

Konzept einer neuartigen Wärmekraftmaschine

H. Daniel

Physik-Department, Technische Universität München, James-Franck-Straße, D-85747 Garching

Z. Naturforsch. **49a**, 1037–1039 (1994); received October 31, 1994

The Concept of a Novel Heat Engine

The concept of a novel heat engine based on Knudsen-thermotransport of gas is outlined. The conversion factor is calculated. For small temperature differences its theoretical value amounts to half the Carnot value. The novel engine may turn out to be particularly suitable for using solar energy.

Key words: Heat engine, Thermotransport, Porous plug, Energy conversion, Solar energy.

1. Ziel der Untersuchung

Die konzipierte neuartige Wärmekraftmaschine ist in Abb. 1 skizziert [1]. Kernstück ist eine Drossel D (Gasdrossel), deren Seitenflächen D_t (links) und D_h (rechts) auf verschiedenen Temperaturen T_t bzw. T_h gehalten werden. Der Durchmesser d der Drosselkanäle zwischen D_t und D_h sei klein gegen ihre Länge l und die mittlere freie Weglänge λ der Gasmoleküle, so daß der Knudsensche Fall vorliegt. λ beträgt z. B. 60 nm für N_2 bei Normbedingungen. An die Drossel schließen sich links und rechts Gasbehälter B_t und B_h an, in denen sich Gas von ebenfalls den Temperaturen T_t bzw. T_h befindet. Durch Wärmezufuhr Q_e , beispielsweise durch Einstrahlung, wird D_h auf höherer Temperatur als D_t gehalten: $T_h > T_t$. An B_h schließt sich nach rechts eine Kraftmaschine K an, die die weitere Wärme Q_k aufnimmt und die mechanische Arbeit W abgibt. Von K führt eine Gasleitung zu einem Wärmetauscher A, der die Wärme Q_a an ein Reservoir der Temperatur T_t abgibt; Q_l , Q_k , W und Q_a seien als während des stationären Betriebs der Maschine umgesetzte Energiemengen pro transportiertes Mol Gas definiert. Das so abgekühlte Gas wird durch eine weitere Leitung nach B_t zurückgeführt. Der Gasfluß sei stationär; er werde als klein angenommen. Er hängt bei gleichem d/l und gleichem Verhältnis von Querschnittsfläche aller Kanäle zu Drosseloberfläche nicht vom Kanaldurchmesser d ab.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Wirkungsweise der Maschine zu erklären und ihren Wirkungsgrad näherungsweise zu berechnen.

2. Arbeitsweise

Befindet sich Gas auf beiden Seiten einer Drossel, so stellt sich im Leerlauf, d. h. ohne Gastransport, ein Dichteunterschied dergestalt ein, daß

$$\varrho_h / \varrho_t = \sqrt{T_t / T_h},$$

wobei ϱ_h die Dichte in B_h und ϱ_t die Dichte in B_t ist [2]. Für ideales Gas, das im folgenden vorausgesetzt sei, ergibt sich daraus

$$p_h / p_t = \sqrt{T_h / T_t} \quad (1)$$

mit p_h als Druck in B_h und p_t als Druck in B_t . Ist der Gastransport genügend klein, so kann man immer noch gut mit den in (1) angegebenen Werten rechnen. Im folgenden sollen Wärmeverluste durch Wärmeleitung und -strahlung in der Drossel von D_h nach D_t und auch sonst außer dem Wärmeübergang in A vernachlässigt werden. Insbesondere soll der Gasaus tausch zwischen B_h und B_t keinen Wärmetransport von B_h nach B_t bewirken.

Die Kraftmaschine K arbeite isotherm. Dann hat das Gas hinter K die Temperatur T_h . Ferner werde in K der Druck so weit reduziert, daß hinter K der Druck p_t herrscht. Das pV -Diagramm für ein Mol Gas, das die Volumina V_h und V_t vor bzw. nach der Expansion in einer Kolbenkraftmaschine K einnimmt, ist somit durch Abb. 2 repräsentiert. Die Maschine habe zwei Zylinder, die konstanten Druck und konstanten Gasfluß in B_h ermöglichen.

Reprint requests to Prof. Dr. H. Daniel.

