

... DAS PROPORTIONALGESETZ?



# Linear, quadratisch, kubisch

Bild: Wilo

Eine Pumpe zu regeln ist ganz sicher kein Selbstzweck.  
Welche Gesetze gelten, lesen Sie in diesem Bericht

Dem Laien leuchtet es ein, dass eine Pumpe oder ein Ventilator, der nicht immer bei Vollgas betrieben wird, bei Halbgas entsprechend weniger Energie verbraucht. Dieser geringere Verbrauch ist aber auch einigen interessanten Gesetzen unterworfen, welche wir hier beschreiben.

Für Kreiselpumpen als auch Ventilatoren gelten die Proportionalgesetze. Danach haben diese beiden Antriebe ein ähnliches Verhalten bezogen auf den Transport eines Fluids. Fluid meint in diesem Zusammenhang Flüssiges und Gasförmiges wie Wasser und Luft.

### SINN UND UNSINN DER ANPASSUNG

Nur weil etwas technisch durchführbar ist, muss man es nicht zwangsläufig ausführen. Eine Anpassung der Leistung von Pumpen oder Ventilatoren sollte also schon ein sinnvolles Ziel erfüllen und nicht aus Verliebtheit in die Technik vorge-

sehen werden. Zwei Beispiele zeigen, wo eine Anpassung der Leistung sinnvoll erscheint.

#### 1. Beispiel: Umwälzpumpe im Mehrfamilienhaus

Die Heizungsanlage muss am frühen Wintermorgen um 06:00 Uhr die über Nacht abgesenkten Temperaturen in den zehn Wohnungen des Mehrfamilienhauses wieder auf ein komfortables Niveau bringen. Dafür ist die Leistung der Umwälzpumpe ausgelegt. Ab 08:00 Uhr sind jedoch 90% der Wohnungen leer und die Bewohner auf dem Weg zur Arbeit. Nur noch ein Heizkörper in der Küche einer Rentnerin fordert Wärme an. Sämtliche andere Heizkörper fah-

ren mit abgesenkter Raumtemperatur. Würde die Umwälzpumpe jetzt immer noch mit der Power vom morgendlichen Start arbeiten, hätte die alte Dame sicherlich keine Freude an ihrem Kaffee. Die Fließgeräusche wären beträchtlich, würde doch der gesamte Volumenstrom einer unregelmäßig Pumpen durch diese Wohnung gepresst. Also passt sich die Pumpe sinnvollerweise an den Bedarf an. Ein druckempfindlicher Sensor registriert das Ansteigen des Druckes im Heizungssystem, sobald ein Heizkörper geschlossen wird. Die kleinste Teillast reicht zum Schluss aus, um den vorgesehenen Volumenstrom für die Küche aufrecht zu erhalten.

## 2. Beispiel: Lüftungsanlage im Tagungshotel

Die ausgebuchten Tagungsräume des Hotels werden sämtlich über eine zentrale Lüftungsanlage mit Frischluft versorgt. Der Ventilator der Anlage ist genau für diesen Fall ausgelegt und läuft auf höchster Stufe. Am späten Freitagnachmittag tagt jedoch nur noch eine besonders strebsame Gruppe (wahrscheinlich Redakteure) in einem kleinen Sitzungssaal. Die Hauselektronik hat dies bereits registriert und entsprechende Klappen zu den ungenutzten Räumen geschlossen. Nur noch der belegte Raum wird mit dem bestimmungsgemäßen Volumenstrom versorgt. Das spart natürlich erheblich Heizenergie im Winter sowie gegebenenfalls Kühlenergie im Sommer. Aber es ist natürlich auch sehr viel kostengünstiger, nur noch 500 kg Luft pro Stunde zu bewegen als 5000 kg. Sowohl bei Umwälzpumpen als auch bei Ventilatoren kann die Leistungsanpassung also den Komfort erhöhen und die Wirtschaftlichkeit verbessern.

Rein technisch hatte man in früheren Zeiten und für die Heizung mal ein Überströmventil als ausreichend angesehen. Im Falle von Omas beheizter Küche im Mehrfamilienhaus hätte man ein solches Ventil zwischen Vor- und Rücklauf eingesetzt. Und dieses Ventil hätte sich bei einem ansteigenden Differenzdruck im System immer weiter geöffnet und im Prinzip einen Kurzschluss zwischen Vor- und Rücklauf eingeleitet. Die Pumpe wäre allerdings mit voller Leistung durchgelaufen und hätte unnötig viel elektrischen Strom verbraucht.

