Der Entropie-Motor der Entropy Systems Inc., Ohio, - ein Flop?

Von E.S.I. Gläubig und G.W. Bruhn, Fachbereich Mathematik der TU Darmstadt

E-Mail: bruhn@mathematik.tu-darmstadt.de

.

Abstract. The subject of the following paper is to report a discussion between the first author, E.S.I. Gläubig (and his numerous supporters), and the second author, G.W. Bruhn, who is a severe critic of Gläubig's ideas. First, Gläubig gives an introduction into an outstanding new development of the so called Entropy Engine (Sections 1-3). Then the second author, by contrast, presents a precise analysis showing the new engine to have a zero balance of energy (Sections 4-6). So Gläubig's expectations which were based on former (rough) calculations of ESI seem to be completely destroyed - but Gläubig (nomen est omen) feels that he should not give up all hope.

1. Einleitung

Kürzlich hat der Deutschlandfunk in seinem Wissenschaftsmagazin [1] über die bahnbrechende Neu-Entwicklung eines "Entropie-Motors" berichtet, eines Motors, der nichts weniger leistet, als atmosphärische Wärme in mechanisch nutzbare Leistung zu verwandeln. Niemand kann die Vorzüge des neuen Motors besser darstellen als die Herstellerfirma Entropy Systems Inc. (ESI) selbst. Ich bin mir der freundlichen Billigung von ESI sicher, wenn ich dazu aus der "Brief Technical Information" von ESI [2] zitiere:

- **Entropy Engine technology converts atmospheric heat to power. This heat can be at any temperature, (even sub-zero). Entropy Engines operate on the Amin Cycle.**

- **Entropy Engines can produce zero emissions and require no fossil or nuclear fuels to operate.**

- **Entropy Engines can require no cryogenic liquids or any fuel storage systems. This technology has the potential of not using any fuels like Gasoline (Petrol), Coal, Wood, Natural gas, Methane or Hydrogen.**

- **Entropy Engines have efficiencies higher than conventional engines, refrigerators, air conditioners or fuel cells.**

- **Entropy Engines can operate year around in any kind of weather.**

1991 *Mathematics Subject Classification.* 80A10,76
Keywords and phrases. Thermodynamics, Engineering

Die allgegenwärtigen Bedenkenträger werden auch hier Einwendungen erheben: Dieser Wundermotor wäre ja ein *perpetuum mobile zweiter Art.* Und da gibt es doch den *zweiten Hauptsatz der Thermodynamik*, der genau die Unmöglichkeit einer solchen Maschine besagt. Aber, Hand auf's Herz, wer - Hauptsatz hin oder her - ließe sich den Glauben an eine Maschine zerstören, die uns das Tor zum Schlaraffenland eröffnet: Wärme ist rund um uns, dank(!) des Treibhauseffektes sogar mehr als genug, vorhanden, und nun kann man sie endlich nutzen, man denke, alle Transportmittel, Autos, Schiffe, Flugzeuge, werden mit dem neuen Motor ausgerüstet werden, jegliche Treibstoff-Kosten und die zugehörigen Umweltbelastungen entfallen, es ist wie in einem schönen Märchen - zu schön um wahr zu sein. Aber das Märchen ist *wirklich* nachzulesen, im Internet unter der Adresse

http:// www.entropysystems.com / .

Und es besteht ja auch *jeder Grund zur Hoffnung.* Schließlich ist der zweite Hauptsatz der Thermodynamik, wie alle Sätze der Physik, *nur* ein *Erfahrungssatz*, zwar ein Satz, der von den Experimentatoren in aller Welt seit seiner Aufstellung durch J.R. Clausius (1822-1888) immer wieder überprüft und auch bestätigt worden ist, aber er ist *widerlegbar*, besser gesagt, *modifizierbar.* Das ist schon bei vielen scheinbar unumstößlichen Sätzen der Physik so gewesen, warum nicht auch hier?

