

## Vorwort

Die Leistungsfähigkeit einer Dampfmaschine hängt nicht nur von einer maßhaltigen und sorgfältigen Bauweise ab, sondern auch von der Exaktheit ihrer Dampfsteuerung. Da letzterer eine besondere Bedeutung zukommt, ist auf das Wissen hierüber nicht zu verzichten. Nur wer die Zusammenhänge erkennt und versteht, wird im Zweifelsfall die richtigen Antworten finden.

Bei der Steuerung wird in erster Linie der Vorgang bezeichnet, der das regelmäßige Öffnen und Schließen der Dampfeintritts- und Dampfaustrittskanäle bewirkt. Hierzu gehört aber auch die Umkehr und Regulierung des Dampfstromes zur Änderung der Drehrichtung und Drehfrequenz.

Die Dampfsteuerung bei den oszillierenden Maschinen erfolgt zwangsläufig durch den steten Wechsel der Zylinderlage. Die Zylinder der etwas größeren Maschinen sind dagegen vorzugsweise mit einem zusätzlichen Schieberkasten versehen. In ihm bewegt sich ein von einem Exzenter gesteuerter Rund- oder Flachschieber (auch Muschelschieber genannt) für die Dampfverteilung.

Im Großmaschinenbau wurden während der langen Entwicklungszeit eine größere Zahl unterschiedlicher Steuermechanismen entwickelt. Von ihnen werden im Modellbau fast ausschließlich nur zwei verwendet. Nämlich für stationäre und Schiffsmaschinen die Stephensonsche- und für Modell-Dampflokomotiven daneben die Walschaerts-Heusinger-Steuerung. Beide Ausführungen stellen im Selbstbau gewisse Anforderungen an das handwerkliche Geschick.

Wesentlich einfacher ist dagegen der Bau und die Anwendung von Umsteuerventilen. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß es sich um eine selbstanlaufende, oszillierende Maschine, bzw. mit Schiebersteuerung versehene Zwei- oder Dreizylinder-Volldruckmaschine mit einem Kurbelwellenversatz von  $90^\circ$  bzw.  $3 \times 120^\circ$  handelt. Uneingeschränkt eingesetzt werden die Umsteuerventile bei Dampfturbinen für Drehrichtungs- und Drehfrequenzänderung.

Um Geschwindigkeit und Fahrtrichtung in Schiffsmotoren zu ändern, bietet sich bei nicht selbstanlaufenden oder in der Drehrichtung nicht umsteuerbaren Maschinen der Einsatz eines Verstellpropellers an. Diese Lösung entspricht zwar nicht den Vorstellungen des am vorbildähnlichen Nachbau interessierten Modellbauers, bietet jedoch eine echte Alternative.

# 1. Dampfkraft

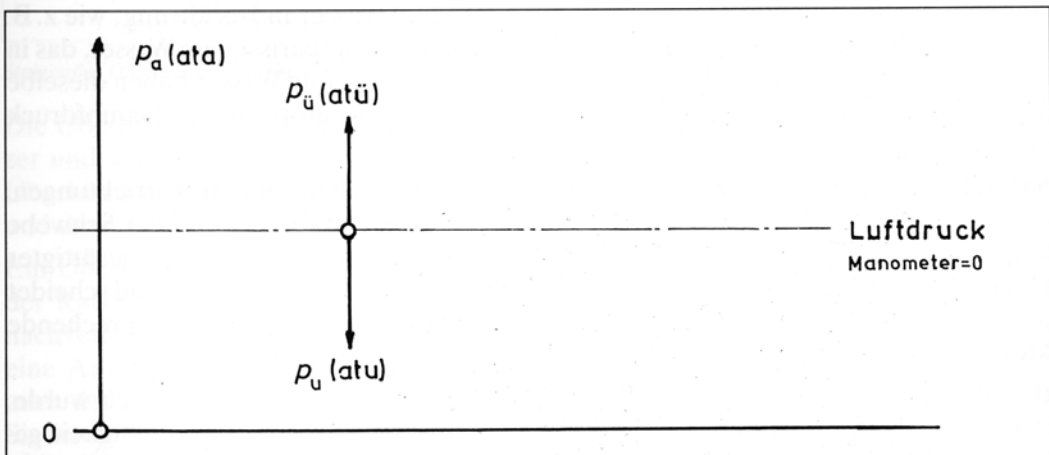
Das Volumen des sich aus kochendem Wasser entwickelten Dampfes ist bedeutend größer als das des Wassers, aus dem sich der Dampf gebildet hat. Die Volumenvergrößerung wird als Expansion bezeichnet. Unter bestimmten Voraussetzungen kann der Dampf beim Entweichen aus einem geschlossenen Behälter (Kessel) zu Arbeitsleistungen herangezogen werden. Damit ist die Dampfmaschine eine Kraftmaschine, die in der Lage ist, die Spannkraft des Dampfes in eine mechanische Arbeit umzuwandeln. Das Grundprinzip besteht darin, daß ein Kolben in einem Zylinder von Wasserdampf hin- und her getrieben wird.

