

■ Putzen mit Schall

Was früher nur beim Optiker zu finden war, steht heute in immer mehr Privathaushalten: Ultraschallreinigungsgeräte. Ihre Wirkung beruht auf der Kavitation.

Brillenträger sind in zwei Gruppen gespalten – die Wischer und die Ultraschaller: Während die einen auf Wasser, Spülmittel und ein weiches Tuch schwören, halten die anderen ihre Brille einfach ins Ultraschallbad und trocknen sie anschließend. Mit einer Recherche in Internetforen zu diesem Thema kann man Stunden verbringen. Die Empfehlungen zur Ultraschallreinigung von Brillen reichen von „die einzig wirksame Methode“ bis zu „Finger weg, weil die Oberflächen Schaden nehmen“. Immerhin wird eine Alufolie in einem Ultraschallreinigungsgerät überraschend schnell perforiert. Am Gerätesortiment scheidet ein Kauf jedenfalls nicht: vom Discounter bis zum Online-Händler – alle bieten für wenig Geld Ultraschallreinigungsbäder zum Hausgebrauch an. Diese lassen sich nicht nur für Brillen, sondern zum Beispiel auch für Schmuck verwenden. Und in der Industrie kommen Ultraschallreinigungsgeräte schon lange zum Einsatz, um Bauteile zu entfetten oder von Partikeln zu befreien.

Im Prinzip besteht ein Ultraschallreinigungsgerät aus einer Wanne, an deren Außenseite piezokeramische Leistungswandler angebracht sind. In der Wanne befindet sich Wasser (bei industriellen Anwendungen können es auch andere Flüssigkeiten sein), in dem die Piezoschwinger über Boden oder Wände Schallwellen einkoppeln, sodass sich letztlich ein Feld stehender Wellen ausbildet. Bei Geräten für den Hausgebrauch liegt die Frequenz zwischen 35 und 45 Kilohertz. Für industrielle Anwendungen reicht das Frequenzspektrum von etwa 20 Kilohertz bis in den niedrigen Megahertzbereich. Das Wasser in der Wanne enthält für gewöhnlich Partikel und gelöste Gase – vor allem Luft –, die als „Keime“ für Gasblasen dienen können, wenn die Schallintensität im Wasserbad hoch genug wird. Die Ultraschallwellen regen die



D. Jorda

Mithilfe von Mikrometer kleinen Kavitationsblasen lassen sich Brillengläser in einem Ultraschallreinigungsgerät säubern. Piezokeramische Leistungswandler, die an der Außenseite der Wanne

angebracht sind, erzeugen dabei die Schallwellen. Bei Geräten für den Hausgebrauch liegt die Frequenz zwischen 35 und 45 Kilohertz.

Blasen dann zum Schwingen an. Sie schwingen so stark, dass sie irgendwann implodieren. Der Vorgang von der Blasenbildung und Anregung bis zur Implosion wird als Kavitation bezeichnet. Findet die Implosion dicht vor einer Oberfläche statt, zum Beispiel einem Brillenglas, so kommt es zu Stoßwellen und Scherströmungen. Letztlich wirken also mechanische Kräfte auf die Oberfläche ein, wodurch sich daran haftende Schmutzpartikel lösen.

Schaden oder säubern

Bekannt wurde die Kavitation nicht durch Ultraschallreinigungsbäder, sondern bereits im 19. Jahrhundert durch Schäden an Schiffspropellern und Schaufelrädern von Turbinen oder Pumpen, die durch implodierende Gasblasen entstanden waren. Wie so oft gilt nämlich auch bei der Kavitation der Satz: Des einen Freud, des anderen Leid. Je größer die schwingende Blase, desto größer ist ihre Reinigungs-, aber eben auch ihre Zerstörungswirkung, da sie ein größeres Volumen und damit eine höhere potenzielle Energie besitzt. Die Größe der Blasen hängt von der Anregungsfrequenz

ab. Und so kommt es, dass sich mit fünf bis zehn Meter großen Kavitationsblasen, die von Torpedos erzeugt werden, ganze Schiffe zerstören lassen, während mit zwei bis zehn Mikrometer kleinen Kavitationsblasen zum Beispiel Brillengläser sauber werden.

