Messung und Drehzahlumrechnung des NPSH-Wertes bei Kreiselpumpen

Autor(en): **Rütschi, Karl**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 39

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74215

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Messung und Drehzahlumrechung des NPSH-Wertes bei Kreiselpumpen

Von Karl Rütschi, Brugg

Sinkt in der Pumpe der Druck beim Laufradeintritt auf den der Wassertemperatur entsprechenden Dampfdruck, so tritt Dampfbildung ein. Das Wasser trifft dabei schlagartig auf die Wand, wobei neben starkem Geräusch und Wirkungsgradabfall auch Anfressungen des Materials, d.h. *Kavitation*, auftritt.

Die Frage nach der *Vermeidung* der Kavitation in einer Pumpe fällt zusammen mit der Frage nach der *grössten zulässigen Saughöhe* [1, S. 180]. Ohne Verluste müssten Kreiselpumpen bei kaltem Wasser und Aufstellung auf Meereshöhe, entsprechend dem Barometerstand, eine Saughöhe von ungefähr 10 m erreichen. Dieser theoretische Wert vermindert sich aber um die *Rohrreibungsverluste* bis zur Pumpe und um die *Reibungs- und Umsetzungsverluste* im Laufrad, die eine Druckhöhensenkung verursachen.

Erreicht z.B. eine Pumpe statt einer theoretischen Saughöhe von 10 m nur eine von 6 m (vakuummetrisch), so beträgt die Druckhöhensenkung in der Pumpe 4 m. Dieser Wert wird als *«Haltedruck»* Δ_h oder *«Mindestzulaufhöhe»* bezeichnet und entspricht dem aus dem englischen Sprachbereich stammenden Ausdruck NPSH *(Net Positive Suction Head)*.

Bei offenem Flüssigkeitsspiegel wird unter Berücksichtigung von Aufstellungshöhe und Temperatur des Fördergutes die Drucksenkung:

$$\text{NPSH} = \frac{p_b - p_D}{\rho g} - H_s + v_s^2/2g$$

wobei

p_b: Atmosphärendruck, Barometerdruck [bar]

p_D: Verdampfungsdruck (abhängig von Wassertemperatur [bar]

ρ: Dichte der Förderflüssigkeit [kg/dm³]

H_s: Saughöhe vakuumetrisch [m]

v_s: Geschwindigkeit im Eintrittsquerschnitt [m/s]

Messung des NPSH-Wertes

Zur Messung der *Saughöhen* und ihrer Veränderung sind *drei verschiedene Verfahren* möglich, wobei Bild 1–3 der Europump-Broschüre «NPSH bei Kreiselpumpen» entnommen sind [2].

In Bild 1 fördert die Pumpe aus einem tiefliegenden Behälter, dessen Flüssigkeitsstand verschieden hoch eingestellt werden kann. In Bild 2 erfolgt die Änderung von NPSH durch ein eintrittsseitiges Drosselventil. In Bild 3 ist die Pumpe in einem geschlossenen Kreislauf angeordnet, in dem durch Absaugung das Vakuum geändert werden kann, bis die Pumpe kavitiert.

Zur Ermittlung des NPSH-Wertes wird beim Versuch die Saughöhe so weit gesenkt, bis beim vereinbarten Förderstrom ein Abfall von 3 Prozent der Förderhöhe oder des Wirkungsgrades eintritt (Bild 4 und Tabelle 1).

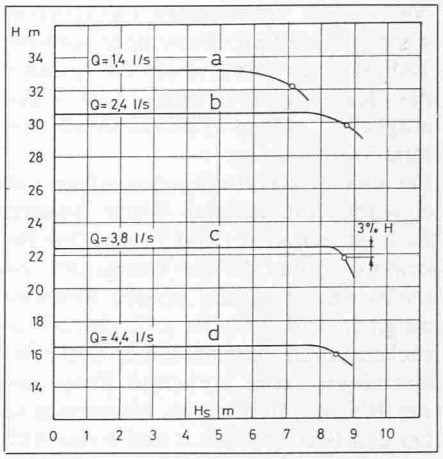


Bild 4. Kavitationsversuch durch Änderung des Saugwasserspiegels nach Bild 1. NPSH bei 3% Förderhöhenabfall

