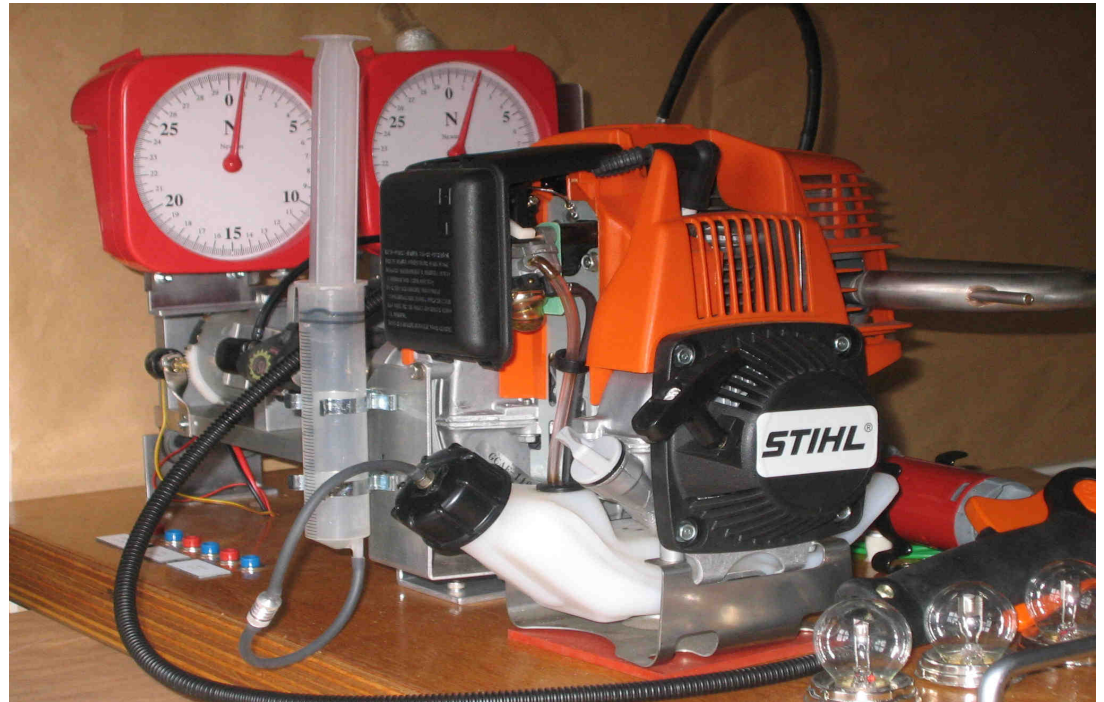


Produktlinie elmec IIIse



elmec = elektrisch – mechanisch
III = 3. Generation
se = suabian engineering
= schwäbische Tüftelei

Kontakt : mhorlacher@eteshost.de

Lieferung zu Lasten des Käufers.

Garantie : 2 Jahre

Grundeinheit: **Bosch-automotive-electric-unit**

Funktionsprinzip: Die Grundeinheit der Anlage besteht aus einem 12 V Motor mit 145 W mechanischer Leistung. Auf der Achse des 12 V Motors ist eine mechanische Bremse drehbar gelagert. Die Haltekraft für die Bremse und die Haltekraft für das Motorengehäuse des 12 V Motors werden mit Kraftmessern gemessen. An den Motor kann eine Bohrmaschine, ein Fahrrad-Hometrainer oder ein Verbrennungsmotor angeschlossen werden.

Mechanische Leistungsmessung erfolgt durch eine Magura Hydraulik-Bremse.

Anbaueinheiten:

1. Bosch drill-power-unit

420 W Bohrmaschine, Rechts/Links-Lauf mit elektronischer Drehzahlvorwahl und Drehmomentbegrenzung.

2. Tacx Human-power-unit

Tacx Home trainer, der an die Generatoreinheit angekoppelt wird. Es können die Hinterräder von Mountain-Bikes (26 Zoll) und Trekking-Bikes / Rennräder (28 Zoll) eingespannt werden. Die Kraftübertragung erfolgt über einen Keilriemen.

3. STIHL 4-stroke power- unit

3.Stihl 4-stroke-power-unit Zum Einsatz kommt ein Stihl 4-Takt-Motor mit 22 ccm Hubraum und einer Leistung von 0,6 kW, max. Drehzahl 11500 1/min. Der Motor ist sehr laufruhig und geräuscharm. Er produziert fettes Abgas, das mit einem Katalysator und Sekundärluftsystem gereinigt wird. Die Steuerung der Luftzufuhr erfolgt über eine λ -Sonde.

Einsatzmöglichkeiten:

1. Elektrische Leistungsaufnahme – mechanische Leistungsabgabe einer Bohrmaschine durch Bremsen mit einer mechanischen Bremse
2. Mechanische Leistungsaufnahme – elektrische Leistungsabgabe eines Generators durch Antrieb des 12 V Motors mit der Bohrmaschine
3. actio = reactio bei Drehbewegungen durch Bremsen des 12 V Motors mit einer mechanischen Bremse
4. elektrische Leistungsaufnahme – mechanische Leistungsabgabe eines 12 V Motors. Vergleich Motorenleistung – Generatorleistung eines Gleichstrommotors
5. mechanische Leistung einer Versuchsperson beim Betreiben eines Fahrradhometrainers
6. Mechanische Leistung eines Verbrennungsmotors
7. Wirkungsgrad eines Verbrennungsmotors chemisch – mechanisch
8. Abgasverhalten eines Verbrennungsmotors. Funktionsprinzip der λ -Sonde. Wirkungsweise eines Autokatalysators.

Elektrische Messstellen

1. Kraftmessung: Haltekraft der Federwaage $10\text{ N} = 3\text{ k}\Omega$
2. Drehzahlmessung: $1000\text{ U/min} = 1\text{ V}$
3. λ -Sondenspannung: $0-1\text{ V}$
hochohmiges Voltmeter notwendig
4. Elektrische Leistung des Generators über Strom und Spannungsmessung

Sonstige Messmöglichkeiten

Beim Betrieb des Verbrennungsmotors können die Temperaturen im Auspuff und im Katalysator gemessen werden.

