

Die Dampfturbine

Daß die Dampfmaschine der Dampfturbine wirtschaftlich unterlegen ist, hat sich schon bald nach der Jahrhundertwende gezeigt. Doch im kleineren und mittleren Leistungsbereich ist sie nicht von der Dampfturbine, sondern vom Elektro- und Dieselmotor verdrängt worden; heute findet man sie nur noch in wenigen Oldtimer-Lokomotiven und -Schiffen.

Die Dampfturbine hingegen dominiert dort, wo höchste Antriebsleistung gefragt ist: in den Kohle- und Atomkraftwerken zum Antrieb der Generatoren, in den größten Schiffen wie Supertankern und Flugzeugträgern. Technologische Fortschritte, auch in der Metallurgie, gestatten bei zunehmend höherem Dampfdruck und höherer Dampftemperatur eine immer bessere Ausnutzung der Wärmeenergie, und das in einer Größenordnung, die selbst die stärksten Dieselmotoren auch nicht annähernd erreichen.

Im Modellbau bietet sich die Dampfturbine in erster Linie in Verbindung mit einem Schiffsmodell an. Doch scheint diese Vorstellung nicht weit verbreitet zu sein. Vielleicht deshalb nicht, weil man dabei, wie bei der Dampfmaschine, an eine möglichst genaue Verkleinerung einer großen Dampfturbine denkt. Wie sollte man wohl mehrere hundert laufende und stehende Schaufeln bestimmten und doch unterschiedlichen Profils auf den Millimeterbruchteil genau herstellen?

Große Turbinen nutzen zwar die Expansionskraft des Dampfes in mehreren Stufen, aber im Modellbetrieb muß das nicht so sein. Man kommt mit einem einzigen Laufrad aus; dabei sind die Verluste etwa so hoch wie bei einer Volldruck-Dampfmaschine.

Auch im Modellbetrieb hat die Dampfturbine gegenüber der Dampfmaschine Vorteile:

- Sie ist einfacher, schneller und viel billiger zu bauen.
- Sie hat keinen Totpunkt und läuft daher aus dem Stand an, kann also ferngesteuert werden. Bei einer Dampfmaschine ist das nur mit 3 einfach- oder 2 doppeltwirkenden Zylindern möglich.
- Sie läßt sich mit geringerem zusätzlichem Aufwand ferngelenkt umsteuern.
- Gewicht und Raumbedarf sind geringer.

Der Gedanke an eine Modelldampfturbine ist nicht ganz neu. Schon 1951 wurde eine in dem in London erschienenen Buch "Scale Model Ships" von Reeve und Thomas beschrieben. Eine gleichartige Konstruktion stellte L. Hildebrand 1954 vor (Mechanikus Heft 1 und 2). Aber noch 1959 wurde es von Modelldampfmaschinenkonstrukteuren für unmöglich gehalten, ein Schiffsmodell mit einer Dampfturbine anzutreiben (SMB 7/59). Der Widerspruch des Verfassers (SMB 9/59) führte zu einem Erfahrungsaustausch mit Karl Koffend, Wien. Auch Koffend baute zu der Zeit mit Erfolg Modelldampfturbinen. Deren Praxis auch nur einigermaßen von der Theorie her mit Formeln und Zahlen zu belegen, hielt er jedoch für unmöglich. Der Verfasser hat es versucht und sein Rechenwerk an Testreihen geprüft. Letzte Genauigkeit war da nicht zu erreichen, auch konnten nicht alle Varianten ausprobiert werden. Faustregeln sind aber besser als keinerlei Anhalt.

Die folgenden Ausführungen sind so angelegt, daß sich der Modellbauer nach seinem handwerklichen Vermögen für eine einfache oder aufwendigere Bauweise entscheiden kann. Dem Findigen sollen Anregungen und konzeptionelle Hilfe für eigene Konstruktionen gegeben werden.

1. Entwicklungsgeschichte

Am Anfang stand die Dampfturbine (DT), nicht die Dampfmaschine (DM). Etwa 130 v. Chr. fertigte Heron von Alexandrien eine drehbar gelagerte Hohlkugel, die er durch ausströmenden Dampf in Bewegung setzte. Der Dampf wurde in einem darunter befindlichen Dampfkessel (DK) erzeugt und durch ein Rohr, das zugleich als Lagerung diente, in die Kugel geleitet. Bild 1.1 zeigt, wie die Anlage ausgesehen haben mag.

