

LOKALE DYNAMISCHE MIKROMASSAGE

Dr.rer.nat.habil. Ilja Kruglikov, WELLCOMET GmbH, Karlsruhe, Deutschland

EINFÜHRUNG

Ultraschall mit seinen vielseitigen mechanischen, thermischen und chemischen Wirkungen auf Zellen und Gewebsstrukturen findet schon seit langem Anwendung in verschiedenen Bereichen der Medizin und der Ästhetik.

Weder mit den Händen noch mit irgendwelchen apparativen Methoden (wie z.B. Vakuummassage oder Vakuum-Kompressions-Massage) können im Gewebe solche gigantischen Druckschwankungen (mehrfach höher als der atmosphärische Druck) auf so einem kleinen Raum (in der Größenordnung von ca. 1 mm) erreicht werden. Bei einer konventionellen Vakuummassage werden 100fach bis 1000fach niedrigere Unterdruckwerte verwendet. Und dabei ist dies alles nicht nur effektiv, sondern auch ungefährlich, was Anwendungen von LDM[®] sowohl in der Medizin als auch in der Kosmetik ermöglicht.

Dieser starke Mikromassageeffekt des Ultraschalls kann noch weiter durch die LDM[®]-Technologie erhöht werden. LDM[®] – Lokale Dynamische Mikromassage – ist eine neue Behandlungsmethode, welche sich qualitativ von anderen Massagearten unterscheidet. In der LDM[®]-Technologie werden spezielle Ultraschallwellen benutzt, dessen Frequenzen mit einer großen Geschwindigkeit geändert werden. Dadurch entstehen Effekte, die mit einem konventionellen Ultraschall nicht erzielt werden können.

WAS BEWIRKT DER ULTRASCHALL IM KÖRPER?

Um die Unterschiede zwischen der LDM[®]-Technologie und dem konventionellen Ultraschall zu erklären, müssen zuerst solche Parameter wie Schwankungsamplituden, Geschwindigkeiten und Beschleunigung von Teilchen im Medium, in dem sich die Ultraschallwellen ausbreiten, sowie die Druckwerte, die sie erzielen, analysiert werden.

SCHWANKUNGSAMPLITUDEN

Ultraschallwellen breiten sich in einem wasserreichen Medium mit einer Geschwindigkeit von ca. 1500 m/s aus.

Die *Schwankungsamplituden* von Mediumsteilchen sind von der Schallintensität und Frequenz abhängig. Bei einer für kosmetische Ultraschallbehandlungen üblichen Intensität von 1 W/cm² und Ultraschallfrequenz von 1 MHz

= 10⁶ Hz schwanken die Teilchen des Mediums mit einer Amplitude von ca. 0,018 µm = 0,000018 mm.

Zum Vergleich:

Der typische Durchmesser einer Zelle ist ca. 10 µm und eine Zellmembran ist lediglich 0,005 µm dick. Die Schwankungsamplituden eines Mediumsteilchens sind damit *viel kleiner als die Zelle selbst und viel größer als die Zellmembran*. Letzteres ist ein Hinweis dafür, dass man die Membraneffekte (z.B. die Durchlässigkeit der Zellmembran) durch Ultraschall verändern kann. Es wurde tatsächlich eine Durchlässigkeitssteigerung der Zellmembran bis auf 200 % registriert.

Die Schwankungsamplitude sinkt wie folgt mit steigender Frequenz:

$$a = \frac{1}{2\pi f} \left(\frac{2I}{\rho c} \right)^{1/2}$$

a ist die Schwankungsamplitude, f ist die Ultraschallfrequenz, I ist die Ultraschallintensität, ρ ist die Mediumsdichte und c ist die Schallgeschwindigkeit.

Dies bedeutet, dass bei einer Frequenz von 3 MHz die Schwankungsamplituden 3fach kleiner werden als bei 1 MHz. Bei einer Frequenz von 10 MHz sind diese Amplituden um das 10fache kleiner, betragen lediglich 0,0018 µm und werden dadurch sogar kleiner als die Zellmembran.

