

Die Analogie – das Herz des Denkens

Bekannte und überraschende Analogien in der Physik

08.05.2015

Strom – Antrieb – Widerstand – Kapazität
„eine Fünfer-Analogie“

Peter Schmälzle, Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung (Gym) Karlsruhe

Sechser-Analogie: Mengenartige Größen

Energie	elektr. Ladung	Impuls	Entropie	Stoff- menge	Dreh- impuls
E	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
P	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}

Fünfer-Analogie

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}

Fünfer-Analogie

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
	elektr. Potenzial, Spannung	Geschwindigkeit	Temperatur	chem. Potenzial	Winkelgeschwindigkeit

Fünfer-Analogie

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$

$$\Delta E = U \cdot \Delta Q$$

$$\Delta E = v \cdot \Delta p$$

$$\Delta E = T \cdot \Delta S$$

$$\Delta E = \mu \cdot \Delta n$$

$$\Delta E = \omega \cdot \Delta L$$

„elektrische Energie“

„Bewegungsenergie“

„Wärme“

„chemische Energie“

„Rotationsenergie“

Fünfer-Analogie

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$

$$\Delta E = U \cdot \Delta Q$$

$$\Delta E = v \cdot \Delta p$$

$$\Delta E = T \cdot \Delta S$$

$$\Delta E = \mu \cdot \Delta n$$

$$\Delta E = \omega \cdot \Delta L$$

Energie und Ladung

Energie und Entropie

Energie und Drehimpuls

Energie und Impuls

Energie und Stoffmenge

Fünfer-Analogie

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$

Fünfer-Analogie

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$

Grundlage der bildhaften Beschreibung:
Energie und Energieträger

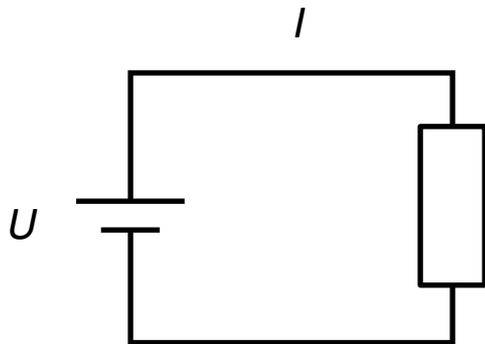
Fünfer-Analogie

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$

Grundlage der bildhaften Beschreibung:
Energie und Energieträger

Fünfer-Analogie

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$



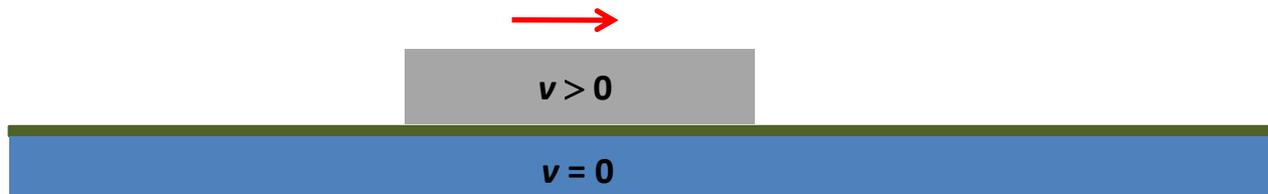
Anschauliche Beschreibung:
Ursache und **Wirkung**

Der **Potenzialunterschied** $\Delta\varphi = U$ zwischen den Anschlüssen der Batterie ist der **Antrieb** für einen **Ladungsstrom**.

Fünfer-Analogie

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$

Anschauliche Beschreibung:
Ursache und **Wirkung**

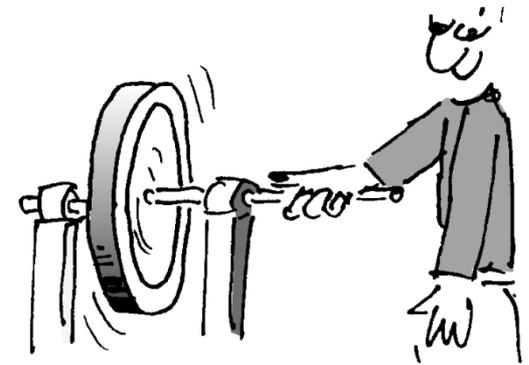


Der **Geschwindigkeitsunterschied** Δv zwischen Körper und Unterlage ist der **Antrieb** für einen **Impulsstrom**.

