

Messung 3

MESSUNG EINES AUS OTTO MOTOR UND ELEKTRISCHEN GENERATOR BESTEHENDEN MASCHINENAGGREGATES

Ziel der Meßübung: Bestimmung des Brennstoffverbrauchs, des spezifischen Brennstoffverbrauchs, Aggregatwirkungsgrades, mittleren Wirkungsgrades und mittlerer Belastung.

Die Elemente des Aggregates sind: Ein mit Benzin angetriebener, luftgekühlter Ein-Zylinder Otto-Motor, Vergaser und ein mit ihm gekoppelter Generator.

Wirkungsweise des Viertakt Otto-Motors:

In Otto-Motoren (mit anderer Bezeichnung Funkzündungsmotoren) gelangt der Brennstoff mit Luft gemischt in den Zylinder. Gasförmige Brennstoffe können zur Luft gemischt werden; flüssige Brennstoffe müssen jedoch durch Zerstäubung oder Verdunstung vergast werden. Dieses Gemisch wird vom Kolben komprimiert in dem Maße, daß die Endtemperatur der Kompression die Zündtemperatur noch nicht überschreitet. In der letzten Phase der Kompression wird das Gemisch von einem elektrischen Funken angezündet. Der darauffolgende Takt ist die Expansion, die eigentliche Arbeit wird während dieses Taktes geleistet.

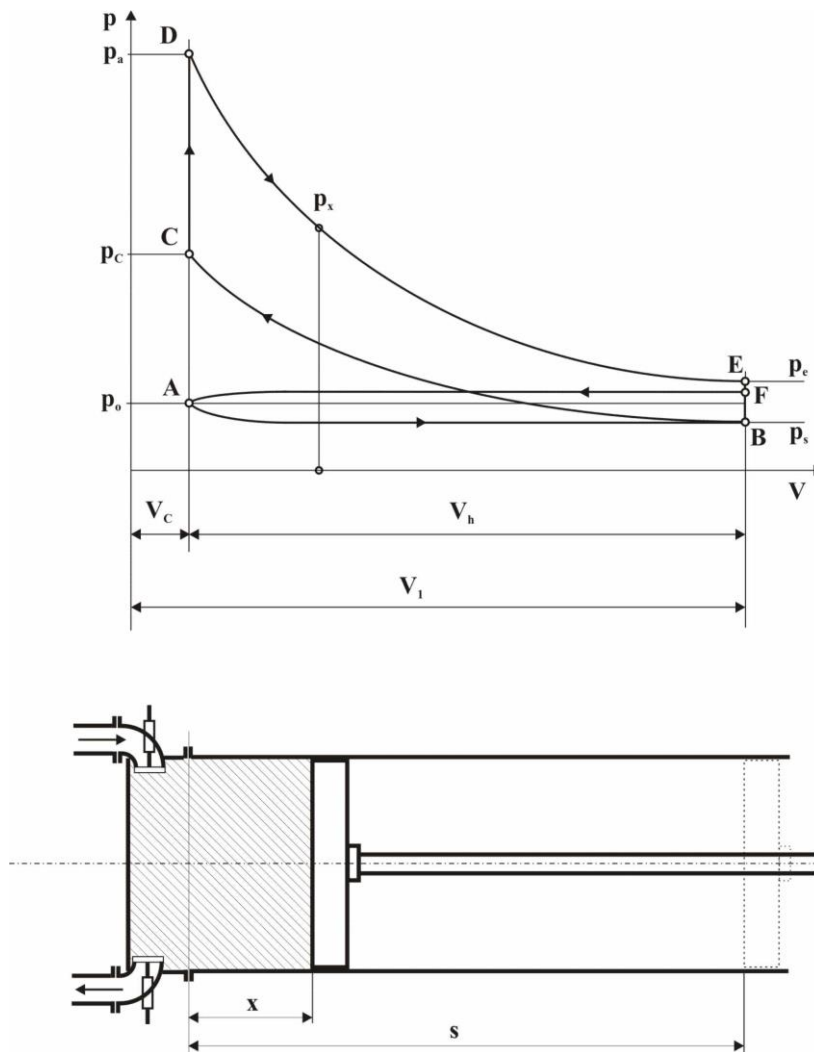


Abb. 1

Ideales Indikator-Diagramm des Viertaktmotors, darunter der Schnitt des Zylinders

