

Der Wirkungsgrad eines Auftriebskraftwerks The Efficiency of a Kinetic Power Plant

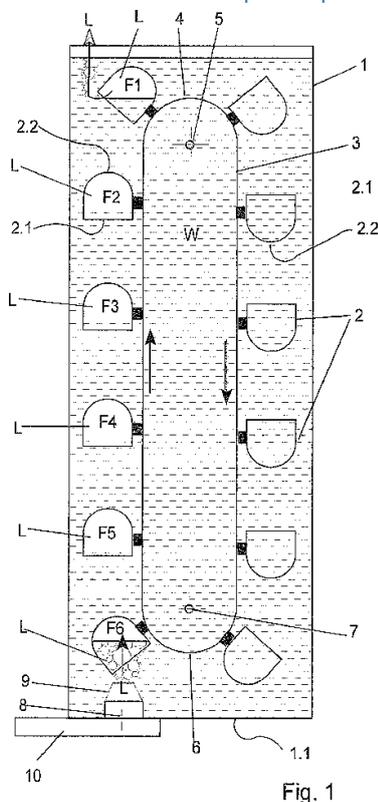
Zusammenfassung (Deutsch)

Dieser Bericht enthält eine Abschätzung zum Wirkungsgrad eines Auftriebskraftwerks. Es wird eine Energiebilanz gezogen. Im idealen Grenzfall – keine Reibung, kein Strömungswiderstand, perfekter Kompressor, perfektes Getriebe und perfekter Generator – wird der Generator exakt so viel Strom liefern können, wie der Kompressor aufnimmt. Die Energie für das Verdichten und Einspritzen der Druckluft in die Auftriebsbehälter ist genau so gross, wie die Energie, die der vorgeschlagene Mechanismus aus der Auftriebskraft komprimierter Luft bestenfalls gewinnen kann. **In jedem realistischen Szenario wird der Generator weit weniger elektrische Leistung abgeben können, als der Kompressor braucht, um das Gerät in Bewegung zu halten.**

Summary (English)

This paper contains theoretical investigations about a proposed “Kinetic Power Plant”. It is shown that for an ideal case (no friction, no drag, perfect compressor, gear, generator) the energy for compression and injection of the air is exact the same which can be obtained from hydrostatic lift force with the proposed mechanism. **In any real life scenario the electrical output power from the generator will be much lower than the input power needed by the compressor.**

1. Funktionsprinzip



„In einem mit Wasser gefüllten Tank befinden sich Behälter in Form eines halbierten Zylinders, die mit einem Kettentrieb verbunden sind. In den Behältern befinden sich automatische Ventile, die an einem Kompressor außerhalb des Tanks angeschlossen sind. Der Kompressor leitet Luft in den untersten Auftriebskörper. Dadurch entwickelt der Behälter eine enorme Auftriebskraft und bewegt sich nach oben. Damit bringt er den nächsten Behälter in Position. Dieser wird ebenfalls mit Luft gefüllt. So kommt das Auftriebskraftwerk in Gang und bewegt ein Getriebe, das mit einem Generator verbunden ist. Oben verlassen die Behälter kurz das Wasser. Vor dem Wiedereintauchen öffnen sich Klappen und die Behälter füllen sich mit Wasser. Beim Passieren des unteren Scheitelpunkts werden sie erneut mit Luft gefüllt.“

Patenterte, innovative Lösungen, unter anderem beim Kompressor, der Ventiltechnik und dem Generator, sorgen dafür, dass das Kinetische Kraftwerk weit mehr Energie erzeugt, als für den Betrieb des Kompressors gebraucht wird.

Durch Abschalten des Kompressors kommt das Kinetic Power Plant zum Stillstand.“ (Quelle: <http://www.e-cat-deutschland.de/technologie.html>)

Abbildung 1: Quelle: <http://patentimages.storage.googleapis.com/DE102012104690A1/00090001.png>

Inhalt

Der Wirkungsgrad eines Auftriebskraftwerks	1
Zusammenfassung (Deutsch)	1
1. Funktionsprinzip	1
2. Das idealisierte Auftriebskraftwerk – physikalisch betrachtet.....	2
2.1 Energie E_1 , die man für die Kompression braucht	3
2.2 Energie E_2 zum Einschieben der Luft in die Auftriebsbehälter	3
2.3 Energie E_3 , die das Auftriebskraftwerk liefern kann	4
2.4 Energiebilanz	5
3. Das reale Auftriebskraftwerk	5
4. Abkürzungen und Formelzeichen.....	6
5. Haftungsausschluss	6
6. Schlussbemerkungen.....	6

2. Das idealisierte Auftriebskraftwerk – physikalisch betrachtet

Physikalisch betrachtet und auf das Wesentliche reduziert, passiert beim Auftriebskraftwerk folgendes. Luft wird mittels Energiezufuhr komprimiert und in einen Auftriebsbehälter unter Wasser hineingedrückt. Die komprimierte Luft sorgt für Auftrieb und hebt die Behälter. Dabei wird Energie gewandelt. (Kraft mal Weg, bzw. Auftriebskraft mal Hubhöhe).

