

KAVITATION IN PUMPEN

Mit **CAVUM** zerstören

Wenn etwas mit „ordentlich Cavum“ zerstört wird, dann bedeutet das meist, es hat eine Explosion stattgefunden. Cavum, oder cavitas, meint lateinisch die Höhle und beschreibt im Zusammenhang mit der sogenannten Kavitation einen häufig zerstörerischen Effekt für Pumpen.



Futuristisch anmutende Versuche: Eine Kavitationsblase umhüllt einen Versuchskörper bei hoher Geschwindigkeit im Wasser

Bild: University of Minnesota

Eine Pumpe, wie sie der Anlagenmechaniker fast täglich in den Händen hält, kann durch unterschiedliche Effekte zerstört werden. Oft ist es Altersschwäche, die der Pumpe letztlich das Leben aushaucht. In einigen speziellen Fällen führt aber Kavitation zum frühen Pumpentod. Grund genug dafür, dieses Phänomen mal ein wenig genauer unter die Lupe zu nehmen.

ALLES EINE FRAGE DES DRUCKS

Wasser als Flüssigkeit umgibt uns tagtäglich. Es tritt in drei unterschiedlichen Phasen auf. Gasförmig und sichtbar verlässt es den Kochtopf, verschwindet vor den Augen des Betrachters und geht in der Umgebungsluft als Feuchte auf. Der Ventilator trägt diese Feuchte bei Bedarf nach draußen. Flüssig tritt es aus dem Hahn oder durchströmt die Heizungsan-



DICTIONARY

Blasenbildung	=	bubbling
Kavitation	=	cavitation
Mindestdruck zur Vermeidung von Kavitation	=	net positive suction head NPSH
Zerstörung	=	destruction

lage. Die Umwälzpumpe der Zirkulation oder des Heizkessels fördert es nach Belieben. In fester Form, als Eis, kühlt es den Wermut – gerührt, und bloß nicht geschüttelt. Die Maschinen, die mit dem Aggregatzustand des Wassers umgehen sollen, sind meist spezialisiert. Die Heizungsanlage geht normalerweise nicht mit Dampf um. Die Pumpe hat daher eine Ausrichtung zum Transport von Flüssigkeiten. Die Pumpe transportiert Luft oder Gas nur begrenzt oder gar nicht. Genauso wenig wird ein Ventilator Eisstücke aus dem Haus befördern können, jedenfalls nicht auf Dauer. Normalerweise sind die Aggregatzustände aber auch verlässlich und konstant. Nimmt man jedoch eine Eigenschaft von Wasser besonders heraus, so stellt man fest, dass diese innerhalb der möglichen Betriebsschwankungen einer Heizungsanlage durchaus den Wechsel von flüssig zu gasförmig hervorrufen kann. Gemeint ist der Dampfdruck von Wasser. Unter Umgebungsdruck, wie zum Beispiel 1013 Millibar, wird Wasser bei 100°C verdampfen. Bei höherem Druck sind höhere Temperaturen zur Verdampfung notwendig. Im Schnellkochtopf beispielsweise verflüchtigt sich das Wasser auch bei über 100°C nicht, weil der Druck entsprechend hoch ist. Der dichte Deckel macht es möglich, dass bei einem Druck von rund 2 bar mit 120°C Wassertemperatur gegart werden kann. Bei Absenkung des Umgebungsdrucks verdampft Wasser auch schon bei geringeren Temperaturen. Reinhold Messner dürfte daher auf dem Nanga Parbat durchaus Probleme gehabt haben, seine Kartoffelchen weich zu kochen. Bei einer Höhe von 8125 Metern liegt der Umgebungsdruck bei nur noch 300 mbar und Wassers, verdampft bereits bei 70°C. Eine Kartoffel lässt sich dadurch nicht so schnell erweichen. In noch größeren Höhen mit weiter abnehmendem Umgebungsdruck würde sich Wasser bei immer niedrigeren Temperaturen verflüchtigen. Also, der Trend ist klar, geringer Umgebungsdruck senkt für Wasser die Verdampfungstemperatur und umgekehrt.

