

■ Fein vernebelt

Mittels Ultraschall lassen sich feine Tropfen erzeugen. Dieses Zerstäubungsverfahren findet in dekorativen Lampen, Luftbefeuchtern oder Inhalatoren Anwendung.

Sie sehen hübsch aus und sollen das Raumklima verbessern: Aus Nebellampen oder -brunnen steigen langsam Wassertropfen auf, womöglich noch versetzt mit Duftstoffen oder untermalt von einem Lichtspiel. Wer die Raumluft dagegen großvolumiger befeuchten möchte, greift zu eher technisch anmutenden Luftbefeuchtern. Solche Vernebelungsgeräte kommen auch in manchem Terrarium zum Einsatz oder in der Medizin. Und so unterschiedlich die Anwendungen auch sind, entstehen bei vielen dieser Befeuchter die Wassertropfen doch auf die gleiche Weise: durch eine Zerstäubung mittels Ultraschall.

Dazu versetzt eine piezoelektrisch betriebene Membran eine Wasserschicht von unten in Schwingungen (Abb. 1). Dadurch bilden sich an der Wasseroberfläche Kapillarwellen aus, also Transversalwellen, deren Eigenschaften wesentlich von der Oberflächenspannung des Wassers abhängen. Wenn die Anregungsfrequenz der Membran eine Resonanzfrequenz der Wasserschicht trifft und die Anregungsamplitude groß genug ist, entsteht auf der Wasseroberfläche ein schachbrettähnliches Muster aus stehenden Kapillarwellen. Mit zunehmender Schwingungsamplitude und Frequenz der Ultraschallmembran steilen sich diese



In Inhalationsgeräten werden mittels Ultraschall feine Tröpfchen erzeugt.

Kapillarwellen immer weiter auf, bis sich die ersten Tropfen aus den Wellenkämmen abschnüren. Dies geschieht, weil die nach oben wirkende Kraft aufgrund der Schnelle der Schwingung größer wird als die entgegengesetzte Kraft, die durch die Oberflächenspannung des Wassers entsteht. Das ist der Moment, in dem die Zerstäubung beginnt. Der Eindruck eines Nebels entsteht übrigens maßgeblich durch die geringe Geschwindigkeit, welche die Tropfen direkt nach der Zerstäubung haben: Sie scheinen in der Luft zu „stehen“. Daher haben einige Luftbefeuchter einen integrierten Ventilator. Er erzeugt einen Luftstrom, um die Tropfen aus dem Gerät rascher in den Raum zu transportieren. Für die eigentliche Zerstäubung ist der Ventilator jedoch irrelevant.

Dichte, Viskosität und Oberflächenspannung des Wassers sowie die Anregungsfrequenz der Membranschwingung bestimmen die Eigenschaften des „Nebels“ – also welche Wellenlängen die Kapillarwellen haben, wie groß die Anregungsamplitude mindestens sein muss, damit sich Tropfen ablösen können, und welches Spektrum

an Durchmessern die Tropfen besitzen. Zum Beispiel ist bei einer dünnen Wasserschicht das Tropfenspektrum relativ schmal. Bei konstanter Anregungsfrequenz verbreitert sich das Tropfenspektrum mit zunehmender Dicke der Wasserschicht, weil dann deren innere Reibung eine saubere Aufteilung der Kapillarwellen erschwert. Kommerziell erhältliche Nebelbrunnen und Luftbefeuchter für den Hausgebrauch erzeugen bei typischen Arbeitsfrequenzen zwischen 30 und 100 Kilohertz Wassertropfen mit einem mittleren Durchmesser von 20 bis 60 Mikrometern. Als Faustregel gilt: Je höher die Frequenz, desto geringer der mittlere Tropfendurchmesser.

Das Prinzip der Ultraschallzerstäubung findet auch in der Medizintechnik Anwendung. Bei Inhalationsgeräten geht es ebenfalls darum, feine Tropfen zu erzeugen. Allerdings müssen diese Tropfen in die oberen und unteren Atemwege gelangen. Dies gelingt in der Lunge nur, wenn die Tropfen einen Durchmesser haben, der kleiner als zehn Mikrometer ist. Dafür muss die Membran im unteren Megahertz-Bereich schwingen.

nach: W. D. Drews: Flüssigkeitszerstäubung durch Ultraschall. Sonderdruck Elektronik, Nr. 10, 1979

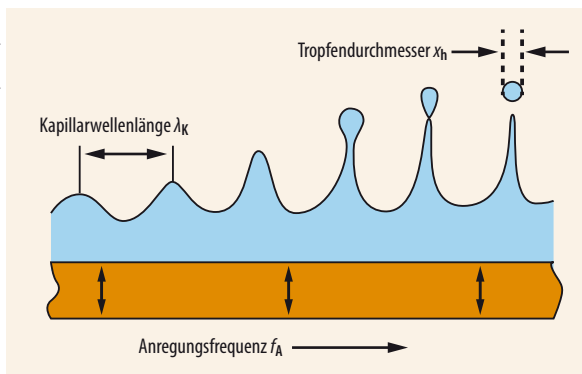


Abb. 1 Eine vertikal schwingende Unterlage versetzt einen Flüssigkeitsfilm in Eigenschwingungen. An der Flüssigkeitsoberfläche bilden sich Kapillarwellen aus. Mit steigender Anregungsfrequenz und Amplitude steilen sich die Wellen immer weiter auf, bis es zu einer Tropfenabschnürung kommt.

