

# Erklärung physikalischer Größen

## Förderstrom $Q$ bzw. $\dot{V}$

wird der durch den Austrittsquerschnitt (Druckstutzen) geförderte nutzbare Volumenstrom bezeichnet. Die Angabe erfolgt in  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $\text{dm}^3/\text{s}$ ,  $\text{m}^3/\text{h}$  oder  $\text{l}/\text{min}$ .

Bei Kreiselpumpen ist der Förderstrom  $Q$  bzw.  $\dot{V}$  abhängig von der Förderhöhe  $H$  der Pumpe (siehe Kennlinien). Bei Verdrängerpumpen ist der Förderstrom annähernd unabhängig von der Förderhöhe  $H$  der Pumpe.

## Verlusthöhe $H_v$

bezeichnet den Druckverlust, der entsteht, wenn eine Flüssigkeit durch Rohre, Armaturen, Apparate usw. strömt. Überschlägige Bestimmung dieser Verluste siehe unten. Je nachdem, wo dieser Verlust auftritt, wird er mit  $H_{vs}$  (Saugleitung),  $H_{vz}$  (Zulaufleitung) oder  $H_{vd}$  (Druckleitung) bezeichnet. Die Verlusthöhe wird in  $\text{m}$  gemessen.

## Förderhöhe der Pumpe $H$

ist bei **Saugbetrieb** die Summe aus der geodätischen Saughöhe (Iotrichter Abstand zwischen Flüssigkeitsspiegel und Pumpenlauf rad), der geodätischen Druckhöhe und den Verlusthöhen in Saug- und Druckleitung; ist bei **Zulaufbetrieb** die geodätische Druckhöhe minus geodätischer Zulaufhöhe plus Verlusthöhen.

Diese Erläuterung gilt nur, wenn die Drücke im saug- bzw. zulaufseitigen und im druckseitigen Behälter einander gleich sind (z.B. bei offenen Behältern); andernfalls ist die Drucksteigerung zwischen den beiden Behältern (gemessen über dem jeweiligen Flüssigkeitsspiegel) in der Dimension  $\text{m}$  der Förderhöhe zuzurechnen. Die Förderhöhe wird in  $\text{m}$  gemessen.

## Nullförderhöhe $H_0$

ist die Förderhöhe bei Nenndrehzahl und Förderstrom  $Q = 0$ , auch **Drosselhöhe** genannt.

## Die Kennlinien der Fass- und Behälterpumpe

Der Einsatz von Fasspumpen bei reinem Umfüllbetrieb ist problemlos. Will man die Fördermenge wissen und hieraus z.B. die notwendige Umfüllzeit ausrechnen, so sucht man in der Pumpenkennlinie die sogenannte Fördermenge bei freiem Auslauf  $\dot{V}_0$  (Förderhöhe  $H=0$ ) und ist am Ziel (BP1).

Fördert man hingegen in ein Behältnis auf etwas größere Höhe (Spiegelhöhendifferenz  $h$ ) mit einem nicht zu engen und nicht zu langen Schlauch, so ermittelt man mit Hilfe dieser Höhe die nun austretende Fördermenge  $\dot{V}_h$  (BP2). Damit wird auch klar, dass die Spiegelhöhendifferenz nicht größer als  $H$  sein darf, soll überhaupt noch eine Förderung möglich sein. Normalerweise gehört zu einer Spiegelhöhendifferenz aber auch ein entsprechend langer Schlauch, dessen Durchmesser sich in technisch vertretbaren Grenzen bewegt. Dann tritt ein nicht zu vernachlässigender Druckverlust auf.