BLASEN WEGEN UNTERDRUCK

In Heizungsanlagen werden aber durchaus auch hohe Temperaturen angestrebt. Niedrige Drücke dagegen werden ei-



An diesem Laufblad einer Kreiselpumpe kann man deutlich die Kavitationsspuren erkennen

gentlich planmäßig vermieden, obgleich der Druck auf der Saugseite einer Pumpe gewollt niedrig sein soll. Schaut man tiefer in den Saugstutzen der Pumpe rein, wird der Druck dort noch weiter abgesenkt. Die Folge ist dann ganz natürlich ein Absinken der Verdampfungstemperatur. Zwei Vorgaben einer Heizungsanlage machen diese also empfänglich für das Entstehen von Dampf: hohe Temperaturen und gegebenenfalls punktuell niedrige Drücke. Sollte also an einer Stelle der Pumpe tatsächlich der Dampfdruck unterschritten werden, kommt es schlagartig zur Dampfbildung. Die Bläschen fallen dann aber sehr schnell wieder zusammen. Dieser, als Implosion bezeichnete Vorgang, kann extrem zerstörerische Folgen haben. Die Spitzendrücke betragen für den Bruchteil



Sieht man genauer hin wird deutlich, welche enormen Kräfte bei einer Kavitation freigesetzt werden

p mbar	ϑ °C	p mbar	ϑ °C
0,001	-76,19	35	26,69
0,002	-71,74	36	27,17
0,003	-69,04	37	27,64
0,004	-67,08	38	28,10
0,005	-65,53	39	28,54
0,006	-64,25	40	28,98
0,007	-63,15	42	29,83
0,008	-62,19	44	30,64
0,009	-61,34	46	31,42
0,01	-60,57	48	32,17
0,02	-55,37	50	32,90
0,03	-52,20	52	33,60
0,04	-49,90	54	34,27
0,05	-48,08	56	34,93
0,06	-46,57	58	35,57
0,07	-45,28	60	36,18
0,08	-44,14	62	36,78
0,09	-43,14	64	37,37
0,1	-42,23	66	37,93
0,2	-36,06	68	38,49
0,3	-32,29	70	39,03
0,4	-29,55	72	39,55
0,5	-27,38	74	40,06
0,6	-25,57	76	40,57
0,7	-24,02	78	41,06
0,8	-22,67	80	41,54
0,9	-21,46	85	42,69
1	-20,36	90	43,79
1,5	-16,07	95	44,84
2	-12,94	100	45,84
2,5	-10,45	110	47,71
3	-8,38	120	49,45
3,5	-6,61	130	51,06
4	-5,06	140	52,58
4,5	-3,67	150	54,00
5	-2,42	160	55,34
5,5	-1,27	170	56,62
6	-0,22	180	57,83
7	1,89	190	58,99
8	3,77	200	60,09
9	5,46	220	62,17
10	6,98	240	64,09
11	8,38	260	65,88
12	9,66	280	67,55
13	10,86	300	69,13
14	11,98	320	70,62
15	13,03	340	72,03
16	14,02	360	73,38
17	14,96	380	74,66
18	15,85	400	75,89
19	16,70	420	77,07
20	17,51	440	78,20
21	18,28	460	79,29
22	19,03	480	80,33
23	19,74	500	81,35
24	20,43	550	83,74
25	21,09	600	85,96
26	21,73	650	88,02
27	22,35	700	89,96
28	22,95	750	91,78
29	23,53	800	93,51
30	24,10	850	95,15
31	24,64	900	96,71
32	25,18	950	98,20
33	25,69	1000	99,63
34	26,20		

Auf der Wasser-Dampfdrucktafel kann man ablesen, bei welcher Temperatur und welchem Druck Wasser verdampft.