Tabelle 1. Bestimmung von NPSH. $H_{s\,kav}$ aus Bild 4

$$\text{NPSH} = \frac{p_b - p_D}{\rho \cdot g} - H_s + v_s^2/2g$$

Q 1/s	a 1,4	b 2,4	c 3,8	d 4,4
$\frac{p_b - p_D}{\rho \cdot g}$ m	9,78	9,78	9,78	9,78
$- H_{s\,kav}$ m	7,2	8,7	8,8	8,45
$+ v_s^2/2g$ m	0,07	0,19	0,47	0,63
NPSH m	2,65	1,27	1,45	1,96

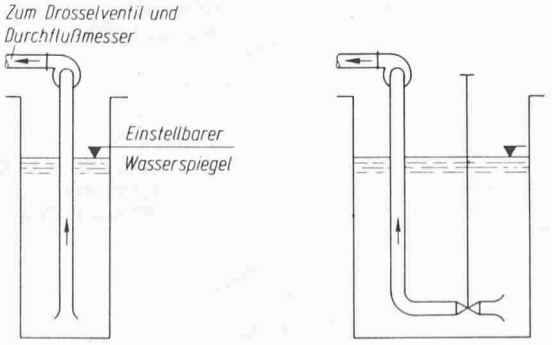


Bild 1. (links) Kavitationsversuch. Änderung der $NPSH_{vorh}$ durch Änderung des eintrittsseitigen Flüssigkeitsspiegels

Bild 2. (rechts) Kavitationsversuch. Änderung der $NPSH_{vorh}$ durch ein eintrittsseitiges Drosselventil

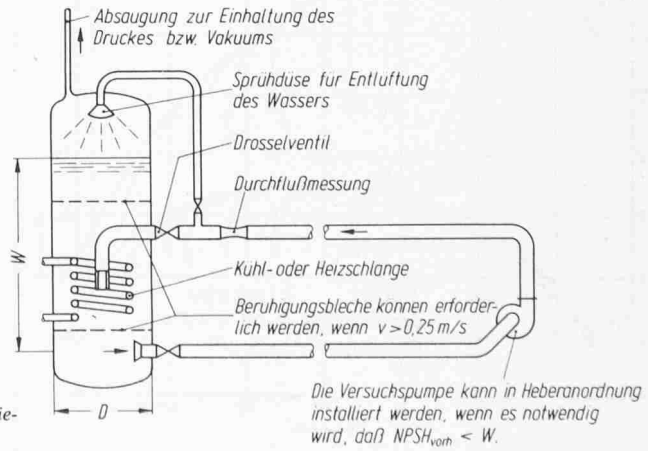


Bild 3. Kavitationsversuch. Änderung der $NPSH_{vorh}$ in einem geschlossenen Kreislauf

Neben dem vereinbarten Förderstrom werden die NPSH-Werte aber auch bei Teillast und Überlast ermittelt, damit das Kavitationsverhalten über einen möglichst weiten Förderbereich der Pumpe bekannt ist.

Bei allen drei Versuchsarten sollten sich eigentlich die gleichen Werte ergeben. Es zeigt sich aber (Bild 5), dass bei Bestimmung des NPSH-Wertes im *geschlossenen Kreislauf bessere Resultate* möglich sind. Dies ist z. T. darauf zurückzuführen, dass bei dieser Versuchseinrichtung eine *vorherige Entgasung des Wassers* möglich ist. Interessant ist bei den Betriebsarten a und b das Aufbiegen des NPSH-Wertes gegen Nullast hin. Diese mitunter zu beobachtende Erscheinung hat ihre Parallele in Bild 6, wo in gleicher Weise bei Teillast ein Absinken der Saugfähigkeit [1, S. 200] [3] bzw. ein Anstieg des NPSH-Wertes festzustellen ist. Es scheint, dass die Ursache in einem *Abreissen der Strömung im Schaufelkanal* liegt, die nur beim tatsächlichen Saugbetrieb auftritt, hingegen bei den Messungen im geschlossenen Kreislauf oder bei Zulaufhöhe und höheren Temperaturen nicht festzustellen ist.