Vielleicht tut es ein besonders raffiniert konstruierter Kreisprozess, der würde seinem Erfinder sicher hohe Ehren einbringen. Und jetzt *ist* ein solcher Kreisprozess, der *Amin-Zyklus*, tatsächlich erfunden worden, also geht der nächste Physik-Nobelpreis an die Entropy Systems Inc. in Ohio, oder? ESI [5] kann sich hier sogar auf R. Feynman berufen, der eine Modifikation des zweiten Hauptsatzes praktisch schon vorausgesagt hat. Und das ist nun, wie sich im nächsten Abschnitt zeigen wird, *auf verblüffend einfache Weise* gelungen, so ganz und gar im Rahmen der klassischen Physik. R. Feynman würde staunen. Und die Interessentenschar der ESI wächst und wächst und wächst [4].

2. Der Amin-Kreisprozess

Der Amin-Motor besteht laut [3] aus einem Zylinder, der mit einem idealen Gas gefüllt und auf einem Rad in radialer Richtung befestigt ist. Alle folgenden Maßangaben betreffen die radialen Koordinaten (Abstände von der Radachse). Der Zylinder ist in Richtung auf die Radachse hin durch einen Kolben an der Stelle z abgeschlossen, der im Bereich $z_2 \leq z \leq z_1$ beweglich ist. Das Gas befindet sich in dem Zylinderbereich $z < r < R$ ($R =$ festes äußeres Ende des Zylinders). Wachsendes z ($dz > 0$) bedeutet *Kompression*, abnehmendes z ($dz < 0$) dagegen *Expansion.* Das ganze System wird durch einen Motor um die Radachse in einstellbare Drehgeschwindigkeit versetzt. Als Zustandsvariablen werden die Kolbenposition z und die Drehzahl ω des rotierenden Rades benutzt. Sämtliche Teilschritte werden bei konstanter Temperatur T_0 , also *isotherm*, ausgeführt. Der Zustand, beschrieben durch (z, ω), durchläuft den Rand eines achsenparallelen Rechtecks der (z, ω)-Ebene in nachfolgend angegebenen Teilschritten:

(1) A_1: Isotherme Expansion von $z_1 \to z_2$ bei niedriger Drehzahl ω_1.

(2) A_2: Isotherme Erhöhung der Drehzahl $\omega_1 \to \omega_2$ bei Kolbenposition z_2.

(3) A_3: Isotherme Kompression von $z_2 \to z_1$ bei Drehzahl ω_2.

(4) A_4: Isotherme Verminderung der Drehzahl $\omega_2 \to \omega_1$ bei Kolbenposition z_1.

3. Der Grundgedanke

Bei den Drehzahlen ω_1 und ω_2 bilden sich im Zylinder unter dem Einfluss der Zentrifugalkraft unterschiedliche radiale Druck- und Dichteprofile aus, die natürlich auch von der jeweiligen Kolbenposition z abhängen. Es wird angenommen, dass der Zylinderdurchmesser klein gegenüber dem Abstand r von der Drehachse ist. Dann sind die Zustände im Zylinder allein von der radialen Koordinate r abhängig, neben der natürlich bestehenden Abhängigkeit von Drehzahl ω und Kolbenposition z. Damit hat man für Druck und Dichte die Funktionen:

$$p(r,z,\omega_1) \text{ und } p(r,z,\omega_2) \text{ bzw. } \rho(r,z,\omega_1) \text{ und } \rho(r,z,\omega_2).$$

Der Entropie-Motor erhält Energiezufuhren (+) und Entnahmen (-) in Form von mechanischer Energie ΔE_{mech} (am Kolben bei Kompression oder Expansion, am Antriebsmotor zur Änderung der Drehzahl ω) und in Form von Wärmeenergie ΔW zur Aufrechterhaltung der Isothermie. Demgegenüber stehen Änderungen ΔE_{rot} der Rotationsenergie des Gases und seiner inneren Energie ΔE_i. (Auch der Energieinhalt des Motorgehäuses müsste eigentlich in der Energiebilanz vorkommen, fällt aber wegen der Periodizität des Zustandes heraus, so dass wir diese Energie von vornherein weglassen können.) Die Energiebilanz lautet demnach

