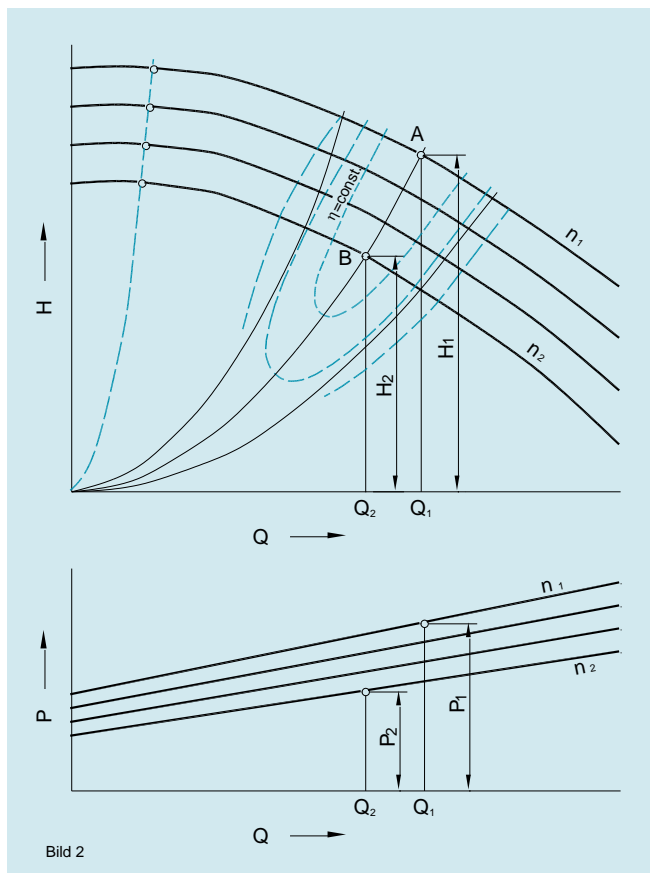




2 Die Kennlinien

1. Die Kennlinien der Pumpe

Die Förderhöhe der Kreiselpumpe ändert sich mit dem Förderstrom und der Drehzahl in weiten Grenzen. Hält man die Drehzahl konstant, so liefert die Beziehung zwischen Förderhöhe und Förderstrom im rechtwinkligen Achsenkreuz eine Kurve, die als Förderhöhenkennlinie, QH-Kurve oder auch Drosselkurve bezeichnet wird. Die zuletzt genannte Bezeichnung „Drosselkurve“ rührt daher, dass die Abhängigkeit der Förderhöhe vom Förderstrom auf dem Prüfstand durch Drosseln, d.h. schrittweises Verengen der Austrittsöffnung der Pumpe ermittelt wird. Für jede Drehzahl ergibt sich eine andere Kennlinie $H = f(Q)$, der jeweils eine andere Kennlinie der Leistungsaufnahme $P = f(Q)$ zugeordnet ist. Die Gesamtheit der Förderhöhen- und Leistungskennlinien bildet das Kennfeld der Pumpe. (Bild 2)



Für Flüssigkeiten mit geringer Zähigkeit sind die Kennlinien einer Kreiselpumpe innerhalb des Bereiches, in welchem keine Kavitation auftritt, durch das Newtonsche Ähnlichkeitsgesetz (Affinitätsgesetz) aneinander gebunden.

Bezeichnet Q den Förderstrom, H die Förderhöhe, P die aufgenommene Leistung und n die Drehzahl, so bestehen die folgenden Beziehungen:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{n_2}{n_1}, \quad H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2, \quad P_2 \approx P_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \quad (8)$$

Da die Leistungsaufnahme Verluste enthält, die sich nicht mit der 3. Potenz der Drehzahl ändern, gilt die Gleichung streng genommen nur für die Nutzleistung. Auch bei der Anwendung des Affinitätsgesetzes auf Förderstrom und Förderhöhe sollte die geänderte Drehzahl n_2 nicht mehr als etwa 20 bis 25% von der Ausgangsdrehzahl abweichen.

Da sich der Förderstrom linear, die Förderhöhe quadratisch mit der Drehzahl ändert, liegen zugeordnete Punkte (z.B. A und B) auf einer Parabel, die ihren Scheitel im Koordinatenursprung hat. Alle Punkte einer solchen Parabel sind durch geometrisch ähnliche Geschwindigkeitsverhältnisse der Pumpe gekennzeichnet. Entspricht deshalb ein Punkt der Parabel dem Zustand stoßfreien Eintritts der Flüssigkeit in die Schaufelkanäle, so besteht auch für alle anderen Punkte der Parabel stoßfreier Eintritt. Man bezeichnet sie deshalb als Parabeln gleichen Stoßzustandes.

