

BTO 2004.009
mei 2004

Putregeneratie met Ultrasoon

Stand van zaken 2004 en
achtergronddocumentatie



BTO 2004.009
mei 2004

Putregeneratie met Ultrasoon

Stand van zaken 2004 en
achtergronddocumentatie

© 2004 Kiwa N.V.
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag
worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een
geautomatiseerd
gegevensbestand, of
openbaar gemaakt, in enige
vorm of op enige wijze,
hetzij elektronisch,
mechanisch, door
fotokopieën, opnamen, of
enig andere manier, zonder
voorafgaande schriftelijke
toestemming van de
uitgever.

Opdrachtgever
BTO

Projectnummer
11.1456.404

Kiwa N.V.
Water Research
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511
Fax 030 60 69 165
Internet www.kiwa.nl

Colofon

Titel

Putregeneratie met Ultrasoon

Projectnummer

11.1456.404

Projectmanager

Jan Willem Kooiman

Kwaliteitsborger(s)

Bert-Rik de Zwart

Auteur(s)

John Bunnik (Artesia)

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Samenvatting

Het gebruik van Ultrasoon (geluidstrillingen) is één van de regeneratiemogelijkheden voor verstopte pompputten. In het kader van het Bedrijfstakonderzoek (BTO) Waterleidingbedrijven is een korte rapportage opgesteld waarin we verslag doen van de huidige stand van zaken en waarin veel achtergronddocumentatie is opgenomen.

De informatie is verzameld uit de volgende bronnen:

- Symposium op 4 december 2003 bij het Duitse ESWE-Institut
- Onderzoek op meerdere plaatsen in Duitsland.
- Onderzoek in Nederland door de firma Q-flow uit Hoge Hexel.
- Toepassing in België bij de VMW.

De werking van Ultrasoon

Door middel van akoestisch trillen ontstaan er drukgolven in het water (het water zelf wordt niet verplaatst). De golven veroorzaken zones van overdruk en onderdruk. In de zones van onderdruk kunnen gasbellen ontstaan die bij overdruk weer imploderen (het ontstaan van gasbellen door onderdruk en het imploderen van deze gasbellen wordt ook wel cavitatie genoemd). Door de drukverschillen en de cavitatie worden verontreinigingen “losgemaakt” van de grindkorrels in de omstorting.

De ultrasone golven hebben ook een chemische werking (ontstaan van vrije radicalen), een dehalogenerende werking (op organische chloorhoudende verbindingen) en een desinfecterende werking.

Voordelen

Regeneratie met Ultrasoon biedt o.a. de volgende voordelen:

- Er zijn geen grote mechanische krachten die filters of andere putonderdelen kunnen beschadigen. De techniek werkt oppervlakkig in op verontreiniging op zandkorrels of putonderdelen.
- De techniek is milieuvriendelijk, er worden geen chemicaliën gebruikt.
- Ultrasone trillingen werken desinfecterend.

Nadelen

- Met betrekking tot de werking van de techniek is nog veel onbekend. Met name van de relatie tussen hoge druk (grote diepte) en het optreden van cavitatie is weinig bekend.
- De techniek werkt tot ongeveer 0,3 meter achter het filterscherm. Verontreinigingen op grotere afstand van het filter worden zeer waarschijnlijk niet verwijderd.
- De resultaten van uitgevoerde regeneraties tot nu toe vallen tegen.

Resultaten van onderzoek en uitgevoerde regeneraties

De uitgevoerde experimenten en praktijkregeneraties geven verschillende resultaten te zien. Resultaten van putregeneraties in Nederland en België vallen tegen, in Duitsland daarentegen worden wel goed resultaten gehaald

(mededeling ESWE) . Kijken we echter naar de resultaten van de 3 putten die tijdens het Duitse onderzoek nauwkeurig zijn gevolgd kunnen we concluderen dat er in deze putten een matig resultaat is bereikt. Uit laboratoriumexperimenten en uit de medische wereld blijkt dat Ultrasoon wel goede resultaten op kan leveren.

Verwacht wordt dat met aanvullend onderzoek naar de werking en optimalisatie van de techniek goede resultaten behaald kunnen worden. Dit zou bijvoorbeeld kunnen gebeuren via een testprogramma waarin een aantal nauwkeurig geselecteerde putten wordt geregenereerd, de regeneraties nauwgezet worden uitgevoerd en gemonitord. Samenwerking met het Duitse ESWE-instituut is sterk aan te bevelen vanwege de daar aanwezige expertise.

Inhoud

Samenvatting	1
Inhoud	3
1 Inleiding	5
2 De werking van Ultrasoon (kort)	7
3 Overzicht van onderzoek en toepassingen	9
3.1 Onderzoek bij ESWE te Wiesbaden	9
3.1.1 Laboratorium onderzoek	9
3.1.2 Veldexperimenten	10
3.1.3 Belangrijkste conclusies uit het onderzoek	10
3.2 Onderzoek aan de Universiteit van Hamburg	11
3.3 Onderzoek in Nederland bij Q-flow	11
3.4 Regeneraties bij VMW in België	12
3.5 Toepasbaarheid Ultrasoon	12
4 Procedure regeneratie met Ultrasoon	13
5 Conclusie en aanbeveling	15
I Programma Symposium 4 december 2003	16
II 'Brunnenregenerierung mittels hochenergetischen Ultraschalls' Power-point-presentatie van Dipl.-Geol. Hella Wiacek (ESWE)	17
III Brunnenregenerierung mit Ultraschall, ESWE-rapport	18
IV 'Developing a method for well generation by ultrasound', uit Annual Report 2002 ESWE	19
V Regeneration mit Ultraschall, hoofdstuk 9 uit rapport Kaulitzky	20
VI Onderzoek naar Ultrasonie Waterwin-putregeneratie (Q-flow rapport)	21
VII Regeneraties bij twee putten van de VMW (België)	22

1 Inleiding

In het kader van het Bedrijfstakonderzoek (BTO) Waterleidingbedrijven vindt onderzoek plaats naar Putmanagement en Putverstopping van pompputten. Het grote probleem bij pompputten is putverstopping. Hierdoor wordt de toestroming van grondwater naar het onttrekkingsfilter verhinderd. Deze verstopping bouwt zich gedurende de bedrijfsvoering langzamerhand op, en dient met regeneratie te worden verwijderd.

Momenteel zijn meerdere regeneratietechnieken operationeel, zowel in Nederland als daarbuiten. Door de toegenomen aandacht in de laatste jaren voor putverstopping en regeneratie worden bestaande technieken kritischer bekeken en komen nieuwe of voor Nederland onbekende technieken in beeld. Eén van de doelstellingen van het lopende BTO-onderzoek is om die nieuwe of onbekende technieken voor het voetlicht te brengen en aan te geven of deze technieken toepasbaar zijn in Nederland.

In het voorliggende rapport rapporteren we over het regenereren met Ultrasoon. In het BTO-onderzoeksproject 'Optimalisatie winningstechnieken en -strategieën' (kortweg ook wel Putmanagement genoemd) was geen ruimte om uitgebreide testprogramma's uit te voeren. We volstaan daarom met een korte rapportage waarin we verslag doen van de huidige stand van zaken en waarin we veel achtergronddocumentatie opnemen. Geïnteresseerden kunnen zich daaruit een beeld vormen.

De informatie is verzameld uit de volgende bronnen:

1. **Symposium op 4 december 2003**
Op 4 december 2003 is, bij het Duitse ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH (onderzoeksinstituut voor watervoorziening en watertechnologie) een symposium gehouden over de stand van zaken en ontwikkelingen in Duitsland van het regenereren van waterbronnen met Ultrasoon trillen (bijlage 1). De presentatie van Hella Wiacek (ESWE) is in bijlage 2 opgenomen. Door Kiwa is dit symposium bijgewoond.
2. **Onderzoek in Duitsland**
Op meerdere plaatsen in Duitsland is en/of wordt onderzoek uitgevoerd of wordt de techniek daadwerkelijk toegepast. Enkele rapportages daarover zijn bijgevoegd (bijlagen 3, 4 en 5).
3. **Onderzoek in Nederland**
Door de firma Q-flow uit Hoge Hexel is eveneens theoretisch en praktisch onderzoek uitgevoerd naar de werking van ultrasone golven op verontreinigingen in een proefopstelling en in waterwinputten (zie tevens bijlage 6).
4. **Toepassing in België**
Door de Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening (VMW) zijn twee putten geregenereerd met Ultrasoon (zie tevens bijlage 7).

2 De werking van Ultrasoon (kort)

Drukgolven

De techniek is afkomstig uit de medische wereld waarmee met Ultrasoon medische apparatuur wordt gereinigd. Door middel van akoestisch trillen ontstaan er drukgolven in het water (het water zelf wordt niet verplaatst). De golven veroorzaken zones van overdruk en onderdruk. De amplitude van de golven is een maat voor de hoeveelheid energie. In de zones van onderdruk kunnen gasbellen ontstaan die bij overdruk weer imploderen (het ontstaan van gasbellen door onderdruk en het imploderen van deze gasbellen wordt ook wel cavitatie genoemd). Door de drukverschillen en de cavitatie worden verontreinigingen “losgemaakt” van de grindkorrels in de omstorting.

Chemische en biologische werking

De ultrasone golven hebben ook een chemische werking. Door de energie ontstaan vrije radicalen waardoor chemische reacties worden versneld en waardoor verontreinigingen kunnen worden afgebroken.

Ook werkt de energie dehalogenerend op organische chloorhoudende verbindingen.

Daarnaast ontstaat er afbraak van biologische verontreinigingen en werkt de techniek desinfecterend.

Hoewel de werking in de praktijk vaak is aangetoond zijn er nog veel onduidelijkheden over de werkelijk optredende mechanismen, zowel fysisch als chemisch. Hiernaar wordt nog onderzoek verricht.

3 Overzicht van onderzoek en toepassingen

3.1 Onderzoek bij ESWE te Wiesbaden

3.1.1 Laboratorium onderzoek

Door ESWE is een praktijkonderzoek uitgevoerd met een schaalmodel (figuur 1). Het schaalmodel bestaat uit een segment van een putfilter met een omstorting. In de omstorting zijn op verschillende afstanden van het filter hydrofonen (sensoren voor het meten van de energie-intensiteit van akoestische golven) geplaatst. Bijlagen 3 en 4 geven meer achtergrondinformatie.

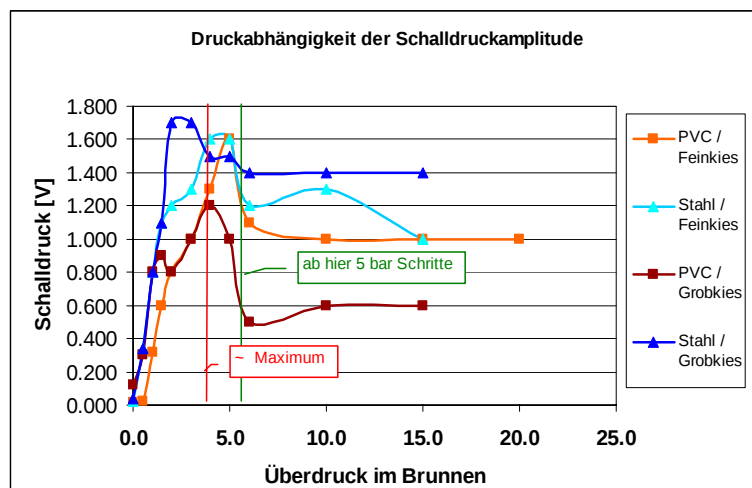
De metingen zijn verricht met verschillende filtermaterialen, verschillende filterspleten en verschillende grofheden van het filtergrind. Om het effect van de druk te meten (in de praktijk evenredig van met de diepte waarop de regeneratie wordt uitgevoerd), is de hele opstelling in een overdrukcel geplaatst waarin de druk kan worden gevarieerd. In onderstaande foto's zijn het drukvat waarin de experimenten zijn uitgevoerd en de binnenzijde met de proefopstelling in het drukvat weergegeven.



Figuur 1 Het schaalmodel van ESWE

Uit het labexperiment is o.a. gebleken dat de werking van de techniek sterk afhankelijk is van de heersende druk (in de praktijk de diepte waarop wordt geregenereerd). In figuur 2 is de gemeten energie intensiteit (schalldruckamplitude) uitgezet tegen de druk. Daaruit blijkt dat de werking maximaal is bij ongeveer 5 bar (ongeveer 50 m diepte).

Er is van dit onderzoek een uitgebreid rapport (ca. 80 pag) verschenen: 'Entwicklung eines Verfahrens zur Brunnen-Regenerierung mittels einer Ultraschall-Einheit', Abschlussbericht zum Forschungsprojekt, door Dr. Wolfgang Bott, Dipl.-Geol. Hella Wiacek en prof.Dr. Rolf-Dieter Wilken, DBU Förder-Nr. 18276, Dezember 2003.



Figuur 2 Energie-intensiteit (Schalldruck) als functie van de druk voor verschillende materialen

3.1.2 Veldexperimenten

In totaal zijn ongeveer 100 pompputten geregenereerd. De toename van het specifieke debiet varieerde van 0% tot 300%. De toename ten opzichte van de beginwaarde werd niet vermeld. In de (Duitse) praktijk blijkt dat er weinig putten zijn die intensief worden gevolgd (in dit geval is met name het verloop van het specifiek debiet van belang). Binnen het onderzoek van ESWE zijn drie putten wel nauwkeurig gevolgd. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

	Bron 1		Bron 2		Bron 3	
	Afpomping m	Sp.deb. m ³ /u/m	Afpomping m	Sp.deb. m ³ /u/m	Afpomping m	Sp.deb. m ³ /u/m
Vooraf	5,72	3,48	9,88	0,43	3,07	16,74
Na mechanische voorreiniging	5,68	3,5	9,73	0,44	3,04	16,91
Na Ultrasoon	5,47	3,64	9,1	0,47	2,93	18,61
Resultaat	0,25 m minder afp.	4,6% toename	0,78 m minder afp.	9,3 % toename	0,14 m minder afp.	11,2 % toename

3.1.3 Belangrijkste conclusies uit het onderzoek

De belangrijkste conclusies uit het ESWE-onderzoek zijn:

- De werking neemt toe met de druk tot 5 bar. Bij 5 bar (in de praktijk dus op 50 meter diepte) is de werking optimaal. Wordt de druk hoger dan 5 bar dan neemt de werking iets af. Vanaf ongeveer 6 bar is de werking constant en onafhankelijk van de druk.
- Globaal kunnen we stellen dat de techniek doorwerkt tot 0,3 meter vanaf het filter. Na 0,3 meter wordt de energie-intensiteit snel minder.
- Het filtermateriaal (PVC, staal) heeft weinig effect op de werking van de techniek (maximaal 10% verschil in de energie-intensiteit).
- De techniek is zowel bruikbaar voor mechanische verontreiniging (deeltjes en neerslag van ijzer en mangaan) als voor biologische verontreinigingen.

Het ligt voor de hand te veronderstellen dat naarmate de verontreiniging ouder is deze moeilijker is te verwijderen. Er is nog geen onderzoek gedaan naar de relatie tussen de ouderdom van de verontreiniging en de effectiviteit van de techniek. Bij vervolgonderzoek zal deze relatie nader worden onderzocht.

3.2 Onderzoek aan de Universiteit van Hamburg

Door de universiteit van Hamburg is onderzoek verricht naar de desinfecterende werking van Ultrasoon en de inzet bij drinkwaterbereiding. De belangrijkste conclusies uit dit onderzoek zijn:

- Bij cavitatie ontstaan vrije radicalen waardoor chemische reacties worden geactiveerd. Grote moleculen worden afgebroken.
- Door ultrasoon trillen vindt degradatie van microbiologische bestanddelen plaats. De microbiologie wordt in brokstukken verdeeld.
- Door ultrasoon trillen treedt dehalogenering van gehalogeneerde verbindingen op.
- De techniek werkt zeer snel in vergelijking met reguliere technieken.
- Er is een relatief geringe hoeveelheid energie nodig.
- Desinfectie van E-coli bacteriën gaat vrij goed. In het uitgevoerde onderzoek was er vrij snel een reductie van 2,9 log-eenheden. Desinfectie van streptococci gaat aanmerkelijk minder goed. De oorzaak hiervan is dat de celwand van streptococci veel dikker is. Naast de dikte van de celwand is ook de dikte van de slijm laag van belang bij de werking van Ultrasoon.
- Ook grotere organismen (larven van insecten) kunnen met Ultrasoon worden gedood.

3.3 Onderzoek in Nederland bij Q-flow

Door het bedrijf Q-flow zijn in 2003 proeven gedaan met Ultrasoon regeneratie (bijlage 6). Tevens is onderzoek gedaan naar de onderliggende theorie van de ultrasone golven en de reinigende effecten die deze golven kunnen hebben. Het resultaat is gerapporteerd in januari 2004.

Eén van de proeven betrof het regenereren van een put in Hoge Hexel. In deze testput was er geen zichtbaar resultaat, ook proeven met verontreinigde peilbuizen in een bak met water laten nauwelijks reinigende werking zien. De oorzaak van het geringe resultaat ligt waarschijnlijk in het feit dat de generator voor het opwekken van de ultrasone golven niet voldoende vermogen had waardoor het reinigend effect gering was. Dat Ultrasone trillingen effect hebben is wel bewezen op basis van proeven met aluminiumfolie eveneens in een bak met water. In deze proeven is te zien dat het aluminiumfolie door cavitatie wordt aangetast.

Enkele conclusies die verder uit het rapport kunnen worden getrokken zijn:

- De geluidsgolven laten een interferentiepatroon zien waardoor de werking niet overal gelijk is maar op gelijke afstanden (afhankelijk van de golflengte) maximaal en minimaal is.
- Uit de theorie blijkt dat het ontstaan van cavitatie drukafhankelijk is en tot een druk van ongeveer 4,0 bar (40 meter diepte) optreedt.

- Aanvullend onderzoek is nodig om in te kunnen schatten tot hoever achter het filter de ultrasone golven werkzaam zijn en om te kunnen beoordelen hoelang filtersecties behandeld moeten worden.

Volgens Q-flow is na optimalisatie (bestaande uit o.a. de juiste generator) de methode kansrijk. Het grote voordeel van deze methode is dat het milieuvriendelijk is en dat geen grote fysieke krachten worden gebruikt waardoor de put kan beschadigen.

3.4 Regeneraties bij VMW in België

Door de Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening (VMW) zijn in 1997 twee putten geregenereerd met Ultrasoon. Het betreft de productieputten P2 te Hoepertingen en P4 te Herent. Het regenereren met Ultrasoon heeft op beide putten niet het gewenste effect gehad (bijlage 7).

3.5 Toepasbaarheid Ultrasoon

Uit de uitgevoerde veld- en labexperimenten blijkt dat met deze techniek goede resultaten behaald kunnen worden. Omdat de techniek Ultrasoon zich in de medische wereld heeft bewezen en omdat uit proeven blijkt dat deze techniek effect heeft op verontreinigde oppervlakten en op aluminiumfolie maakt de techniek kansrijk. De techniek is toepasbaar voor verstopping van de boorgatwand en verstopping van het putfilter.

De resultaten van daadwerkelijke putregeneraties, uitgevoerd in Nederland en België vallen tegen. Volgens mededelingen van ESWE zijn er in Duitsland al wel veel putten met goed resultaat geregenereerd. Kijken we naar de resultaten van de 3 putten die tijdens het Duitse onderzoek nauwkeurig zijn gevolgd kunnen we concluderen dat er in deze putten een matig resultaat is bereikt (5 à 10% verbetering ten opzichte van de het specifieke debiet voor regeneratie).

Bij toepassing van deze techniek dient met het volgende rekening gehouden te worden:

- De energie-intensiteit neemt op 0,3 meter achter het filter sterk af. Is er boorgatwandverstopping die zich verder 0,3 meter van het filter bevindt dan zal de techniek niet werken.
- De relatie tussen het optreden van cavitatie als gevolg van de ultrasone golven en de heersende druk is niet bekend. Onduidelijk is dus nog tot op welke diepte cavitatie optreedt en dus hoe de werking is op grotere diepten. Wel is geconcludeerd dat de werking bij 5 bar (50 meter diepte) optimaal is en dat minimaal 2 bar (20 meter diepte) nodig is voor een goede werking.

Uit bovenstaande kunnen we concluderen dat de techniek kansrijk is, echter verbetering/optimalisatie van de techniek is noodzakelijk voor een goede werking in de praktijk. Voor verbetering en optimalisatie van de techniek is aanvullend onderzoek noodzakelijk.

4 Procedure regeneratie met Ultrasoon

Voordat een put met Ultrasoon wordt geregenereerd moet eerst (indien nodig) het filter mechanisch worden gereinigd, bijvoorbeeld door borstelen of hogedruk jetten, zodat de golven door de filterspleten in de omstorting kunnen doordringen.

De procedure voor het uitvoeren van de regeneratie is als volgt:

Activiteiten	Toelichting
Vorbereiding	verwijderen putkop, pomp e.d.
Vooronderzoek	camera-inspectie meting specifiek debiet geofysisch onderzoek
Mechanische voorreiniging	
Vaststellen toestand na voorreiniging	meting specifiek debiet eventueel flowmeting
Regenereren met Ultrasoon	
Vaststellen toestand na regenereren	meting specifiek debiet eventueel flowmeting
In gebruikname van de put	monteren pomp, putkop e.d.

5 Conclusie en aanbeveling

- **Ultrasoon is goede techniek**

Uit de uitgevoerde veld- en labexperimenten blijkt dat met deze techniek goede resultaten behaald kunnen worden. Omdat Ultrasoon zich in de medische wereld heeft bewezen en omdat uit proeven blijkt dat deze techniek zeker effect heeft op verontreinigde oppervlakten en op aluminiumfolie maakt de techniek kansrijk.

- **Voordelen**

Regeneratie met Ultrasoon biedt o.a. de volgende voordelen:

- o Er zijn geen grote mechanische krachten die filters of andere putonderdelen kunnen beschadigen. De techniek werkt oppervlakkig in op verontreiniging op zandkorrels of putonderdelen.
- o De techniek is milieuvriendelijk, er worden geen chemicaliën gebruikt.
- o Ultrasonische trillingen werken desinfecterend.

- **Resultaten van uitgevoerde regeneraties**

De resultaten van daadwerkelijke putregeneraties, uitgevoerd in Nederland en België vallen tegen. Volgens mededelingen van ESWE zijn er in Duitsland al wel veel putten met goed resultaat geregenereerd. Kijken we naar de resultaten van de 3 putten die tijdens het Duitse onderzoek nauwkeurig zijn gevolgd kunnen we concluderen dat er in deze putten een matig resultaat is bereikt (5 à 10% verbetering ten opzichte van de het specifieke debiet voor regeneratie).

- **Aanbevelingen**

Verwacht wordt dat met aanvullend onderzoek naar de werking en optimalisatie van de techniek goede resultaten behaald kunnen worden. Aanvullend onderzoek en het uitvoeren van een testprogramma waarin een aantal nauwkeurig geselecteerde putten worden geregenereerd wordt dan ook zeker als zinvol gezien, met name omdat deze techniek een aantal voordelen biedt. Tijdens aanvullend onderzoek dienen in ieder geval de volgende aspecten aan bod te komen.

- o De werking in relatie tot de diepte van de put.
- o De werking op verschillende soorten verontreiniging (neerslagen, deeltjes, biologische verontreinigingen)
- o De benodigde energie-intensiteit
- o De werking van de ultrasoon-sonde (onderdeel dat de golven afgeeft). Hierbij dient tevens aandacht aan interferentiepatronen worden besteedt.

I Programma Symposium 4 december 2003

ESWE-Institut Kurfürstenstr. 6 D-65203 Wiesbaden

Artesia Water Research Unlimited
Herr John Bunnik
Korte Weistraat 12

2871 BP Schoonhoven
Niederlande

Dipl.-Geol. Hella Wiacek
ESWE-Institut
Kurfürstenstr. 6
D-65203 Wiesbaden

Fon +49 - 611 - 23 605 32
Fax +49 - 611 - 23 605 60
Email: Hella.Wiacek@ESWE.com
URL: <http://www.uni-mainz.de/~eswe/>

20. November 2003

Fachveranstaltung des ESWE-Institutes
Brunnenregenerierung mittels Ultraschall
am 4. Dezember 2003 ab 14 Uhr im GAW in Wiesbaden-Schierstein, Söhnleinstr. 42

Sehr geehrter Herr Bunnik,

vielen Dank für Ihr Interesse an unserer Veranstaltung.

Leider ist der DVGW nicht mehr Mit-Träger unserer Veranstaltung, weil die Veranstaltungen, die der DVGW gewöhnlich mit trägt, in der Regel ein breiteres Spektrum abdecken als nur einen Sektor der – möglichen – Brunnenregenerierung.

Daraus ergibt sich, dass unser Gastredner Herr Prof. Dr. Treskatis, Bieske & Partner keinen Vortrag bei uns halten wird.

Wir freuen uns, dass wir Herrn Prof. Neis, einen Experten für Ultraschall in der Umwelttechnik, von der TU Hamburg-Harburg als Vortragenden gewinnen konnten.

Für den 04. Dezember ergibt sich daraus folgende Programmänderung:

14:00 Uhr **Begrüßung**

Prof. Dr. Rolf-Dieter Wilken,
Institutsleiter

Herr Franz-Peter Heidenreich,
DBU

14:30 Uhr **Brunnenregenerierung mit Ultraschall**
Dipl.-Geol. Hella Wiacek,
ESWE-Institut

Diskussion

15:30 Uhr **Ultraschall in der Umwelttechnik**
Prof. Dr. Uwe Neis,
Technische Universität Hamburg-Harburg

16:00 Uhr **Pause**

16:30 Uhr **Vorführung der Ultraschallanlage im Brunnenfeld
Fa. BRM**

17:00 Uhr **Resümee und Abschlußdiskussion**

17:30 Uhr **Übergabe des Abschlußberichtes an die DBU**

Schlußworte

18:00 Uhr **Ende der Veranstaltung**

Für Fragen und weitere Informationen wenden Sie sich bitte an das ESWE-Institut, Frau Dipl.-Geol. Hella Wiacek unter oben stehender Kontaktadresse.

Wir freuen uns, Sie als Gast begrüßen zu dürfen!

Mit freundlichen Grüßen



Dipl.-Geol. Hella Wiacek

Hinweise für Teilnehmer

Diese Veranstaltung richtet sich an

- Brunnenbetreiber
- Brunnenregenerierfirmen
- Ausschreibende Ingenieurbüros
- das interessierte Fachpublikum

Anmeldungen

werden auf beiliegendem Formular erbeten bis

spätestens 27. November 2003

bitte per Fax oder Brief an:

DVGW Landesgruppe Hessen
Dr.-Ing. R. Turowski

Weberstraße 1
D-55130 Mainz

Tel.: 06131/ 627 69 - 0
Fax: 06131/ 627 69 - 29

Konditionen

Die Veranstaltung wird gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Die Teilnahme ist kostenfrei.

Wir bitten zu beachten, dass die Teilnehmerzahl begrenzt ist.

Ultraschallregenerierung in Deutschland

Folgende Firmen unterstützen diese Veranstaltung:



BRM GmbH
Rudolf-Diesel-Str. 5
63599 Biebergrund/ Wirthheim
Tel.: 06050/ 9096 0
Fax: 06050/ 9096 29
www.brunnenreinigung.de



BRM GmbH
BRUNNENREGENERIERUNG
Rhein-Main-Bodenbau

Erfahrung und Kompetenz
seit über 10 Jahren



SONIC Umwelttechnik
Beim Braunstall 4
97980 Bad Mergentheim
Tel.: 07931/ 563140
Fax: 07931/ 562070
www.sonic-umwelttechnik.de

SONIC Umwelttechnik
Brunnenregenerierung mit
SONIC Ultraschall

rudolf lange

Bei den Kämpen
21220 Seevetal
Tel.: 04185/ 2194
Fax.: 04185/ 2515
www.lange-brunnenbau.de

brunnenbau
bohrunternehmen
brunnenregenerierung

seit 1970
ihr Partner
in Sachen Brunnenbau
zertifiziert nach DVGW
W 120

Matthias Lenders
GmbH
Wassertechnologie

BRUNNEN



PUMPEN

SERVICE

BRUNNENREGENERIERUNG

41362 Korschenbroich – Glehn
Wankelstraße 14 · Tel. 02182/ 4021-23
Fax: 02182/ 69460



Brunnenregenerierung mittels hochen energetischem Ultraschall

- chemiefrei
- schonend
- kostensparend

Fachveranstaltung zum neuartigen
Verfahren.

Eine Zusammenarbeit von
Fa. BRM Brunnensanierung,
Biebergrund und dem
ESWE – Institut, Wiesbaden

04. Dezember 2003
GAW
Söhnleinstr. 42
Wiesbaden-Schierstein

Gefördert durch:

**Deutsche Bundesstiftung
Umwelt**



Inhalte

Allgemeines

Das rechtzeitige Erkennen und richtige Bewerten der Brunnenalterung ist Voraussetzung für die Wartung und Regenerierung von Brunnen. Die Wahl des geeigneten Verfahrens muss immer unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten erfolgen. Die verschiedenen, am Markt befindlichen Regenerierv Verfahren zur Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit arbeiten auf mechanischem oder chemischem Weg. Seit Mitte der 90er Jahre wird hocheffizienter Ultraschall als ein mechanisches Verfahren zur chemiefreien Reinigung von Brunnen eingesetzt.

Das Projekt am ESWE-Institut

Am ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie wird seit 1997 an der Erforschung des Einsatzes von Ultraschall zur Brunnenregenerierung gearbeitet. Im Zeitraum von 2001 bis 2003 förderte die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) ein Kooperationsprojekt zwischen der Fa. BRM Brunnensanierung und unserem Institut. Inhalt waren umfangreiche Laborversuche an einem Modellbrunnen und wissenschaftlich begleitete Praxiseinsätze zur Bestimmung der Reinigungsleistung des Ultraschalls bei verschiedenen üblichen Brunnenszenarien. Die Reinigungswirkung des Ultraschalls bis tief in den Ringraum der Brunnen konnte dabei eindeutig belegt werden. Wir laden Sie zur Präsentation unserer Forschungsergebnisse ein.