$$\Delta E_{mech} + \Delta W = \Delta E_{rot} + \Delta E_i.$$

Wegen der Isothermie aller Vorgänge ist jedoch eine Änderung der inneren Energie (bei einem idealen Gas) unzulässig, $\Delta E_i = 0$. Weil der Motor periodisch arbeitet, ist nach Durchlaufung eines Zyklus die Rotationsenergie wieder auf dem Anfangsstand, also auch $\Delta E_{rot} = 0$. Daher verbleibt für einen Zyklus nur die Gleichung

$$\Delta E_{mech} + \Delta W = 0.$$

$-\Delta E_{mech}$ ist der je Zyklus mögliche Energiegewinn, der dann also gerade durch Aufnahme einer entsprechenden Wärmemenge ΔW aus der Umgebung gespeist würde. Im Fall $-\Delta E_{mech} > 0$ gibt das System bei jedem Zyklus einen mechanischen *Energieüberschuss* ab, sofern man die nicht berücksichtigten Reibungsverluste hinreichend klein halten kann.

Und die Entropy Systems Inc. hat im Internet dargelegt, dass der Motor einen Energieüberschuss abwirft (s. [3]). Man vergleiche das einfache Prinzip mit dem Millionen-Aufwand für Teilchenbeschleuniger, Superteleskope, Raumsonden u.s.w., den andere für wissenschaftliche Entdeckungen verbrauchen - welch eine Idee, *mit Luftpumpe und E-Motor allein gegen den zweiten Hauptsatz*, genial einfach - einfach genial! Ich erwäge deshalb z.Z. im Zuge der Globalisierung eine Übernahme von ESI, freundlich oder *nicht*, Interessenten sollten sich bei mir per e-mail melden, gemeinsam geht es leichter.

Meine leider etwas ungebremste Euphorie bezüglich der "Entropie als alternativer Energie" (O-Ton DLF) zwingt mich jetzt aus Proporz-Gründen - *ich betone, nur wegen des Proporzes* -, das Wort an meinen Zweit-Autor, einen dieser ewigen Nörgler abzugeben, die glauben, mit Formeln alles beweisen zu können. Schon Altmeister Johann Wolfgang sagte dazu treffend

Was ihr nicht tastet, steht euch meilenfern,
Was ihr nicht fasst, das fehlt euch ganz und gar,
Was ihr nicht rechnet, glaubt ihr, sei nicht wahr,
Was ihr nicht wägt, hat für euch kein Gewicht,
Was ihr nicht münzt, das, meint ihr, gelte nicht.

Aber es ist *Mephisto*, dem diese Worte in den Mund gelegt werden ...

4. Ein Ergebnis aus der Thermodynamik

Jeder Kreisprozess kann durch eine geschlossene Kurve in einer Zustandsebene dargestellt werden. Für die Darstellung des Kreisprozesses in der S,T-Ebene (S = Entropie, T = Temperatur) besagt ein bekanntes Ergebnis der Thermodynamik, dass die von einem Kreisprozess abgebene bzw. aufgenommene Energie gleich dem Flächeninhalt der Figur ist, deren Rand von den Punkten (S, T) des Kreisprozesses durchlaufen wird.

Dieses Ergebnis kann man leicht für Systeme herleiten, deren momentaner thermodynamischer Zustand jeweils durch *einen einzigen* Punkt (S, T) beschrieben werden kann. Insbesondere würde dann für *isotherme* Prozesse wie beim Amin-Prozess folgen, dass die Energiebilanz Null ist, weil die beim Amin-Prozess durchlaufene Kurve ein Teil der Geraden $T = const$ ist, die somit den Flächeninhalt Null umschließt.

Doch der Amin-Motor ist komplizierter. In den verschiedenen Teilen des gasgefüllten Zylinders herrschen unterschiedliche Zustände, allerdings wegen der vorausgesetzten Isothermie alle bei einheitlicher Temperatur T_0. Die oben beschriebene Methode ist daher auf den Amin-Motor nicht so ohne weiteres anwendbar. Jedoch könnte man das gesamte Gasvolumen in *kleine* Teilvolumina unterteilt denken, in denen (näherungsweise) jeweils ein einheitlicher Zustand (S, T) besteht. Für jedes dieser Teilvolumina wäre dann wegen $T = T_0$ die Energiebilanz ausgeglichen. Die Vorhersage der Thermodynamik für den Amin-Zyklus ist daher, dass auch hier die Energiebilanz ausgeglichen sein sollte.

