

Kurzdarstellung der Forschungsarbeiten am ESWE Institut an der Universität Mainz

Vom Mai 2001 bis Oktober 2003 wurde das Sonic Ultraschallverfahren zur Regenerierung von Brunnen am ESWE-Institut Wiesbaden-Schierstein in Verbindung mit der Universität Mainz eingehend im Labor und im praktischen Einsatz einer wissenschaftlichen Untersuchung unterzogen. Finanziert wurde das Projekt von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück.

Ein weiteres Projekt (November 2003 bis Oktober 2004) wurde vom Innovations- und Klimaschutzfonds der ESWE Versorgungs AG, Wiesbaden finanziert.

Die wissenschaftliche Leitung der Projekte lag in den Händen von Prof. Dr. Rolf-Dieter Wilken. Die Projektleitung übernahmen Dr. Wolfgang Bott und Dr. Hella Wiacek.

Die Abschlussberichte können unter den Links heruntergeladen werden.

Zielsetzung der Projekte

- Unter welchen Bedingungen ist hoch energetischer Ultraschall am wirksamsten für die Brunnenreinigung?
- Wie weit reicht die Wirkung des Ultraschalls in den Ringraum eines Brunnens bzw. in den angrenzenden Aquifer?
- Welche Prozesse und Mechanismen sind verantwortlich für die Reinigungswirkung der Ultraschallmethode?

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt hat das auf zwei Jahre angelegte Forschungsprojekt genehmigt und fördert es unter dem Aktenzeichen 18276.

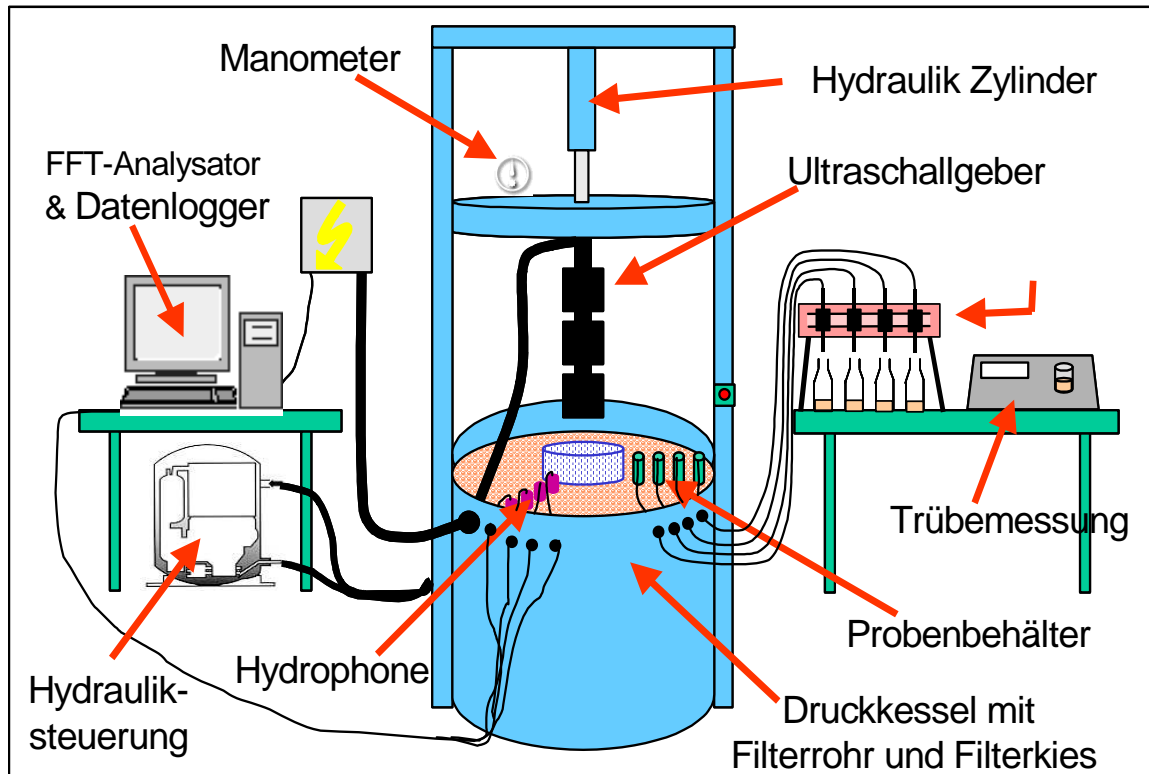
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Das Gesamtvorhaben umfasst zwei wesentliche Projektteile:

Im ersten Teil werden im Labor **Modellversuche** durchgeführt. Die hieraus gewonnenen Ergebnisse werden in der zweiten Projektphase auf **Praxisanwendungen** der Ultraschallmethode an verschiedenen realen Brunnen übertragen.

