

Mit Schall gegen Schmerz

Wie Stoßwellen entstehen und für therapeutische Zwecke eingesetzt werden

Ulrich Kilian

Stoßwellen, auch als Schock- oder Knallwellen bezeichnet, treten auf, wenn explosionsartig ablaufende Ereignisse Schallwellen mit hoher Druckamplitude auslösen. Ein aus dem Alltag bekanntes Beispiel ist der Donner. Wenn die Ladungsträger aus der Gewitterwolke in Richtung Erdboden schießen, erhitzt sich die Luft im Blitzkanal schlagartig und dehnt sich innerhalb von Mikrosekunden aus. Die resultierende starke Druckwelle hören wir als Donner. Dabei spielt die Nichtlinearität des Ausbreitungsmediums eine wichtige Rolle. Wenn die Strömungsgeschwindigkeit im Medium so groß wird wie die Schallgeschwindigkeit, breiten sich die Druckmaxima etwas schneller als der Schall aus und die Druckminima etwas langsamer. Das verändert die Gestalt der Druckwellen (**Abb. 1**). Sobald die Maxima die Minima einholen, kommt es zur Aufsteilung: In der Stoßfront steigen Druck und Dichte innerhalb von Nanosekunden sprunghaft an.

Aus den 1960er-Jahren stammt die Idee, Stoßwellen in der Medizin zu nutzen. Außerhalb des Körpers erzeugt können sie beispielsweise Nieren- und Gallensteine zertrümmern. Denn Stoßwellen durchdringen die Haut sowie Muskeln und Fett verletzungsfrei. Ihre Energie geben sie erst an einem festen Widerstand ab. Die erste Zertrümmerung gelang 1980. Seitdem ist die extrakorporale Stoßwellenlithotripsie die Standardmethode, um Nieren- und Gallensteine zu zerstören und dann zu entfernen.



Adobe Stock / Dan Race

In vielen orthopädischen Praxen kommen Stoßwellen zum Einsatz, um beispielsweise eine schmerzhafte Entzündung am Fersensporn gezielt zu behandeln.

Doch Stoßwellen können auch Heilungsprozesse in Gang setzen. So sorgt die Stoßwellentherapie meist für eine gesteigerte Durchblutung und einen intensiveren Stoffwechsel. Beides kann eine Heilung begünstigen. Erkrankungen und Beschwerden vom Fersensporn bis zu Verkalkungen der Muskulatur lassen sich mit Stoßwellen behandeln. Die gesetzlichen Krankenkassen sehen die biologische Wirkung derzeit nicht als bewiesen an, insbesondere weil der Therapieerfolg im Einzelfall schlecht vorhersehbar ist. Daher übernehmen sie bisher nur die Kosten zum Behandeln der Schmerzen beim Fersensporn.

Stoßwellen für die Medizin lassen sich mit verschiedenen Methoden erzeugen. Beim elektrohydraulischen Verfahren braucht es zunächst einen Lichtfunken zwischen zwei Elektroden, die sich in einer Flüssigkeit befinden (**Abb. 2**). Die Entladung führt zu einer Stoßwelle in der Flüssigkeit, da sie zwischen den Elektroden schlagartig verdampft. Diese primäre Welle breitet sich radial in alle Richtungen aus und verliert schnell an Intensität. Befinden sich die Elektroden jedoch im Brennpunkt eines halbellipsoiden Reflektors, entsteht zusätzlich eine reflektierte und gebündelte zweite Schockwelle mit einem Fokus im

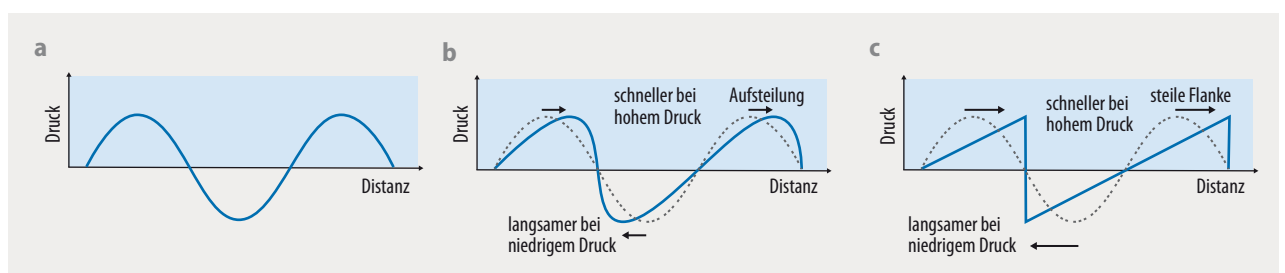


Abb. 1 Aus einer ursprünglich sinusförmigen Welle (a) entsteht in einem nichtlinearen Ausbreitungsmedium eine Stoßwelle (b, c), weil sich die Maxima schneller ausbreiten als die Minima. Man spricht dann von einer Aufsteilung der Welle.

zweiten Brennpunkt des Reflektors. Man spricht deshalb auch von fokussierten Stoßwellen.