Die Kraft des Dampfes wird durch seinen Druck in bar ausgedrückt. 1 bar entspricht dem Druck von  $1,02 \text{ kg/cm}^2$ . Gegenüber der früheren Bezeichnung  $1 \text{ at} = 1 \text{ kg/cm}^2$  kann die Differenz von 2 % vernachlässigt und  $1 \text{ at} = 1 \text{ bar}$  gesetzt werden. Unterschieden wird zwischen Überdruck, Unterdruck und absolutem Druck.

Für den Modellbauer kommt in erster Linie der Überdruck  $p_{\bar{u}}$  (atü) im Kessel in Betracht. Der Überdruck ist die Differenz zwischen dem äußeren Luftdruck und dem Druck in einem Behälter, z. B. Dampfkessel, wenn dieser Druck höher als der Luftdruck ist.

Sofern der Abdampf zur Erhöhung der Maschinenleistung in einen wassergekühlten Kondensator geleitet wird, entsteht der Unterdruck  $p_u$  (atu). Er ist die Differenz zwischen dem äußeren Luftdruck und dem Druck in einem Behälter, z. B. Kondensator, wenn dieser Druck niedriger als der Luftdruck ist. Der Unterdruck in einem Kondensator ist auch vom Barometerstand abhängig. Daneben kann ein Unterdruck in einem Dampfkessel beim Abkühlen nach einem Dampfbetrieb bei allseitig dichten Anschlüssen und Armaturen entstehen.

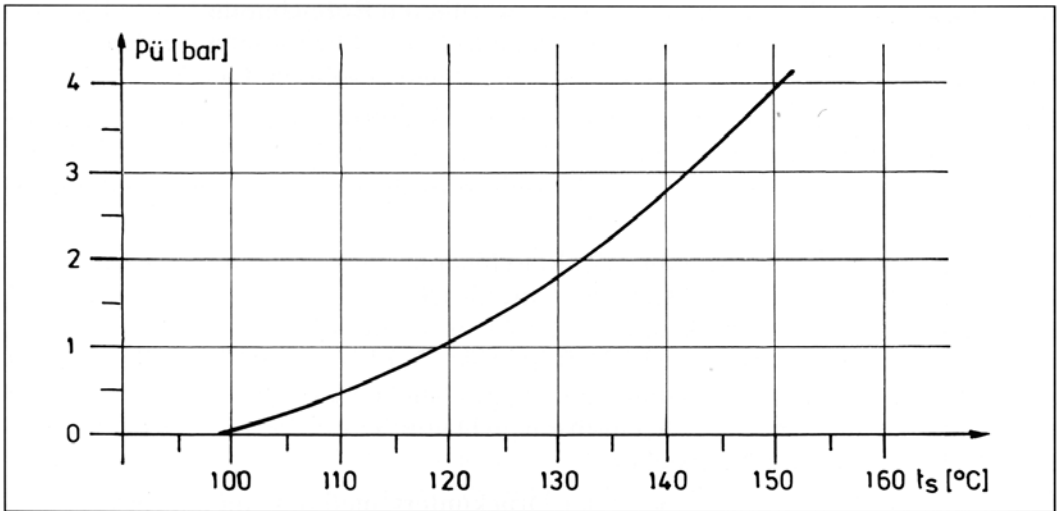
Mit absolutem Druck  $p_a$  (ata) wird der Druckunterschied des Außendruckes zu einem luftleeren Behälter, z. B. Kondensator, bezeichnet. Er ist nur dann von Bedeutung, wenn der Abdampf zur Erhöhung der Maschinenleistung in einen wassergekühlten Kondensator statt nach außen geleitet wird.



