

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

# BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

## Wege in der Physikdidaktik

Band 4

ISBN 3 - 7896 - 0588 - 9

Verlag Palm & Enke, Erlangen und Jena 1998

### Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.  
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle  
genutzt werden. Auf der Homepage

[www.solstice.de](http://www.solstice.de)

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

M. Lichtfeldt

# Das Blockheizkraftwerk im Klassenzimmer

## 1 Vorbemerkung

Die Behandlung der Thermodynamik im Physikunterricht erscheint vielen Schülerinnen und Schülern als trocken, wenn der klassische Einstieg über die kinetische Gastheorie gewählt wird. Die Annahme eines idealen Gases entspricht nicht den Gegebenheiten realer thermodynamischer Prozesse, die ihnen täglich begegnen. Vielmehr sind dem Alltag entlehnte Vorgänge gefragt, die einen Einblick in die Problematik von Energieumsetzungsprozessen und der dabei erreichten Wirkungsgrade geben können. Nur so wird es für Schülerinnen und Schüler möglich sein, die im Physikunterricht gewonnenen Erkenntnisse als alltagsrelevant im Sinne einer Allgemeinbildung zu schätzen. Dies ist ein für die Attraktivität des Faches Physik nicht zu unterschätzender Faktor (LICHTFELDT 1997; TODT 1993). Ein solch komplexes, alle eben beschriebenen Forderungen nach Realitätsbezug erfüllendes Experiment kann durch den funktionstüchtigen Nachbau eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) realisiert werden. Das hier beschriebene Modell eines Blockheizkraftwerkes ist sowohl für den normalen Unterricht in beiden Sekundarstufen (je nach theoretischem „Tiefgang“) als auch für die Realisierung eines Physik-Projektes an der Schule geeignet, da es sowohl viele experimentelle Aufbauphasen als auch viele Möglichkeiten der Meßwerterfassung beinhaltet. Als „fertiges Produkt“ kann es der staunenden Öffentlichkeit präsentiert und zum werbenden Element für den Physikunterricht werden.

## 2 Der Grundbaustein

Bunte Werbeprospekte für kleine, handliche Motor-Generator-Einheiten (siehe Abb. 1) versprechen elektrische Energie zu jeder Tages- und Nachtzeit, von der häuslichen Steckdose unabhängig, an jedem Ort und zu jeder Gelegenheit. Doch wie sieht es mit der Energiebilanz dieser Geräte aus? Halten die kleinen „Kraftwerke“ das Werbeversprechen, die „Formel 1 für Energie“ zu sein?

Bei einer Motor-Generator-Einheit handelt es sich um einen handelsüblichen „Stromerzeuger“, der mit Hilfe eines benzinbetriebenen (Normalbenzin, bleifrei) Viertakt-Verbrennungsmotors einen Generator antreibt. Diese Einheiten werden für Marktstände und als Not- oder Stromaggregate für Laubengrundstücke mit verschiedenen elektrischen Leistungsabgaben vielerorts angeboten. Die hier beschriebene Einheit hat eine maximale Leistungsabgabe von 2200 Watt und kostete 500,- DM. Die gesamte Motor-Generator-Einheit ist kompakt gebaut und wird durch ein internes Gebläse gekühlt. Der Generator ist für 230 Volt Wechselspannung bei 50 Hz ausgelegt. Der Benzinmotor besitzt keine Möglichkeit zur manuellen Regulierung der Benzinzufuhr. Sie wird automatisch an die je nach Leistungsabgabe benötigte Benzinmenge angepaßt.

