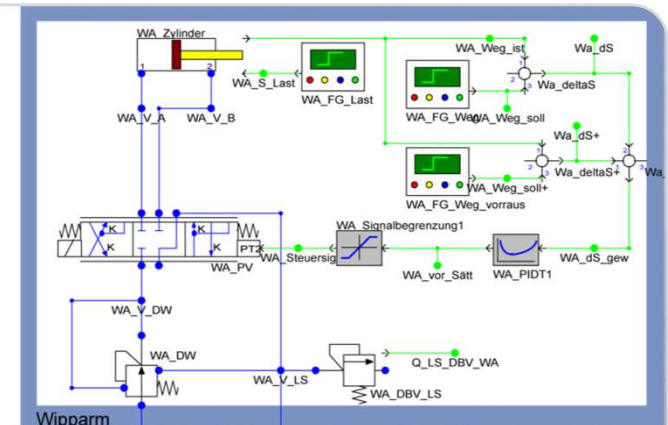
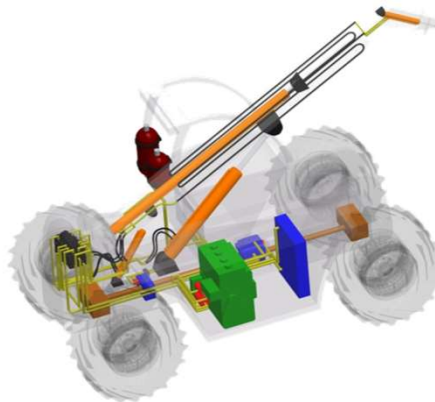
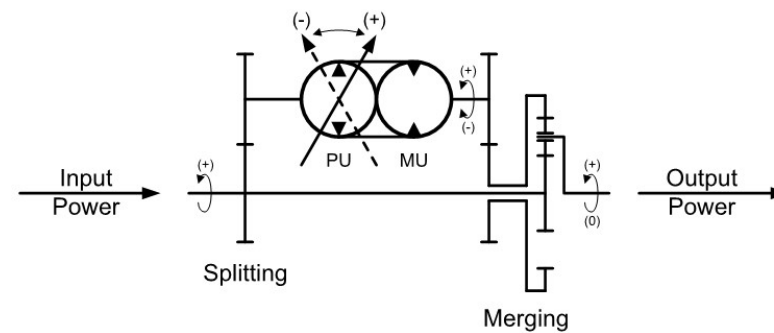


Modellbildung und Simulation

Übung 3: Modelle mit konzentrierten Parametern – Analogien



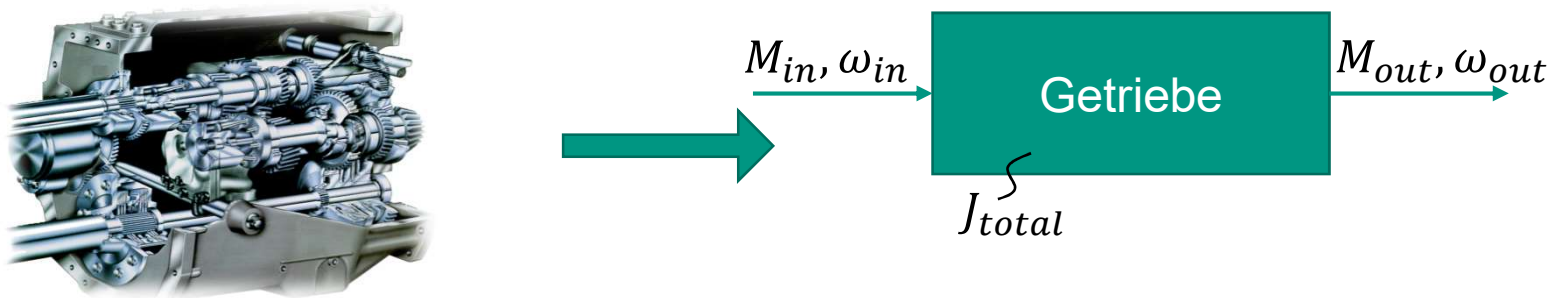
- Wie würden Sie das Getriebe eines Traktors modellieren?