Verhältnis zwischen Über-, Unter- und absolutem Druck

Der Kesseldruck wird durch Manometer in bar angezeigt. Bei älteren Ausführungen findet man teilweise noch die Bezeichnung  $\text{kg/cm}^2$  oder atü. Dagegen zeigen englische Manometer  $\text{lb./sq.in.}$  (englische Pfund je Quadratzoll) an, auch als p.s.i. abgekürzt. In der neueren Schreibweise  $\text{lb}/\text{in}^2$  bedeutet f (force), daß es sich um ein Kraftpfund handelt. Für die Umrechnung gilt  $1 \text{ lb}/\text{in}^2 = 0,06895 \text{ bar}$ . Somit sind:  $10 \text{ lb}/\text{in}^2 = 0,69 \text{ bar}$  und  $30 \text{ lb}/\text{in}^2 = 2,07 \text{ bar}$ .

Wasserdampf ist ein gasförmiger Stoff und unterliegt den Gasgesetzen wie z. B. Sauer- und Stickstoff, Helium sowie die Gemische Luft, Rauchgase und Dampf-Luftgemische. Sie alle verhalten sich bei Druck-, Volumen- und Temperaturänderung gleich. Wird dem Wasser, seinem Druck entsprechend, die erforderliche Flüssigkeits- und Verdampfungswärme zugeführt, verwandelt es sich in Dampf. Bei höherem Druck braucht der Raum mehr Dampf bis zu seiner Sättigung. Dabei steigt die Temperatur mit zunehmendem Druck immer rascher an.



*Anstieg der Temperatur in Abhängigkeit des Dampfdruckes*

Für den Dampf gibt es eine Reihe von Bezeichnungen, die seinen wirklichen Zustand beschreiben.

**Naßdampf** oder feuchter Dampf steht noch mit dem Wasser in Berührung, wie z. B. im Dampfkessel. Er enthält einen gewissen Anteil von mitgerissenem Wasser, das in feinsten Tröpfchen in der Schwebelage gehalten wird. Dampf und Wasser haben dieselbe Temperatur. Hierbei ist der Druck des Dampfes ebenso groß wie der Dampfdruck des Wassers.

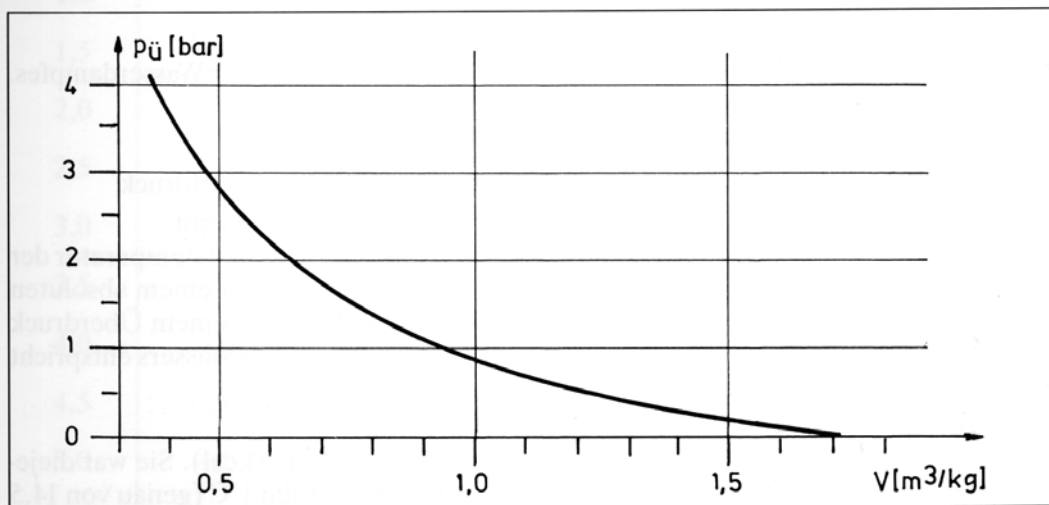
**Sattdampf** ist der vom Wasser getrennte Dampf der durch besondere Vorrichtungen, wie z. B. Wasserabscheider, Dampfdom, Dampfsammler, von allen in der Schwebelage mitgeführten Wasserteilchen befreit ist. Er wird daher auch als trocken gesättigter Dampf bezeichnet. Dieser Dampf befindet sich in einem Grenzzustand und scheidet bei geringster Abkühlung zum Ausgleich des Wärmeverlustes eine entsprechende Menge Wasser (Kondensat) ab. Er wird dadurch wieder zum Naßdampf.