Drehzahl-Umrechnung

Bild 7 aus der Europump-Broschüre [2] zeigt den Einfluss von $NPSH_{vorhanden}$ auf die Drosselkurve. Ist dieser Wert geringer als der an der Pumpe gemessene Wert $NPSH_{erforderlich}$, so kommt es zu einem *Steilabfall der Drosselkurve*. Dieser Fall tritt bei Abnahmeversuchen z. B. ein, wenn in der Anlage eine Zulaufhöhe mit NPSH über 10 m vorhanden ist, auf dem Prüffeld aber der tieferliegende Wasserbehälter nur NPSH-Werte von 6–7 m erlaubt. In diesem Fall kann man nach den «Methods of measuring and testing pumps ISO 2548–1973» oder den Abnahmeregeln an Kreiselpumpen DIN 1944 die Versuche mit einer kleineren Drehzahl durchführen, wobei deren Abweichung begrenzt ist. Für die *Umrechnung der Förderwerte* gelten die bekannten Regeln

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

wogegen aber für die *Umrechnung von NPSH* neuere Versuche ergaben, dass das unter Zugrundelegung konstanter Saugzahl *S* oder Kavitationskennziffer σ erwartete Ergebnis

$$NPSH_2 = NPSH_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

bei Saugbetrieb, d. h. bei NPSH-Werten unter 10 m Kaltwasser, nicht zutrifft.

Während ISO 2548 den Drehzahl-Umrechnungsexponenten 2 angibt, findet sich in DIN 1944, Ausgabe 1968 der Hinweis, dass für das Umrechnen der Haltedruckhöhe zuverlässige Formeln nicht bekannt seien, Näherungsformeln aber in Lieferverträgen festgelegt werden können.

Da immer häufiger für die NPSH-Werte Garantieversuche vorgeschrieben werden, sind nähere Unterlagen über den Umrechnungsexponenten bei Abnahmeversuchen mit abweichender Drehzahl überaus wichtig. Dies ist um so notwendiger, als bei wissenschaftlichen Versuchen [4], die mit ausserordentlichem Aufwand, unter Schauglasbeobachtung und stundenlanger Entgasung von sehr reinem Wasser, durchgeführt wurden, bei höheren Drehzahlen und Drücken die Kavitationszahl

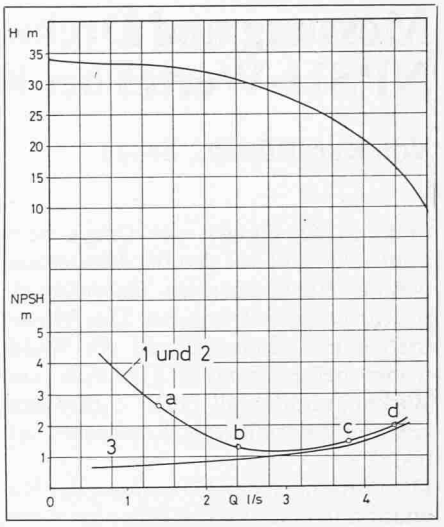


Bild 5. NPSH-Werte bei:
1 Änderung des Saugwasserspiegels
2 Drosselung saugseitig
3 Förderung in einem geschlossenen Kreislauf.
Die eingezeichneten Punkte a–d entsprechen den Versuchswerten in Bild 4 und Tabelle 1

$$K_A = \frac{\Delta_h}{u_1^2/2g}$$

konstant blieb, womit dann für die Drehzahlumrechnung von NPSH sich der theoretische Exponent 2 einstellte. In Bild 8 bemerkenswert ist aber, dass

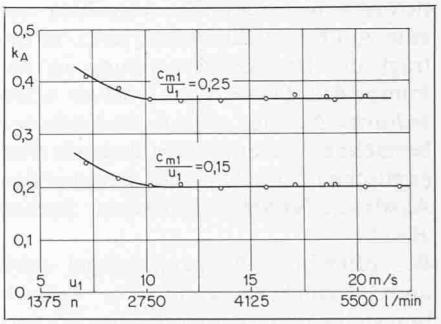


Bild 8. Abhängigkeit der Kavitationszahl k_A von der Drehzahl und der Umfangsgeschwindigkeit am Radeintritt. Versuche mit Wassertemperatur 49,5 °C K. Graumann [4]