Ein anderes Ergebnis, etwa das von Entropy Systems Inc. behauptete, wäre äußerst erstaunlich.

5. Ermittlung der Zustandsfunktionen

Nun, man kann eine Entscheidung in der aufgeworfenen Frage herbeiführen, indem man die von ESI im Internet veröffentlichte Energiebilanz-Berechnung [4] überprüft.

Zur Aufstellung der Energiebilanz benötigt man die Zustandsfunktionen

$$p(r, z, \omega) \text{ und } \rho(r, z, \omega)$$

für einen Zylinderpunkt im Achsabstand $r < R$ bei beliebigen Kolbenpositionen z und Drehzahlen ω.

Wir halten zunächst fest, dass wegen der geforderten Isothermie die Zustandsgleichung idealer Gase die Proportionalität der beiden Zustandsfunktionen p und ρ mit einem von Kolbenposition und Drehzahl unabhängigen Proportionalitätsfaktor γ gilt:

$$(1) \qquad p(r, z, w) = \gamma \ \rho(r, z, \omega) \text{ mit einer Konstanten } \gamma > 0 \qquad .$$

Ferner ist die Dichtefunktion ρ durch die im Zylinder vorhandene *konstante* Gesamtmasse M gebunden: Für alle Drehzahlen und alle Kolbenpositionen muss gelten

$$(2) \qquad \int_z^R \rho(s, z, \omega) ds = M.$$

Im Gaszylinder herrscht ein von (r, z, ω) abhängiger Druck $p(r, z, w)$, der sich dort unter dem Einfluss der r-abhängigen Fliehkraft einstellt. Bei festen Werten von z, ω unterdrücken wir im folgenden diese Abhängigkeit bei p und ρ.

In Analogie zur bekannten Herleitung der barometrischen Höhenformel für den Druck in einer der Schwerkraft ausgesetzten Atmosphäre kann der Gasdruck in einem rotierenden Zylinder berechnet werden. An Stelle des Gewichtes der Luftsäule über der Flächeneinheit tritt hier die Resultierende aller Zentrifugalkräfte der Gassäule im Innern des Zylinders mit Achsabstand s zwischen z und r. Integriert über den Achsabstand s zwischen z und r, und bezogen auf die Flächeneinheit des Zylinderquerschnitts, ergibt das den Zentrifugaldruck

$$\int_z^r \rho(s) \cdot \omega^2 s \cdot ds \cdot 1 = \omega^2 \int_z^r \rho(s) s ds.$$

Mit $p_0 := p(z)$ ist der Gesamtdruck für den Achsabstand r aus dem Zylinderbereich $z < s < r$

$$p(r) = p_0 + \omega^2 \int_z^r \rho(s) s ds.$$

Wegen (1) kann unter dem Integral ρ durch p ausgedrückt werden,

$$p(r) = p_0 + \frac{\omega^2}{\gamma} \int_z^r p(s) s ds.$$

Differentiation nach r ergibt die Differentialgleichung

$$p'(r) = \frac{\omega^2}{\gamma} p(r) \cdot r,$$

deren Lösung durch Trennen der Variablen erhalten werden kann:

$$p(r) = p_0 \cdot \exp(\frac{\omega^2}{2\gamma} r^2).$$

Wegen (1) gilt auch

$$\rho(r) = \rho_0 \cdot \exp(\frac{\omega^2}{2\gamma} r^2),$$

wobei die r-unabhängigen Größen ρ_0 und p_0 wegen (1) durch $p_0 = \gamma\rho_0$ gebunden sind. Der Faktor $\rho_0 = \rho_0(z, \omega)$ muss so gewählt werden, dass die Bedingung (2) erfüllt ist, das ergibt

$$\rho_0 \cdot \int_z^R \exp(\frac{\omega^2}{2\gamma} s^2) ds = M,$$

oder

$$\rho_0(z, \omega) = M \left[\int_z^R \exp(\frac{\omega^2}{2\gamma} s^2) ds \right]^{-1}$$

sowie

$$p_0(z, \omega) = \gamma M \left[\int_z^R \exp(\frac{\omega^2}{2\gamma} s^2) ds \right]^{-1}.$$

