

# Trinkwasseraufbereitung mit Ultraschall

**T 2245**

T 2245

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

# WIENER MITTEILUNGEN

## WASSER - ABWASSER - GEWÄSSER

BAND 85

SCHLUSSBERICHT ZUM FORSCHUNGSVORHABEN  
"TRINKWASSERAUFBEREITUNG MIT ULTRASCHALL"  
PROJEKT-ABSCHNITT I

gefördert aus Mitteln der Wohnbauforschung des Bundesministeriums für  
Wirtschaftliche Angelegenheiten

Verfasser: H. FRISCHHERZ, J. ERNST, W. STUCKART  
( Univ. f. Bodenkultur - Wien )

E. BENES, F. HAGER  
( Technische Universität - Wien )

Herausgeber: O.UNIV.PROF.DIPL.ING.DR. W. BIFFL  
Universität für Bodenkultur  
Institut für Wasservorsorge, Gewässergüte und  
Fischereiwirtschaft

# INHALT

Vorwort.....	1
Wichtigste verwendete Symbole.....	2
<b>1. KOAGULATION UND FLOCKUNG .....</b>	<b>3</b>
1.1. Allgemeines .....	3
1.2. Theorie des Flockungsprozesses .....	4
1.2.1. Die Ursache der Oberflächenladung .....	4
1.2.2. Die Auswirkung der Oberflächenladung.....	5
1.2.3. Die Wechselwirkungsenergie zwischen kolloidalen Teilchen .....	7
<b>2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN DER ULTRASCHALLINDUZIERTEN KOAGULATION.....</b>	<b>10</b>
2.1. Der akustische Schallstrahlungsdruck auf eine kompressible Kugel.....	10
2.1.1. Einleitung.....	10
2.1.2. Die strengen nichtlinearen Grundgleichungen des Schallfeldes in einer Flüssigkeit .....	11
2.1.2.1. Die Bernoullische Gleichung .....	13
2.1.3. Der Schallstrahlungsdruck.....	17
2.1.3.1. Der Strahlungsdruck auf eine bewegte Grenzfläche .....	17
2.1.3.2. Streuung einer ebenen stehenden Schallwelle an einer kompressiblen Kugel .....	20
2.1.3.3. Der Strahlungsdruck auf eine kompressible Kugel .....	23
2.1.3.4. Der Schallstrahlungsdruck auf kleine Kugeln .....	26
2.2. Hydrodynamische Wechselwirkungen zwischen Schwebeteilchen in einem Schallfeld .....	32
2.2.1. Die Relativbewegung einer kleinen starren Kugel oder eines festen Schwebeteilchens in einer Schallwelle .....	32
2.2.1.1. Die effektive oder akustische Masse eines beliebig geformten Schallstreuers .....	32
2.2.1.2. Der Mitführungskoeffizient.....	34
2.2.2. Hydrodynamische Wechselwirkungskräfte .....	38
2.2.2.1. Zwei inkompressible Kugeln in einem oszillierenden Parallelstrom .....	38
2.2.2.1.1. Die Aktionsgeschwindigkeit und die spezielle Bedeutung der Geschwindigkeit $3/2v_p$ .....	40
2.2.2.1.2. Das Aktionsmoment .....	42
2.2.2.2. Ein System von beliebig vielen Kugeln .....	48

<b>3. GRUNDLAGEN DER BESCHALLUNG UND ERSTER</b>	
<b>VERSUCHSAUFBAU</b> .....	53
3.1. Der piezoelektrische Schallsender .....	53
3.1.1. Die Theorie des piezoelektrischen Schwingers.....	53
3.1.1.1. Der piezoelektrische Effekt .....	53
3.1.1.2. Die piezoelektrischen Gleichungen .....	54
3.1.1.3. Das elektrische Ersatzschaltbild des piezoelektrischen	
Wandlers .....	55
3.1.1.4. Der Kopplungsfaktor.....	57
3.1.2. Kriterien zur Beurteilung der Eignung eines piezoelektrischen	
Materials als Schallsender .....	59
3.1.2.1. Die abgestrahlte Schallintensität.....	59
3.1.2.2. Der akustische Strahlungswiderstand .....	66
3.2. Die Versuchsanordnung .....	68
3.3. Berechnung der Schallfeldgrößen .....	70
3.3.1. Abschätzung mit Hilfe der abgestrahlten Schallintensität .....	70
3.3.2. Das Sandwich-Simulationsprogramm.....	74
3.4. Die elektrische Anpassung .....	82
<b>4. EXPERIMENTE</b> .....	86
4.1. Experimentelle Überprüfung der Schallstrahlungskraft.....	86
4.2. Experimente zur akustischen Koagulation.....	91
4.3. Aktivkohle-Fractionen mit schmalen Korngrößenbereich .....	101
4.3.1. Allgemeines .....	101
4.3.2. Energieeintrag .....	105
4.3.3. Betrachtung der einzelnen Fractionen.....	106
4.4. Ausdehnung der Beobachtungen auf verschiedene Materialien .....	131
<b>5. SYSTEMATISCHE UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER</b>	
<b>PRAXISORIENTIERTER SUSPENSIONEN</b> .....	156
<b>6. ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	162
<b>7. LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	163
<b>ANHANG</b> .....	165
Beispiel eines Programmablaufes und Programmlisting .....	166