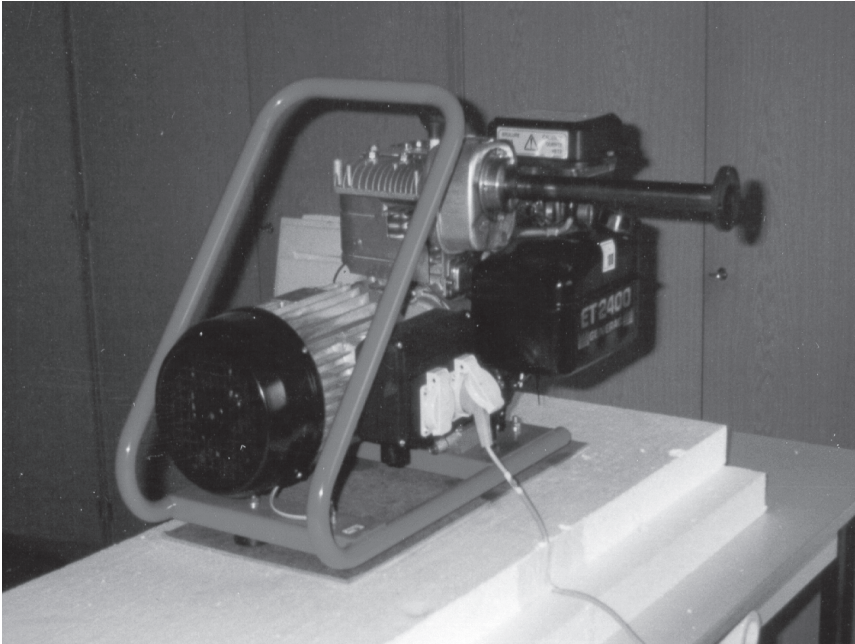


Abb. 1: Die handelsübliche Motor-Generator-Einheit

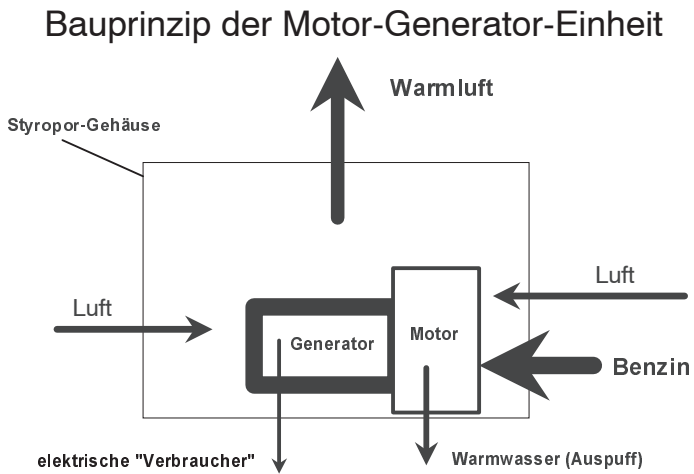


Abb. 2: Schematischer Aufbau des Blockheizkraftwerkes (BHKW)

### 3 Versuchsziele

Die in der Regel von Schülern durchzuführenden Experimente und Aktivitäten können folgende Ziele haben:

- Bestimmung des Benzinverbrauchs in Abhängigkeit von der abgegebenen elektrischen Leistung
- Bestimmung der Abgastemperaturen in Abhängigkeit von der elektrischen Last
- Aufbau eines Modell-Blockheizkraftwerkes mit Hilfe der Motor-Generator-Einheit
- Bestimmung der Leistungsbilanz (Leistungsabgaben an die elektrische Last, an die am Motorblock vorbeiströmende Kühlluft und an das Abgas im Vergleich zur Primärleistung des verbrannten Treibstoffes)
- Bestimmung von Wirkungsgraden für die elektrische Leistung und für die Heizleistung
- Qualitative Bestimmung der im Abgas enthaltenen Schadstoffe

### 4 Der Umbau zum Blockheizkraftwerk

Die Motor-Generator-Einheit dient in dem hier beschriebenen Modell nicht nur zur Erzeugung elektrischer Energie, sondern sie soll vielmehr als komplexe Einheit mit verschiedenen Energieumsetzungsprozessen experimentell erfaßt werden. Dazu bedarf es außer der Bestimmung der vom Generator abgegebenen elektrischen Energie der Aufnahme der Luftkühlung in den Meßprozeß sowie der Erfassung der vom Abgas abgeführten Energie.

Die gelieferte elektrische Energie ist die am einfachsten zugängliche Meßgröße; sie kann mit Hilfe von U-I-Messungen bestimmt und durch Parallelschalten von Glühlampen veranschaulicht werden.

Größere Schwierigkeit bereitet die Erfassung der nutzbaren Abwärme. Die Motor-Generator-Einheit wurde zu diesem Zweck folgendermaßen umgebaut (Schema in Abb. 2): Sie wurde in ein Gehäuse aus Styropor (Dämmplatten aus dem Baumarkt; ca. 25,-DM) gestellt, um eine definierte Strömung der durch den Motor erwärmten Luft zu erhalten. Um eine bessere Umströmung des Motor-Generatorblockes mit Kühlluft zu erhalten, wurden zwei zusätzliche Gebläse installiert, die wegen der gesamtenergetischen Betrachtungen die elektrische Energie vom Generator erhalten. Als zweckmäßig haben sich in etwa gleich große Eintrittsöffnungen und eine Austrittsöffnung für den Luftstrom erwiesen. Wir wählten je 14 x 14 cm<sup>2</sup> als Querschnitt. Jeweils bei Ein- und Austritt ist die Lufttemperatur zu bestimmen. Zusätzlich ist an der Austrittsöffnung zur Bestimmung des jeweiligen Luftvolumens noch die Luftgeschwindigkeit mit einem Windmesser aufzunehmen.

