

# Über die Vielfalt der Ultraschallanwendungen

Bernd Frentzel-Beyme

Gerhard van Kaick

Wenn von Ultraschall- also von Schall mit Frequenzen jenseits unseres Hörvermögens- die Rede ist, denkt fast jeder Arzt und Laie an den diagnostischen Ultraschall. Die großen Erfolge der Sonographie haben alle anderen Anwendungen des Ultraschalls gleichsam überstrahlt. Schauen wir zurück: Im 18. Jahrhundert vermutete Spallanzani, dass sich Fledermäuse mit Hilfe eines weit entwickelten Gehörsinns im Raum orientieren (1). Der Untergang der Titanic 1912 war für den deutschen Physiker A. Behm Anlass, das Echolot für die Schifffahrt zu entwickeln. 1942 versuchten die österreichischen Brüder Dres. K. und F. Dussik (Arzt und Physiker) US-Wellen für die medizinische Diagnostik des Gehirns einzusetzen, was sie „Hyperphonographie“ nannten. In den achtziger Jahren kam es dann durch die neuen elektronischen Möglichkeiten zu der bekannten erfolgreichen Entwicklung der US-Diagnostik.

## Ultraschall-Anwendungen für die Therapie

Es ist erstaunlich, dass schon 1949 in Erlangen eine Ultraschall-Tagung stattfand mit 72 Vorträgen „um einmal genau festzustellen, welche therapeutischen Möglichkeiten die medizinische Anwendung des Ultraschalls tatsächlich bietet“. Wie sieht es aber heute aus, welche Bedeutung hat der Ultraschall im Bereich der Therapie? Die Frage ist nicht leicht zu beantworten, da die therapeutische Anwendung des Ultraschalls mehrere Facetten bietet.

### 1. Die sogenannte Ultraschall-Therapie.

Sie wird vor allem bei muskulo-skelettalen Beschwerden eingesetzt. Man benutzt meist einen Frequenzbereich von 0,8-3,0 MHz, bevorzugt Impulsschall. Die Auswirkungen auf das Gewebe erklärt man mechanisch durch Kompression und Expansion und thermisch durch Absorption der US-Energie im Gewebe. Als evidenzbasiert gilt bisher nur die Anwendung zur Förderung der Frakturheilung, während die Erfolge bei muskulo-skelettalen Beschwerden kritisch diskutiert werden. Vor allem wird bemängelt, dass nach über 50 jähriger klinischer Applikation nur wenige randomisierte, Placebo-kontrollierte Studien vorliegen und bei diesen sind die Ergebnisse eher ernüchternd: „The large majority of 13

randomized placebocontrolled trials with adaequate methods did not support the existence of clinically important or statistically significant differences in favour of ultrasound therapy” (2).

## 2.Extrakorporale Stoßwellentherapie

Stoßwellen kann man im weiteren Sinne auch als Ultraschall-Wellen betrachten. Sie können mit verschiedenen Techniken erzeugt werden. Seit der Entwicklung der extrakorporalen Stoßwellenlithotripsie durch die Fa. Dornier in den achtziger Jahren ist die operative Behandlung von Nierensteinen drastisch zurückgegangen (3). Therapieerfolge bei der Zertrümmerung von Gallensteinen werden durch die Enge des Ductus cysticus limitiert. Niederenergetische Stoßwellen werden auch zur Behandlung von muskuloskelettalen Beschwerden angewandt, deren Wirksamkeit wie schon oben gesagt ebenfalls besser belegt werden sollte.

## 3. High Intensity Focused Ultrasound (HIFU)

Durch gezielte Bündelung von US-Wellen kann Gewebe punktuell erhitzt und zerstört werden mit scharfen Demarkierungen.

Versuche, fokussierte US-Wellen bei Gehirnprozessen anzuwenden, wurden schon seit den fünfziger Jahren unternommen, jedoch ohne die Möglichkeit einer genauen Zielsteuerung (4).

Die Kombination von HIFU mit einer MR-Bildführung hat vor allem im Gehirnbereich interessante therapeutische Möglichkeiten eröffnet . Sehr hoffnungsvoll erscheinen Behandlungen bei tiefgelegenen Prozessen im Gehirn. Der die Prozedur steuernde Arzt kann auf den MR-Bildern in kurzen Zeitabständen die Effekte seiner Intervention überprüfen. Der große Vorteil besteht darin, dass gesundes Gewebe nicht durch Operationsschnitte oder Bestrahlung tangiert wird. Außerdem kann man mit der MR die Temperatur und damit die „Wärmedosis“ lokal bestimmen. Erste positive Erfahrungen liegen vor bei speziellen Arten von Tremor und neuropathischen Schmerzen durch Ausschaltung umschriebener aktiver Nervenzellbereiche. Möglicherweise können durch Verkleinerung des HIFU-Brennflecks die therapeutischen Ergebnisse noch weiter verbessert werden.

Das Verfahren wurde auch zur Behandlung von Prostatakarzinomen und in kleinen Studien beim Mamakarzinom eingesetzt, wobei allerdings eine gute Zielgenauigkeit durch die anatomischen Gegebenheiten und die schwierige Tumordarstellung vergleichsweise schlechter zu erreichen ist. Ob sich HIFU hier gegen die etablierten lokalen Therapieverfahren der Chirurgie und Strahlentherapie durchsetzen kann, ist offen (5,6). Die am besten etablierte Indikation für die MR gesteuerte fokussierte Ultraschalltherapie (MRgFUS) ist

die Ablation von Uterusmyomen ( 7,8 ). Auch für die Behandlung von therapieresistenten, schmerzhaften Knochenmetastasen gibt es positive Ergebnisse ( 9 ).