Man kann also mit Fug und Recht behaupten, dass eine Leistungsanpassung von Pumpen und Ventilatoren sinnvoll sein kann.

## UNTERWIRF DICH DEM GESETZ

Nur selten unterwerfen wir unsere Alltagsgegenstände dem Diktat von Gesetzen. Harmlose Pumpen und Ventilatoren sollen sich jedoch danach richten. Man hat allerdings nur eine gewisse Ähnlichkeit im Verhalten festgestellt und diese Ähnlichkeit mathematisch ausgedrückt und als Gesetz bezeichnet. Das hört sich wild an, ist aber im Endeffekt leicht

durchschaubar. Am Beispiel einer Pumpe wird dieses Gesetz, das gleichermaßen auf Ventilatoren angewendet werden kann, im Folgenden beschrieben.

Es werden insgesamt vier Größen einer Pumpe betrachtet:

- |    |                       |            |
|----|-----------------------|------------|
| a. | Volumenstrom          | $\dot{V}$  |
| b. | Druckdifferenz        | $\Delta p$ |
| c. | Drehzahl              | $n$        |
| d. | Hydraulische Leistung | $P_{ab}$   |

Der Volumenstrom und die Druckdifferenz sind die beiden Größen, für die eine Pumpe ausgewählt wird.

Will man das Ergebnis von Druck und Volumenstrom zahlenmäßig erfassen, so ergibt sich die hydraulische Leistung einer Pumpe aus der Multiplikation von  $\dot{V}$  mal  $\Delta p$  zu  $P_{ab}$ .

Will man jetzt die Leistung einer Pumpe verändern, so könnte man die kleinen Schaufeln des Laufrades verstellen. Sie steiler oder flacher zum Pumpengehäuse anzustellen, würde das Verhalten entsprechend beeinflussen. Aber der Aufwand wäre enorm. Man praktiziert jedoch etwas Ähnliches bei Windrädern, die ja den jeweiligen Windverhältnissen angepasst werden müssen. Bei Pumpen geht man jedoch schlicht über die Drehzahl, um eine Anpassung der Leistung und damit von Volumenstrom und Druckdifferenz vorzunehmen.



Bild: unkas\_photo / iStock / thinkstock

**Auch Ventilatoren können über die Drehzahl geregelt werden. Es gelten ebenfalls die Proportionalitätsgesetze**

## DIE GESETZE

Das erste Gesetz besagt, dass sich der Förderstrom linear zur Drehzahl ändert. Als Formel steht dann da:

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

### Beispiel:

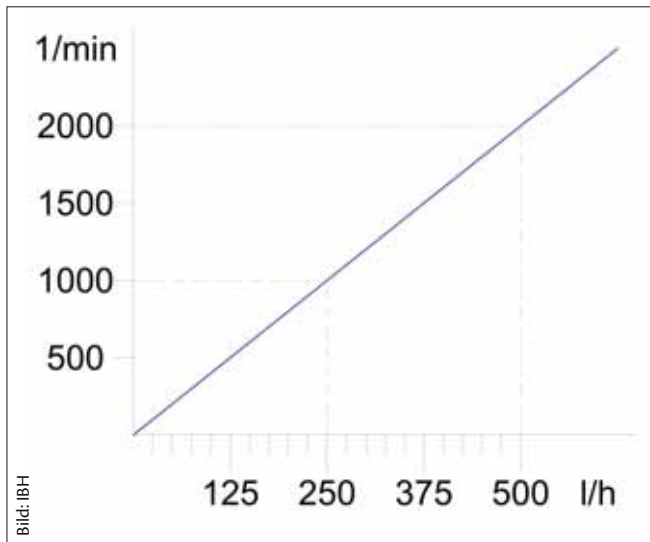
Eine Pumpe wird mit einer Drehzahl von 2000 min<sup>-1</sup> betrieben und fördert dabei 500l Wasser in der Stunde. Welcher Volumenstrom stellt sich ein bei einer abgesenkten Drehzahl von nur noch 1000 min<sup>-1</sup>?