**Heißdampf** entsteht, wenn die gesamte Wassermenge in Dampf verwandelt wurde. Überhitzter Dampf ergibt sich, wenn der Dampf von seiner Stammflüssigkeit getrennt und weiter erhitzt wird, wobei seine Spannkraft steigt. Ein Vorteil der Überhitzung liegt darin, daß die Wärmeverluste durch Kondensation gering gehalten wer-

den. Der überhitzte Dampf besitzt bei gleichem Druck eine höhere Temperatur und eine größere Wärmemenge als der Sattdampf. Er ist wasserfrei und kann wieder bis zur Sattdampf­temperatur abgekühlt werden, ohne daß es zu Wasserausscheidungen infolge von Kondensation kommt. Weitere Vorteile des Heißdampfes liegen neben dem Fortfall der Druck- und Wärmeverluste in der erzielbaren Leistungssteigerung bei Dampfmaschinen durch das sich ergebende größere Wärmegefälle.

Satt- und Heißdampf sind unsichtbar. Der bei einem Dampfaustritt im Freien sichtbare Nebel ist kein Dampf, sondern durch die Dampfentspannung sich bildendes ver­teiltes Wasser.

Jeder Raum kann nur ein bestimmtes Volumen an Dampf aufnehmen. Sobald dieses Volumen erreicht ist, wird von einem gesättigten Dampf gesprochen. Eine weitere Zufuhr von Dampf in den Raum würde bewirken, daß sich stets eine gleichgroße Menge als Tröpfchen an den Wänden kondensiert. Enthält ein Raum dagegen weniger Dampf, als er aufnehmen kann, handelt es sich um ungesättigten Dampf. Bei gleicher Temperatur ist daher der Druck von gesättigtem Dampf größer als von ungesättigtem. Das spezifische Dampf­volumen nimmt in  $\text{m}^3$  1 kg gesättigten Wasserdampf ein. Während mit steigendem Druck die Temperatur weiter ansteigt, wird das Volumen des Dampfes immer geringer.



*Steigender Dampfdruck verringert das Dampf­volumen*

Die Überhitzung des Dampfes erfolgt durch weitere Wärmezufuhr in einem Überhitzer und wird bei gleichem Druck auf eine höhere Temperatur gebracht. Durch die Überhitzung bei konstantem Druck ändern sich Temperatur, spezifisches Volumen und damit Dichte und Wärmeinhalt.

Ein Überhitzer besteht in seiner einfachsten Form aus einer im Feuerraum oder in der Rauchkammer befindlichen Rohrschlange, in der mitgerissene Wasserteilchen nachverdampft werden. Hierdurch erhält man eine ausreichende Überhitzung, um eine Anfangskondensation zu verhindern. Neben dem Temperaturanstieg nimmt auch das Volumen zu. Von Heißdampf sollte jedoch erst geredet werden, wenn die Siedetemperatur über ca.  $200^\circ\text{C}$  beträgt. Wieviel Wärme zum Überhitzen des Dampfes benötigt wird, hängt vom Überhitzungsgrad und der spezifischen Wärme ab und wie sich Druck und Überhitzungstemperatur erhöhen. Da die Extrawärme den

Rauchgasen entnommen wird, verringert sich der Schornsteinverlust. Das Ausmaß der Überhitzung bei Modellkesseln läßt sich nur schwer bestimmen. Daher sollten die Verbindungen am Überhitzer hart verlötet werden.