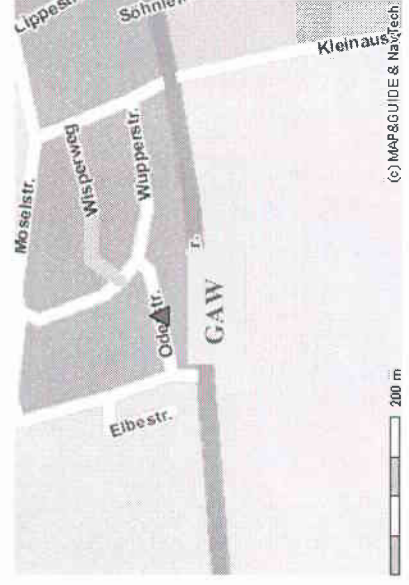
Prof. Dr. R.-D. Wilken

Programm

14:00 Uhr	Begrüßung
	Prof. Dr. Rolf-Dieter Wilken, Institutsleiter
	Herr Franz-Peter Heidenreich, DBU
14:30 Uhr	Wann müssen Brunnen regeneriert werden? Prof. Dr. Christoph Treskatis, Bieske & Partner
15:00 Uhr	Brunnenregenerierung mit Ultraschall Dipl.-Geol. Hella Wiacek, ESWE-Institut
	Diskussion
16:00 Uhr	Pause
16:30 Uhr	Vorführung der Ultraschallanlage im Brunnenfeld Fa. BRM
17:00 Uhr	Resteue und Abschlusßdiskussion
17:30 Uhr	Übergabe des Abschlusßberichtes an die DBU
	Schlußworte
18:00 Uhr	Ende der Veranstaltung

Tagungsort und Anfahrt

Tagungsort
ESWE Versorgungs AG Grundwasseraufbereitungswerk - GAW Wiesbaden – Schierstein Söhnleinstr. 42 D-65201 Wiesbaden
Anfahrt mit dem PKW
A 66 Richtung Rüdeshcim Abfahrt Wiesbaden – Frauenstein/ Walluf rechts Richtung Walluf links auf Söhnleinstraße, Richtung Schierstein GAW, Tor 1 hinter Ortseingang rechts, Hinweisschild ESWE folgen Parkplätze sind vorhanden
Anfahrt mit der Bahn
Buslinie 1 ab Hauptbahnhof/ Bussteig C Richtung Dürerplatz an der Haltestelle Schiersteiner Straße/ Kaiser-Friedrich-Ring umsteigen in Buslinie 5 bis Haltestelle Oderstraße



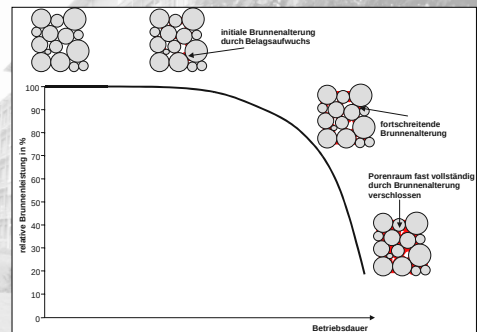
II 'Brunnenregenerierung mittels hochenergetischen Ultraschalls' Power- point-presentatie van Dipl.-Geol. Hella Wiacek (ESWE)

Brunnenregenerierung mittels hochenergetischen Ultraschalls

Herzlich Willkommen !

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Einstieg: Brunnenalterung



ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Ursachen der Brunnenalterung:

- Versanden oder Verschlammen
- Korrosion der Brunnenrohre und anderer metallischer Brunnenbauteile
- Verschleimung
- Versinterung
- Verockerung

In Deutschland am häufigsten Kombination aus Verockerung und Verschleimung aufgrund von Eisen und Mangan im Wasser und mikrobieller Aktivität

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Brunnenregenerierung

Mechanische Verfahren

- Bürsten
- Hochdruck
- Spüllanzen
- Intensivpumpen
- Impulsverfahren
- Sprengschocken
- **Ultraschall**

Chemische Verfahren

mit anorganischen oder organischen Säuregemischen und weiteren Hilfsmitteln

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Ultraschall



Im industriellen Bereich seit fast 100 Jahren weltweit verbreitet

Anwendungsbeispiele:

- Reinigung schwer zugänglicher Oberflächen
- zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

Überlegungen zum Einsatz in Brunnen bereits seit Anfang der 60er Jahre

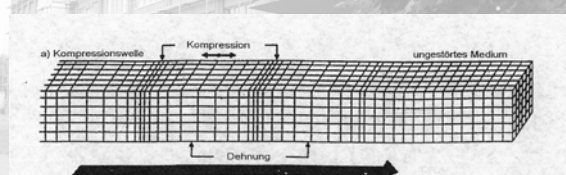
Praxiseinsatz des Verfahrens seit Mitte der 90er Jahre

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Das Prinzip

Ultraschall breitet sich als mechanische Welle in einem Medium aus.

Durch die Lageänderung der Teilchen entstehen lokal Verdichtungs- und Verdünnungszonen.



ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

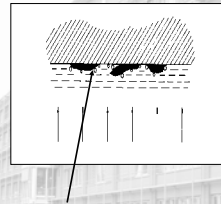
Dabei wird **kein** Material transportiert, d.h. es wird Energie transportiert, **keine** Wasserbewegung.

Gemessen wird die maximale Schalldruckamplitude, das ist die Abweichung vom Normaldruck.

Berechnet wird dann die Schallintensität.

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Die Wirkweise von Ultraschall

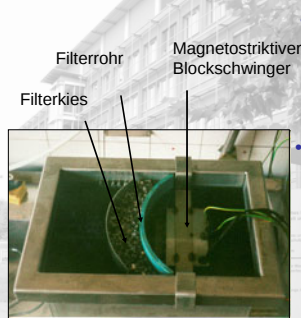


Bildung von Kavitationsblasen, die bei der Implosion hohen Druck erzeugen und Inkrustationen mechanisch ablösen

- Elastische Anregung der beschallten Materialien
- Auftreten von Kavitation
- Reinigungseffekte an Oberflächen
- Induzierte Materialspannungen
- Verflüssigung thixotroper Beläge

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Ultraschall und das ESWE-Institut



- 1997 erster wissenschaftlich begleiteter Praxisversuch an Schiersteiner Brunnen
- Ab 1997: Forschung zur Anwendung von Ultraschall zur Brunnenreinigung
 - Experimentelle Untersuchungen zur Wirkungsweise und Einflußfaktoren

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Erste Ergebnisse

- Die Schallintensität im Ringraum hängt entscheidend davon ab, wieviel Schallenergie durch das Filterrohr in den Ringraum durchgelassen wird.
- Die Schalldurchlässigkeit wird wesentlich von den physikalischen Eigenschaften und der Schlitzgeometrie der Filtermaterialien bestimmt

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Überlegungen

- In Brunnen herrscht Überdruck durch den hydrostatischen Druck der überlagernden Wassersäule
- > Die Bildung von Kavitationsblasen nimmt mit steigendem Druck ab.
Ab etwa 4,5 bar Überdruck tritt keine Kavitation mehr auf.

Kavitation kann nicht der entscheidende alleinige Wirkmechanismus sein.

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Das Projekt 2001 am ESWE



Entwicklung eines Verfahrens zur Brunnenregenerierung mittels hochenergetischem Ultraschall

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Die URSEL: Ultraschall – Regenerierungs – System im ESWE – Institut – Labor

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Die Fragestellungen

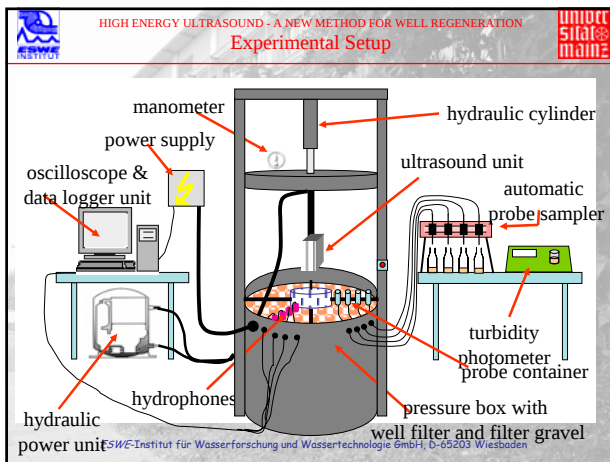
- Unter welchen Bedingungen ist hoch-wirksamer Ultraschall am wirksamsten für die Brunnenreinigung?
- Wie weit reicht die Wirkung des Ultraschalls in den angrenzenden Ringraum?
- Welche Prozesse und Mechanismen sind verantwortlich für die Reinigungswirkung der Ultraschallmethode?

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Inhalte

- Laborversuche:
 1. Schallfeldmessungen mit und ohne Kiesbefüllung
 2. Ermittlung der Reinigungsleistung und der optimalen Brunnenparameter
- Versuche zur Optimierung des Schallgebers
- exemplarische Feldversuche

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

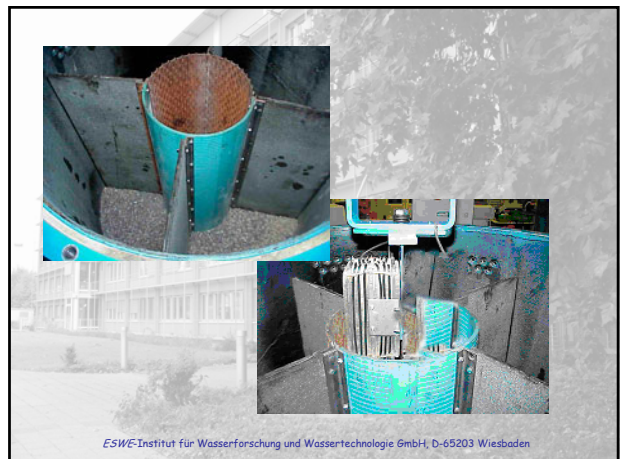


Untersucht wurden:

- 3 verschiedene Filtermaterialien:
 - PVC, DN 300
 - Stahl-Schlitzbrücken-Filter, DN 300
 - OBO-Filter, DN 300
- 2 verschiedene Kieskörnungen
 - 3,15 ... 5,6 mm
 - 5,6 ... 8,0 mm

jeweils bei Druckstufen zwischen 0 und 20 bar

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

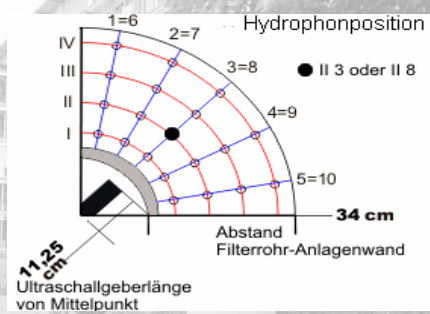


Die Hydrophonpositionen



ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

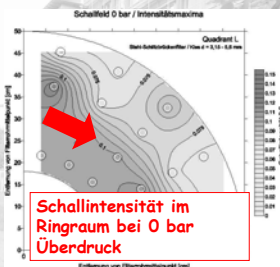
Die Schallfeldmessungen



ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

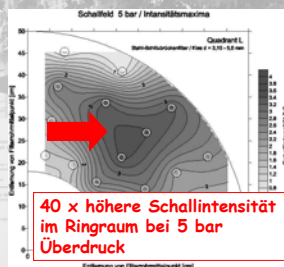
Das Schallfeld

Intensitätsmaxima bei
0 bar Überdruck



Schallintensität im
Ringraum bei 0 bar
Überdruck

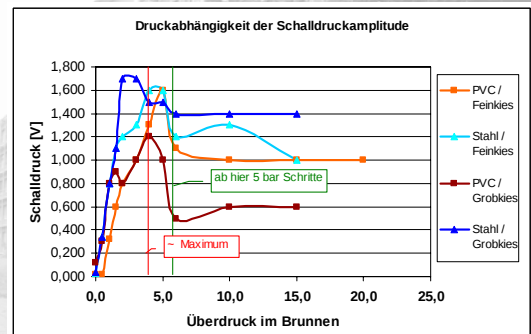
5 bar Überdruck



40 x höhere Schallintensität
im Ringraum bei 5 bar
Überdruck

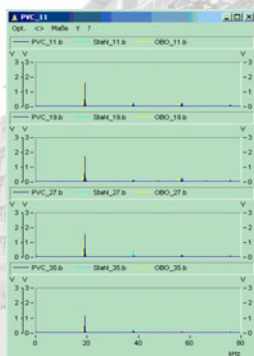
ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Die Druckabhängigkeit



ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Die Frequenzspektren



- 3 verschiedene Filtermaterialien
- 2 Filterkiese
- 4 Abstände
- 0 bis 20 bar Überdruck

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Das Belagsmaterial

- Filtermaterial aus der Wasseraufbereitung
- 1. Aus der Enteisung (EWG Alzey)
 - Eisenoxide, die fest an einen Akdolit als Trägermaterial angelagert sind
- 2. Aus der Entmanganung (WW Petersau, Mainz)
 - Manganoxide auf Akdolit

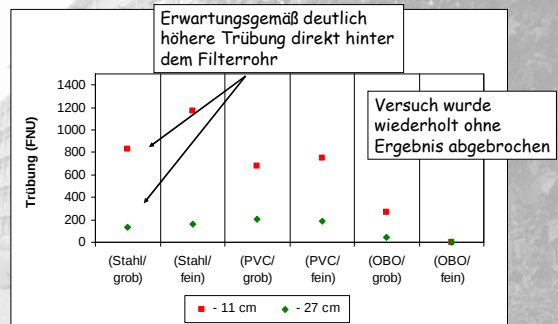
ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Massenanteile	Glühverlust bei 500 °C [mg]	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Summe	Summendifferenz zum Glühverlust
Manganbelag	3956	28,79%	30,35%	16,28%	3,34%	78,76%	21,23%
Eisenbelag	2880	1,42%	12,88%	18,47%	4,58%	37,36%	62,63%

Die relativ hohen Werte für Ca- und Mg-Oxid ergeben sich aus dem dolomitischen Trägermaterial

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Die Trübungsmessungen



ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Versuche zur biologischen Verockerung

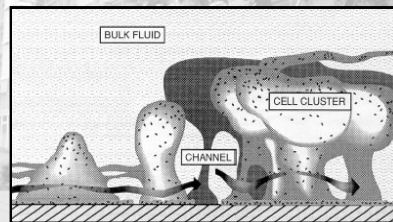
- Simulation der extrazellulären polymeren Substanzen von Biofilmen durch ein Agar
 - Ermittlung der Struktureigenschaften vor und nach einer Beschallung mit Ultraschall
 - Rheometermessungen
 - Durchfluss- und Fallzeitmessungen
- Säulenversuch zur biologischen Verockerung

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Biofilme sind sehr heterogen aufgebaut.

Agar bildet eine flächige kompakte Matrix

Agar wies in den Fallzeitmessungen eine höhere strukturelle Stabilität auf, als es für reale Biofilme anzunehmen ist.



ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Anfangsstadium
der biologischen
Verockerung



ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Ergebnisse der Laborversuche

- Die Reinigungswirkung ist stark druckabhängig
- Die beste Leistung wird bei Überdrücken ab 5 bar erzielt
- Ultraschall wirkt bis 30 cm hinter dem Filterrohr
- Die Ausbaumaterialien haben keinen eindeutig erkennbaren Einfluss auf die Wirkung
- Ultraschall wirkt gleichermaßen auf Eisen-, Mangan- und biologische Beläge

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

In der Praxis

Viele Regenerierungen waren erfolgreich.

Einige nicht.

Dabei konnten keine Abhängigkeiten vom
Brunnenausbau oder der Tiefe festgestellt
werden.

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Ziel der Feldversuche

Bewertung des Verfahrens im Praxiseinsatz
mittels

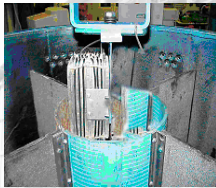
- Leistungstests
- Geophysikalischen Untersuchungen

wissenschaftliche Begleitung und Auswertung

Einbeziehung der Laborergebnisse und Auswertung
vorhandener Daten bisheriger Praxiseinsätze

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Die Ultraschallgeber



Wie wirkt sich die
Schallanordnung auf
die Schallintensität im
Ringraum aus?



ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

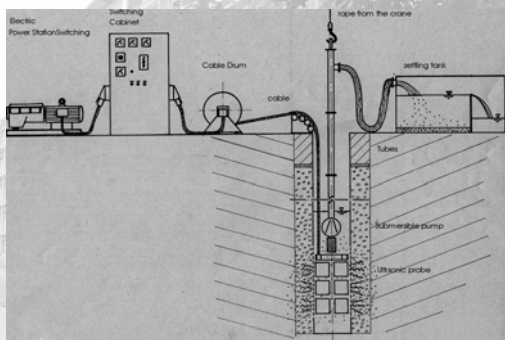
Die Ultraschallgeber



Welchen Einfluss hat das
Kabel?

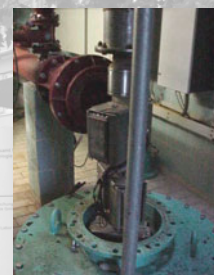
ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Das System



ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Im Gelände



ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Ablauf einer Brunnenregenerierung

1. Erfassung des IST-Zustandes VOR Beginn der Arbeiten
Unterwasserkamerabefahrung
Leistungstest durch Kurzpumpversuch
Geophysikalische Untersuchung
2. Mechanische Vorreinigung
3. Erfassung des Zustandes NACH mechanischer Reinigung
4. Regenerierung mittels Ultraschall
5. Erfassung des Zustandes NACH der Ultraschallbehandlung
6. Wiederinbetriebnahme des Brunnens

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Die Brunnenauswahl

	Brunnen 1	Brunnen 2	Brunnen 3
Ausbau	Hagusta, DN 400	Stahl – Rilsan, DN 300	Stahl – Poly., DN 400
Geologie	Sand-Ton-Wechsellagerung über Rotliegend	Basalt	Fein- bis Grobsand – Wechsellagerung (pleistoz. Rheinterrasse)
Tiefe [m uGOK]	41 m	43 m	104,5 m
Filterstrecke	3 Abschnitte, 18 m Gesamtlänge	2 Abschnitte 16 m Gesamtlänge	2 Abschnitte 40 m Gesamtlänge

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

TV - Untersuchung



ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Ergebnisse der Pumpversuche

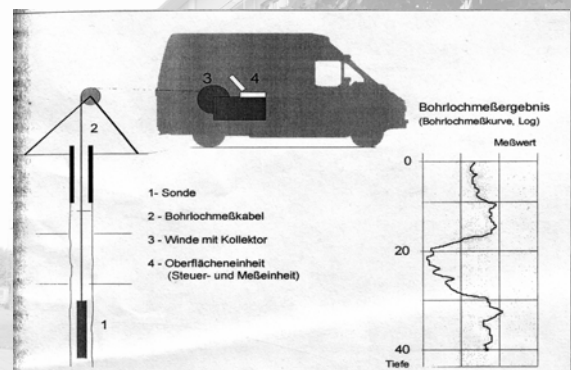
	Brunnen 1		Brunnen 2		Brunnen 3	
	Absenkung [m]	spez. Ergiebigkeit [m³/hm]	Absenkung [m]	spez. Ergiebigkeit [m³/hm]	Absenkung [m]	spez. Ergiebigkeit [m³/hm]
vor	5,72	3,48	9,88	0,43	3,07	16,74
nach mech. Vorreinigung	5,68	3,50	9,73	0,44	3,04	16,91
nach Ultraschall	5,47	3,64	9,10	0,47	2,93	18,61
Ergebnis	0,25 m weniger Absenkung	Steigerung um 4,6% (vor / nach)	0,78 m weniger Absenkung	Steigerung um 9,3%	0,14 m weniger Absenkung	Steigerung um 11,2%

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Geophysikalische Verfahren

1. Elektrische und elektromagnetische Verfahren: SP, EL
2. Kernphysikalische Verfahren: Gamma-Ray, Gamma-Gamma, Neutron-Messungen
3. Akustische Verfahren: SV (Sonic)
4. Untersuchungen des Bohrlochfluids: SAL, TEMP, FLOW
5. Gravimetrische Verfahren

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

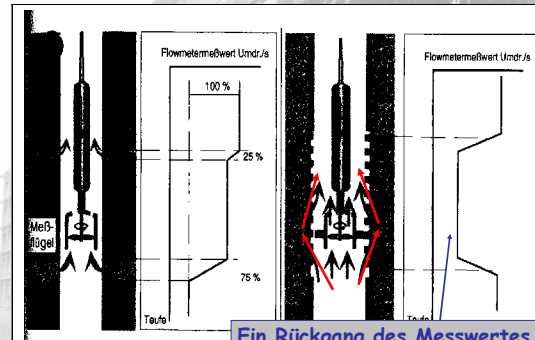


ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Ergebnisse Geophysik

	Brunnen 1		Brunnen 2		Brunnen 3	
	effektive Filterlänge 18m=100% m (%)	Transmissivität m/s	effektive Filterlänge 16m=100% m (%)	Transmissivität m/s	effektive Filterlänge 40m=100% m (%)	Transmissivität m/s
vor	5,7 (31,7)	$1,00 \times 10^{-3}$	6,4 (40)	$1,21 \times 10^{-4}$	13 (33)	$4,43 \times 10^{-3}$
nach mech. Reinigung	7,7 (42,8)	$1,00 \times 10^{-3}$	7,4 (46)	$1,25 \times 10^{-4}$	18,7 (47)	$4,32 \times 10^{-3}$
nach Ultraschall	10,0 (55,5)	$1,04 \times 10^{-3}$	10,8 (68)	$1,35 \times 10^{-4}$	15,9 (40)	$4,20 \times 10^{-3}$
Ergebnis	Steigerung um 4,3 m (23,8 %)	Steigerung um 4 % Vorher/Nachher	Steigerung um 4,4 m (27,5 %)	Steigerung um 11,6 % Vorher/Nachher	Steigerung um 2,9 m (7,25 %)	Verminderung um 15,2 % Vorher/Nachher

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden



Ein Rückgang des Messwertes bedeutet, dass mehr Wasser am Messflügel vorbei durch den Filter strömt

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Packerflowmetermessung

Vor Beginn der
Regenerierung

Nach mech.
Vorreinigung

Nach
Ultraschalleinsatz

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Drerstufige Erfassung des IST-Zustandes

Direkter Vergleich der Messungen

Beurteilung der Wirksamkeit des Ultraschalls

Räumliche Erfassung der Wirkung

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Ergebnisse der Feldversuche

- Ultraschall verflüssigt Beläge, so daß diese abgepumpt werden können
- Ultraschall wirkt bis tief in den Ringraum des Brunnens

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Projektergebnisse:

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

- Ultraschall dringt weit in den Ringraum eines Brunnens ein und bewirkt dort Reinigungseffekte.
- Im Labor zeigte sich eine klare Druckabhängigkeit der Ultraschallwirkung
- Im Praxiseinsatz wurde die Methode erfolgreich zur Regenerierung von drei Brunnen eingesetzt
- Der Brunnenausbau ist nicht der entscheidende Faktor für den Erfolg

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

- Die Kavitation kann nicht der entscheidende Mechanismus sein. Die Brunnentiefe ist in der Praxis nicht entscheidend.
- Vermutet werden
 - induzierte Materialspannungen
 - Reibungseffekte an den Kieskornoberflächen
 - die Verflüssigung thixotroper Beläge, z.B. bakteriellen Schleims, durch den Schalldruck
- Der Erfolg hängt wahrscheinlich in entscheidendem Maße von der Art und dem Aushärtungsgrad der Beläge ab.

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Das neue Projekt: gefördert durch den Innovationsfond der Thüga

IDEE:

- chemiefreie Regeneration von Brunnen in Schierstein
- Kostensenkung und kürzere Ausfallzeiten bei der Regenerierung
- nachhaltig, da Ablagerungen schonend entfernt und einige Bakterienarten abgetötet werden können

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Inhalte

- Test der Schiersteiner Filter in der URSEL (Schallfeldmessungen mit und ohne Kies)
- Ultraschallbehandlung an fünf ausgewählten Brunnen mit weitestgehend gleichen Eigenschaften inkl. eines umfangreichen Vorher-Nachher-Untersuchungsprogramms

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Im Mittelpunkt wird die Frage nach dem Einfluss der Beläge stehen:

- Art der Verockerung bzw. des Belages
- chemische Zusammensetzung
- Alter und Aushärtungsgrad

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

Ultraschall funktioniert !

**Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit**

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH, D-65203 Wiesbaden

III Brunnenregenerierung mit Ultraschall, ESWE-rapport

Brunnenregenerierung mit Ultraschall



Projekt EBRU am
ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie
Kurfürstenstraße 6, D-65203 Wiesbaden

in Kooperation mit
Fa. BRM GmbH, Biebergemünd
Fa. Sonic Umwelttechnik, Bad Mergentheim

gefördert durch die
DBU – Deutsche Bundesstiftung Umwelt
(Projekt Nummer 18276)

Brunnenalterung

Als Lebensdauer eines Brunnens werden im Allgemeinen etwa 25 Jahre angesetzt. Während dieser Zeit wird die Leistung des Brunnens jedoch allmählich zurückgehen. Dies beruht auf verschiedenen physikalischen und/ oder chemischen Vorgängen und wird als Brunnenalterung bezeichnet.

Ein Rückgang der Leistung äußert sich in einer größeren Absenkung des Wasserspiegels bei gleichbleibender Förderleistung oder einem Sinken der geförderten Wassermenge bei gleichbleibender Absenkung. Weitere Indizien für die Brunnenalterung sind eine Zunahme der Stromaufnahme der Unterwasserpumpe, eine Veränderung der hydrochemischen und/ oder biologischen Wasserbeschaffenheit und dem Mitführen von Trübstoffen und Sand im Wasser.

Die wesentlichen Alterungsprozesse sind:

- das Versanden oder Verschlammen aufgrund von Sandführung des geförderten Wassers
- die Bildung von Inkrustationen durch Verockerung, Versinterung oder die Ablagerung von Aluminium-Verbindungen
- das Verschleimen durch Massenentwicklung schleimbildender Bakterien
- die Zerstörung der Filterrohre durch Korrosion.

Die genannten Vorgänge führen allgemein zu einer Verengung der Wassereintrittsflächen, d.h. des Porenraumes im Filterkies und der Filterschlitze des Brunnenrohres und damit zu einer Erhöhung des Wassereintrittswiderstandes (Abb. 1). Sie treten meist zusammen oder aufeinander folgend auf.

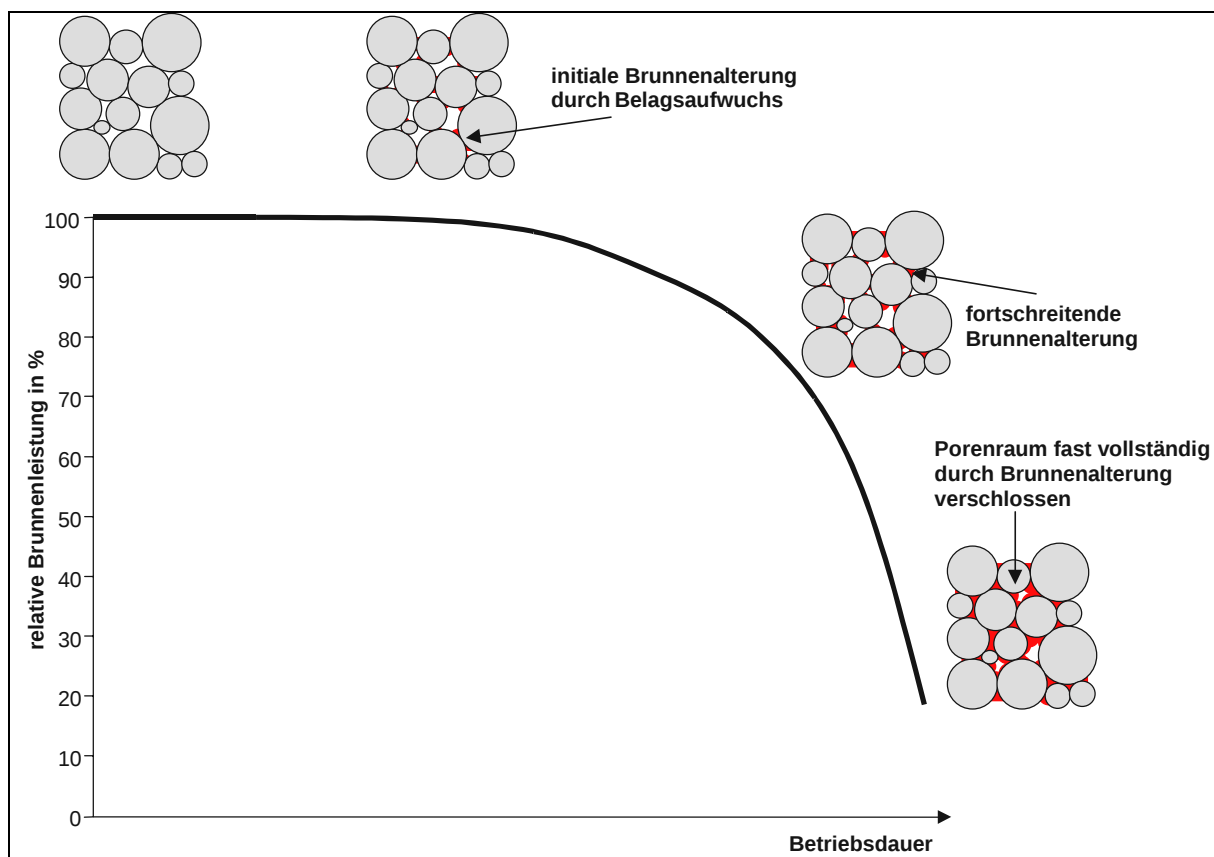


Abb. 1: Ablagerungsdynamik der Verockerungsprodukte im Filterkies und resultierender Verlauf der förderbaren Wassermenge des Brunnens (vereinfacht nach Hug, 1997)

Die Notwendigkeit einer Regenerierung ergibt sich aus der regelmäßigen Beobachtung des Brunnens bei Nachlassen seiner Leistung. Je früher eine Regenerierung durchgeführt wird, desto mehr Aussicht auf Erfolg besteht und desto geringer sind die Kosten.

Brunnenregenerierung mittels hochenergetischem Ultraschall

Ultraschall wird seit Mitte der 90er Jahre zur Brunnenregenerierung eingesetzt. Ziel ist das Lösen der Ablagerungen im Kiesringraum eines Brunnens, um dessen Durchlässigkeit wieder herzustellen. Als Brunnen (Abb. 2) wird dabei das gesamte Bauwerk betrachtet, aufgebaut aus dem Filterrohr, der umgebenden Kiesschüttung sowie dem anstehenden Untergrund (Locker- oder Festgestein).

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie

Frau Dipl. Geol. H. Wiacek

Projektleiterin Brunnenregenerierung mit Ultraschall

Kurfürstenstraße 6

D-65203 Wiesbaden

Email: Hella.Wiacek@ESWE.de

www.uni-mainz.de/~eswe

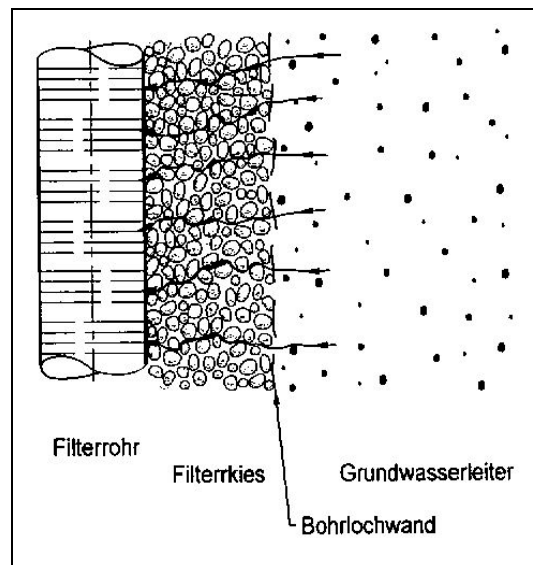


Abb. 2: Schematischer Schnitt – Aufbau eines Brunnens (aus Houben&Treskatis, 2003)

Typische Filterrohre sind aus PVC mit Querschlitzen, Stahl (unbehandelt, verzinkt oder beschichtet) mit Schlitzbrücken oder sog. Wickeldraht. In älteren Brunnen finden sich Steinzeug (Keramik) mit Querschlitzen und OBO-Filter (Kunstharz-Pressholz), ebenfalls quer geschlitzt. Die Schlitzbreiten variieren i.d.R. zwischen 0,2 und 3,0 mm.

Der Filterkies besteht zumeist aus Quarzkieselsteinen verschiedener Korngrößen. Die Wahl der geeigneten Größe richtet sich nach den lokalen Gegebenheiten und muss genau berechnet und eingehalten werden. Brunnen werden oft mit abgestuften Kiesschüttungen versehen.

Die Ablagerungen im Inneren des Filterrohrs, im Filterkies und z.T. im Grundwasserleiter bestehen im Wesentlichen aus Eisen- und Manganverbindungen, die auf chemisch-mikrobiellem Wege im Filterkies ausgeschieden werden. Die Menge, der Aushärtungsgrad und die Zusammensetzung ist abhängig von den lokalen Bedingungen und variiert von Brunnen zu Brunnen.