Leistungsverzweigtes Getriebe

➔ Viele verschiedene Möglichkeiten

■ Variante: Modellierung als Blackbox

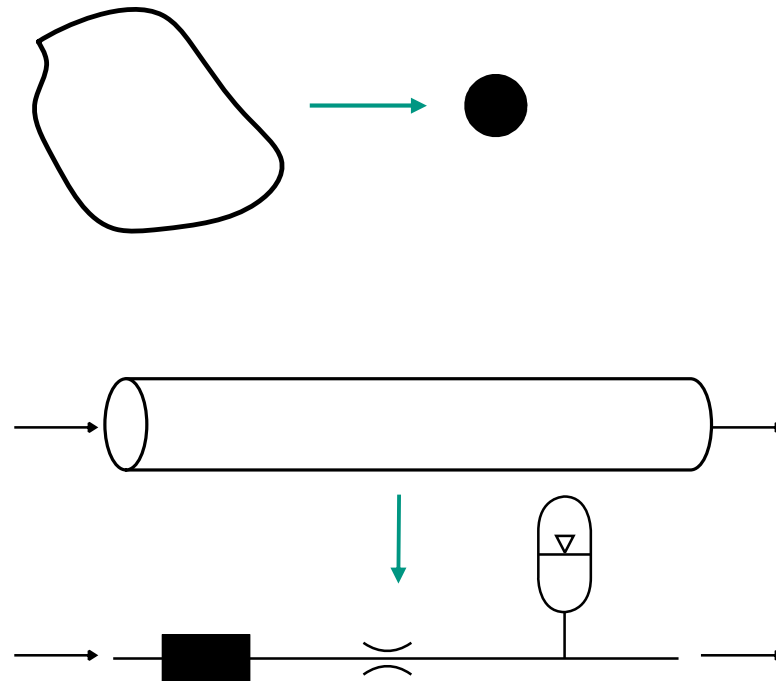


Quelle: Fendt

Zusammenfassen der Trägheit
als ***konzentrierter Parameter***

■ Definition:

- Ortsunabhängig
- Beschreibung durch gewöhnliche DGL
- Endliche Anzahl von Eigenkreisfrequenzen



Lernziele

- Nach der Übung sind Studierende in der Lage:
 - **Prozesselemente** in Kategorien einteilen zu können.
 - **Maschen- Knotengleichungen** aufstellen zu können.
 - Die **Trans-Per- und Potenzial-Strom-Darstellung** unterscheiden zu können.
 - **Mechanische in elektrische** Systeme überführen zu können und umgekehrt.

■ Kontakt:



M.Sc. Alexander Stein
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institutsteil Mobile Arbeitsmaschinen
Rintheimer Querallee 2
76131 Karlsruhe

alexander.stein@kit.edu
+49 721 608 41824

■ Institutsteil des FAST

■ Themen:

- Antriebssysteme
- Automatisierung
- Hydraulik
- Hybridlösungen



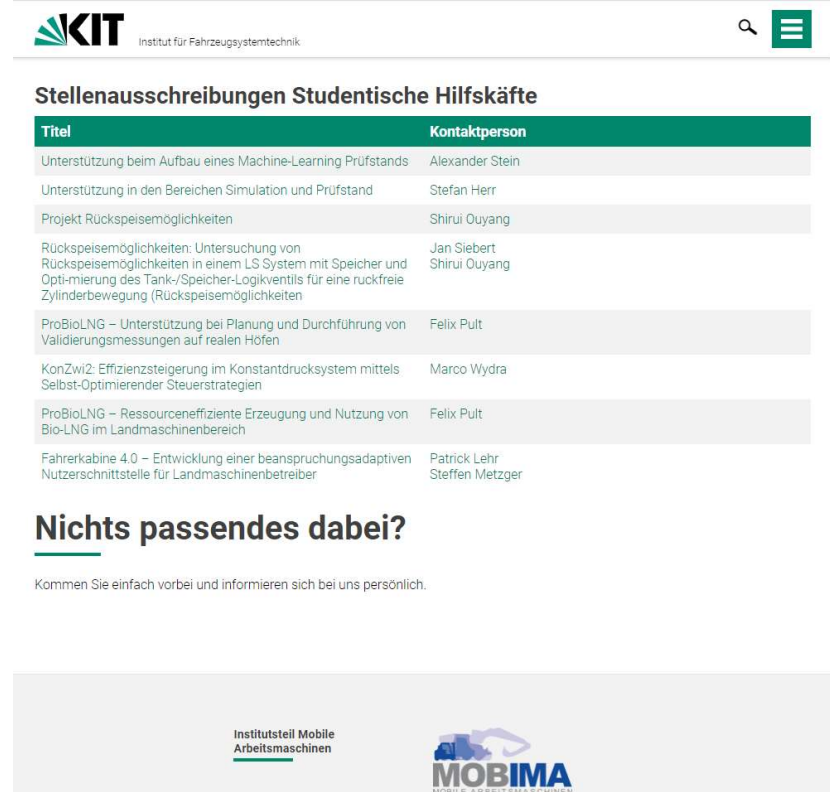
■ Besuchen Sie unsere Website:

<http://www.fast.kit.edu/mobima/index.php>

■ Hiwi-Jobs

■ Abschlussarbeiten

➔ Gerne den direkten Kontakt suchen



KIT Institut für Fahrzeugsystemtechnik


Stellenausschreibungen Studentische Hilfskräfte

Titel	Kontaktperson
Unterstützung beim Aufbau eines Machine-Learning Prüfstands	Alexander Stein
Unterstützung in den Bereichen Simulation und Prüfstand	Stefan Herr
Projekt Rückspeisemöglichkeiten	Shirui Ouyang
Rückspeisemöglichkeiten: Untersuchung von Rückspeisemöglichkeiten in einem LS System mit Speicher und Optimierung des Tank-/Speicher-Logikventils für eine ruckfreie Zylinderbewegung (Rückspeisemöglichkeiten)	Jan Siebert Shirui Ouyang
ProBioLNG – Unterstützung bei Planung und Durchführung von Validierungsmessungen auf realen Höfen	Felix Pult
KonZwi2: Effizienzsteigerung im Konstantdrucksystem mittels Selbst-Optimierender Steuerstrategien	Marco Wydra
ProBioLNG – Ressourceneffiziente Erzeugung und Nutzung von Bio-LNG im Landmaschinenbereich	Felix Pult
Fahrerkabine 4.0 – Entwicklung einer beanspruchungsadaptiven Nutzerschnittstelle für Landmaschinenbetreiber	Patrick Lehr Steffen Metzger

Nichts passendes dabei?

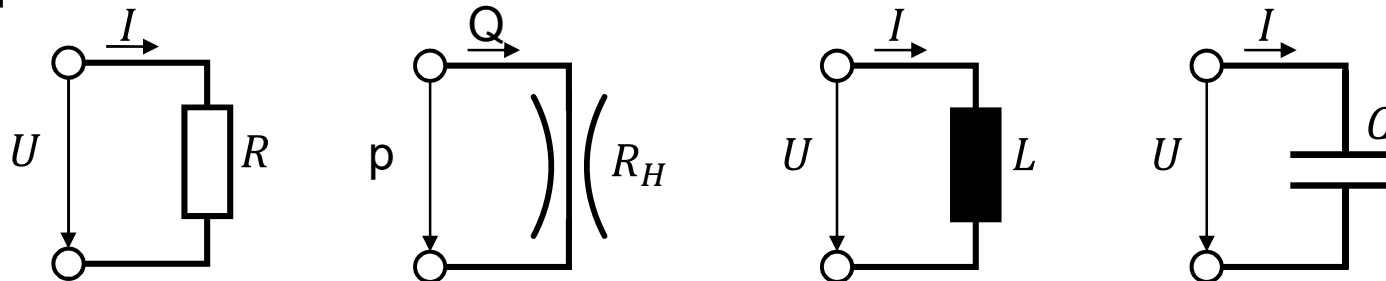
Kommen Sie einfach vorbei und informieren sich bei uns persönlich.

Institutsteil Mobile Arbeitsmaschinen



- **Klassifizierung von Prozesselementen**
- Berechnung von Netzen – Maschen- und Knotengleichungen
 - Aufgabe 1.1
- Analogie- und Darstellungsvarianten
 - Aufgaben 1-3

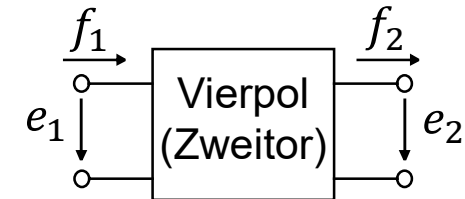
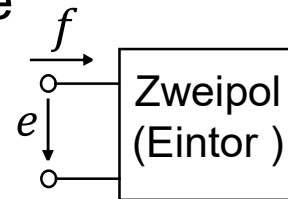
■ Beispiele von Prozesselementen:



Ziel: Gemeinsame Zusammenhänge zwischen Potenzial- und Stromgrößen ermitteln.

■ Beschreibung durch Energieströme

- Stromgrößen f
- Potenzialgrößen e } Leistung P



■ Klassifizierung ähnlicher idealer Prozesselemente

- Quellen
- Speicher
- Wandler
- Übertrager
- Senken



Meist durch einfache lineare Gleichungen beschreibbar

■ Quellen:

- Ideale Stromquellen:

- Ideale Potenzialquellen:

■ Beispiele:

- Mechanik: Eingeprägte Kräfte oder Momente
- Elektrotechnik: Ideale Strom- o. Spannungsquelle
- Hydraulik: Ideale Pumpe o. Druckgeregelte Pumpe

■ Senken:

- Beschreiben Verluste durch Umwandlung in Wärmeenergie
- Bewirken eine Erhöhung der Entropie