0932-0784 / 94 / 1100-1037 \$ 06.00 © – Verlag der Zeitschrift für Naturforschung, D-72027 Tübingen



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

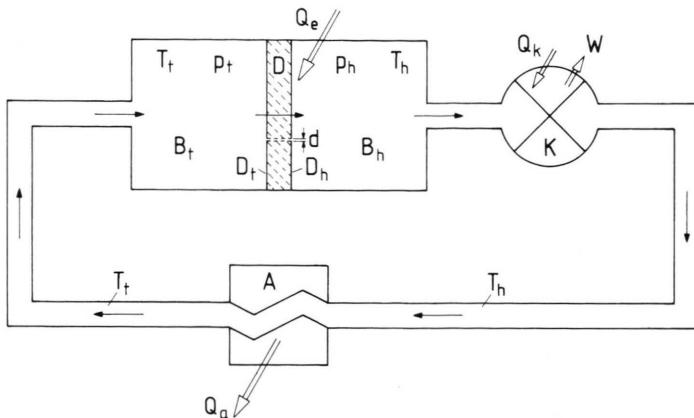


Abb. 1. Schema der vorgeschlagenen Wärmekraftmaschine. D Drossel, d Kanaldurchmesser, D_t (D_h) Drosselseite und B_t (B_h) Gasbehälter mit Gas auf tiefer (hoher) Temperatur T_t (T_h), p_t (p_h) Gasdruck in B_t (B_h), K Kraftmaschine, A Wärmetauscher, Q_e (Q_k) nach D_h (K) zugeführte Wärme, Q_a im Wärmetauscher A aufgenommene Wärme, W von der Kraftmaschine K abgeführte mechanische Arbeit, alle pro Mol transportiertes Gas.

3. Wirkungsgrad

Die einem Mol Gas zugeführte Wärme $Q_z = Q_e + Q_k$ setzt sich aus drei Komponenten zusammen. Das sind:

1. die Wärme Q_i , die die innere Energie des Gases bei T_t auf diejenige bei T_h hebt; das ist

$$Q_i = C_{mV} (T_h - T_t), \quad (2)$$

wobei C_{mV} die molare Wärmekapazität des Gases bei konstantem Volumen ist;

2. die Wärme Q_p , die die isobar und isotherm auftretende Verdrängungsarbeit leistet; das ist

$$Q_p = \int_0^{V_h} p \, dV = p_h V_h = R T_h, \quad (3)$$

wobei R die allgemeine Gaskonstante bedeutet;

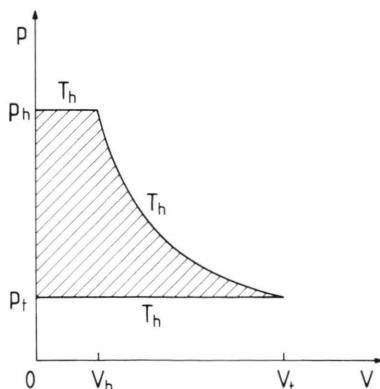


Abb. 2. pV -Diagramm für die Durchströmung der Kraftmaschine K mit der Gasmenge ein Mol. Durchströmung isotherm. Schraffiert: technische Arbeit W_{tech} .

3. die Wärme Q_k , die die expansiv und isotherm auftretende Verdrängungsarbeit leistet; das ist

$$Q_k = \int_{V_t}^{V_h} p \, dV = R T_h \ln p_h / p_t = \frac{1}{2} R T_h \ln T_h / T_t. \quad (4)$$

C_{mV} hat oberhalb 0°C den Wert $5R/2$ im Fall von zweiatomigen Gasen wie Luft; für einatomige ist der entsprechende Wert $3R/2$.

Die gesamte zugeführte Wärme ist

$$Q_z = Q_i + Q_p + Q_k, \quad (5)$$

wo $Q_i + Q_p = Q_e$. Die bei Durchströmung pro Mol Gas abgeführte Arbeit ist die technische Arbeit [3]

$$W_{\text{tech}} = - \int_{p_h}^{p_t} V \, dp.$$

Für W_{tech} gilt unter unseren Voraussetzungen

$$W_{\text{tech}} = R T_h \ln p_h / p_t = \frac{1}{2} R T_h \ln T_h / T_t. \quad (6)$$

Der Wirkungsgrad η ist mit (1)–(6)

$$\eta = \frac{W_{\text{tech}}}{Q_z} = \frac{R T_h \ln T_h / T_t}{2 C_{mV} (T_h - T_t) + 2 R T_h + R T_h \ln T_h / T_t}; \quad (7)$$

er ist im Grenzfall großen Verhältnisses T_h / T_t

$$\eta = \eta_g \rightarrow 1.$$

Im Fall $T_h / T_t \rightarrow 1$ hat man

$$\eta = \eta_k \rightarrow \frac{1}{2} \frac{T_h - T_t}{T_t}.$$

Der Carnot-Wirkungsgrad $\eta_c = (T_h - T_t) / T_h$ wird gemäß (7) für große T_h / T_t erreicht.