Der Arbeitsprozeß eines Viertaktmotors kann am besten durch sein Indikator-Diagramm beschrieben werden. Es zeigt den Zylinderdruck in Abhängigkeit der Kolbenposition, bzw. des Zylindervolumens. Theoretisch wird das brennbare, komprimierte Gemisch vom Funken gleichzeitig im oberen toten Punkt (felső holtpont = FHP) angezündet, die Energie wird theoretisch beim konstanten Volumen freigesetzt. Das so konstruierte ideale Indikator Diagramm ist in der **Abb. 1** gezeigt.

Im **realen Indikator Diagramm** sind die Ecken, Spitzen (wegen der verspäteten Zündung und nicht unendlicher Brenngeschwindigkeit) abgerundet.

Während dem Saugtakt (Takt I.; Linie A – B) saugt der Kolben das Gemisch durch das offene Saugventil in den Zylinder. Das Gemisch wird vom Vergaser erzeugt, der sich vor dem Drosselventil im Saugrohr befindet. (In neueren Motoren wird das Gemisch direkt in den Zylinder während der Kompression eingespritzt.)

Die Prinzipskizze des **Vergasers** wird in **Abbildung 2** gezeigt. Der Kolben saugt das Gemisch durch ein in der Mitte eingeschnürtem Rohr in den Zylinder ein. Im engsten Querschnitt des Venturi-Rohr ähnlichen Rohrstücks befindet sich eine Düse. Der Flüssigkeitspegel wird durch ein mit einem Schwimmer geregelten Ventil in konstanter Höhe gehalten. Die in kleine Tröpfchen zerstäubte Flüssigkeit wird vom Luftstrom mitgerissen und kommt in den Zylinder teils vernebelt, teils verdampft. Das hier beschriebene Funktionsprinzip des Vergasers stammt vom Professor unserer Universität, Donát Bánki aus dem Jahr 1893. (Sein Portrait ist auf dem Universitätszepter zu sehen, er war der Gründer und erster Leiter unseres Lehrstuhls, seine Bronzestatue steht in der Aula der Universtät.) Der einfache Vergaser gewährleistet die gleichmäßige Zusammensetzung des Gemisches bei veränderlicher Belastung nicht, weil bei erhöhter Luftgeschwindigkeit auch die Brennstoffmenge größer wird.