GESCHWINDIGKEIT UND BESCHLEUNIGUNG

Die maximale *Geschwindigkeit*, welche die Teilchen des Mediums in so einem Ultraschallfeld erreichen können, liegt lediglich bei ca. 10-15 cm/s. Diese Geschwindigkeit ist viel kleiner als die Geschwindigkeit des Schalls selbst. Sie bleibt allerdings nicht konstant und ändert sich ständig von 0 bis auf den oben genannten maximalen Wert.

Dabei entsteht eine *Beschleunigung*, die in der Spitze bei oben genannter Intensität von 1 W/cm² und einer Frequenz von 1 MHz den Maximalwert von ca. 725 km/s² erreichen kann.

Zum Vergleich:

Wenn ein Auto von 0 auf 100 km/Std in 10 Sekunden beschleunigt wird, entsteht eine Beschleunigung von nur ca. 0,003 km/s².

Eine so ungleichmäßige Bewegung im Gewebe verursacht natürlich starke Reibungen, durch die es zu einer deutlichen Temperatursteigerung kommen kann.

Die Geschwindigkeit v ist frequenzunabhängig, während die Beschleunigung g mit steigender Ultraschallfrequenz wächst und bei einer Ultraschallfrequenz von 3 MHz dreimal höher wird als bei 1 MHz. Bei 10 MHz erreicht sie sogar 7.250 km/s^2 !

$$v = (2I / \rho c)^{1/2}$$

$$g = 2\pi f (2I / \rho c)^{1/2}$$

DRUCK

Gleichzeitig entstehen im Gewebe durch Ultraschallwellen abwechselnd Überdruck und Unterdruck. Für die oben genannten Parameter des Ultraschalls wird dieser Druck p den Wert von ca. $1,7 \text{ bar} = 1,7 \times 10^5 \text{ Pa}$ erreichen und ist damit fast doppelt so hoch wie der normale atmosphärische Druckwert. Der Unterdruck kann rein theoretisch auch einen Wert von $-1,7 \text{ bar}$ erreichen. Allerdings werden diese Werte nach unten begrenzt. Bei einer Ultraschallintensität von 2 W/cm^2 können diese Druckamplituden sogar das Dreifache des atmosphärischen Drucks erreichen.

Auf den ersten Blick scheint dies sehr überraschend zu sein, da während einer Ultraschallbehandlung kaum etwas zu spüren ist. Eine Vakuummassage oder eine Vakuum-Kompressions-Massage mit einem Unter- oder Überdruckwert von nur $0,1 \text{ bar}$ (ca. 10% vom normalen atmosphärischen Druckwert) ist dagegen deutlich spürbar.

Bei einer Vakuum- bzw. Kompressions-Massage handelt es sich um eine oberflächliche Behandlungsmethode, bei der die Hautrezeptoren und die Durchblutung die entscheidende Rolle spielen. Der sich im Gewebe aufbauende Druck ist aber gar nicht so hoch wie man oft denkt. Beim Ultraschall ist dies anders: Die Hautrezeptoren sowie die Gefäßrezeptoren „sehen“ die Ultraschallwellen gar nicht und bleiben bei solcher Behandlung *inaktiv*. Die Druckwerte im Gewebe können aber lokal so hoch sein, dass man hier über eine richtige „Mikromassage“ sprechen kann.

Solch hohe Werte können den Eindruck vermitteln, dass die externen Partikel durch den aufgebauten Druck einfach in den Körper „eingedrückt“ werden können, was die Phonophorese erklären sollte. Dies ist aber nicht der Fall. Der oben genannte Druckwert ist *frequenzunabhängig*,

$$p = (2I\rho c)^{1/2}$$

d.h. er bleibt bei *jeder Ultraschallfrequenz gleich*. Dies widerspricht den Experimenten, die eine deutliche *frequenzabhängige* Wirkung der Phonophorese zeigen.

