



**BTO 2003.035**  
maart 2003

# **TRIZ: Innovatieve oplossingen voor verstoppende pompputten**

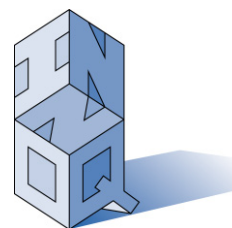
Functioneel model en Nieuwe concepten

© 2003 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  
electronisch, mechanisch,  
door fotokopieën, opnamen,  
of enig andere manier, zonder  
voorafgaande schriftelijke  
toestemming van de uitgever.

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

Telefoon 030 60 69 700  
Fax 030 60 69 701  
Internet [www.kiwa.nl](http://www.kiwa.nl)

**Versie: 1.1**  
**Innovation Quotient**  
**Postbus 170**  
**5550 AD Valkenswaard**  
**t: +31 (0)6 10745232**  
**f: +31 (0)84 8734884**  
**e: [info@innovation-quotient.nl](mailto:info@innovation-quotient.nl)**



# Colofon

**Titel**

TRIZ: Innovatieve oplossingen voor verstoppende pompputten

**Projectnummer**

11.1456.400

**Projectmanager**

Jan Willem Kooiman

**Kwaliteitsborger(s)**

Elbert Schrama, Bert-Rik de Zwart

**Auteur(s)**

Bart Gras (Innovation Quotient BV)

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar



## Versie pagina

Project	: Nieuwe concepten ter voorkoming van veel voorkomende vormen van verstopping
Auteur	: Bart Gras
Rapport	: Rapport TRIZ project verstopping van pompputten
Versie	: 1.1
Status	: Eindrapport
Datum aanmaak	: 24 september 2002
Datum laatste wijziging	: Maart 2003

Datum	Auteur	Versie	Wijziging
24-9-2002	Bart Gras	0.1	Aanmaak van document en verwerking resultaten van eerste sessie met cause-and-effect graph over verstopping boorgatwand en filterspleten
3-10-2002	Bart Gras	0.2	Verwerking resultaten sessie 2: functioneel model. Verificatie cause-and-effect grafieken, benoemen aanwezige resources en aanscherpen beeld van mechanisme boorgatwand verstoppingen.
15-10-2002	Bart Gras	0.3	Verwerking resultaten sessie 3: selectie criteria concepten + uitwerking 1 <sup>e</sup> contradictie (no. 5.1) + verwerking op- en aanmerking op rapport door projectteamleden.
20-10-2002	Bart Gras	0.4	Verwerking resultaten sessie 4: ideegeneratie + resultaten trimming. Verbetering functionele model boorgatwand.
28-10-2002	Bart Gras	0.5	Verwerking resultaten sessie 5: conceptselectie + aanbevelingen en conclusies.
5-12-2002	Bart Gras	1.0	Aanpassingen hoofdstuk 5 op basis van commentaar Elbert Schrama
10-2-2003	Bart Gras	1.1	Aanpassingen n.a.v. interne evaluatie bij Kiwa. Selectiematrix met ruwe scores en ideelijst aanpassen

<b>Samenvatting .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Inleiding .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Probleembeschrijving van putverstopping .....</b>	<b>7</b>
2.1 Korte beschrijving van het probleem.....	7
2.2 De huidige pompputten .....	7
2.3 Problemen bij de huidige pompputten .....	9
2.4 In welke richting moet de oplossing gezocht worden.....	12
2.5 Waaraan moet een oplossingsrichting voldoen.....	12
2.5.1 Technische criteria.....	12
2.5.2 Toegestane veranderingen aan het huidige systeem.....	13
2.5.3 Economische criteria.....	13
2.5.4 Tijdsplanning.....	13
2.5.5 Verwachte nieuwheidsgraad.....	14
2.5.6 Overige criteria.....	14
<b>3. Een functionele beschrijving van waterwinning .....</b>	<b>15</b>
3.1 Verstopping van putten voor waterwinning .....	15
<b>4. Aanpak van de deelproblemen bij putverstopping .....</b>	<b>19</b>
4.1 Geanalyseerde verbeteringen .....	19
4.2 Niet-geanalyseerde verbeteringen .....	21
<b>5. Resultaten van het TRIZ project “putverstopping” .....</b>	<b>23</b>
5.1 Conceptselectie.....	23
5.2 Onderzoeksvragen .....	28
<b>6. Conclusies en aanbevelingen.....</b>	<b>29</b>
<b>Bijlage A. Een korte introductie tot TRIZ .....</b>	<b>31</b>
<b>Bijlage B. Overzicht van de resources bij waterwinning .....</b>	<b>37</b>
<b>Bijlage C. Overzicht van gegenereerde ideeën.....</b>	<b>39</b>
<b>Bijlage D. Oplossingsrichtingen / technieken.....</b>	<b>43</b>
<b>Bijlage E. Aanvullende informatie .....</b>	<b>69</b>