Der Auspuff wird so weit verlängert (z.B. durch Kupfer- oder Eisenrohre), daß er an ein Kühlgefäß mit definierter Wassermenge angeschlossen werden kann (Abb. 3). Durch das Kühlgefäß, einen 20-Liter fassenden Plastikeimer mit Deckel, werden die Auspuffgase mit Hilfe eines vielfach gekrümmten Kupferrohres (aneinander gelötete Rohrkrümmer) zur Wärmeabgabe hindurchgeleitet. Vor und nach dem

Kühler sind die Abgastemperaturen zu messen und im Kühler die Wassertemperatur. Das Auspuffende ist soweit zu verlängern, daß die Gase außerhalb des Versuchsraumes ausströmen, so daß keine Vergiftungsgefahr besteht. Die Dichtigkeit der Rohre muß aus Sicherheitsgründen gewährleistet sein. Andernfalls müssen die Versuche im Freien durchgeführt werden.

Der sich in der Motor-Generator-Einheit befindliche Tank besitzt eine innere Falzkante, bis zu der er nach jedem Versuch wieder aufgefüllt wird. Die nachgefüllte Menge ist ein Maß für das verbrannte Benzin.

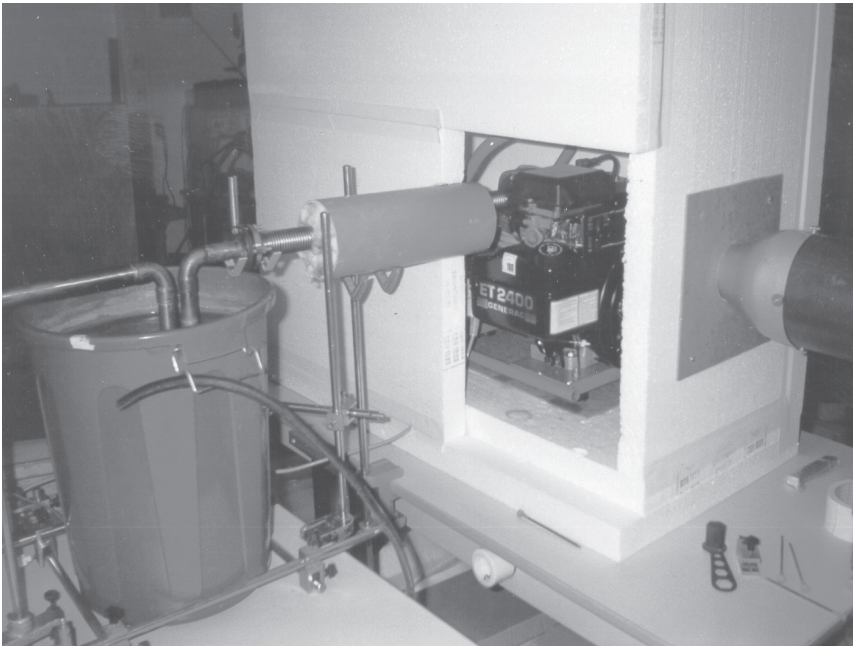


Abb. 3: Motor im Gehäuse mit Anschluß an die Wasserkühlung des Auspuffs

## 5 Meßbeispiel

Die nachfolgende Tabelle zeigt ein Meßbeispiel für die Belastung des Generators durch 6 Glühlampen à 40 Watt und die beiden Gebläse à 120 Watt.

An dem Modell sollten grundsätzlich die Messungen erst nach einer Warmlaufphase des Motors von ca. 15 Minuten bei mittlerer elektrischer Last durchgeführt werden. Damit erreicht der Motorblock seine Betriebstemperatur, so daß während der eigentlichen Messung keine zusätzlichen „Wärmeverluste“ auftreten.

Für *jede* elektrische Last wurde eine Messung über 10 Minuten durchgeführt, damit sich Schwankungen ausmitteln konnten. Messungen von 45 Minuten Län-

ge haben ergeben, daß sich etwa 7-8 Minuten nach Änderung der elektrischen Last das Gesamtsystem wieder stabilisiert hat.

<b>Zeit</b>	t in s	0	120	240	360	480	600
<b>Benzin</b>							
Volumen	V in ml	-	-	-	-	-	240
<b>Temperatur</b>	$\vartheta$						
$\vartheta$ (Kühlwasser)	in °C	23,0	24,0	25,5	27,5	29,5	31,5
$\vartheta$ (Abgas (warm))	in °C	-	285	315	323	327	335
$\vartheta$ (Abgas (kalt))	in °C	-	38	42	43	43	44
<b>Warmluft</b>							
$\vartheta$ (Zuluft)	in °C	25	25	25	25	25	25
$\vartheta$ (Abluft)	in °C	-	52	54	55	55	55
<b>Geschwindigkeit</b>	in m/s	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
<b>Stromstärke</b>	in A	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
<b>Spannung</b>	in V	240	240	240	240	240	240
Kühlwasservolumen 20 l; Warmluftöffnung 400cm <sup>2</sup>							