Mechanische Effekte durch Druckvariationen in der Haut sollten beim konventionellen Ultraschall mit Frequenzen von 1 MHz und 3 MHz keine große Rolle spielen. Das *Stratum corneum* ist ca. $15 \mu\text{m}$ dick und ist damit deutlich kleiner als die typische Halbwellenlänge des Ultraschalls

bei 1 MHz ($750 \mu\text{m}$) oder bei 3 MHz ($250 \mu\text{m}$). Dies kann sich bei höheren Frequenzen ändern. Bei 10 MHz beträgt die Halbwellenlänge lediglich $75 \mu\text{m}$, was die Gewichtung der mechanischen Effekte bei der Phonophorese deutlich erhöht und die Effektivität der Phonophorese bei diesen Frequenzen deutlich steigern kann.

Bedeutet diese Frequenzunabhängigkeit des Drucks tatsächlich, dass die *Druckstrukturen* im Gewebe gleich sind? Maximale Druckwerte sind tatsächlich frequenzunabhängig, die Druckverteilung dagegen ist aber *frequenzabhängig*. Dafür gibt es einen sehr wichtigen Grund – die Wellenlänge, so heißt der Abstand zwischen zwei maximalen Werten in einer Welle, ist fest mit der Frequenz verbunden.

Die Wellenlänge des Ultraschalls mit einer Frequenz von 1 MHz ist ca. $1,5 \text{ mm}$; bei einer Frequenz von 3 MHz beträgt sie ca. $0,5 \text{ mm}$ und bei 10 MHz liegt sie bei $0,15 \text{ mm}$. Dies bedeutet, dass bei Ultraschall mit einer Intensität von 1 W/cm^2 und einer Frequenz von 1 MHz der maximale Überdruck von $1,7 \text{ bar}$ und der maximale Unterdruck von $-1,7 \text{ bar}$ räumlich lediglich durch die halbe Wellenlänge (ca. $0,75 \text{ mm}$) getrennt werden. Dadurch entsteht eine gigantische und sich ständig verändernde lokale Druckdifferenz innerhalb von nur $0,75 \text{ mm}$. Beim Ultraschall mit einer Frequenz von 3 MHz wird diese Druckdifferenz in einem Raum von nur $0,25 \text{ mm}$ und bei 10 MHz sogar innerhalb von nur $0,075 \text{ mm}$ aufgebaut (siehe Abb.1). Dabei entstehen im Gewebe gigantische *Druckgradienten*.

LDM®-METHODE

Wenn also die Ultraschallfrequenz bei gleicher Intensität von 1 MHz auf 3 MHz oder von 3 MHz auf 10 MHz geändert wird, bleiben die absoluten Druckwerte im Gewebe gleich. Die Größe jeder Mikromassage-Einheit wird dabei allerdings von $0,75 \text{ mm}$ auf $0,25 \text{ mm}$ (bzw. von $0,25 \text{ mm}$ auf $0,075 \text{ mm}$) verkleinert. Dadurch entsteht eine einzigartige Möglichkeit, die Massage-Wirkungen des Ultraschalls dynamisch zu modulieren.

Diese Möglichkeit ergibt sich zum ersten Mal mit der Einführung der neuen *LDM®-Technologie*. In dieser Technologie werden die Ultraschallfrequenzen mit großer Geschwindigkeit (zwischen 100 und 1000 Mal pro Sekunde) gewechselt. Dabei entsteht eine Pulsation von Druckgradienten im Gewebe mit gleicher Frequenz. Dies führt zu einer neuen Art der Mikromassage im Gewebe, welche bei einer konventionellen Ultraschallanwendung nicht existiert.

Bis jetzt konnte man die mechanische Wirkung nur durch eine *Intensitätsänderung* des Ultraschalls beeinflussen. Nach Abb. 2 kann dies als eine „*vertikale*“ Steuerung der Massage bezeichnet werden.