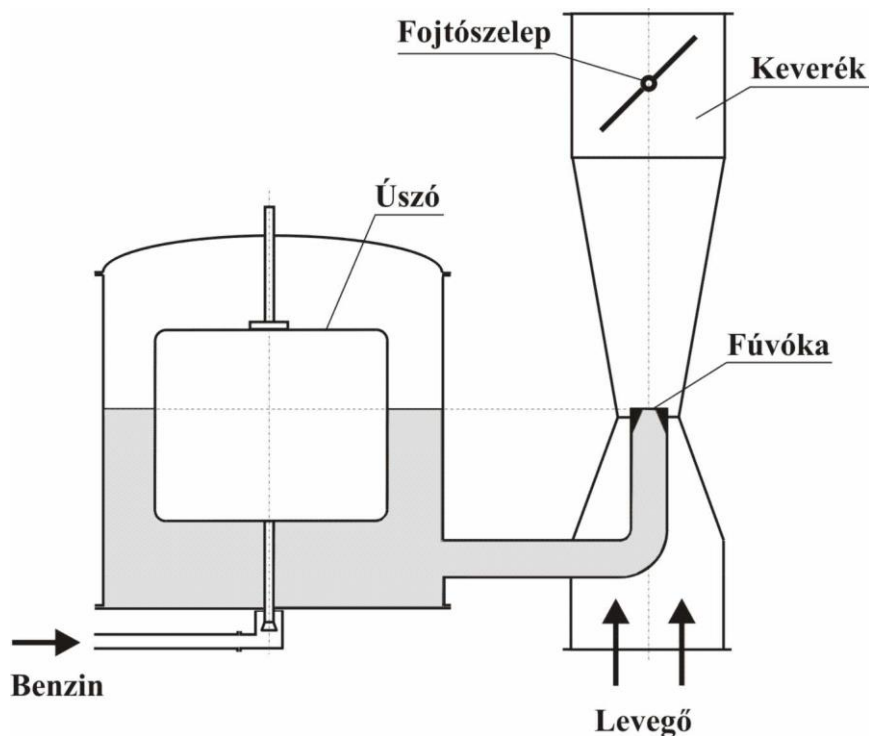


Abb. 2.
Skizze des Vergasers

Der Druck p_s des Gemisches, das während des Saugens mit hoher Geschwindigkeit einströmt, ist wegen Strömungsverluste kleiner als der Atmosphärendruck p_o (Depression). Deswegen

liegt bei offenem Ventil die Sauglinie A-B etwa um 0,1 bar unter p_o , bei gedrosseltem Ventil kann diese Differenz bis zu dem dreifachen anwachsen.

Während der Kompression (Takt II. Linie B – C) wird das Gemisch vom Druck p_s auf den Enddruck p_c komprimiert. Wenn man die Kompression als adiabatisch betrachtet, d.h. Wärme wird weder zu noch abgeführt und auch die Verluste vernachlässigt werden, dann ist der Enddruck

$$p_c = p_s \left(\frac{V_1}{V_c} \right)^\kappa,$$

und die Endtemperatur

$$T_c = T_s \left(\frac{V_1}{V_c} \right)^{\kappa-1}.$$

mit V_c das Volumen bei voller Kompression, V_s das Volumen das dem Zylinder-Schub entspricht, (das Produkt des Schubes s und der Querschnittsfläche des Zylinders $A = D^2 \pi/4$); $V_1 = V_c + V_s$ ist die Summe beider Volumina; κ ist ein für die Kompression bei obigen Ansätzen gültiger dimensionsloser Wert.

Der Enddruck p_c wird durch den Selbstzündpunkt des Gemisches begrenzt, d. h. durch die Temperatur, bei dem sich das Gemisch von selbst anzündet.

Der Quotient V_1/V_c wird Kompressionsverhältnis (ε) genannt.