4. Diskussion

Trotz ihres bei kleinen Temperaturdifferenzen geringen Wirkungsgrades mag sich die vorgeschlagene neuartige Wärmekraftmaschine für manche Anwendungen, namentlich auf der Basis von Solarenergie, eignen, da die eingestrahlte Energie im wesentlichen großflächig genutzt werden kann: Sie muß nicht, wie es etwa beim Sterling-Motor der Fall ist, auf einen relativ kleinervolumigen Zylinder übertragen werden. Zudem ist die thermische Energie im Gas,

$$Q_G = C_{m,p} (T_h - T_t),$$

wobei $C_{m,p}$ die molare Wärmekapazität bei konstantem Druck bedeutet, noch in dem aus der Kraftmaschine K abströmenden Gas vorhanden und kann z. B. für Heizzwecke bei Temperaturen $T < T_h$ genutzt werden. Gleichzeitig kann eine Strömung ohne Inanspruchnahme von Ventilatoren etc., d. h. ohne Inanspruchnahme anderer Energie aufrecht erhalten werden.

Das vorgeschlagene Konzept ist nicht die einzige Möglichkeit einer Wärmekraftmaschine auf Basis des Knudsen'schen Thermotransports. Man kann z. B. eine adiabatische Expansion anstelle der isothermen verwenden, mit dem Vorteil, die Wärme mit besserem Wirkungsgrad großflächig zu nutzen. Auch sind andere Verbesserungen des Wirkungsgrads möglich.

Eine Variante der vorgeschlagenen Wärmekraftmaschine wäre durch die Umstellung des Wärmetau-

schers A in eine neue Position zwischen B_h und K gegeben. Hier wäre das unter dem höheren Druck p_h stehende Gas schon vor Erreichen der Kraftmaschine K abgekühlt. Dadurch ergäbe sich die Möglichkeit, eine Batterie von Drosseln D weitflächig der Sonnenstrahlung auszusetzen und das Gas zur Arbeitsleistung in K zu nutzen, ohne die (relativ langen) Leitungen gegen Wärmeverlust isolieren zu müssen. Dadurch ließe sich die Sonnenenergie besonders großflächig nutzen. Das ist mit den bisher bekannten Wärmekraftmaschinen offensichtlich nicht möglich. In praxi könnte man den Wärmetauscher A natürlich einfach fortlassen. Bei Ersatz der ortsfesten Drossel D durch eine bewegliche Drossel ähnlich einem „rückwärts laufenden“ (einsaugenden) Segnerschen Wasserrad sollte es möglich sein, einen zweistelligen Prozentsatz der Energie $p_t V_t$ in mechanische Arbeit umzusetzen und so den Wirkungsgrad beträchtlich zu erhöhen.

Voraussetzung jeder Anwendung ist allerdings die Entwicklung einer leistungsfähigen Drossel, vor allem mit genügend hohem Gasdurchsatz. Wenn es später gelingt, solche Drosseln kostengünstig zu fertigen, könnte eine Wärmekraftmaschine auf Basis des Knudsen'schen Thermotransports in echte Konkurrenz zu bestehenden Anlagen treten.

Herrn Prof. T. von Egidy und Herrn Prof. F. Heckelt danke ich für Diskussionen.

- [1] DBP 4 139 374, Deutsches Patentamt, München 1992.
- [2] K. Przibram, in: Handbuch der Experimentalphysik VIII, 2. Teil (W. Wien, F. Harms, Herausg.), Akad. Verlagsges., Leipzig 1929, S. 638 f.

- [3] R. W. Pohl, Einführung in die Physik, 1. Bd., 18. Aufl., Springer, Berlin 1983, S. 253 f.