Mit der LDM®-Methode kann der *Wirkungsraum der Massage*, dessen Größe durch die Wellenlänge bestimmt ist, verändert werden. Da diese Veränderung in Richtung der Wellenrichtung stattfindet (s. Abb. 1), kann diese zusätzliche Möglichkeit als eine „*horizontale*“ Steuerung der Massage bezeichnet werden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Geschwindigkeit in einem Ultraschallfeld frequenzunabhängig ist und nur durch die Ultraschallintensität beeinflusst werden kann. Die Amplitude und die Beschleunigung sind dagegen frequenzabhängig und können durch die Intensität sowie durch die Ultraschallfrequenz beeinflusst werden (Tabelle 1). Der Maximalwert des Drucks im Gewebe ist zwar frequenzunabhängig, die Druckverteilung kann allerdings durch die Frequenz stark beeinflusst werden.

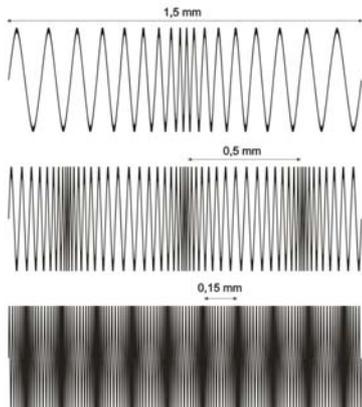


Abb. 1. Druckverlauf in Ultraschallwellen.
 a) Frequenz 1 MHz, Wellenlänge 1,5 mm;
 b) Frequenz 3 MHz, Wellenlänge 0,5 mm;
 c) Frequenz 10 MHz, Wellenlänge 0,15 mm.

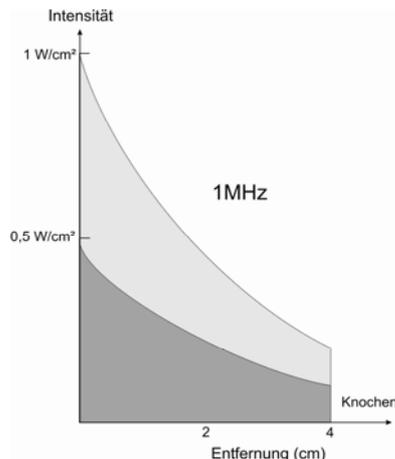


Abb. 2. Energieverteilung im Körper bei einer Ultraschallfrequenz von 1 MHz und zwei verschiedenen Intensitäten auf der Haut. Durch Erhöhung der Intensität („vertikale“ Steuerung) können die Druckwerte im Gewebe entsprechend gesteigert werden.

Tabelle 1. Physikalische Parameter von Ultraschallwellen mit verschiedenen Frequenzen

Parameter (max. Werte)	Frequenz 1 MHz, Intensität 1 W/cm ²	Frequenz 3 MHz, Intensität 1 W/cm ²	Frequenz 10 MHz, Intensität 1 W/cm ²
Amplitude	0,018 µm	0,006 µm	0,0018 µm
Geschwindigkeit	0,115 m/s	0,115 m/s	0,115 m/s
Beschleunigung	725 km/s ²	2.175 km/s ²	7.250 km/s ²
Druck	1,7 bar	1,7 bar	1,7 bar
Halbwertstiefe, 50 %	ca. 3 cm	ca. 1 cm	ca. 0,3 cm
Eindringtiefe, 10 %	ca. 6 cm	ca. 2 cm	ca. 0,6 cm

Tabelle 2. Vergleich von Ultraschallwellen mit Frequenzen 1 MHz und 3 MHz

Parameter (max. Wert)	Ultraschallfrequenz 1 MHz			Ultraschallfrequenz 3 MHz		
	0 cm	2 cm	6 cm	0 cm	2 cm	6 cm
Amplitude	0,0184 µm	0,0146 µm	0,0058 µm	0,0061 µm	0,0031 µm	0,0008 µm
Geschwindigkeit	0,115 m/s	0,091 m/s	0,036 m/s	0,115 m/s	0,058 m/s	0,014 m/s
Beschleunigung	725 km/s ²	576 km/s ²	229 km/s ²	2175 km/s ²	1090 km/s ²	274 km/s ²
Druck	1,70 bar	1,35 bar	0,54 bar	1,70 bar	0,85 bar	0,21 bar