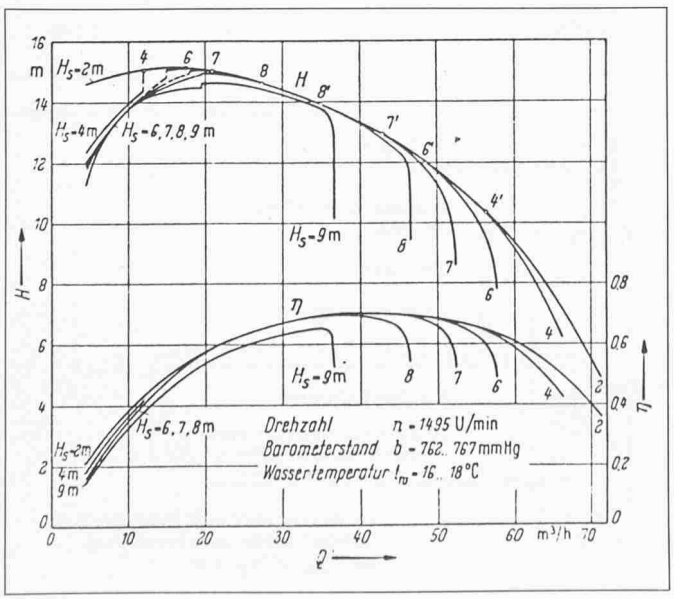


Bild 6. Kennlinien bei verschiedenen Saughöhen H_s
Der Förderhöhenabfall bei Teillast entspricht dem Ansteigen der NPSH bei Versuch 1 und 2 in Bild 5

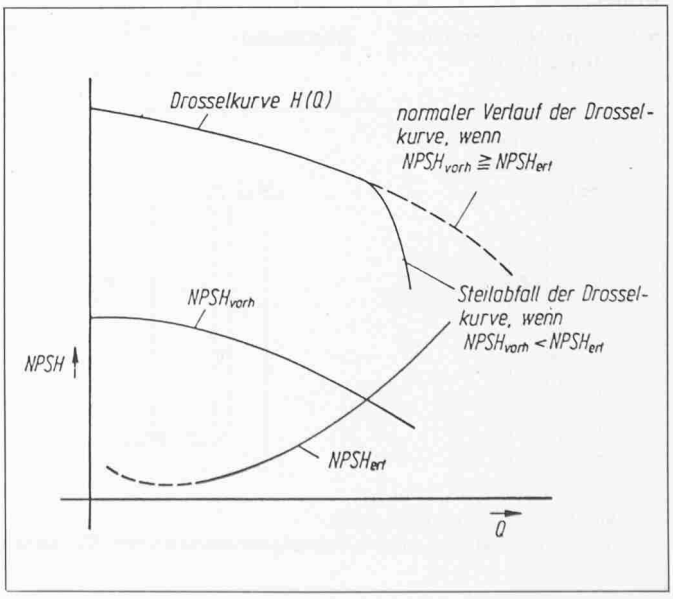


Bild 7. Einfluss der $NPSH_{vorh}$ auf die Drosselkurve

bei diesen Drehzahl-Versuchen im Bereich zwischen 1500 und 3000/min, wie sie bei der geprüften Pumpengrösse im tatsächlichen Betrieb üblich sind, sich der Kavitationswert k_A aufbiegt, womit auch hier eine Reduktion des Umrechnungs-Exponenten eintritt.

Demnach trifft bei Saugbetrieb auch die Annahme nicht zu, dass auf Grundlage einer gemessenen Kavitationszahl das Betriebsverhalten einer Pumpe im Kavitationsgebiet bei anderen Umfangsgeschwindigkeiten genau bestimmt werden könne. Ebenso darf eine erhaltene Kavitationszahl nicht ohne weiteres auf eine geometrisch ähnliche Pumpe anderer Abmessungen übertragen werden, weil hier die Grössenabmessung mit eine Rolle spielt.