Die Wahl des geeigneten Regeneriervorgangs muss immer die spezifischen Gegebenheiten des Brunnens berücksichtigen.

Grundsätzlich unterschieden werden mechanische und chemische Verfahren. Ultraschall zählt zu den mechanischen Verfahren, da das Lösen der Ablagerungen auf physikalischen Trennprozessen beruht. Die Beanspruchung des Ausbaumaterials ist dabei vergleichsweise gering. Eine Umweltbelastung findet praktisch nicht statt.

Dennoch ist das Verfahren umstritten, da einerseits die genauen Wirkmechanismen noch teilweise unbekannt sind und zum anderen nicht in jedem Fall der gewünschte Erfolg erzielt werden konnte.

Das Projekt am ESWE-Institut

Das ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie ist eine Tochter der ESWE Versorgungs AG. Es beschäftigt sich auf internationaler Ebene mit Fragen der Wassergewinnung und –aufbereitung und der Erforschung innovativer Technologien und Verfahren auf diesem Gebiet.

Am Institut wird seit 1997 an der Erforschung des Ultraschalleinsatzes zur Brunnenregenerierung gearbeitet. Erste Versuche wurden im offenen Ultraschallbad durchgeführt (Abb. 3). Sie beinhalteten im Wesentlichen die Fragestellung, wie sich unterschiedliche Brunnenausbaumaterialien auf die Schallausbreitung und Schallintensität auswirken. Gemessen wurde dabei die Kavitationsintensität mit einer Piezoprobe und durch Folientests. Messungen mit einer Kiesschüttung zeigten eine deutliche Schwächung der Kavitationsenergie. Die Ergebnisse gaben Anlass zu weiteren Projekten.

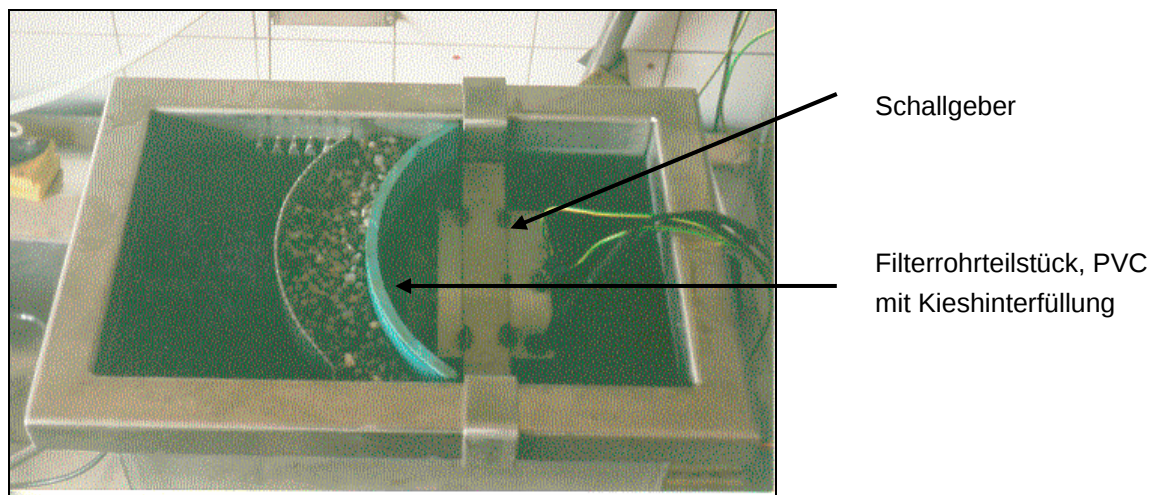


Abb. 3: Aufbau der Experimente in der Ultraschallwanne (Hug, 1997)

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie
 Frau Dipl. Geol. H. Wiacek
 Projektleiterin Brunnenregenerierung mit Ultraschall
 Kurfürstenstraße 6
 D-65203 Wiesbaden
 Email: Hella.Wiacek@ESWE.de
 www.uni-mainz.de/~eswe

Seit 2001 lief am ESWE-Institut ein von der DBU gefördertes Projekt, welches Laborexperimente im halbertechnischen Maßstab und Feldversuche beinhaltete. Im Rahmen des Projektes wurde ein Modellbrunnen entwickelt, konstruiert und in Betrieb genommen (Abb. 4). In diesem können Brunnenbedingungen nachgebaut werden. Möglich sind die Variation des Filterrohres und der Kiesschüttung. Das Besondere an der Anlage liegt darin, dass außerdem der hydrostatische Druck bis 200m Wassersäule (20 bar Überdruck) dargestellt werden kann.



Kesseldurchmesser:	100 cm
Filterrohrdurchmesser:	30 cm
Abstand der Schallfläche zum Filterrohr:	5,5 cm

Abb. 4: Modellbrunnen „URSEL“

Die Ultraschallerzeugung erfolgte durch magnetostriktive Blockschwinger der Firma SONIC Umwelttechnik, Bad Mergentheim mit folgenden technischen Spezifikationen:

ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie
 Frau Dipl. Geol. H. Wiacek
 Projektleiterin Brunnenregenerierung mit Ultraschall
 Kurfürstenstraße 6
 D-65203 Wiesbaden
 Email: Hella.Wiacek@ESWE.de
 www.uni-mainz.de/~eswe

Tab. 1: technische Spezifikationen des Schallgebers bei einer Wassertemperatur von 10°C und einer Schall-Nennleistung von 1420 W (aus HUG, 1997)

Schallfrequenz f [kHz]	20
Kreisfrequenz ω [s^{-1}]	125664
Schallleistung des Schwingers (Wirkungsgrad $\eta = 70\%$) [W]	1000
Flächenbezogene Schallintensität J [kW/m^2]	68
Energiedichte w [J/m^3]	46
Schalldruckamplitude p [Pa]	450 000

In den Laborversuchen wurden im wesentlichen Schalldruckmessungen mit piezoelektrischen Hydrophonen durchgeführt. Untersucht wurden folgende Einflußfaktoren und ihre Auswirkung auf die Schallausbreitung im Brunnenraum und die Reichweite sowie die Reinigungswirkung des Ultraschalls:

- Druck (0 bis 20 bar)
- Ausbaumaterial (PVC, Stahl, OBO)
- Verockerungsart bzw. Belagsmaterial (Eisen, Mangan, Biofilm)

Die bisherigen Ergebnisse zeigen eine klare Abhängigkeit der Schallausbreitung und der Reinigungswirkung vom hydrostatischen Druck. Die Brunnenausbaumaterialien wirken sich demgegenüber nur nebensächlich aus, d.h. klare Einflüsse von PVC/ Stahl/ OBO bzw. der Kieskorngroße konnten nicht eindeutig festgestellt werden.

Die höchste Schallintensität trat bei ca. 5 bar Überdruck auf. Der Anstieg zwischen drucklosem Betrieb und dem Aufbringen von Überdruck war sehr steil. Nach Erreichen eines Maximums blieb die Schallintensität auf diesem hohen Niveau (Abb. 5).

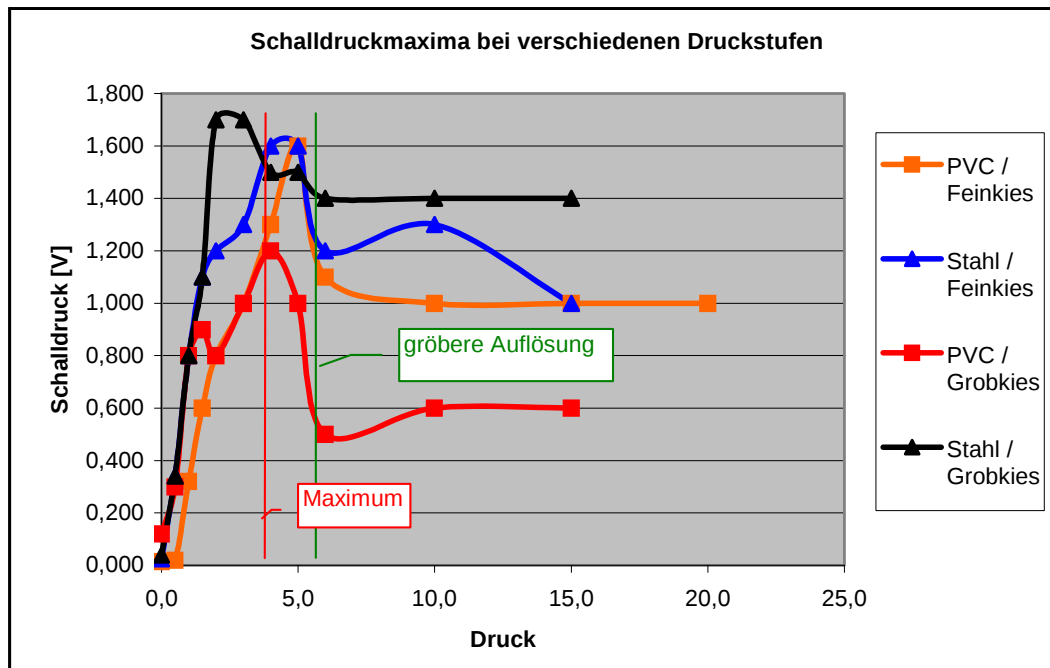


Abb. 5: Schalldruckmaxima für verschiedene Ausbaumaterialien und Druckstufen (Wiacek, 2003)

- Die Kavitation als alleiniger Wirkmechanismus konnte somit ausgeschlossen werden.
- Die Wirkung des Ultraschalls reichte bis 30 cm hinter das Filterrohr (Kesselwand).

Die Auswertung bisher durchgeführter Praxisanwendungen des Verfahrens zeigte die im Labor klar heraus gearbeitete Druckabhängigkeit nicht. Sowohl sehr flache als auch sehr tiefe Brunnen konnten erfolgreich regeneriert werden. Ebenso lieferte das Verfahren auch an tiefen Brunnen manchmal nicht den gewünschten Erfolg. Es ist davon auszugehen, dass mehrere komplex zusammenhängende Mechanismen und Faktoren den Erfolg eines Ultraschalleinsatzes bestimmen.

Die Praxisversuche im Rahmen des Projektes wurden deshalb mit einem umfangreichen geophysikalischen Messprogramm begleitet, um weitere Erkenntnisse über die Vorgänge und die Reichweite des Ultraschalls im Ringraum des Brunnens und die Abhängigkeit des Regeneriererfolges von den Ausbaueigenschaften zu gewinnen. Kamerabefahrungen gaben den Zustand der Ausbauverrohrung und die Art der

Verockerung wieder. Mittels Kurzpumpversuchen wurde die Leistung des Brunnens festgestellt. Das geophysikalische Messprogramm umfasste die Ermittlung des Zustandes des Ringraumes, d.h. der Lagerungsdichte und des Wassergehaltes in der Kiesschüttung sowie die hydraulischen Parameter. Alle Messreihen fanden vor Beginn der Arbeiten, nach der Vorreinigung und nach dem Ultraschalleinsatz statt, was den direkten Vergleich der Ergebnisse ermöglichte.

Für alle drei wissenschaftlich begleiteten Praxiseinsätze ergaben die Pumpversuche eine leichte Leistungssteigerung nach der mechanischen Vorreinigung und eine deutliche Zunahme der Brunnenleistung nach der Ultraschallbehandlung. Die geophysikalischen Messungen belegten die Reinigungswirkung des Ultraschalls bis tief in den Ringraum des Brunnens. An den drei Brunnen konnten die Zuflussraten und die Filterdurchlässigkeit verbessert werden.

Insgesamt konnte das Projekt erfolgreich abgeschlossen werden. Alle durchgeführten Versuche bestätigten die Wirksamkeit von Ultraschall zur Brunnenreinigung.

Ausblick

Mit der Konstruktion und Inbetriebnahme des Modellbrunnens „Ursel“ wurde ein wichtiger Schritt zu mehr Verständnis der Vorgänge im Ringraum eines Brunnens bei einer Brunnenregenerierung getan. Der Versuchsstand bietet vielfältige Möglichkeiten für Versuche. Er wird von uns gern für die Bearbeitung eigener Fragestellungen vermietet!

In unserem nächsten Projekt, in enger Zusammenarbeit mit der ESWE Versorgungs AG, wird besonders die Beantwortung der Fragen zum Einfluss von Alter, Zusammensetzung und Aushärtungsgrad der Beläge im Mittelpunkt stehen.

Themenbezogene Publikationen

BOTT, W., WILKEN, R.-D. (2002): Erfahrungen zur Regenerierung von Brunnen mittels Ultraschall im halbtechnischen Maßstab. bbr 11/2002, S. 22ff

WILKEN, R.-D. (2000): Zur Reinigung von Brunnen mit Ultraschall unter Druck.- bbr 1/2000, 32-36.

WILKEN, R.-D., BOTT, W. (2002): Well regeneration by powerful ultrasound.- In: Neis (ed.): Ultrasound in environmental engineering II, TUHH Reports on sanitary engineering, 35, 159-172, Hamburg.

Diplomarbeiten (chronologisch)

HUG, N. (1997): Brunnenregenerierung durch Ultraschall. Experimentelle Untersuchungen zu Wirkungsweise und Einflussfaktoren. Diplomarbeit Johannes Gutenberg-Universität Mainz. 155 S.

SMOLIANSKIS, N. (2002): Brunnenreinigung durch Ultraschall: Experimentelle Untersuchungen des Ultraschallfeldes in einem Modell-Trinkwasserbrunnen.- Diplomarbeit an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, unveröffentlicht.

KLEIN, P. (2002): Experimentelle Untersuchung von Einflussfaktoren bei der Brunnenregenerierung mittels Ultraschall. 69 S. Diplomarbeit an der Fachhochschule Wiesbaden. unveröffentlicht.

WIACEK, H. (2003): Brunnenreinigung mittels Ultraschall: Validierung von Laborergebnissen im Praxiseinsatz.- Diplomarbeit an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, unveröffentlicht.

BRAUER, S. (2003): Modellversuche zur biologischen Brunnenalterung und Brunnenregenerierung mittels Ultraschall. 66 S. Diplomarbeit an der Fachhochschule Wiesbaden. unveröffentlicht.

IV 'Developing a method for well generation by ultrasound', uit Annual Report 2002 ESWE

8. Developing a method for well regeneration by ultrasound

Project: EBRU
Duration: 05/01 – 04/03
Awarding authority: Deutsche Bundesstiftung Umwelt, DBU
Execution: DBU
Responsible: Dr. Wolfgang Bott, now **Dipl.-Geol. Hella Wiacek**
+49 611 – 23605 32 hella.wiacek@ESWE.com



Objectives of project

This study should lead to an advanced technology for well regeneration without chemicals. For that purpose the efficiency of the ultrasound method gets examined by laboratory tests in a model-well and field attempts at real drink water wells. The results show the success of a well regeneration by ultrasound method.

Abstract

After a certain time in operation wells are getting clogged by physical, chemical, and biological processes and the water discharge is declining. This leads to the necessity of well regeneration in order to maintain original well conditions and are linked to major investments. The environmental consciousness of well owners leads to non chemical treatment. The ultrasound method is an environmentally friendly new technique for that purpose, which is tested and improved in our project.

Together in a close co-operation with the BRM GmbH Well-Rehabilitation Rhine-Main-Lake Constance from Wächtersbach, the ESWE-Institute has initiated this research project. It is subdivided into an experimental part in the laboratory and a practical part in the field. At first a special experimental device, which we named URSEL: **U**ltrasound **R**egeneration **S**ystem in **ESWE**-Institute **L**ab, was constructed for the determination of the influences of different parameters on well regeneration by ultrasound. In this system, we can easily change pressure (up to 20 bars), duration of sonic, frequency and the material of gravel and filter pipe to find the optimum setting for well regeneration by the ultrasound technique.

We measure sound intensities in filter pipe and surrounding filter gravel with hydrophones and determine efficiency of ultrasound cleaning of coated gravel by the measurement of turbidity during each experiment. This coated gravel can be positioned with special probe containers at each possible location in the filter gravel.

The results, obtained by these experiments, will be used to plan field tests at different wells to confirm the determinations. Statistical analyses of data from older well regenerations by ultrasound will contribute to a successful prediction of the possibility to use this regeneration method.

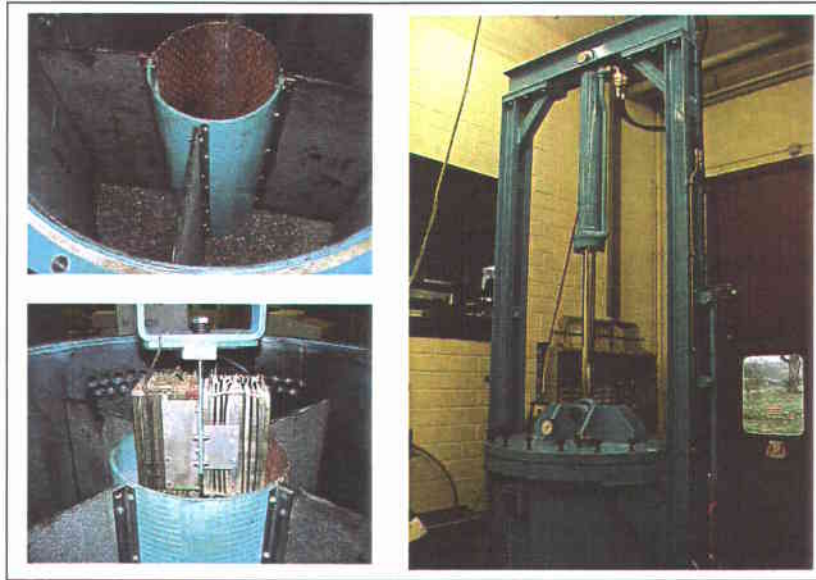
Major results up to now are that ultrasound force is effective for well regeneration and reaches up to 25 cm into the filter gravel. Cavitation is not one of the major effects. Efficiency of ultrasound method is higher the higher the hydrostatic pressure in the device is. Different materials of filter pipe damps ultrasound with different strength. We found for the used filter pipes the highest efficiency behind PVC-filter, a lower behind steel-slit-filter and the lowest behind OBO-wood-filter. Both, measurement of ultrasound intensities and turbidity show the same results.

In our opinion ultrasound is a good method for well regeneration and may be used more and more in future.

Our Projects

EBRU: Well Regeneration by Ultrasound

BIM: Drinking Water and Natural Radioactivity, Measures for new German Drinking Water Directive



The Test-Unit with filter tube, ultrasound device, pressure unit

Dr. Wolfgang Bott / Dipl.-Geol. Hella Wiacek

V Regeneration mit Ultraschall, hoofdstuk 9 uit rapport Kaulitzky

Kaulitzky, J. (1999): Untersuchungen zur Regeneration herkömmlicher und neuartiger Filtermaterialien zur Tiefenfiltration trübstoffbelasteter Wässer. 169 S. Gerhard-Mercator-Universität - GH Duisburg. (pag 114 t/m 124)

9. Regeneration mit Ultraschall

Als alternatives Regenerationsverfahren zu einer herkömmlichen Wasserspülung wurde die Möglichkeit einer Regeneration der beladenen PSK mit Ultraschall untersucht. In der Versuchsanlage (vgl. Bild 7.1) mit einer Filtersäule von 284 mm Durchmesser wurde ein Ultraschallwandler-Modul so installiert, daß die beladenen PSK mit Ultraschall direkt in der Filtersäule gereinigt werden konnten. Das Wandler-Modul in Flanschbauweise wurde anstelle eines Düsenbodens zwischen Reinwasserkammer und Filtrationsraum eingebaut. Bild 9.1 zeigt, daß das Wandler-Modul aus 3 parallel zu betreibenden Stabwandlern besteht, die den erzeugten Ultraschall mit einer Frequenz von 44 kHz in Richtung des Filtrationsraums abstrahlen. Die Flächen zwischen den Stabwandlern sind mit engmaschigen Gittern belegt, so daß die PSK im Filtrationsbetrieb der Versuchsanlage sowohl auf den Ultraschall-Stabwandlern als auch den Gittern liegen. Die Gitter zwischen den Stabwandlern dienen neben der Fixierung der PSK auch dem Passieren des Filtratstromes bzw. während der Regenerationsphase des Spülwasserstromes.

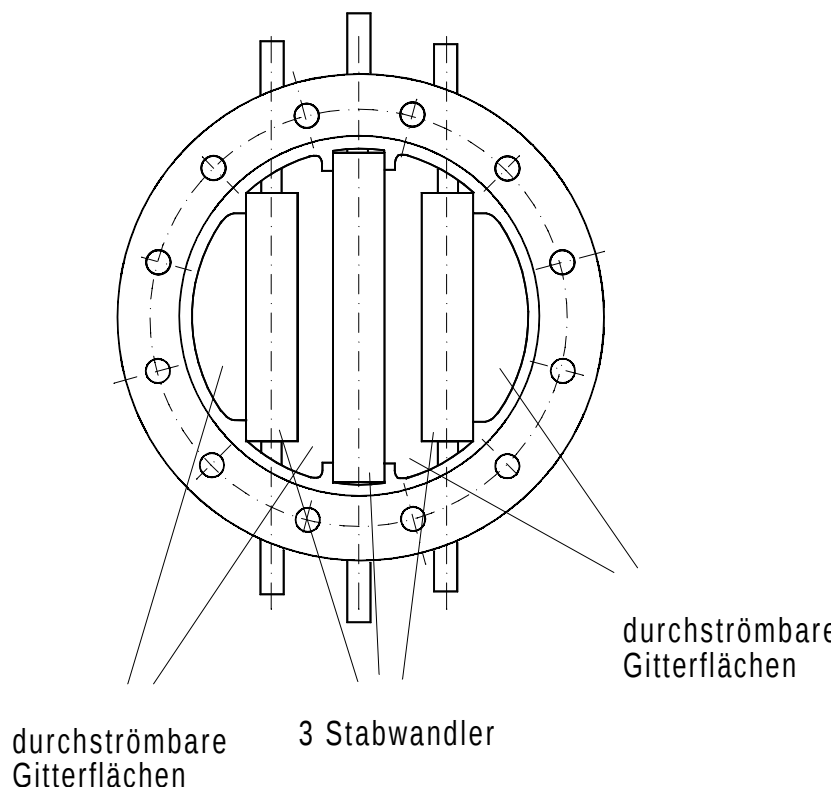


Bild 9.1: Darstellung des Ultraschallwandler-Moduls, das in der Filtersäule zur Reinigung der PSK installiert wurde.

Die Stabwandler bestehen aus 5 bzw. 7 parallel geschalteten Ultraschallwandlern, die wegen ihrer charakteristischen Bauform auch als Tonpilze bezeichnet werden (vgl. Bild 9.2). Kernstück der Tonpilze sind Piezokristalle, die mit einem Bolzen zwischen zwei Stahlmassen

verspannt werden. Legt man eine periodische, z. B. sinusförmige Spannung an die Piezokeramik, so reagiert die Keramik mit einer Dickenänderung, die je nach Vorzeichen der angelegten Spannung eine Kontraktion oder Expansion darstellen kann. Wechselt die angelegte Spannung ihr Vorzeichen mit hoher Frequenz, z. B. 44 kHz wie bei den vorliegenden Versuchen, so reagiert der Ultraschallwandler wie ein durch einen Motor zu Schwingungen angeregtes Feder-Masse-System. Der Vorspannbolzen ist hier als die Feder und die Piezokeramik als der Antriebsmotor aufzufassen. Der Tonpilz ist so konzipiert, daß die Schwingungsbewegungen des Tonpilzes sich einseitig als Schallwellen ins umgebende Wasser fortpflanzen.

Die Signalform, mit der der Tonpilz angeregt wird, wird für die Ultraschallreinigung als sehr wesentlich angesehen. Neben der Verwendung eines kontinuierlichen Sinussignales findet man in der Praxis der Ultraschallreinigung sogenannte Doppelhalbwellensignale, die zu besseren Reinigungsergebnissen führen sollen. Bei dieser Betriebsweise wird die Spannungsamplitude des sinusförmigen Signals während der positiven Halbwelle der 50 Hz Netzfrequenz um den Faktor $\sqrt{2}$ verstärkt und verschwindet während der negativen Halbwelle. Im Mittel bleibt die eingetragene Wirkleistung gegenüber einem Sinusbetrieb zwar gleich, jedoch steigt die eingetragene Ultraschalleistung während der Beschallungsphasen um den Faktor 2. Diese Signalform müßte daher ein deutlich besseres Reinigungsergebnis erwarten lassen.

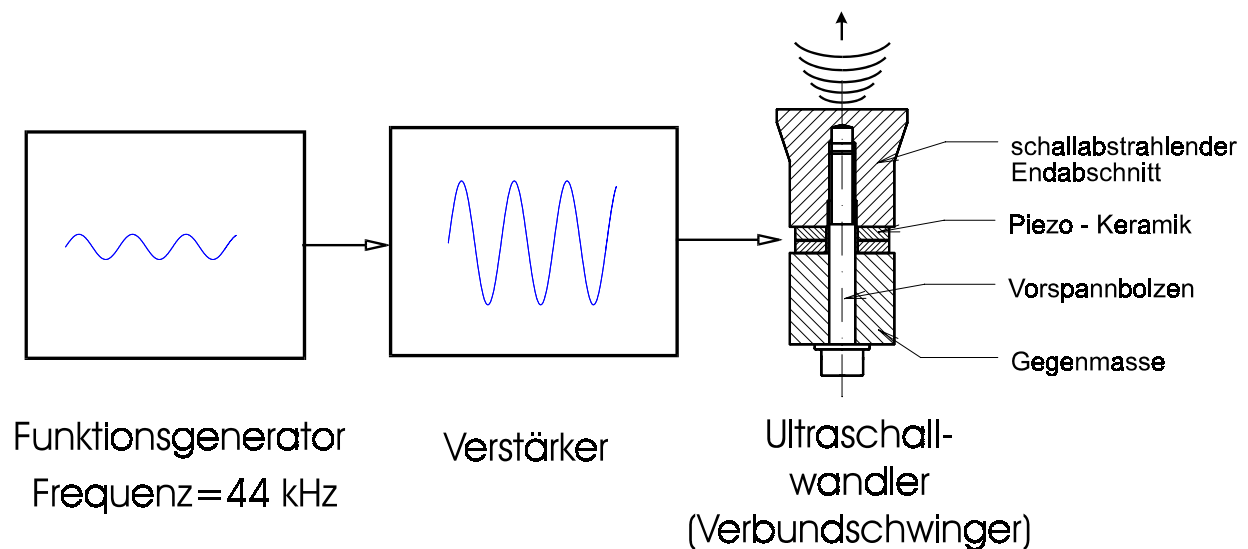


Bild 9.2: Prinzip der Ultraschall-Erzeugung

In den Versuchen zur Regeneration der PSK werden sowohl ein Sinussignal als auch Doppelhalbwellensignale verwendet. Die Signale werden im weiteren nicht kontinuierlich eingetragen sondern in einem sogenannten Burstbetrieb. Hier folgt einer Beschallungsphase von bspw. 10 sec eine Phase von 10 sec ohne Beschallung. Weitere für die Ultraschallreinigung wesentliche Parameter sind in Tabelle 9.1 zusammengefaßt.

Tabelle 9.1: Betriebsparameter für die Ultraschallreinigung

Arbeitsfrequenz der Ultraschallwandler	44 kHz
effektive Leistung	einstellbar bis 1700 W
Wandlerfläche	1 x 118 cm ² + 2 x 87 cm ²
Reaktorvolumen	21 dm ³
Signalformen der Ultraschallerzeugung	Sinus oder Doppelhalbwelle
Betriebsweise der Ultraschallwandler	unterbrochener Betrieb: 10 sec an / 10 sec aus
Säulendurchmesser	284 mm
Spülwassergeschwindigkeit	31,6 m/h

9.1 Versuche zur Ultraschallreinigung

Zur Beurteilung der Reinigungsleistung von Ultraschall wurden mehrere Versuchsreihen durchgeführt, die den Einfluß der wesentlichen Verfahrensparameter deutlich machen sollten. Neben der erforderlichen Ultraschalleistung für eine vollständige Reinigung sollte insbesondere untersucht werden, welchen Einfluß die Hauptparameter des permeablen Kollektors, d. h. Durchmesser und Porosität des PSK, auf den Reinigungsprozeß haben. Man erhält somit die Möglichkeit, einen synthetischen Kollektor im Sinne einer Gesamtoptimierung aus guter Abscheideleistung und Regenerierbarkeit auszuwählen bzw. zu konzipieren. Weiterhin war zu prüfen, inwieweit durch die Verwendung des Doppelhalbwellenbetriebes eine Verbesserung der Reinigungsleistung erzielt werden kann.

Die Versuchsreihen wurden folgendermaßen durchgeführt:

- gleichmäßige, definierte Beladung der PSK im Filter (Kreislaufbetrieb) mit einer Kalziumkarbonatsuspension bis die Trübung im System unter 10 FNU lag
- Regeneration der PSK durch Ultraschall und gleichzeitiger Wasserspülung mit ca. 32 m/h im Aufstrom

Während der Reinigung wurde das obere Gitter in seiner oberen Endposition fixiert (vgl. Bild 7.1), so daß die permeablen Kollektoren unter dem Einfluß der Wasserspülung und des Ultraschallfeldes sich z. T. sehr intensiv bewegen konnten. Der dominierende Einfluß auf die Bewegungen des Bettes ist dabei dem Schallstrahlungsdruck zuzuschreiben. Das führt dazu, daß in den Beschallungsphasen das Bett angehoben wird und in den Beschallungspausen langsam sedimentiert. Durch diesen als Burst bezeichneten Betriebsmodus (An/Aus der Beschallung im Zeitverhältnis 10 sec/10sec) wird das PSK-Bett intensiv durchmischt und immer wieder beladene und somit relativ schnell sedimentierende PSK in die Zonen stärkster Reinigungswirkung an den Ultraschallwandlern transportiert. Optimal eingestellte Beschallungs- und Pausenzeiten können insofern auch die Effektivität der Ultraschallreinigung steigern, was allerdings nicht weiter verfolgt werden konnte.

