



Ernst-Abbe-Hochschule Jena
University of Applied Sciences

Verallgemeinerte Netzwerke in der Mechatronik

I. Modellbildung Mechatronischer Systeme(MMS)

Prof. Dr.-Ing. habil. Jörg Grabow
Fachgebiet Mechatronik

Vorlesungsinhalt

1. Einführung und Grundbegriffe
2. Grundgrößen
3. Konstitutive Gesetze
4. Energieumformungen
5. Teilsysteme

Copyright 



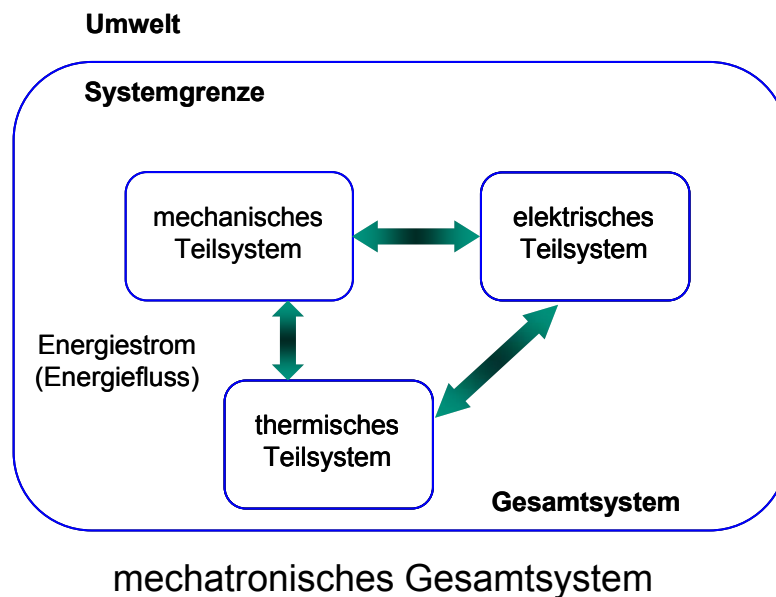
1. Einführung und Grundbegriffe
 - 1.1 Begriff des mechatronischen Systems
 - 1.2 Bedeutung der Energie

2. Grundgrößen
 - 2.1 Energieträger (Primärgröße X)
 - 2.2 Zusammenhang zwischen Energie und Primärgröße
 - 2.3 Trägerstrom
 - 2.4 GIBBS'sche Fundamentalform

3. Konstitutive Gesetze

4. Energieumformungen

1.1 Begriff des Mechatronischen Systems



Systemabgrenzung

- abgeschlossene Systeme
- relativ isolierte Systeme
- offene Systeme

Systemwechselwirkung

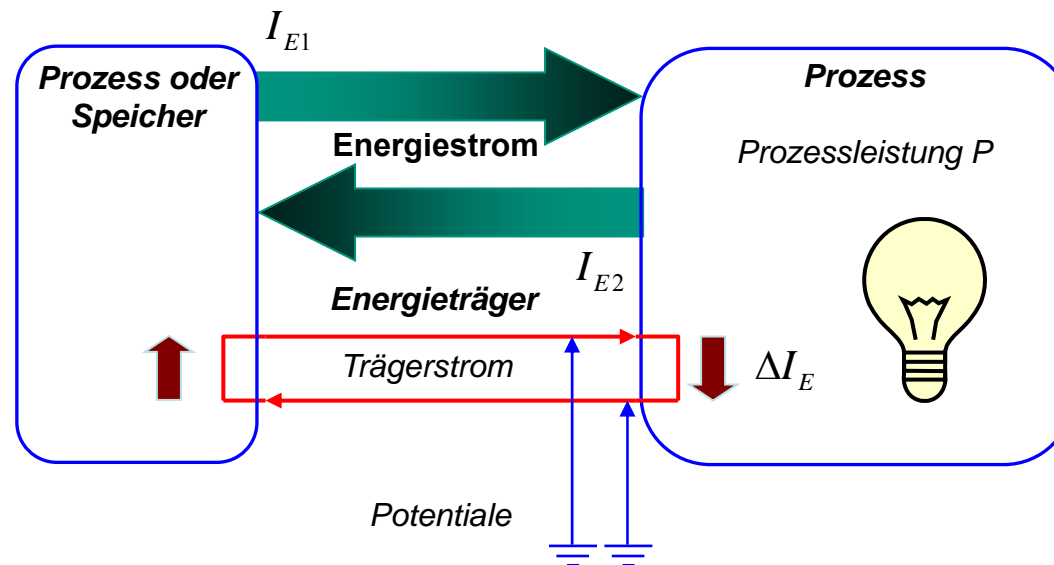
- Informationsaustausch
- Stoffaustausch
- Energieaustausch

Prozess: Der Prozess definiert eine zeitliche Aufeinanderfolge von Zuständen innerhalb eines Systems in Abhängigkeit von Vorbedingungen und äußeren Einflüssen.