Ferner können Abgasmessungen vor und hinter dem Katalysator gemacht werden.

Allgemeine Hinweise zu den Einsatzmöglichkeiten:

1. Die Bohrmaschine ist durch Drehmomentbegrenzung gegen Überlastung gesichert. Dennoch werden hohe Drehzahlen und niedrige Last empfohlen.
2. Bei Strommessungen treten Ströme am 12 V Motor von > 20 A auf. Es sollten ausreichend dimensionierte Strommesser bzw. Stromshunts ($1 \text{ A} = 1 \text{ mV}$) verwendet werden.
3. Wenn der 12 V Motor als Antriebsmotor eingesetzt wird, sollten ausreichend dimensionierte Stromquellen bzw. Batterien verwendet werden.
4. Einstellung der Waage: Auf der Rückseite der Waage befindet sich eine Kunststoffschraube, mit welcher der Nullpunkt eingestellt werden kann.

Gefahrenhinweise

Die Anlage ist vorgesehen für Demonstrationsexperimente durch den Lehrer. Dem Umgang durch Schüler muß eine ausführliche Einweisung durch den Lehrer vorangehen. Insbesondere ist auf die CO-Emission im fetten Betriebszustand hinzuweisen. Bei Automatikstellung der Luftzufuhr arbeitet die Anlage im günstigsten Emissionsbereich. Schüler unter 18 Jahren dürfen nur in Gegenwart eines Lehrers experimentieren.

1. Gefahren durch Umgang mit Treibstoff und Abgas:

- *Treibstoff:* Der Motor wird mit Benzin mit einer Mindestoktanzahl von 86 ROZ betrieben. [Ottokraftstoff; enthält: Benzol (max. 5 Vol%), Methanol (max. 3 Vol%), Toluol, Xylole; **Giftig, Hochentzündlich**]
- *Abgas:* Das Abgas enthält CO, C_xH_x , NO_x und z.T. Formaldehyd CH_2O Bei Luftmangel ($\lambda < 1$, $U_{\lambda} > 200 \text{ mV}$) wird am Katalysator das im Abgas enthaltene CO nicht ausreichend verbrannt.
deshalb: außer zur Demonstration von Sauerstoffmangel und Sauerstoffüberschuß immer mit automatischer Luftzufuhr fahren (λ ca. 1). Trotzdem für ausreichende Lüftung sorgen!

2. Gefahren durch mechanische Teile:

Die Anlage hat stumpfe, schnelldrehende Teile: Achtung auf Haare und Kleidungsstücke!

3. Elektrische Sicherheit

Es wird nur eine Versorgungsspannung von 12 V benötigt. Der Generator leistet maximal 25 V, deshalb sind bei der Anlage keine weiteren Sicherheitsvorkehrungen notwendig.

Sicherheitsbestimmungen für Betrieb mit Netzgerät bzw. Batteriebetrieb bitte beachten.

Versuchsbeispiele:

1.1 Mechanische Leistung der Bohrmaschine

A) Lehrerhinweise:

Prinzip: Messen der aufgenommenen elektrischen Leistung $P_{el} = U \cdot I$
und Vergleich mit der abgegebenen mechanischen Leistung $P_{mech.} = F \cdot v$

$P = F \cdot v$ bei Kreisbewegungen:

$$= F \cdot s/t = F \cdot 2 \pi r \cdot 1/t; 1/t = f$$

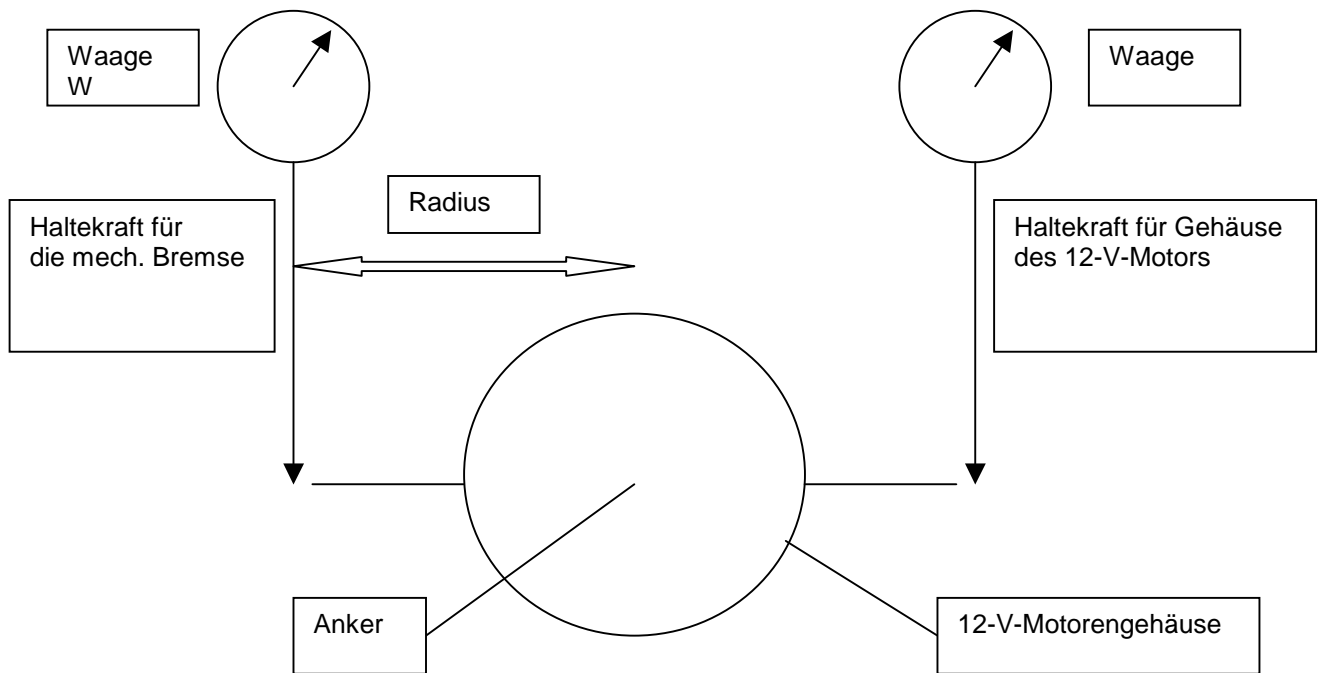
$$= F \cdot 2 \pi r \cdot f$$

($P = M \cdot \omega$: auf Drehmoment braucht nicht eingegangen zu werden)

Hinweis: Bremskraft max. 10 N, nicht zu lange, da die Bremsscheibe heiß wird. Die Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents ist nicht sinnvoll, da zu ungenau.