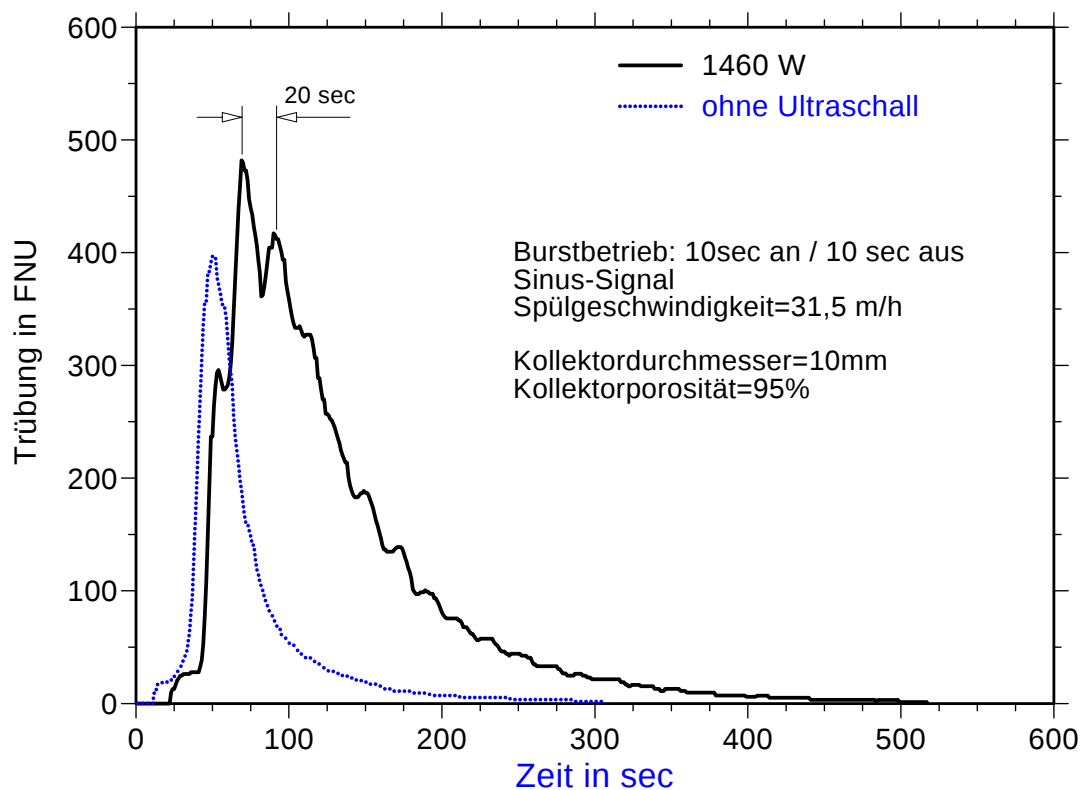


Bild 9.3: Trübung im Spülabwasser bei einer Regeneration der PSK durch eine reine Wasserspülung und durch eine Ultraschall-Spülung beim Material I60-10mm

Zur Quantifizierung der abgelösten Beladung wurde die Trübung im Spülabwasser kontinuierlich ermittelt (vgl. Bild 9.3) und mit dem im Kapitel 7.1.1 beschriebenen Verfahren durch die Trübungsmessung die abgelöste Masse bestimmt. Prinzipiell kann man sagen, daß eine Steigerung der eingetragenen Ultraschalleistung zu einem Anstieg des Trübungspeaks und somit der insgesamt abgelösten Beladung führt. Die Trübungsmessung wurde auch dazu verwendet, den Spülwasserverbrauch zu bestimmen. Dazu wurde im Spülabwasser eine Resttrübung von 20FNU definiert, bei dem die Reinigungsphase als abgeschlossen gilt.

9.2 Versuchsergebnisse zur Ultraschallreinigung

In Bild 9.4 sind die Untersuchungsergebnisse zum Einfluß der Ultraschalleistung auf den permeablen Kollektor I60-10mm mit einer Porosität von 95% dargestellt. Es wird deutlich, daß erst ab einer Leistung von 50 W eine Steigerung der ablösbaren Beladung gegenüber der unbeschallten Regeneration (nur Wasserspülung) erkennbar wird. Nach einem schnellen Anstieg der ablösbaren Beladung bis zu einer Leistung von ca. 300 W, bei der schon mehr als 90 % der Beladung abgelöst werden kann, führt eine weitere Steigerung der Ultraschalleistung zu lediglich noch geringen Verbesserungen des Reinigungsergebnisses. Ab einer Leistung von ca. 1000 W kann die Regeneration als vollständig betrachtet werden. Die in Bild 9.4 ebenfalls dargestellte Kurve zum spezifischen Spülwasserverbrauch in m^3 je m^2 Filterfläche zeigt zunächst einen steilen Anstieg mit einem Maximum der Verbrauchskurve.

Der Anstieg ist mit dem gleichzeitigen steilen Anstieg der ablösbaren Beladung zu erklären: es muß mehr Spülwasser zum Abtransport der abgelösten Beladung aufgewendet werden. Der langsame Abfall der Verbrauchskurve nach Durchlaufen des Maximums trotz steigender ablösbarer Beladung belegt, daß die Ablösung der Beladung mit steigender Leistung effektiver, d. h. schneller, erfolgt.

Durch Verminderung der Kollektorporosität von 95% auf 91% (Kollektor I100-10mm) wird die Regenerierbarkeit der PSK durch Ultraschall deutlich schlechter (Bild 9.5), was sich in höheren Restbeladungen und einem höheren Spülwasserverbrauch äußert. Um bspw. eine Ablösung von 80% der Beladung zu erzielen, müssen bei dem Material mit 95 % Porosität ca. 150W und bei dem Material mit 91% Porosität ca. 350W, also mehr als die doppelte Leistung, aufgewendet werden.

Vermindert man bei dem mit 91% Porosität vergleichsweise schwierig zu reinigenden Kollektormaterial den Kollektordurchmesser von 10 mm auf 6mm, wird die Regenerierbarkeit dagegen sehr viel stärker verbessert, als wenn die Porosität bei gleichem Durchmesser von 91% auf 95% gesteigert wird (Bild 9.6). Eine Entfernung von 95 % der Beladung wird bei dem PSK mit 6 mm bei einer Leistung von 100 W, d. h. lediglich 10% der Leistung für eine 95%ige Regeneration der 10mm großen PSK, erzielt. Im weiteren ist der Spülwasserverbrauch für eine vollständige Regeneration der 6mm PSK um ca. 30% niedriger als bei den 10 mm PSK.

In den bisher dargestellten Versuchen sind die Ultraschallwandler sinusförmig erregt worden. Um die Wirkung des Doppelhalbwellenbetriebes auf die Reinigungswirkung zu prüfen, wurden am Beispiel der 10mm großen PSK vom Typ I60-10mm (95% Kollektorporosität) Vergleichsmessungen durchgeführt (Bild 9.7). Man erkennt überraschenderweise, daß sich die Untersuchungsergebnisse von Sinus- und Doppelhalbwellenbetrieb weder hinsichtlich Restbeladung noch Spülwasserverbrauch unterscheiden. Der in der Regel bei Reinigungsbädern verwendete Doppelhalbwellenbetrieb konnte bei der Regeneration von PSK keine Vorteile aufzeigen, obwohl beim Doppelhalbwellenbetrieb in 50Hz-Perioden die eingetragene Ultraschalleistung kurzfristig (für 10 msec) doppelt so hoch wie beim Sinusbetrieb wird.

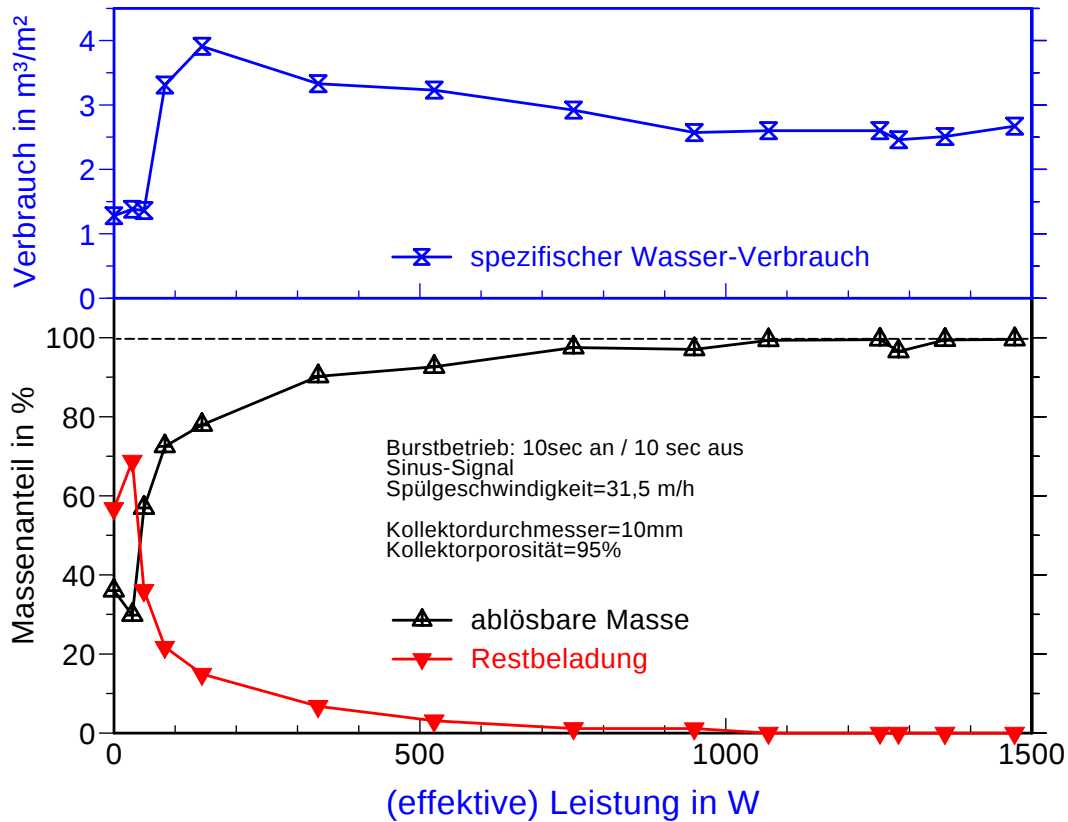


Bild 9.4: Einfluß der eingetragenen Ultraschalleistung auf die Regeneration der I60-10mm.

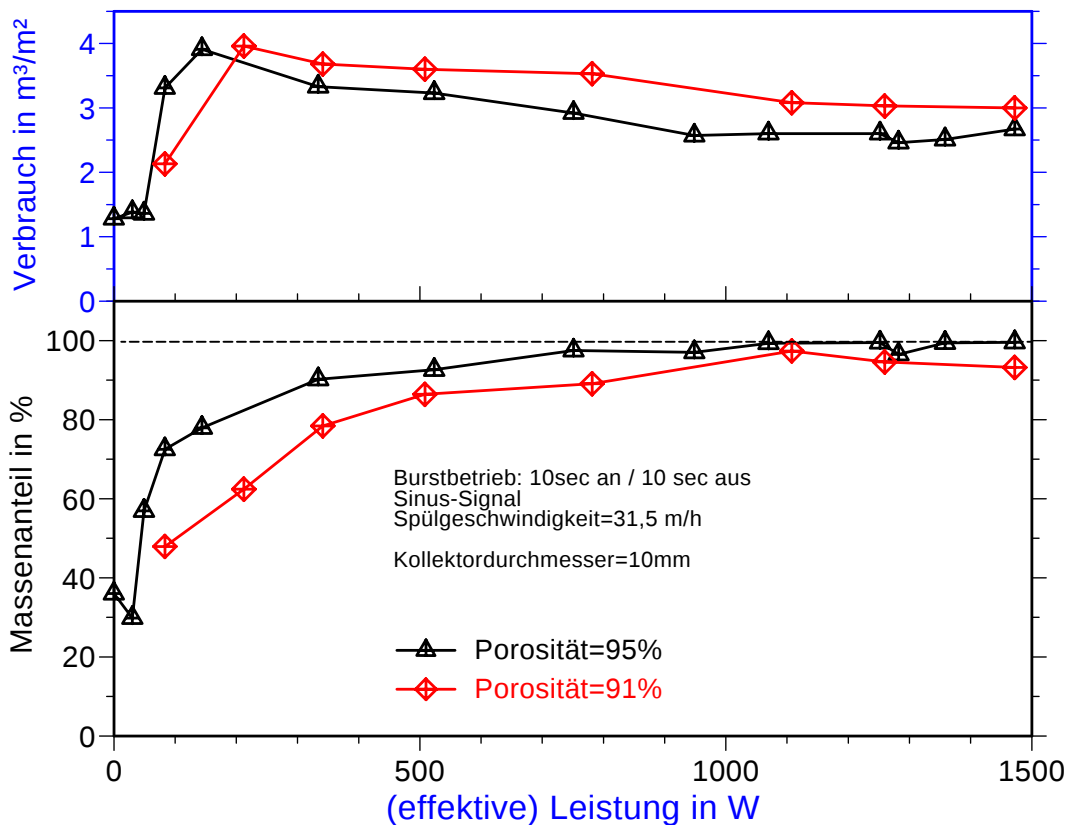


Bild 9.5: Einfluß der Kollektorporosität auf die Regeneration von PSK der Typen I60-10mm und I100-10mm.

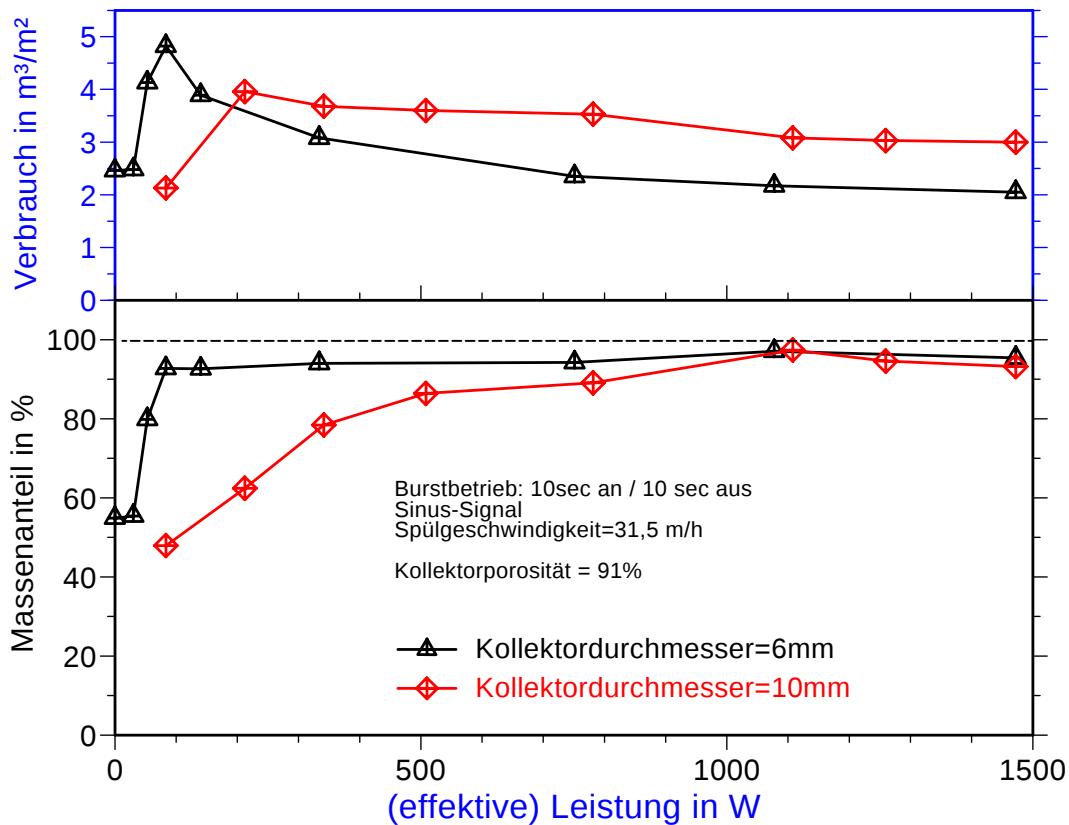


Bild 9.6: Einfluß des Kollektordurchmessers auf die Regeneration der PSK vom Typ I100-10mm und I100-6mm

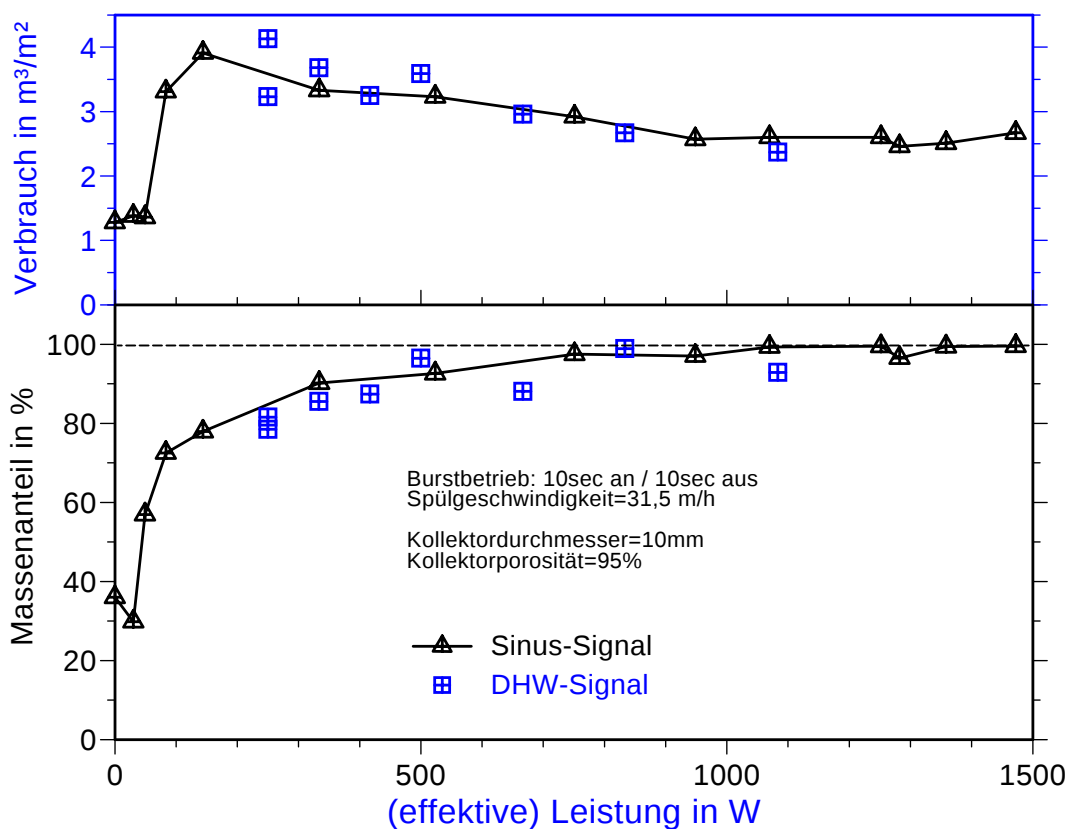


Bild 9.7: Einfluß der Signalform der Ultraschallerzeugung auf die Regeneration der PSK bei I60-10mm

9.3 Mechanismen der Trübstoffablösung durch Ultraschall

Unter der Einwirkung eines Ultraschallfeldes führen die Fluidelemente des Wassers periodische Bewegungen um eine Ruhelage aus, die umso heftiger werden, je größer die dazu aufgewendete Ultraschalleistung wird. In Tabelle 9.2 sind beispielhaft die physikalischen Zustände zusammengefaßt, die sich für den Fall einer eindimensionalen Wellenausbreitung in Abhängigkeit der eingetragenen Leistung einstellen (vgl. Anhang A9.1). Die mittlere Leistung ist hier als relative Größe bezogen auf die schallabstrahlende Fläche, als sogenannte Schallintensität, angegeben. Die Tabelle 9.2 gibt einen realistischen Intensitätsbereich wieder, wie er bei den Versuchen an den Wandleroberflächen auch vorlag.

Tabelle 9.2: Übersicht über die Größenordnungen der stationären Schallfeldgrößen bei 44 kHz

Intensität in W/cm ²	Schalldruckamplitude in bar	Schnelleamplitude in m/h	Bewegungsamplitude in µm
0,5	1,21	295,2	0,295
1	1,73	421	0,422
2	2,43	590	0,593
4	3,44	835	0,839
5,7	4,10	993	1,000

Vergleicht man die Größenordnung der Schnelleamplitude in Tabelle 9.2 mit den erforderlichen Strömungsgeschwindigkeiten zur Ablösung der Beladung von den Kollektormatten in Bild 6.9, so läßt sich hierdurch schon eine weitgehende Ablösung der Beladung auf einer frei zugänglichen Oberfläche erwarten. Die Beladung der permeablen Kollektoren befindet sich allerdings auf den Faseroberflächen im Inneren des permeablen Kollektors, so daß eine freie Zugänglichkeit für den Ultraschall sicherlich nicht vorliegt.

Neben den geschilderten Primärwirkungen des Ultraschallfeldes ergibt sich eine für die Reinigung sehr wesentliche Sekundärwirkung, die sogenannte Kavitation. Sie kann Fluidbewegungen erzeugen, die um Zehnerpotenzen höhere Geschwindigkeiten und Drücke zur Folge haben als die Primärwirkung. Ursache für die Kavitation sind in natürlichen Wässern vorhandene mikroskopisch kleine Gasblasen, die bei Einwirkung eines Druckfeldes in den Unterdruckphasen stark vergrößert und in den Druckphasen komprimiert werden.

Die im Ultraschallfeld entstehenden stationären Blasenschwingungen können mit einer erstmals von NOLTINGK und NEPPIRAS (KUTTRUFF, 1988) angegebenen Differentialgleichung für den Blasenradius berechnet werden (vgl. Anhang A9.2). Die hier vorgestellten Berechnungsergebnisse dürfen aber lediglich als phänomenologische Deutung der äußerst komplexen Vorgänge aufgefaßt werden. Auf der Grundlage der sogenannten NOLTINGK-NEPPIRAS-Gleichung sind in Bild 9.8 für eine Kavitationsblase von anfänglich 10µm die zeitlichen Änderungen des Blasenradius und der Verschiebungsgeschwindigkeit der

Blasenwand, die formal als Radialgeschwindigkeit der Blasenwand aufzufassen ist, berechnet worden. Man erkennt, daß die Blasenwand für den gewählten Parametersatz mit einer Schalldruckamplitude von 1,21 bar und einer Frequenz f des anregenden Ultraschallfeldes von 44 kHz Geschwindigkeiten bis zu ca. 150 m/sec (=540.000 m/h) erreicht. Aus einem Vergleich mit den Versuchsbedingungen zur ablösbaren Beladung an Kollektormatten in Kapitel 6., bei denen mittlere Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 200 m/h eingestellt wurden, lassen sich aufgrund der extremen lokalen Strömungsgeschwindigkeiten bei einer kavitierenden Gasblase noch weitaus bessere Reinigungsergebnisse absehen. Dabei werden am Rand der kavitierenden Blase Drücke bis zu 100 bar im Fluid erreicht, die z. B durch Druckkräfte auf die Beladung oder mechanische Deformationen der Faseroberflächen, einen zusätzlichen Beitrag zur Ablösung leisten. Die Modellrechnungen zeigen im weiteren auch, daß schwingende Kavitationsblasen an ihren Oberflächen ca. die 1.800-fache Maximalgeschwindigkeit und ca. das 80-fache des Maximaldruckes des stationären Ultraschallfeldes erreichen (vgl. Tabelle 9.2) und somit im Vergleich zum stationären Ultraschallfeld erheblich wirksamer im Hinblick auf die Ablösung von Partikeln von einer Oberfläche einzuschätzen sind.

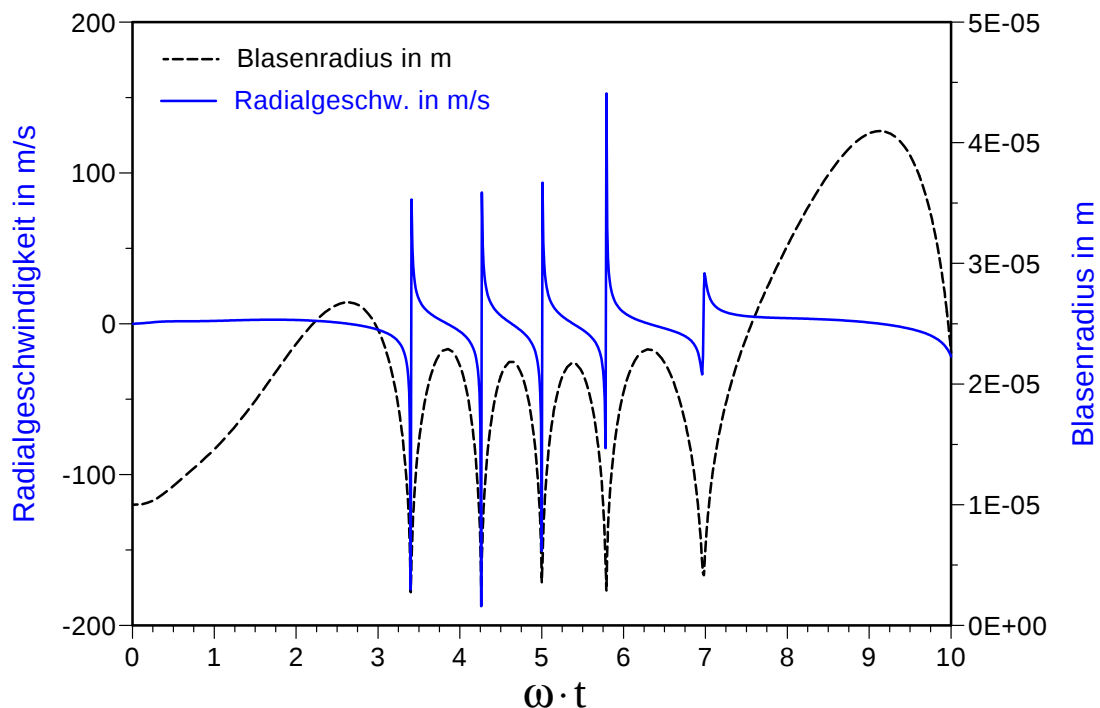


Bild 9.8: Bewegungen einer Kavitationsblase im Ultraschallfeld (Frequenz $f = 44\text{kHz}$, Schalldruckamplitude = 1,21 bar, statischer Druck = 1,1 bar, Anfangsradius = $10\mu\text{m}$, Kreisfrequenz $\omega = 2\pi f$)

Die Erhaltungsgleichungen für die Masse und den Impuls der Flüssigkeit ermöglichen im weiteren auch die Berechnung des Druck- und Geschwindigkeitsfeldes in der umgebenden Flüssigkeit (vgl. Anhang A9.2). Es läßt sich hier zeigen, daß die Strömungsgeschwindigkeit bei Annahme eines inkompressiblen Fluids proportional zum Kehrwert des Abstandes zur

kavitierenden Blase zum Quadrat abnimmt. Die von der Blase ausgesendeten Druckwellen nehmen näherungsweise proportional zum Kehrwert des Abstandes ab (vgl. Gl. A9.32).

Bild 9.9 verdeutlicht die Bedeutung des Abstandes auf das Geschwindigkeitsfeld in dem die Blase umgebenden Fluid. Für die Regeneration der PSK mit Ultraschall bedeutet dies im Hinblick auf die Ablösemechanismen, daß eine Kavitationsblase für eine gute Reinigungswirkung in hinreichender Nähe zur beladenen Faseroberfläche vorliegen muß.

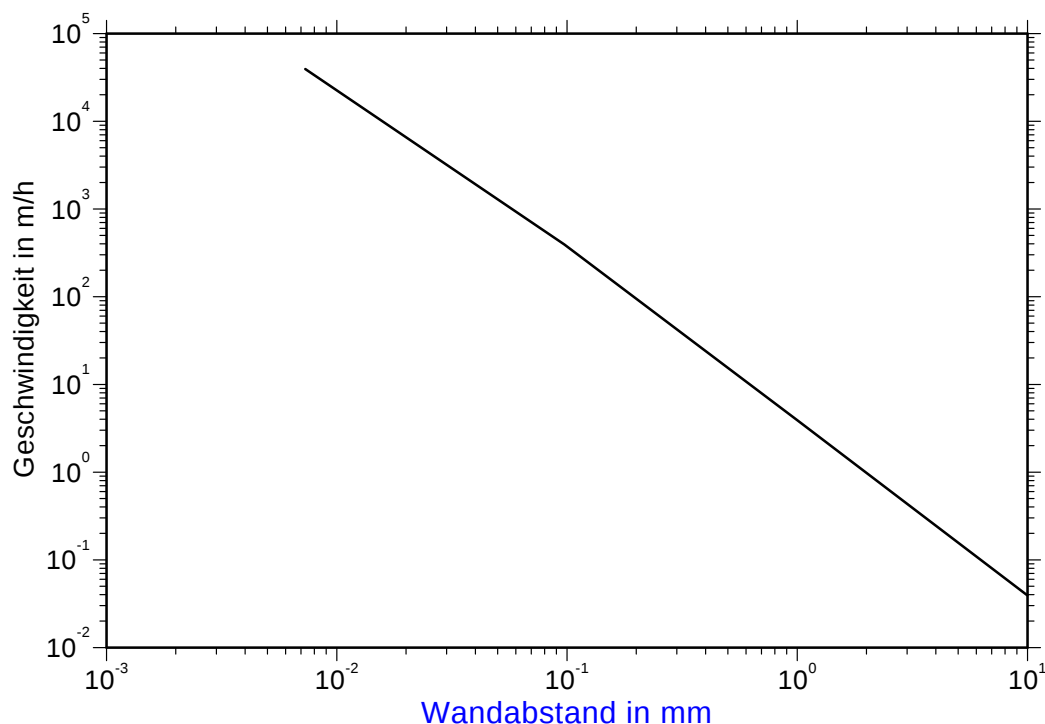


Bild 9.9: Einfluß des Abstandes von einer Kavitationsblase auf die lokalen Strömungsgeschwindigkeiten im umgebenden Fluid bei einer Radialgeschwindigkeit der Blasenwand von 150 m/sec

Die durchgeführten Versuche zur Regeneration von PSK durch Ultraschall zeigten, daß neben der verwendeten Ultraschalleistung die Hauptparameter der PSK, d. h. ihre Größe und Porosität, einen z. T. überragenden Einfluß auf die Regenerierung haben. Da die Regenerierbarkeit umso schlechter wird, je dichter und Größer die PSK werden, bestimmen diese beiden Größen quasi die Eindringtiefe des Ultraschalls in den Kollektor. Darunter kann man die Dämpfung und Auslöschung der auf den Kollektor einwirkenden Schallwellen mit zunehmender zu durchstrahlender Schichtdicke des Schaumstoffes verstehen. Da Polyurethan als Polymerwerkstoff keine ideal elastischen Eigenschaften hat, sondern stark dissipativ ist, wird mit steigendem Polymeranteil im PSK, d. h. abnehmender Porosität, die für die Kavitation erforderliche Ultraschallenergie zunehmend in Wärmeenergie innerhalb des Polymers umgesetzt. Die Porosität und der Durchmesser des Kollektors beeinflussen also beide die Zugänglichkeit des Ultraschalls zu den beladenen Fasern im Inneren des Kollektors.

Hinsichtlich der Idee einer Gesamtoptimierung aus guter Abscheideleistung und guter Regenerierbarkeit bedeutet dies, daß für die Ultraschallreinigung der Kollektordurchmesser und die Kollektorporosität als die freien Optimierungsparameter aufzufassen sind. Gleichzeitig stellt die eingesetzte Ultraschalleistung einen Parameter für eine zusätzlich zu formulierende Kostenoptimierung dar, da mit zunehmender Leistung das Spülwasseraufkommen und somit die Nachentsorgungskosten vermindert werden können, aber gleichzeitig die Energiekosten zum Betrieb der Ultraschallanlage sowie deren nicht unerheblichen Investitionskosten ansteigen.

Die verminderte Zugänglichkeit des Ultraschalls in die inneren Bereiche des PSK führt dazu, daß im Inneren der PSK die extrem reinigungswirksamen Kavitationsblasen nicht entstehen können, sondern lediglich in den Randzonen des PSK gebildet werden. Wie die vorgestellten Ergebnisse der Modellrechnungen über Kavitationsblasen weiter zeigten, nehmen die durch die Kavitation ausgelösten Drücke und Fluidgeschwindigkeiten mit zunehmenden Abstand vom Rand der Kavitationsblase schnell ab. Diese Zusammenhänge führen dazu, daß für einen wirtschaftlich vertretbaren Einsatz der Ultraschallreinigung die PSK einen nicht wesentlich größeren Durchmesser als 6 mm, keinesfalls jedoch über 10 mm haben sollten.