1.2 Bedeutung der Energie

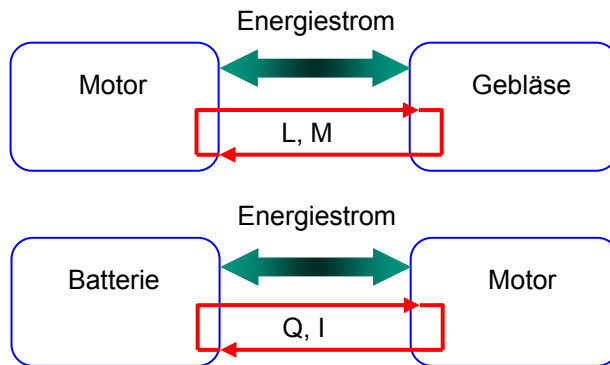
Energie: Die Energie E ist eine mengenartige physikalische Zustandsgröße gemessen in Joule. Sie kann fließen und ihr Fließmaß ist die Energiestromstärke (Energiefluss), die Differenz der Energieströme ist die Leistung P . Energie fließt nie allein sondern sie benötigt dazu einen Energieträger. Zu jedem Energieträger gehört ein Potential.

ENERGIESTROMPRINZIP

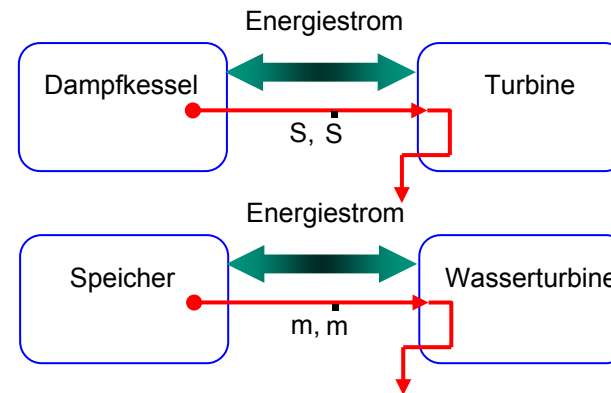


1.2 Bedeutung der Energie

geschlossene Trägerstromkreisläufe

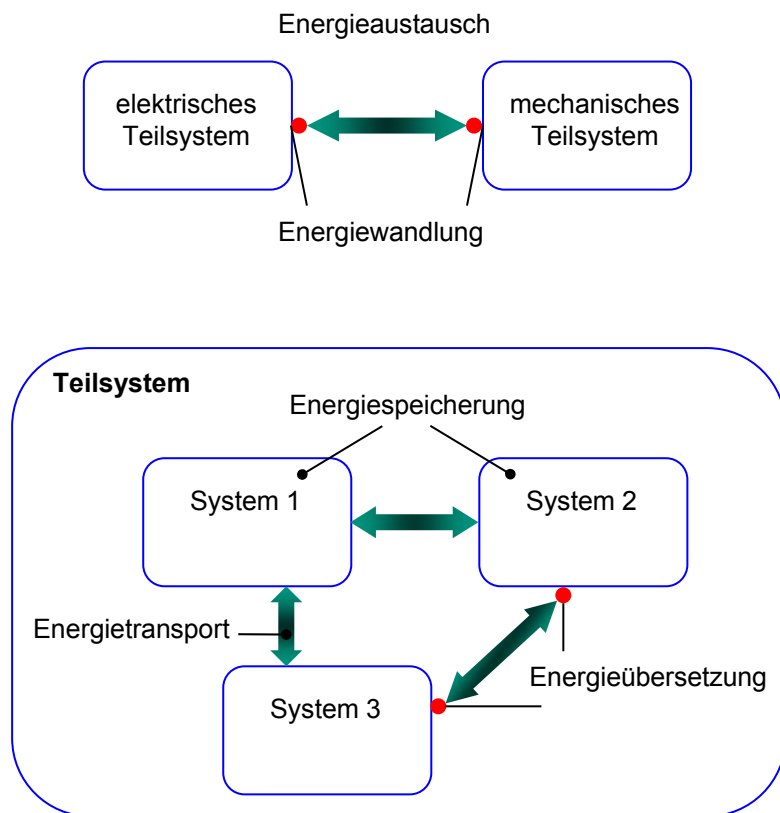


offene Trägerstromkreisläufe



Beispiele für das Energiestromprinzip

1.2 Bedeutung der Energie



Energiewandlung:

Vorgang bei dem Energieart des Energieflusses geändert wird. (z.B. Elektromotor elektrische Energie – mechanische Energie)

Energieübersetzung:

Vorgang bei dem die Form des Energieflusses geändert wird, die Energieart aber erhalten bleibt (Getriebe, Transformator).

Energietransport:

Weiterleitung der Energie von einer Quelle zu einer Senke. Art und Form des Energieflusses ändern sich nicht.