#### 4. Ultraschall-Messer in der Chirurgie

Beim Schneiden mit einer durch Ultraschall angeregten Klinge wird der notwendige Druck und damit auch die Verformung des zu schneidenden Objekts vermindert. Genauer gesagt handelt es sich um eine Sonde, die zugleich Kavitationen erzeugt und den entstandenen Detritus absaugt. Elastische Gewebe wie Gefäßwände werden weniger leicht verletzt. Weitere Vorteile sind die schnelle und variable Schnittführung sowie saubere Schnittoberflächen.

Die benutzten Frequenzen liegen zwischen 20-40 kHz.

Experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass das Operieren mit US-Messer („Piezosurgery“) in Bezug auf Nervenverletzungen sicherer ist als die Elektrochirurgie (10).

Für die Chirurgie der Mundhöhle sind die verschiedenen Frequenzbereiche vorteilhaft, da sowohl hohe Genauigkeit für Weichteilgewebe als auch Schneiden von Knochenstrukturen gewählt werden kann.

#### **Nicht-medizinische US-Applikationen**

Neben den genannten US-Anwendungen in der Medizin haben sich umfangreiche Einsatzfelder für US-Wellen im Bereich der Technik eröffnet. Stichwortartig seien hier nur einige genannt:

1. Das Echolot. Gewissermaßen die Urform des diagnostischen Ultraschalls wurde für die Schifffahrt und für den Fischfang ein unverzichtbares Instrument. Dabei fungieren der Meeresboden bzw. der Fischschwarm als Reflektoren.
2. Die zerstörungsfreie Materialprüfung. Die eingestrahlten US-Wellen werden z.B. an Schadstellen von Röhren oder Eisenbahnrädern reflektiert.
3. Das Ultraschall-Mikroskop. Es arbeitet im Prinzip wie ein US-Gerät, aber es werden extrem hohe Frequenzen im Bereich von GHz eingesetzt mit entsprechend hoher Auflösung
4. US-Reinigung. Sie geschieht durch Kavitationsbildung, die zur Ablösung von anhaftenden Schmutzpartikeln führt. Die Anwendungen sind alltäglich: Brillen, Schmuck u.a.
5. Einparkhilfen. US-Wellen registrieren den Abstand und die Lokalisation anderer Fahrzeuge oder von Hindernissen.

6. Ultraschallmotoren. Durch eine Resonanzfrequenz über 20 kHz wird auf einem piezokeramischen Element eine Wanderwelle erzeugt, die auf einen Rotor übertragen wird. Verwendung als Uhrenantrieb und zur Autofokussierung von Objekten in Kameras.

7. Alarmanlagen. Neu dazwischentretende Objekte werden erfasst und es wird ein Alarmsignal ausgelöst.

8. US-Bohrer. Technik ähnlich wie beim US-Motor. Wurde angeblich für Bohrungen auf dem Mars entwickelt

Diese Liste ließe sich noch erheblich verlängern, aber das würde den Rahmen des kleinen Artikels sprengen. Es bleibt als Zusammenfassung zu sagen, dass Ultraschall-Wellen auch außerhalb der sonographischen Diagnostik von großem Interesse sind und die unsere medizinischen und technischen Entwicklungen in vielfältiger Weise beeinflusst haben

#### Weiterführende Literatur

1) Frentzel-Beyme B (2005)

Vom Echolot zur Farbdopplersonographie  
Radiologe 45: 363-370

2) Windt D A, Heijden G J, Berg S G et al. (1999)

Ultrasound therapy for musculoskeletal disorders:  
a systematic review  
Pain 81: 257-271

3) Bhojani N, Lingeman J E (2013)

Shockwave lithotripsy- new concepts and optimizing  
treatment parameters  
The Urologic Clinics of North America 40:59-66

4) Jay J, Narendra S, Lawrence C et al. (2009)

High-Intensity Focused Ultrasound Surgery of the Brain:  
Historical Perspective With Modern Applications  
Neurosurgery 64:201-211

5) Huber P E, Jenne J W, Rastert R et al. (2001)

A New Noninvasive Approach in Breast Cancer Therapy  
Using Magnetic Resonance Imaging-guided Focused Ultrasound Surgery  
Cancer Res 61:8441

6) Kopelman D, Papa M (2007)  
Magnetic Resonance-Guided Focused Ultrasound Surgery for the Noninvasive Curative Ablation of Tumors and Palliative Treatments: A Review  
Annals of Surgical Oncology 14:1540-1550

7) Voogt M J, Trillaud H, Kim S, et al.(2012)  
Volumetric feedback ablation of uterine fibroids using magnetic resonance-guided high intensity focused ultrasound therapy  
Eur Radiol 22:411-417

8) Park M J, Kim Y S, Keserci B, et al. (2013)  
Volumetric MR-guided high-intensity focused ultrasound ablation of uterine fibroids: treatment speed and factors influencing speed  
Eur Radiol 23: 943-950

9) Catane R, Beck A, Inbar Y, et al. (2007)  
MR-guided focused ultrasound surgery (MRgFUS) for the palliation of pain in patients with bone metastases- preliminary clinical experience  
Annals of Oncology 18:163-167

10)Carlander J , Johansson K, Lindström S et al. (2005)  
Comparison of nerve injury caused by ultrasonically activated scalpel and electrosurgery  
Br J Surg. 92: 772-777

## Autoren

Dr.med. Bernd Frentzel-Beyme  
Libellenstr. 6  
14129 Berlin  
B.Frentzel-Beyme@t-online.de

Korrespondenzadresse:  
Prof.Dr. Gerhard van Kaick  
Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg  
Im Neuenheimer Feld 280  
69120 Heidelberg  
spannagelkaick@t-online.de