Einsetzen in die Formeln für $p(r)$ und $\rho(r)$ liefert

$$p(r, z, \omega) = \gamma M \exp(\frac{\omega^2}{2\gamma} r^2) \left[\int_z^R \exp(\frac{\omega^2}{2\gamma} s^2) ds \right]^{-1}$$

und

$$\rho(r, z, \omega) = M \exp(\frac{\omega^2}{2\gamma} r^2) \left[\int_z^R \exp(\frac{\omega^2}{2\gamma} s^2) ds \right]^{-1}.$$

Der Vergleich der bisher erzielten Ergebnisse insbesondere bezüglich der Druckfunktion $p(r, z, \omega)$ mit der ESI-Analysis zeigt, dass die ESI-Erfinder neben formalen Darstellungsmängeln erhebliche Probleme mit der Anwendung der klassischen Mechanik haben. Das führt zu einer *einfacheren aber falschen* Formel für die Druckverteilung. Aus diesem und anderen Gründen misslingt ESI auch die (lt. Abschnitt 3 überflüssige) Berechnung der in dem rotierenden Gas enthaltenen kinetischen Energie.

6. Aufstellung der Energiebilanz

Nach dem Ergebnis von Abschnitt 3 reicht es, die Wärmebilanz für einen Zyklus zu bestimmen. Diese entsteht durch die Beiträge aller Gas-Massenelemente. Deshalb ist es zweckmäßig, die radiale Koordinate r durch die Massenkoordinate

$$m = m(r, z, \omega) := \int_z^r \rho(s, z, \omega) ds$$

zu ersetzen. Dann hat man stets

$$m(z,z,\omega)=0 \quad \text{und} \quad m(R,z,\omega)=M.$$

Im folgenden betrachten wir Druck p und Dichte ρ stets als Funktionen von (m,z,ω) statt von (r,z,ω) (wie bisher).

Das von dem Massenelement dm eingenommene Volumen wird bei Änderungen dz der Kolbenposition bzw. $d\omega$ der Drehzahl deformiert. Die dabei geleistete mechanische Arbeit ist

$$p\frac{\partial}{\partial z}(\frac{1}{\rho})\ dm\ dz \quad \text{bzw.} \quad p\frac{\partial}{\partial \omega}(\frac{1}{\rho})\ dm\ d\omega.$$

Sie wird zur Aufrechterhaltung der vorgeschriebenen konstanten Temperatur sofort als Wärme zu- oder abgeführt. Daher haben wir hier eine einfache Möglichkeit, die ausgetauschte Wärmemenge zu berechnen.

Wir beginnen mit den Amin-Schritten A_1 und A_3. Die freiwerdende Wärmemenge beim Schritt A_1 ist

$$\int_{z_1}^{z_2} dz \int_0^M p\frac{\partial}{\partial z}(\frac{1}{\rho})\ dm = -\int_{z_1}^{z_2} dz \int_0^M p\rho^{-1}\frac{\partial}{\partial z}(\ln\rho)\ dm$$

$$= -\gamma \int_{z_1}^{z_2} dz \int_0^M \frac{\partial}{\partial z}(\ln\rho)\ dm = -\gamma \int_{z_1}^{z_2} dz \frac{\partial}{\partial z}\int_0^M \ln\rho\ dm,$$

wobei für ρ der Wert $\rho(m,z,\omega_1)$ einzusetzen ist. Beim Schritt A_3 erhält man analog für die ausgetauschte Wärmemenge

$$\int_{z_2}^{z_1} dz \int_0^M p\frac{\partial}{\partial z}(\frac{1}{\rho})\ dm = -\gamma \int_{z_2}^{z_1} dz\ \frac{\partial}{\partial z}\int_0^M \ln\rho\ dm,$$

wobei für ρ der Wert $\rho(m,z,\omega_2)$ einzusetzen ist.