■ Beispiele:

- El. Widerstand, hydr. Drosseln, mech. Dämpfer:
- Elemente ohne lineare Zusammenhänge:
 - Hydr. Blenden oder mechanische Reibung

■ Speicher:

■ Potenzialspeicher:

- Potenzial proportional zum angesammelten Strom

■ Beispiele:

- Kondensator
- Feder
- Hydr. Speicher

■ Stromspeicher:

- Der Strom ist proportional zum angesammelten Potenzial

■ Beispiele:

- Induktivität
- Masse

■ Übertrager:

- Ein-und Ausgangsleistung ist identisch:
- Strom- und Potenzialgrößen ändern sich

■ Beispiele:

- Transformatoren
- Hebel
- Getriebe
- Seilzug
- Druckübersetzer



■ Wandler:

- Wandeln die Leistung aus einer Disziplin in eine andere

■ Beispiele:

- Elektromotor
- Verbrennungsmotor
- Hydraulische Pumpe

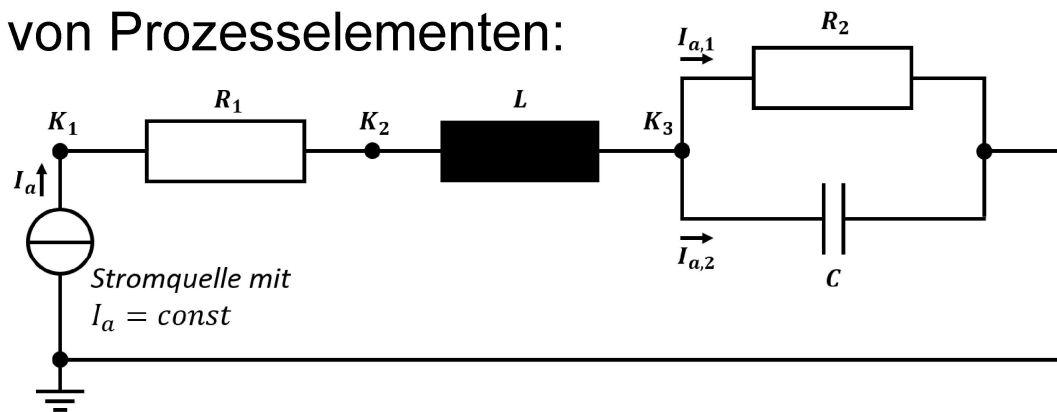


- Klassifizierung von Prozesselementen
- **Berechnung von Netzen – Maschen- und Knotengleichungen**
 - **Aufgabe 1.1**
- Analogie- und Darstellungsvarianten
 - Aufgaben 1-3

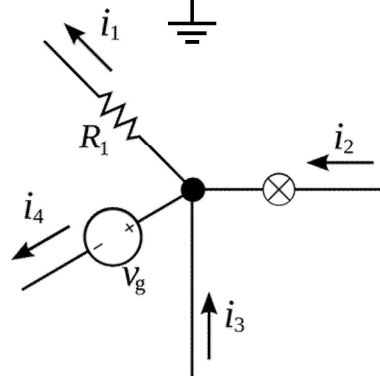
Maschen- und Knotengleichung

■ Analyse von Netzwerken von Prozesselementen:

■ Maschengleichung:



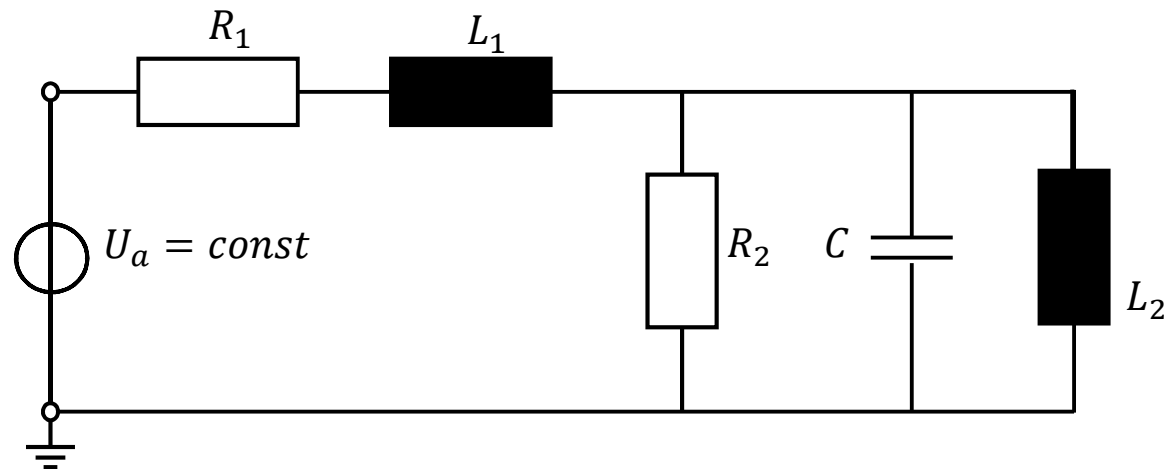
■ Knotengleichung:



Aufgabe 1

Aufgabe 1:

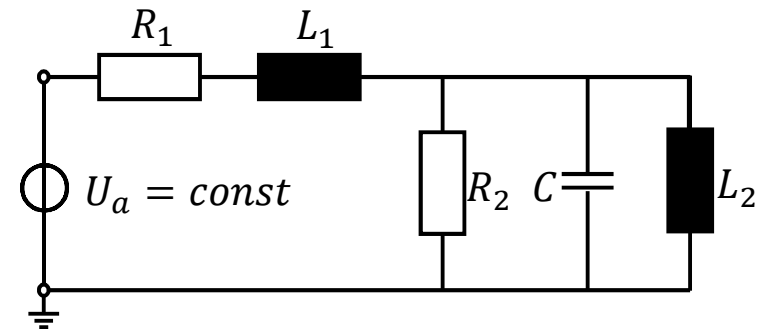
1. Stellen Sie die Maschen- und Knotengleichungen zum elektrischen Schaltbild auf. Formen Sie diese so um, dass diese nur noch von drei Unbekannten abhängen.



Aufgabe 1.1

■ Knotengleichung:

■ Maschengleichungen:



- Klassifizierung von Prozesselementen
- Berechnung von Netzen – Maschen- und Knotengleichungen
 - Aufgabe 1.1
- **Analogie- und Darstellungsvarianten**
 - **Aufgaben 1-3**

Analogien

- Durch Klassifizierung: Analoge Prozesselemente unterschiedlicher Disziplinen zuordenbar
- Grundlegende Annahme: Potenzial und Stromgrößen sind definiert
- Analogievarianten:
 - Trans-Per-Darstellung:
 - Potenzial zwischen 2 Klemmen messbar
 - Strom an einer Klemme messbar
 - Potenzial-Strom-Darstellung:
 - Potenzial tritt als Differenz zwischen zwei Klemmen auf
 - Stromgrößen fließen in eine Klemme hinein

Analogietafeln

■ Übersicht über Analogien

Analogietafel: Potential-Strom-Darstellung				
	Elektrisch	Mechanisch		Hydraulisch
		Translation	Rotation	
Potentialdifferenz e	Spannung $U = L\ddot{Q}$	Kraft $F = m\ddot{x}$	Moment $M = J\ddot{\varphi}$	Druck $p = L_h\ddot{V}$
Stromgröße f	Stromstärke $I = \frac{dQ}{dt}$	Geschwindigkeit $v = \frac{dx}{dt}$	Drehgeschwindigkeit $w = \frac{d\varphi}{dt}$	Volumenstrom $Q = \frac{dV}{dt}$
int. Potentialdifferenz p	Magn. Fluss $\Phi = LI$	Impuls $p = mv$	Drall $L = Jw$	Druckimpuls $\Gamma = L_h Q$
int. Stromgröße q	Ladung Q	Verschiebung x	Winkel φ	Volumen V
Widerstand R	$\frac{U}{I}$	$\frac{F}{v} (= d, \text{Dämpfer})$	$\frac{M}{w} (\text{Drehdämpfer})$	$\frac{p}{Q}$
Kapazität C	$\frac{Q}{U}$	$\frac{x}{F} (= \frac{1}{c}, \text{Federkonstante})$	$\frac{\varphi}{M}$	$\frac{V}{p}$
Induktivität L	$\frac{U}{\dot{I}}$	$\frac{F}{\dot{v}} (= m, \text{Masse})$	$\frac{M}{\dot{w}} (= J, \text{Trägheitsmoment})$	$\frac{p}{\dot{Q}}$
Leistung $P = e \cdot f$	$U \cdot I$	$F \cdot v$	$M \cdot w$	$p \cdot Q$
Energie $E = \int f \cdot dp$	$\frac{1}{2} L \cdot I^2$	$\frac{1}{2} m \cdot v^2$	$\frac{1}{2} J \cdot w^2$	$\frac{1}{2} L_h \cdot Q^2$
Maschenregel	$\sum U_i = 0$	$\sum v_i = 0$	$\sum \omega_i = 0$	$\sum p_i = 0$
Knotenregel	$\sum I_i = 0$	$\sum F_i = 0$	$\sum M_i = 0$	$\sum Q_i = 0$