B) Schülerblatt:

V1.1: Mechanische Leistung der Bohrmaschine



Einzeichnen der Drehrichtung der Bohrmaschine und der auftretenden Kräfte

V_{1a} abgenommene Bohrmaschine

V_{1b} aufgesteckte Bohrmaschine ohne Bremse

V_{1c} aufgesteckte Bohrmaschine mit Bremskraft 10 N

	U	I	P _{el}	F	f	P _{mech}	P _{el} /P _{mech}
V _{1a}							
V _{1b}							
V _{1c}							

Fragen:

1. Wie wirkt sich die mechanische Belastung auf die elektrische Leistungsaufnahme aus?
2. Worauf bezieht sich die Leistungsangabe auf der Bohrmaschine?
3. Erläutere am Beispiel eines Fahrrades, welche Kräfte beim Bremsen mit der Vorderradfelgenbremse auftreten.

1.2. Funktion und Leistung eines Generators

A) *Lehrerhinweise:*

Prinzip: Messen der aufgenommenen mechanischen Leistung und Vergleich mit der abgegebenen elektrischen Leistung

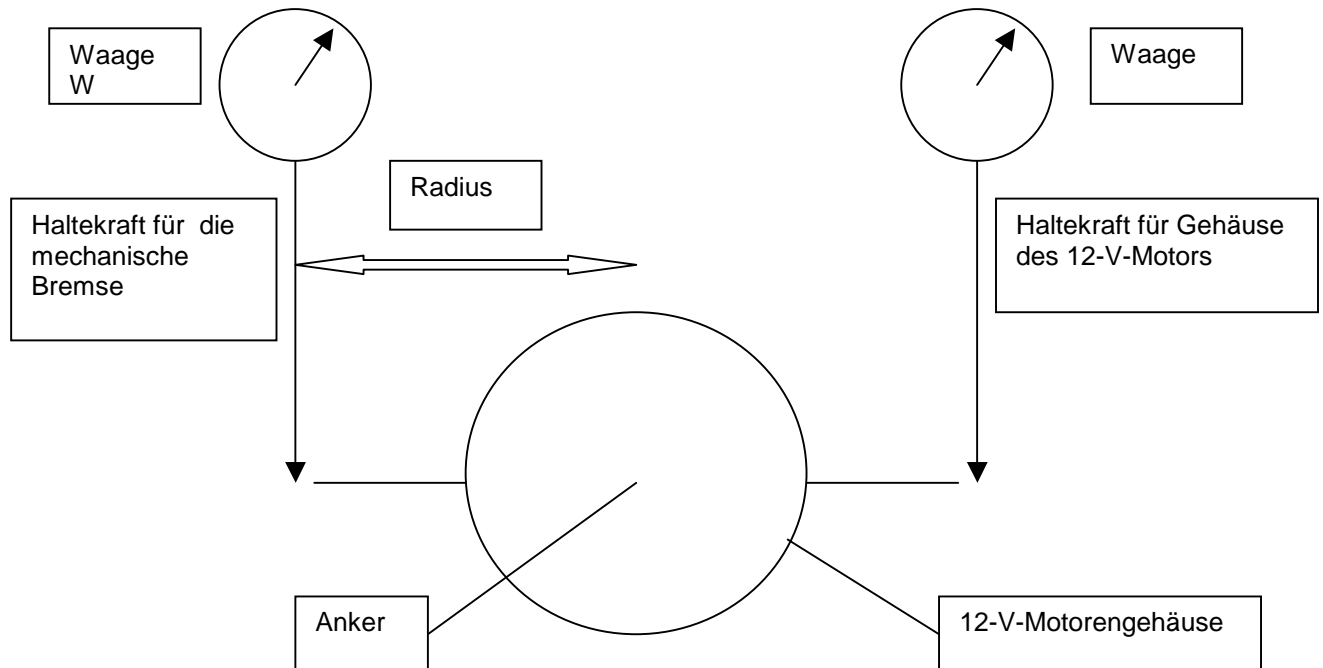
$$P_{\text{mech}} = F \cdot 2 \pi \cdot r \cdot f$$

$$P_{\text{el}} = U \cdot I$$

Hinweis: Bei Betrieb von 2 Glühlampen $I < 10 \text{ A}$, bei Kurzschluß des Generators $I \cong 25 \text{ A}$, deshalb entsprechenden Strommesser bzw. Stromshunt ($1 \text{ A} = 1 \text{ mV}$) verwenden. Rechtslauf der Bohrmaschine.

B) *Schülerblatt*

V1.2: Funktion und Leistung eines Generators



Einzeichnen der Drehrichtung des Ankers und der auftretenden Kräfte

$P_{\text{mech}} =$

$P_{\text{el}} =$

V_{2a} Haltekraft für das Gehäuse ohne el. Verbraucher

V_{2b} Haltekraft für das Gehäuse mit 3 Glühlampen

V_{2c} Haltekraft für das Gehäuse bei Kurzschluß

	F	f	P_{mech}	U	I	P_{el}	$=P_{\text{mech}}/P_{\text{el}}$
V_{2a}							
V_{2b}							
V_{2c}							

Variante: Schaltung der Glühlampen parallel / hintereinander

Fragen:

1. Erkläre die unterschiedliche Haltekraft F_m beim Betrieb mit/ohne Verbraucher
2. Begründe die Strom - Spannungswerte bei V_{2c}
3. Begründe das Leistungsverhalten bei Parallel- bzw. Hintereinanderschaltung der Glühlampen