Im **ersten Projektabschnitt** erfolgt die wissenschaftliche Untersuchung der Ultraschallwirkung auf verschiedene Brunnenfilterrohre und Filterkiese in der eigens konstruierten Modellanlage URSEL (**U**ltraschall **R**egenerierungs-**S**ystem im **ESWE**-Institut's **L**abor). Auf der nächsten Seite ist eine Übersichtsskizze des Aufbaus von URSEL dargestellt.

Der Versuchsbrunnen arbeitet bis zu einem Druck von 20 bar, was es ermöglicht nahezu alle gängigen Bedingungen, die in realen Brunnen auftreten zu simulieren. Wie in der Übersichtsskizze dargestellt, ist URSEL mit einem umfassenden Messsystem zur Aufzeichnung und Auswertung der Schallfeldgrößen im Kessel ausgestattet. Darüber hinaus wird die Reinigungswirkung mit Hilfe gravimetrischer Feststoffbestimmungen, Trübungs-, Partikelgrößen- und Beschaffenheitsmessungen bestimmt.



Schema der Versuchsanlage zur Brunnenregenerierung mit Ultraschall (URSEL)

Graphik: ESWE Institut

Wie in der obigen Abbildung zu sehen ist, besteht URSEL aus einem bis 20 bar druckstabilen Stahlkessel in dem sich ein Brunnenrohr mitsamt Kiesringraum befinden. Das Brunnenrohr ist zweigeteilt und besteht aus einem PVC-Schlitzfilter und einem Stahl-Schlitz-Brückenfilter. Diese können bei Bedarf durch andere Filtertypen ersetzt werden. In den gekammerten Ringraum können mehrere unterschiedliche Kiesschüttungen eingebaut werden. Somit werden vier verschiedene Kombinationen von Filterrohr- und Kiestypen im Versuchsbrunnen realisiert. Die Ultraschalleinheit ist am Deckel des Kessels befestigt, der hydraulisch verschlossen und geöffnet werden kann. Wenn die Anlage unter Druck betrieben wird, wird der Deckel zusätzlich mittels Schrauben gesichert. Der Druck wird an einem Manometer abgelesen. Der Versuchskessel verfügt über zwei Zuläufe: ein direkter Zulauf in mittlerer Höhe und ein Kühlkreis, welcher dem Brunnen Wasser über ein am Kesselboden angeordnetes poröses Rohr Wasser zuführt. Letzterer ist so ausgelegt, dass die Anlage im Bedarfsfall über diese Leitung gekühlt werden kann, um somit die Temperatur stabil halten zu können. Es existieren zwei Abläufe am Kessel. Einer befindet sich am Deckel und dient der luftfreien Befüllung. Der zweite ist am Kesselboden angebracht und stellt den eigentlichen Ablauf dar.

Die verwendete Ultraschall-Einheit der Fa. Sonic Umwelttechnik GmbH besteht aus zwei Schallgebern, die gegenüberliegend betrieben werden. Jeder Schaller verfügt über einen separaten Hochfrequenzgenerator mit regelbarer Spannungsversorgung, so dass beide mit der gleichen Leistung arbeiten können. Die magnetostriktiven Blockschwinger arbeiten bei einer Frequenz von 20 kHz bei einer maximalen Nennleistung von 2000 Watt.

Die Messung des Schallfeldes im Versuchsbrunnen erfolgt mittels piezoelektrischer Hydrophone, deren Messsignale von einem PC aufgezeichnet werden und anschließend mit einem FFT-Analysator und zugehöriger Signalanalysesoftware ausgewertet werden können. Anhand der aufgezeichneten Messsignale ist es möglich die Verteilung der Schallintensitäten im Versuchsbrunnen zu ermitteln.