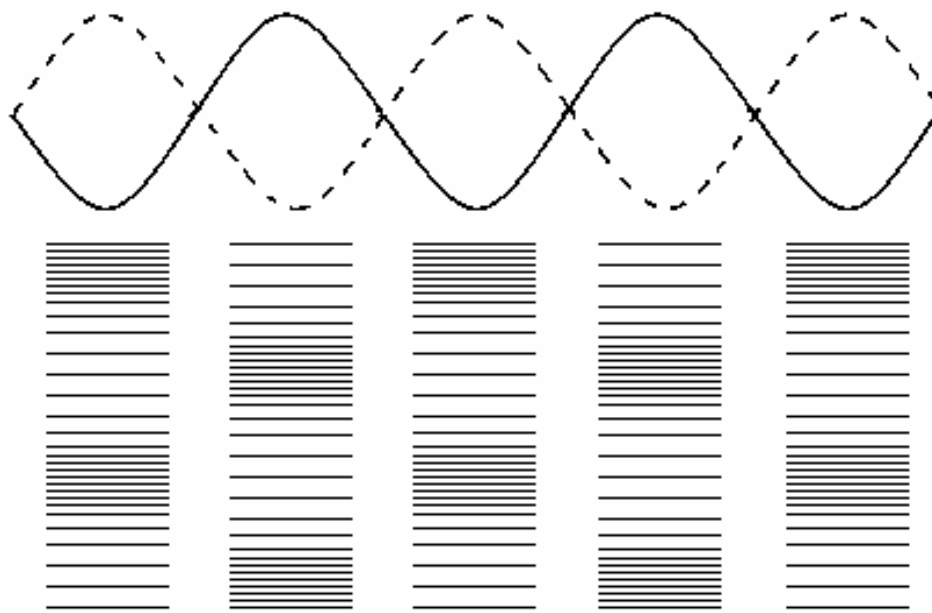
VI Onderzoek naar Ultrasonische Waterwin- putregeneratie (Q-flow rapport)

Referentie:

Onderzoek naar Ultrasonische Waterwinputregeneratie; Resultaten 2003.

Door J.Nijkamp en ir. R.R Boersma, 16 januari 2004

Onderzoek naar Ultrasone Waterwinputregeneratie



RESULTATEN 2003

Door : J. Nijkamp (stagiair), ir. R.R. Boersma
Firma : Q-flow B.V.

16 januari 2004

SAMENVATTING

In het kader van de ontwikkeling van nieuwe technieken bij Q-flow BV, is verkennend onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van toepassing van ultrasoon geluid bij het regenereren van waterwinputten.

Ultrasonische regeneratie berust op verschillende principes. Eén van die principes is cavitatie. Dit fenomeen treedt op tot een bepaalde waterdiepte. Beneden die diepte is de hydrostatische druk te groot voor het ontstaan van cavitatiebelletjes. Toch heeft ultrasonische reiniging ook op grotere dieptes een reinigende werking. Hier zijn andere mechanismen verantwoordelijk voor. Ten gevolge van drukverschillen ontstaan spanningen op de grensvlakken van vuil en onderliggende laag, waardoor het vuil los raakt. Verder heeft ultrasoon geluid een dodende werking op micro-organismen en een vernietigende werking op celwanden van bacteriën.

Voor een eerste kennismaking met de techniek is door een leverancier van ultrasonische reinigungsapparaten een module ter beschikking gesteld aan Q-flow. De module bestond uit een generator met een vermogen van 1900 Watt en een buisvormige sonde.

Met de module zijn verschillende testen uitgevoerd, zowel in een winput als in een proefopstelling. Een eerste test is uitgevoerd bij waterwinput 78-24 van pompstation Hoge Hexel. De waargenomen resultaten waren nihil en vandaar dat besloten is eerst in een proefopstelling verder te testen alvorens door te gaan met onderzoek bij waterwinputten. Voor dit doel is bij Q-flow een proefopstelling ontworpen en gebouwd.

De testen in de proefopstelling bestonden uit twee delen. Tijdens het eerste deel zijn visuele testen gedaan. Hierbij is aluminiumfolie gebruikt om het effect van cavitatie zichtbaar te maken. Er bleek een interferentiepatroon op te treden, met als gevolg dat slechts plaatselijk reinigingseffecten optraden.

Met de oscilloscoop is daarna het geluidspatroon op verschillende hoogtes en afstanden van de ultrasonische sonde in kaart gebracht. Uit de resultaten viel af te leiden dat de intensiteit van de ultrasonische trillingen sterk afneemt als functie van de afstand naar de bron. De gebruikte PVC filterbuis absorbeert de nodige geluidsenergie.

De module was niet krachtig genoeg en had onvoldoende reinigend effect. De behaalde resultaten geven echter voldoende aanleiding om verder te gaan met het onderzoek.

Met diverse leveranciers van ultrasoon apparatuur is inmiddels contact opgenomen. De bedoeling is om met één van deze leveranciers gezamenlijk een ultrasonische bron te ontwikkelen die wel geschikt is voor het regenereren van waterwinputten. De belangrijkste eisen bij het ontwerp zijn, dat de energiedichtheid op de plaats van de vervuiling voldoende hoog is en dat de verdeling van de energie homogeen is.

De gezamenlijk ontwikkelde bron zal bij Q-flow getest worden. Eerst zullen de karakteristieken worden vastgelegd met behulp van de al aanwezige proefopstelling. Bij bevredigende resultaten zullen vervolgens reinigingsexperimenten worden uitgevoerd bij waterwinputten.

Het uiteindelijke doel is te komen tot een volledig geautomatiseerde mobiele ultrasoon reinigungsunit. Het ontwikkelen en bouwen van deze unit zal bij Q-flow worden uitgevoerd.

Inhoudsopgave

1. INLEIDING	3
2. OPZET ONDERZOEK	4
2.1. Onderzoeksvragen	4
2.2. Planning	4
2.3. Herziene planning	5
3. THEORIE	7
3.1. Inleiding	7
3.2. Opwekking	7
3.3. Werking	8
3.4. Cavitatie	9
4. GEBRUIKTE APPARATUUR	13
5. TESTLOCATIES	14
5.1. Winput Hoge Hexel	14
5.2. Proefopstelling	15
6. RESULTAATVERWERKING	17
6.1. Put Hoge Hexel	17
6.2. Proefopstelling, visuele testen	18
6.3. Proefopstelling, oscilloscoop testen	22
7. DISCUSSIE	28
8. CONCLUSIES	30
9. AANBEVELINGEN EN VERVOLGONDERZOEK	32
10. LITERATUURLIJST	33

1. INLEIDING

Tijdens de eerste fase van het project is een uitgebreide literatuurstudie verricht naar ultrasoon geluid in het algemeen en ultrasone reiniging specifiek. De zoektocht leverde verscheidene zeer interessante artikelen op.

Na het theoretische deel, het literatuuronderzoek, volgde het toepassen van de techniek in de praktijk. Eerder opgedane contacten met een leverancier van ultrasoon apparatuur zijn weer opgerakeld. Deze firma stelde kosteloos voor enkele maanden een ultrasone module voor onderzoek ter beschikking. Voor de inzet van deze module is een planning opgezet, om zo een voorspoedig, aaneengeschakeld verloop van het onderzoek te verkrijgen. Het onderzoek dat is uitgevoerd is grotendeels gedaan aan de hand van zes vooraf opgestelde onderzoeksvragen. Door het beantwoorden van deze vragen is getracht alle aspecten van de ultrasone reinigingstechniek te behandelen.

Het onderzoek bestond uit verschillende testen aan een waterwinput en een proefopstelling. Uit de eerste testen in de waterwinput bleek de werking van de ultrasone sonde niet naar behoren te zijn. Na een volgende onvruchtbare test is besloten de oorspronkelijke planning te herzien om allereerst op kleine schaal de gehele module te testen en zonodig enige aanpassingen te (laten) doen. Daarvoor is een proefopstelling gebouwd bestaande uit een buis met een diameter die overeenkomt met die van een normaal boorgat met daarin gecentreerd een filterbuis. In de opstelling kan de sonde geheel ondergedompeld worden en wordt zodoende een reële situatie gecreëerd.

In de proefopstelling is begonnen met enkele visuele testen met aluminiumfolie en vervuilde peilbuizen uit oude winputten. Daarna zijn metingen met een oscilloscoop gedaan om het patroon en de intensiteit van de trillingen te bepalen. Na bespreking van beide soorten testen aan de proefopstelling wordt dit rapport afgesloten met een discussie, een conclusie en tenslotte worden enkele aanbevelingen voor vervolgonderzoek gedaan.

2. OPZET ONDERZOEK

2.1. Onderzoeksvragen

In het onderzoek naar de werking van ultrasonie waterwinputregeneratie staan enkele vragen centraal. Een aantal van deze vragen zijn te beantwoorden na bestudering van de theorie over ultrasonie toepassingen, andere zijn pas te beantwoorden na uitvoerige testen. De onderzoeksvragen die vooraf opgesteld zijn, zijn de volgende:

- Volgens welk(e) principe(s) werkt ultrasonie reiniging?
- Tot welke diepte geeft ultrasonie reiniging resultaat?
- Welke aard van vervuiling verwijdt ultrasonie reiniging?
- Tot welke afstand heeft ultrasonie reiniging een effect in de omstorting?
- Hoe lang moet ultrasonie reiniging per sectie ingezet worden?
- Welke detergentia zijn mogelijk ter verbetering van ultrasonie reiniging?

Om een antwoord te krijgen op deze vragen zijn meerdere tests nodig. Om al deze tests in goede orde uit te kunnen voeren is onderstaande planning opgesteld waarin de uitvoering van de verschillende testen geregeld wordt.

2.2. Planning

Om na de demonstratie door de leverancier van de ultrasonie generator aan de slag te kunnen met het onderzoek naar ultrasonie putregeneratie is een eerste planning opgesteld (tabel 2.1). Aan de hand van deze planning zijn voorbereidingen getroffen om de ultrasonie testen vlot te kunnen laten verlopen. Enkele bijzonderheden die bij de activiteiten naar voren kwamen zijn onder de tabel uitvoeriger beschreven.

Periode	Activiteiten	Bijzonderheid
tot 14 oktober	Voorbereiding ultrasoon Proefopstelling gereed maken*	Theorie verzamelen/lezen Putten reserveren
14-15 oktober	Demonstratie leverancier	Onderdak verzorgen Testlocatie gereed maken
16-31 oktober	Testen aan winputten Proefopstelling gereed maken*	Camera-inspectie voor en na reiniging Regeneratie filterspleten Biomassa IJzer(hydr)oxideneerslag Mangaanoxideneerslag Regeneratie boorgatwand Biomassa Deeltjesaccumulatie IJzersulfideneerslag
3-7 november	Testen aan proefopstelling	Nabootsing veldwerk Invloed detergentia
na 7 november	Rapportage	

* Zie tabel 2.2

Tabel 2.1: Eerste planning ultrasoon onderzoek, dd 30-09-2003

Voor uitvoering van de verschillende activiteiten moest het nodige voorbereid worden. Om de ultrasoon generator te kunnen testen in enkele putten moesten deze allereerst gereserveerd worden. In overleg met Vitens Overijssel zijn meerdere putten aangewezen om gereinigd te worden met ultrasoon geluid. Ten eerste is een put op puttenveld Hoge Hexel, nabij Q-flow, gekozen om de demonstratie uit te kunnen voeren. Het bepalen van de precieze werking van ultrasone regeneratie was één van de voornaamste onderdelen van het onderzoek. Daarom werd het wenselijk geacht om putten met verschillende aarden en plaatsen van verstopping te

Benodigdheden proefopstelling
PVC-buis (3 m. bij 60 cm.)
Kabelgeleider
Filterbuis
Omstortingsgrind
Hydrofoons
Oscilloscoop
Drukflens
Druktoevoer

Tabel 2.2: Benodigdheden

kunnen reinigen. Afgaande op reinigingsgeschiedenis en actuele prestaties zijn vervolgens buitenvelder Espelo, Engelse Werk (Zwolle) en Wierden aangewezen. Deze puttenvelden stonden al op de lijst om geregenereerd te worden en inzet van personeel en materiaal is daarom eenvoudig te regelen. Ook is contact gelegd met Vitens Gelderland en indien nodig kan ultrasone reiniging bij enkele Gelderse putten verder getest worden.

De demonstratie van de ultrasone regeneratie duurde twee dagen. Meer werk vergde het gereed maken van put 78-24 op puttenveld Hoge Hexel voor de demonstratie. Voor het lichten en wederom inbouwen van de put werd een ploeg ingepland en ook voor de camera-inspectie voor- en

achteraf ter bepaling van het resultaat was iemand nodig.

De periode van testen aan de andere winputten is in eerste instantie nog niet ingedeeld. Dit was ten tijde van het opstellen van de planning niet mogelijk omdat de planning voor overige werkzaamheden binnen Q-flow, en daarmee de beschikbaarheid van materiaal en mankracht nog niet bekend was. Aan de hand van globale planning zal kort van tevoren pas bepaald worden welke put ultrasoon gereinigd kan worden. Indien de proefopstelling gereed is, kon hieraan alvast getest worden tijdens periodes dat het niet mogelijk was om winputten te reinigen.

Om na enkele putregeneraties met ultrasoon geluid de aangetroffen omstandigheden te kunnen simuleren is een proefopstelling op het bedrijfsterrein geïnstalleerd. De beste simulatie is er één waarbij de ultrasone sonde net als in een put verticaal in een buis kan hangen. Verder zou het voor nabootsing van de hydrostatische druk op enkele tientallen meters diepte wenselijk zijn dat er druk op de opstelling kon worden gezet.

Een PVC-ombuis is inclusief een filterbuis van kleinere diameter gebruiksklaar gemaakt voor de eerste proeven en geplaatst op het terrein van Q-flow. Voor metingen van bereik en intensiteit van de ultrasone trillingen zijn hydrofoons geleend van de UT.

2.3. Herziene planning

Vanwege het uitblijven van enig resultaat tijdens het ultrasoon reinigen van waterwinput 78-24 op het puttenveld Hoge Hexel en de waargenomen minieme effecten bij testen in een waterbak is besloten de opgestelde planning te veranderen. In plaats van het ultrasoon reinigen van een aantal putten en vervolgens de situaties na te bootsen is gekozen om de ultrasone module eerst aan enkele tests in de proefopstelling te onderwerpen. Ook is een afspraak gemaakt met een monteur van de leverancier om de module na te kijken op gebreken.

Periode	Activiteit
22-26 oktober	Verkennde tests proefopstellingen
27 oktober	Monteur
28 oktober-21 november	Simulerende tests proefopstelling
24-28 november	Putreiniging indien goed testresultaat

Tabel 2.3: Herziene planning, dd 21-10-2003

3. THEORIE

3.1. Inleiding

Onder ultrasoon geluid verstaat men geluid met frequenties die de menselijke gehoorrens te boven gaan. Daar deze gehoorrens per individu verschilt, bestaat er geen scherpe ondergrens voor ultrasoon geluid. In het algemeen wordt over ultrasoon geluid gesproken wanneer de frequentie boven de 20 kHz ligt. Ook de aangenomen bovengrens verschilt nogal eens en ook per medium, maar in het algemeen wordt voor gassen 5 MHz en voor vloeistoffen en vaste stoffen 500 MHz aangenomen. Bij frequenties boven 10 GHz spreekt men over hypersofoon geluid.

In fysisch opzicht verschilt ultrasoon geluid nauwelijks van hoorbaar geluid. De natuurwetten voor het ontstaan en voortplanten van geluidsgolven zijn namelijk onafhankelijk van de frequentie. Echter, door de kleinere golflengtes en de hogere frequenties treden bij ultrasoon geluid effecten op die bij hoorbaar geluid niet of slechts zeer zwak voorkomen. Voorbeelden van zulke effecten zijn materiaalerosie door cavitatie en structuurverandering als gevolg van overbelasting door trillingen [Bott 2002].

Het ultrasone gebied kan ruwweg in twee delen worden opgesplitst. Het eerste deel bestaat uit hoog frequente trillingen (2 tot 10 MHz) met golven van kleine amplitudes. Dit deel van lage energie wordt vooral gebruikt in analyse experimenten. Het tweede deel bestaat uit laag frequente ultrasone trillingen (20 tot 100 kHz) en wordt getypeerd als krachtultrasoon. Het is dit deel dat gebruikt wordt voor schoonmaken (dus ook putregeneratie), kunststoflassen en meer recentelijk voor sonochemie.

3.2. Opwekking

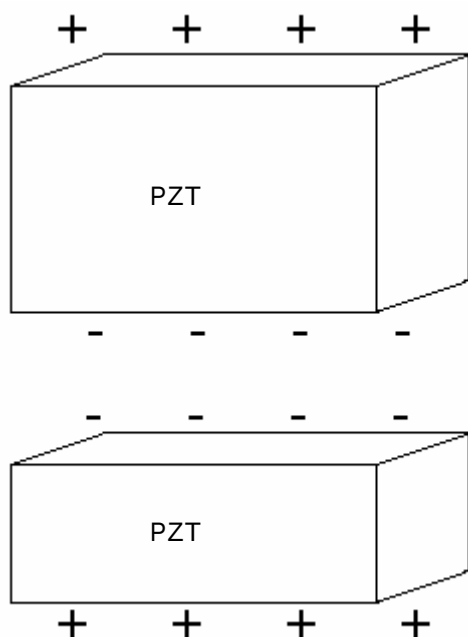
Ultrasoon geluid wordt over het algemeen opgewekt volgens twee verschillende principes, te weten piëzoelektrisch en magnetostriktief.

Een piëzoelektrische ultrasone generator bestaat uit een kristal welke onder invloed van een opgelegde wisselspanning afwisselend uitrekt en inkrimpt (zie figuur 3.1.).

Bij de magnetostriktieve opwekking van ultrasoon geluid, wordt een metaalpakket in trilling gebracht met behulp van een elektromagneet. Deze vorm van ultrasoon geluid heeft een typisch lagere frequentie en hogere uitwijking, versnelling en energieverbruik.

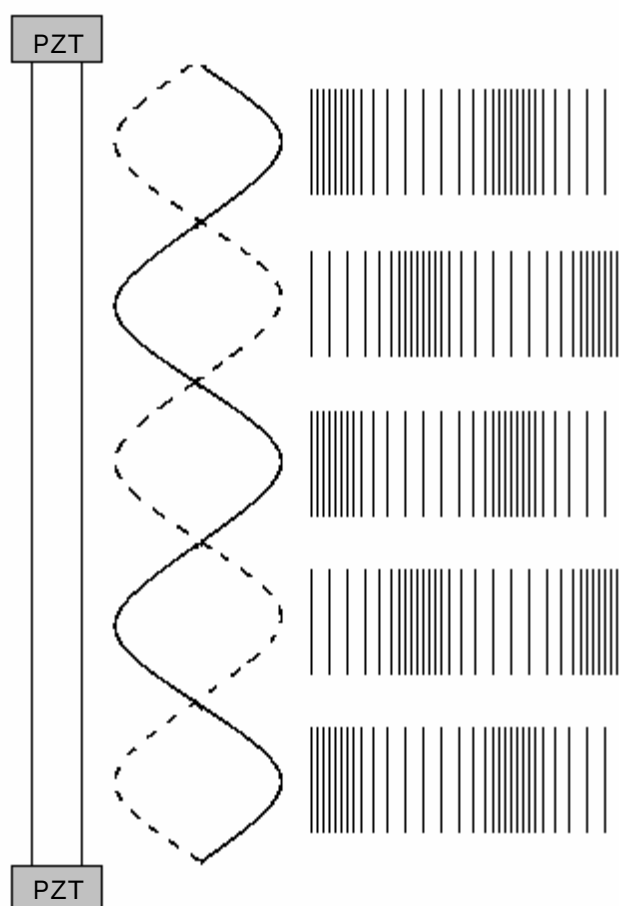
Voor putregeneratie moet de opwekking gebeuren in een smal cilindrisch gebied, namelijk in de filterbuis. Vandaar dat door de leverancier gekozen is voor een staafvormige ultrasone sonde die voor regeneratie in het midden van de stijgbuis dient te hangen.

De opwekking van ultrasoon geluid in de sonde berust op het piëzoelektrische principe. De sonde bestaat uit een buis, waarbij aan weerszijden piëzokeramische elementen zijn geïntegreerd. Deze PZT (Plumbum-Zirkanaat-Titanaat) elementen zorgen voor een longitudinale beweging langs de staaf. Deze komt dan in resonantie en laat radiale geluidsgolven rondom ontstaan (figuur 3.2).



Figuur 3.1: PZT-elementen

Figuur 3.2: Opwekking van ultrasone golven en trillingen



3.3. Werking

De gegenereerde ultrasone geluidsgolven zijn staande golven die geen materie verplaatsen. Ultrasoon geluid heeft daardoor een losmakende en oplossende werking maar laat de filterbuizen en omstorting, mits nog niet beschadigd, intact. De oorzaak hiervan ligt in het feit dat de opgewekte bewegingen uitsluitend op moleculair niveau plaatsvinden. De aanwezige energie manifesteert zich op de vuilafzettingen maar mist de kinetische energie om beschadigingen aan bouw materiaal toe te brengen. De filterbuis wordt niet aangetast en de ligging van het grind verandert niet. Hierdoor is ultrasoon geluid zonder risico voor elke put te gebruiken, mits de put in redelijke staat verkeert.

Langs de geluidsgolven ontstaan cavitatiebelletjes (zie paragraaf 3.4), voornamelijk op de grensvlakken tussen materialen. Een cavitatiebelletje implodeert vervolgens ook weer vooral op een grensvlak en dus tevens op de vuilafzettingen. De hoge temperaturen en druk die bij de implosie ontstaan zorgen ervoor dat de vuilpakketjes los worden gemaakt en na ultrasone behandeling eenvoudig kunnen worden verwijderd met afpompen.

Bij vervuiling van de filterbuis bestaat geen belemmering tussen het vervuilde oppervlak en de ultrasone bron. Hierdoor hebben de trillingen en cavitatiebelletjes vrij spel op de vervuiling en zal deze bij voldoende ultrasone energie en intensiteit goed oplossen. Is er echter sprake van vervuiling op de boorgatwand dan ligt er een gebied met filterbuis en grind tussen de ultrasone bron en de vervuiling. In dit gebied zou door absorptie en verbuiging van de golven het effect verminderd kunnen worden. Uit eerdere studies [Berlitz, 1997] blijkt dat ultrasone trillingen ook in het omstortingsgrind goed doordringen. Als de filterspleten eenmaal gereinigd zijn laten ze de trillingen ongestoord door naar het grind. Na het passeren van de

spleten breidt het zich dan in alle richtingen uit en vindt het zijn werking in de poriën tussen het grind, waar ook de vervuiling accumuleert. De grindkorrels geven de golven door, buigen ze om en weerkaatsen ze. De grensvlakken tussen water, vuil en grind vormen goede kernen voor de vorming en implosie van cavitatiebelletjes.

Behalve cavitatie zijn er nog andere mechanismen betrokken bij de werking van ultrasone reiniging. Zo leiden de hoge wisseldrukken en drukverschillen tot grote spanningen op de grensvlakken die tot uiting komen in het loslaten van mechanische verbindingen tussen vuil en putmateriaal. Verder heeft ultrasoon geluid bij voldoende intensiteit een dodende werking op micro-organismen. De zogenaamde sonochemische effecten zorgen voor het splijten van macromoleculaire bindingen, die de voornaamste oorzaak zijn van bacteriële activiteiten. De bacteriën binnen het bereik van de ultrasone bron worden gedood en hiermee wordt de verstopping van de put vertraagd en de periode tot de volgende regeneratie vanzelfsprekend verlengd [sonic-umwelttechnik.de].

In de literatuur zijn experimenten beschreven waarin effecten van ultrasone trillingen zijn waargenomen tot een druk van 16 bar. De effecten bij deze hogere druk zijn ongeveer een factor zeven hoger dan onder normale druk. Het blijkt uit onderzoek dat na enkele seconden van behandeling thixotrope materialen al in oplossing worden gebracht. Verder is opgemerkt dat ultrasone trillingen in staat zijn aanslag op omstortingsgrind te behandelen en dat de trillingen verschillend geabsorbeerd worden door filtermateriaal en grind. Verder werd duidelijk dat de energie exponentieel afneemt met de afstand vanaf de bron. Al na enkele centimeters is de overgebleven energie verwaarloosbaar ten opzichte van de sterkte bij de generator. Uiteindelijk wordt geconcludeerd dat het in oplossing brengen van vervuiling het belangrijkste effect van ultrasone regeneratie is en dat het vooral wordt bereikt door verandering van de structuur van de zogenaamde structurele visceuze substanties, zoals de gelachtige neerslagen op de filterwand [Wilken, 2002].

Ten slotte kan ultrasone reiniging in combinatie met chemicaliën zoals chloorbleekloog goede resultaten geven omdat het effect van chemicaliën versterkt wordt. Deels komt dit door opbreken en oplossen van bacterie kolonies en vlokken. De afzonderlijke bacteriën zijn hierna meer toegankelijk voor chemische afbraak. Anderzijds heeft cavitatie een vernietigende werking op de celwanden waardoor de chemicaliën makkelijker de bacterie indringen. Ook algen worden met een combinatie van ultrasoon geluid en chemicalie redelijk snel gedood [Mason, 2002].

3.4. Cavitatie

Ultrasoon geluid beïnvloedt de chemische reactiviteit, onder andere door cavitatie. Cavitatie is een effect dat rond de eeuwwisseling voor het eerst werd gekarakteriseerd door Sir John Thornycroft en Sidney Barby die onderzoek deden naar de werking en prestaties van scheepsschroeven. De snelle beweging van de schroeven door het water zorgt voor een dusdanig grote drukval dat het water uit elkaar wordt getrokken en (vacuüm) bellen kunnen ontstaan. Soortgelijke cavitatiebelletjes kunnen worden geproduceerd door de trillingen in een vloeistof vanwege ultrasoon geluid. Dit gebeurt doordat geluid zich als een longitudinale golf, bestaande uit alternerend comprimerende en uittrekkende cycli, voortplant in een vloeistof. De ultrasone geluidsbron kan worden voorgesteld als een staaf die steeds weer in de vloeistof op en neer gaat met extreem snelle slagen. De golf die hierdoor in de vloeistof ontstaat plant zich vervolgens voort door een serie van moleculaire interacties. Indien het uittrekkende deel van de golf krachtig genoeg is kan het een negatieve druk ontwikkelen die de intermoleculaire krachten ontbindt. In de ontstane situatie worden de moleculen in feite op gelijke wijze

gescheiden als bij cavitatie met een scheepsschroef. Echter bij ultrasone cavitatie volgt een comprimerende cyclus de uittrekkende op en hierdoor oscilleren de belletjes voortdurend. Over het geheel neemt de grootte van een belletje toe totdat het belletje die grootte heeft bereikt waarop het zal cavitateren. Het cavitatiebelletje zal dan imploderen met de afgifte van grote hoeveelheden energie. Geschat wordt dat temperaturen tot 5000 K en drukken in de orde van 1000 bar door cavitatie in water bij 25 °C ontstaan. Verschillende factoren kunnen cavitatie positief of negatief beïnvloeden [Mason, 1990]:

- Fysische eigenschappen van de vloeistof: Intramoleculaire krachten (waterstofbruggen en van der Waals krachten), oppervlaktespanning en dampspanning hebben verschillende invloeden op cavitatie.
- Temperatuur: De drempel voor het optreden van cavitatie stijgt bij dalende temperatuur, vanwege verhoging in oppervlaktespanning en viscositeit en verlaging van de dampspanning.
- Trillingsfrequentie: Normaal gesproken tussen 20 en 50 kHz. Cavitatie is ook bij hogere frequenties moeilijk.
- Aanwezigheid van opgelost gas: Het gas kan optreden als groeikern en voeding zijn voor een cavitatiebel, omdat het uit de vloeistof wordt gezogen en zal coalesceren tijdens de uitrekking.
- Zuiverheid van reactie systeem: Aanwezige deeltjes kunnen als kern optreden voor nieuwe cavitatiebelletjes.
- Druk: Netto effect van hogere druk is een verhoging van de kracht van cavitatie-inklapping, wel is een hogere trillingsintensiteit nodig om tot cavitatie te komen.
- Intensiteit: Verhoging van intensiteit zorgt over het algemeen voor verhoging van ultrasoon effect maar dit kan niet oneindig doorgaan. Twee limieten, namelijk drempel intensiteit die moet worden overwonnen en optimum intensiteit waarna verdere verhoging geen effect meer heeft.

Bij verhoging van de ultrasone frequentie daalt de produktie en intensiteit van cavitatie. Voor dit effect zijn meerdere verklaringen gegeven, maar de voornaamste reden lijkt te zijn dat de uittrekkende en comprimerende cycli te kort zijn om belletjes te laten ontstaan die de vloeistof kunnen verstoren. Zelfs als een belletje ontstaat, kan de comprimerende cyclus nog te kort zijn om het te laten imploderen.

Cavitatie ontstaat moeilijker in visceuze vloeistoffen en in vloeistoffen met een hoge oppervlaktespanning. In zulke gevallen zijn geluidsgolven met grotere amplitudes, oftewel grotere intensiteit, nodig. Wanneer cavitatie wel optreedt, zullen de temperatuur- en drukeffecten groter zijn omdat de begindruk hoger lag.

Bij verhoging van de temperatuur stijgt de dampspanning en hierdoor wordt cavitatie bereikt bij een lagere geluidsintensiteit. Bij verhoogde dampspanning worden de cavitatie-effecten ongelukkigerwijs ook verminderd. Dit gebeurt doordat de damp in de bel gaat werken als een steeds stijver wordende veer die inkrimping van de bel tegengaat. Reinigingen moeten daarom worden uitgevoerd bij een lage temperatuur.

Drukverhoging leidt tot een verhoging van de drempelwaarde voor cavitatie maar ook tot verhoging van de intensiteit van de belimplosie. Kwalitatief kan worden aangenomen dat door de drukverhoging er niet langer een negatieve drukfase is omdat de hydrostatische druk (P_h) groter is dan de ultrasone drukamplitude (P_A) en cavitatiebelletjes dus niet gevormd kunnen worden. Aan de andere kant zorgt een voldoende hoge geluidsintensiteit weer voor een hogere P_A (en dus wordt $P_h - P_A < 0$) en zo kan cavitatie wel ontstaan. Over het algemeen leidt drukverhoging bij voldoende mogelijkheid tot cavitatie tot een sneller en krachtiger effect.

Verhoging van de intensiteit leidt tot een versterking van de cavitatie-effecten. Cavitatiebelletjes die bij hogere frequenties moeilijker ontstaan zijn met hogere intensiteit wel vormbaar. Door een hogere druk in de bel (P_m) op het moment van inklappen imploderen de bellen krachtiger omdat daarvan de implosietijd, -temperatuur en -druk afhangen.

$$P_m \approx P_h + P_A$$

Het blijkt dus dat de omstandigheden een aanzienlijke invloed hebben op de vorming van cavitatiebelletjes. Het ontstaan van die belletjes kan met twee principes verklaard worden, ten eerste met belvorming (“boiling nucleation”) en ten tweede met belgroei (“rectified diffusion nucleation”).

Bij het principe van boiling nucleation gaat men ervan uit dat wanneer de energie een bepaalde drempelwaarde overschrijdt, cavitatiebellen ontstaan. Het is redelijkerwijs mogelijk de drempelwaarde voor cavitatie als gevolg van ultrasonische trillingen in een waterwinput te schatten. Deze drempelwaarde wordt in de literatuur aangehaald als “Blake’s threshold” en wordt bepaald via onderstaande vergelijking 1 [Mason, 2002]. Deze vergelijking geldt voor een langzaam oscillerende bel en is daarom slechts een ruwe, maar wel plausibele benadering.

$$P(t) < P_v + 2\sigma/R_0 \quad (1)$$

$P(t)$ is de tijdvariërende druk in de bel. P_v staat voor de dampspanning, σ voor de oppervlaktespanning en R_0 de straal van de bel.

