsdruckes  $p$  entsteht eine sprungförmige Last. Der PI-Regler muss ohne nennenswerte Einbrüche die geforderte Drehzahl regeln können.

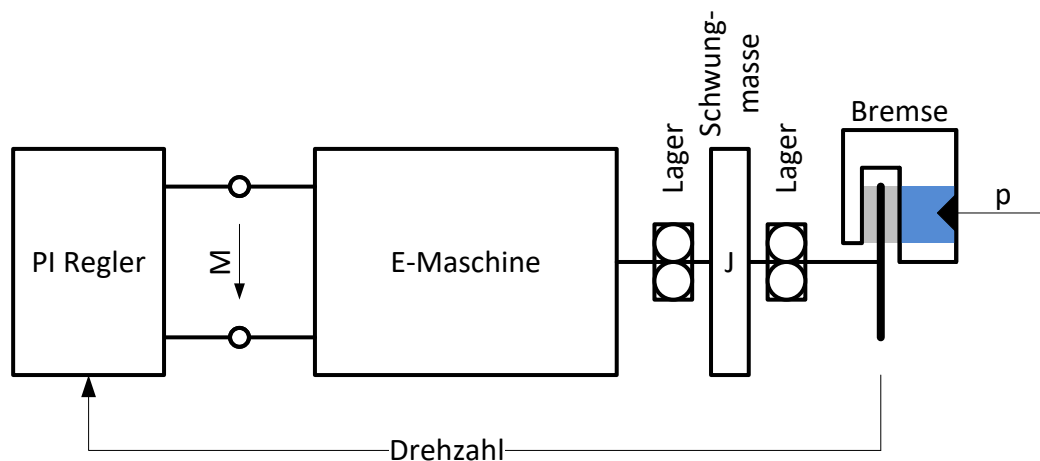


Abbildung 1: Technisches Prinzip Schwungmassenprüfstand

#### Annahmen, Randbedingungen und Hinweise:

- Der Schwungmassenprüfstand wird von einer konventionellen Synchronmaschine angetrieben. Typischerweise besitzt sie die Charakteristik aus Abbildung 2, die in der Simulation berücksichtigt werden soll.

- Die Reibung in den Lagern soll berücksichtigt werden. Dabei fasst der Koeffizient  $\mu_L$  beide Reibstellen zusammen.
- Der Reibkoeffizient  $\mu_B$  der Reibbremse soll als konstant angenommen werden.