Erst im zweiten Brennpunkt erreicht der Druck therapeutisch wirksame Werte von mindestens 50 bar. Um Nieren- und Gallensteine zu zertrümmern, sind sogar 100 bis 1000 bar üblich. Dieser zweite Brennpunkt lässt sich im Körper des Patienten exakt platzieren. Weil der Funke immer einen leicht anderen Weg von Elektrode zu Elektrode nimmt, entsteht die Stoßwelle stets an einem etwas anderen Ort. Das führt zu Druckschwankungen zwischen den einzelnen „Schüssen“ einer Behandlung. Die Bezeichnung „Schuss“ impliziert Nachteile der Methode: Elektrohydraulisch erzeugte Stoßwellen lassen sich bei kleinem Druck nicht genau dosieren. Außerdem nehmen viele Patienten die Behandlung als laut und teilweise schmerzhaft wahr. Die Lautstärke entsteht, weil sich nach dem Ablösen der Stoßwelle in der Flüssigkeit die ursprüngliche Plasmablase weiter ausdehnt. Dabei verdrängt sie explosionsartig einige Kubikzentimeter Wasser und kollabiert anschließend mit lautem Knall. Die Schmerzen beruhen auf der hohen Energie pro Fläche, welche die Stoßwelle transportiert.

Das elektromagnetische Verfahren umgeht dies. Eine Spule, durchflossen von einem kurzen Stromstoß, versetzt durch ihr Magnetfeld einer Metallmembran einen Induktionsstoß, der sich im umgebenden Wasserbad ausbreitet. Eine Flachspule erzeugt ebene

Druckwellen, akustische Linsen wandeln diese in konvergierende Wellen um. Bei einer Zylinderspule entstehen Zylinderwellen, die ein paraboloidförmiger Reflektor in konvergente Kugelwellen transformiert. Weil diese Wellen über eine größere Hautoberfläche in das Körpergewebe eindringen, ist die Stoßwellenenergie pro Fläche kleiner und die Behandlung weniger schmerzhaft.

Stoßwellen lassen sich auch piezoelektrisch erzeugen – eine in der Ultraschalltechnik bewährte Methode. Ein Spannungsstoß regt die Piezoelemente auf einer sphärischen Fläche synchron an, sodass eine Druckwelle in Richtung des Zentrums der Kugel­fläche entsteht. Auf dem Weg ins Zentrum nimmt der Druck ständig zu und erreicht schließlich therapeutisch nutzbare Werte. Bei allen Verfahren erreicht der Druck erst im Fokusbereich Werte, die durch nicht-lineare Schallausbreitung im Medium zu einer Aufsteilung der Amplitude führen. Welche Methode zum Einsatz kommt, hängt von Parametern wie Wiederholgenauigkeit, Dosierbarkeit, Energiebereich oder Betriebskosten durch Verbrauchsmaterial ab.

Radial statt fokussiert

Eine Alternative zu fokussierten Stoßwellen sind sich radial ausbreitende „gewöhnliche“ Druckwellen ohne Fokussierung. Obwohl durch die fehlende Aufsteilung keine Stoßwellen entstehen, gilt die Behandlung mit diesen Wellen ebenfalls als Stoß-

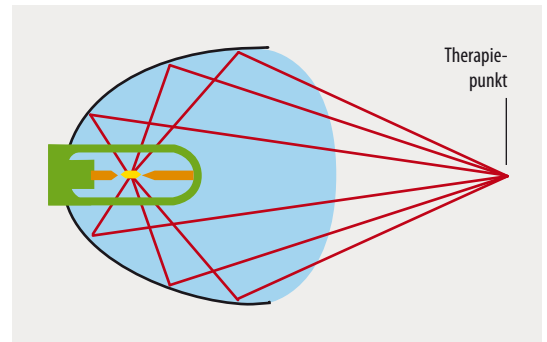




Abb. 2 Beim elektrohydraulischen Verfahren erzeugen zwei Elektroden (orange) einen elektrischen Funken (gelb) in einem Wasserbad (blau). Dadurch entsteht eine akustische Druckwelle (rot), die ein Ellipsoidspiegel (schwarz) auf den Therapiepunkt im Körper fokussiert.

wellentherapie. In einer Art Pistole, die auf die Haut aufgesetzt wird, beschleunigt Druckluft ein Projektil. Dieses trifft auf einen Applikator, der die kinetische Energie in Druckwellen umwandelt. Die Wellen breiten sich vom Aufsetzpunkt kreisförmig und schnell schwächer werdend im Körper aus. Im Gegensatz zu den fokussierten Stoßwellen liegt nun der höchste Druck an der Hautoberfläche vor und verteilt sich anschließend im Gewebe. Radiale Druckwellen eignen sich deshalb gut für eher flächig auftretende Muskelverspannungen.

Schall ist also nicht nur für die Diagnostik mittels Ultraschallwellen von Bedeutung, sondern hat sich in den letzten Jahrzehnten auch in der Therapie etabliert. In vielen orthopädischen Praxen ist es heute üblich, vor dem Griff zur Spritze mit schmerzstillenden Mitteln eine Therapie mit Stoßwellen zu versuchen.



- Compact and versatile MBE system for R&D
- Applications: III-V, II-VI or Oxide MBE, Topological Insulators
- Up to 10 source ports
- Wide range of source options, including e-beam evaporators
- Horizontal substrates up to 3"
- UHV pumping system with base pressure <math>< 5 \times 10^{-11}</math> mbar
- In-situ monitoring



OCTOPLUS 400

www.mbe-komponenten.de