De tijdsvariërende druk voor de omgeving is afhankelijk van de hydrostatische waterdruk (P_h), de periodieke ultrasonische trillingsdruk (P_a) en de atmosferische druk (P_0).

$$P(t) = P_h + P_a + P_0 \quad (2)$$

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h \quad (3)$$

$$P_a = P_A \sin(2\pi ft) \quad (4)$$

In deze laatste vergelijking (4) is P_A de drukamplitude en f de ingestelde frequentie van ultrasonische trilling. Om tot cavitatie te komen zal de druk in de bel hoger moeten zijn dan de omgevingsdruk, oftewel:

$$\rho \cdot g \cdot h + P_A \sin(2\pi ft) + P_0 < P_v + 2\sigma/R_0 \quad (5)$$

Vergelijking 5 geeft een ruwe schatting en het is daardoor toegestaan de vergelijking nog verder te vereenvoudigen door verwaarloosbare termen eruit te halen. De term $\sin(2\pi ft)$ geeft het feit weer dat de druk oscilleert maar voegt zelf niks meer aan de vergelijking toe dan een vermenigvuldiging met de range $[-1,1]$ en wordt daarom uit de formule gehaald. Daarnaast is de oppervlaktespanning verwaarloosbaar klein ten opzichte van de overige termen en ook deze wordt daarom uit de vereenvoudigde formule gelaten. Het resultaat is dan vergelijking 6.

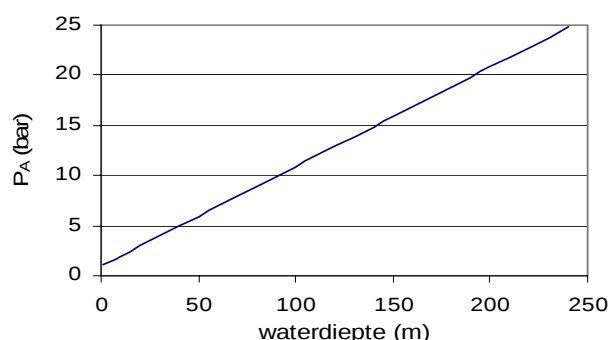
$$\rho \cdot g \cdot h + P_0 - P_A < P_v \quad (6)$$

Met vergelijking 6 kan na invullen een ruwe schatting gemaakt worden van de theoretische drukamplitude die de ultrasonische trillingen moeten leveren om op een bepaalde diepte cavitatie

te laten optreden (zie figuur 3.3). De gebruikte parameters, zie tabel 3.4 [Perry, 1984], zijn allen gekozen voor een watertemperatuur van 5 °C om zo een redelijke overeenkomst te hebben met een waterwinput. Aan de hand van deze gegevens kan na onderzoek van de ultrasonische bron bepaald worden of het reinigende effect geschiedt op basis van cavitatie of op een ander mechanisme.

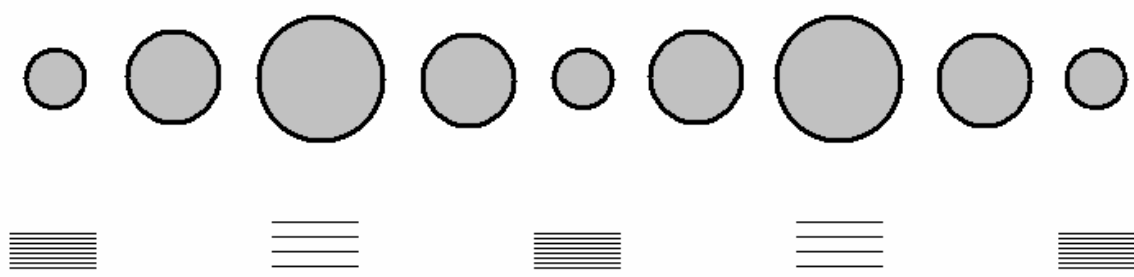
Grootheid	Waarde	Eenheid
ρ	$1,0 \cdot 10^3$	kg/m^3
g	$9,8 \cdot 10^0$	m/s^2
P_0	$1,0 \cdot 10^5$	Pa
P_v	$8,7 \cdot 10^2$	Pa

Tabel 3.4: Parameters belvorming



Figuur 3.3: Benodigde druk op diepte

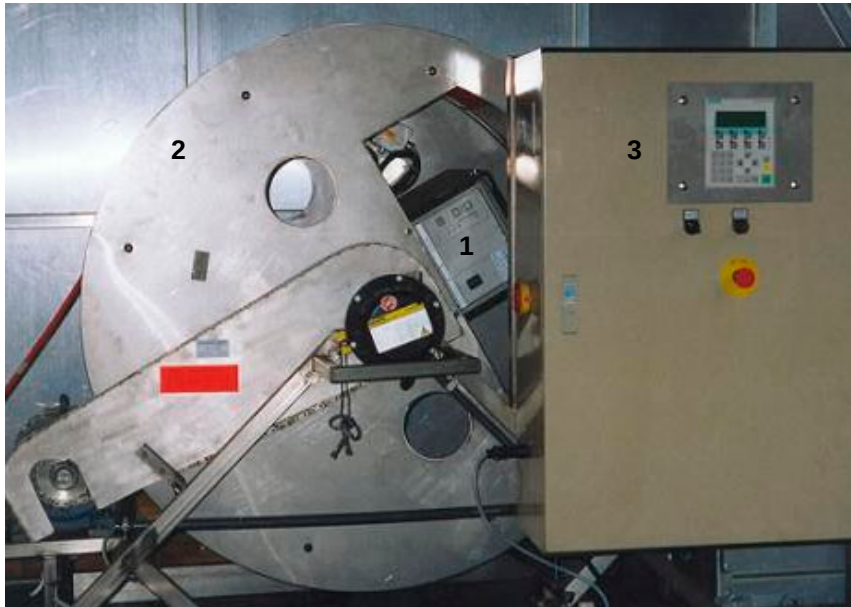
Het tweede principe voor cavitatie, belgroei, gaat er van uit dat er altijd cavitatie kan optreden zodra er een oscillerende druk aan het water wordt opgelegd. Er zijn in water namelijk altijd kleine belletjes aanwezig die als kern voor een cavitatiebel kunnen optreden. De oscillerende druk laat deze zeer kleine belletjes groeien en krimpen met een zeer kleine amplitude waarbij de belletjes over het geheel in grootte toenemen (zie figuur 3.4). Naarmate de belletjes in grootte toenemen, komen ze nader aan hun resonantie grootte en daarmee aan de drempel van overgang tot cavitatiebel. De bel zal gaan caviteren als zijn grootte ruwweg twee keer zo groot is als zijn oorspronkelijke grootte. Na de implosie begint het hele proces van oscillerende belgroei weer van begin af aan.



Figuur 3.4: Principe "rectified diffusion nucleation"

4. GEBRUIKTE APPARATUUR

De ultrasone module waarmee gewerkt is, bestaat uit een generator, een haspel, een besturingssysteem en een sonde (zie figuren 4.1 en 4.2).



Figuur 4.1: Generator (1), haspel (2) en besturing (3)



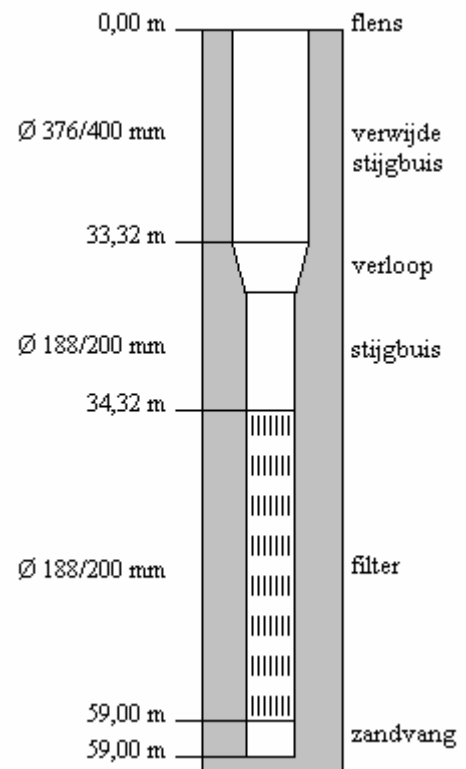
Figuur 4.2: Ultrasonische sonde

De haspel zorgt via de stroomkabel (80 m.) voor de ophanging van de sonde. De ultrasone sonde bestaat uit twee PZT-elementen ($\varnothing = 70\text{mm.}$ $d = 70\text{mm.}$) voor de opwekking van de longitudinale ultrasone trillingen. Tussen de elementen zijn twee lange en twee korte buisdelen ($\varnothing = 50\text{mm.}$, met lengte respectievelijk 39mm. 689mm. 590mm. 39mm. vanaf ophanging) bevestigd, die gescheiden worden door kunststof ringen ($\varnothing = 50\text{mm.}$ $d = 1\text{ mm.}$). De buisdelen zetten door in resonantie te komen de longitudinale trillingen van de PZT-elementen om in radiale geluidsgolven. Tussen de kabel en het bovenste PZT-element bevindt zich een ophanging van 30 cm lang. De sonde voert diep in de put de reiniging uit en wordt aangedreven door een generator. Deze generator heeft een instelbaar vermogen van maximaal 1900 W tot minimaal een reductie tot 60% van maximumwaarde. De frequentie die door de generator geleverd wordt is 24,6 kHz en is niet instelbaar.

5. TESTLOCATIES

5.1. Winput Hoge Hexel

De eerste testen met de ultrasonische module zijn in waterwinput 78-24 op het puttenveld Hoge Hexel uitgevoerd. De put is zoals het nummer aangeeft in gebruik genomen in 1978 en is sindsdien al verschillende keren gereinigd. Een regeneratie was nog niet noodzakelijk, maar vanwege de ligging nabij het bedrijf en een toch afnemende putprestatie is deze put gekozen. De eerste testen betroffen de demonstratie door de leverancier, tijdens welke de benodigde informatie en uitleg over de module werd gegeven. De te reinigen put was officieel dan nog wel niet aan regeneratie toe maar vertoonde wel een duidelijke verslechtering ten opzichte van de nieuwwaarde. De te behandelen put is opgetrokken uit PVC en heeft een boorgatdiameter van 60 cm. met een filterbuis binnendiameter van 188 mm. De put heeft geen zandvang, waardoor eventueel aangezogen vuil gelijk in het filter bezinkt. De grondwaterstand bij de put was op het moment van reinigen zeer laag met een niveau van 10,95 m onder maaiveld. Verdere putconfiguraties zijn weergegeven in figuur 5.1. De module is bij de put geplaatst (figuur 5.2) waarna met zeildoek de put is afgedekt om de reiniging overnacht te kunnen laten doorgaan.



Figuur 5.1: Configuratie put Hoge Hexel 78-24



Figuur 5.2: Opstelling put Hoge Hexel 78-24

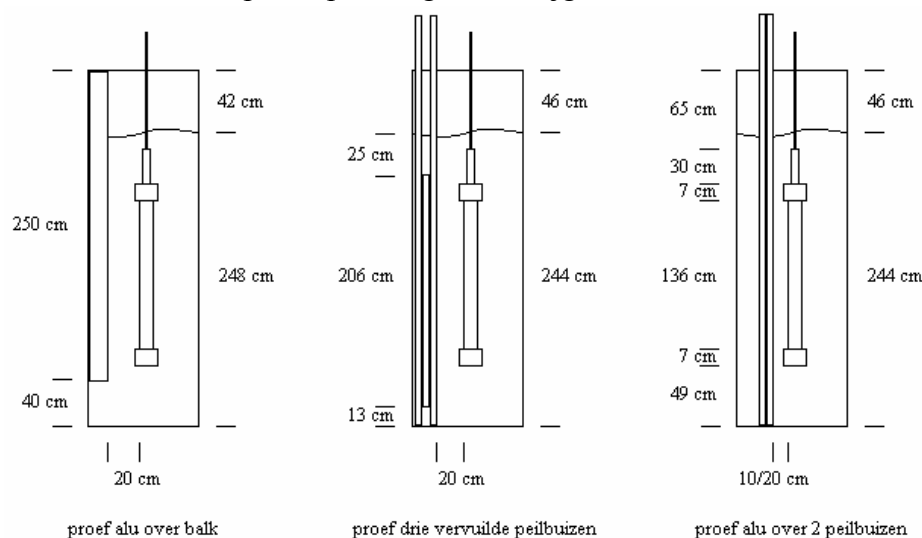
5.2. Proefopstelling

Om een waterwinput te kunnen simuleren is een proefopstelling gemaakt. Deze bestond uit een PVC-buis met diameter 590/630 mm en een hoogte van 2,90 meter. Bovenop de buis is een katrol bevestigd om de kabel van de sonde te geleiden zodat de ultrasone sonde, als in de put, verticaal kan hangen (zie figuur 5.3).



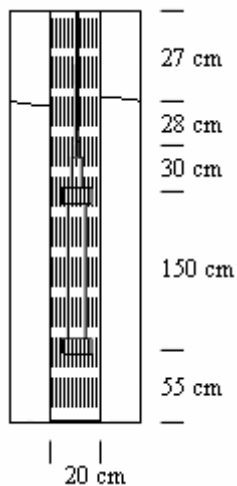
Figuur 5.3: Proefopstelling

De eerste tests in de proefopstelling betroffen visuele tests waarbij gebruik werd gemaakt van vervuilde buizen en aluminiumfolie om het effect van de ultrasone trillingen te kunnen zien. De configuraties van de verschillende opstellingen waarmee gewerkt is zijn hieronder in figuur 5.4 te zien. Verdere maten worden waar nodig gegeven bij de resultaten waarbij hier wordt gewezen op het feit dat de afstand tot de sonde de horizontale afstand tot de wand van de buis bedraagt. Bij de gegeven afstanden moet dus 2,5 cm opgeteld worden om de afstand tot het hart van de proefopstelling te verkrijgen.



Figuur 5.4: Configuraties proefopstelling tijdens visuele testen

Na de visuele tests zijn in de proefopstelling tests met een oscilloscoop gedaan. Om een waterwinput te kunnen nabootsen is in het midden van de grote PVC-ombuis een blauwe PVC-filterbuis (diameter 186/200 mm) geplaatst. PVC heeft als nadeel dat het ultrasone trillingen sterk absorbeert, RVS bijvoorbeeld zorgt voor veel minder demping. Het grootste deel van de te behandelen putten heeft een PVC-filterbuis en daarom is voor dit materiaal gekozen. De ultrasone sonde is in deze filterbuis gehangen (voor configuratie zie figuur 5.5). De hydrofoon is daarna op verschillende diepten en afstanden van de sonde gehangen.



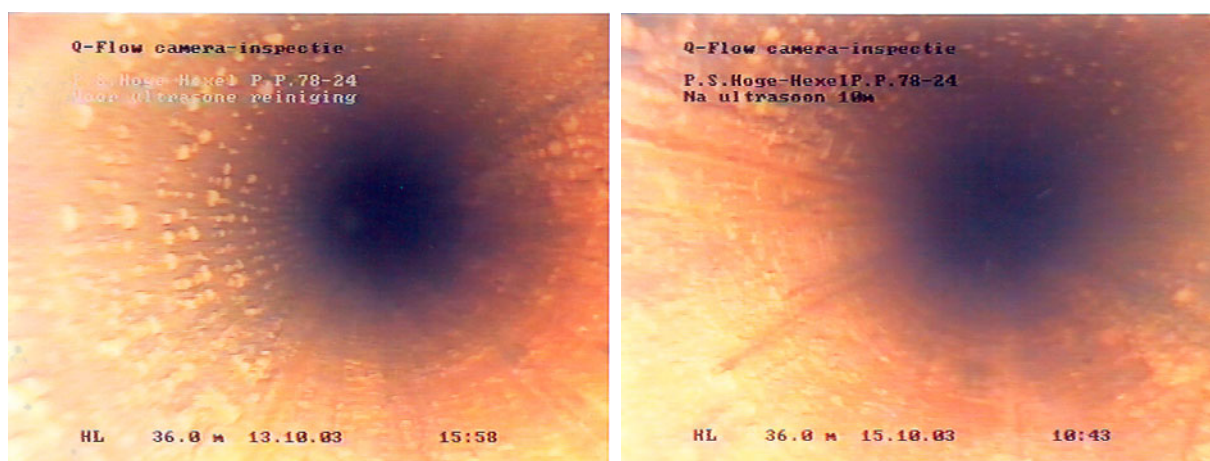
Figuur 5.5: Configuratie proefopstelling tijdens de oscilloscoop testen

6. RESULTAATVERWERKING

6.1. Put Hoge Hexel

Voor een eerste kennismaking met de ultrasone reinigingsmodule is door Vitens Overijssel waterwinput 78-24 op het puttenveld Hoge Hexel ter beschikking gesteld. Vooraf is een camera-inspectie van de put uitgevoerd om na afloop een evaluatie van het effect te kunnen doen. Hieruit bleek dat vooral de bovenste tien meter van de filterbuis erg vervuild was en er is dan ook voor gekozen om in dit gebied te reinigen.

Met de levering van de ultrasone module werd gelijk een kleine demonstratie gegeven en de werking van het apparaat (theorie “ultraschall” en bediening module) uitgelegd. Aan het eind van de middag is de ultrasone sonde in de put neergelaten en het Symatic S7 programma ingesteld op een reiniging over nacht. De instellingen waren hierbij een begindiepte van 35 meter onder het maaiveld, een opdeling van de onderliggende 10 meter filterlengte in 10 secties en een behandel tijd van 30 minuten per sectie. Nadat de 10 secties behandeld waren werd weer met de eerste sectie begonnen zodat er sprake was van een continue cyclus. Na een totale behandel tijd van 17 uur (16:00 uur tot 9:00 uur), wat gelijk staat aan ruim drie cycli, zijn wederom camera-opnames in de put gemaakt. Uit vergelijking van de beelden voor en na ultrasone regeneratie (zie figuur 6.1) bleek dat de uitgevoerde reiniging geen effect had gehad.



Figuur 6.1: Put 78-24 op 36 m. diepte voor respectievelijk na ultrasone behandeling

Vanwege het uitblijven van enig effect is ervoor gekozen om de volgende nacht de ultrasone generator nogmaals in de put te testen. Deze keer is echter niet een cyclus ingesteld maar is de sonde op 35 meter diepte in de winput gehangen. De behandel tijd bedroeg 18 uur (15:00 uur tot 9:00 uur) en na afloop is wederom een camera-inspectie uitgevoerd. Uit de beelden bleek dat ook na deze tweede reiniging geen verandering in de vervuiling van de put te zien was.

Naast een camera-inspectie is een capaciteitsbepaling¹ uitgevoerd. De gemeten waarden zijn hieronder weergegeven in tabel 6.1. De waarden voor stop, draai en omstorting zijn de dieptes van het waterniveau in de put en omstorting. De afpompings wordt bepaald uit de waarden voor stop en draai terwijl de filterweerstand wordt bepaald uit de waarden voor draai en omstorting. Ook uit de capaciteitsbepaling kan geconcludeerd worden dat de ultrasone reiniging geen effect heeft gehad.

	stop (m)	draai (m)	omstorting (m)	afpompings (m)	f.w.st. (m)	Q (m ³ /h)	Q _{spec} (m ³ /h/m afp.)
Voor reiniging	10,95	13,20	13,05	2,25	0,15	60,0	26,7
Na reiniging	11,21	13,45	13,31	2,24	0,14	60,0	26,8

Tabel 6.1: Capaciteitsbepaling put HH 78-24

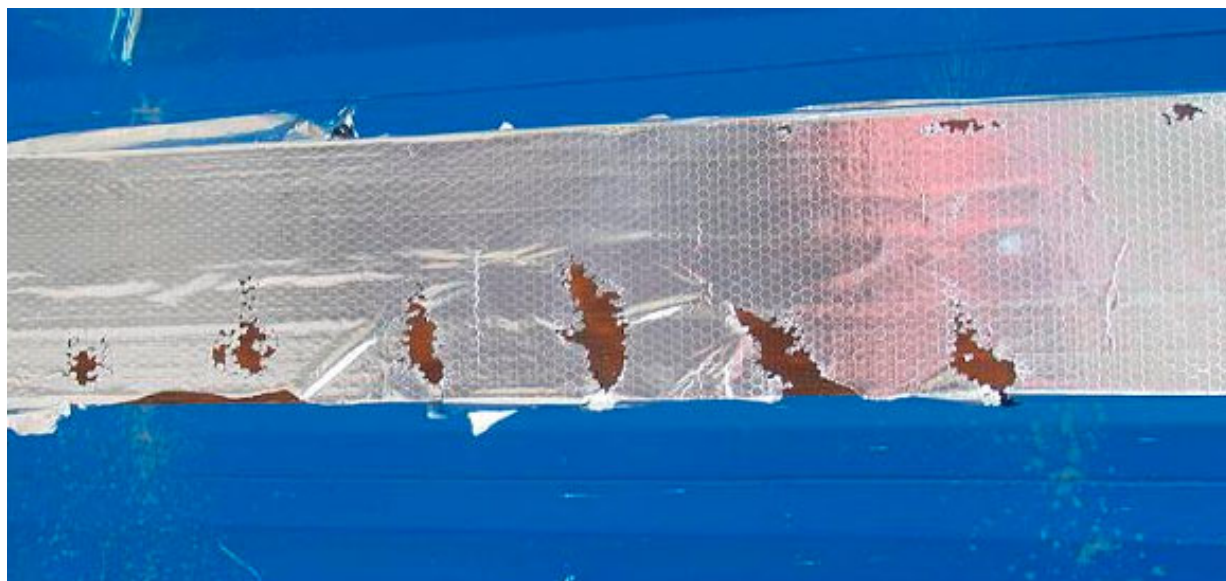
Vanwege de resultaten is gekozen om af te stappen van de oorspronkelijke planning eerst verschillende putten te reinigen en vervolgens de aangetroffen situaties in een proefopstelling na te bootsen. Op het terrein in Hoge Hexel is een waterbak gereed gemaakt voor een simpele test om na te kunnen gaan of de sonde wel en zo ja goed genoeg werkt.

6.2. Proefopstelling, visuele testen

Uit de testen in de simulerende proefopstelling bleek gelijk dat de sonde in verticale positie een betere werking heeft dan in horizontale. De trilling en cavitatie in het water was duidelijk sterker dan in de aluminium bak en ook aan de buitenkant van de buis was een lichte trilling voelbaar. Hoorbaar was een hoog piepend geluid waaruit kon worden opgemaakt dat de golven in resonantie kwamen. Vooral bij het plaatsen van de sonde precies in het midden van de buis trad deze resonantie sterk op. Ook bij deze proefopstelling bleek echter weer dat de reinigende werking die de module zou moeten hebben volgens de leverancier, niet tot uiting komt. Verschillende geoxideerde materialen zijn geprobeerd te ontroesten maar er werd nauwelijks resultaat waargenomen.

Vanwege het uitblijven van resultaat is in overleg de gehele ultrasone module doorgemeten door een monteur van de leverancier. Hij heeft de generator vervangen door een ander maar vergelijkbaar type en vervolgens aangegeven dat de module naar behoren werkt. Een tweede serie tests is vervolgens uitgevoerd die bestond uit drie delen. Ten eerste is het optreden van cavitatie op 20 cm. van de sonde onderzocht met aluminiumfolie gespannen rond een balk. Cavitatiebelletjes tasten het aluminiumfolie aan en zo is eenvoudig op te merken of cavitatie optreedt, en zo ja waar. Verder is de reinigende werking van de ultrasone module op 20 cm. van de sonde bekeken met vervuilde peilbuizen. Als derde test is het effect van cavitatie op 10 cm. van de sonde in beeld gebracht met aluminiumfolie gespannen rond twee peilbuizen. Na deze drie tests met een ingesteld vermogen van 100%, is met aluminiumfolie het effect van behandeling met een lager vermogen van de ultrasone generator gemeten. De tests zijn afzonderlijk van elkaar uitgevoerd om zo de invloed van weerkaatsing van trillingen op andere objecten dan buis en testelement uit te sluiten. De effecten van cavitatie in deze tweede serie tests zijn hieronder weergegeven.

¹ Capaciteitsbepaling is de bepaling van het specifiek debiet van de put



Figuur 6.2: Effect van cavitatie op aluminiumfolie, 20 cm. van sonde

Zoals te zien in figuur 6.2 treedt de cavitatie op 20 cm. afstand van de sonde op volgens een soort interferentiepatroon. Enkele stukken folie zijn volledig verpulverd terwijl tussenliggende stukken in het geheel niet zijn aangetast na een behandeling van één uur. Verdere tests met aluminiumfolie op verschillende afstanden van de sonde moeten uitwijzen of het patroon constant of een functie van de afstand is.



Figuur 6.3: Drie peilbuizen voor en na ultrasone behandeling op 20 cm

Na de eerste test met aluminiumfolie is een test gedaan met vervuilde peilbuizen op 20 cm afstand van de ultrasone sonde. De aanslag op de buizen is ontstaan tijdens eerder gebruik in een waterwinput en bestond vooral uit ijzerhydroxide (geel/bruin) en mangaanoxide (donkerbruin/zwart). De afstand van 20 cm is gekozen omdat in een waterwinput de

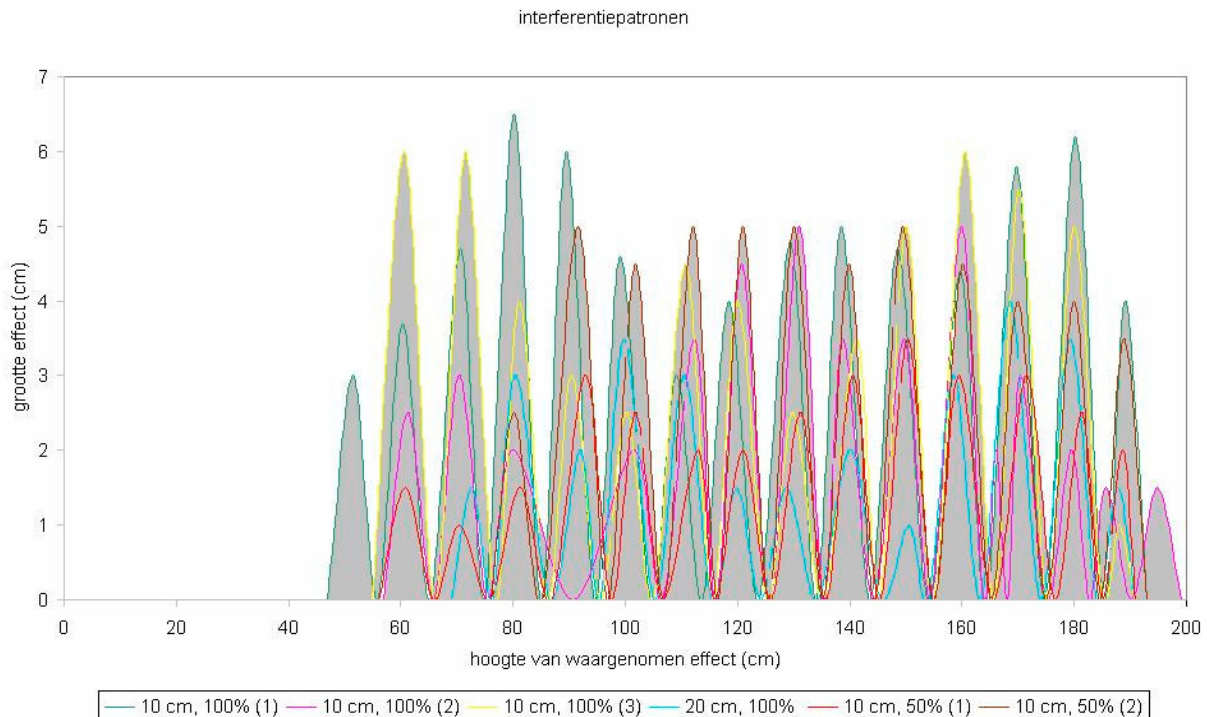
vervuiling op de boorgatwand op minstens deze afstand zit terwijl er hier nog filtergrind tussen zit. Voor een goede werking in de put moeten de peilbuizen dus na een behandeling van één uur schoon zijn. Figuur 6.3 laat zien, dat van schone buizen na behandeling geen sprake is. De bovenste twee foto's laten het onderste deel van de buizen zien voor en na behandeling en uit vergelijking van beiden blijkt, dat er geen reinigend effect is opgetreden. De onderste twee foto's laten het bovenste deel van de buizen zien. Hier is te zien dat de mangaanoxide-aanslag enigszins verminderd is op de rechterbuis. De rest van de vervuiling blijkt echter onaangetast. Een veelbelovend resultaat kan uit deze tweede visuele test niet gehaald worden.



Figuur 6.4: Effect van cavitatie op aluminiumfolie, 10 cm. van sonde

De derde visuele test betrof wederom een test met aluminiumfolie, ditmaal gepositioneerd op 10 cm van de sonde. Zoals blijkt uit figuur 6.4 ontstaat hier hetzelfde interferentiepatroon als op 20 cm. afstand.

In totaal zijn zes testen uitgevoerd met aluminiumfolie om het interferentiepatroon te kunnen bepalen. Tijdens de testen is de afstand tot de sonde en het geleverde vermogen gevarieerd om hiervan de invloed te kunnen waarnemen. Na verwerking van de resultaten, dat wil zeggen de posities van de ontstane gaten, zijn deze in één grafiek (figuur 6.5) uitgezet. In één oogopslag is nu te zien dat het interferentiepatroon zich voortdurend herhaald onafhankelijk van afstand of vermogen. In figuur 6.5 is het grijze gebied slechts toegevoegd om te accentueren dat de effecten optreden op dezelfde hoogtes, geen verdere functie moet hieraan toebedeeld worden. Behalve een sterke overeenkomst van het interferentiepatroon valt uit onderstaande figuur 6.5 af te lezen dat de intensiteit van het ultrasonie geluid duidelijk verschilt met variërende parameters. De groottes van de effecten geven duidelijk aan dat de intensiteit afneemt met afnemend vermogen en toenemende afstand.



Figuur 6.5: Interferentiepatroon op aluminiumfolie door cavitatie

Het ontstaan van het interferentiepatroon kan deels verklaard worden aan de hand van figuur 3.2. Door de staande golf ontstaan op de plaatsen met maximale amplitude meer cavitatiebelletjes dan elders, terwijl op de hoogtes van de knopen helemaal geen drukverschillen en dus geen belletjes ontstaan. De buiken van de staande golf liggen een halve golflengte uit elkaar en hier zal steeds een groter effect (piek in de figuur) worden waargenomen. De afstand van piek tot piek is gemiddeld 9,5 cm waaruit de golflengte die uit figuur 6.5 volgt derhalve ongeveer 19 cm is.

De theoretische plaatsen waar cavitatie zou moeten optreden kunnen bepaald worden volgens vergelijking 7:

$$\lambda = v / f \quad (7)$$

Hierin is λ de golflengte [m], v de geluidssnelheid in water [m/s] en f de frequentie [s^{-1}].