Aufgabe 1.2

2. Wandeln Sie die elektrischen Gleichungen mithilfe der Trans-Per-Darstellung in mechanische Gleichungen um.

M1: $U_A = I_a R_1 + \dot{I}_a L_1 + I_{a,1} R_2$

M2: $0 = -I_{a,1} R_2 + \frac{1}{c} \int I_{a,2} dt$

M3: $0 = -\frac{1}{c} \int I_{a,2} dt + (\dot{I}_a - \dot{I}_{a,1} - \dot{I}_{a,2}) L_2$

Aufgabe 1.2

$$\text{M1: } v_A = F_a R_1 + \dot{F}_a L_1 + F_{a,1} R_2$$

$$\text{M2: } 0 = -F_{a,1} R_2 + \frac{1}{c} \int F_{a,2} dt$$

$$\text{M3: } 0 = -\frac{1}{c} \int F_{a,2} dt + (\dot{F}_a - \dot{F}_{a,1} - \dot{F}_{a,2}) L_2$$

Aufgabe 1.3

3. Zeichnen Sie das zur Trans-Per-Darstellung zugehörige mechanische System.

$$\text{M1:} \quad v_A = F_a \frac{1}{d_1} + \dot{F}_a \frac{1}{k_1} + F_{a,1} \frac{1}{d_2}$$

$$\text{M2:} \quad 0 = -F_{a,1} \frac{1}{d_2} + \frac{1}{m} \int F_{a,2} dt$$

$$\text{M3:} \quad 0 = -\frac{1}{m} \int F_{a,2} dt + (\dot{F}_a - \dot{F}_{a,1} - \dot{F}_{a,2}) \frac{1}{k_2}$$

Aufgabe 1.4

4. Verwenden Sie nun die Potenzial-Strom-Darstellung um die Gleichungen aus 1. in mechanische Gleichungen umzuwandeln.

$$\text{M1: } U_A = I_a R_1 + \dot{I}_a L_1 + I_{a,1} R_2$$

$$\text{M2: } 0 = -I_{a,1} R_2 + \frac{1}{C} \int I_{a,2} dt$$

$$\text{M3: } 0 = -\frac{1}{C} \int I_{a,2} dt + (\dot{I}_a - \dot{I}_{a,1} - \dot{I}_{a,2}) L_2$$

Aufgabe 1.4

$$\text{M1: } F_A = v_a R_1 + \dot{v}_a L_1 + v_{a,1} R_2$$

$$\text{M2: } 0 = -v_{a,1} R_2 + \frac{1}{c} \int v_{a,2} dt$$

$$\text{M3: } 0 = -\frac{1}{c} \int v_{a,2} dt + (\dot{v}_a - \dot{v}_{a,1} - \dot{v}_{a,2}) L_2$$

Aufgabe 1.5

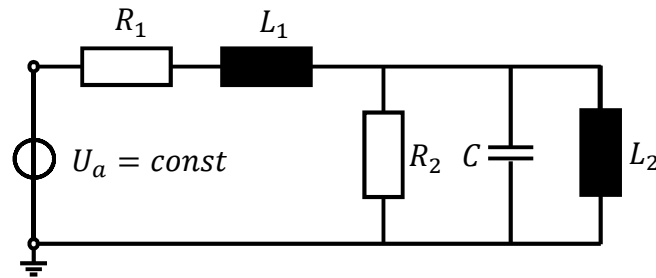
5. Zeichnen Sie das zur Potenzial-Strom-Darstellung zugehörige mechanische System.

M1: $F_A = v_a d_1 + \dot{v}_a m_1 + v_{a,1} d_2$

M2: $0 = -v_{a,1} d_2 + k \int v_{a,2} dt$

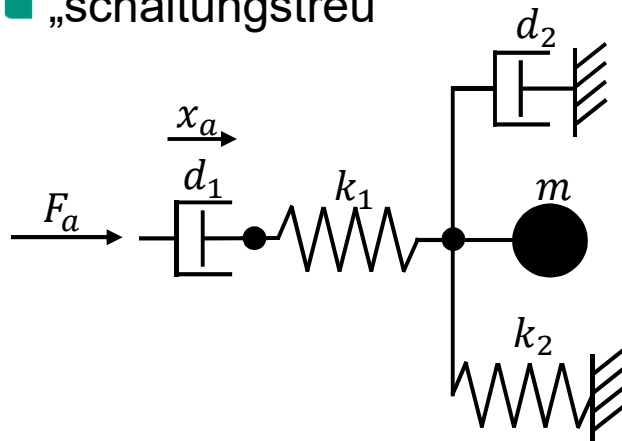
M3: $0 = -k \int v_{a,2} dt + (\dot{v}_a - \dot{v}_{a,1} - \dot{v}_{a,2}) m_2$