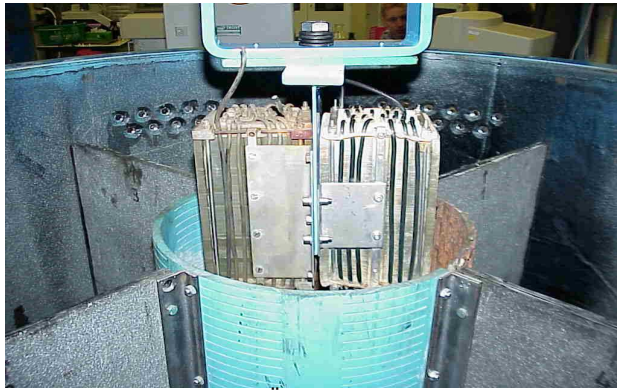
Neben den Schallfeldmessungen werden Trübungsmessungen an Wasserproben von mit Belägen verschmutztem Kies durchgeführt. Es besteht die Möglichkeit verschiedene Arten von Belägen in den Versuchsbrunnen einzubringen. Die Messungen dienen der Bestimmung von Zonen innerhalb des Modellbrunnens, in denen der Ultraschall seine beste Wirkung zeigt. Die Wasserproben werden dazu über eine Probenentnahmevorrichtung am Kessel entnommen. Die Probennahme erfolgt nach unterschiedlichen Beschallzeiten und an verschiedenen Stellen im Behälter. Die Variation des Drucks ermöglicht die Feststellung der effektivsten Szenarienkombination für den Einsatz der Ultraschallmethode bei der Brunnenreinigung.

Fotos der Versuchsanlage URSEL und der Messtechnik:



fertige Anlage URSEL bei geöffnetem Deckel, in der Mitte der Ultraschallgeber außen sind Durchführungen für Hydrophone, Thermometer und Probennahmeschläuche zu erkennen

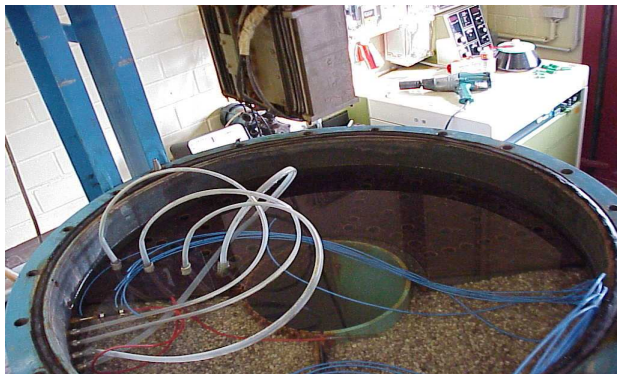
Photo: ESWE Institut



Ultraschallgeber (hinten Öffnungen für Probennahme Trübungsmessung)



Innenansicht URSEL: 4 Quadranten, Brunnenfilterrohr zweigeteilt (PVC-Schlitzfilter & Stahl-Schlitzbrückenfilter)



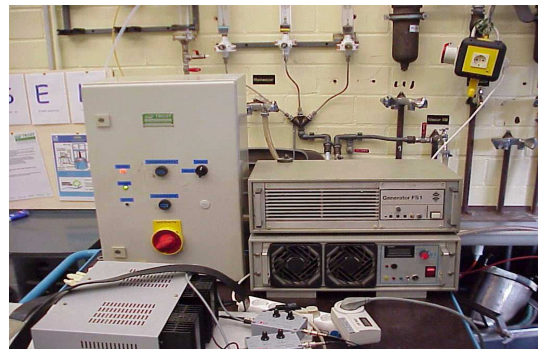
Innenleben URSEL mit Kiesfüllung und Hydrophonen