Tabelle : Beispiel einer Messung bei einer elektrische Last aus 6 Glühlampen à 40 Watt und den beiden Gebläsen à 120 Watt:

### 5.1 Messung der vom Benzin bei der Verbrennung abgegebenen Energie

Zunächst muß der Brennwert des Benzins bestimmt werden. Mit Hilfe eines Kalorimeters (z.B. Fa. Neva, Nr. 4080186) läßt sich die Verbrennungswärme dadurch bestimmen, daß die Verbrennungsgase durch eine in der Kalorimeterflüssigkeit befindliche Kupferwendel geleitet werden und die Temperaturzunahme der Flüssigkeit gemessen wird. Der Brennwert für das benutzte Normalbenzin wurde zu 36,7 kJ/g und die Dichte zu  $\rho = 0,78$  kg/l bestimmt. Die bei der Verbrennung von Benzin abgegebene Leistung berechnet sich nach:

$$\text{Leistung} = \text{Brennwert} * \text{Dichte} * \text{Volumen} / \text{Zeit} .$$

In dem Meßbeispiel wurde die Leistung  $P = 10496$  W gemessen. Abb. 4 zeigt den Benzinverbrauch in Abhängigkeit von der elektrischen Last.

### 5.2 Leistungsabgabe an die elektrische Last

Die elektrische Last wird über die Zahl der angeschlossenen Glühlampen eingestellt. Glühlampen sind empfehlenswert, da sie eine rein „ohmsche“ Last darstellen und deutlich jenen Aspekt des Modells in den Vordergrund rücken, der das Hauptanliegen der Anlage darstellt, nämlich die Umwandlung fossiler Energie in elektrische. Für die elektrische Leistung gilt in diesem Fall einfach  $P = U I$ . Würden Geräte angeschlossen, die eine induktive Last darstellen, so erforderte die Leistungsmessung wegen der Phasenverschiebung zwischen  $U(t)$  und  $I(t)$  aufwendigere Messungen.

In dem in der Tabelle mitgeteilten Beispiel mißt man für die insgesamt vom Gene-

rator abgegebene elektrische Leistung  $P = 482 \text{ W}$ . Die Abweichung von dem bei sechs Lampen erwarteten Wert ( $6 \times 40 \text{ W}$ ) kommt daher, daß zusätzlich am Generator der Gebläsemotor zur Kühlung der Motor-Generator-Einheit angeschlossen ist.

Interessant ist auch die Untersuchung, inwieweit die Spannung am Generator von der Last abhängt, da man hierdurch die Größe des Generatorwiderstandes abschätzen kann. Bild 5 zeigt dazu die vom Generator gelieferte Spannung in Abhängigkeit von der elektrischen Last. Deutlich ist zu sehen, daß schon bei 1000 Watt Anschlußleistung die vom Hersteller angegebene Nennspannung erreicht ist. Bei größeren Belastungen sinkt die Spannung, so daß Geräte, die eine definierte, konstante Nennspannung benötigen, dann nicht mehr damit betrieben werden können. Lampen würden dunkler leuchten.

### **5.3 Leistungsabgabe an den „Warmwasserbereiter“**

Die Auspuffgase werden zur Kühlung durch ein Wasserbad geleitet. Über die Änderung der Kühlwassertemperatur kann die von den Auspuffgasen abgegebene Energie gemessen werden. Im Modell für das Blockheizkraftwerk repräsentiert dieser Kühler symbolisch z.B. den Warmwasserbereiter in der Gartenlaube. Bei den Messungen zeigte sich eine sehr gute Kühlung der Abgase. Selbst bei Vollast des Motors und bei  $39^\circ\text{C}$  Kühlwassertemperatur war noch eine Kühlung der Abgase von  $410^\circ\text{C}$  auf ca.  $55^\circ\text{C}$  möglich, so daß die an die Umwelt abgegebene Energie („Restwärme“) im Vergleich zur Abgabe der ungekühlten Abgase erheblich reduziert wurde. Bei der Aufstellung der Energiebilanz muß noch der Strahlungsverlust für den Plastikeimer von ca. 110 Watt berücksichtigt werden. In dem Beispiel ergibt sich für die an das Wasser abgegebene Leistung  $P = 1188 \text{ W}$ .