Geometrisch ähnliche Pumpen ergeben erfahrungsgemäss bei grösseren Abmessungen mit höheren Wirkungsgraden auch günstigere Kavitationsbeiwerte [1, S. 197] [5].

Krisam [6] hat 1953 (Bild 9) Versuche über den Einfluss der Drehzahl auf das Saugverhalten durchgeführt und dabei festgestellt, dass Pumpen bei höherer Betriebsdrehzahl sich relativ günstiger verhalten als solche mit niedrigen Drehzahlen. Der Kavitationswert $\sigma = 0{,}109$ bei 1300/min sinkt auf $\sigma = 0{,}08$ bei 2800/min, und daraus errechnet sich der Umrechnungsexponent zu 1,58.

$$\Delta_{h2} = \Delta_{h1} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^x$$

$$= 1{,}7\,\text{m} \left(\frac{2800}{1300}\right)^{1{,}58} = 5{,}7\,\text{m}$$

Im Bild ist strichpunktiert der Verlauf des Haltedruckes Δh beim theoretischen Exponenten 2 zum Vergleich eingetragen. Auch die Nachprüfung zahlreicher Katalogwerte (Bild 10) gibt nirgends einen Exponenten 2 für die Drehzahlumrechnung, sondern dieser schwankte durchschnittlich zwischen Exponent 1 und 1,9, wobei ein eindeutiger Trend nicht festgestellt werden konnte.

Es wurde bis zum Vorliegen weiterer Unterlagen vorgeschlagen, als Exponenten den mittleren Wert 1,5 zu wählen, der übrigens mit

$$\text{NPSH}_{erf} \approx 0{,}5\ n\ \sqrt{Q_{opt}}$$

mit NPSH_{erf} in m
n in 1/s
Q_{opt} in m^3/s

in der NPSH-Europump-Broschüre [2, S. 15] identisch ist.

Ein zweiter, exakterer Weg besteht darin, dass man nach Bild 11 den vollständigen Betriebsbereich bei einer kavitationsfreien Drehzahl durchmisst und bei der höheren Betriebsdrehzahl lediglich einzelne kavitationsfreie Punkte prüft und hieraus den Exponenten für

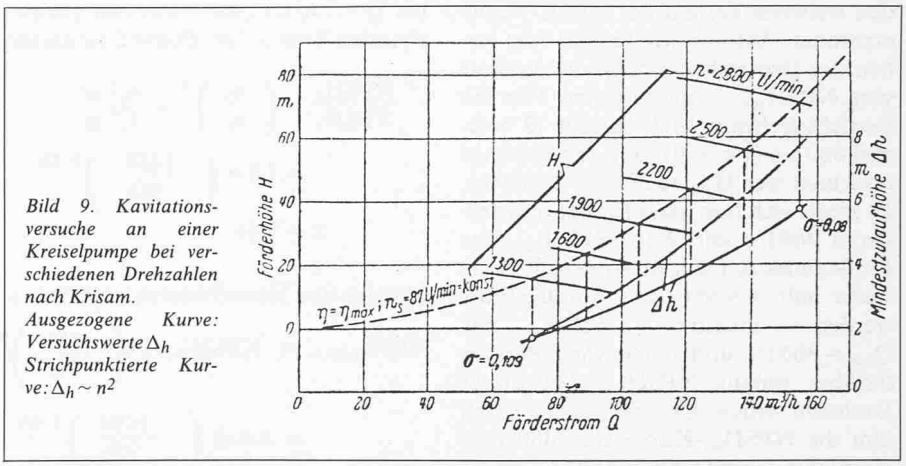


Bild 9. Kavitationsversuche an einer Kreiselpumpe bei verschiedenen Drehzahlen nach Krisam.
Ausgezogene Kurve: Versuchswerte Δ_h
Strichpunktierte Kurve: $\Delta_h \sim n^2$