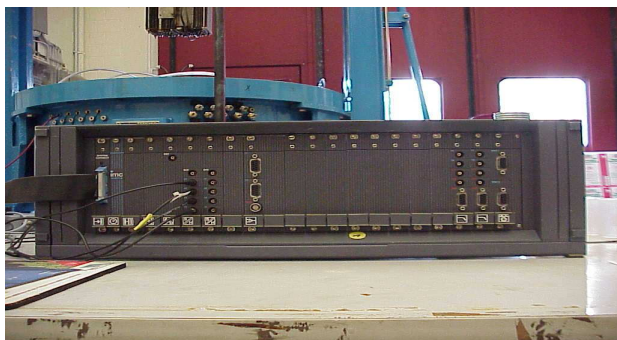
fertige Anlage geschlossen mit Sicherheitschrauben, Manometer und Ablaufschlauch oben



Generatoren für Ultraschalleinheiten



Generatoren für Ultraschalleinheiten und Hydrauliksteuerung



FFT-Analysator zur Aufzeichnung und Auswertung der Schallfelduntersuchungen



Trübungsmessgerät mit Küvette und Probenbehältern

Photos: ESWE Institut

Das Fazit des Forschungsberichtes

Der vorliegende Bericht schließt das Projekt zur Entwicklung eines Verfahrens zur Brunnenregenerierung mittels hochenergetischem Ultraschall ab, welches von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt mit einer Laufzeit von 2,5 Jahren gefördert wurde.

Inhalt waren Labor- und Feldversuche zur Untersuchung der Einflussfaktoren auf die Wirksamkeit der Ultraschallreinigung in Brunnen.

Im Labor wurden dazu

1. die Schallverteilung und Schallintensität sowie
2. die Reinigungsleistung anhand von Trübungsmessungen und der Bestimmung der Partikelgrößenverteilung in Abhängigkeit
 - des Druckes
 - des Ausbaumaterials (Filter und Kiesschüttung)
 - des Abstandes zum Ultraschallgeber
 - der Art der Verockerung

bestimmt.

Anschließende Feldversuche wurden mit einem wissenschaftlichen Untersuchungsprogramm begleitet und ausgewertet, um weitere Erkenntnisse über die Vorgänge bei der Ultraschallbehandlung, die Reichweite des Ultraschalls im Ringraum, die Wirkmechanismen und die Abhängigkeit des Regeneriererfolges von den Eigenschaften des Brunnens zu gewinnen.

Insgesamt kann das Projekt erfolgreich abgeschlossen werden. Alle durchgeführten Versuche bestätigten die Wirksamkeit von Ultraschall zur Brunnenregenerierung. Die Fragestellungen aus der Zielsetzung konnten, wie im folgenden noch einmal zusammengefasst wird, beantwortet werden.

- **Unter welchen Bedingungen ist hoch energetischer Ultraschall am wirksamsten für die Brunnenreinigung?**

Die Laborversuche zeigten eine klare Druckabhängigkeit der Ultraschallwirkung. Die Kavitation als verantwortlicher Wirkmechanismus konnte somit als alleiniger Reinigungsvorgang ausgeschlossen werden. In der Auswertung der Daten von bisher weit über 300 Praxiseinsätzen der Methode zeigte sich hingegen keine Abhängigkeit von der Brunnentiefe und dem hydrostatischen Druck. Zehn Meter tiefe Brunnen konnten genauso erfolgreich regeneriert werden wie Tiefbrunnen mit mehr als einhundert Metern Tiefe. Vermutlich wirken hier verschiedene Mechanismen, d.h. in flachen Brunnen könnte die Kavitation eine Rolle spielen, in tieferen Brunnen schallinduzierte Materialspannungen.

Ebenso wirkten sich die verschiedenen Ausbaumaterialien nicht erkennbar auf den Regeneriererfolg aus. Im Labor erwies sich der untersuchte PVC-Filter im Vergleich zum Stahlschlitzbrückenfilter und OBO als am besten schalldurchlässig und der OBO-Filter zeigte das uneinheitlichste Verhalten. Aus der Auswertung der Praxiseinsätze konnte ganz klar abgeleitet werden, dass der Erfolg einer Regenerierung mit Ultraschall nicht von Einzelfaktoren, wie dem Ausbaumaterial oder der Brunnentiefe abhängt, sondern vielmehr von einem komplizierten Zusammenspiel aller Faktoren. Entscheidende Bedeutung muss sicher der Art und dem Alter der Brunnenalterung und Verockerung beigemessen werden. Wie für alle anderen am Markt befindlichen Verfahren gilt auch für die Ultraschallmethode, dass nur die rechtzeitige Regenerierung bei noch nicht gealterten und ausgehärteten Belägen den meisten Erfolg bringen wird.