Energiespeicherung:

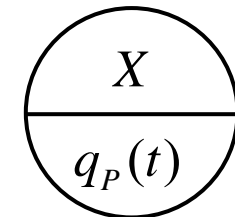
Aufbewahrung der Energie für eine bestimmte Zeit. Während der Speicherung ändert sich die Energiemenge nicht.

2. Grundgrößen

2.1 Energieträger (Primärgröße X)

7 Primärgrößen der Materie (mengenartige Größen) X

mechanische Eigenschaften	1. Impuls \mathbf{p}	Mechanik
Gravitation	2. Drehimpuls \mathbf{L}	
	3. Masse \mathbf{m}	
thermische Eigenschaften	4. Entropie \mathbf{S}	Thermodynamik
elektrische Eigenschaften	5. elektrische Ladung \mathbf{Q}_{el}	Elektrotechnik
magnetische Eigenschaften	6. magnetische Ladung \mathbf{Q}_m	
chemische Eigenschaften	7. Teilchenanzahl \mathbf{N}	Chemie



Eigenschaften der Primärgrößen:

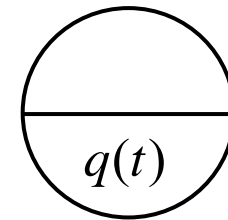
- $\mathbf{X}(t)$ ist bilanzierbar (Quantitätsgröße q)
- $\mathbf{X}(t)$ ist einem Raumbereich zugeordnet
- zu $\mathbf{X}(t)$ existiert eine Dichte
- zu $\mathbf{X}(t)$ existiert ein Strom
- zu $\mathbf{X}(t)$ existiert eine Stromdichte

Eigenschaften der Grundgrößen

Quantitätsgrößen $q(t)$: (extensive Größen)

Quantitätsgrößen sind teilbare Zustandsgrößen eines Basissystems, die sich nur mit der Größe des betrachteten Systems ändern.

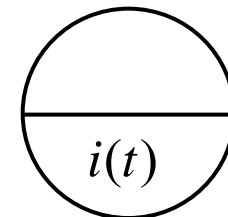
Bsp.: Masse, Volumen, Ladung, Verschiebungsfluss, Energie



Intensitätsgrößen $i(t)$: (intensive Größen)

Intensitätsgrößen sind Zustandsgrößen, die sich mit der Größe des betrachteten Systems NICHT ändern.

Bsp.: Temperatur, Druck, Kraft, elektrischer Strom



2.3 Energie und Primärgröße

Energieform

$$dE = \sum_{i=1}^n Y_i(X_1, \dots, X_n) dX_i$$

$$dE = Y_1 \cdot dX_1 + Y_2 \cdot dX_2 + \dots + Y_n \cdot dX_n$$

Zustandsgleichung

$$Y_i(X_1, \dots, X_n) := \frac{\partial E(X_1, \dots, X_n)}{\partial X_i}$$

Homogenität

$$E(\lambda X_1, \dots, \lambda X_n) := \lambda E(X_1, \dots, X_n)$$

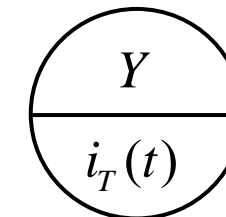
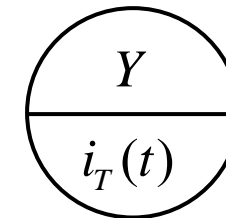
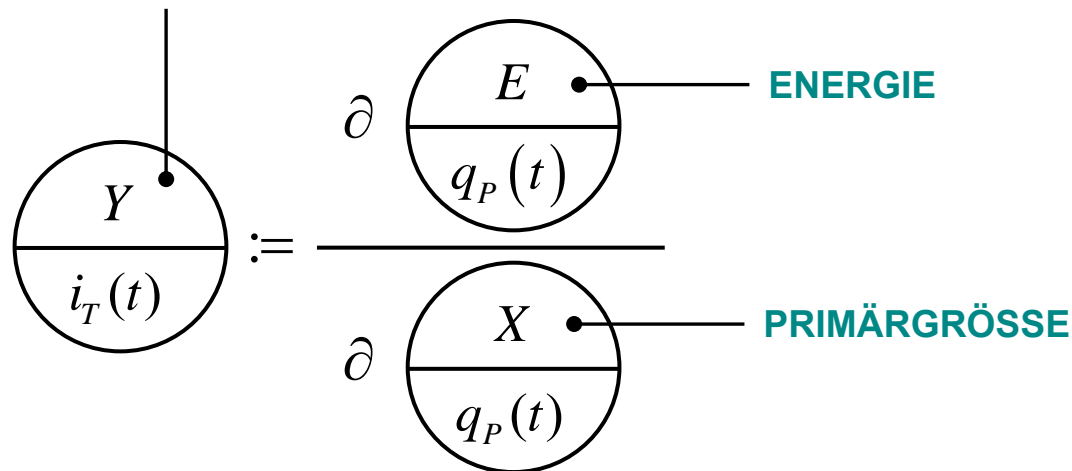
$$\frac{\partial E(\lambda X_1, \dots, \lambda X_n)}{\partial \lambda X_i} = \frac{\partial \lambda E(X_1, \dots, X_n)}{\partial \lambda X_i} = Y_i(X_1, \dots, X_n)$$