Das Ähnlichkeitsgesetz liefert die Möglichkeit, innerhalb seines Gültigkeitsbereiches aus einer gemessenen, für eine bestimmte Drehzahl gültigen Drosselkurve weitere Drosselkurven für andere Drehzahlen zu errechnen. Dabei zeigt sich, dass alle diese Drosselkurven deckungsgleich sind.

Aus der oben genannten Eigenschaft der Parabeln könnte man schließen, dass längs einer solchen Parabel im Kennfeld der gleiche Wirkungsgrad herrscht. Das trifft jedoch nicht zu. Als Linien gleichen Wirkungsgrades ergeben sich vielmehr ellipsenförmige, in sich geschlossene Kurven (Bild 2). Die Abweichung erklärt sich aus der bereits erwähnten Tatsache, dass die aufgenommene Leistung Verluste enthält, die sich nicht genau mit der 3. Potenz der Drehzahl ändern. Das sind die mechanischen Verluste in der Lagerung und der Wellenabdichtung sowie der Radseitenreibungsverlust. Außerdem befolgen die Druckhöhenverluste in der Pumpe wegen der Änderung der Reynoldszahl nicht genau das quadratische Gesetz. Bei gegebenem Förderstrom ist ein hoher Wirkungsgrad nur bei einem bestimmten Laufraddurchmesser zu erwarten. Bei kleineren und vor allen Dingen bei größeren Durchmessern verringert sich der höchste erreichbare Wirkungsgrad. Pumpen mit großen Laufraddurchmessern bei kleinen Förderströmen sind deshalb unwirtschaftlich. Einer mehrstufigen Ausführung mit optimalem Laufraddurchmesser ist hier der Vorzug zu geben.



2. Die Kennlinie der Anlage

Die Förderhöhe einer Anlage besteht im allgemeinen aus der statischen Förderhöhe H_{stat} und der Verlusthöhe H_v in den angeschlossenen Rohrleitungen und Geräten. Die **statische Förderhöhe H_{stat}** ist gegeben durch den Höhenunterschied von Saug- und Druckwasserspiegel, also durch die geodätische Förderhöhe H_{geo} (Bild 1) und dem Druckunterschied $p_{\text{II}} - p_{\text{I}}$ zwischen Saug- und Druckbehälter.

$$H_{\text{stat}} = H_{\text{geo}} + \frac{10,2 \cdot (p_{\text{II}} - p_{\text{I}})}{\rho} \quad (9)$$

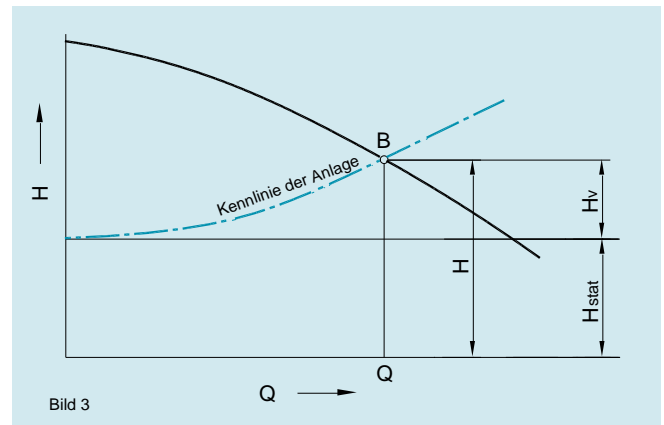
In dieser Gleichung haben p_{I} und p_{II} die Einheit bar und die Dichte ρ kg/dm^3 .

Die **Verlusthöhe H_v** ändert sich annähernd quadratisch mit dem Förderstrom. Diese Abhängigkeit der Reibungsverluste vom Förderstrom lässt sich deshalb mittels einer parabelähnlichen Kurve darstellen.

Die Summe aus H_{stat} und H_v ergibt die Kennlinie der Anlage (Bild 3). Diese liefert die für jeden Förderstrom von der Pumpe zu überwindende Widerstandshöhe. Der Schnittpunkt B der Kennlinie der Anlage mit der Drosselkurve ist der augenblickliche Betriebspunkt der Pumpe.