- **Wie weit reicht die Wirkung des Ultraschalls in den Ringraum eines Brunnens bzw. in den angrenzenden Aquifer?**

In allen durchgeführten Versuchen im Labor und an realen Brunnen konnte der Ultraschall bzw. seine Wirkung bis mindestens 35 cm Abstand zum Schallgeber nachgewiesen werden. Die Wirkung im Ringraum eines Brunnens ist damit zweifelsfrei gegeben. Die Schallfeldmessungen im Versuchsbrunnen URSEL wiesen dabei i.d.R. in maximaler Entfernung zum Ultraschallgeber, 30 cm hinter dem Filterrohr, noch mehr als 50 % der maximal erreichten Schallfeldintensität des jeweiligen Versuches

auf. Inwieweit sich der Ultraschall in Brunnen in den angrenzenden Aquifer ausbreiten kann, konnte mithilfe der geophysikalischen Untersuchungen nicht bestimmt werden. Für den Bereich der Filterkiesschüttung belegten besonders die Packerflowmetermessungen an Brunnen 2 die Wirtktiefe. Hier zeigte sich, dass mit dem Ultraschall tiefer im Ringraum sogar deutlichere Verbesserungen erzielt werden konnten als im filternahen Bereich .

- **Kann die Ultraschallmethode erfolgreich zur Brunnenreinigung eingesetzt werden?**

Wie alle bisherigen Ausführungen zeigen, ist die Ultraschallmethode ein modernes, leistungs- und konkurrenzfähiges Verfahren zur erfolgreichen Brunnenregenerierung. Die Eindringtiefe und die Reinigungswirkung des Verfahrens konnte in allen Versuchen belegt werden. Im Rahmen des Projektes wurden drei wissenschaftlich überwachte Brunnenregenerierungen durchgeführt, bei denen insbesondere die bohrlochgeophysikalischen Messungen einen guten Einblick in die Wirkmechanismen der Ultraschallregenerierung erlaubten. Hinzu kommen weit über 300 bisher erfolgreiche Regenerierungen seit Beginn der Anwendung. Im Vergleich zu anderen mechanischen Verfahren fällt die Ultraschallmethode durch die bauwerk-schonende Bearbeitung und den zügigen Arbeitsfortschritt positiv auf. Trotz des völligen Verzichtes auf den Einsatz chemischer Stoffe im Grundwasser wird eine hohe Reinigungsleistung erzielt. Durch das positive Kosten-Leistungs-Verhältnis, die kurzen Ausfallzeiten und die Chemiefreiheit der Methode ist sie insgesamt als ökologisch und ökonomisch sinnvolles Verfahren einzustufen.

- **Wie nachhaltig können Brunnen mit dem Ultraschallverfahren regeneriert werden?**

Bezüglich der Nachhaltigkeit unterscheidet sich das Ultraschallverfahren nicht wesentlich von anderen Methoden. Positiv zu vermerken sind zwei Effekte. Zum einen bewirkt die Reinigung mit Ultraschall keine Oberflächenaufrauung, was einer anschließenden Wiederverockerung entgegenwirken kann, zum anderen werden Mikroorganismen, die eine biologische Verockerung bewirken können, zum Teil abgetötet. In Brunnen mit starker Verockerungsneigung und hauptsächlich biologisch induzierten Belägen kann die Ultraschallmethode somit vermutlich nachhaltigere Reinigungserfolge bewirken als andere mechanische und auch chemische Verfahren. Das Festlegen von Regenerierintervallen muss jedoch für jeden Brunnen auf die individuellen Gegebenheiten abgestimmt erfolgen. Generelle Aussagen oder Vorgaben sind, unabhängig vom eingesetzten Verfahren, nicht möglich sondern von Brunnen zu Brunnen verschieden.