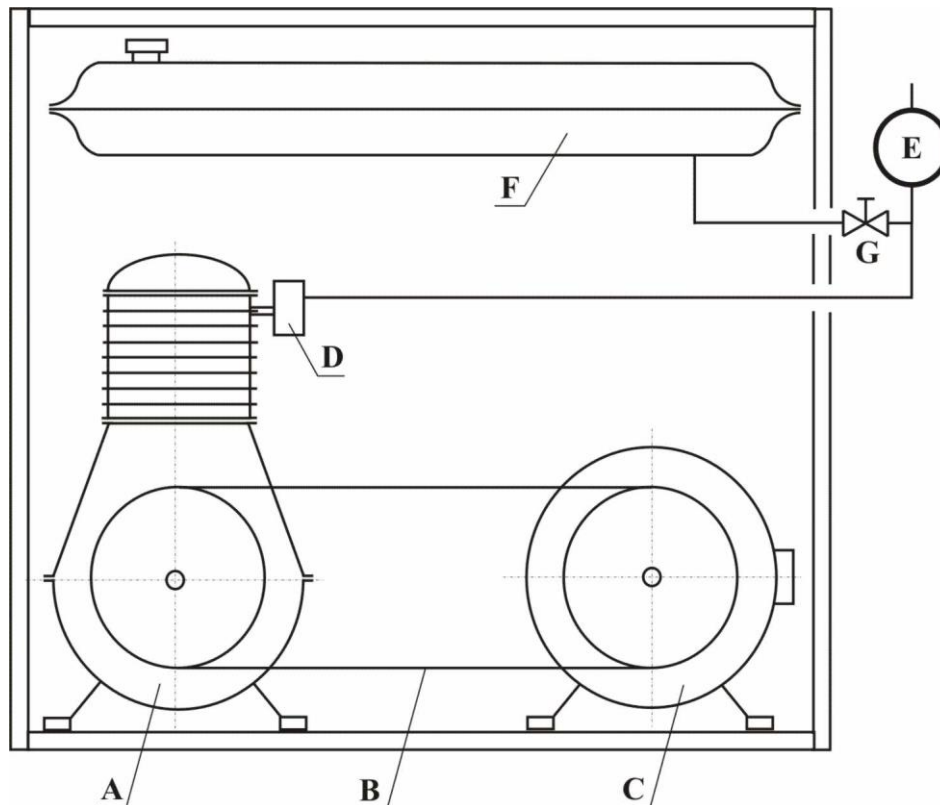
Zündung. Das Gemisch wird in der Nähe des Toten Punktes des Kolbens durch eine elektrischen Funke angezündet. Dazu dienen die Zündkerzen: hier entsteht der Funke durch einer Hochspannung die mit dem Transformator erzeugt wird. Im idealen Indikatordiagramm läuft der Brennvorgang so schnell ab, daß sich das Volumen im Zylinder inzwischen nicht ändert; Der Druck steigt von p_c auf p_a (der Linie C - D entsprechend). Die Endtemperatur und der Enddruck läßt sich aus der Zusammensetzung des Gemisches und des Benzin-Heizwertes berechnen.

Der Brennvorgang ist wirksam, wenn die Front von der Kerze zum Zylinder schnell aber stetig fortläuft. In ungünstigem Fall entzündet sich jedoch das Gemisch an mehreren Stellen von selbst – diese Erscheinung wird Selbstzündung genannt. Der Enddruck p_c wird auch durch die Gefahr der Selbstzündung begrenzt.

Wegen des endlichen Wertes der Brenngeschwindigkeit soll die Zündung vor dem Erreichen des oberen toten Punktes erfolgen. Die Lage der gewünschten Vorzündung – die als Winkelstellung der Kurbelwelle des Zylinders angegeben wird – hängt von der Konstruktion des Motors, von der Drehzahl, Belastung, Art und Zusammensetzung des Gemisches ab.

Während des **Arbeitsaktes** (Takt III.; Linie D – E im Diagramm) werden die Abgase – im idealen Fall ohne Wärmeabgabe – expandiert. Der Druck fällt inzwischen von p_a auf p_e (siehe Linie E - F).

Während des **Auspufftaktes** (Takt IV.; Linie F - A) schiebt der Kolben die Abgase vom Zylinder durch die Auspuffventile aus. Wegen des Strömungswiderstandes ist der Druck p_k inzwischen um einigen 10 kPa Druck höher, als der äußere Druck p_o . Am Ende des vierten Taktes schließen die Auspuffventile und der beschriebene Prozeß fängt vom Neuen an.



A – Viertakt Otto-Motor
 B – Getriebe
 C – Generator
 D – Vergaser

E - Meßgefäß
 F – Brennstoffbehälter
 G - Kugelhahn

Abb. 3.
 Skizze der Meßanordnung

Versuchseinrichtung:

In der Versuchseinrichtung treibt der Otto-Motor durch ein Getriebe einen Generator an. Die Skizze der Meßanordnung ist in der **Abbildung 3**, die Farbfotos der Versuchseinrichtung im **Anhang** zu sehen.