Fünfer-Analogie

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$

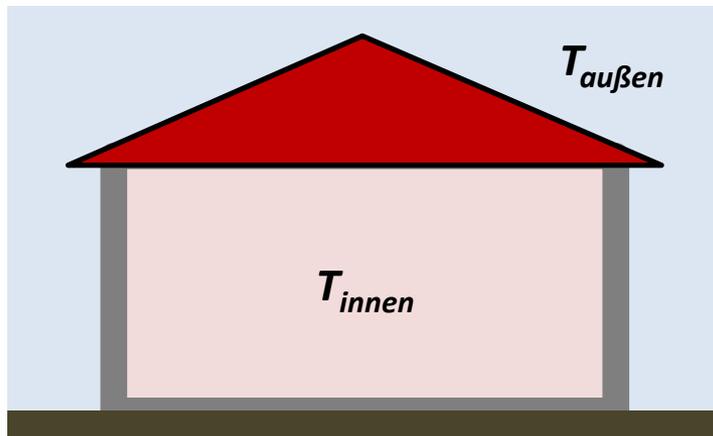
Anschauliche Beschreibung:
Ursache und **Wirkung**



Der **Winkelgeschwindigkeitsunterschied** $\Delta\omega$ ist der **Antrieb** für einen **Drehimpulsstrom**.

Fünfer-Analogie

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$



Anschauliche Beschreibung:
Ursache und **Wirkung**

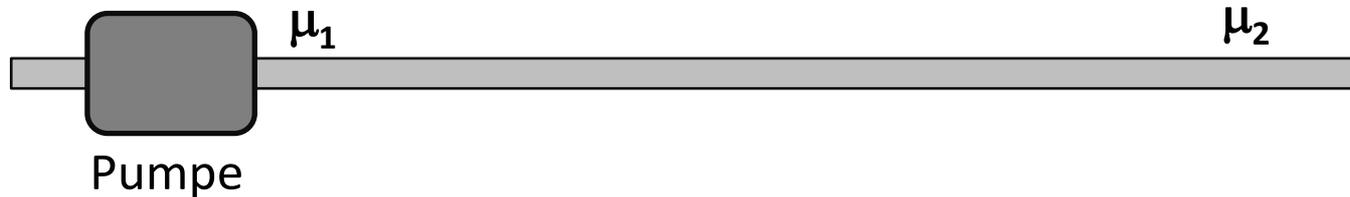
Der **Temperaturunterschied** ΔT zwischen innen und außen ist der **Antrieb** für einen **Entropiestrom**.

Fünfer-Analogie

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$

Anschauliche Beschreibung:
Ursache und **Wirkung**

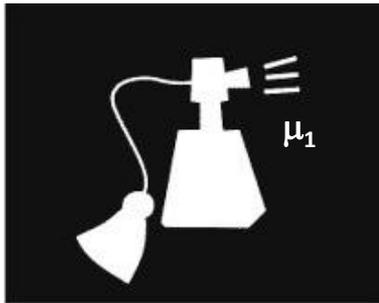
Materiestrom durch Pipeline



Der **Unterschied im chemischen Potenzial** ist der **Antrieb** für einen **Mengenstrom**.

Fünfer-Analogie

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$



Anschauliche Beschreibung:
Ursache und **Wirkung**

Der **Unterschied im chemischen Potenzial** ist der **Antrieb** für einen **Mengenstrom**.

Fünfer-Analogie: Antrieb

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$

Fünfer-Analogie: Antrieb

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$
Widerstand	$R = \frac{U}{I}$	$R = \frac{\Delta v}{F}$	$R = \frac{\Delta T}{I_S}$	$R = \frac{\Delta \mu}{I_n}$	$R = \frac{\Delta \omega}{M}$

Fünfer-Analogie: Antrieb – Widerstand

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$
Widerstand	$R = \frac{U}{I}$	$R = \frac{\Delta v}{F}$	$R = \frac{\Delta T}{I_S}$	$R = \frac{\Delta \mu}{I_n}$	$R = \frac{\Delta \omega}{M}$

elektr. Widerstand

Fünfer-Analogie: Antrieb – Widerstand

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$
Widerstand	$R = \frac{U}{I}$	$R = \frac{\Delta v}{F}$	$R = \frac{\Delta T}{I_S}$	$R = \frac{\Delta \mu}{I_n}$	$R = \frac{\Delta \omega}{M}$

mechanischer Widerstand
Stokessche Reibung

Fünfer-Analogie: Antrieb – Widerstand

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$
Widerstand	$R = \frac{U}{I}$	$R = \frac{\Delta v}{F}$	$R = \frac{\Delta T}{I_S}$	$R = \frac{\Delta \mu}{I_n}$	$R = \frac{\Delta \omega}{M}$