- **Welche Qualitätskriterien sind notwendig, um eine verlässliche Bewertung des Erfolges einer Brunnenregenerierung vorzunehmen?**

Generell muss die Kontrolle des Erfolges einer Regenerierung unabhängig vom eingesetzten Verfahren erfolgen. Notwendig ist dafür eine gute Brunnendokumentation einschließlich aller früheren Regenerierungen. Da das Ziel einer jeden Regenerierung eine Erhöhung der Brunnenleistung ist, drückt sich der Erfolg in den Ergebnissen von Brunnenleistungstests aus. Kurzpumpversuche ermitteln hierfür die jeweilige spezifische Ergiebigkeit des Brunnens. Sinnvollerweise müssen die Ergebnisse immer in die gesamte Brunnendokumentation eingebunden werden. Maßgeblich sind hierbei die Entwicklung der Förderleistung im Laufe der Betriebszeit, das Alter des Brunnens, der Zeitpunkt früherer Regenerierungen und deren Ergebnisse, die Entwicklung der Grundwasserstände im Gebiet, die sich in einer Veränderung der Ruhewasserspiegels niederschlägt und sonstige Veränderungen oder Auffälligkeiten im Brunnenbetrieb. Nur auf dieser Grundlage können Aussagen zum tatsächlichen Regeneriererfolg getroffen werden.

Insgesamt brachten die durchgeführten Versuche umfassende Erkenntnisse über die Vorgänge bei der Ultraschallbehandlung in Brunnen, die Wirkmechanismen und die Abhängigkeit des Regeneriererfolges von den Eigenschaften des Brunnens.

Das Fazit des zweiten Forschungsvorhabens lautet wie folgt:

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

Ultraschall funktioniert generell.

Im Vergleich zur chemischen Regenerierung wurde durch Ultraschall mehr Mangan und weniger Eisen entfernt. Ultraschall entfernte auch große Anteile unlöslicher Eisen- und Manganverbindungen. Die Mengen an gelöstem Eisen und Mangan (und Calcium und Magnesium) blieben weit hinter den Werten für die chemischen Regenerierungen zurück dennoch wurden gute Leistungssteigerungen erzielt.

Besonders die geophysikalischen Untersuchungen zeigten deutlich bessere Resultate für die Brunnen, die länger nicht mehr regeneriert worden waren.

Mögliche Erklärungen für die genannten Befunde können sein:

Die Verockerung ist hauptsächlich biologisch induziert. Hier wirkt Ultraschall genauso gut oder sogar besser als der Einsatz chemischer Regeneriermittel.

Ultraschall wirkt besser auf die Mangananteile in den Verockerungen als chemische Regeneriermittel. Ultraschall wirkt sehr gut im Ringraum, was sich dadurch zeigte, dass die besten Ergebnisse bei älteren Belägen erreicht wurden.

Weitere Schritte können und sollten sein:

Untersuchungen zur biologischen Verockerung – ist die Verockerung in den Schiersteiner Brunnen überwiegend biologisch induziert? Wie wirken chemische Regeneriermittel auf Biofilme? Wirkt Ultraschall besser und nachhaltiger?

Klassifizierung der Beläge in den Brunnen – wie viel Eisen und Mangan ist tatsächlich in den Belägen enthalten? Wo kommt es her (Chemische Modellierung)? Sind mit den ermittelten Gehalten die Mengen an entferntem Eisen und Mangan bei chemischen Regenerierungen im kg-Bereich erklärbar?

Untersuchungen zur Alterung der Beläge – Modelle, Prognosen und Befunde aus Brunnenuntersuchungen

Ein besonders interessanter Brunnen ist Br. 31a, bei dem die chemische Regenerierung 1996 erfolglos war, Ultraschall jedoch erfolgreich eingesetzt wurde und bei dem besonders der erzielte Wert für die Leistungssteigerung in starkem Widerspruch zu den geophysikalischen Messungen stand.

Insgesamt wurde Ultraschall erfolgreich zur Brunnenregenerierung eingesetzt. Die Ergebnisse des Projektes führten zur Formulierung von Hypothesen über die Zusammenhänge zwischen Brunnenbetrieb, Brunnenalterungsarten und dem Erfolg von Regeneriermaßnahmen und einem Vergleich der Regenerierverfahren mit Chemie und mit Ultraschall, die nun der weiteren Überprüfung bedürfen!