Ablesebeispiel: Wasser verdampft bei Minus 60,57°C wenn der Umgebungsdruck 0,01 mbar beträgt

einer Sekunde mehrere 1000 bar (!) und entfalten so eine punktuell vernichtende Wirkung. Der gesamte Vorgang, die sogenannte Kavitation, kann selbst aus einem bekanntermaßen festen Metall wie Stahl oder Messing winzige Teilchen heraus schlagen. Also, geringer absoluter

Druck gepaart mit relativ hohen Temperaturen begünstigt Kavitation an Pumpen. Es ist nicht, wie oft angenommen, der Unterdruck der das Laufrad einer Pumpe in Folge von Kavitation zerstört, sondern die bei der Implosion folgende punktuelle Überdruckspitze. Übrigens sind auch die Propeller von Schiffen und U-Booten diesem physikalischen Vorgang ausgesetzt. Und je tiefer dann ein U-Boot taucht, umso geringer wird die Anfälligkeit für Kavitation. Klar, der Umgebungsdruck in großer Tiefe ist ja auch entsprechend hoch, da dieser je 10 Meter um jeweils 1 bar ansteigt. Hat dieser U-Boot-Effekt auch einen Bezug zur Heizungstechnik und damit zu diesem Bericht? Klar, wie im Folgenden beschrieben wird.

DRUCK MACHEN!

In Heizungsanlagen wird der Druck meist mittels Ausdehnungsgefäß annähernd konstant gehalten. Ist die Heizungsanlage (Wärmeerzeuger mit Umwälzpumpe) im Keller aufgebaut, ist die Pumpe meistens dem Schweredruck der Wassersäule der Anlage ausgesetzt. Bei 10 Metern also einem Druck von 1 bar. Der absolute Druck, also inklusive dem der Atmosphäre, beträgt dann 2 bar. Die Folge für das Wasser im Kessel wäre, es würde erst, wie in einem Schnellkochtopf, bei 120°C zu kochen beginnen. Bringt der Anlagenmechaniker dann noch eine Wasservorlage in das Ausdehnungsgefäß, sind schnell Drücke von



FILM ZUM THEMA



Armaturenhersteller und Pumpenproduzenten versuchen den möglichen Erscheinungsformen von Kavitation durch Versuche auf die Spur zu kommen. Schauen Sie sich einmal an, wie es aussieht, wenn es im Rohr zu Kavitationserscheinungen kommt. Hier ist das möglich:

www.sbz-monteur.de → Das Heft → Lehrfilme zum Heft

1,5 bar erreicht (also 2,5 bar absolut). Die Gefahr für Kavitation wäre daher gering. Exakt die gleichen Anlagenkomponenten (wiederum Wärmeerzeuger mit Umwälzpumpe) als Dachzentrale würden kaum Änderungen erwarten lassen. Nur, dass der Kessel samt Pumpe erstmal fast ohne

Schweredruck unter dem Dach arbeiten soll. Selbst wenn nun eine Wasservorlage in das Ausdehnungsgefäß gedrückt wird, steigt der Druck auf vielleicht 0,5 bar und damit absolut auf 1,5 bar. Fällt der Druck in einer solchen Anlage nur minimal ab, beispielsweise auf 0,2 bar (absolut auf 1,2 bar) kann es schon zur Kavitation in der Pumpe kommen. Das bedeutet als Abhilfe für diesen klassischen Fall: Druck machen! Tatsächlich sollte der Fülldruck der Anlage ruhig auf einen Wert von 1,0 bar eingestellt werden. Wichtig ist es dabei, den Druck des Ausdehnungsgefäßes vorher anzupassen (Druck ablassen). Nur wenn der Vordruck des Ausdehnungsgefäßes an die Anlage angepasst wurde, kann die gewünschte Wasservorlage wirksam ins Gefäß einströmen.

WO STEHT'S?