### **5.4 Leistungsabgabe an die „Warmluftheizung“**

Die Luft, die durch das Gebläse den Motor verstärkt umströmt, erwärmt sich und verläßt das Styroporgehäuse durch den als Windkanal konzipierten Auslaß. Der Windkanal ist notwendig, damit die Abluft möglichst laminar nach außen strömt. Nur so kann die Geschwindigkeit der Luft eindeutig bestimmt werden. Die mit der Luft nach außen transportierte Abwärme kann als Warmluft-Raumheizung (im Realfall über Wärmetauscher) für die Gartenlaube angesehen werden. Zur Bestimmung des Luftdurchsatzes (Luftvolumen pro Zeiteinheit) wird die Windgeschwindigkeit innerhalb der Austrittsöffnung des Kanals gemessen (handelsüblicher, für die Schule angebotener Windmesser (z.B. Anemo der Fa. Deuta)). Um den Meßfehler klein zu halten, empfiehlt sich die Messung bei größeren Luftgeschwindigkeiten. Daher sind im Windkanal kleine Austrittsöffnungen vorgesehen, um eine größere Strömungsgeschwindigkeit zu erhalten. Insgesamt muß darauf geachtet werden, daß es im Styroporgehäuse zu keiner Überhitzung kommt, da sonst der Motor durch einen Thermoschalter automatisch abgeschaltet wird. Die von der Luft aufgenommene Leistung berechnet sich nach:

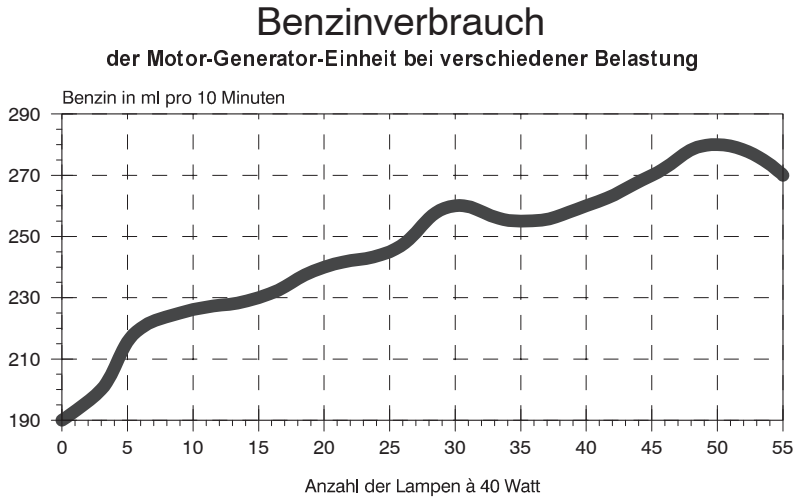


Abb. 4: Benzinverbrauch in Abhängigkeit von der elektrischen Last

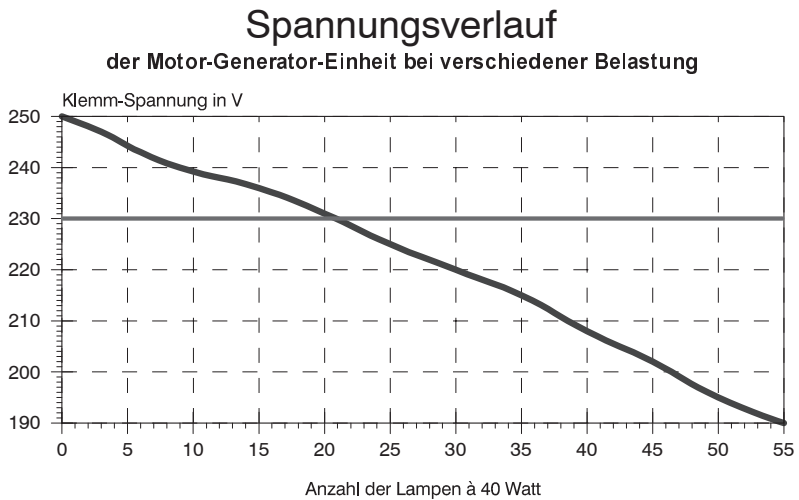


Abb. 5: Generatorspannung in Abhängigkeit von der Last



$$P = c_{wL} \cdot v \cdot A \cdot \rho \cdot \Delta T$$

(P: Leistung,  $c_{wL}$ : spez. Wärmekapazität der Luft; v: Luftgeschwindigkeit; A: Luftaustrittsfläche;  $\rho$ : Dichte der Luft;  $\Delta T$ : Temperaturerhöhung). In dem hier angegebenen Meßbeispiel mit  $c_{wL} = 1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$  und  $\rho_{\text{Luft}} = 1,3 \text{ g}/\text{l}$  ergibt sich daraus eine Leistung von  $P = 6300 \text{ W}$ . Für die Schüler war dies ein unerwartet hoher Wert - gegenüber 480 Watt an elektrischer Leistung. Sie konnten nicht glauben daß die Industrie Geräte mit derart schlechten Wirkungsgraden baut.