1.3. 12-V-Motor als Antriebsmotor

A) Lehrerhinweise

Prinzip: Messen der mechanisch abgegebenen Leistung
Vergleich mit der aufgenommenen elektrischen Leistung

$$P_{\text{mech}} = F \cdot 2 \pi r \cdot f \quad P_{\text{el}} = U \cdot I$$

Hinweis: Lösen der Klemmschraube mit Innensechskantschlüssel und Herausziehen der Bohrmaschine aus der Steckkupplung

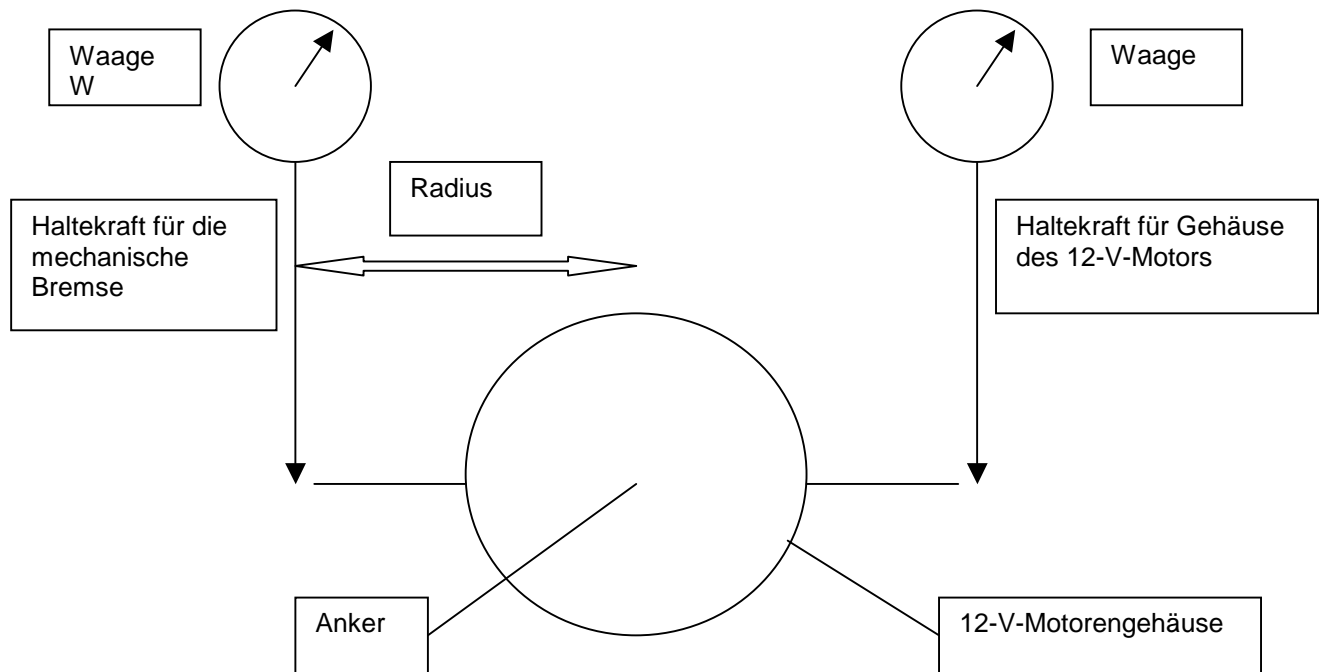
Anschlüsse rot = +

blau = -

Bei Abbremsen > 2 N Spannungsquelle und Strommesser mit $I > 10 \text{ A}$ notwendig

B) Schülerblatt:

V1.3: Gleichstrommotor als Antriebsmotor



Einzeichnen der Drehrichtung des Motors sowie der auftretenden Kräfte

$P_{\text{mech}} =$

$P_{\text{el}} =$

Funktionsprinzip: Die Grundeinheit der Anlage besteht aus einem 12 V Motor mit 145 W mechanischer Leistung. Auf der Achse des 12 V Motors ist eine mechanische Bremse drehbar gelagert. Die Haltekraft für die Bremse und die Haltekraft für das Motorengehäuse des 12 V Motors werden mit Kraftmessern gemessen. An den Motor kann eine Bohrmaschine, ein Fahrrad-Hometrainer oder ein Verbrennungsmotor angeschlossen werden.

V1.3 Bremsen des 12-V-Motors mit verschiedenen Bremskräften

F_B = Haltekraft für die Bremse

F_M = Haltekraft für den Motor

F_B	F_M	f	P_{mech}	U	I	P_{el}	$=P_{\text{el}}/P_{\text{mech}}$
	0						
	5						
	10						
	15						

Fragen:

1. Erläutere das Prinzip actio = reactio an obigem Beispiel
2. Erläutere die auftretenden Kräfte beim Bohren mit der Handbohrmaschine
Fertige dazu eine Skizze an und trage die auftretenden Kräfte ein