Zusammenfassung Ergebnisse Aufgabe 1



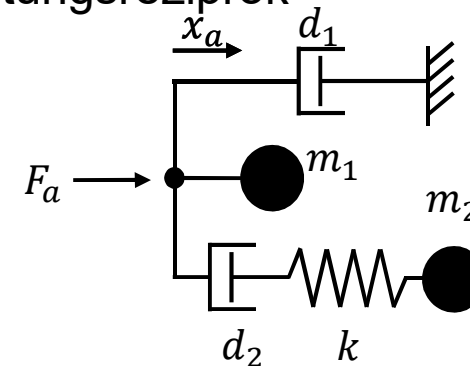
■ Trans-Per-Darstellung

■ „schaltungstreu“



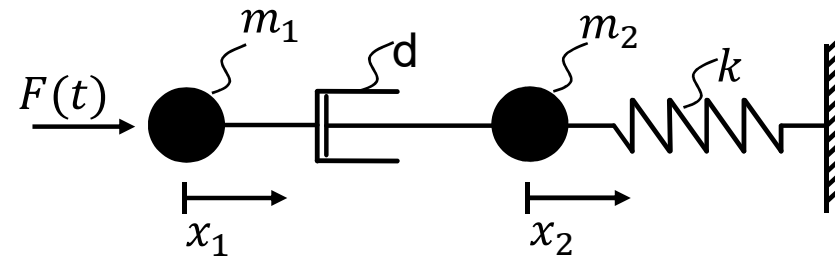
■ Potenzial-Strom-Darstellung

■ „schaltungsreziprok“



Aufgabe 2.1

1. Schneiden Sie die beiden Massen des mechanischen Systems frei und stellen Sie deren Differentialgleichungen auf.



Aufgabe 2.2

2. Verwenden Sie die Trans-Per-Darstellung, um die Differentialgleichungen in ihr elektrisches Äquivalent umzuwandeln. Zeichnen Sie anschließend das elektrische System.

I: $F(t) = \ddot{x}_1 m_1 + (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) d$

II: $(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) d = \ddot{x}_2 m_2 + k x_2$

Aufgabe 2.2

I: $I(t) = \dot{U}_1 C_1 + (U_1 - U_2) \frac{1}{R}$

II: $(U_1 - U_2) \frac{1}{R} = \dot{U}_2 C_2 + \frac{1}{L} \int U_2 dt$

Aufgabe 2.3

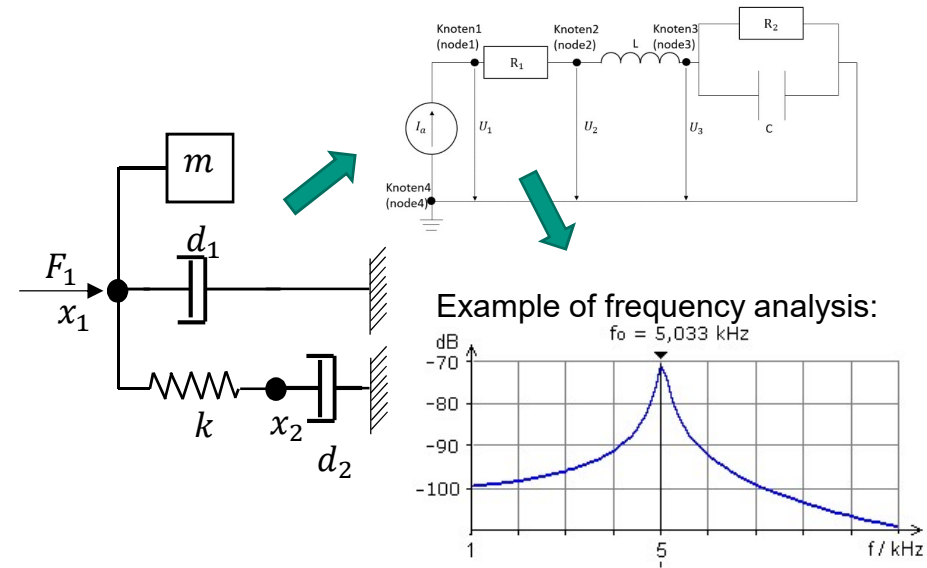
3. Verwenden Sie nun die Potenzial-Strom-Darstellung, um die Differentialgleichungen in ihr elektrisches Äquivalent umzuwandeln und das elektrische System zu zeichnen.