Potentialdifferenz

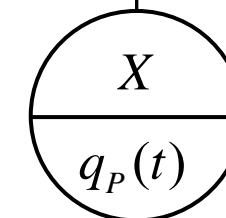
Potentialgröße Y

Die Potentialdifferenz ist die partielle Ableitung der Energie einer Primärgröße X und der Primärgröße selbst. Die Potentialgröße ist *Lambdainvariant*, sie ist eine intensive Größe.

POTENTIALDIFFERENZ



$$\delta E_P = Y \cdot \delta X$$



Rechenregeln

Satz 1 $\frac{q_1}{q_2} =: i$ Bsp.: $\left. \begin{array}{l} \langle V \rangle = q_1 \\ \langle m \rangle = q_2 \end{array} \right\} \frac{q_1}{q_2} = \left\langle \frac{V}{m} \right\rangle = \langle \rho \rangle = i$

Satz 2 $\frac{dq_1}{dq_2} =: i$ Bsp.: $\left. \begin{array}{l} \langle m \rangle = q_1 \\ \langle t \rangle = q_2 \end{array} \right\} \frac{dq_1}{dq_2} = \left\langle \frac{dm}{dt} \right\rangle = \langle \dot{m} \rangle = i$

Satz 3 $q_1 \cdot i =: q_2$ Bsp.: $\left. \begin{array}{l} \langle F \rangle = i \\ \langle s \rangle = q \end{array} \right\} q \cdot i = \langle F \cdot s \rangle = \langle U_{pot} \rangle = q$

messtechnische Eigenschaften

trans – lateinisch \implies über

Bsp.: Spannung U , Weg s

$$\langle U \rangle = i_T, \langle s \rangle = q_T$$

per – lateinisch \implies durch, hindurch

Bsp.: Strom I , Kraft F , Ladung Q

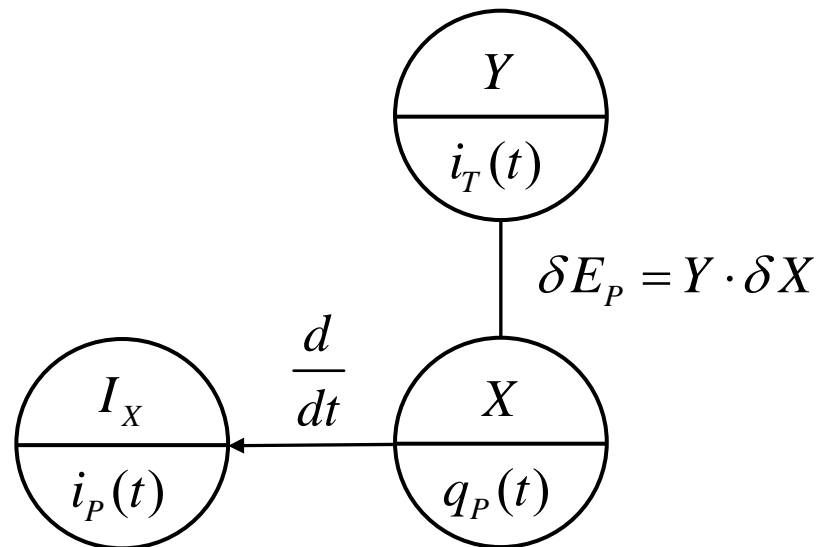
$$\langle F \rangle = i_P, \langle Q \rangle = q_P$$

2.3 Trägerstrom

Def. 1.1:

Jede Primärgröße X besitzt einen zugehörigen Trägerstrom I_X .