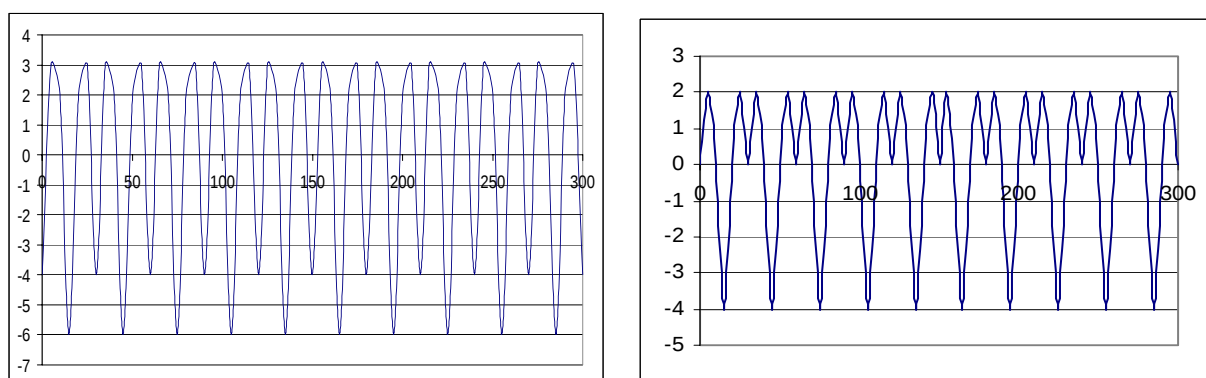
Met een geluidssnelheid van 1500 m/s en een frequentie van 25 kHz volgt voor de golflengte een waarde van 6,0 cm. Deze waarde komt duidelijk niet overeen met de golflengte die uit het interferentiepatroon blijkt. Een oorzaak van het grote verschil kan zijn dat er wordt gewerkt met twee PZT-elementen en een staaf die bestaat uit vier verschillende delen. De verschillende elementen en staafdelen kunnen de golven gedeeltelijk versterken of verzwakken zodat een heel andere golfbeweging ontstaat. De PZT-elementen zitten op verschillende manieren aan de staaf gemonteerd. Het bovenste element zit tussen 30 cm metaal dat voor de ophanging wordt gebruikt en de staaf terwijl het onderste element slechts aan één kant is gefixeerd. Er bestaat een goede mogelijkheid en gezien de resultaten zelfs een waarschijnlijkheid dat beide PZT-elementen een niet overeenkomende trilling doorgeven. Is dat het geval dan resulteert het in een anharmonische golfbeweging. De superpositie van twee harmonische golven met verschillende frequenties en golflengtes is te voorspellen met de Fourier transformatie in vergelijking 8 [Hecht, 1974] en heeft geen sinusoidale vorm.

$$f(x) = C_0 + C_1 \cos(2\pi x/\lambda + \varepsilon_1) + C_2 \cos(2\pi x/(\lambda/2) + \varepsilon_2) + \dots \quad (8)$$

De C-waarden zijn constanten terwijl ε voor de epoch-hoekt, het onderscheid tussen positieve of negatieve amplitude, staat. Met vergelijking 8 zijn afhankelijk van de parameters, verschillende vormen voor de functie te verkrijgen die het interferentiepatroon zouden kunnen verklaren. In figuur 6.6 hieronder zijn de grafieken weergegeven die ontstaan na het invullen van de parameters uit tabel 6.2. Te zien is dat een golflengte van zes centimeter voor de aparte golfbewegingen door het optellen in de superpositie zorgt voor een golflengte van 14 cm (linker grafiek) tot 30 cm (rechter grafiek).

	Linker grafiek	Rechter grafiek
C_0	0	0
C_1	1	2
C_2	5	2
ε_1	0	0
ε_2	Π	π
Λ (cm)	6	6

Tabel 6.2: Parameters superpositie



Figuur 6.6: Superposities twee golven met oorspronkelijke aparte golflengte 6 cm

Het interferentiepatroon dat ontstaat na behandeling met de ultrasonische sonde blijkt dus te verklaren aan de hand van verschillende factoren. Dat de oorzaak goed zou kunnen liggen in het opwekken van verschillende golflengtes door de beide PZT-elementen is hierboven bewezen.

Uiteraard is het mogelijk dat andere factoren die hier niet of niet diepgaand onderzocht zijn een rol spelen. De gepatenteerde opbouw van de sonde is ons niet bekend gemaakt en ook de configuratie van de proefopstelling, een relatief smalle buis, maakte verklarend onderzoek lastig.

Met gebruikmaking van een oscilloscoop is geprobeerd een beter beeld te verkrijgen van de processen.

6.3. Proefopstelling, oscilloscoop testen

De oscilloscoop testen zijn uitgevoerd met een Tektronix TDS 220 oscilloscoop en een Brüel & Kjær 8103 hydrofoon, beiden geleend van de faculteit technische natuurkunde aan de UT. De hydrofoon is met geleiders op verschillende hoogtes en verschillende afstanden van de sonde gehangen en voor de weergave geldt dat 0,5 V gelijk staat met 1 bar drukverschil. Gemeten is zowel in als buiten de in de ombuis geplaatste PVC-filterbuis om de uitdoving te kunnen bepalen. De uitdoving zal, zoals met aluminiumfolie aangetoond, afhankelijk zijn van de afstand tot de sonde maar waarschijnlijk ook van de positie achter de filterspleten. De

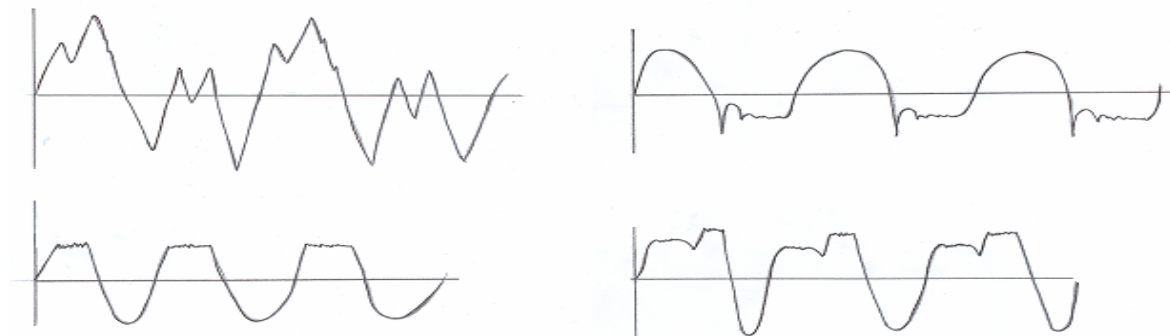
ultrasone trillingen zullen een beter bereik door de spleten hebben dan door de wand omdat een groot deel dat door de wand moet worden doorgegeven wordt geabsorbeerd door het PVC.

Weergegeven is steeds het piek-piek voltage, de verticale afstand tussen de positieve en negatieve pieken, dat gelijk is aan twee keer de amplitude. Voor deze weergave is gekozen doordat de waardes eenvoudig af te lezen waren op de oscilloscoop. Per instelling van de hoogte en afstand van de hydrofoon zijn vijf of tien opeenvolgende metingen gedaan. Uit de metingen is het gemiddelde bepaald en dat is uitgezet tegen de diepte.

Ook de frequentie werd weergegeven door de oscilloscoop. Vooraf was al bepaald dat gewerkt werd met een frequentie van 24,6 kHz en dit werd bevestigd tijdens het meten. Op enkele uitschieters na werd voortdurend een frequentie tussen 24 en 25,5 kHz aangegeven.

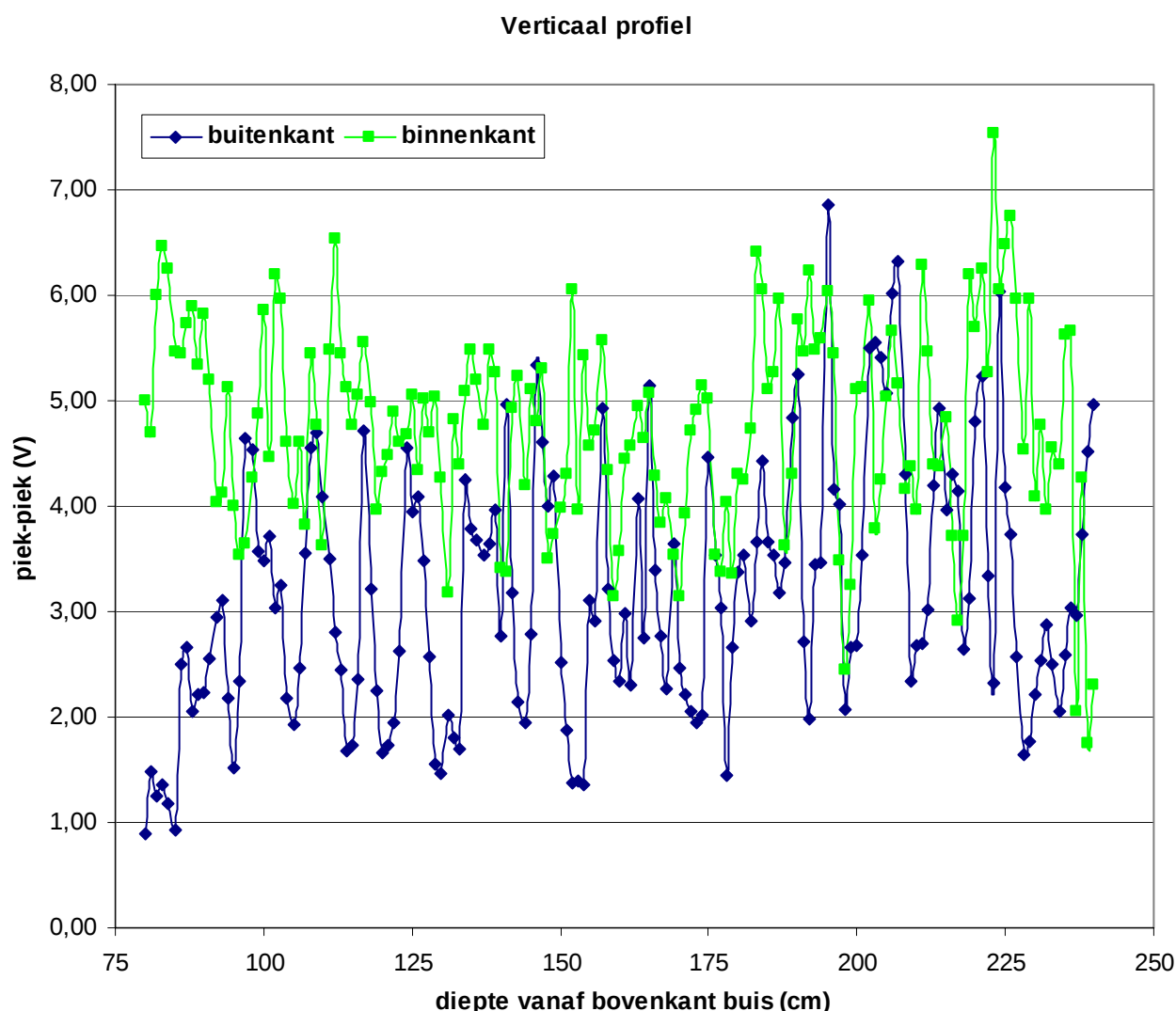
De eerste waarnemingen met de oscilloscoop lieten alle verschillende vormen van het geluidssignaal door elkaar heen zien. Een onderscheid tussen de waardes voor het ultrasone geluid en het cavitatiesignaal zijn gemaakt met behulp van de triggerniveau-instelling van de oscilloscoop.

Afhankelijk van de diepte, ingesteld vermogen en afstand tot de sonde varieerde de vorm van het signaal. De verschillende variaties liepen erg uiteen zoals blijkt uit figuur 6.7. Waargenomen werden onder andere een perfecte sinus, een afgevlakte sinus (links onder) en verschillende verstoorde signalen. De figuur betreft de vormen van de grafieken en is geen goede weergave van de verhoudingen.



Figuur 6.7: Waargenomen oscilloscoopsignalen

De eerste serie metingen die is gedaan met de oscilloscoop betrof een centimeter voor centimeter vergelijking tussen het signaal aan de binnenkant en aan de buitenkant van de filterbuis, respectievelijk op 7,7 cm en 10,7 cm van de sonde. Gemeten is tussen een diepte van 80 cm en 240 cm vanaf de bovenkant van de buis. De ultrasone sonde hing tussen 85 cm en 235 cm diepte. In onderstaande figuur 6.8 zijn de gemeten resultaten verwerkt.



Figuur 6.8 Profiel piek-piek voltage binnen- en buitenkant filterbuis

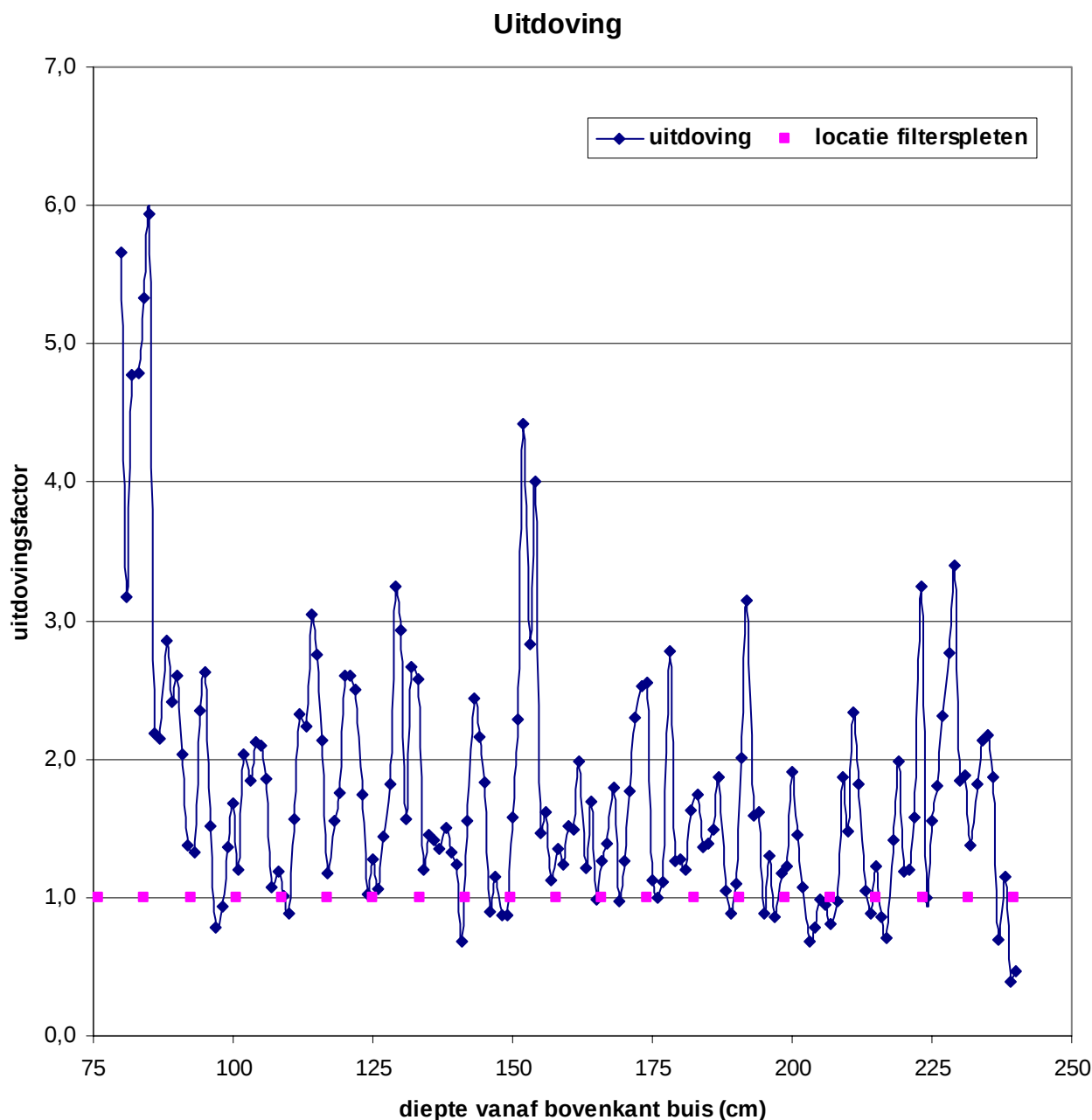
Het meest opvallende van de grafiek is het onrustige karakter van het piek-piek voltage. Ook met de oscilloscoop testen blijkt het interferentiepatroon te ontwaren. Daar de pieken gemiddeld 7,0 cm uiteen liggen wordt de golflengte nu bepaald op 14 cm. Het lijkt er dus op dat de theoretische golflengte niet geldt of beide afzonderlijke metingen moeten een simultane fout hebben.

Duidelijk op te maken uit bovenstaande grafiek valt dat het ononderbroken signaal aan de binnenkant van de filterbuis gemiddeld sterker is dan het onderbroken signaal aan de buitenkant. Het signaal aan de binnenkant van de filterbuis oscilleert rondom een constante waarde van 4,8 V en het signaal aan de buitenkant rondom een met de diepte licht stijgende range van 2,8 V tot 3,3 V. Er gaat dus duidelijk een negatieve invloed van de filterbuis op de ultrasonische trillingen uit.

Uitgaande van een gemiddeld piek-piek voltage van 5 V aan de binnenkant van de filterbuis en van 3 V aan de buitenkant kan de maximale diepte waarbij met deze sonde nog cavitatie optreedt bepaald worden. De hydrofoon is gekalibreerd op 0,5 V per bar zodat het voltage kan worden omgezet in een druk. Voor de drukamplitude geldt de helft van het piek-piek voltage en deze is 5 bar en 3 bar voor respectievelijk de binnen- en buitenkant van de filterbuis.

Afgaande op vergelijking 6 en figuur 3.3 kan de diepte dus bepaald worden op respectievelijk maximaal 40 m. en 20 m. voor cavitatie.

De invloed van de filterbuis is aan te tonen met behulp van de uitdovingsfactor, deze wordt in figuur 6.9 uitgezet tegen de diepte vanaf de bovenkant van de filterbuis. Door de functie te vergelijken met de configuratie van de filterspleten kan geconcludeerd worden wat de precieze invloed van de filterbuis en -spleten is op de ultrasonische trillingen. De uitdovingsfactor is gedefinieerd als het signaal aan de buitenkant van de filterbuis gedeeld door het signaal aan



de binnenkant van de filterbuis.

Figuur 6.9: Uitdoving en locatie filterspleten

Uit bovenstaande grafiek blijkt dat de uitdoving door de filterbuis behoorlijk wordt beïnvloed. Vrijwel zonder uitzondering is de uitdovingsfactor het kleinste, veelal rond 1,0 oftewel geen

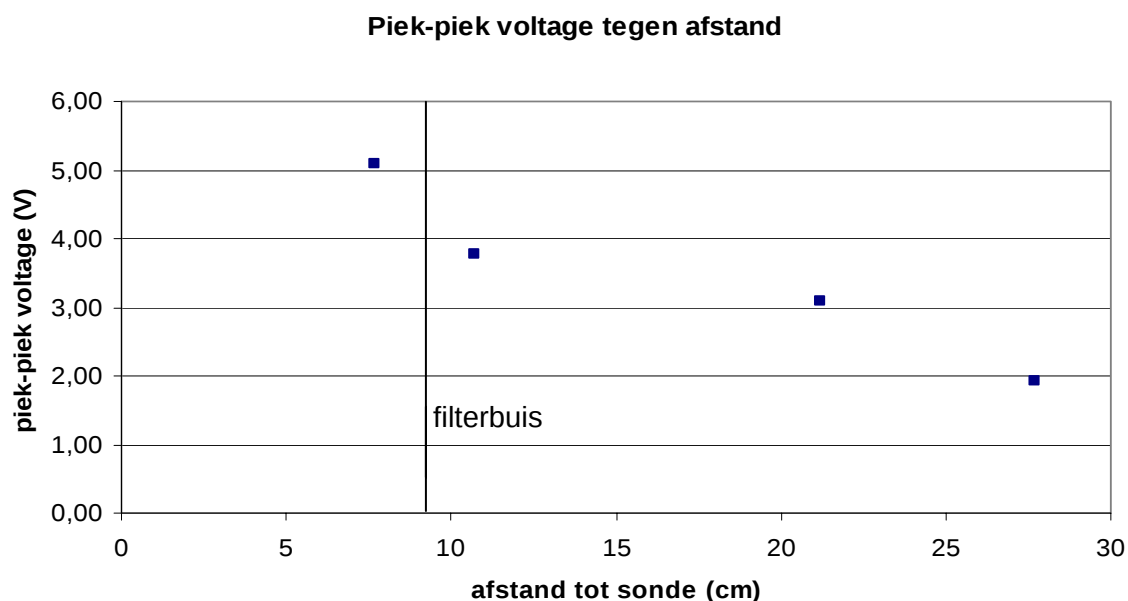
uitdoving, daar waar een filterspleet is. De trillingen hebben op die posities een ongehinderde voortgang en de enige factor die meespeelt, is de grotere afstand vanaf de sonde. Op de plaatsen waar geen spleet zit is de uitdovingsfactor significant. De PVC-buis heeft dus een redelijk sterk absorberende werking op de ultrasonische trillingen.

Enkele punten in de grafiek geven een uitdovingsfactor die kleiner is dan nul, dat betekent dat het signaal juist sterker zou worden op een grotere afstand van de sonde. Een dergelijke versterking is theoretisch onmogelijk en de oorzaak voor de genoemde punten moet worden gezocht in meetfouten.

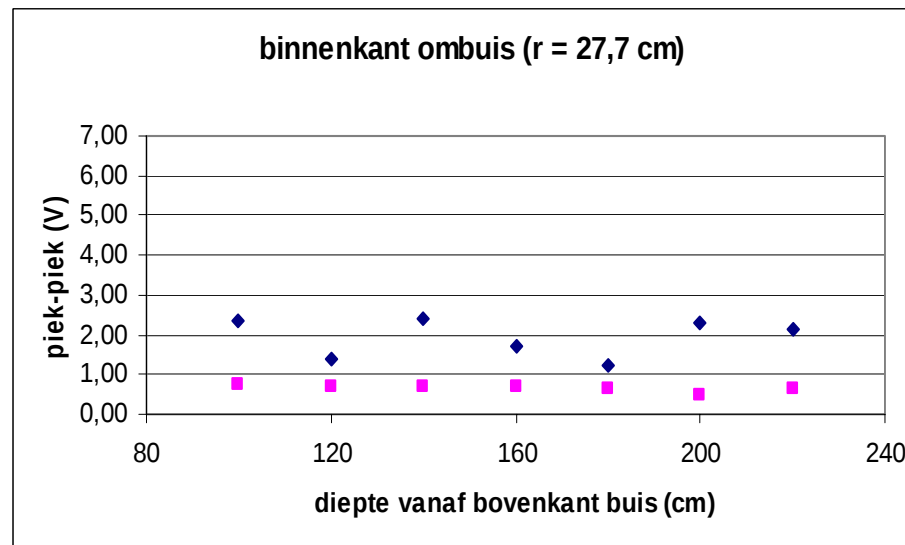
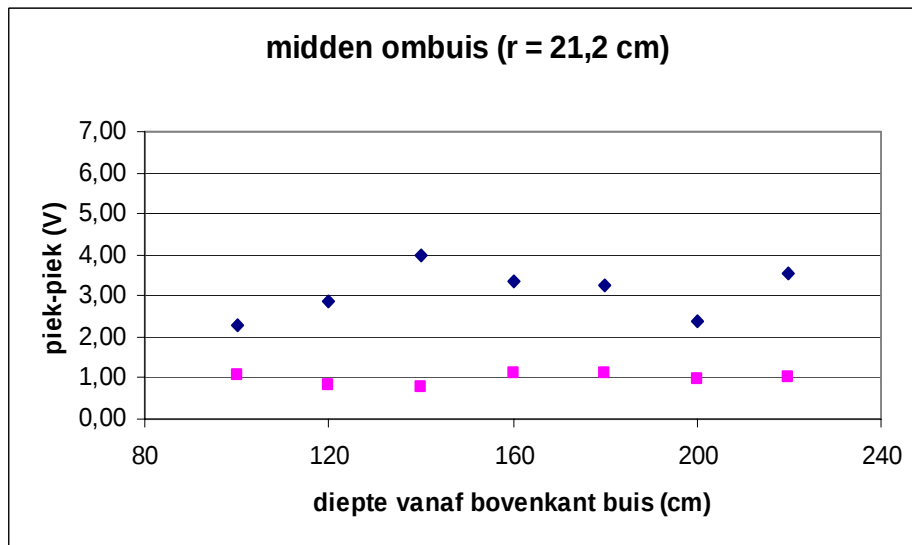
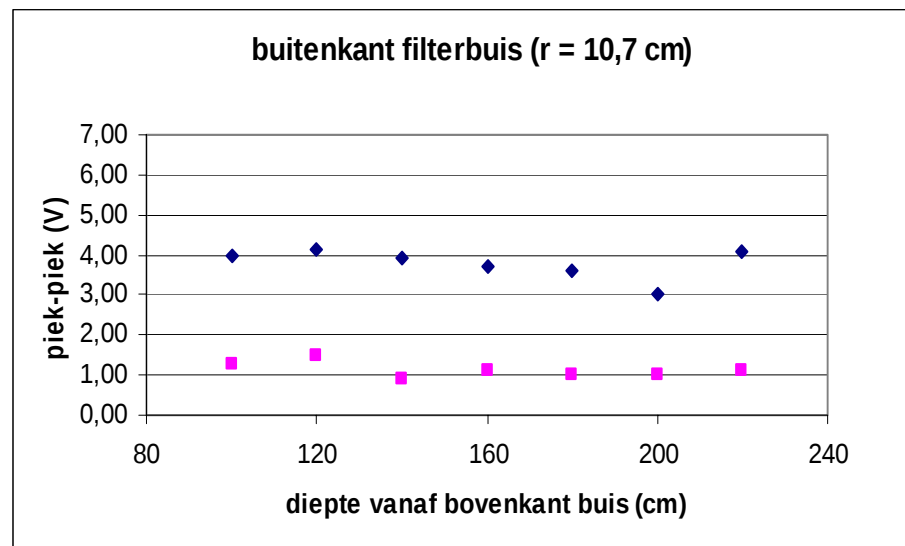
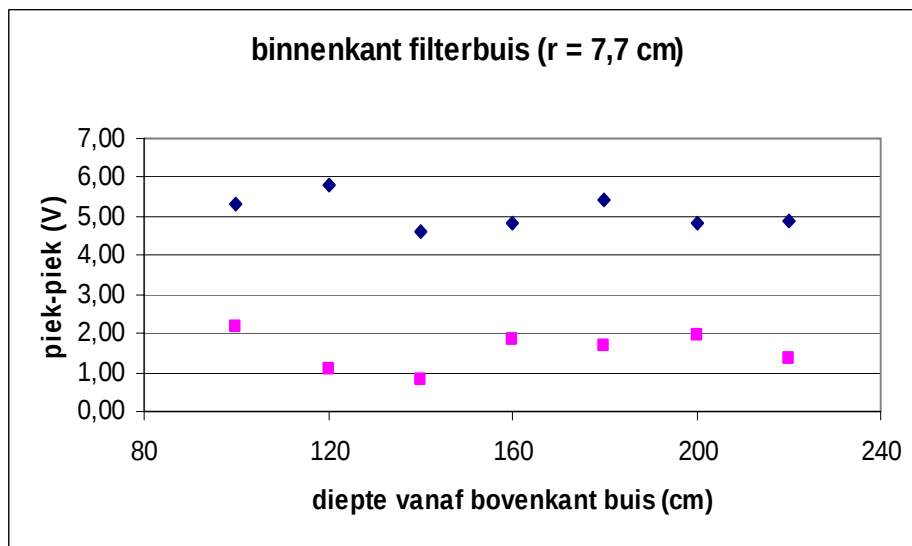
De tweede serie metingen betrof een vergelijking tussen het signaal op verschillende afstanden van de sonde bij meerdere dieptes (zie figuur 6.10 & 6.11).

Uit figuur 6.10 blijkt dat het piek-piek voltage duidelijk afneemt naarmate horizontaal verder van de sonde gemeten wordt. In deze grafiek zijn vanuit grafiek 6.11 de gemiddeldes per afstand uitgezet. In figuur 6.11 geven de ruitjes het cavitatiesignaal aan en de vierkantjes het geluidssignaal. Het geluidssignaal blijkt slechts weinig af te nemen in sterkte terwijl het cavitatiesignaal duidelijk zwakker wordt met een grotere afstand. De meting aan de binnenkant van de filterbuis geeft daarvoor nog een voltage van gemiddeld 5,0 V. Wordt aan de buitenkant van de filterbuis gemeten dan is het voltage al afgezwakt naar gemiddeld 4,0 V. De afstand tussen deze twee meetpunten is niet groot maar de barrière is de filterbuis. Wordt vervolgens de afstand vergroot dan blijkt wederom een verzwakking van het signaal waarneembaar te zijn. Halfweg tussen de buitenkant van de filterbuis en de ombuis (midden ombuis) is het voltage gedaald naar gemiddeld 3,0 V. Nog verder van de sonde vandaan, aan de binnenkant van de grote ombuis is het voltage tenslotte gedaald naar gemiddeld 2,0 V. De filterbuis en de afstand tot de bron hebben duidelijk een negatief effect op de werking van de ultrasonische trillingen. Ook de intensiteit van het geluidssignaal wordt, zoals blijkt uit figuur 6.11, beïnvloedt door deze factoren.

In dit onderzoek is gewerkt met een proefopstelling met alleen water rondom de filterbuis in plaats van omstortingsgrind en water. Het effect van alleen water kan zowel positief als negatief beoordeeld worden. Hier wordt in de discussie dieper op ingegaan.



Figuur 6.10: Afname piek-piek voltage met toenemende afstand



Figuur 6.11: Piek-piek voltage afhankelijk van afstand tot sonde

7. DISCUSSIE

In het hiervoor besproken onderzoek zijn uiteraard enkele onregelmatigheden niet uit te sluiten. Deze variëren van meetfouten en aannames tot licht afwijkende simulaties en onbekendheden die allen invloed hebben op de resultaten. Hieronder worden eerst de meetfouten besproken, daarna worden andere zaken die van invloed zijn en waren op de resultaten weergegeven.

Ten eerste zijn metingen gedaan in een winput op 35 m. tot 45 m. diep. De bepaling van het effect is gedaan met camera-opnames en met capaciteitsbepalingen voor en na behandeling. De eerste methode is visueel en daarmee niet exact, daarover volgt hieronder meer. In de tweede methode huist een standaard fout door de aard van de meting. De afpompings wordt bepaald bij een zeker debiet. Het meten van de diepte van de waterstand gebeurt met een watersensor die de put in wordt gelaten. In het aflezen zit de eerste fout terwijl de tweede fout zit in het vaststellen van het debiet, vooral door de apparaatfout.

Ten tweede is gemerkt dat het geleverde vermogen door de ultrasoon generator af en toe versprong. Een oorzaak voor dit verspringen is niet gevonden en verholpen, zelfs niet met het installeren van een nieuwe generator. Tijdens de testen is bepaald dat een lager vermogen een kleiner effect tot gevolg heeft en dus zal er zo nu en dan een meting beïnvloed zijn door het verschijnsel. Het is door de onbekendheid van de grootte van de vermogensverandering, die op zich relatief klein werd geacht, en het daarmee samenhangende effect moeilijk een foutenpercentage te schatten. Deze fout is daarom ook ter kennisname aangegeven maar verder te verwaarlozen.

Vervolgens is gemeten aan de hand van vooraf vastgestelde putconfiguraties. In de gestelde maten kan een meetfout zitten en ze kunnen met de tijd iets veranderd zijn door trek in de kabel van de sonde (verticale maten) of beweging in de ombuis (horizontale maten). Indien de genoemde fouten opgetreden zijn zullen ze relatief klein zijn.