1.4. Mechanische Leistung eines 12-V-Motors beim Antrieb der Bohrmaschine

A) *Lehrerhinweise*

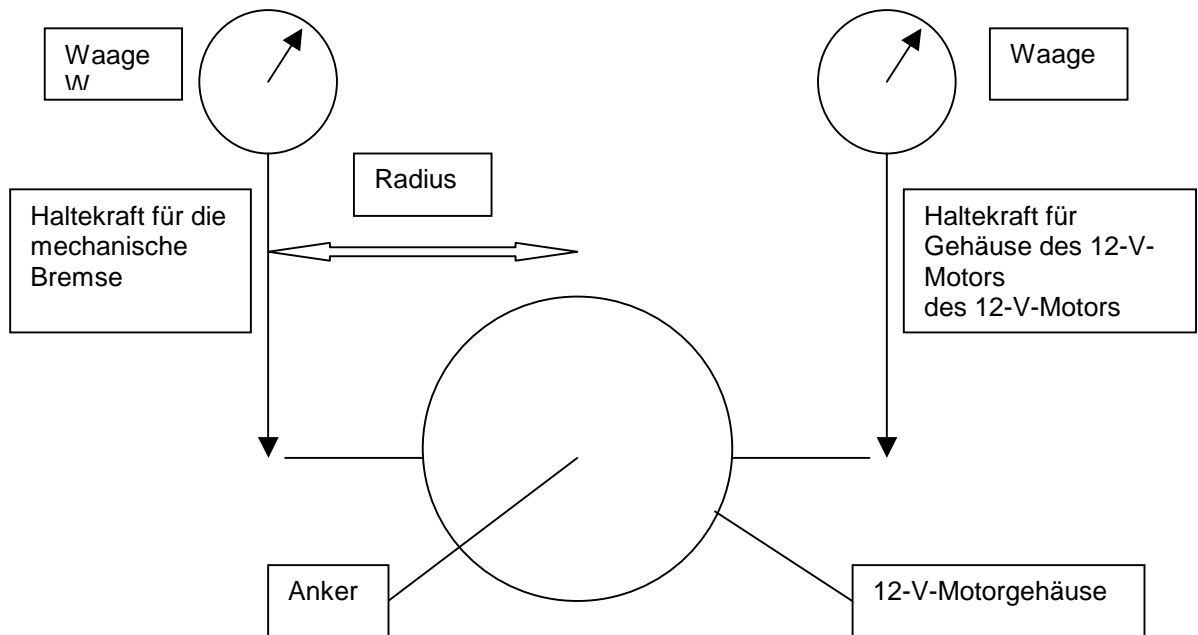
Prinzip: Die Lehrlauf-Leistung der Bohrmaschine (mech. Leistung zur Überwindung der Reibung) soll durch Antrieb mit dem 12-V-Motor bestimmt werden

Hinweis: Leistungsfähige Stromquelle sowie entsprechender Strommesser notwendig
rot = +
blau = -

Auftretende Ströme: Anlaufstrom $\cong 35$ A
Dauerstrom $\cong 25$ A

B) Schülerblatt

V1.4: Bestimmung der aufgenommenen Leistung der Bohrmaschine = abgegebene Leistung des 12-V- Motors



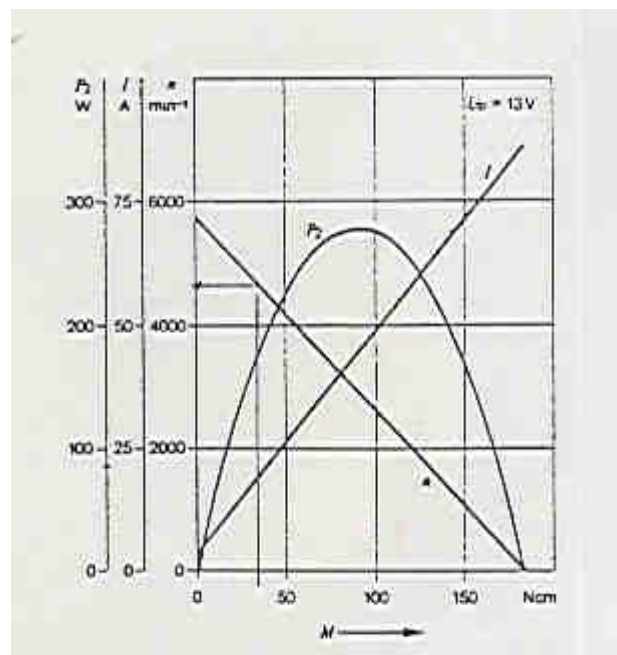
Einzeichnen der Drehrichtung. Wo treten Kräfte auf (actio - reactio)

Haltekraft F_M	Drehzahl f	Leistung P_m

Schlußfolgerung:

Fragen:

1. Wo hat der 12-V-Motor seine maximale Leistung?
2. Wo hat der 12-V-Motor sein maximales Drehmoment?
3. Wo hat der 12-V-Motor seinen besten Wirkungsgrad?



Datenblatt zum 12-V-Motor:
 Bsp: $n=4600$ 1/min, $p=145$ W, $I=20$ A
 $n=4600$ 1/min, $p=145$ W, $I=20$ A

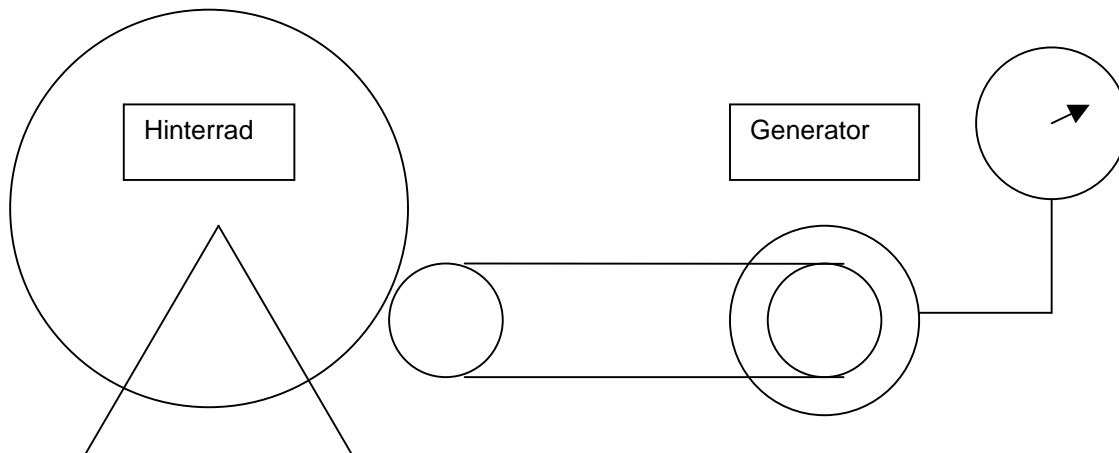
2. Mechanische Leistung einer Versuchsperson beim Betrieb eines Fahrrad-Home-Trainers

A) *Lehrerhinweise:*

Prinzip: Messen der am Generator ankommenden mechanischen Leistung
 $P = F \cdot 2 \pi r \cdot f$
Die bei der Übertragung (Personen-Generator) verlorengangene Leistung wird nicht erfaßt. Sie dürfte jedoch sehr hoch liegen.
Glühlampen in Reihe schalten, da die Drehzahl mehr als 6 V liefert