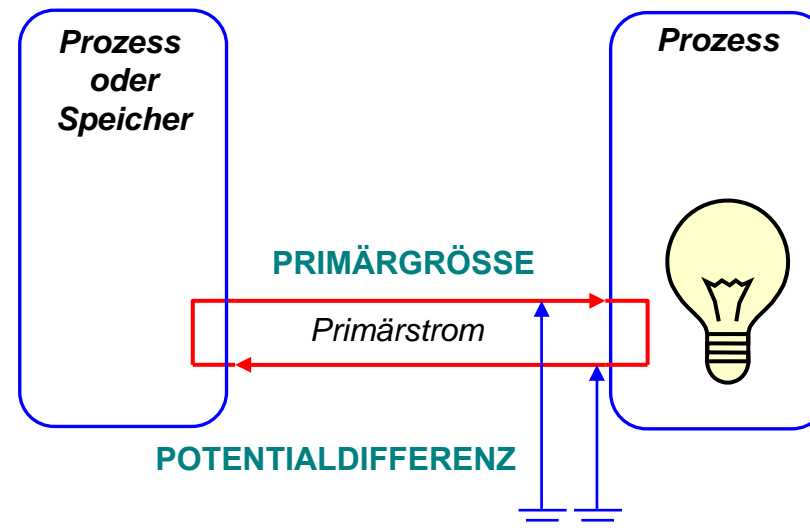
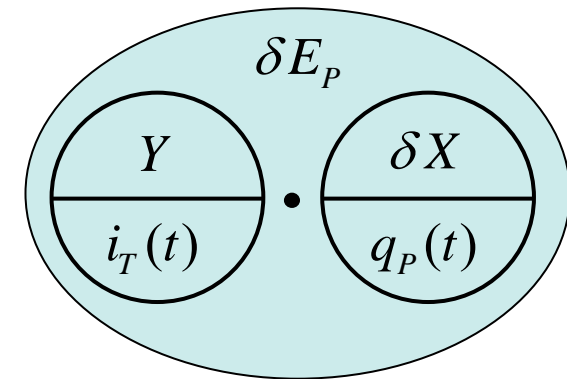
$$I_X := \frac{dX}{dt}$$



2.4 GIBBS'sche Fundamentalform

Def. 1.2:

Die Energie eines Systems kann sich nur ändern, wenn sich mindestens ein Wert einer Quantitätsgröße ändert. Die Energiegrößen treten stets als Produkt der beiden paarweisen Zustandsgrößen Quantitäts- und Intensitätsgröße auf.



allgemeine Grundannahme

$$E(x_1, \dots, x_n)$$

Die Energie eines Systems ist die Funktion seiner unabhängigen extensiven Variablen.

GIBBS'sche Fundamentalform

$$dE = \sum_{i=1}^n \xi_i(x_1, \dots, x_n) dx_i$$

Zustandsgleichung

$$\xi_i(x_1, \dots, x_n) := \frac{\partial E(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i}$$

$$dE = \sum_{i=1}^n \xi_i(x_1, \dots, x_n) dx_i$$

GIBBS'sche Fundamentalform

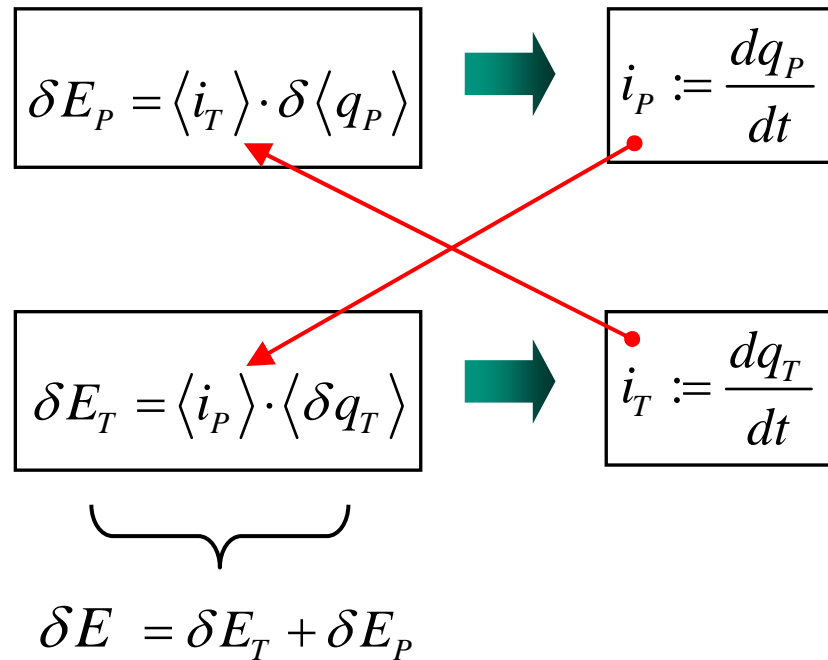
$$\xi_i(x_1, \dots, x_n) := \frac{\partial E(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i}$$