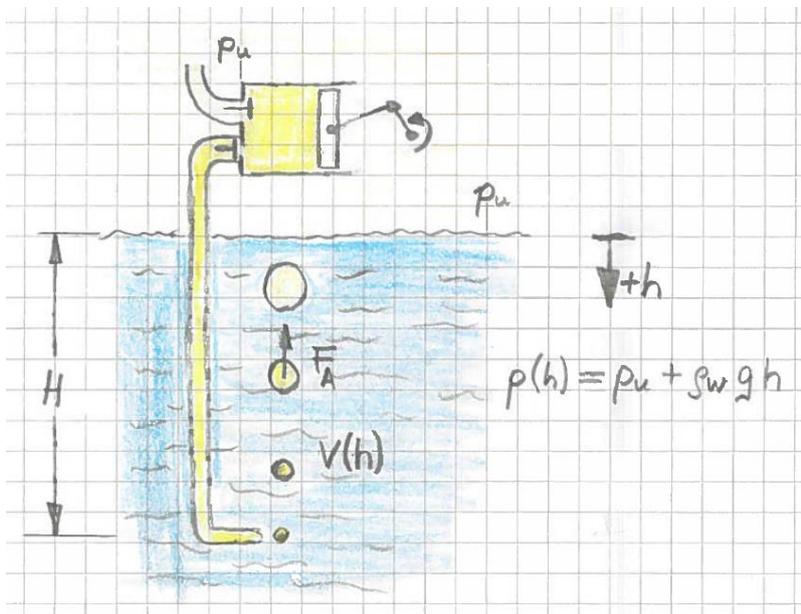


Abbildung 2: Skizze zum idealisierten Auftriebskraftwerk; recht: Wahl des Koordinatensystems; Luft wird im Kompressor verdichtet, unter Wasser gedrückt. Die aufsteigenden Blasen dehnen sich aus.

2.1 Energie E_1 , die man für die Kompression braucht

Nehmen wir nun an, ein bestimmte Luftmenge, die genau das Volumen V_1 ausfüllt, wird mit einem verlustfreien Kompressor komprimiert. Das Komprimieren der Luft fängt bei Umgebungsluftdruck p_U an.

$$p_1 = p_U$$

In einer gewissen Wassertiefe h herrscht ein Druck, der sich aus dem Luftdruck p_U und dem hydrostatischen Druck zusammensetzt.

$$p(h) = p_U + \rho_W g h$$

Soll die Luft in eine maximale Wassertiefe H gepumpt werden, muss sie mindestens auf den Druck p_2 gebracht werden:

$$p_2 = p_U + \rho_W g H$$

Sie hat jetzt ein kleineres Volumen V_2 .

$$V_2 = V_1 \frac{p_1}{p_2}$$

Um ein Zahlenbeispiel zu nennen: In ca. 10 m Tiefe ist die Luftblase etwa halb so gross wie vor dem Komprimieren. Die zur hier isotherm angenommenen Kompression notwendige Energie E_{Komp} , kann leicht mit folgender Formel ermittelt werden (Die Formeln dafür findet man in jedem Physik Grundlagenbuch.):

$$E_{Komp} = p_1 V_1 \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) = p_1 V_1 \ln\left(\frac{p_U + \rho_W g H}{p_U}\right)$$

Allerdings muss man jetzt noch berücksichtigen, dass der Umgebungsluftdruck beim Komprimieren mithilft,

$$E_U = p_U \Delta V = p_U (V_1 - V_2)$$

und für den Verdichtungsprozess nur die Energie E_1 aufgewandt werden muss.

$$E_1 = E_{Komp} - E_U$$

$$E_1 = p_1 V_1 \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) - p_U (V_1 - V_2)$$

Formel 1: Energie, die der Kompressor zum Verdichten aufwenden muss.