B) *Schülerblatt:*

V2: Mechanische Leistung einer Versuchsperson beim Betrieb eines Fahrrad-Home-Trainers



Einzeichnen der Drehrichtung des Ankers und der auftretenden Kräfte

- Haltekraft für das Gehäuse ohne elektrischen Verbraucher
- Haltekraft für das Gehäuse mit 3 Glühbirnen

	F	f	P_{mech}	U	I	P_{el}	$=P_{\text{mech}}/P_{\text{el}}$
a							
b							

Fragen:

- Erkläre die unterschiedliche Haltekraft F_M beim Betrieb mit/ohne Glühbirne
- Wie viele Radler müssten strampeln, um einen elektrischen Föhn (1.000 Watt) zu betreiben?
- Wie lange müßtest Du strampeln, um 1 kWh_{el} erzeugt zu haben (1 kWh kostet etwa 20 Pfennige)

Versuchsbeispiel zum Motor

3.1. Versuche zur Abgasmessung

A) Lehrerhinweise:

- Fragestellung: 1. Wie ist das Abgasverhalten des Motors unter verschiedenen Betriebszuständen?
2. Wie kann man diese Betriebszustände messen und entsprechend regeln?
3. Wie reagiert der Katalysator auf die verschiedenen Betriebszustände?

Versuchsdurchführung:

Vorbereitung der Anlage siehe Betriebsanleitung

zusätzlich:

Drägerröhrchen CO: 0,3 %a 0,3 - 4 Vol%

NO_x: 2/a 2-50 ppm

und Kolbenprober 100 ml

Gasproben mit dem Kolbenprober ziehen und anschließend durch das Prüfröhrchen drücken. Um mit 1 Meßröhrchen pro Untersuchung auszukommen, empfiehlt es sich, additiv zu messen. Beginn immer mit den niedrigsten Werten.

	CO		NO _x	
	mager	fett	mager	fett
nach Kat	1	2	2	1
vor Kat	3	4	4	3

So reicht je 1 Röhrchen für 4 Untersuchungen aus.

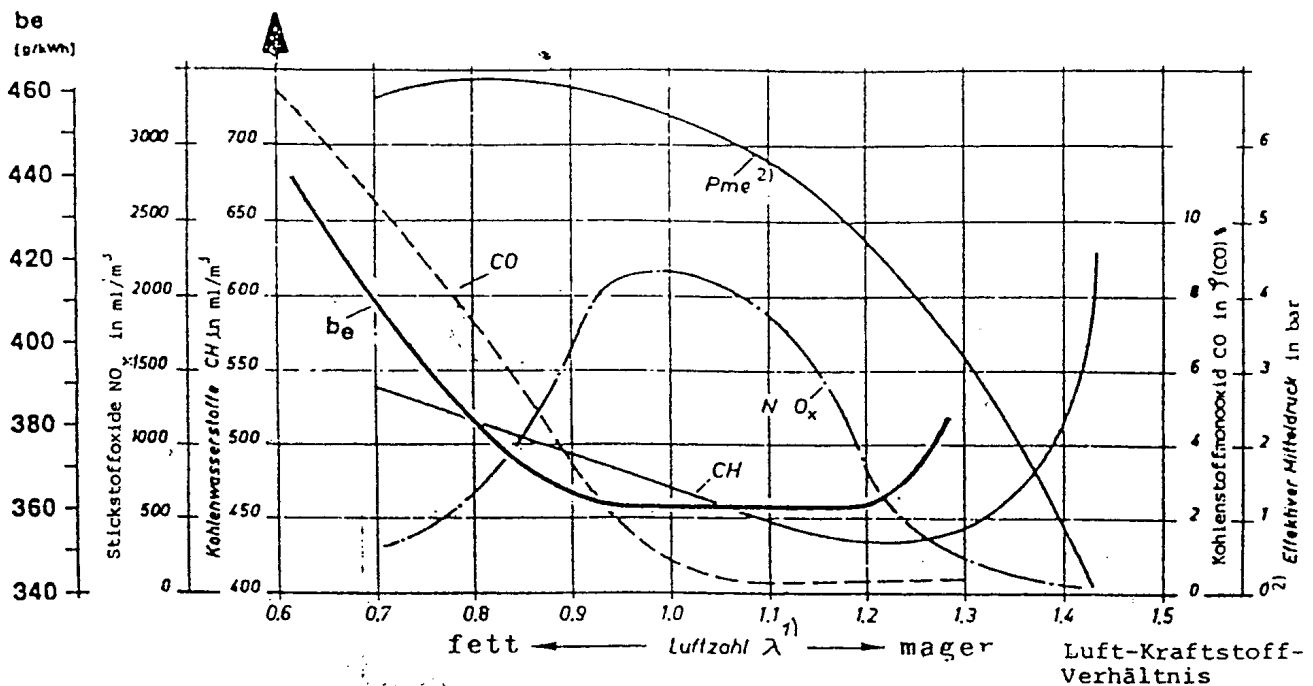
Wichtig: Spannungsmessung an der Lambda-Sonde mit hochohmigem Voltmeter
Ergebnisse aus den Abgasmessungen
(je nach Motoreneinstellung sind jedoch Abweichungen möglich)

Fragestellung: Wie ist das Emissionsverhalten des Motors unter verschiedenen Betriebsbedingungen?

B) Schülerblatt

Entstehung der Luftschadstoffe im Motor

Schadstoff-Emission ohne Katalysator



Lambda = zugeführte Luftmenge/stöchiom. notwendige Luftmenge

CO: 0,1 - 10 %: entsteht im fetten Bereich durch Luft (Sauerstoff)mangel. Durch moderne sparsame Motoren starke Abnahme.

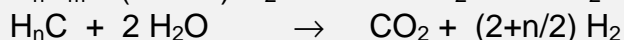
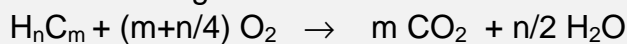
CH: 0,1 - 0,7 %o: im fetten Bereich unvollständige Oxidation, jedoch auch im mageren Bereich ab $\lambda > 1,3$ wegen zu niedriger Brennraumtemperatur und verschleppten Verbrennungen.