Tabelle 3. Vergleich von Ultraschallwellen mit Frequenzen 3 MHz und 10 MHz

Parameter (max. Wert)	Ultraschallfrequenz 3 MHz			Ultraschallfrequenz 10 MHz		
	0 cm	0,5 cm	1 cm	0 cm	0,5 cm	1 cm
Amplitude	0,0061 µm	0,0051 µm	0,0043 µm	0,0018 µm	0,0010 µm	0,0008 µm
Geschwindigkeit	0,115 m/s	0,097 m/s	0,081 m/s	0,115 m/s	0,065 m/s	0,049 m/s
Beschleunigung	2175 km/s ²	1830 km/s ²	1538 km/s ²	7250 km/s ²	4075 km/s ²	3077 km/s ²
Druck	1,70 bar	1,43 bar	1,20 bar	1,70 bar	0,96 bar	0,72 bar

EINDRINGTIEFE DES ULTRASCHALLS

Wie tief und mit welcher Intensität der Ultraschall in den Körper eindringt, ist *frequenzabhängig*. Es gibt verschiedene Möglichkeiten eine Penetrationstiefe des Ultraschalls zu definieren. Eine davon ist die so genannte

Halbwertstiefe - die Strecke, nach der sich die Schallintensität auf 50 % reduziert. Dieser Parameter bleibt gleich, unabhängig davon, welche Intensität am Gerät eingestellt wurde. Eine andere Definition ist die so genannte *Eindringtiefe* - die Strecke, nach der sich die Schallintensität auf ca. 10% des Ursprungswertes reduziert hat.

Bei einer normalen Körperkonstitution beträgt die Halbwertstiefe für den Ultraschall mit einer Frequenz von 1 MHz ca. 3 cm, für eine Ultraschallfrequenz von 3 MHz ist dieser Wert fast dreimal kleiner und beträgt somit ca. 1 cm. Für Ultraschall mit einer Frequenz von 10 MHz liegen diese Werte bei ca. 0,3 cm (0,6 cm). Je niedriger die Ultraschallfrequenz ist, desto tiefer dringt er in den Körper ein. Dabei wird fast die ganze Energie nicht in den Hautstrukturen, sondern erst in der Subkutis, den Muskeln und Knochen absorbiert oder reflektiert. Für eine oberflächliche Anwendung (besonders für Dermatologie und Kosmetik) dürfte der Ultraschall mit einer Frequenz von 10 MHz wegen seiner Absorption in der Haut von Vorteil sein.

Nehmen wir an, die Ultraschallintensität beträgt an der Haut 1 W/cm^2 . Dann wird im Körper eine Intensität von $0,5 \text{ W/cm}^2$ in einer Tiefe von ca. 3 cm bei 1 MHz und in einer Tiefe von ca. 1 cm bei 3 MHz registriert (Tabellen 2 und 3). Wird an der Oberfläche eine Intensität von 2 W/cm^2 eingesetzt, werden die oben genannten Tiefen durch eine Ultraschallwelle mit einer Intensität von 1 W/cm^2 erreicht. Dies bedeutet, dass die anfängliche Ultraschallintensität bei einer fixierten Ultraschallfrequenz immer bei der gleichen Tiefe im Körper *halbiert* wird, obwohl die *absoluten* Ultraschallwerte in dieser Tiefe unterschiedlich sind. Dies kann mit Abb. 2 und 3 deutlich illustriert werden.