Reibungswiderstand
bei Rotation

Fünfer-Analogie: Antrieb – Widerstand

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$
Widerstand	$R = \frac{U}{I}$	$R = \frac{\Delta v}{F}$	$R = \frac{\Delta T}{I_S}$	$R = \frac{\Delta \mu}{I_n}$	$R = \frac{\Delta \omega}{M}$

Entropiewiderstand

Fünfer-Analogie: Antrieb – Widerstand

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$
Widerstand	$R = \frac{U}{I}$	$R = \frac{\Delta v}{F}$	$R = \frac{\Delta T}{I_S}$	$R = \frac{\Delta \mu}{I_n}$	$R = \frac{\Delta \omega}{M}$

Reaktionswiderstand

Fünfer-Analogie: Antrieb – Widerstand

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$
Widerstand	$R = \frac{U}{I}$	$R = \frac{\Delta v}{F}$	$R = \frac{\Delta T}{I_S}$	$R = \frac{\Delta \mu}{I_n}$	$R = \frac{\Delta \omega}{M}$
Kapazität	$Q = C \cdot U$	$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	$S = C_S \cdot \Delta T$	$n = C_n \cdot \Delta \mu$	$\vec{L} = \vec{J} \cdot \vec{\omega}$

Fünfer-Analogie: Antrieb – Widerstand - Kapazität

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$
Widerstand	elektrische Kapazität	$\frac{\Delta v}{F}$	$R = \frac{\Delta T}{I_S}$	$R = \frac{\Delta \mu}{I_n}$	$R = \frac{\Delta \omega}{M}$
Kapazität	$Q = C \cdot U$	$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	$S = C_S \cdot \Delta T$	$n = C_n \cdot \Delta \mu$	$\vec{L} = \vec{J} \cdot \vec{\omega}$

Fünfer-Analogie: Antrieb – Widerstand - Kapazität

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$
Widerstand	$R = \frac{U}{I}$	$R = \frac{p}{F}$	$R = \frac{T}{I_S}$	$R = \frac{\Delta\mu}{I_n}$	$R = \frac{\Delta\omega}{M}$
Kapazität	$Q = C \cdot U$	$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	$S = C_S \cdot \Delta T$	$n = C_n \cdot \Delta\mu$	$\vec{L} = \vec{J} \cdot \vec{\omega}$

Masse als Impulskapazität

Fünfer-Analogie: Antrieb – Widerstand - Kapazität

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$
Widerstand	$R = \frac{U}{I}$	$R = \frac{\Delta v}{F}$	$R = \frac{\Delta T}{I_S}$	I_n	M
Kapazität	$Q = C \cdot U$	$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	$S = C_S \cdot \Delta T$	$n = C_n \cdot \Delta \mu$	$\vec{L} = \vec{J} \cdot \vec{\omega}$

Trägheitsmoment als Drehimpulskapazität

Fünfer-Analogie: Antrieb – Widerstand - Kapazität

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$
Widerstand	$R = \frac{U}{I}$	$R = \frac{v}{F}$	Entropiekapazität S	$\frac{\Delta\mu}{I_n}$	$R = \frac{\Delta\omega}{M}$
Kapazität	$Q = C \cdot U$	$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	$S = C_S \cdot \Delta T$	$n = C_n \cdot \Delta\mu$	$\vec{L} = \vec{J} \cdot \vec{\omega}$

Fünfer-Analogie: Antrieb – Widerstand - Kapazität

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$
Widerstand	$R = \frac{U}{I}$	$R = \frac{\Delta v}{F}$	$R = \frac{\Delta T}{I_S}$	Stoffkapazität $R = \frac{\Delta \mu}{I_n}$	$R = \frac{\Delta \omega}{M}$
Kapazität	$Q = C \cdot U$	$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	$S = C_S \cdot \Delta T$	$n = C_n \cdot \Delta \mu$	$\vec{L} = \vec{J} \cdot \vec{\omega}$