NO_x: 0,2 - 2 %o: Maximum im stöchiometrischen Bereich von Luft/Kraftstoff durch hohe Temperaturen und Mangel an reduzierenden Gasen.

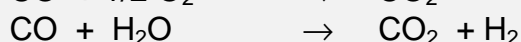
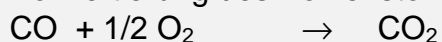
An der Katalysatoroberfläche findet die Umsetzung der reduzierend wirkenden Gase CO, CH mit O₂ oder NO statt. Die Motorsteuerung muß so erfolgen, daß am Katalysator wechselweise ein fettes und ein mageres Gemisch ankommt (1-2 sec.). Die Katalysatoroberfläche muß dazu Sauerstoff speichern können.

Chemische Reaktionen bei der katalytischen Reinigung von Benzinabgasen

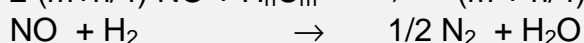
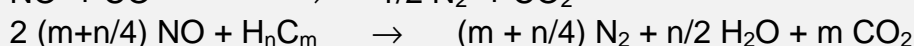
Konvertierung der Kohlenwasserstoffe:



Konvertierung des Kohlenstoffmonoxid

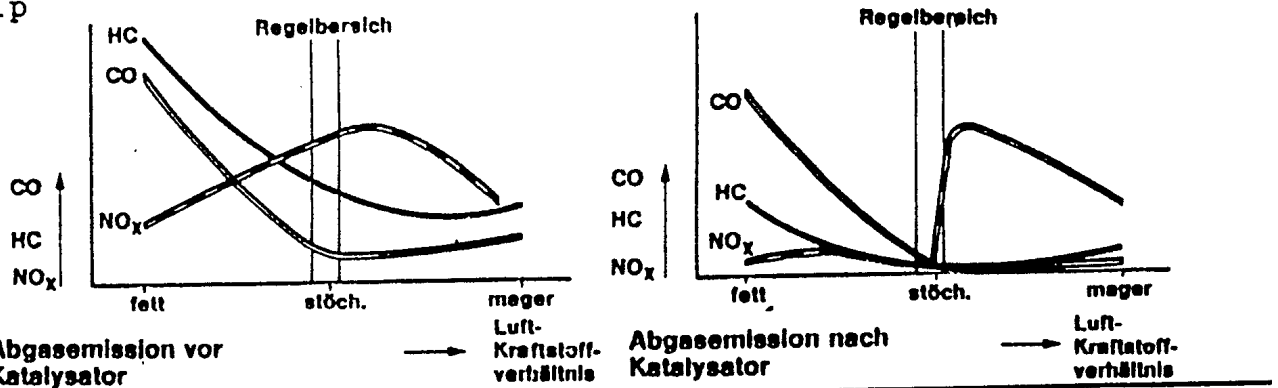


Konvertierung der Stickstoffoxide

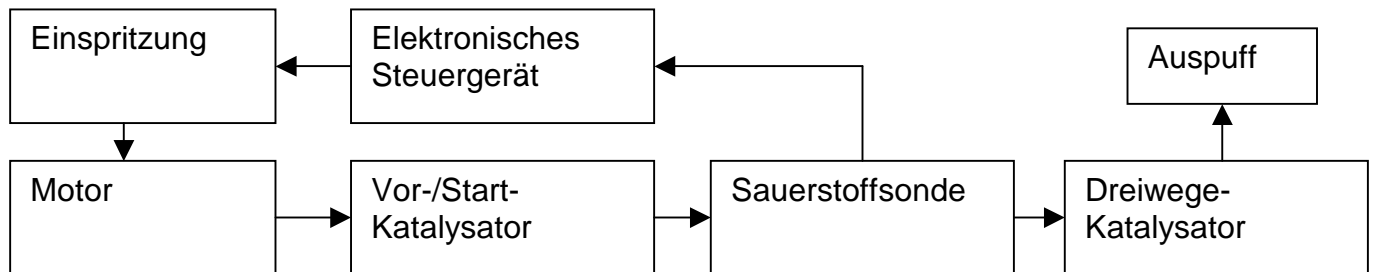


V3.1: Abgasmessung

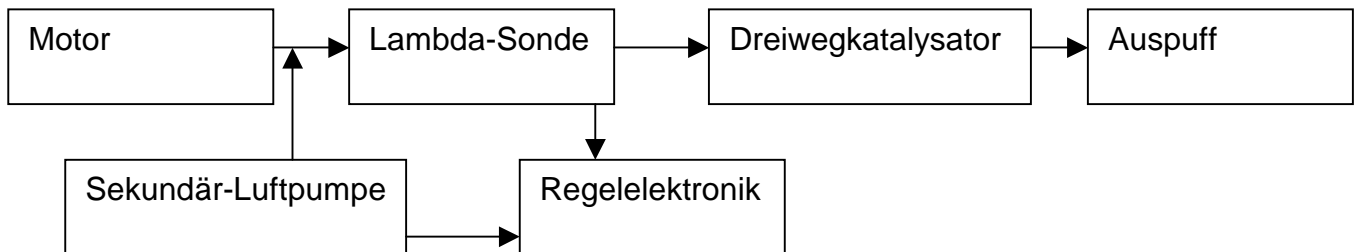
Prinzip



Schema der Sauerstoffsonden-Regelung im Automobil



Schema der Sauerstoffsonden-Regelung am Modellmotor



Aufgabe: Bestimmen Sie die Abgas-Zusammensetzung bei verschiedenen Betriebszuständen.

wichtig: Messung der Spannung an der Lambda-Sonde mit hochohmigem Voltmeter

Betriebszustand	Zusatzluft	Spannung λ -Sonde [mV]	Katalysator-Temperatur [°C]	Schadstoffkonzentration			
				vor Kat.		nach Kat	
				CO[%]	NO _x [ppm]	CO[%]	NO _x [ppm]
fettes Gemisch	aus						
mageres Gemisch	ein						
$\lambda = 1$ Gemisch							