Zustandsgleichung

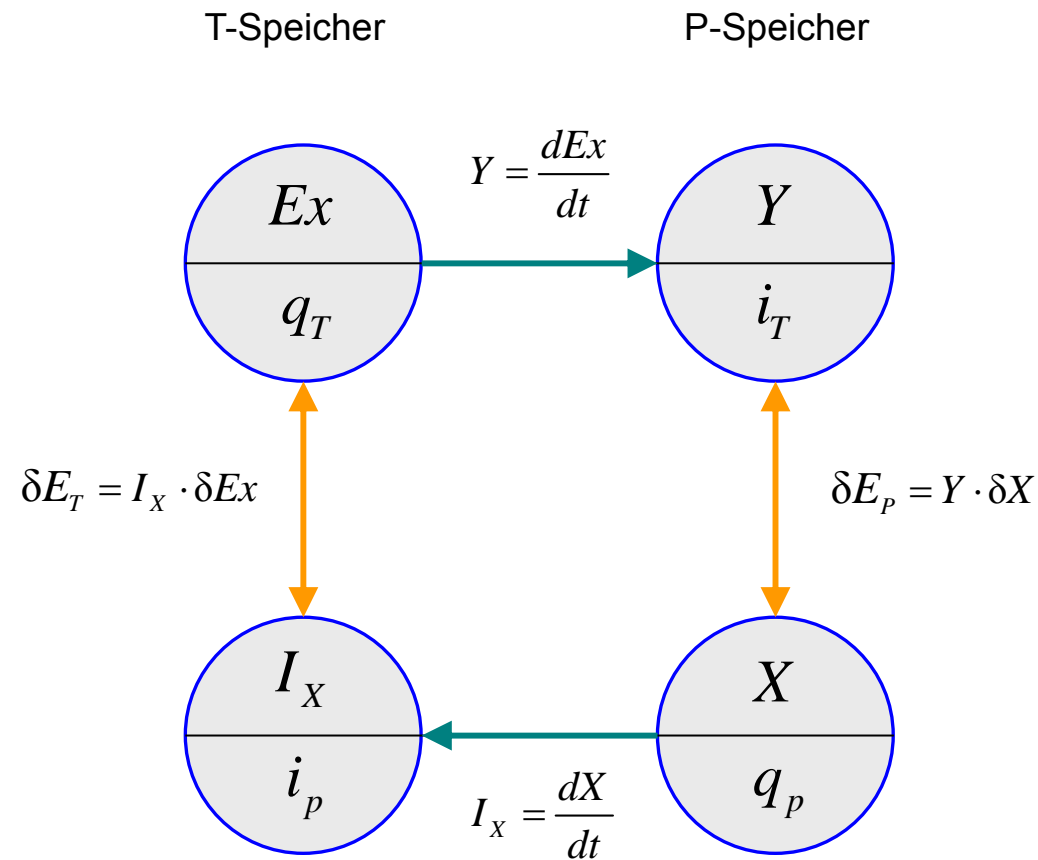
$$i = 2 \left\{ \begin{array}{l} dE = \xi_1 \cdot dx_1 + \xi_2 \cdot dx_2 \\ dE = I_X \cdot dEx + Y \cdot dX \\ dE = dE_T + dE_P \end{array} \right.$$

$$i = 2 \left\{ \begin{array}{l} \xi_1(x_1, x_2) = \frac{\partial E(x_1, x_2)}{\partial x_1} \\ \xi_1(X, Ex) = \frac{\partial E(X, Ex)}{\partial X} = Y \\ \xi_2(X, Ex) = \frac{\partial E(X, Ex)}{\partial Ex} = I_X \end{array} \right.$$

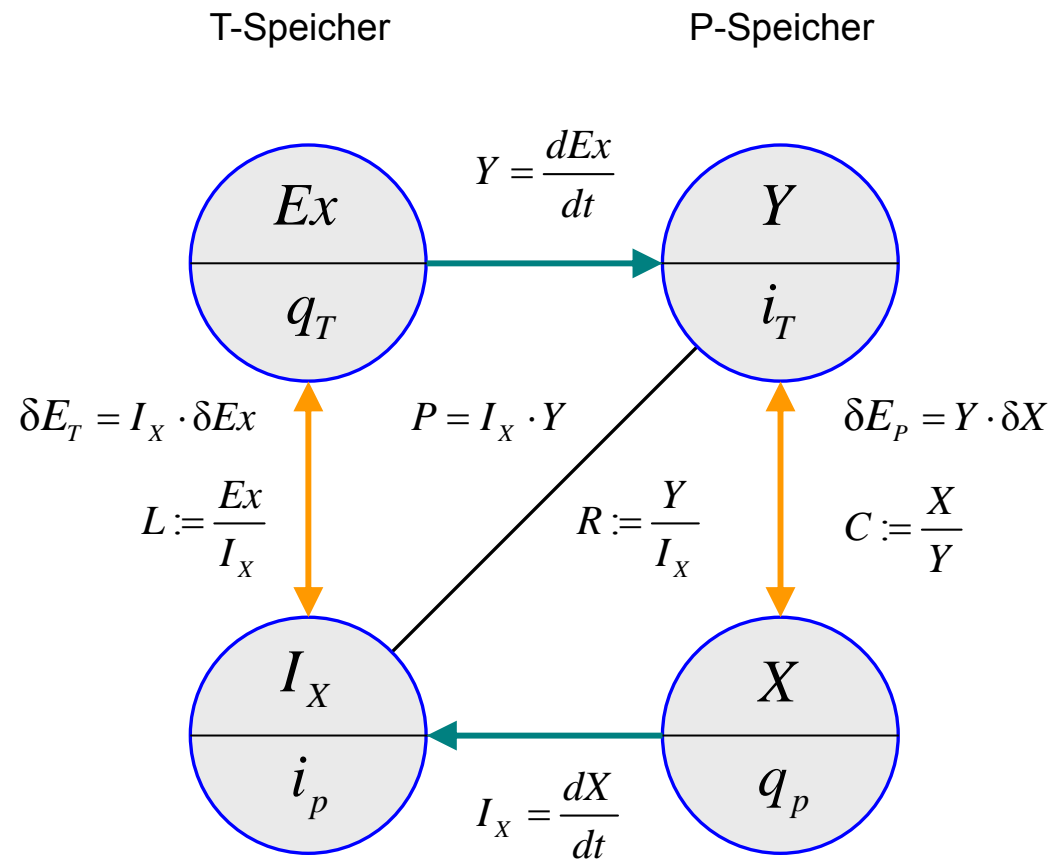
$$dE = \sum_{i=1}^n \xi_i(x_1, \dots, x_n) dx_i$$