Daten der Versuchseinrichtung:

Typ des Motors: Einhell TC-PG 25/1/E5 Luftgekühlter 4 Takt Einzylinder Otto-Motor

Herstellungsjahr: 2022.

Brennstoff: unverbleites Benzin mit Oktanzahl 100

Leistungsdaten des Aggregates: $U = 230 \text{ V}$; $f = 50 \text{ Hz}$; $P_N = 2.1 \text{ kW}$

Schaltbild für die Messung des Brennstoffverbrauches (siehe **Abb. 4**):

Das Meßgefäß liegt unter dem Flüssigkeitspegel im Meßbehälter, wodurch er beim Öffnen des Kugelhahnes G durch Zufließen mit Brennstoff aufgefüllt werden kann. Vor dem Beginn der Wägung wird der Kugelhahn G verschlossen, damit vom Behälter kein Brennstoff mehr zufließt. Danach wird die Zeit des Absinkens des Brennstoffpegels zwischen den zwei Markierungen gemessen. Nach Abstellen der Stoppuhr soll der Hahn gleich wieder geöffnet werden, damit der Motor auch weiterhin mit Brennstoff versorgt wird.

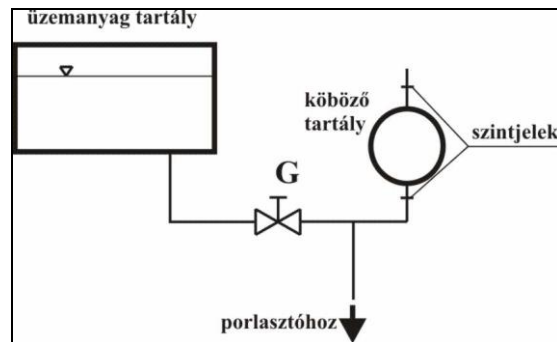


Abb. 4

Messung des Brennstoffverbrauchs

Volumen des Meßgefäßes	$V_K = 22.1 \text{ cm}^3$
Zeit der Wägung	$t \text{ [s]}$
Volumenstrom des Brennstoffes	$q_b = \frac{V_K}{t}$
Dichte des Brennstoffes	$\rho_b = 740 \text{ kg/m}^3$
Massenstrom des Brennstoffes	$\dot{m}_b = q_b \rho_b$

Die Änderung der Nutzleistung und dadurch die Belastung des Aggregates erfolgt mit dem Umschalten der Widerstände die in den Widerstandskasten eingebaut sind (siehe **Abb. 5**).

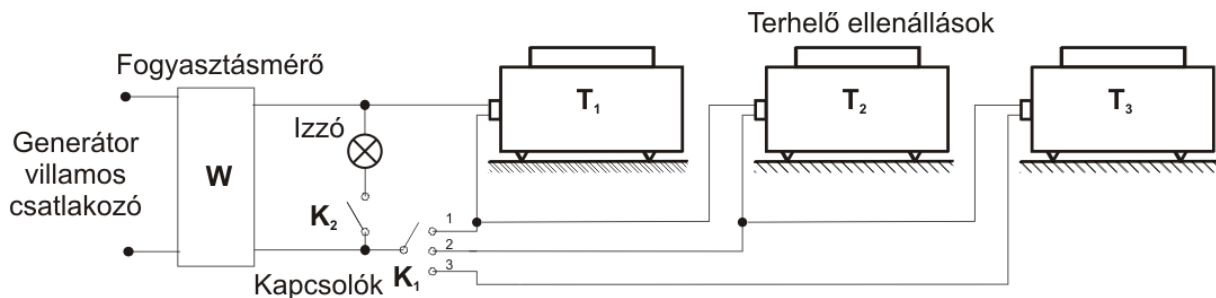


Abb. 5

Widerstandskasten zur Änderung der Belastung

Der spezifische Brennstoffverbrauch ist der Brennstoffmassenstrom pro Nutzleistungseinheit, d.h. $b = \frac{\dot{m}_b}{P_{Nutz}}$. Der Belastungsbeiwert ist das Verhältnis der momentanen

Nutzleistung zur Nennleistung $x = \frac{P_{Nutz}}{P_{Nenn}}$. Der Heizwert des Brennstoffs ist: $H_b = 43.6$

MJ/kg. Damit ist die Gesamtleistung $P_{Ges} = \dot{m}_b H_b$.