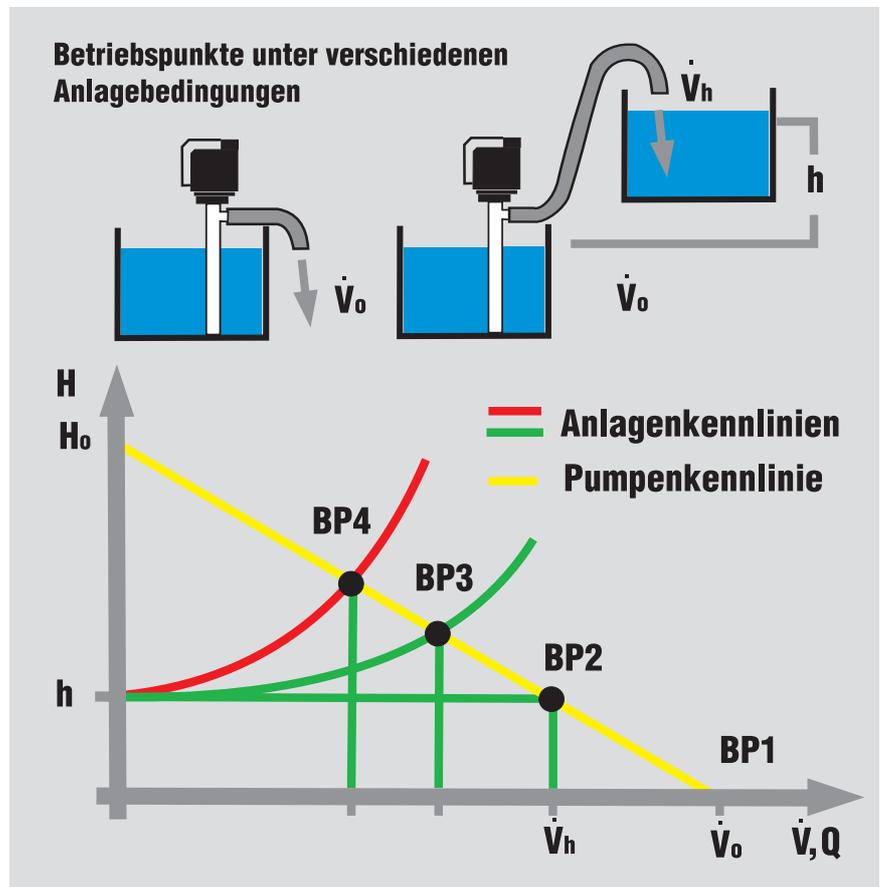
In grafischer Darstellung entspricht dies der grünen Kurve, welche aussagt, wieviel Druckerzeugung notwendig ist, um einen gewünschten Volumenstrom auf die Höhe  $h$  durch die Schlauchleitung zu befördern. Je größer der Volumenstrom, umso größer wird die erforderliche Druckerzeugung. Diesen Zusammenhang nennt man "Anlagenkennlinie".

Bei der Pumpe ist die Tendenz zwischen Volumenstrom und Druckerzeugung genau

umgekehrt. Man nennt diesen Zusammenhang "Pumpenkennlinie". Der Schnittpunkt zwischen beiden ist der "Betriebspunkt" (BP3). Im Betriebspunkt 3 stimmen Druckerzeugung der Pumpe und erforderlicher Druck der Anlage sowie die Volumenströme überein.

Wählt man nun eine etwas engere Schlauchleitung, so werden die Verluste größer, und die Anlagenkennlinie kommt in die höhere, rot gekennzeichnete Lage. Als Betriebspunkt ergibt sich jetzt BP4 mit geringerem Volumenstrom. Eine ähnliche Tendenz hat man, wenn an die Schlauchleitung zusätzliche Druckverluststellen wie Zapfpistolen, Reduzierstücke, Krümmen o.ä. angebaut werden. Auf deren Berechnung wird hier jedoch nicht eingegangen.

In die gleiche Richtung wirkt auch die Erhöhung der Viskosität. Hierbei wird jedoch auch die Pumpenkennlinie beeinflusst, die tiefer liegen wird. Also wirken hier zwei gegenläufige Tendenzen mit großem Einfluss auf die Fördermenge. Zur Berücksichtigung der Viskosität sollten die Anwendungstechniker von Lutz zu Rate gezogen werden.