Die Gesamtwärme des Dampfes setzt sich aus der Flüssigkeits- und Verdampfungswärme zusammen. Als Flüssigkeitswärme gilt diejenige Wärmemenge, die das Wasser von 0 °C bis zur Siedetemperatur erwärmt. Die totale Verdampfungswärme setzt sich wiederum aus der inneren und äußeren Verdampfungswärme zusammen und überführt das Wasser bei unveränderter Temperatur in den Sattedampf. Die Überhitzungswärme dient dazu, den Sattedampf über die Siedetemperatur zu erwärmen.

Während sich der Dampf im Zylinder ausdehnt und den Kolben bewegt, leistet er Arbeit, bei der er sich abkühlt. Hat der Dampf die Temperatur der Umgebung erreicht, findet kein Antrieb mehr statt. Um Arbeit zu leisten, muß ein Wärmegefälle vorhanden sein. Enthält der Dampf bei der höheren Temperatur  $T_1$  die Wärmemenge  $Q_1$  und bei der niedrigeren Temperatur  $T_2$  die Wärmemenge  $Q_2$ , so kann sich nur die Differenz  $Q = T_1 - T_2$  in Wärme umgewandelt haben. Lediglich der dem Wärmegefälle  $T_1 - T_2$  entsprechende Teil der Wärmemenge  $Q_1$  wird in Arbeit umgesetzt. Der thermische Wirkungsgrad  $\eta_{th}$  ist daher:

$$\eta_{th} = \frac{Q \text{ (in Arbeit verwandelte Wärme)}}{Q_1 \text{ (aufgenommene Wärme)}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Die nebenstehende Tabelle bringt die Zustandswerte des gesättigten Wasserdampfes. Zur Bedeutung der einzelnen Spalten:

- 1 – Absoluter Druck in bar
- 2 – Relativer Druck gegenüber dem mit 1 bar angenommenen Luftdruck
- 3 – Siedetemperatur des Wassers in °C zur Erzeugung von Sattedampf  
Bei Dämpfen gehört zu jedem Druck eine ganz bestimmte Siedetemperatur der Flüssigkeit. So siedet Wasser bereits bei 6,9 °C, wenn es unter einem absoluten Druck von 0,01 bar steht. Dagegen wird der Siedepunkt bei einem Überdruck von 4 bar erst bei 151,8 °C erreicht. Die Siedetemperatur des Wassers entspricht auch der Sättigungstemperatur des Sattedampfes.
- 4 – Flüssigkeitswärme des siedenden Wassers in kJ/kg  
Früher war die Einheit der Wärmemenge die Kilokalorie (kcal). Sie war diejenige Wärmemenge, die erforderlich ist, um 1 kg Wasser um 1 °C (genau von 14,5 °C auf 15,5 °C) zu erwärmen. Für die Umrechnung der alten Maßeinheit gilt: 1 kcal = 4,19 kJ (Kilojoule).
- 5 – Verdampfungswärme in kJ/kg  
Die Verwandlung des Wassers von der Siedetemperatur in Dampf gleicher Temperatur ergibt sich aus der Verdampfungswärme. Somit ist die Gesamtwärme des Dampfes = Flüssigkeitswärme plus Verdampfungswärme. Mit steigendem Kesseldruck wird die Verdampfungswärme immer geringer.
- 6 – Gesamtwärme des Sattedampfes in kJ/kg  
Sie ist diejenige Wärmemenge, die erforderlich ist, um 1 kg Wasser von 0 °C unter dem bestehenden gleichbleibenden Druck in Dampf der Sättigungstemperatur zu bringen.
- 7 – Spezifisches Volumen des Sattedampfes in m<sup>3</sup>/kg  
Man versteht darunter den Rauminhalt in m<sup>3</sup>, den 1 kg Dampf bei dem jeweiligen Dampfdruck einnimmt.