2.2 Energie E_2 zum Einschieben der Luft in die Auftriebsbehälter

Es reicht nicht, die Luft nur zu Verdichten, sie muss auch in die Auftriebsbehälter hineingeschoben werden. Dafür ist allgemein eine Energiemenge $E = p \Delta V$ nötig. Das heisst, die Luftmenge in V_2 muss gegen den Druck p_2 in die Behälter gedrückt werden. Auch hier hilft der Umgebungsdruck, sodass man für diese Einschiebearbeit folgendes erhält.

$$E_2 = p_2 V_2 - p_U V_2$$

Beziehungsweise

$$E_2 = (p_2 - p_U) V_2$$

Formel 2: Energie, die zum Einschleusen der Luft in die Auftriebsbehälter gegen den Wasserdruck benötigt wird. (Der Kompressor muss sie liefern.)

Diese Energie wird auch vom Kompressor aufgebracht.

2.3 Energie E_3 , die das Auftriebskraftwerk liefern kann

Energie ist bekannterweise Kraft mal Weg,

$$E = Fs$$

Und falls die Kraft über den Weg nicht konstant ist, muss halt integriert werden

$$E = \int F(s)ds$$

Die relevante Kraft ist im vorliegenden Fall die Auftriebskraft $F_A(h)$, sie ändert sich mit der Wassertiefe h , die hier die Wegkoordinate darstellt. Für die Energie E_{KK} , die das Kraftwerk aus der Blase gewinnt gilt:

$$E_{KK} = \int F_A(h)dh$$

Der Auftriebskraft kann aus dem Volumen der Luftblase $V(h)$, der Erdbeschleunigung g und der Dichtedifferenz $\Delta\rho$ der Luftblase gegenüber dem Wasser berechnet werden.

$$F_A(h) = -V(h)\Delta\rho g$$

Erwartungsgemäss hängt die Auftriebskraft also von der Wassertiefe ab. Das Minus in dieser Formel kommt daher, dass der Auftrieb entgegen der gewählten Koordinatenrichtung zeigt, die Höhenkoordinate zeigt abwärts. Das Volumen der Blase ändert sich mit der Tiefe.

$$V(h) = V_1 \frac{p_1}{p(h)}$$

Weil Wasser mit ca. $1000 \frac{kg}{m^3}$ eine sehr hohe Dichte hat und Luft selbst komprimiert auf 3 bar (ca. 20 m Wassertiefe) nur rund $3.6 \frac{kg}{m^3}$, darf folgende Vereinfachung vorgenommen werden:

$$\Delta\rho = \rho_W - \rho_L \approx \rho_W$$

Die Auftriebskraft kann also formuliert werden mit

$$F_A(h) \approx -V(h)\rho_W g$$

Setzt man nun die gewonnenen Ausdrücke in die Formel für die Energie ein, erhält man für E_3 folgendes

$$E_3 = \int_H^0 -V_1 \frac{p_1}{p_U + \rho_W g h} \rho_W g dh$$

Alle konstanten, d.h. nicht von der Wassertiefe abhängigen Grössen darf man aus dem Integral herausziehen,

$$E_{KK} = -V_1 p_1 \rho_W g \int_H^0 \frac{1}{p_U + \rho_W g h} dh$$

In jedem besseren Nachschlagewerk erhält man die Lösung für das Integral, allgemein:

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{a+bx} = \frac{1}{b} \ln\left(\frac{a+bx_2}{a+bx_1}\right)$$

(Quelle: Bronstein: Taschenbuch der Mathematik. 5. Auflage. S. 1049) Für den hier vorliegenden Fall ergibt das

$$E_3 = -V_1 p_1 \rho_W g \frac{1}{\rho_W g} \ln\left(\frac{p_U + \rho_W g 0}{p_U + \rho_W g H}\right) = -p_1 V_1 \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$$

Nachdem man gekürzt und p_2 mit der früher gefundenen Formel ersetzt hat. Das Minus kann beim natürlichen Logarithmus ins Argument gezogen werden, Zähler und Nenner tauschen den Platz.

$$E_3 = p_1 V_1 \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

Formel 3: Energie, die das Auftriebskraftwerk im besten Fall ernten kann.

Das ist also (betragsmässig) die Energie, die die Auftriebskraft der betrachteten Luftmenge ans mechanische System abgeben kann.