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_1 \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

$$\dot{V}_2 = 5000l/h \cdot \frac{1000 \text{ min}^{-1}}{2000 \text{ min}^{-1}} = 2500l/h$$

$$\dot{V}_2 = 5000l/h \cdot \frac{1}{2} = 2500l/h$$

Bei einer Halbierung der Drehzahl halbiert sich auch der Volumenstrom. Dies entspricht einer linearen Abhängigkeit. In einem Diagramm ließe sich die Abhängigkeit als Linie darstellen (Linie > linear).



Ein linearer Verlauf erfolgt zwischen Drehzahl und Volumenstrom



## DICTIONARY

Umwälzpumpe	=	circulating pump
Proportionalgesetz	=	proportional law
Pumpengehäuse	=	pump housing
Halbieren	=	to halve

Das zweite Gesetz bezieht sich auf die Druckdifferenz und die Drehzahl:

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2$$

### Beispiel:

Eine Pumpe wird mit einer Drehzahl von 2000 min<sup>-1</sup> betrieben bei einer Druckdifferenz von 100 mbar. Welche Druckdifferenz stellt sich ein bei einer Drehzahl von 1000 min<sup>-1</sup>?

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \cdot \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

$$\Delta p_2 = 100 \text{ mbar} \cdot \left( \frac{1000 \text{ min}^{-1}}{2000 \text{ min}^{-1}} \right)^2$$

$$\Delta p_2 = 100 \text{ mbar} \cdot \frac{1}{4} = 25 \text{ mbar}$$

Und wenn diese Beziehung zwischen Drehzahl und Druckdifferenz stimmt und die zuvor gezeigte Beziehung zwischen Drehzahl und Volumenstrom, dann muss ja zwangsläufig auch gelten:

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left( \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \right)^2$$

Eingesetzt in dem bereits beschriebenen Beispiel gilt dann:

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \cdot \left( \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} \right)^2$$

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \cdot \left( \frac{2500l/h}{5000l/h} \right)^2$$

$$\Delta p_2 = 100 \text{ mbar} \cdot \frac{1}{4} = 25 \text{ mbar}$$

Im dritten Gesetz wird dann noch die Beziehung zwischen der Drehzahl und der Leistung hergestellt. Danach gilt dann schon fast zwangsläufig:

$$\frac{P_{ab1}}{P_{ab2}} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3$$

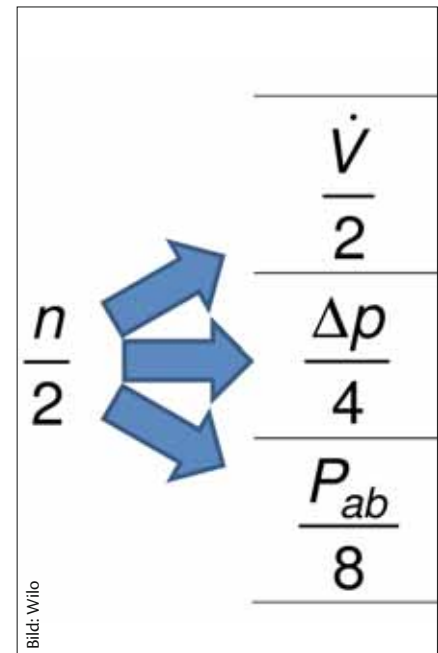
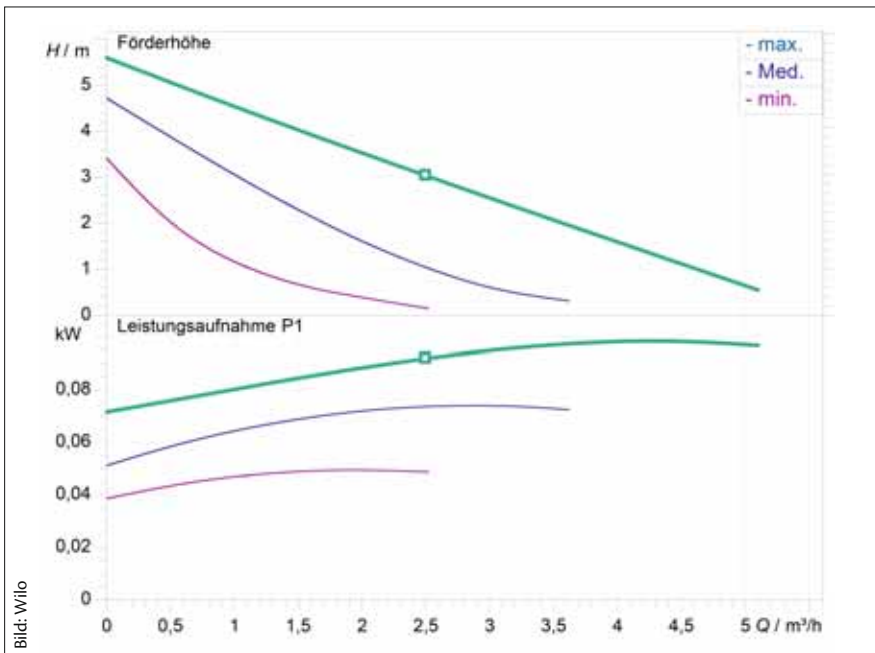
Für das bereits eingeführte Beispiel:

$$P_{ab1} = \dot{V}_1 \cdot \Delta p_1$$

Bei dieser Rechnung ist es zwingend vorgeschrieben, den Volumenstrom in Kubikmeter pro Sekunde einzugeben und die Druckdifferenz in Pascal.

Dann ergibt sich für das Beispiel bei voller Drehzahl von 2000 min<sup>-1</sup>

$$P_{ab1} = \frac{5,0 \text{ m}^3/h}{3600 \text{ s/h}} \cdot 10000 \text{ Pa} = 13,9 \text{ W}$$



**Kennfeld einer Wilo Star-Z**

**Die Folgen des Proportionalgesetzes in Kurzform**

Die Leistung bei 2000 Umdrehungen beträgt 13,9 W. Würde man diese Leistung durch Absenken der Drehzahl auf die Hälfte verringern ergibt sich:

$$P_{ab2} = P_{ab1} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

$$P_{ab2} = 13,9W \cdot \left(\frac{1000\text{min}^{-1}}{2000\text{min}^{-1}}\right)^3 = 1,7W$$

$$P_{ab2} = 13,9W \cdot \frac{1}{8} = 1,7W$$

Das hört sich alles und insgesamt recht zufällig an. Ist es aber nicht. Der wichtige Hintergrund, der dem Anlagenmechaniker immer wieder die Ohren klingeln lassen soll, ist:

Nicht einbezogen in diese Quasigesetze sind auch die Wirkungsgrade der Pumpen und Ventilatoren bei der jeweiligen Drehzahl. Der Wirkungsgrad einer Pumpe oder eines Ventilators ist nicht konstant über das gesamte sinnvolle Drehzahlband. Dies können Sie auch anhand des hier dargestellten Kennfeldes einer Star-Z von Wilo gut ablesen. Diese drei Gesetze vereinfachen die fachlichen Gespräche und Diskussionen in Bezug auf die energetische Optimierung von technischen Anlagen, in denen Fluide bewegt werden. Und über dem Gesetz steht höchstens der klare Verstand.

**Lehrsatz und Gesetz:**

- Eine Halbierung der Drehzahl hat
- eine Halbierung des Volumenstroms zur Folge
- und
- eine Viertelung der Druckdifferenz zur Folge
- sowie
- eine Achtelung der Leistung zur Folge.

Dies gilt, wie bereits beschrieben, für Kreiselpumpen und Ventilatoren gleichermaßen.

Zwar handelt es sich nur um eine Modellvorstellung, die man nicht beliebig anwenden kann. Aber vom Grundsatz her ist diese Betrachtung schon interessant. Die Modellvorstellung endet natürlich bei extrem niedrigen oder irrwitzig hohen Drehzahlen. Sie kann also bei 3000 min<sup>-1</sup> stimmen, aber bei 30 min<sup>-1</sup> oder 30 000 min<sup>-1</sup> völlig unrealistisch sein.



**AUTOR**



**Dipl.-Ing. (FH) Elmar Held** ist verantwortlicher Redakteur des SBZ Monteur. Er betreibt ein TGA-Ingenieurbüro, ist Dozent an der Handwerkskammer Dortmund sowie öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger  
**Telefon (0 23 89) 95 10 21**  
**Telefax (0 23 89) 95 10 22**  
**held@sbz-online.de**  
**www.ingenieurbueroheld.de**