Ten vierde is het effect van ultrasonische regeneratie bekeken met visuele testen aan de hand waarvan een interferentiepatroon is opgesteld. Deze manier van onderzoek is niet exact hoewel door middel van veel behandelingen een goed resultaat geprobeerd is te verkrijgen. De golflengte die met het interferentiepatroon is bepaald is dus onderhevig aan een foutenmarge.

Verder kunnen de dieptes zoals die zijn gegeven bij de metingen met de oscilloscoop iets afwijken. Elke diepte moest steeds opnieuw worden ingesteld met de hand en het is mogelijk dat er een afwijking van één tot twee millimeter in voorkomt. Tevens werd gewerkt vanaf de bovenkant van de buis tot een diepte van 240 cm, waardoor het moeilijk was de goede horizontale afstand tot de sonde te waarborgen. Oorzaken hierbij waren de ultrasonische golfbeweging die de hydrofoon naar buiten drukte en een lichte kromtrekking van de geleiderbuis van de hydrofoon. De grootte van deze fouten hangt zeer af van de plaats van meting. Aan de binnenkant van de filterbuis is de horizontale fout vrijwel nihil terwijl die fout in het midden van de ombuis relatief groot kan zijn.

Als zesde en laatste foutencategorie wordt hier het resultaat van de oscilloscoop testen aangehaald. De oscilloscoop geeft alle door de hydrofoon gemeten signalen weer waardoor er veel ruis ontstaat. In het uitgevoerde onderzoek waren slechts twee signalen belangrijk te weten: a. het oorzaak- cq. geluidssignaal en b. het gevolg- cq. cavitatiesignaal. In lange series is hiertoe per punt tien keer het piek-piek voltage bepaald waarna het gemiddelde is genomen als meetwaarde. Tijdens de meting is geprobeerd uitschieters en ruis zoveel mogelijk te voorkomen door de trigger instelling te gebruiken. Toch kunnen uitschieters niet helemaal uitgesloten worden, echter zullen positieve en negatieve uitschieters elkaar soms weer

opheffen. Door te werken met het gemiddelde van een grote serie meetpunten wordt een meetfout in de resultaten aanvaard maar ook aanvaardbaar gemaakt. De fout die ontstaat in de oscilloscoop testen is op zich relatief groot maar doordat de resultaten worden gebruikt voor een verhouding wordt een deel van de fout te niet gedaan.

Naast de meetfouten bestaan er andere onnauwkeurigheden in het onderzoek die doorwerken in de resultaten. Het grootste deel van het onderzoek is gedaan in een proefopstelling. Hierbij is getracht een waterwinput zo goed mogelijk te simuleren maar zijn enkele factoren niet identiek.

Ten eerste is er een groot verschil tussen de hydrostatische druk onderhevig aan de sonde in een putreiniging en in de proefopstelling. In de proefopstelling was de hoogte van het water 250 cm. terwijl in een gemiddelde put de waterhoogte al snel meer dan 30 m. is. Het drukverschil heeft invloed op het ontstaan van cavitatiebelletjes (figuur 3.3) en ook op de andere reinigende processen die plaats vinden tijdens de ultrasonische behandeling.

Het tweede verschil tussen de proefopstelling en een waterwinput is de omstorting. In een waterwinput ligt om de filterbuis een laag poreus filtergrind terwijl in de proefopstelling geen grind is gebruikt. Het grind is niet gebruikt vanwege de moeilijkheid met meten die het met zich meebrengt. Zou de filterbuis wel zijn omstort dan was een centimeter voor centimeter profiel haast onmogelijk te meten zijn geweest. Het effect van het ontbreken van grind is niet eenvoudig aan te duiden. Er zijn argumenten voor zowel een positief als negatief effect voor de sterkte van het gemeten signaal.

Het positieve effect op de meting, dat ontstaat door het ontbreken van omstorting, is dat er behalve de filterbuis geen hindering is tussen de sonde en de hydrofoon. Hierdoor zijn de enige twee factoren die van invloed zijn op het signaal de afstand die moet worden afgelegd en eventuele deeltjes in het water. Volgens dit argument is het signaal dus sterker in de proefopstelling dan in de winput op een gelijke horizontale afstand van de sonde.

Echter, het grind heeft een andere samenstelling en dichtheid dan water en reageert daarom anders op de ultrasonische trillingen. Het grind zou juist de trillingen beter door kunnen geven dan water omdat het minder absorbeert (vergelijk PVC en RVS)². Ook zorgt het grind door spiegeling en weerkaatsing voor een andere verdeling van de trillingen. Het ondervonden interferentiepatroon zal daardoor veranderen of zelfs verdwijnen. De behandeling wordt met het verdwijnen van het interferentiepatroon eenvoudiger omdat het gehele bereik van de behandeling dan egaal wordt gereinigd.

De effecten van bepaalde processen tijdens een ultrasonische reiniging zijn zeer lastig te bepalen. In bovenstaande discussie is geprobeerd een kwalitatief beeld te geven van de onnauwkeurigheden die zijn opgetreden tijdens het onderzoek. Kwantitatief is hier niet verder op in gegaan vanwege twee redenen. Ten eerste is er een bepaalde mate van onzekerheden en onbekendheden die een schatting moeilijk maakt. Ten tweede is er in het onderzoek vooral een vergelijking gegeven op basis van verhoudingen tussen twee of meer situaties. Door te werken met verhoudingen wordt een eventuele fout gedeeltelijk verkleind, omdat deze in zekere mate in alle situaties voorkomt.

² PVC absorbeert trillingen veel sterker dan RVS en zorgt daarom voor een grotere demping

8. CONCLUSIES

De conclusie van het uitgevoerde onderzoek wordt getrokken aan de hand van de onderzoeksvragen en de opgedane ervaring. Hieronder wordt eerst getracht de zes gestelde onderzoeksvragen kort te beantwoorden. Het grootste deel wordt in het deel resultaatverwerking behandeld en hier nog eens aangehaald. Na de beantwoording worden nog enkele tijdens het onderzoek tegengekomen vraagstukken en opmerkingen behandeld.

- Volgens welk(e) principe(s) werkt ultrasone reiniging?

Deze eerste vraag is ook de vraag geweest die het eerst te beantwoorden was. Met een literatuuronderzoek is vastgesteld dat meerdere principes samenwerken tijdens de behandeling. Cavitatie, het in oplossing brengen van vuildeeltjes door toegebrachte structuurverandering en spanningen door drukverschil, het opbreken en oplossen van bacteriekolonies en tenslotte het vernietigen van celwanden zijn de optredende principes bij ultrasone reiniging.

- Tot welke diepte geeft ultrasone reiniging resultaat?

De maximale diepte waarop gereinigd kan worden is moeilijk vast te stellen. De diepte waarop cavitatie nog kan optreden hangt af van de opgelegde drukamplitude met ultrasoon geluid (zie figuur 3.3), deze is vastgesteld op maximaal 40 m. voor een reiniging in de filterbuis. In hoeverre de andere processen die een rol spelen in het reinigingsproces diepteafhankelijk zijn is niet bekend. Hier ligt een mogelijkheid voor vervolgonderzoek met een andere module.

- Welke aard van vervuiling verwijdt ultrasone reiniging?

Er is gebleken dat in zeer lichte mate neerslag van ijzer(hydr)oxide en mangaanoxide verwijderd wordt. Tevens breekt ultrasoon geluid vervuilende bacteriekolonies af en dispergeert het vuildeeltjes. Uit de proeven met aluminiumfolie kan worden afgeleid dat vergelijkbare vervuiling op de filterbuis geen probleem is voor een voldoende krachtige ultrasone behandeling. Kort gezegd heeft een ultrasone behandeling, mits krachtig genoeg, een effect op alle mogelijke aard van verstopping.

- Tot welke afstand heeft ultrasone reiniging een effect in de omstorting?

Deze vraag is moeilijk te beantwoorden omdat in de proefopstelling niet met een omstorting is gewerkt. Gebleken is dat in alleen water het signaal sterk afneemt naarmate de afstand tot de bron wordt vergroot. Wat het effect is met een grindlaag om de filterbuis is echter onbekend omdat er meerder argumenten voor en tegen een betere werking zijn (zie discussie).

- Hoe lang moet ultrasone reiniging per sectie ingezet worden?

De behandelingstijd is vooral afhankelijk van het geleverde vermogen en intensiteit door de ultrasone module. Bij het stellen van deze onderzoeksvraag was de achterliggende gedachte dat de tijd voor het ultrasoon reinigen van een waterwinput concurrerbaar moest zijn voor een standaard reinigingstechniek. In de eerste testen bij put 78-24 in Hoge Hexel bleek dat na twee nachten van behandeling, totaal 35 uur, er geen resultaat waarneembaar was. Uitgangspunt voor de behandelingstijd zou normaal gesproken een uur per meter zijn. Of dit haalbaar is moet bewezen worden in verder onderzoek met krachtigere modules.

- Welke detergentia zijn mogelijk ter verbetering van ultrasone reiniging?

Vanwege het uitblijven van goede resultaten zijn geen verdere proeven gedaan met oppervlakte actieve stoffen of andere detergentia. Tijdens de oscilloscoop testen is een snelle test gedaan met afwasmiddel in de proefopstelling. Er was geen effect waar te nemen en besloten is om de test te staken. Er is van deze test geen melding gemaakt in het verslag omdat er geen aantekeningen en resultaten van op schrift zijn gezet.

Na een ultrasone behandeling blijkt er zowel bij testen met aluminiumfolie als bij oscilloscoop testen steeds een soort interferentiepatroon waarneembaar te zijn. Dit interferentiepatroon laat een golflengte afleiden van 14 cm. tot 18 cm. Deze waardes komen niet overeen met de theorie die stelt dat voor de golflengte bij de toegepaste frequentie in water een golflengte van 6,0 cm. geldt. Uitgaande van een verschillende frequentie in beide PZT-elementen is echter aangetoond dat door invloeden op elkaar een grotere golflengte mogelijk is.

Het onderzoek heeft zich vooral toegespitst op cavitatie. Voornaamste oorzaak hiervan is dat dit proces is aangenomen als zijnde het belangrijkste reinigende effect. Tevens is cavitatie goed meetbaar en zichtbaar te maken. De werking op bacteriën en molekuulstructuren door ultrasoon geluid is veel lastiger en op de toegepaste schaal bijna geheel niet aantoonbaar.

Tot slot mag geconcludeerd worden dat de inzet van ultrasone reiniging voor waterwin-putten een goede mogelijkheid is. De onderzochte ultrasone bron was niet krachtig genoeg maar liet toch al enkele goede mogelijkheden zien. Verder onderzoek moet worden uitgevoerd met ultrasone bronnen met vooral meer vermogen dan de gebruikte 1,9 kW. De module waarmee gewerkt is, de sonde aan een kabel op een katrol en verpakt in een afsluitbare aanhanger, is wel goed toepasbaar. Op deze manier kan de reinigingsmodule bij de put gereed worden gemaakt, vervolgens afgesloten en zijn werk doen, en na behandeling weer worden afgebroken. Zo worden vele manuren gespaard en dus de kosten sterk gedrukt.

9. AANBEVELINGEN EN VERVOLGONDERZOEK

De gebruikte module was niet krachtig genoeg en had onvoldoende reinigend effect. De behaalde resultaten geven echter voldoende aanleiding om verder te gaan met het onderzoek. Met meerdere bedrijven is contact geweest over hun mogelijkheden voor het leveren van ultrasone generatoren en sondes.

Indien een ultrasone module met een betere prestatie wordt gevonden zijn er nog enkele onbekende factoren die onderzocht moeten worden. Deze factoren zijn onder andere het effect van ultrasoon geluid in de omstorting, de behandelingstijd die vereist is per sectie en de dieptes waarop ultrasone reiniging effect heeft.

10. LITERATUURLIJST

- Berlitz, B.; *Brunnenregenerierung mit Ultraschall*; BBR; 1997-2; p.19-23
- Bott, W.; *Erfahrungen zur Regenerierung von Brunnen mittels Ultraschall im halbertechnischen Maßstab*; BBR; 2002-11; p.22-28
- Hecht E.; *Optics*; Addison-Wesley Publishing Company; Reading; 1974; p.205-211
- Mason, T.J.; *Chemistry With Ultrasound, Critical Reports on Applied Chemistry Volume 28*; Elsevier Science Publishers Ltd; Barking; 1990; p.1-25
- Mason, T.J.; *Applied Sonochemistry, the Uses of Power Ultrasound in Chemistry and Processing*; Wiley-VCH Verlag GmbH; Weinheim; 2002; p.1-60, 132-137
- Perry, R.H.; *Perry's Chemical Engineers' Handbook*; McGraw-Hill Book Company; Singapore; 6th edition; 1984
- Wilken, R.D.; *Well regeneration by powerfull ultrasound*; Harburg Reports on Sanitary Engineering; 2002-35; p.159-172

<http://www.sonic-umwelttechnik.de>; 2 september 2003

VII Regeneraties bij twee putten van de VMW (België)

Hoepertingen: ultrasoonregeneratie van productieput P2.

1. Ligging

De productieput P2 is gelegen op het perceel 495e (zie fig 1 en 2)

2. Toestand van de put

Het onderzoek met de onderwatercamera toonde aan dat de stalen verbuizing van de put en vooral het gedeelte van de filter erg vervuild zijn met minerale en/of biologische neerslag. De putconstructie is voorgesteld op figuur 3

3. Regeneratie en proefpompingen

Na het boren van de put in 1984 zijn relatief langdurige proefpompingen uitgevoerd. De resultaten ervan zijn vermeld in de hiernavolgende tabel.

Samenvattende tabel.

aanvangs- datum	duur pomp (uren)	SP Relatief (m)	DP Relatief (m)	afpomping (m)	SP Absoluut (TAW)	DP Absoluut (TAW)	debiet (m ³ /h)	specifiek debiet (m ³ /h/m)
02/04/84	95	5,58	32,54	26,96			121,60	4,50
09/04/84	72	6,68	28,17	22,26			102,10	4,59
13/04/84	75	6,68	22,88	16,20			76,70	4,73
17/04/84	24	6,65	16,64	9,99			48,50	4,85

In 1984 werd de put in bedrijf genomen aan een exploitatiedebiet van 75 m³/h.

Gedurende de periode 1984 tot 1993 is het specifiek debiet van de put geleidelijk verminderd van 4,7 naar 2,8 m³/h/m.

In 1993 werd de put, in eigen beheer, geregenereerd met 1 200 kg technisch zoutzuur (28%) De specifieke opbrengst na de regeneratie met zoutzuur werd geraamd op 4 m³/h/m.

In 1997 was de specifieke opbrengst opnieuw gedaald tot 2,7 m³/h/m zodat om het nodige debiet te kunnen oppompen een nieuwe regeneratie noodzakelijk was.

Gezien de nadelen van een regeneratie met zoutzuur werd bij wijze van proef beroep gedaan op alternatieve middelen, nl de regeneratie door middel van ultrasone golven Dit is een recente milieuvriendelijke techniek waarbij men met ultrasone golven de cohesie tussen de verstoppende (ijzer, mangaan, bacteriën,) neerslag en het filtrerend grind-zandmasief zou kunnen verbreken. De uitvoering van de opdracht werd toevertrouwd aan aannemer Eufor uit Luik

De behandeling van het filtergedeelte met ultrasone golven werd voorafgegaan door een mechanische reiniging van de verbuizing met stalen borstels. Het bezinksel werd uit de put verwijderd door middel van air-lift.

Voor en na de uitvoering van de opdracht werd een (vergelijkende) pompproef uitgevoerd. De resultaten van deze pompproef zijn weergegeven in de tabel hierna.

Samenvattende tabel

aanvangs- datum	duur pomp (uren)	SP	DP	afpomp	SP	DP	debiet (m ³ /h)	specifiek debiet (m ³ /h/m)
		Relatief (m)	Relatief (m)	(m)	Absoluut (TAW) (m)	Absoluut (TAW) (m)		
25/11/97	4	8,92	28,06	19,09			71,00	3,72
03/02/98	24	7,97	26,53	18,56			69,00	3,71

4. Conclusie

Zoals uit de pompproeven voor en na de behandeling kan afgeleid worden heeft de toepassing van de ultrasone techniek voor de put P2 geen resultaat opgeleverd. De specifieke opbrengst is ongewijzigd gebleven.

Na het beëindigen van de regeneratiewerken werd de put opnieuw onderzocht met de onderwatercamera. De camera toonde aan dat de neerslag op binnenoppervlak van de filterbuis goed verwijderd is. De filterbuis is echter zwaar beschadigd door corrosie, zodat een nieuwe regeneratie met zoutzuur de put verder zou beschadigen en onbruikbaar maken.

Op het programma 1999 dient het boren van een nieuwe put te worden voorzien.

De ultrasone techniek werd, zij het zonder succes, toegepast op een mogelijks te erg verstopte put.

Vermits de ultrasone regeneratietechniek milieuvriendelijk is en er toch talrijke positieve referenties op de markt beschikbaar zijn, is het wenselijk om een derde proef te laten uitvoeren op een put waarbij het stadium van de verstopping minder ver is gevorderd.

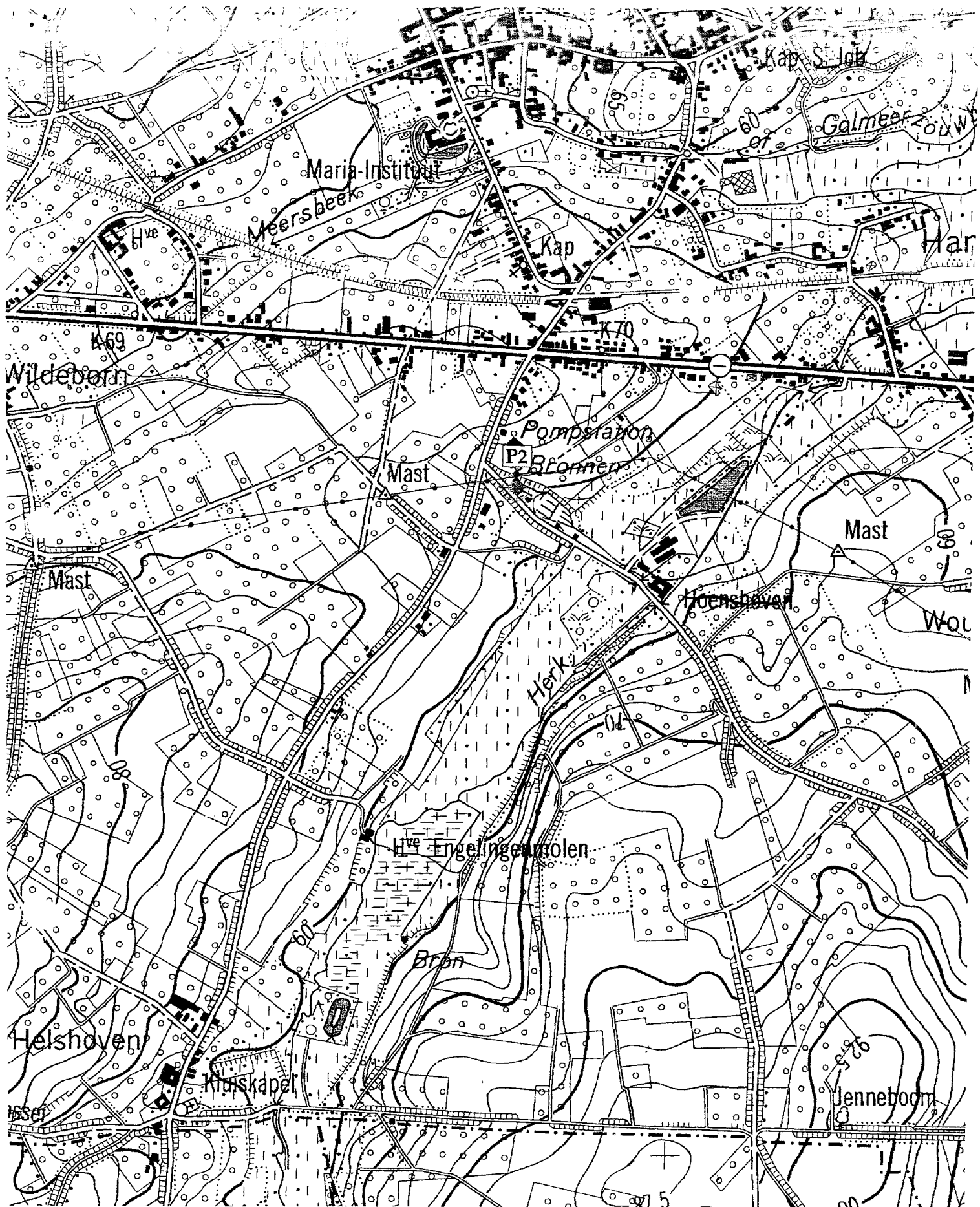
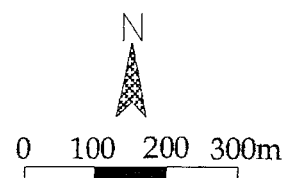


Fig. 1 : Hoepertingen : ligging put P2



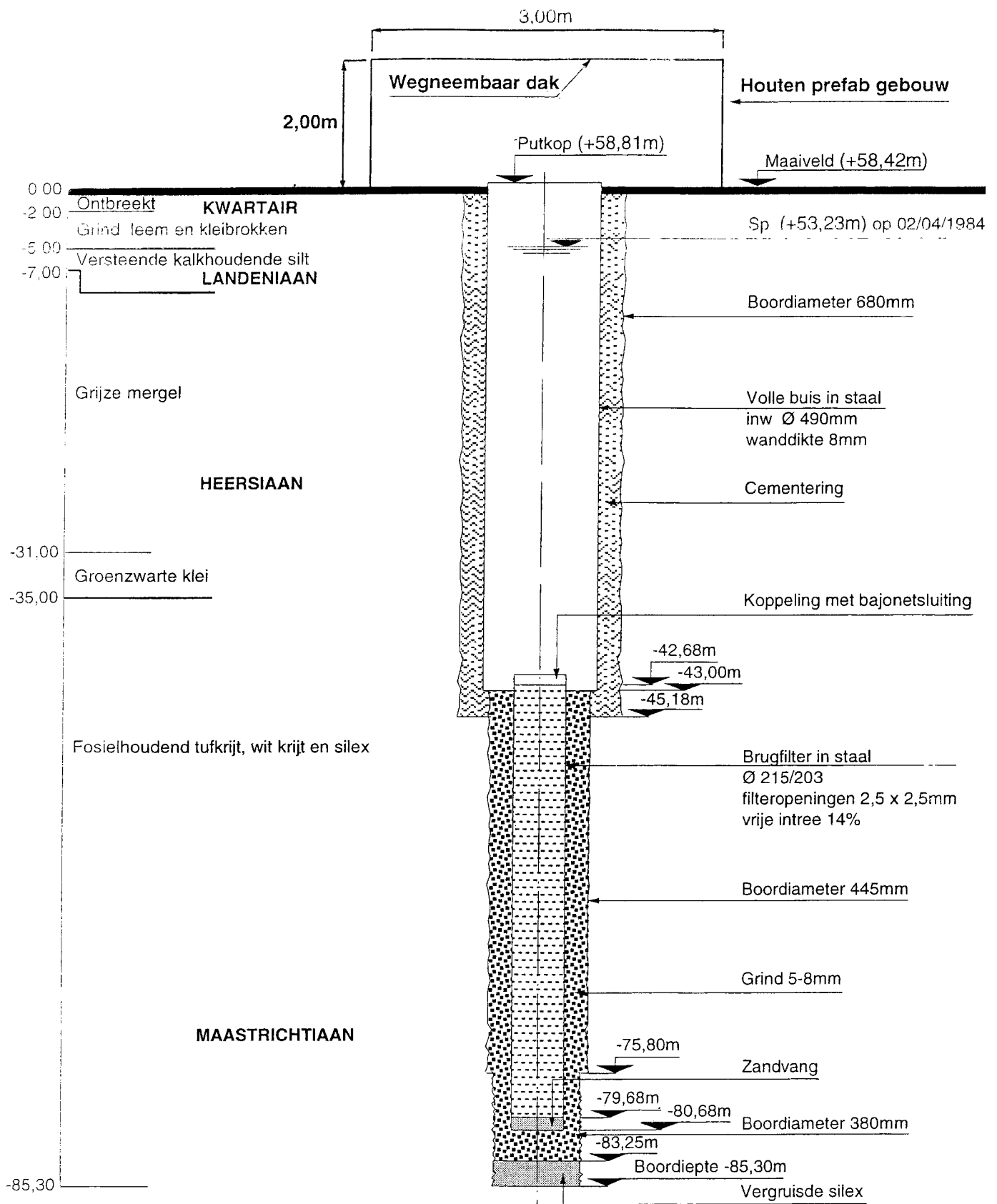


Fig. 3 : Hoepertingen P2 : geologie en inbouw

Herent: ultrasoonregeneratie van productieput P4

1. Ligging

De productieput P4 is gelegen op het perceel 495e (zie figuren 1 en 2)

2. Toestand van de put

Het onderzoek met de onderwatercamera toonde aan dat de PVC-verbuizing van de put praktisch niet vervuild en nog intact is. Op de bodem van de put bevond zich een weinig bezinksel (zie figuur 3)

3. Regeneratie en proefpompingen

Na het boren van de put in 1990 zijn relatief langdurige proefpompingen uitgevoerd. Het resultaat ervan is vermeld in de hiernavolgende tabel.

Samenvattende tabel

aanvangs- datum	duur pomp (uren)	SP relatief (m)	DP (m)	afpomping (m)	SP absoluut (TAW) (m)	DP (m)	debiet (m ³ /h)	specifiek debiet (m ³ /h/m)
20/11/90	24	6,78	11,81	5,03			31,26	6,21
22/11/90	95,5	6,88	16,09	9,21			57,43	6,24
26/11/90	97	6,94	19,25	12,31			75,00	6,09

In 1991 werd de put in bedrijf genomen aan een exploitatiedebiet van 50 m³/h.

Na een relatief korte tijd verminderde het specifiek debiet van de put geleidelijk van 6 naar 2 m³/h/m. Dit verschijnsel van snelle putverstopping doet zich eveneens voor bij de overige putten op deze winning.

In 1996 werd, met het oog op een regeneratie maar zonder resultaat, 500 liter zoutzuur in de put P4 geïnjecteerd.

Omdat de regeneratie met zoutzuur geen resultaat opleverde werd beroep gedaan op alternatieve middelen, nl. de regeneratie door middel van ultrasone golven. Dit is een recente techniek waarmee men met ultrasone golven de samenhang tussen de verstoppende (ijzer, mangaan, bacteriën, ...) neerslag en het filtrerend grind-zandmassief zou kunnen verbreken.

Vóór en na de bewerking van het filtrerend massief met ultrasone golven werd een (vergelijkende) pompproef uitgevoerd. De resultaten van deze pompproef zijn weergegeven in de tabel hierna.

Samenvattende tabel

aanvangs- datum	duur pomp (uren)	SP relatief (m)	DP (m)	afpomp (m)	SP absoluut (TAW) (m)	DP (TAW) (m)	debiet (m ³ /h)	specifiek debiet (m ³ /h/m)
25/11/97	4	3,84	17,37	13,53			26,00	1,92
02/12/97	4	4,55	23,97	19,42			38,20	1,97

4. Conclusie

De productieputten op de waterwinning te Herent zijn onderhevig aan een abnormaal snelle en hardnekkige verstopping die niet zichtbaar is in de put. De oorzaak ervan ligt niet voor de hand. Dit verschijnsel doet zich niet voor op de slechts drie kilometer verder gelegen en gelijkaardige winning van Winksele (Kastanjebos).

Zoals men uit de pompproeven kan afleiden heeft de ultrasoonbehandeling van de put P4 geen resultaat opgeleverd. De zeer kleine verschillen in de specifieke opbrengst kunnen niet worden beschouwd als een verbetering van de opbrengst.

He toepassen van de ultrasone techniek heeft geen resultaat opgeleverd op de boring in de formatie (zanden) van Brussel.

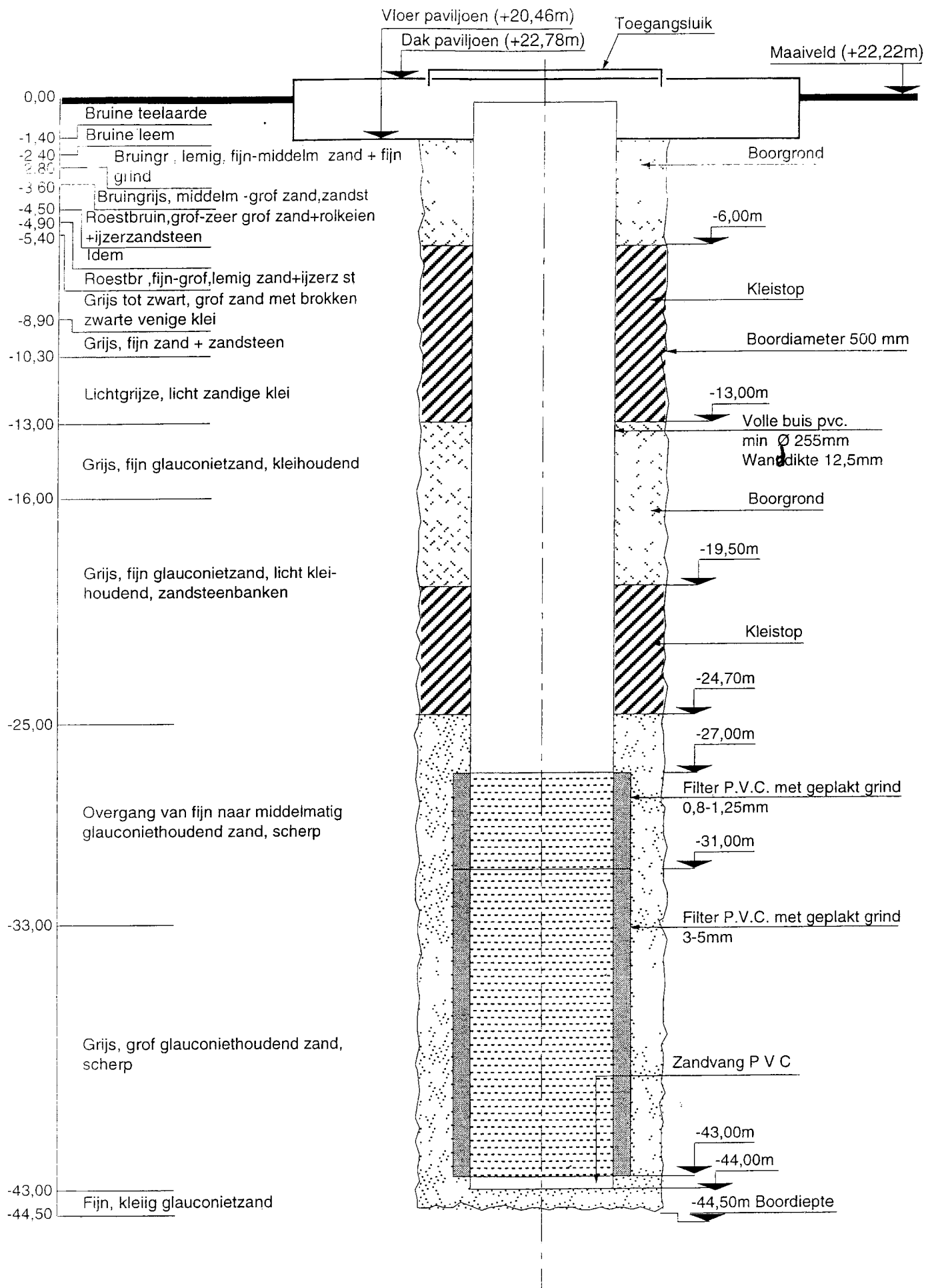


Fig. 3 : Herent P4 : geologie en inbouw