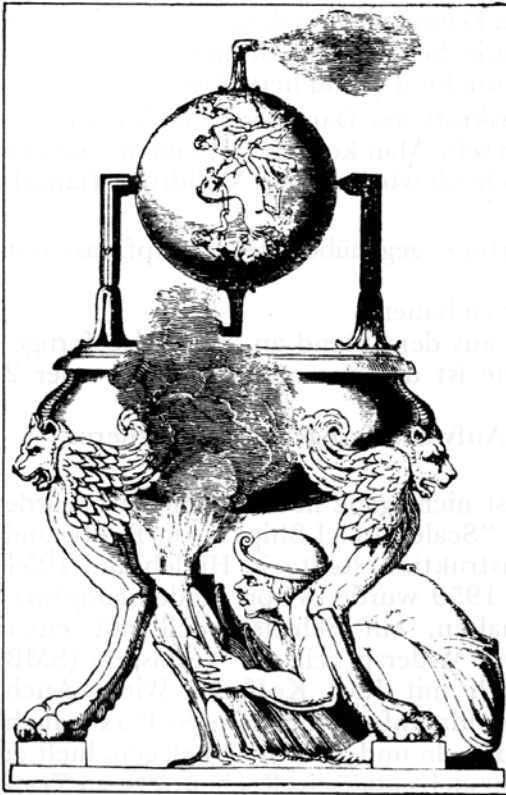


Bild 1.1 Herons Dampfkugel

Die Äolopile, wie man die DT des Heron nannte, war eine Reaktions-DT. Im Gegensatz dazu steht die Aktions-DT. Bei ihr wird der Dampfstrahl auf ein Schaufelrad gelenkt, wobei die

Wucht des Aufpralls dieses in Drehung versetzt. Die erste Beschreibung einer Aktions-DT ist von Giovanni Branca um 1630 überliefert. Die Schaufeln seines Dampfades waren ebene Flächen, also nicht gewölbt. Eine überlieferte Darstellung bringt Bild 1.2.

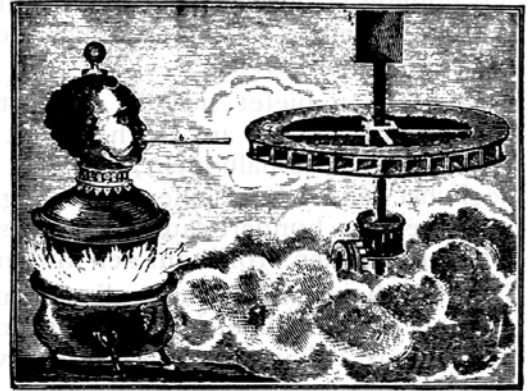


Bild 1.2 Brancas Dampfrad

1784 ließ sich von Kempelen (Ungarn) eine DT nach Art des Branca-Dampfades patentieren, jedoch ohne Erfolg, weil sie der für eine nennenswerte Nutzleistung erforderlichen Drehzahl nicht standhielt. Als erster stellte 1883 de Laval (Schweden) eine brauchbare Reaktions-DT her. Der S-förmige Läufer nach Bild 1.3 wurde – wie die Heron-Kugel – durch die Reaktionskraft des ausströmenden Dampfes angetrieben.

De Laval erfand die nach ihm benannte Düse und ließ sich 1888 eine Aktions-DT mit solchen Düsen patentieren. Mit einer Leistung von 5 bis 500 PS diente sie zunächst nur zum Antrieb von Generatoren. In den folgenden Jahren entwickelten insbesondere Curtis (USA), Parsons (England) und Rateau (Frankreich) die DT weiter.