Sofern es sich um eine Anlage handelt, die lediglich dem Flüssigkeitstransport dient und nur aus Rohrleitungen mit normalen Formstücken und Armaturen besteht, lassen sich die für das Zeichnen der Kurve benötigten H_v -Werte mit Hilfe der Diagramme in dem beigefügten EDUR-Arbeitsblatt „Rohrreibungsverluste“ errechnen.

Vielfach enthalten Anlagen jedoch Geräte oder zu kühlende Maschinen, für die der Druckhöhenverlust nur bei einem bestimmten Durchflussstrom bekannt ist. Die Förderhöhe der Anlage lässt sich in solchen Fällen nur für diesen Punkt errechnen.



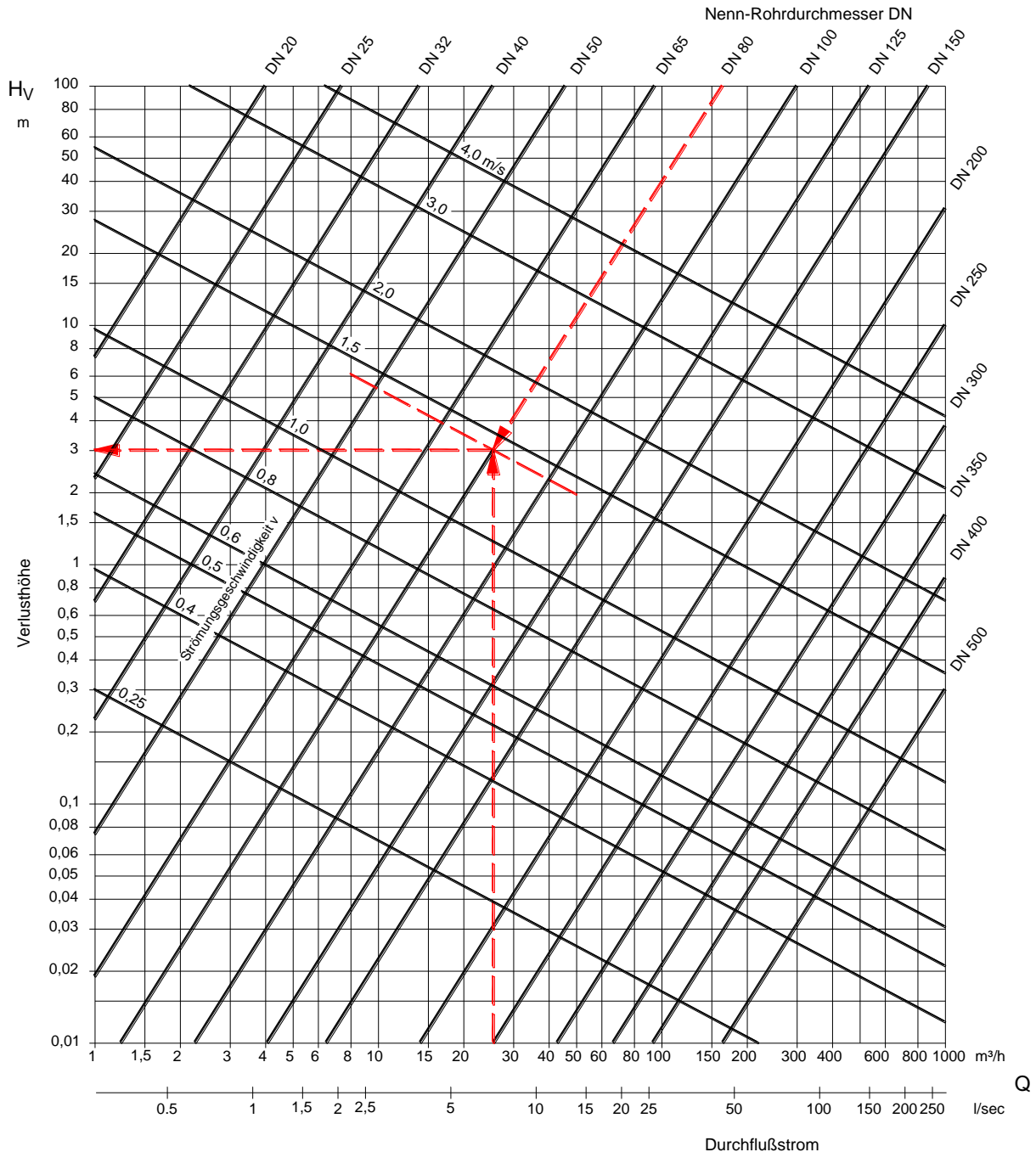
Dennoch kann der Verlauf der Anlagenkennlinie mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden, indem man mit Hilfe der Beziehung

