

## **5 Kavitation**

### **1. Ursachen, Anzeichen und Auswirkungen**

Wird infolge zu hohen Unterdruckes oder zu hoher Temperatur der Förderflüssigkeit an der Eintrittskante der Laufradschaufeln der Dampfdruck  $p_D$  erreicht, bilden sich mit Dampf gefüllte Hohlräume. Man bezeichnet diesen Vorgang als Kavitation. Die Folgen sind eine Verengung der Durchflußquerschnitte und damit verbunden eine Verringerung des Förderstromes, ein Verlust an Förderhöhe und somit auch der Nutzleistung, sowie eine Verschlechterung des Wirkungsgrades. Beim Betrieb der Pumpe wahrnehmbare Anzeichen der Kavitation sind mehr oder weniger starke Geräusche und ein unruhiger Lauf der Pumpe.

### **2. Kavitationsschäden**

Die Dampfblasen bilden sich an den Stellen niedrigsten Druckes und verschwinden plötzlich, wenn im weiteren Verlauf der Strömung der Druck ansteigt. Erfolgt dieser Vorgang im Bereich der Laufrad- oder Pumpenwandungen, wird bei der Implosion der Dampfblasen der Werkstoff mechanisch angegriffen. Diese Beschädigungen zeigen sich deshalb nie am Ort des Entstehens der Kavitation, sondern in einer mehr oder weniger großen Entfernung davon. Der Werkstoff wird zernarbt und zerklüftet und zuweilen sogar schwammartig ausgehöhlt.

Bei stark ausgebildeter Kavitation können die Zerstörungen bis zu den Leitschaufeln und deren Umgebung vordringen. In diesem Zustand entstehen an den Leitschaufelspitzen Dampfblasen, wenn die Rückseite (Saugseite) der Laufradschaufeln an den Leitschaufeln vorbeistreicht. Sie brechen wieder zusammen, wenn die Vorderseite (Druckseite) der folgenden Schaufel sich nähert. Das Entstehen und Verschwinden der Dampfblasen an den Leitschaufelspitzen wechselt also periodisch, mit einer Frequenz, die sich aus dem Produkt von Drehzahl und Schaufelzahl ergibt. Während die Kavitationsschäden am Laufrad mehr oder weniger auseinandergezogen sind, werden bei den Leitschaufeln hauptsächlich die Spitzen und ihre Umgebung zerstört. Bemerkenswert ist, daß die Leitschaufeln falls die Kavitation bis zu diesen vordringt, infolge der hohen Frequenz der Schlagwirkungen weit stärker angegriffen werden als das Laufrad. Bild 8 zeigt einen durch starke Kavitation zerstörten Leitschaufelkranz.

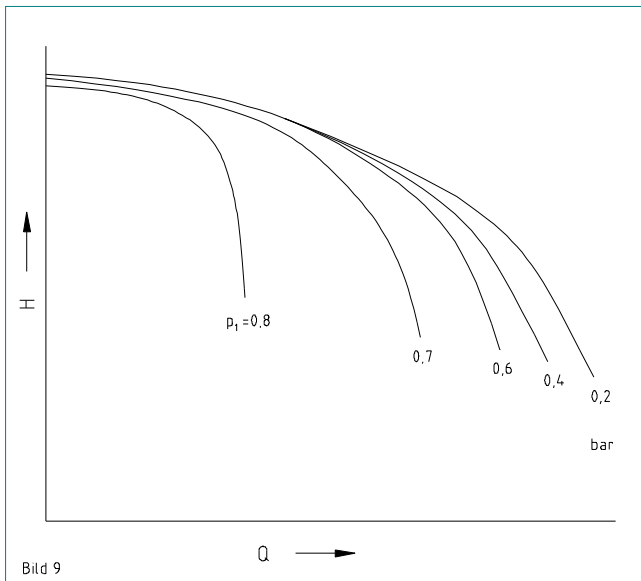


Die im Laufrad mit Dampfblasen gefüllten Bereiche sind nicht von gleichmäßiger Erstreckung. Es entstehen deshalb Unwuchten, einerseits mechanischer Art, infolge ungleicher Flüssigkeitsfüllung in den Schaufelkanälen und andererseits dynamischer Art, aufgrund der unterschiedlichen Druckverteilung über den Umfang des Laufrades. Welle und Lagerung werden heftigen pulsierenden Belastungen ausgesetzt. Bei geschlossenen Laufrädern kann der Achsschubausgleich teilweise oder sogar völlig unwirksam werden und die daraus resultierende höhere Axialbelastung im Zusammenwirken mit den zuvor genannten Kräften die Lagerung innerhalb kurzer Zeiträume zerstören.