Fünfer-Analogie: Antrieb – Widerstand - Kapazität

	Elektrizitätslehre	Mechanik (Translation)	Wärmelehre	Chemie	Mechanik (Rotation)
mengenartige Größe	Q	\vec{p}	S	n	\vec{L}
zugehörige Stromstärke	I	\vec{F}	I_S	I_n	\vec{M}
zugehörige intensive Größe	φ, U	\vec{v}	T	μ	$\vec{\omega}$
Energiestromstärke (Leistung)	$P = U \cdot I$	$P = \vec{v} \cdot \vec{F}$	$P = T \cdot I_S$	$P = \mu \cdot I_n$	$P = \omega \cdot M$
Widerstand	$R = \frac{U}{I}$	$R = \frac{\Delta v}{F}$	$R = \frac{\Delta T}{I_S}$	$R = \frac{\Delta \mu}{I_n}$	$R = \frac{\Delta \omega}{M}$
Kapazität	$Q = C \cdot U$	$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	$S = C_S \cdot \Delta T$	$n = C_n \cdot \Delta \mu$	$\vec{L} = \vec{J} \cdot \vec{\omega}$

Empfehlungen für den Unterricht:

- Im Anfangsunterricht die bildhafte Beschreibung „Energie und Energieträger“ nutzen (nach und nach Grenzen aufzeigen!)
- Auf die Modellvorstellung „Antrieb – Strom – Widerstand“ zurück greifen, um abstrakte Vorgänge anschaulich darstellen zu können
- Analogie der quantitativen Beschreibung durch $P = U \cdot I$ und $P = v \cdot F$ (bzw. $P = \omega \cdot L$) durch geeignete Versuche (z.B. mit dem Dynamot) aufzeigen

Versuche mit dem Dynamot zu $P = U \cdot I$ und $P = v \cdot F$ (bzw $P = \omega \cdot M$)

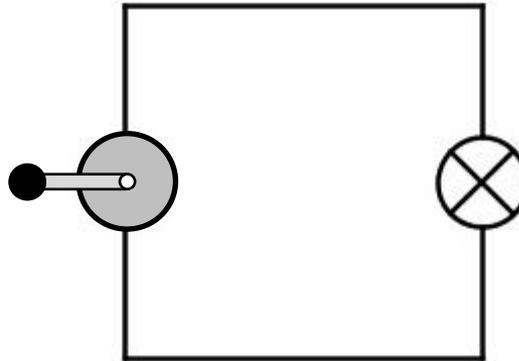
Dynamot-Energiebilanz

Energiezufuhr:

$$P = \omega \cdot M$$

$$P = v \cdot F$$

da Drehbewegung
mit festem Radius



Energieabgabe:

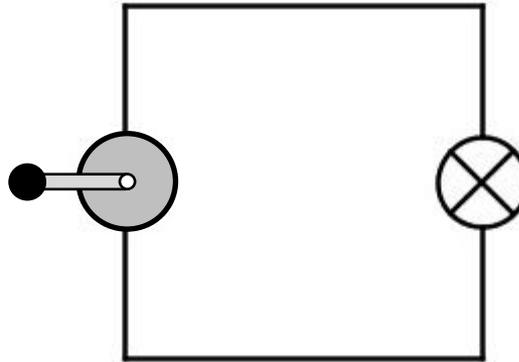
$$P = U \cdot I$$

Versuche mit dem Dynamot zu $P = U \cdot I$ und $P = v \cdot F$ (bzw $P = \omega \cdot M$)

Dynamot-Energiebilanz

Energiezufuhr
bei 1 Lampe:

$$P = v_1 \cdot F_1$$



Energieabgabe
bei 1 Lampe:

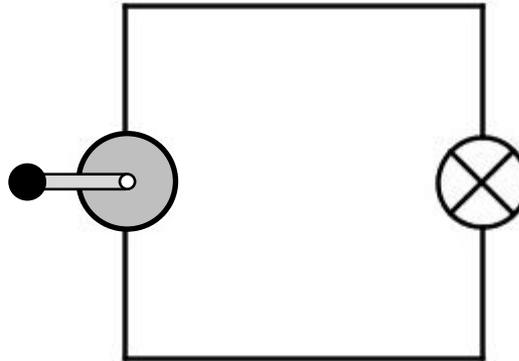
$$P = U_1 \cdot I_1$$

Versuche mit dem Dynamot zu $P = U \cdot I$ und $P = v \cdot F$ (bzw $P = \omega \cdot M$)

Dynamot-Energiebilanz

Energiezufuhr
bei 1 Lampe:

$$P = v_1 \cdot F_1$$



Energieabgabe
bei 1 Lampe:

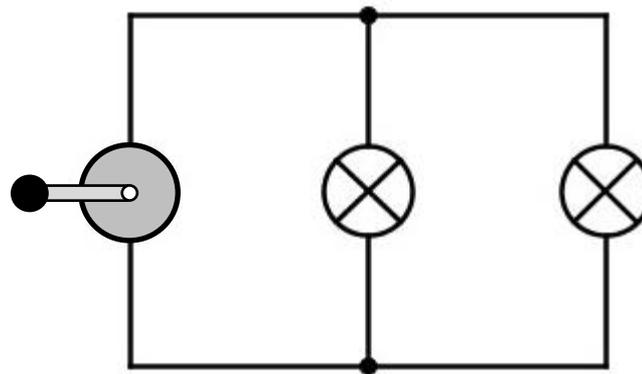
$$P = U_1 \cdot I_1$$

Energiezufuhr
bei 2 Lampen
(parallel):

$$P = v_2 \cdot F_2$$

$$v_2 \approx v_1$$

$$F_2 > F_1$$



Energieabgabe
bei 2 Lampen
(parallel):

$$P = U_2 \cdot I_2$$

$$U_2 \approx U_1$$

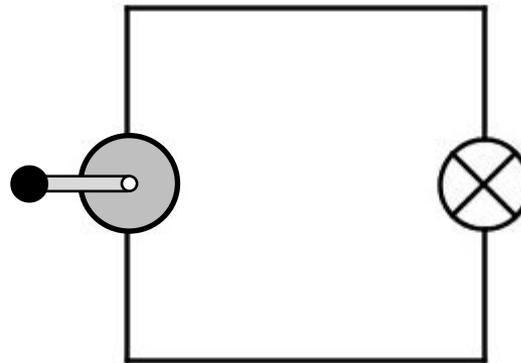
$$I_2 = 2 \cdot I_1$$

Versuche mit dem Dynamot zu $P = U \cdot I$ und $P = v \cdot F$ (bzw $P = \omega \cdot M$)

Dynamot-Energiebilanz

Energiezufuhr
bei 1 Lampe:

$$P = v_1 \cdot F_1$$



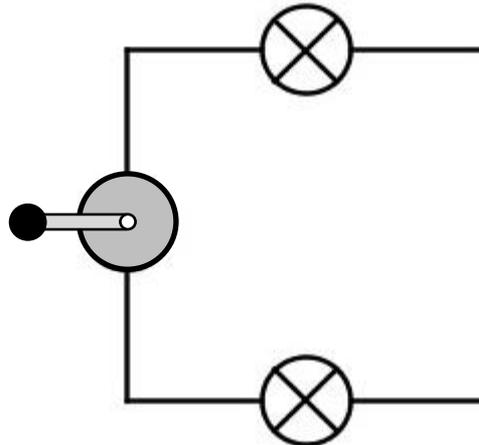
Energieabgabe
bei 1 Lampe:

$$P = U_1 \cdot I_1$$

Energiezufuhr
bei 2 Lampen
(in Reihe):

$$P = v_2 \cdot F_2$$

$$v_2 > v_1$$
$$F_2 \approx F_1$$



Energieabgabe
bei 2 Lampen
(in Reihe):

$$P = U_2 \cdot I_2$$

$$U_2 = 2 \cdot U_1$$
$$I_2 = I_1$$

Empfehlungen für den Unterricht:

- Im Anfangsunterricht die bildhafte Beschreibung „Energie und Energieträger“ nutzen (nach und nach Grenzen aufzeigen!)
- Auf die Modellvorstellung „Antrieb – Strom – Widerstand“ zurück greifen, um abstrakte Vorgänge anschaulich darstellen zu können
- Analogie der quantitativen Beschreibung durch $P = U \cdot I$ und $P = v \cdot F$ (bzw. $P = \omega \cdot L$) durch geeignete Versuche (z.B. mit dem Dynamot) aufzeigen

Empfehlungen für den Unterricht:

- Im Anfangsunterricht die bildhafte Beschreibung „Energie und Energieträger“ nutzen (nach und nach Grenzen aufzeigen!)
- Auf die Modellvorstellung „Antrieb – Strom – Widerstand“ zurück greifen, um abstrakte Vorgänge anschaulich darstellen zu können
- Analogie der quantitativen Beschreibung durch $P = U \cdot I$ und $P = v \cdot F$ (bzw. $P = \omega \cdot L$) durch geeignete Versuche (z.B. mit dem Dynamot) aufzeigen
- Im Kurssystem andeuten, dass sich die Idee der Kapazität verallgemeinern lässt