# Erklärung physikalischer Größen

## Dichte

Die Dichte ist der Quotient aus der Masse  $m$  in kg und dem Volumen  $V$  in  $m^3$ , also  $\rho = m/V$  in  $kg/m^3$ . Die Zahlenwerte der Dichte sind gleich den Zahlenwerten der früher gebräuchlichen Wichte oder spezifischen Gewichte, so dass die Zahlenwerte für die Dichte auch aus den Tabellen für die spezifischen Gewichte des betreffenden Stoffes entnommen werden können. Die Dichte hängt ebenso wie die Wichte von der Temperatur oder Flüssigkeit ab, ist im Gegensatz zur Wichte aber unabhängig von der Fallbeschleunigung. **Die Dichte hat Einfluss auf die erforderliche Antriebsleistung einer Pumpe!**

## Viskosität, Zähigkeit

Um eine Flüssigkeit durch ein Rohr bestimmter Länge fließen zu lassen, ist ein Druckunterschied erforderlich, der im allgemeinen für jede Flüssigkeit einen anderen Wert hat und pro-

portional zur Rohrlänge ist. Ein Maß für die Größe dieses Druckunterschiedes ist die Zähigkeit. Man unterscheidet **kinematische Zähigkeit**  $\nu$  (Einheit  $m^2/s$ ) und **dynamische Zähigkeit**  $\eta$  (Einheit Pascalsekunde Pas). Durch Multiplikation der kinematischen Zähigkeit mit der Dichte erhält man die dynamische Zähigkeit, häufig nur Zähigkeit genannt.

$$\eta = \rho \cdot \nu$$

**Bei Flüssigkeiten steigt die Zähigkeit mit fallender Temperatur.** Diesem Umstand muss bei der Auslegung von Pumpen Rechnung getragen werden, wenn zähe Flüssigkeiten gefördert werden und mit Temperaturunterschieden zu rechnen ist. Für einen Vergleich zwischen obigen neuen Einheiten und einigen seit 1977 nicht mehr zugelassenen Einheiten für die Viskosität dienen folgende Umrechnungstabellen (in Deutschland zugelassene Einheiten in Fettdruck):

dynamische Viskosität $\eta$	Pas = Ns/m <sup>2</sup> (Pascalsekunde)	mPas (Millipascalsekunde)	P (Poise)	cP (Centipoise)
1 Pas = 1 Ns/m <sup>2</sup>	<b>1</b>	<b>1000</b>	10	1000
1 mPas	<b>0,001</b>	1	0,01	1
1 P	0,1	100	1	100
1cP	0,001	1	0,01	1

Für Werte über 60 cSt gilt:

kinematische Viskosität $\nu$	m <sup>2</sup> /s	St (Stokes)	cSt (Centistokes)	°E (Engler grad)	RI (Red-Sek.) England	S.U. (Saybolt-Sek.) USA
1 m <sup>2</sup> /s =	1	10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>	0,132-10 <sup>6</sup>	4,05-10 <sup>6</sup>	4,63-10 <sup>6</sup>
1 St =	10 <sup>-4</sup>	1	100	13,2	405	463
1 cSt =	10 <sup>-6</sup>	0,01	1	0,132	4,05	4,63
1 °E =	7,58-10 <sup>-6</sup>	7,58-10 <sup>-2</sup>	7,58	1	30,7	35,11
1 RI =	0,247-10 <sup>-6</sup>	0,247-10 <sup>-2</sup>	0,247	0,0326	1	1,14
1 S.U. =	0,216-10 <sup>-6</sup>	0,216-10 <sup>-2</sup>	0,216	0,0285	0,887	1

# Erklärung physikalischer Größen

## Berechnung von Verlusthöhen

Verlusthöhen entstehen beim Durchströmen langer Rohrleitungen, von Armaturen, Abzweigungen und Apparaten. Die Größe dieser Verluste wird durch Rohrdurchmesser, Rohrlänge, Rohrrauigkeit, Förderstrom und Viskosität des Fördermediums bestimmt.