Zusammenfassung



3. Konstitutive Gesetze



4. Energieumformungen

Energieänderung im Gesamtsystem:

$$\delta E = \delta E_P(i_T, q_P) + \delta E_T(i_P, q_T)$$

T-Schreibweise:

$$\delta E^T = \delta E_P^T(\alpha, i_T) + \delta E_T^T(\beta, q_T)$$

P-Schreibweise:

$$\delta E^P = \delta E_P^P(\gamma, q_P) + \delta E_T^P(\xi, i_P)$$

Energie im P-Speicher, beschrieben durch T-Variable

$$E_P^T(\alpha, i_T)$$

Energie im P-Speicher, beschrieben durch P-Variable

$$E_P^P(\gamma, q_P)$$

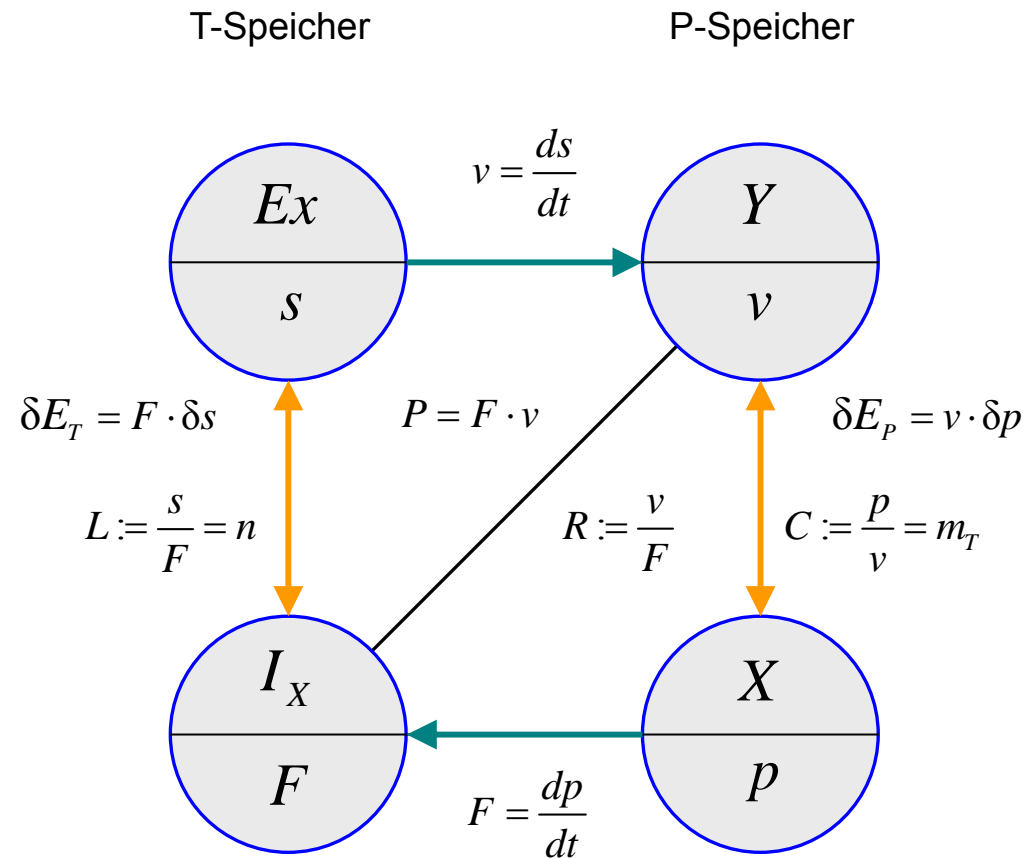
Energie im T-Speicher, beschrieben durch T-Variable