Die Zahlenangaben beziehen sich auf die Dimension der ruhenden Blasen. Wenn sie schwingen, können ihre Durchmesser jeweils um ein Vielfaches größer oder kleiner werden. Dieser Vorgang ist bei größeren Amplituden hochgradig nichtlinear, sodass die Blasen beim Expandieren „weicher“, beim Kontrahieren „steifer“ werden. Die Nichtlinearität erklärt auch, warum man manche Ultraschallbäder hören kann, selbst wenn sie zum Beispiel bei 36 Kilohertz betrieben werden – also weit jenseits des wahrnehmbaren Tonbereichs: Eine Folge einer nichtlinearen Schwingung ist die Frequenzkonversion in den subharmonischen Bereich, sodass es durch die nicht hörbaren 36 Kilohertz zu hörbaren Anteilen geringerer Amplitude kommt – bei 18 Kilohertz, 9 Kilohertz usw.

Fällt eine Kavitationsblase in sich zusammen, kommt es lokal zu sehr

hohen Drücken und Temperaturen. In Ultraschallreinigungsgeräten ist das nur schwer zu messen, dafür aber im Labor an isolierten Blasen. So erzeugt zum Beispiel eine mit 25 Kilohertz angeregte Kavitationsblase, die fünf Mikrometer Ruherradius hat, beim Kollaps eine Druckspitze von einigen zehn Kilobar und eine Temperaturspitze von etwa 5000 Kelvin – alles natürlich für eine extrem kurze Zeitspanne, die in der Größenordnung von einer Nanosekunde liegt. Besonders hohe Belastungen treten durch „jettende“ Blasen auf: Da eine Blase kugelförmig kollabiert, strömt für gewöhnlich von allen Seiten Wasser in das freiwerdende Volumen nach. Kollabiert die Blase jedoch direkt an einer Grenzfläche, zum Beispiel dem Brillenglas, kann von der einen Seite kein Wasser nachströmen, so dass sich eine asymmetrische Rückströmung bildet, die als Stoßwelle oder Druckstoß (als Strahl mit sehr hoher Geschwindigkeit – unter Laborbedingungen wurden 100 bis 1000 Meter pro Sekunde gemessen) auf die Grenzfläche trifft und das dortige Material mechanisch stark belastet. Da der Vorgang rasch abklingt, wirken nur Kavitationsblasen dicht vor einer Oberfläche reinigend – oder schädigend.

Zwischen dem Blasendurchmesser und der Größe der ablösbaren Schmutzpartikel besteht übrigens kein direkter Zusammenhang. Oft lösen sich zusammenhängende Verschmutzungen oder Filme in größeren Stücken von der zu reinigenden Oberfläche ab, weil sie von



Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt

Schnell bewegte Objekte wie Propeller erzeugen in Flüssigkeiten Kavitation. Die Implosion der Gasblasen kann lokal zu sehr hohen Drücken und Temperaturen führen.

den Blasen „unterfressen“ wurden. Selbst Nanopartikel lassen sich mit dem richtigen Ultraschallreinigungsgerät von einer Oberfläche entfernen. Wenn nötig, hilft dabei im industriellen Umfeld die geeignete Reinigungskemie – für den Hausgebrauch genügt Spülmittel.

Da die Kavitation nur nahe einer Grenzfläche wirken kann, muss die Brille im Wasserbad für die Schallwellen gut erreichbar sein. Halterungen, die teilweise mit den Geräten geliefert werden, können die Schallwellen absorbieren und somit die reinigende Wirkung verringern. Wenn sich durch Reflexionen stehende Schallwellen ausbilden, ist das zwar unvermeidlich, aber ebenfalls nachteilig, weil dann die Druckböue immer an denselben Stellen die Blasenbildung begünstigen. Bei industriellen Anwendungen werden daher die zu reinigenden Bauteile in Gitterkörben langsam hin und her bewegt. Dies sollte man auch mit der Brille

tun. So wird es wahrscheinlicher, dass die Kavitationsblasen tatsächlich überall an der Oberfläche ihre Wirkung entfalten können. Begünstigt wird das zudem, weil Kavitationsblasen bevorzugt an festen Oberflächen zu finden sind: Werden die Schallwellen an der Grenzfläche reflektiert, bildet sich ein Druckbauch aus, weil es zu keinem Phasensprung kommt – und maximale Druckänderungen begünstigen wiederum die Anregung von Blasen.

Trotz dieser komplexen Vorgänge kann der zu reinigenden Oberfläche bei richtigem Gebrauch eigentlich nichts passieren. Wobei natürlich wie beim Putzen mit einem Tuch auch beim Ultraschallreinigen gilt, dass man immer auch zu viel des Guten tun kann.⁺⁾

Michael Vogel

^{+) Ich danke Robert Mettin vom 3. Physikalischen Institut der Georg-August-Universität Göttingen für hilfreiche Erläuterungen.}