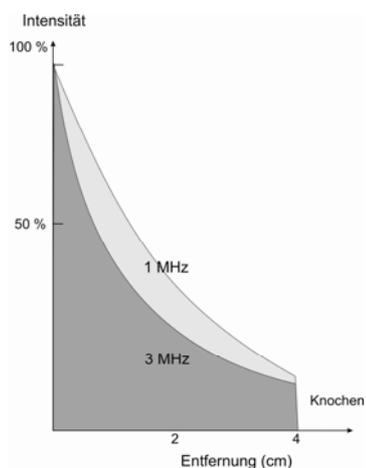


Abb. 3. Energieverteilung im Körper für Ultraschallfrequenzen 1 MHz und 3 MHz. Die Intensität auf der Haut ist bei beiden Frequenzen gleich und beträgt 100 %. Man sieht, dass auf dem Weg zum Knochen viel mehr Energie bei 3 MHz als bei 1 MHz absorbiert wird. Ein schneller Wechsel zwischen 1 MHz und 3 MHz führt zu einem „Bügeln“ zwischen den zwei Grenzkurven.

Bleibt die Ultraschallenergie schnell auf der Strecke entsteht eine schnellere Erwärmung im oberflächlichen Bereich des Körpers.

Werden allerdings die Frequenzen 1 MHz und 3 MHz schnell abwechselnd benutzt (wie es bei der LDM®-Methode der Fall ist), besteht die Möglichkeit, eine

Energieverteilung zwischen den zwei Grenzkurven (1 und 3 MHz) zu erzielen (s. Abb. 3). Dies eröffnet den Weg zu einer effektiveren *großvolumigen* Behandlung, die an ein „Bügeln“ erinnert. In der Kosmetik ist dies besonders bei der Cellulite interessant. Wird diese Technologie für die Frequenzen 3 und 10 MHz benutzt, kann diese „Bügelmethode“ bei oberflächlichen Indikationen vorteilhaft eingesetzt werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Die LDM®-Technologie bietet drei Vorteile gegenüber der konventionellen Anwendung des Ultraschalls.

- Vorteil 1.** Ein schneller Wechsel von Ultraschallfrequenzen führt zu einer starken Pulsation von Druckgradienten im Gewebe, was eine neue Art von innerer Mikromassage hervorruft.
- Vorteil 2.** Die Anwendung der LDM®-Technologie bietet zusätzlich die Möglichkeit, eine großvoluminöse Gewebsbehandlung durchzuführen.
- Vorteil 3.** Die LDM®-Technologie verspricht große Vorteile, wenn verschiedene Frequenzen unterschiedliche Wirkungen haben und in einer Behandlung kombiniert werden müssen.

Einige Beispiele für die Anwendung der LDM®-Technologie in der Ästhetik sind

- **Hautverjüngung**
Durch eine Differenzierung von Fibrozyten in Fibroblasten.
- **Straffung**
Durch Verbesserung der Kollagenorganisation, Erhöhung des Turgors und Vergrößerung von extrazellulären Räumen.
- **Cellulite**
Durch Verbesserung der Bindegewebsstrukturen, Beschleunigung der Diffusionsvorgänge mit entsprechender Erhöhung des Stoffwechsels im Fettgewebe.
- **Stimulation von Bindegewebe**
Stärkere Anregung der Produktion von so genanntem fibroblaststimulierenden Faktor von Makrophagen durch Ultraschall mit einer Frequenz von 3 MHz. Gleichzeitig wird die Freisetzung dieses Faktors durch Ultraschall mit einer Frequenz von 1 MHz besser stimuliert. Erst eine Kombination von verschiedenen Frequenzen in einer Behandlung kann beide Prozesse optimal steuern.
- **Narben und Aknenarben**
Durch Veränderung der Kollagenetzstrukturen, Verbesserung der Mikrozirkulation und des Stoffwechsels.



WELLCOMET GmbH
Durlacher Allee 109
D-76137 Karlsruhe
Telefon: 0721/82 44 92-100
Fax: 0721/82 44 92-190
E-mail: info@wellcomet.de
www.wellcomet.de