Der Wirkungsgrad des Aggregates ist der Quotient der Nutzleistung und der Gesamtleistung:

$$\eta = \frac{P_{Nutz}}{P_{Ges}}$$

Zur Beurteilung des Betriebes einer Maschine bei veränderlicher Belastung genügt die Kenntnis des Wirkungsgrades bei Nennbelastung nicht, man muß in solchen Fällen auch den mittleren Wirkungsgrad kennen. Daraus kann man die Wirtschaftlichkeit des Betriebes beurteilen.

Den **mittleren Wirkungsgrad** η_{mittl} erhält man, als den Quotienten der Nutzarbeit W_{Nutz} und der Gesamtarbeit W_{Ges} während der Gesamtzeit t des Betriebes:

$$\eta_{\text{mittl}} = \frac{W_{\text{Nutz}}}{W_{\text{Ges}}} = \frac{\int_0^t P_{\text{Nutz}} dt}{\int_0^t P_{\text{Ges}} dt} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{Nutz}_i} t_i}{\sum_{i=1}^n \frac{P_{\text{Nutz}_i} t_i}{\eta_i}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i t_i}{\eta_i}}$$

Hier sind

n – die Anzahl der Belastungszeitspannen während der gesamten Betriebszeit

t_i – die Zeitdauer der i -ten Belastungsstufe

x_i – der Belastungsbeiwert der i -ten Belastungsstufe

η_i – der Wirkungsgrad in der i -ten Belastungsstufe

Der mittlere Belastungsbeiwert während des Gesamtbetriebes ist

$$x_{\text{mittl}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

Der mittlere Belastungsbeiwert und der durchschnittliche Wirkungsgrad kann in einem hypothetischen Fall berechnet werden, wo das Aggregat 10 Minuten lang mit 250 W Nutzleistung, 20 Minuten lang mit 800 W Nutzleistung und 30 Minuten lang mit 1400 W Nutzleistung betrieben wird. Des Weiteren ist die erforderliche Benzinmenge für einen einstündigen Betrieb des Aggregates bei obigem Betrieb zu bestimmen. Die benötigten η_i und b_i Werte sollen nach der Berechnung von x_i aus den angefertigten Diagrammen entnommen werden!

Schritte des Anfahrens der Einrichtung:

1. Einschalten des Absaugventilators
2. Öffnen des Benzinhahnes und Abwarten bis das Meßgefäß aufgefüllt wird
3. Einschalten des elektrischen Hauptschalters
4. Ausziehen des Startknopfes
5. Starten des Motors mit dem Startbowden
6. Zurückschieben des Startknopfes
7. Einschalten des elektrischen Hauptschalters der Belastungswiderstände

Ablauf der Messung:

Das Einstellen der Meßpunkte (Betriebszustände) erfolgt in folgenden Schritten:

1. Leerlauf Messung. Es ist kein Lastwiderstand eingeschaltet.
2. Elektrischer Widerstandskasten in Stellung 1
3. Elektrischer Widerstandskasten in Stellung 2
4. Elektrischer Widerstandskasten in Stellung 3
5. Elektrischer Widerstandskasten in Stellung 3 + 250 W Glühlampe eingeschaltet
6. Elektrischer Widerstandskasten in Stellung 2 + 250 W Glühlampe eingeschaltet
7. Elektrischer Widerstandskasten in Stellung 1 + 250 W Glühlampe eingeschaltet
8. Elektrischer Widerstandskasten ausgeschaltet, 250 W Glühlampe eingeschaltet

Die Meßdaten und berechneten Werte werden in die folgende Tabelle eingetragen:

No.	t	P_{Nutz}	q_b	\dot{m}_b	b	x	P_{Ges}	η
	[s]	[W]	[cm ³ /min]	[kg/s]	[kg/kWh]	[-]	[kW]	[-]
1.								
2.								
...								
8.								