3.2. Leistungsmessung an einem Verbrennungsmotor

A) *Lehrerhinweise*

1. Leistungsmessung

Die Leistungsmessung entspricht der Leistungsmessung an der Bohrmaschine

$$P = F \cdot r \cdot 2 \pi \cdot f$$

2. Bestimmung des Wirkungsgrades beim Verbrennungsprozeß - Das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung -

Zur Bestimmung des Wirkungsgrades muß die verbrauchte Benzinmenge gemessen werden. Dazu wird ein Volumen von 1 cm^3 Benzin verbraucht (Dichte ca. $0,65 \text{ g/cm}^3$)

$$W_{\text{mech}} = P \cdot t = F \cdot r \cdot 2 \pi \cdot f$$

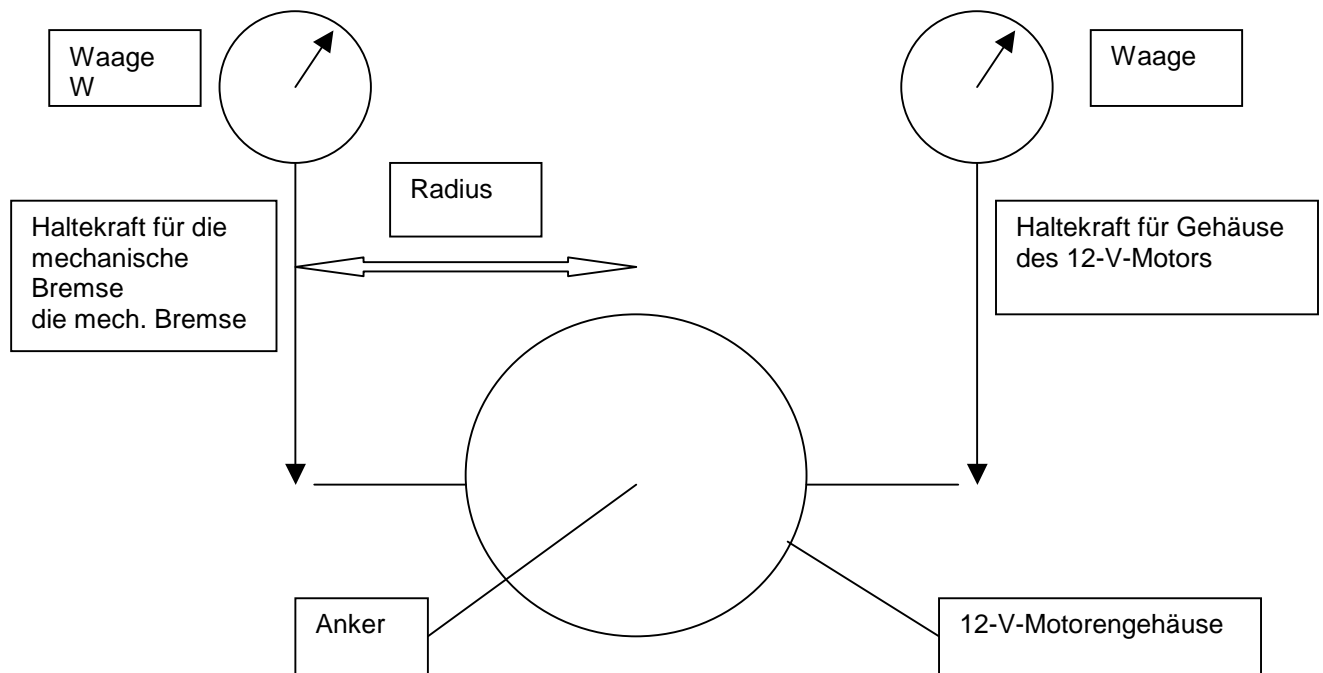
Der Wirkungsgrad ist definiert als

$$\eta_{\text{mech}} = \frac{W_{\text{mech}}}{W_{\text{chem}}} = \quad \%$$

$$\eta_{\text{el}} = \frac{W_{\text{el}}}{W_{\text{mech}}} = \quad \%$$

$$\eta_{\text{ges}} = \frac{W_{\text{el}}}{W_{\text{chem}}} = \quad \%$$

V3.2: Mechanische Leistung des Verbrennungsmotors



Einzeichnen der Drehrichtung des Motors und der auftretenden Kräfte

V_{1a} ohne Lampen

V_{1b} mit 3 Lampen

V_{1c} mit kurzgeschlossenem Generator

	U	I	P_{el}	F	f	P_{mech}	P_{el}/P_{mech}
V_{1a}							
V_{1b}							
V_{1c}							

Frage:

Wie verändert sich die Drehzahl des Verbrennungsmotors bei Belastung?

V3.2: Bestimmung des Wirkungsgrads bei Verbrennungsvorgängen

Meßprinzip:

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{chem}} &= \Delta H \cdot m \\ \Delta W_{\text{mech}} &= F \cdot r \cdot 2 \pi \cdot f \cdot t \\ \Delta W_{\text{el}} &= U \cdot I \cdot t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{Benzin}} &= 45 \text{ kJ/cm}^3 \\ \text{Dichte}_{\text{Benzin}} &= 0,65 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

Betreiben Sie den Motor mit konstanter Drehzahl und bestimmen Sie den Wirkungsgrad bei der Umwandlung verschiedener Energieträger.

$$W_{\text{mech}} = P_{\text{mech}} \cdot t$$

$$W_{\text{el}} = P_{\text{el}} \cdot t$$

$$W_{\text{chem}} = \Delta H \cdot m$$

$\eta_{\text{mech}} =$	$\frac{W_{\text{mech}}}{W_{\text{chem}}}$	$=$	%
$\eta_{\text{el}} =$	$\frac{W_{\text{el}}}{W_{\text{mech}}}$	$=$	%
$\eta_{\text{ges}} =$	$\frac{W_{\text{el}}}{W_{\text{chem}}}$	$=$	%

Fragen: 1. Vergleiche die Wirkungsgrade bei den verschiedenen Umwandlungen ?
2. Wovon hängt der Wirkungsgrad der Umwandlung ab