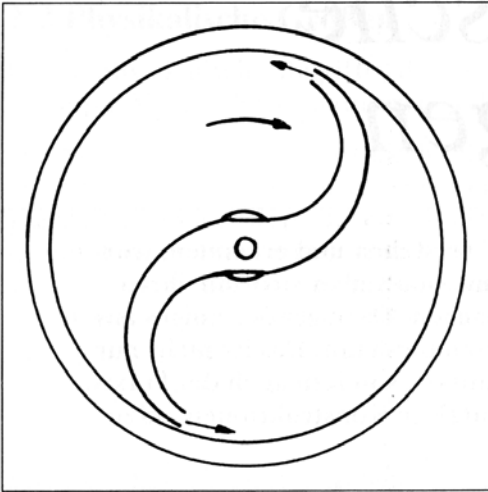


Bild 1.3 Läufer der de Laval Reaktions-DT

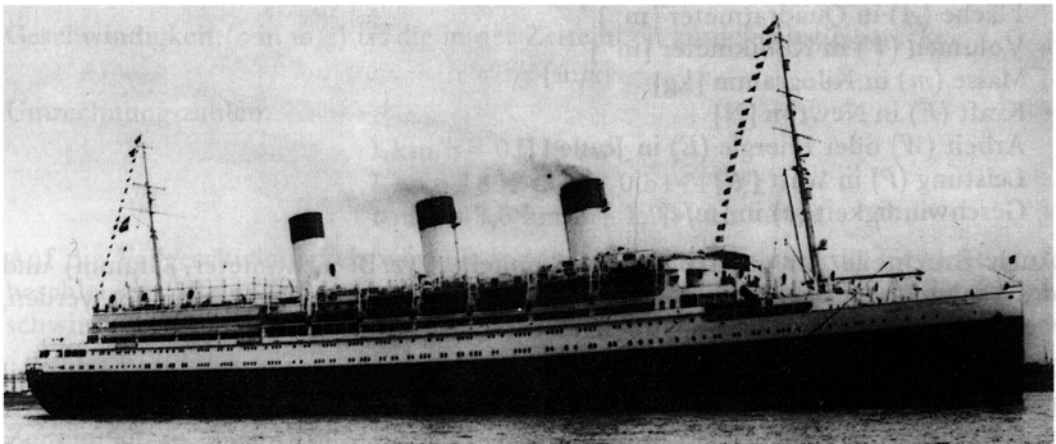
Als erster baute in den 90er Jahren des vorigen Jahrhunderts Parsons ein Schiff mit DT-Antrieb, die 30 m lange Dampfyacht "Turbinia". Infolge Kavitation an der einzigen Schraube erreichte sie zunächst nur 20 kn. Nach Einbau von 3 DT, die 3 Wellen mit 3flügeligen Schrauben ohne Untersetzung antrieben, stellte sich 1893 der Erfolg ein, nämlich 34 kn bei 2100 PS. Doch die britische Admiralität zeigte erst Interesse, nachdem Parsons sie durch eine Demonstration seines Schiffes 1897 bei der Flottenparade vor Spithead zum Gespött der Flotte gemacht hatte. Da erhielt er den Auf-

trag, zwei Zerstörer, die "Viper" und die "Cobra", zu bauen. Beide Schiffe erzielten 1900 bei den Probefahrten 37 kn. 1901 gingen sie durch Auflaufen auf Felsen verloren.

Der erste große DT-Schnelldampfer war 1905 die "Carmania" der Cunard Line (19687 BRT). Als erstes DT-Schiff errang 1907 die "Lusitania" (31550 BRT) das Blaue Band, seit 1909 hielt es die "Mauretania" (31938 BRT) ununterbrochen für 20 Jahre. Allerschnellstes DT-Passagierschiff wurde 1952 die „United States“. Bild 1.4 aus den 30er Jahren zeigt die „Cap Arcona“.

Für den Antrieb eines Schiffsmodells (SM) stellen wir uns eine DT geringster Abmessung vor. In den 20er Jahren, als in den Industriebetrieben Dampf überall und reichlich vorhanden war, wurden viele schnelllaufende Kleinmaschinen durch eine DT angetrieben. Die kleinste einkränzige hatte ein Laufrad (LR) von 80 mm Durchmesser und eine Drehzahl von 32000/min. Nach Untersetzung von 8 : 1 war die Leistung an der Vorgelegewelle 1,5 PS = 1100 W. Der Dampfverbrauch betrug bei einem Druck von ca. 10 bar etwa 25 kg/h.

Bild 1.4 Turbinenschiff „Cap Arcona“ der Hamburg-Süd



2. Physikalische Grundlagen

Will man die Funktionsweise einer DT verstehen und erkennen, worauf es bei ihrer Konstruktion ankommt, muß man sich mit ihren physikalischen Grundlagen vertraut machen. Dazu gehört einiges aus der allgemeinen Mechanik und der Strömungslehre. Das ist nicht nur eine Frage des theoretischen Verständnisses, sondern auch der Praxis. Ärgerlich wäre es, Zeit und Geld für nutzlose Konstruktionen aufzuwenden.

2.1 Einheitensystem

Mit dem Gesetz über die Einheiten im Meßwesen ist 1970 das Internationale Einheitensystem verbindlich geworden. Seit 1978 ist die Verwendung alter Maßeinheiten (z. B. Kilopond, atü, Kalorie, Pferdestärke) im Amts- und Geschäftsverkehr nicht mehr zulässig.

Das Rechnen mit den neuen SI-Einheiten (Abkürzung für *Système International*) ist erheblich einfacher als mit den früheren. Für sämtliche Energieformen (den Modellbauer interessieren vor allem Mechanik, Wärme, Elektrizität) gibt es nur noch eine Einheit der Leistung, das Watt.

Nur aus Gründen der Anschaulichkeit werden in diesem Buch einige Konzessionen gemacht. Doch wenn schon auch alte Einheiten (mit anschließender Umrechnung), dann nur "echt" alte und nicht solche, die nur vorübergehend gegolten haben, wie z. B. die Krafteinheit Kilopond.