Da das resultierende Tropfenspektrum aber noch zu weit bei großen Durchmessern liegt, selektieren solche Inhalationsgeräte die entstehenden Tropfen nach ihrem Durchmesser: Nur die ausreichend kleinen Tropfen gelangen aus dem Gerät zum Patienten, während die nicht lungengängigen Tropfen im Raum über der Flüssigkeit an der Gefäßwand abgeschieden werden und zurückfließen. Möglich ist diese Selektion zum Beispiel durch einen seitlich über der Flüssigkeit eingeblasenen Luftstrom, der durch die Gefäßwand nach oben zur Austrittsöffnung des Inhalationsgeräts umgeleitet wird. Die kleinen Tropfen können dieser Luftströmung aufgrund ihrer geringeren Massenträgheit besser folgen als die großen. Der Luftstrom reduziert allerdings die Tropfenausbeute. Diese beträgt für ein Gerät, das mit einer Frequenz von 1,7 Megahertz arbeitet, typischerweise 50 Prozent für Tropfen mit maximal 4,6 Mikrometern Durchmesser.

Ein Sieb für Tropfen

Manche Ultraschall-Inhalatoren arbeiten aber nur im Kilohertzbereich. Da diese Anregungsfrequenzen nicht hoch genug sind, um per Kapillarwellen lungengängige Tropfen zu erzeugen, hat die Ultraschalltechnik dabei eine andere Aufgabe: Sie versetzt einen „Siebzerstäuber“ in Schwingungen. Vereinfacht gesagt handelt es sich dabei um ein schwingungsfähiges Bauteil, in dem sich Löcher mit Durchmessern befinden, die der gewünschten

Tropfengröße des Inhalts entsprechen. Wasser und Wirkstoff füllen dann einen Hohlraum auf der einen Seite des Siebzerstäubers vollständig aus. Gerät der Zerstäuber durch eine Ultraschallschwingung in periodische Bewegungen, presst er die Flüssigkeit aus dem Hohlraum durch die Löcher und erzeugt so die gewünschten Tropfendurchmesser. Die Ultraschalltechnologie ist dabei also nur das Vehikel für einen mechanischen Siebvorgang.

Welche der beiden Technologien bei Inhalatoren zum Einsatz kommt, hängt auch von den Rahmenbedingungen des konkreten Geräts ab. Bei Geräten für den Endkunden spielt zum Beispiel die Frage der Reinigung eine wichtige Rolle, weil der Hersteller beim Anwender kein Fachwissen voraussetzen kann. Die Reinigung ist bei Ultraschallgeräten mit Siebzerstäubern wegen der kleinen Löcher schwieriger als bei der Kapillarwellenerzeugung. Andererseits haben Siebzerstäuber den Vorteil, dass sie sich im Vergleich zu Geräten mit Kapillarwellenerzeugung sehr klein machen lassen.

Auch die physikalischen Eigenschaften des Wirkstoffs, der mit dem Gerät verabreicht werden soll, können die Entscheidung für eine der Technologien beeinflussen: Handelt es sich dabei um ein hochviskoses Material, ist das ungünstig für ein Gerät, das auf der Kapillarwellenerzeugung beruht, weil die innere Reibung das Tropfenspektrum stark verbreitert. Dadurch sinkt die Ausbeute an ge-

wünschten Tropfendurchmessern. Am besten lassen sich hochviskose Wirkstoffe mit Inhalationsgeräten zerstäuben, die mit Ultraschall, Druckluftkompressor und Düsen arbeiten. Sie sind aber sperriger und im Betrieb lauter.

Wie so oft gibt es also keine Ideallösung. Die Kapillarwellenerzeugung jedenfalls ermöglicht eine erstaunliche Breite an zerstäubungstechnischen Anwendungen.

*

Ich danke Heike Frommeyer von der Beurer GmbH, Ulm, und Thomas Richter von der IBR Zerstäubungstechnik GmbH, Münster, für hilfreiche Erläuterungen.



Michael Vogel

ERRATUM

Zu: M. Vogel, Von Start bis Ziel erfasst, Physik Journal, Mai 2016, S. 46

Die Nichterkennungsrate bei UHF-Systemen (Chip an Startnummer) liegt bei Installationen mit Main- und Backup-System bei ca. 0,3 bis 0,5 Prozent. Mit dem ChampionChip-System erreicht man eine Erkennungsrate von 99,97 Prozent. Addiert man ein Backup-System, beträgt sie fast 100 Prozent. Für eine Veranstaltung wie den Berlin-Marathon läge damit die Zahl der nicht erfassten Sportler bei unter 10 bzw. ginge gegen 0. Bei Wettkämpfen wie in Berlin kommt daher ein zweites Verfahren beim Zieleinlauf zum Einsatz, z. B. ein kamerabasiertes System.