$$H_{v2} = H_{v1} \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^2 \quad (10)$$

die Druckhöhenverluste für mehrere Förderströme Q_2 errechnet und über der statischen Förderhöhe aufträgt. Die Anlagenkennlinie ist ein sehr wertvolles Hilfsmittel bei der Auswahl einer geeigneten Pumpe für eine bestehende oder geplante Anlage. Besonders bei der Erweiterung von bestehenden Anlagen ermöglicht die zeichnerische Darstellung der Anlagen- und Pumpenkennlinien eine zuverlässige Beurteilung der tatsächlich zu erwartenden Förderstromzunahme durch den Einsatz einer größeren Pumpe.



Strömungsgeschwindigkeit v und Verlusthöhe H_v in geraden Rohrleitungen für 100 m Leitungslänge



Die im Diagramm ermittelten Verlusthöhen H_v gelten angenähert für verzinkte Stahlrohre oder Rohre aus bituminiertem Grauguss.

Multiplikationsfaktoren für andere Rohrleitungen:

- | | |
|----------------------------------|---|
| Neue gewalzte Stahlrohre | ca. 0,85 |
| Rohre aus Kupfer oder Kunststoff | ca. 0,7 |
| alte Guss- oder Stahlrohre | ca. 1,25 |
| inkrustierte Rohre | ca. 1,7 (im Diagramm H_v bei dem tatsächlichen, verengten Querschnitt ablesen!) |

**Gleichwertige Rohrlängen in m für Armaturen und Formstücke, bezogen auf eine Strömungsgeschwindigkeit von 2,0 m/s**

| Nennweite | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 65 | 80 | 100 | 125 | 150 | 200 | 250 |
|---------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Schieber, ganz geöffnet | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 1,9 | 2,3 | 3,3 | 4,6 |
| Durchgangsventil | 4,0 | 5,0 | 7,0 | 9,0 | 12,0 | 16,0 | 20,0 | 25,0 | 31,0 | 38,0 | 52,0 | 66,0 |
| Freiflussventil | 1,0 | 1,4 | 1,6 | 2,3 | 3,0 | 4,0 | 5,3 | 6,8 | 8,4 | 11,0 | 15,0 | 19,5 |
| Freiflussrückschlagventil | 2,4 | 3,3 | 4,1 | 5,8 | 7,8 | 10,6 | 13,8 | 17,0 | 21,0 | 26,0 | 35,0 | 44,0 |
| Fußventil mit Saugkorb | 3,0 | 4,1 | 5,1 | 7,3 | 9,7 | 13,2 | 17,2 | 21,0 | 26,0 | 32,0 | 43,5 | 55,0 |
| Rohrbogen 90° | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 1,3 | 1,7 | 2,1 | 2,7 | 3,2 | 4,5 | 6,0 |
| Kniestück 90° | 0,9 | 1,3 | 1,5 | 2,2 | 2,9 | 4,0 | 5,2 | 6,8 | 8,7 | 10,6 | 14,5 | 19,0 |

Beispiel:

Gesucht wird die Verlusthöhe und die Strömungsgeschwindigkeit in einer 50 m langen verzinkten Rohrleitung DN 80 mit 4 Stück Rohrbogen 90° und 2 Stück Absperrschiebern. Durchflussstrom 25 m³/h.

25 m³/h, DN 80

H_V = 3,0 m auf 100 m gerader Leitungslänge. Strömungsgeschwindigkeit ca. 1,4 m/s.

Gerade Rohrlänge 50 m
 4 Bögen 90° DN 80 entspr. 6,8 m
 2 Schieber DN 80 entspr. 2,4 m
 Berechnungs-Rohrlänge 59,2 m

$$H_V = \frac{3 \cdot 59,2}{100} = \underline{\underline{1,78}} \quad \text{m}$$

Strömungsgeschwindigkeit und Verlusthöhe geben auch einen Überblick über die vertretbaren Rohrnennweiten. Bei sehr hoher Strömungsgeschwindigkeit und großer Verlusthöhe sollte -auch hinsichtlich des Strömungsgeräusches- eine größere Nennweite gewählt werden.