Anhand dieses häufigsten Fehlers sollte die Gefahr für Kavitation beschrieben werden. Weitere Fehler sind denkbar, lassen sich aber über die Kenntnisse der Zusammenhänge vermeiden. Beispielsweise sind ausgedehnte aber niedrige Heizungsanlagen häufiger gefährdet und betroffen als Anlagen, die sich in die Höhe erstrecken. Die namhaften Pumpenhersteller geben den Druckwert für die Entstehung von Kavitation in den Unterlagen an. Bei Grundfos wird der Wert mit „Mindestvordruck“ bezeichnet, bei Wilo heißt dieser Wert „Mindestzulaufhöhe“. Der Wert liegt häufig bei 0,3 bar Mindestvordruck oder eben rund drei Meter Mindestzulaufhöhe. Darunter kann es je nach Temperatur schon kritisch werden. Je nach Pumpentyp und Einsatzgebiet kann der Wert aber auch erheblich abweichen. Es ist daher jeder etwas ausgefallene Pumpeneinsatz mindestens gedanklich zu prüfen. Meist läuft eine Pumpe im „Kavitationsfieber“ unter starker Geräuschentwicklung und quittiert dann nach ein oder zwei Monaten ihren Dienst. Es sind Fälle bekannt, wo im Heizungs- und Verteilerraum eine Ecke als Pumpenfriedhof ausgeguckt wurde. Dort tummeln sich dann Dutzende von jungen Kavitationsopfern bis der Schrotthändler mal Reine macht und der Anlagenmechaniker die Mängel der Anlage abstellt.

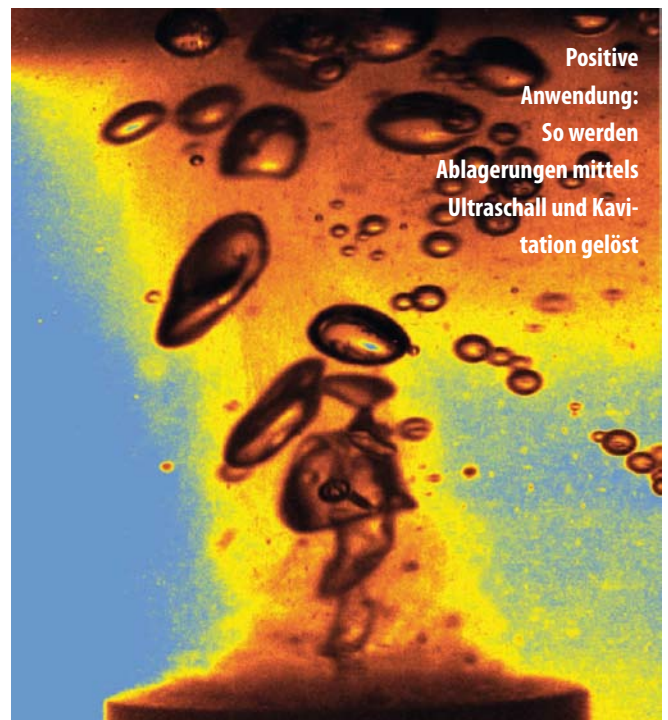


Das plötzliche Verdampfen des Wassers ruft sogar an Turbinenschaufeln massive Schäden hervor

GIBT'S POSITIVE EFFEKTE?

Neben dem uralten Grundsatz: „Arbeit haben, Arbeit halten“ (jede neu eingesetzte Pumpe ist erstmal ein Geschäft), gibt es auch noch redliche Ansätze, die für die Kavitation sprechen. Jene Ultraschall-Reinigungsgeräte, die ohne spezielle Reinigungsmittel

zum Beispiel eine Brille oder Schmuck reinigen, arbeiten mit dem Prinzip der Kavitation. Durch Schwingungen, eben in diesem Ultraschall-Bereich, erzeugt man künstlich Kavitation. Diese löst dann zwar den Schmutz auf der Oberfläche, zerstört aber in der Regel nicht das Reinigungsgut. Es geht also um sehr schnelle Bewegungen in Flüssigkeiten, die Kavitation hervorrufen. Das Militär hat ebenfalls den Einfluss von Kavitation genutzt, um Geschosse durch Flüssigkeiten zu bewegen. Ein Torpedo oder ein ähnliches Geschoss muss nur schnell genug durchs Wasser getrieben werden. Irgendwann, so bei 500 Stundenkilometer, bildet sich um dieses Geschoss eine Kavitationsblase und verringert die Reibung erheblich. Letzter, ziviler Effekt: Der Turmspringer vom Zehn-Meter-Brett verursacht beim blitzartigen Eintauchen ins Wasser auch Kavitation. Ob dabei jemals kleine Teilchen aus seinem Körper geschlagen wurden, ist allerdings nicht bekannt. ●



Positive Anwendung:
So werden Ablagerungen mittels Ultraschall und Kavitation gelöst