Wichtig ist, daß alle in Gleichungen vorkommenden Größen in ihren gesetzlichen Maßeinheiten eingesetzt werden. So ist gesetzliche Einheit der Zeit nicht die Stunde [h] oder die Minute [min], sondern die Sekunde [s]. Ferner sind z. B. einzusetzen

Länge, Strecke (s) oder Höhe (h) in Meter [m]

Fläche (A) in Quadratmeter [m^2]

Volumen (V) in Kubikmeter [m^3]

Masse (m) in Kilogramm [kg]

Kraft (F) in Newton [N]

Arbeit (W) oder Energie (E) in Joule [J]

Leistung (P) in Watt [W]

Geschwindigkeit (c) in [m/s]

Auch Bruchteile der gesetzlichen Maßeinheiten (z. B. Zentimeter, Gramm) und das Vielfache (z. B. Kilometer, Kilojoule, Kilowatt) dürfen nur verwendet werden, wenn das ausdrücklich vorgeschrieben ist.

Die Formelzeichen der Größen (z. B. s für Strecke) werden von den zum Teil gleichen Kurzzeichen der Maßeinheiten (z. B. s für Sekunde) durch Kursivschrift unterschieden.

2.2 Physikalische Größen

Einige physikalische Begriffe, die in diesem Buch vorkommen, sollen jetzt – auch mit ihren Verstrickungen untereinander – erläutert werden.

Die **Masse** (m in kg), physikalische Basisgröße; Masse = Kraft durch Beschleunigung. Sie ist eine unveränderliche, überall gleiche und von seiner Lage unabhängige Eigenschaft eines Körpers; sein Gewicht ist jedoch abhängig von der jeweiligen örtlichen Fallbeschleunigung und wird durch Vergleich mit einer bekannten Masse gemessen, z. B. auf einer Tafelwaage durch Vergleich mit Metallkörpern ("Gewichten"), deren Masse 1 kg (oder ein Mehrfaches oder einen Bruchteil von 1 kg) beträgt.

Die **Dichte** (ρ in kg/m^3) oder spezifische Masse ist die Masse eines Körpers, bezogen auf die Einheit seines Volumens.

$$\rho = m/V \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Das **Volumen** (V in m^3) ist das Maß für den Rauminhalt eines Körpers.

Das **spezifische Volumen** (v in m^3/kg) ist das Maß für den Rauminhalt eines Körpers, bezogen auf die Einheit seiner Masse.

$$v = V/m = 1/\rho \text{ [m}^3/\text{kg}\text{]}$$

Die **Kraft** (F in N) ist das Maß für die Einwirkung auf den Bewegungszustand eines Körpers. 1 N erteilt der Masse 1 kg die Beschleunigung 1 m/s^2 , also $1 \text{ N} = 1 \text{ kgm/s}^2$.

$$F = ma \text{ [N]}$$

Falls praktisch möglich, läßt sich eine Kraft mit der Federwaage messen. Gibt deren Skala die Kraft nicht in N an, sondern in kp oder kg, ist umzurechnen:

$$1 \text{ kp} = 1 \text{ kg} = 9,81 \text{ N}$$

$$1 \text{ N} = 0,102 \text{ kp} = 0,102 \text{ kg}$$

Die **Erdbeschleunigung** (g in m/s^2) ist die Folge der Gewichtskraft (Erddanziehung)

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Die **Gewichtskraft** oder das Gewicht eines Körpers (G in N) ist die Kraft, mit der die Masse eines Körpers infolge der Anziehungskraft der Erde auf seiner Unterlage lastet oder an seiner Aufhängung zieht oder, falls beides nicht vorhanden, zum Erdmittelpunkt hin beschleunigt wird. Auch sie wird mit der Federwaage gemessen.

$$G = mg \text{ [mkg/s}^2\text{} = \text{N}]$$

Geschwindigkeit (c in m/s) ist die in der Zeiteinheit zurückgelegte Strecke.

$$c = s/t \text{ [m/s]}$$

Umrechnungszahlen:

$$1 \text{ km/h} = 0,278 \text{ m/s}$$

$$1 \text{ kn} = 1852 \text{ m/h} = 0,5144 \text{ m/s}$$

$$1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h} = 1,944 \text{ kn}$$

Auf die **Fallgeschwindigkeit** wird ein beweglicher Körper durch die Gewichtskraft beschleunigt. Beim freien, widerstandslosen Fall aus der Höhe h ist die Endgeschwindigkeit

$$c = gt = \sqrt{2gh} \text{ [m/s]}$$

Die **Drehzahl** (n) gibt die Zahl der Umläufe eines rotierenden Körpers in der Zeiteinheit an, nach dem SI also in der Sekunde. In der Technik ist es aber üblich,