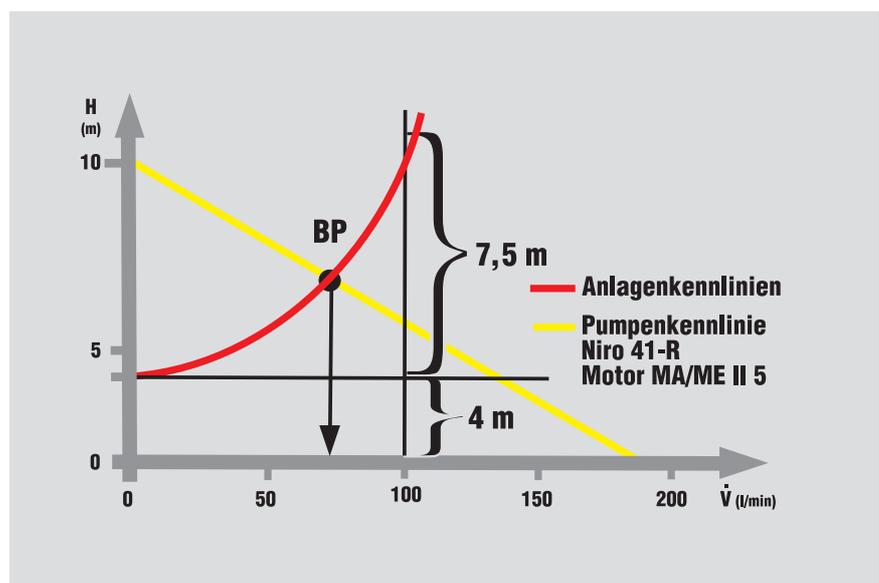
Zur überschlägigen Berechnung von Druckhöhenverlusten für Wasser und Flüssigkeiten gleicher Zähigkeit kann folgende Tabelle dienen:

Förderstrom		Rohrleitung, Schlauchleitung, lichter Durchmesser in mm					
m <sup>3</sup> /h	l/min.	10	15	20	25	30	40
1	16,7	15,00	2,50	0,60	0,20	0,09	0,02
2	33,3	–	8,50	2,00	0,70	0,30	0,07
3	50,0	–	–	4,20	1,50	0,60	0,15
4	66,6	–	–	7,00	2,50	1,00	0,25
6	100,0	–	–	14,0	5,00	2,00	0,50
8	133,2	–	–	–	8,50	3,50	0,90
10	167,0	–	–	–	–	5,50	1,30
15	250	–	–	–	–	–	2,70

Druckverlust in m FS pro 10 m gerade, glatte Leitung.

Bei zusätzlich eingebauten Armaturen und Formstücken erhöhen sich die Druckverluste entsprechend der Faustformel „Druckverlust

pro Armatur bzw. Formstück entspricht ungefähr Druckverlust einer 5 m langen geraden Rohrleitung gleicher Nennweite“.



## Ermittlung des Betriebspunktes BP aus Anlage- und Pumpenkennlinie

Will man z.B.  $\dot{V} = 100$  l/min. Wasser durch eine Schlauchleitung von 25 mm Durchmesser fördern, so beträgt der Druckverlust 5 m FS bei einer 10 m langen glatten Rohrleitung (ohne Armaturen). Bei Verwendung von diversen Armaturen und Formstücken erhöht sich der Druckverlust auf 7,5 m FS.

Stellt diese Rohrleitung nun eine Verbindungsleitung zu einem 4 m höher liegenden Behälter dar, so erhält man die rote Anlagenkennlinie. Durch Einzeichnen verschiedener Pumpenkennlinien lässt sich der tatsächlich geförderte

Volumenstrom ablesen, z.B. für das Lutz Pumpwerk Niro 41-R mit Motor MA II 5 oder ME II 5 den Wert 60 l/min.

Anlagenbedingt erhält man also einen etwa 3fach kleineren Wert als bei reinem Umfüllbetrieb, den man vielleicht bei oberflächlicher Betrachtung als ungefähren Richtwert annehmen würde. Eine genauere Ermittlung der tatsächlichen Verhältnisse ist also auf jeden Fall sinnvoll und notwendig. Es muss dabei auch der Einfluss von höheren Dichten und Viskositäten berücksichtigt werden.