### 5.5 Leistung und Wirkungsgrad bei variabler elektrischer Last

Eine vollständige Messung setzt sich aus mehreren Meßdurchläufen zusammen, wie sie oben im Beispiel beschrieben wurden. Es empfiehlt sich ein schrittweises Erhöhen der elektrischen Last um je 3-4 Lampen à 40W. Höhere Anschlußwerte als  $55 \times 40 \text{ W}$  sind nicht empfehlenswert, da dann der äußere Widerstand kleiner wird als der Innenwiderstand des Generators, und die abgegebene elektrische Leistung daher wieder abnimmt.

Die nachfolgenden Graphiken zeigen den Verlauf der Leistung und des Wirkungsgrades als Funktion der Last:

Die Graphik in Abb. 6 veranschaulicht die Gesamtbilanz. Deutlich wird, daß der größte Teil der vom Benzin gelieferten Energie, der in der Motor-Generator-Einheit umgewandelt wird, in die Abwärme geht und damit normalerweise nicht für die Nutzung zur Verfügung steht. Das Konzept des BHKW sieht vor, diesen Energieanteil einer sinnvollen Nutzung zuzuführen. Die Bilanz verbessert sich dadurch so weit, daß nur noch 10% der primären Energie verloren gehen.

Die Graphik in Abb.7 zeigt die Wirkungsgrade, die bei den drei beteiligten Umwandlungsprozessen (Warmluftheizung, Warmwasserbereitung, Elektrizität) erreicht werden, wieder in Abhängigkeit von der Anzahl der eingeschalteten Lampen. Der maximale Wirkungsgrad für die Erzeugung von Elektrizität beträgt knapp 14%.

## 6 Ergebnisse

Die Meßkurven für die Leistungsbilanz und den Wirkungsgradverlauf bei dem Funktionsmodell des Blockheizkraftwerks zeigen eindrucksvoll die bei der Energieumwandlung auftretenden charakteristischen Anteile. Wenn davon ausgegangen wird, daß die Motor-Generator-Einheit handelsüblich nur für die Erzeugung von elektrischer Energie genutzt wird, dann sind nur maximal 14% der Energie im Benzin für diese Energieform nutzbar.

Die restliche Energie geht als Wärme über den Auspuff und direkt vom Motorblock an die Umgebungsluft verloren. Als Heizlüfter wäre diese Einheit besser geeignet, da zwischen 70 und 80% der Gesamtenergie zum Heizen (Kühlwasser und Warmluft) zur Verfügung steht. Für Schüler(innen) ist erstaunlich, daß bereits im Leerlauf ein Leistungsbedarf von fast 7000 Watt durch das Benzin zu decken ist.

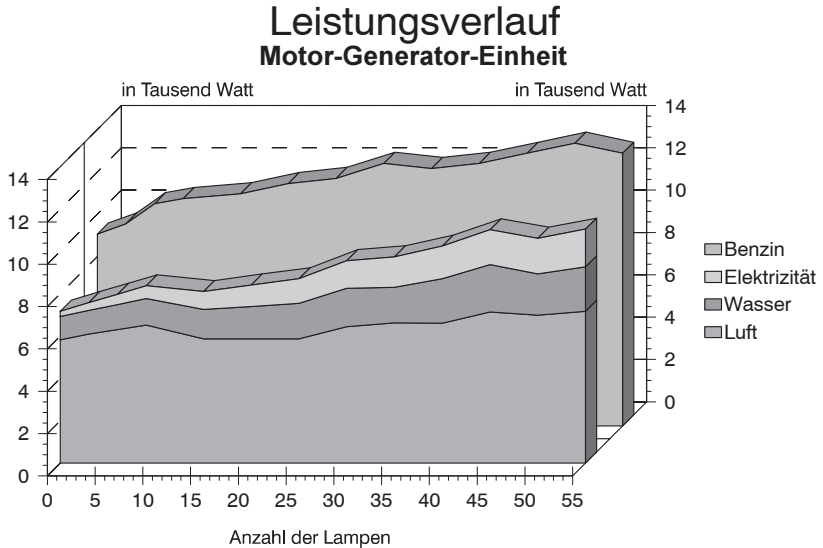


Abb. 6: Leistungsbilanz des Modell-BHKW: Graphik im Hintergrund: Leistung des verbrannten Benzins in Abhängigkeit von der Anzahl der eingeschalteten Lampen; Graphik im Vordergrund: übereinandergeschichtet die jeweiligen Leistungsabgaben an die Luft, an das Kühlwasser und an die Glühlampen, also die gesamte Nutzleistung des BHKW. Sie ist nur ca 10% geringer als die primäre Leistung des verbrannten Treibstoffes. Dieser nur sehr geringe Verlust ist auch für reale BHKWe typisch. Er zeigt die Effektivität dieses Konzepts.