$$E_T^T(\beta, q_T)$$

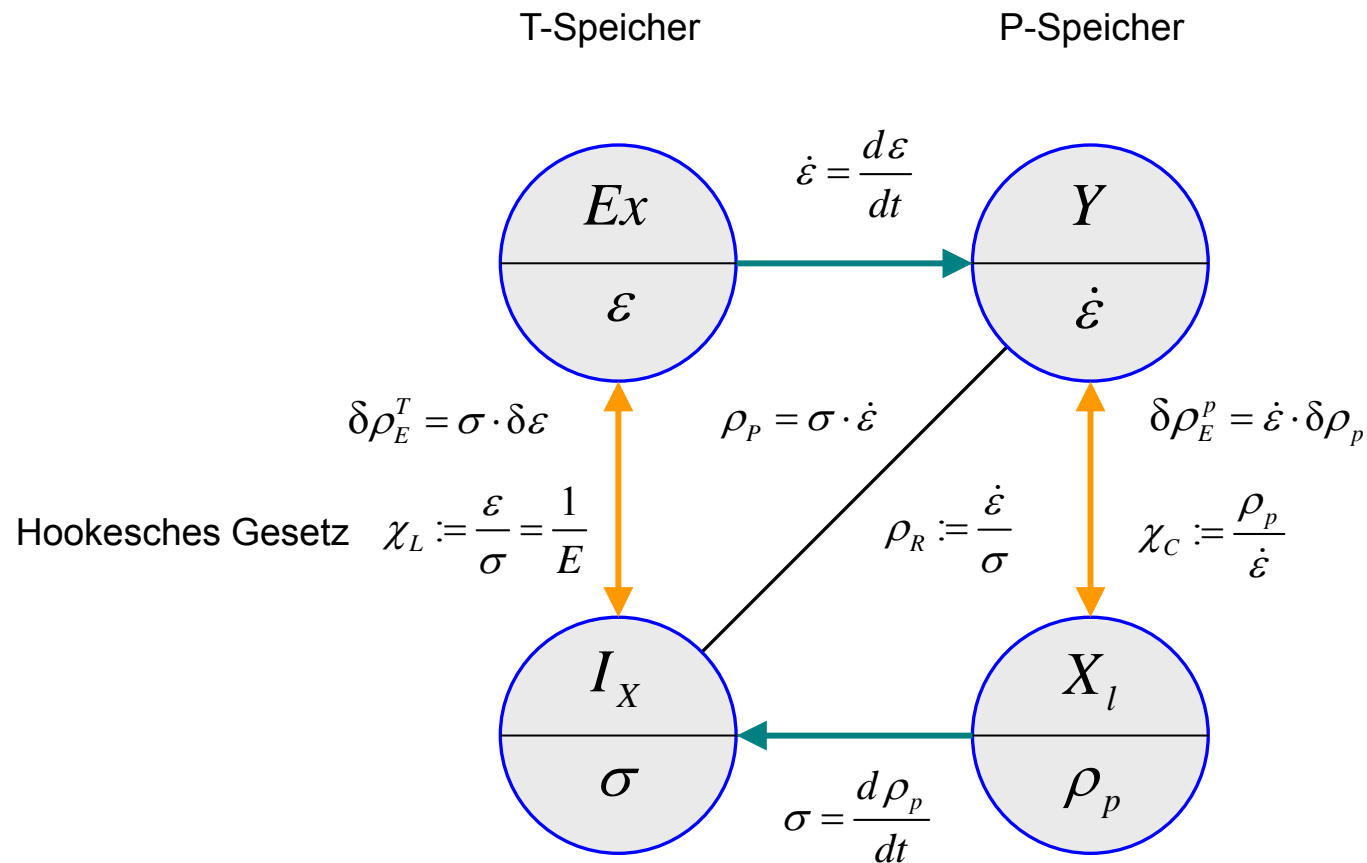
Energie im T-Speicher, beschrieben durch P-Variable

$$E_T^P(\xi, i_P)$$

Mechanik (global)



Mechanik (lokal)



Dieses Werk ist lizenziert unter einer



[Creative Commons Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Quellen

Grabow, J.: Verallgemeinerte Netzwerke in der Mechatronik, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH 2013, ISBN 978-3-486-71261-2

Grabow, J.: Mechatronische Netzwerke: Praxis und Anwendungen De Gruyter Oldenbourg 2018, ISBN 978-3110470840

Internet: http://www.amesys.de/userfiles/downloads/PDF/mms_1.pdf

Änderungen

Rev.	Datum	Änderung
00	10.08.2011	Erstausgabe
01	07.01.2012	Begriffsbildung angepasst
02	25.02.2014	Erweiterungen / Ergänzungen
03	24.09.2014	Erweiterungen / Ergänzungen
04	11.10.2019	Erweiterungen / Ergänzungen
05	14.10.2020	Erweiterungen / Ergänzungen