I: $F(t) = \ddot{x}_1 m_1 + (\dot{x}_1 - \dot{x}_2)d$

II: $(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)d = \ddot{x}_2 m_2 + kx_2$

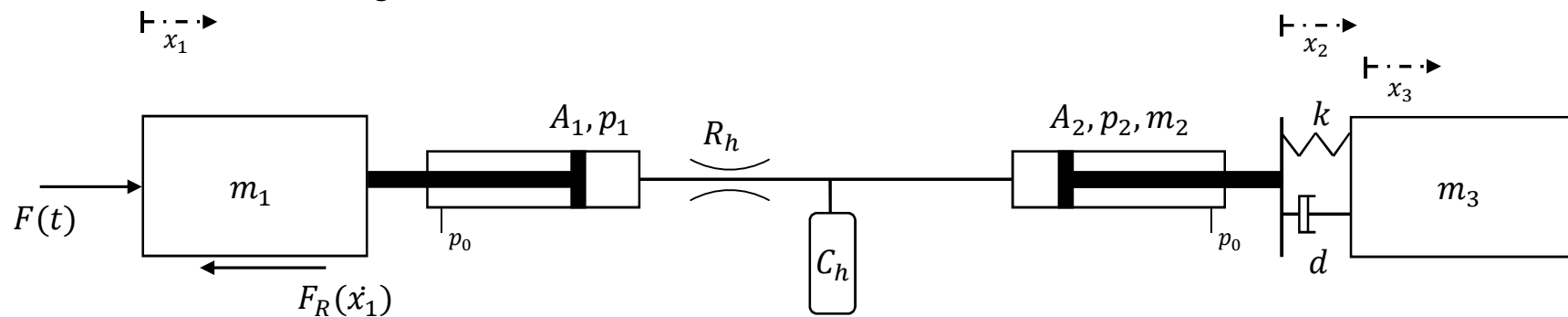
Motivation Aufgabe 3

- Potenzial-Strom Darstellung am häufigste verwendet.
- Vorteile der Analogietransformationen:
 - Systeme mit unterschiedlichen Disziplinen in einer Simulation simulierbar
 - Methoden anderer Disziplinen anwendbar.



Aufgabe 3.1

1. Welches sind die Wandler des Systems? Zeichnen Sie deren Vierpole und geben Sie die Potenzial- und Stromgrößen an Ein- und Ausgang an. Verwenden Sie die Potenzial-Strom-Darstellung.

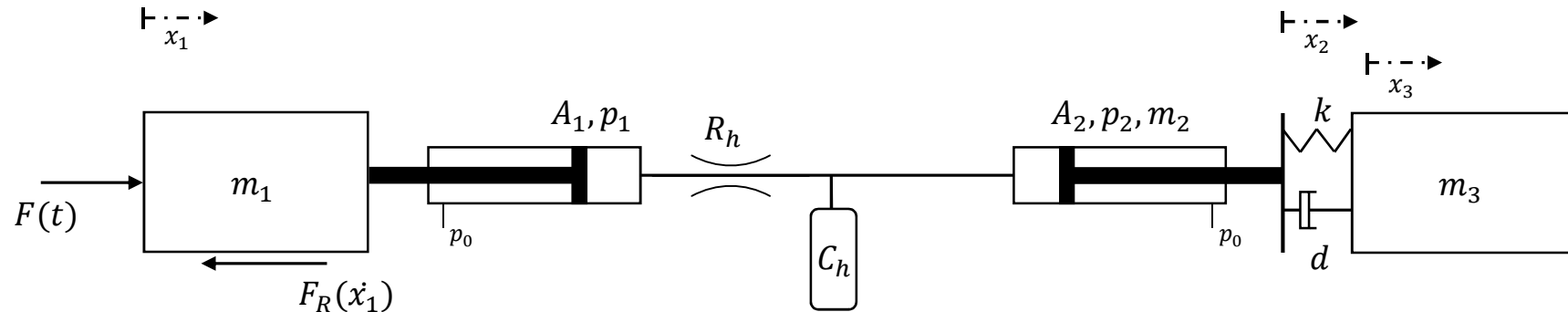


Aufgabe 3.2

2. Wandeln Sie das System mithilfe der Potenzial-Strom-Darstellung in einen elektrischen Schaltplan um. Die Trägheit des Fluids in der Leitung kann vernachlässigt werden. Die Wandler können aus Aufgabe 3.1 als Black-Box übernommen werden.

Aufgabe 3.3

3. Welches sind die Stromgrößen des Systems und wie viele Freiheitsgrade gibt es?



- Übung 4 – Modelle mit konzentrierten Parametern:
 - Grundlagen der Hydraulik
 - Erstellen von Zustandsgleichungen
 - Co-Simulation

Modellbildung und Simulation

Kontakt:

M.Sc. Alexander Stein
alexander.stein@kit.edu
0721 608-41824