Häufig ist die Kavitation mit Korrosion verbunden. Das trifft auch dann zu, wenn die Flüssigkeit nur wenig aggressiv ist. Durch den Zusammenbruch der Dampfblasen werden ursprünglich vorhandene Schutzschichten zerstört und Neubildungen verhindert, die Metalloberfläche wird also ständig für den chemischen Angriff aktiviert. Auf diese Weise kann es selbst bei schwach ausgebildeter Kavitation zu erheblichen Werkstoffzerstörungen kommen.

### **3. Vermeidung von Kavitation**

Bei Unterdruck am Saugstutzen stellt sich stets Kavitation ein, wenn ein bestimmter Förderstrom überschritten wird. In welcher Weise sich die Drosselkurve nach eingetretener Kavitation ändert, geht aus Bild 9 hervor, welches die Drosselkurven einer mit kaltem Wasser betriebenen Leitschaufelpumpe bei verschiedenen Unterdrücken in bar wiedergibt.



Kavitationsfreiheit besteht nur in dem Bereich, in welchem Deckung mit der Drosselkurve vorliegt, welcher ein geringerer Unterdruck zugeordnet ist. Es zeigt sich, daß der kavitationsfreie Arbeitsbereich der Pumpe um so kleiner wird, je höher der Unterdruck ist. Bei sehr hohen Unterdrücken besteht überhaupt keine Berührung mit anderen Kurven mehr, was besagt, daß die Pumpe hier bei jedem Förderstrom mit Kavitation arbeitet.

Die im Bild 9 dargestellten Abweichungen von der Pumpenkennlinie entstehen nicht nur in Anlagen mit geodätischer Saughöhe, sondern beispielsweise auch bei Heißwasserförderung mit unzureichender Zulaufhöhe. Kavitationsfreie Förderung ist nur zu erwarten, wenn im Betriebspunkt die NPSHA der Anlage größer ist als die erforderliche NPSH der Pumpe. Um Luftdruckschwankungen, Abweichungen von theoretisch ermittelten Werten, sowie Meß- und Bautoleranzen der Pumpe zu berücksichtigen, empfiehlt es sich, einen Sicherheitsabstand von 0,5 m vorzusehen.

Die erforderliche NPSH einer Pumpe wird von den Pumpenherstellern durchweg für einen Zustand ermittelt, in welchem bereits eine gewisse Kavitation eingetreten ist. Üblich ist es einen Förderhöhenabfall in Höhe von 3 % gegenüber der kavitationsfreien Kennlinie zuzulassen. Das gilt für einstufige Pumpen, bei mehrstufigen wird der zulässige Förderhöhenabfall auf die Kennlinie **einer** Stufe bezogen.

Aufgrund dieser Maßnahme ergeben sich für die gleiche Pumpe, je nach Art des Fördergutes, unterschiedliche NPSH. Geht man davon aus, daß der dreiprozentige Förderhöhenabfall beim betrachteten Volumenstrom jeweils durch die Bildung des gleichen sekundlichen Dampfvolmens an der Stelle eintretender Kavitation hervorgerufen wird, so erklären sich die unterschiedlichen NPSH der Flüssigkeiten daraus, daß die Stoffeigenschaften jeweils andere Druckhöhenabsenkungen zur Erzeugung dieses Dampfvolmens erfordern. So zeigen z.B. bei Einhaltung des 3 %-Kriteriums verflüssigte Kohlenwasserstoffe kleinere NPSH als kaltes Wasser. Da die Stoffgrößen von der Temperatur abhängig sind, hat auch diese einen Einfluß auf die NPSH. Für Wasser verringert sich deshalb die erforderliche NPSH mit steigender Temperatur, wenn ein gleicher Förderhöhenabfall zugelassen wird.

Die NPSH-Messungen für die Kennlinien in den EDUR-Arbeitsunterlagen wurden mit Kaltwasser durchgeführt. Es werden deshalb bei Förderung anderer Flüssigkeiten keine weiteren Zuschläge, die über den üblichen Sicherheitsabstand von 0,5 m hinausgehen, benötigt. Die erforderliche NPSH von Kreiselpumpen gilt jedoch nicht für Flüssigkeiten mit einer Viskosität größer als  $\nu = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$ .