Den Schülern wird an diesem Beispiel besonders deutlich, wie wichtig die Nutzung aller Energieformen ist, die bei der Wandlung fossiler Energie auftreten, was besonders effektiv bei einem Blockheizwerk möglich ist. Nur so sind Gesamtwirkungsgrade möglich, die eine umweltverträglichere Energieerzeugung zulassen. Die in den Meßkurven angezeigten Verluste sind bei den hier durchgeführten Versuchen diejenigen Anteile, die nicht als Gebrauchenergie nutzbar sind (z.B. Rest-Wärmestrahlung).

Die Kurve für den Wirkungsgrad im Fall der an die Luft abgegebene Energie zeigt ein auffallend flaches Minimum, welches seine Erklärung darin findet, daß die Motor-Generator-Einheit bei einer elektrischen Belastung zwischen 600 und 1200 Watt optimal arbeitet.

## 7 Weitere Untersuchungsmöglichkeiten

Für Schüler(innen) mit einem verstärkten Interesse an der Chemie bzw. an der speziellen Abgasproblematik benzinbetriebener Motoren können z.B. qualitative

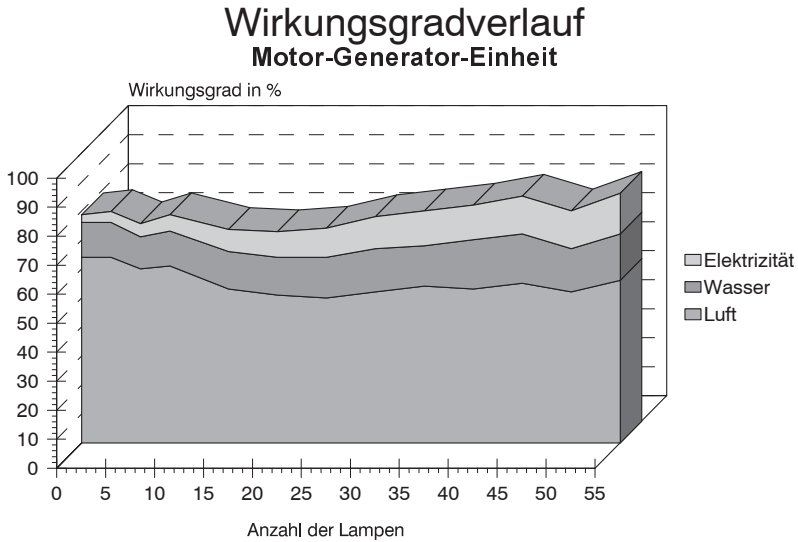


Abb. 7: Wirkungsgrade der beteiligten Umwandlungsprozesse in Abhängigkeit von der elektrischen Last.

Die Wirkungsgrade berechnen sich aus:

$$\eta_{\text{Elekt}} = \frac{P_{\text{Elekt}}}{P_{\text{Benzin}}} \quad \eta_{\text{Luft}} = \frac{P_{\text{Luft}}}{P_{\text{Benzin}}} \quad \eta_{\text{Wasser}} = \frac{P_{\text{Wasser}}}{P_{\text{Benzin}}}$$

Abgasuntersuchungen durchgeführt werden.

Die Auspuffgase werden durch drei hintereinander angeschlossenen Waschflaschen (I; II; III) geleitet. Wenn der Abgasdruck nach dem Kühler nicht mehr zu groß ist und die Abgase nicht mehr eine zu hohe Temperatur besitzen, kann auf ein Adsorptionsrohr mit Glaswolle verzichtet werden. Bei zu niedrigen Abgasdrücken oder einer direkten Messung der Abgase bei externer Benzinverbrennung kann das Hindurchleiten der Abgase durch die Waschflaschen mit Hilfe des Sogs einer Wasserstrahlpumpe ermöglicht bzw. beschleunigt werden.

### 7.1 Erster Versuchsteil:

Die Versuchsreihen werden bei jeweils zwei verschiedenen Füllungen der Waschflaschen durchgeführt:

- a) In der Waschflasche I wird Kohlenmonoxid nachgewiesen. Das Kohlenmonoxid reagiert mit den in der Lösung freigesetzten Silberionen, so daß Silber ausfällt.
- b) In der Waschflasche II können ungesättigte Kohlenwasserstoffe, die den Sauerstoff der Luft angreifen, nachgewiesen werden. Die entstehende Braunfärbung der sodaalkalischen Permanganatlösung kann mit Einschränkungen

als Nachweis angesehen werden.

- c) In der Waschflasche III wird über die Trübung von Kalkwasser Kohlendioxid nachgewiesen.