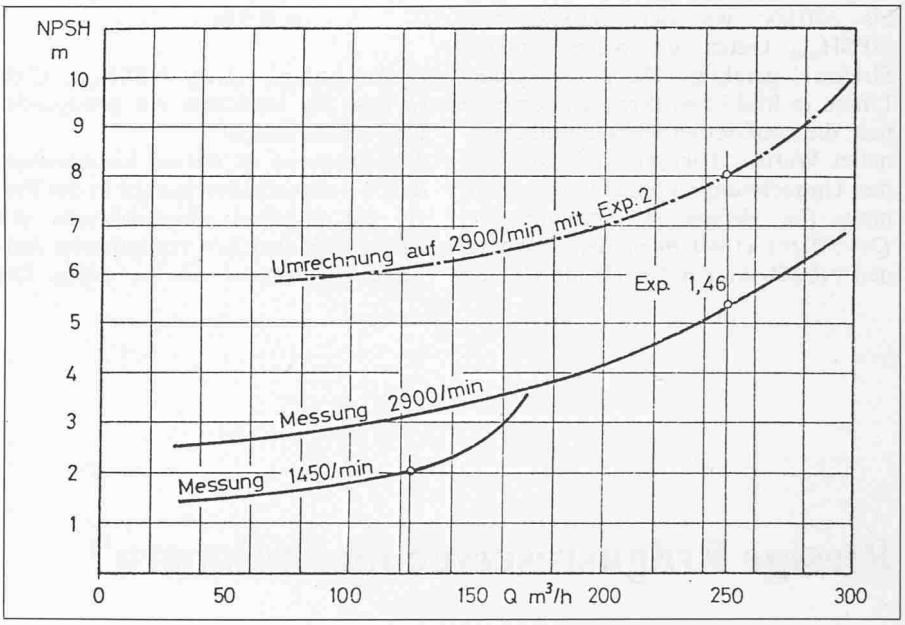


Bild 10. NPSH-Versuchswerte bei 1450 und 2900/min
Den ausgezogenen Versuchswerten, die für Q_{opt} einen Umrechnungsexponenten 1,46 ergeben, sind strichpunktiert die theoretischen Werte mit Exponent 2 gegenübergestellt

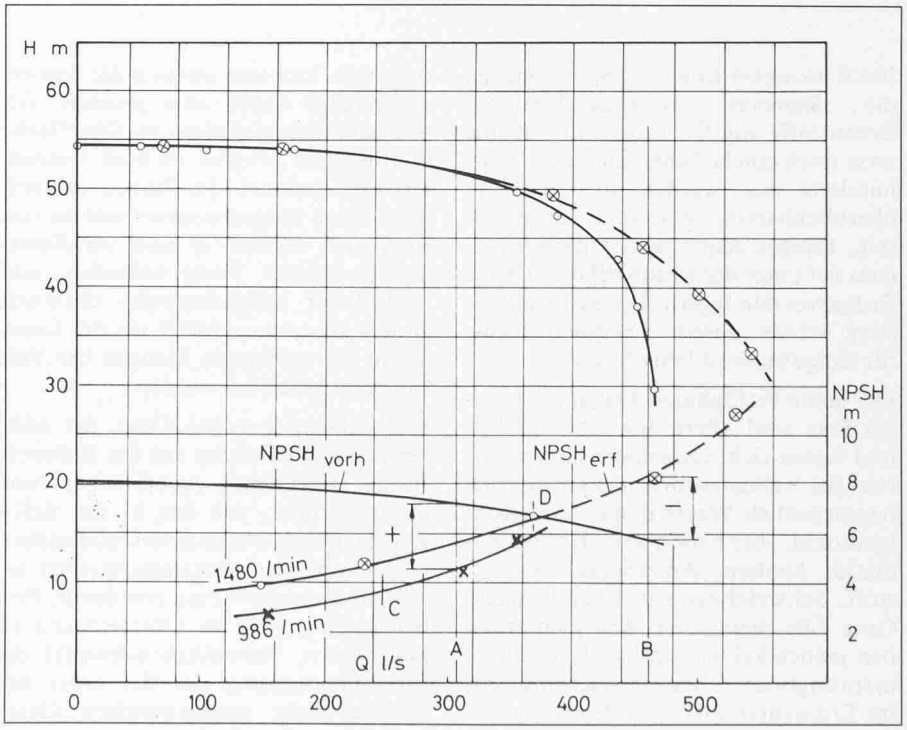


Bild 11. Einfluss der $NPSH_{vorh}$ auf die Drosselkurve.
○ Messungen bei n = 1480/min
x Messungen bei n = 986/min
⊗ NPSH-Umrechnung n = 986:1480 mit Exponent 1,48
A = Q_{opt} bei n = 986/min B = Q_{opt} bei n = 1480/min