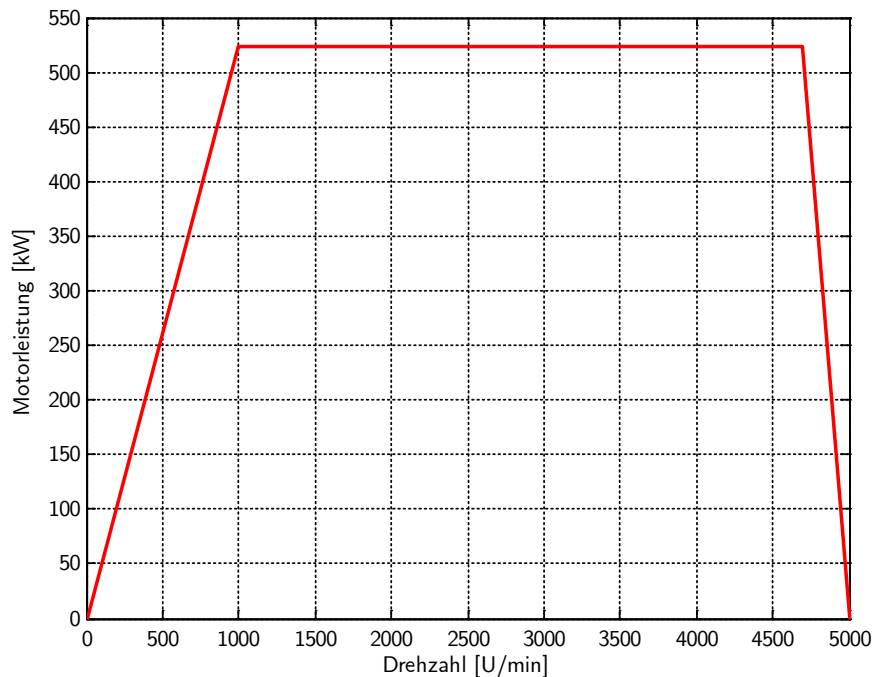


Abbildung 2: Motorleistung der E-Maschine

### Folgende Teilaufgaben sind zu bearbeiten:

1. Stellen Sie für dieses Modell das DGL-System in symbolischer Schreibweise auf. Berücksichtigen Sie dabei die Rotationsrichtung.
2. Entwickeln Sie für dieses DGL-System die numerische Berechnungsvorschrift auf der Grundlage des Runge-Kutta-Verfahrens 4. Ordnung.
3. Implementieren Sie diese Vorschrift mit Hilfe von MATLAB, mit folgender Funktionalität:
  - Parametereingabe in einem Graphical User Interface (GUI). Die Parameter sollen dabei mit den Einheiten aus Tabelle 1 eingegeben werden. Zusätzlich sollen die Werte aus Tabelle 1 als Default-Parameter zur Verfügung stehen.
  - Start der Berechnung durch Klicken des Buttons „Berechnung starten“
  - Grafische Darstellung des Drehmoments  $M$  [Nm] und die Soll-/Ist-Drehzahlen [U/min] als Funktion der Zeit durch Klicken des Buttons „Darstellung“.
4. Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf von Drehmoment, Soll-/Ist-Drehzahl für die Parameter aus **Tabelle 1** und stellen Sie diese grafisch dar.

Tabelle 1: Initiale Parameter zur Parametereingabe per GUI

| Parameter               | Symbole   | Werte              |      | Einheit  |
|-------------------------|-----------|--------------------|------|----------|
| Partialanteil           | $P$       | 500.0              |      | Nm s/rad |
| Integralanteil          | $I$       | 10.0               |      | Nm/rad   |
| Fahrzeugmasse (gesamt)  | $m$       | 2229.0             |      | kg       |
| Reifenspezifikation     | -         | 205/55 R 16 91 V   |      | -        |
| Bremskraftverteilung    | $\beta$   | 0.5                |      | -        |
| Reibkoeffizient Lager   | $\mu_L$   | 0.1                |      | Nm s/rad |
| Reibkoeffizient Bremse  | $\mu_B$   | 0.45               |      | -        |
| Anzahl der Bremsbeläge  | $Z_B$     | 2                  |      | -        |
| Anzahl der Bremskolben  | $Z_K$     | 2                  |      | -        |
| Bremskolben-Durchmesser | $d_K$     | $14 \cdot 10^{-3}$ |      | mm       |
| Effektive Reibradius    | $r_{eff}$ | 320                |      | mm       |
| Nominaldrehzahl         |           | 1000               |      | rpm      |
| Kritische Drehzahl      |           | 4700               |      | rpm      |
| Max. Drehzahl           |           | 5000               |      | rpm      |
| Nominalleistung         |           | 523.6              |      | kW       |
| Referenzdruck           | $p$       | 0.0 s              | 0    | bar      |
|                         |           | 10.0 s             | 0    |          |
|                         |           | 11.0 s             | 30   |          |
|                         |           | 25.0 s             | 30   |          |
|                         |           | 26.0 s             | 0    |          |
|                         |           | 30.0 s             | 0    |          |
| Referenz-Drehzahl       | $n_{ref}$ | 0.0 s              | 0    | rpm      |
|                         |           | 5.0 s              | 0    |          |
|                         |           | 6.0 s              | 1500 |          |
|                         |           | 30.0               | 1500 |          |
| Simulationszeit         | $t_{end}$ | 30.0               |      | s        |
| Schrittweite            | $T_s$     | 0.010              |      | s        |

5. Beantworten Sie folgende Fragen:

- a) Diskutieren sie kritisch die Annahme eines konstanten Reibbeiwertes  $\mu_B$  für die Reibbremse vor dem Hintergrund unterschiedlicher Betriebsparametern wie Relativgeschwindigkeit, Flächenpressung und Temperatur.

- b) Leiten Sie das Ersatzträgheitsmoment  $J_F$  des Gesamtfahrzeugs aus der Gegenüberstellung der translatorischen kinetischen Energie und der kinetischen Rotationsenergie. Nehmen Sie hierbei an, dass der Antriebsstrang ausgekuppelt ist und jegliche rotierenden Massen (z.B. Räder) vernachlässigt werden können.
- c) Wie berechnet sich die Ersatzschwingmasse  $J$  als Last auf dem Bremsenprüfstand?
- d) Welche Eigenschaften haben der P-, I- und D-Anteil bei einem idealen PID-Regler (Übertragungsverhalten, Übertragungsfunktion und Sprungantwort)? Was ist üblicherweise das Problem von D-Reglern?
- e) Was bedeutet die Formulierung „Ein-Schritt“-Verfahren?
- f) Für welche mathematischen Problemstellungen sind die Runge-Kutta-Verfahren numerische Lösungsverfahren?
- g) Numerische Lösungsverfahren wie das Euler'sche Streckenzugverfahren oder das Runge-Kutta-Verfahren liefern nur genäherte Lösungen von Differentialgleichungen. Für welche Fälle werden hier besonders große Fehler gemacht? Welche Möglichkeiten gibt es, diese Fehler zu minimieren?