### 7.2 Zweiter Versuchsteil:

- a) In der Waschflasche I wird mittels der Jod-Jodkaliumlösung Schwefeldioxid nachgewiesen. Es setzt sich im Wasser zu schwefliger Säure um und entfärbt die Lösung.
- b) In der Waschflasche II wird Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid oxidiert, um in der Waschflasche III (siehe c2) nachgewiesen werden zu können.
- c) In der Waschflasche III wird die Saltzmannsche Lösung bei Anwesenheit von Stickstoffdioxid rot-violett eingefärbt.

### 7.3 Herstellung der Reagenzien zur Untersuchung der Abgase

Die chemischen Lösungen lassen sich folgendermaßen herstellen:

1. Herstellung der ammoniakalischen Silbernitratlösung:  
Man löst ca. 1 g Silbernitrat in wenig dest. Wasser (aqua dest.), gibt etwas Natronlauge und soviel konz. Ammoniaklösung hinzu, bis sich der entstandene Niederschlag gerade wieder löst.
2. Herstellung der Saltzmannschen Lösung (s. VDI Richtlinien Nr. 2453)  
Man versetzt in einem 500 cm<sup>3</sup> Meßkolben 2,5 g Sulfanilsäure mit ungefähr 250 cm<sup>3</sup> Aqua dest. und 70 cm<sup>3</sup> Eisessig. Nachdem die Lösung vollständig abgekühlt ist, werden 10 cm<sup>3</sup> 0,1%ige N-(1-Naphthyl)-äthylen-diamindihydrochlorid-Lösung hinzugegeben und mit Aqua dest. bis zur Eichmarke aufgefüllt.
3. Herstellung der sodaalkalischen Permanganatlösung:  
Einige Permanganatkristalle werden in 50 cm<sup>3</sup> Aqua dest. gelöst, mit einer Spatelspitze Natriumkarbonat versetzt und gut umgerührt.
4. Herstellung einer schwefelsauren Kaliumpermanganatlösung:  
2,5 g Kaliumpermanganat werden mit 90 cm<sup>3</sup> Aqua dest. und 5,2 cm<sup>3</sup> Schwefelsäure (konz. 1:3 verdünnt) in einem 100 cm<sup>3</sup> Kolben versetzt. Es wird anschließend mit Aqua dest. bis zur Eichmarke aufgefüllt (PHILIPP 1992, S.9).

## 8 Schlußbetrachtung

Das hier beschriebene Experiment ist mehrfach mit verschiedenen Ausführungen der Motor-Generator-Einheit im Unterricht durchgeführt worden (siehe ESCHNER; FISCHLER; LICHTFELDT; WOLFF 1993). Jedesmal waren die Schüler(innen) begeistert von den Möglichkeiten, die sich durch die Vielfalt der Versuchsmöglichkeiten boten. Zwei Äußerungen von Schüler(innen) sollen dies exemplarisch belegen (LICHTFELDT 1994):

„Die Möglichkeit, Ergebnisse des Kurses im eigenen Leben zu benutzen, hat mir am meisten gefallen. Man kann also den Nutzen des Unterrichts unmittelbar erkennen.“

“Physik war mir immer ein Greuel. Jetzt macht mir der Unterricht richtig Spaß. Viele beneiden uns um die Möglichkeiten an der Schule.”

Gerade in Physik-Grundkursen ist diese Einschätzung von größter Wichtigkeit. Zeigt sie doch gerade, daß Physikunterricht mehr „als trockene Formeln über lebensferne Dinge“ ist. Physikunterricht gewinnt dadurch, neben dem fächerübergreifenden Aspekt, einen allgemeinbildenden Charakter (vgl. auch SCHECKER u.a. 1996).

### **Literatur**

- ESCHNER, J.; FISCHLER, H.; LICHTFELDT, M.; WOLFF, J.: Grundkurse Energieumwandlungen II - VII. In: Physik in der Schule 31 (1993) Heft 2 bis 9.
- LICHTFELDT, M.: Rahmenrichtlinien für den Physikunterricht. Die Balance zwischen Wahlfreiheit und Fachsystematik. In: Keuffer, J. (Hrsg.): Modernisierung von Rahmenrichtlinien - Beiträge zur Rahmenplanentwicklung. Studien zur Bildungsforschung - Band 4, Deutscher Studienverlag, Weinheim 1997.
- LICHTFELDT, M.: Grundkurse Energieumwandlungen VIII. Schüler(innen) haben das Wort. In: Physik in der Schule 32(1994), S. 108-110.
- PHILIPP, E.: Experimente zur Untersuchung der Umwelt. bsv, München 1992
- SCHECKER, H. u.a.: Naturwissenschaftlicher Unterricht im Kontext allgemeiner Bildung. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 49(1996)8, S. 488-492.
- TODT, E.: Schülerempfehlungen für einen interessanten Unterricht. In: Naturwissenschaften im Unterricht - Physik 4(1993)17 und 18, S. 37-38 u. 37-40