den weiteren Verlauf der NPSH-Kurve errechnet. Ähnlich wie in Bild 7 ist neben der Drosselkurve auch der Verlauf von $NPSH_{vorh}$ eingezeichnet. Für die Betriebsdrehzahl 1480 beträgt Q optimal 460 l/s (Linie B), und für 986/min errechnet sich Q_{opt} zu 306 l/s (Linie A). Es zeigte sich nun, dass für den Förderstrom 460 l/s der Wert $NPSH_{vorh}$ des Prüfstandes zu klein ist, so dass die Versuche mit $n = 986$/min durchgeführt werden mussten, wobei für $Q_{opt} = 306$ l/s und noch einen Bereich darüber hinaus $NPSH_{vorh}$ bei dieser Drehzahl einen Überschuss ausweist. Um die $NPSH_{erf}$-Kurve für 1480/min möglichst korrekt zu erhalten, wurde bis 370 l/s, wo sich $NPSH_{erf}$ mit $NPSH_{vorh}$ kreuzt, mit dieser höheren Drehzahl gefahren. Die ausgezogenen Linien in Bild 11 entsprechen gemessenen, die punktierten Kurven umgerechneten Werten. Hierbei ergibt sich für den Umrechnungsexponenten x, wenn man für dessen Bestimmung bei $Q = 370$ l/s (1480/min) den gemessenen NPSH-Wert 6,7 m (Punkt D) und bei $Q = 246$ l/s (986/min) den entsprechenden Wert 3,7 m (Punkt C) einsetzt:

$$\frac{NPSH_2}{NPSH_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^x = \frac{6{,}7\text{ m}}{3{,}7\text{ m}}$$

$$= 1{,}8 = \left(\frac{1480}{986}\right)^{1{,}46}$$

$$x = 1{,}46$$

oder für den Nennförderstrom 460 L/s

$$NPSH_{460\,l/s} = NPSH_{306\,l/s} \cdot \left(\frac{1480}{986}\right)^x$$

$$= 4{,}6\text{ m} \left(\frac{1480}{986}\right)^{1{,}46}$$

$$= 8{,}3\text{ m}$$

In der Anlage beträgt $NPSH_{vorh}$ 12 m, so dass für 1480/min ein genügender Überschuss besteht.
Abschliessend ist darauf hinzuweisen, dass bei Abnahmeversuchen in der Praxis die üblichen Messverfahren mit einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand angewendet werden sollen. Die Unregelmässigkeiten des Umrechnungsexponenten und das z.T. unterschiedliche Verhalten beim Ansaugen aus einem offenen Wasserspiegel oder im geschlossenen Kreislauf sowie die genauere Ursache der Abweichung vom theoretischen Exponenten 2 sind verfeinerten wissenschaftlichen Untersuchungen vorbehalten.

Literaturhinweise

[1] *Pfleiderer, C.:* «Die Kreiselpumpen», 5. Auflage. Springer-Verlag, Berlin
[2] «NPSH bei Kreiselpumpen». EUROPUMP-Broschüre
[3] *Fuchslocher/Schulz:* «Die Pumpen». 12. Auflage, 1967. S. 120. Berlin
[4] *Graumann, K.:* «Konstruktion», S. 343, Bild 9. 1961
[5] *Rütschi, K.:* «Die Pfleiderer - Saugzahl als Gütegrad der Saugfähigkeit von Kreiselpumpen». Schweiz. Bauzeitung, Heft 12, 1960
[6] *Krisam, F.:* «Neue Erkenntnisse im Kreiselpumpenbau». VDI-Zeitschrift, 95, 1953

Adresse des Verfassers: Dr. ing. h.c. *K. Rütschi*, K. Rütschi AG, Pumpenbau, 5200 Brugg

Riesige Erdgasreserven im Erdinnern?