### Ergebnis zur Orientierung:

Zur Orientierung wird die grafische Lösung einer Berechnung mit anderen Parametern in Abbildung 4 angegeben:

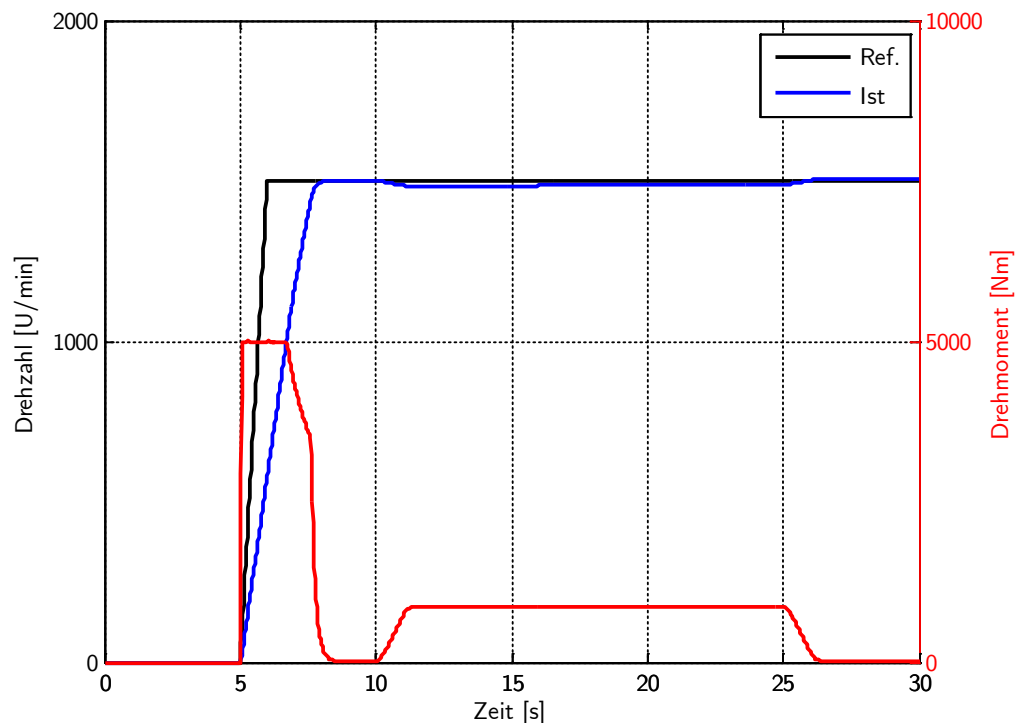


Abbildung 3: Beispiellösung für die Aufgabe „Schwingmassenprüfstand“

### **Organisation:**

- Ansprechpartner: M.Sc. Viktor Schreiber (Büro- und Laborgebäude ThIMo 1, Raum 2110)
- Ausgabetermin: 26.04.2021
- Konsultation: TBD (Webex)
- Abgabe:
- Aufgabe 1, 2, 4, 5: schriftliche Dokumentation
  - Aufgabe 3: MATLAB-Programm als digitaler Teil
  - Ordnerbezeichnung des digitalen Teils:  
**Beleg\_SS2021\_<Nachname>\_<Vorname>\_<Matrikelnummer>**
  - bitte vermerken Sie die zur Programmierung benutzte MATLAB-Version

### **ACHTUNG! Anmerkungen zum Abgabeverfahren aufgrund von COVID-19.**

**Abgabetermin:** am **16.07.2021**, zwischen **9.00 Uhr - 14:00 Uhr** (Änderungen nur in Ausnahmefällen möglich)

Bitte halten Sie das Zeitfenster zur Abgabe strengstens ein. Der Beleg wird im Foyer des ThIMo-Hauptgebäudes, Ehrenbergstraße 15 abgeben. Das Gebäude ist für die Öffentlichkeit geschlossen. Zur Abgabe des Beleges wird Ihnen der Zugang einzeln gewährt.

Ilmenau, 22.04.2021