Schritte des Ausschaltens der Meßeinrichtung:

1. Ausschalten der Belastungswiderstände
2. Schließen des Kugelhahnes
3. Abwarten bis der Benzinpegel im Meßgefäß absinkt
4. Ausschalten des elektrischen Hauptschalters
5. Nach etwa 15 Minuten Ausschalten des Absaugventilators

Nach Beenden der Messung sollen (auf Millimeterblättern) folgende Diagramme angefertigt werden:

1. $b = f(x)$ spezifischer Brennstoffverbrauch über der Belastungsbeiwert
2. $\eta = f(x)$ Wirkungsgrad des Aggregates über der Belastungsbeiwert

VORBEREITUNG AUF DER MESSUNG

- Bitte mitnehmen 1 Stück Millimeterpapier, Bleistift, Lineal, und Rechenmaschine auf der Messung!
- Füllen Sie das Bianco-Protokoll bis dem 4. Punkt aus! (Die weiteren Punkte werden wir in der Messung ausfüllen.)
- Die Studenten schreiben eine kurze (5-10 Minuten lange) Klausurarbeit vor der Messung. Die Probeaufgaben und die theoretische Fragen sind im Internet (www.hds.bme.hu).

Das Bemerken warten wir auf der folgenden Adresse: pnagy-gyorgy@hds.bme.hu

Anlage



Foto der Meßeinrichtung Nr. 1



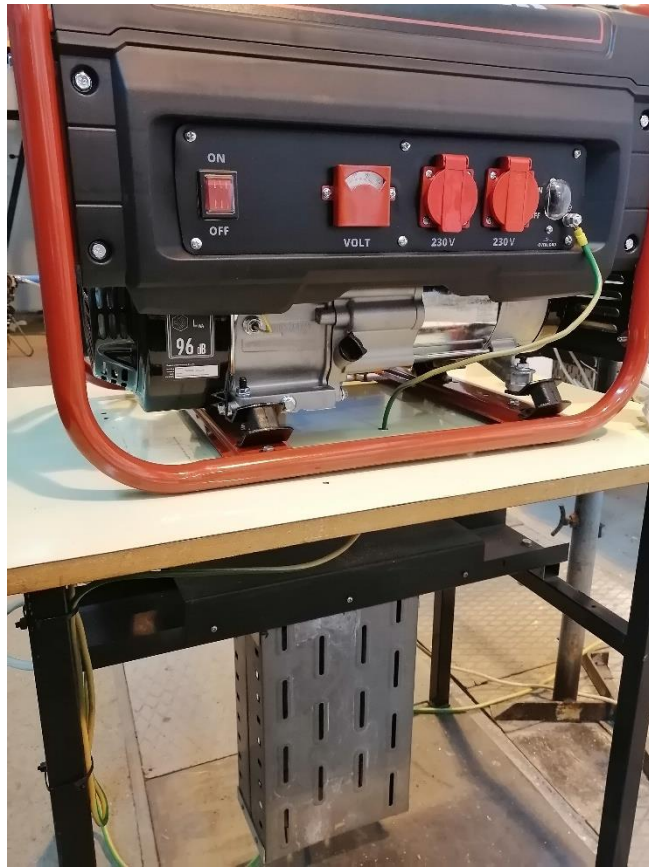
Foto der Meßeinrichtung Nr. 2



Meßgefäß zur Messung des Benzinverbrauchs



Elektrisches Gerät zur Messung der Nutzleistung des Generators



Widerstandskasten unter dem Tisch
zur Änderung der Belastung des Motors