Von Thomas Gold und Steven Soter.

Nach heutigem Kenntnis-Stand reichen die Reserven kohlenstoff-haltiger Brennstoffe wie Öl, Erdgas und Kohle zwar noch etliche Jahrzehnte oder Jahrhunderte aus, werden aber doch in überblickbarem Zeitraum erschöpft sein. Einiges deutet jedoch darauf hin, dass tief unter der Erdoberfläche riesige Erdgasvorräte lagern. Deren Erschliessung würde unsere Energieprobleme für einige tausend Jahre lösen.

Die heute verfügbaren Daten über dieses Gas sind allerdings sehr spärlich und lassen sich nur schwer interpretieren. Bei Vulkanausbrüchen entweichen hauptsächlich Wasserdampf und Kohlendioxid, aber häufig auch Kohlenmonoxid, Methan, Ammoniak, Wasserstoff, Schwefelwasserstoff und andere Gase. Die chemischen Analysen erlauben jedoch keinen Rückschluss auf die ursprüngliche Zusammensetzung des im Erdmantel aufsteigenden Gasgemisches: Erstens weiss man nicht, zu welchem Teil das Gemisch aus flüchtigen Substanzen besteht, die aus Krustensedimenten und nicht aus dem Erdinnern stammen; zweitens dürften die wasserstoffreichen Gase zum grossen Teil während ihres Aufstiegs zur Oberfläche in flüssigem Magma oxidiert werden. Drittens stammen die Proben vulkanischer Gase notgedrungenermassen von Vulkanen, die sich in einer verhältnismässig ruhigen Phase befanden, und sind daher möglicherweise chemisch anders zusammengesetzt als die Gase, die in viel grösseren Mengen bei Vulkanausbrüchen frei werden.

Wahrscheinlich geben Gase, die während eines Erdbebens aus der Erdoberfläche entweichen, zuverlässiger Auskunft darüber, wie das in der tiefen Kruste und im obern Erdmantel enthaltene Gasgemisch zusammengesetzt ist. Allerdings beginnt man erst damit, Proben solcher Gase zu sammeln und zu analysieren. Vermutlich schwankt die Zusammensetzung des tief unter der Erdoberfläche angesammelten Gases von Ort zu Ort. Viele Anzeichen sprechen aber dafür, dass Methan nichtbiologischen Ursprungs eines der Hauptbestandteile des Gasgemisches ist.

Der Kohlenstoffhaushalt der Erde

Der Begriff «Methan nichtbiologischen Ursprungs» (oder nichtfossiles Erdgas) widerspricht der heute in der Erdölgeologie verbreiteten Ansicht, dass alles auf der Erde vorkommende Rohöl und Erdgas durch biologische Vorgänge entstanden sein muss: Aller in Gas und Öl enthaltene Kohlenstoff stamme aus dem atmosphärischen Kohlendioxid, das grüne Pflanzen aufgenommen und mit Hilfe der Sonnenenergie in organische Substanzen umgewandelt haben (Photosynthese). Einige dieser organischen Substanzen gelangten in die Erde, bevor sie wieder oxidiert werden konnten, und bildeten so das Ausgangsmaterial für Gas und Öl. Durch diesen Prozess sind unbestrittenermassen grosse Mengen Öl und Gas entstanden - bloss ist dies möglicherweise nicht die ganze Wahrheit.

Die Hypothese grosser Reserven nichtfossilen Erdgases im Erdinneren geht von der Beobachtung aus, dass die im Sonnensystem vorherrschenden kohlenstoffhaltigen Verbindungen Kohlenwasserstoffe sind. Wasserstoff ist das häufigste Element des Universums. Kosmochemischen Untersuchungen zufolge kondensierten die Sonne und die Planeten aus einer wasserstoffgesättigten Urwolke. In Meteoriten, die die