Ganz entsprechend erhält man für den Amin-Schritt A_2

$$\int_{\omega_1}^{\omega_2} d\omega \int_0^M p\frac{\partial}{\partial \omega}(\frac{1}{\rho})\ dm = -\gamma \int_{\omega_1}^{\omega_2} d\omega \frac{\partial}{\partial \omega}\int_0^M \ln\rho\ dm,$$

mit $\rho=\rho(m,z_2,\omega)$. Schließlich ergibt sich mit $\rho=\rho(m,z_1,\omega)$ für den Amin-Schritt A_4 analog

$$\int_{\omega_2}^{\omega_1} d\omega \int_0^M p\frac{\partial}{\partial \omega}(\frac{1}{\rho})\ dm = -\gamma \int_{\omega_2}^{\omega_1} d\omega \frac{\partial}{\partial \omega}\int_0^M \ln\rho\ dm.$$

Die Summe der vier Wärmemengen ist offenbar nichts anderes als das Integral $\oint_\Gamma dF$ mit der Funktion

$$F(z,\omega) := -\gamma \int_0^M \ln\rho(m,z,\omega)\ dm$$

längs des geschlossenen Rechteck-Weges

$$\Gamma := \{(z_1,\omega_1)\to(z_2,\omega_1)\to(z_2,\omega_2)\to(z_1,\omega_2)\to(z_1,\omega_1)\}.$$

Mithin ist der Integralwert Null, d.h. die Energiebilanz des gesamten Amin-Zyklus ist ausgeglichen.

In Übereinstimmung mit der Prognose aus Abschnitt 4 haben wir daher folgendes Endergebnis:

Der Amin-Zyklus ist im Gegensatz zur Behauptung seiner Erfinder zur Energieerzeugung "aus dem Nichts" denkbar ungeeignet, er erzeugt nur Verluste.

Allein mit elementaren Ansatzfehlern lässt sich eben kein Motor betreiben, (und schon gar nicht der zweite Hauptsatz der Thermodynamik aushebeln), nicht einmal durch Verbrennen der zugehörigen Internet-Veröffentlichung:

Internet-Seiten brennen nicht! Schade!

- - -

Also, das war *zuviel* von diesem Besserwisser, jetzt muss ich mich doch noch einmal einschalten:

Was will er denn? Wenn meine Freunde bei ESI besser rechnen könnten, wäre diese schöne Technologie nicht erfunden worden, die Welt wäre viel trauriger, und niemand hätte mehr was zu lachen. Denken Sie an die Maschinenungeheuer des Jean Tinguely, alle Welt steht staunend davor, doch niemand fragt nach deren Energiebilanz. Wie der Entropie-Motor von ESI sind sie schöne Energiefresser und ansonsten *völlig zweckfrei.* - Meine Übernahmepläne gegenüber ESI werde ich wohl aufgeben, aber ich bin sicher, *bald* schon wird ein *noch* besserer Motor erfunden werden, bald, und dann ...

Ja, diese Erfindungen liegen geradezu in der Luft. Über das traurige Ende eines weiteren vielversprechenden Projektes, eines *Raumquanten-Motors*, wird gerade in [6] berichtet.

References

[1] Deutschlandfunk, Sendung Forschung aktuell, 12.11.1999, 16.35 - 17.00

[2] Entropy Systems Inc., Brief Technical Information

[3] Entropy Systems Inc., The Amin Cycle

[4] Entropy Systems Inc., News and Events

[5] Entropy Systems Inc., Dr. Richard Feynmans Analysis on Laws of Science

[6] N. N., Raumquanten-Motor, in Skeptiker, Zeitschrift für Wissenschaft und kritisches Denken, 4/99, S. 181

Die Beiträge [2] - [5] finden sich sämtlich im Internet unter der Adresse

http:// www.entropysystems.com / .