2.4 Energiebilanz

Was bleibt also übrig, es darf Bilanz gezogen werden. Alle Aufwände, d.h. hier E_1 und E_2 bekommen ein negatives Vorzeichen, der Gewinn E_3 ein positives.

$$E_{Bilanz} = -E_1 - E_2 + E_3$$

$$E_{Bilanz} = -\left(p_1 V_1 \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) - p_U (V_1 - V_2)\right) - (V_2 (p_2 - p_1)) + p_1 V_1 \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

Die grau markierten Anteile löschen einander offensichtlich aus. Der Rest wird ausmultipliziert, und man erinnert man sich, dass $p_1 = p_U$ gilt,

$$E_{Bilanz} = +p_1 V_1 - p_1 V_2 - p_2 V_2 + p_1 V_2$$

Die grau markierten Anteile heben einander offensichtlich auch auf. Weil isotherme Kompression und Expansion vorausgesetzt worden ist, gilt ausserdem $p_1 V_1 = p_2 V_2$, für E_{Bilanz} bleibt nichts übrig.

$$E_{Bilanz} = -E_1 - E_2 + E_3 = 0$$

Formel 4: In Summe verbraucht der Kompressor exakt gleich viel Energie, wie es sie das Auftriebskraftwerk liefern kann.

Das heisst nicht, dass ein Auftriebskraftwerk der hier beschriebenen Art nicht funktioniert. Es wird sich in Bewegung setzen, wenn man den Kompressor einschaltet. Es wird allerdings niemals mehr elektrische Energie am Generator abgeben können, als der Kompressor braucht.

3. Das reale Auftriebskraftwerk

Das Auftriebskraftwerk stellt eine Energiewandlerkette dar. Erst wird die Luft mit einem Kompressorwirkungsgrad η_K komprimiert, dann durch einen Schlauch mit Strömungsverlusten weitergereicht und wahrscheinlich durch eine verlustbehaftete Drossel geleitet $\eta_{S\&D}$, dann haben die Auftriebskörper einen unvermeidbaren Strömungsverlust, der mit dem Wirkungsgrad η_{Str} berücksichtigt wird. Schliesslich kommen noch Getriebewirkungsgrad η_G und der Generatorwirkungsgrad η_{Gen} dazu.

Typische, durchwegs optimistische Werte für die Wirkungsgrade sind:

Kolbenkompressor	0.4 bzw. 40 %
Schlauch u. Drossel:	0.9 bzw. 90 %
Strömung:	0.8 bzw. 80 % (sehr optimistisch, wenn man die Bilder im www sieht)
Getriebe:	0.96 bzw. 96 % (offensichtlich mehrstufiger Kettentrieb)
Generator:	0.9 bzw. 90 %

Der Gesamtwirkungsgrad beträgt demnach selbst bei sehr guter Konstruktion

$$\eta_{Ges} = \eta_K \eta_{S\&D} \eta_{Str} \eta_G \eta_{Gen} \approx 0.25 = 25 \%$$

Mit anderen Worten. Wenn der Kompressor 1000 W vom Stromnetz zieht, wird der Generator rund 250 W abgeben.

4. Abkürzungen und Formelzeichen

E	Energie
p	Druck
p_U	Umgebungsluftdruck
p_1	Anfangsdruck
p_2	Maximaldruck
ρ_W	Dichte von Wasser
$\Delta\rho$	Dichtedifferenz zwischen Wasser und Luft
g	Erdbeschleunigung
h	Höhe bis zum Wasserspiegel
H	maximale Höhe bis zum Wasserspiegel
V	Volumen einer bestimmten Luftmenge
F	Kraft
s	Weg
F_A	Auftriebskraft
η	Wirkungsgrad

5. Haftungsausschluss

Dieses Dokument ist unentgeltlich verfasst worden, es ist kein Gutachten. Es könnte fehlerhaft sein. Jeder Leser möge den Inhalt sorgfältig prüfen. Der Verfasser lehnt jede Art der Verantwortung oder Haftung ab und bittet den Leser höflich, ihn auf etwaige Fehler aufmerksam zu machen.

6. Schlussbemerkungen

Kompression und Expansion sind isotherm gerechnet worden. Wird adiabat oder polytrop komprimiert und auf jeweils gleiche Art expandiert, ändert sich die Energiebilanz nicht. Sie bleibt im idealen Grenzfall null.

Der einzige mir bekannte Hersteller und Lieferant von Bausätzen eines solchen Systems betont, dass es sich nicht um ein Perpetuum Mobile handelt, sondern um die Nutzung von Energiedifferenzen zwischen zwei Systemen. Welche Systeme das sein sollen, wird nicht genannt.

Dipl.-Ing. Peter Bruggmüller

bruggmueller_peter@yahoo.de