## Samenvatting

Bij Kiwa Water Research te Nieuwegein is op 9 oktober 2001 een TRIZ workshop gehouden. Een van de onderwerpen die in het kader van deze workshop is bekeken is het verstopping van pompputten.

### TRIZ bij Kiwa Water Research: toets met 'Putverstopping'

In 2002 is Kiwa Water Research gestart met een invoeringstraject van TRIZ in de eigen organisatie. Dit traject bestaat uit de opleiding van 2 Kiwa medewerkers in TRIZ op zodanige manier dat zij zelfstandig TRIZ projecten intern de organisatie en voor de klanten van Kiwa uit kunnen voeren. Bij het gebruik van TRIZ staat een systematische aanpak van (product-)innovatie voorop. De ondersteuning van TRIZ richt zich dan vooral op de conceptuele fase van de productontwikkeling. De aanpak van deze conceptuele fase gebeurt in een traject dat 5 verschillende stadia kent:

- probleembeschrijving
- functionele beschrijving van het huidige systeem
- selectie en prioritering van deelproblemen waaraan gewerkt gaat worden
- gebruik van geschikte TRIZ technieken om deelproblemen op te lossen
- samenstellen van concept oplossingen en aanbeveling van beste 2 oplossingen

Om deze aanpak over te dragen op de Kiwa medewerkers is het onderwerp "verstopping pompputten" gekozen. Het doel van dit project is tweevoudig. Het eerste doel is om de kennis over de TRIZ aanpak bij het genereren van oplossingen over te dragen aan de Kiwa medewerkers. Het tweede doel is om goede en innovatieve oplossingen te genereren voor pompputten. Hierdoor moet bereikt worden dat in nieuwe generatie putten veel minder (of geen) regeneratie meer nodig is gedurende de levensduur van de put.

Dit rapport beschrijft de problemen en oorzaken van putverstopping in detail, de functies van de onderdelen in het huidige systeem en de problemen die daarmee optreden, de wijze waarop het projectteam oplossing heeft bedacht voor de verschillende deelproblemen bij verstopping en de aanbevelingen die het projectteam doet voor aanpassingen aan de waterwinning.

### Functioneel model en directe verbeterpunten

Er is een functioneel model gemaakt om een goed overzicht te hebben van de putten voor waterwinning en de problemen rondom verstopping. De nadruk lag daarbij op de primaire functies die deze onderdelen moeten uitvoeren en minder op de huidige implementatie (dus keuze voor een filter, onderwaterpomp e.d.). Ook veel aandacht is er voor de mechanismen die in de formatie zorgen voor verstopping, omdat we op een aantal punten in dit mechanisme invloed zouden kunnen uitoefenen.

Bij de bestudering van een functioneel model vielen direct een aantal verbeterpunten op. Dit zijn schadelijke functies en onvoldoende functies. De schadelijke functies willen we bij voorkeur elimineren en de onvoldoende nuttige functies willen we bij voorkeur verbeteren. Een ander type van verbeterpunt is de contradictie. In dit geval bestaat er een component in het systeem, die zowel nuttige functies uitoefent als een schadelijke functie. Een iets andere vorm is een parameter die 2 tegengestelde waarden op het zelfde moment zou moeten hebben. Een voorbeeld is de boorspoeling, die aanwezig moet zijn om de boorgatwand in stand te houden en die niet aanwezig moet zijn omdat het de boorgatwand afdicht en daardoor bijdraagt aan het ontstaan van verstoppingen. Uit een analyse van het model kwamen vier contradicties, acht schadelijke functies (te verwijderen) en een verbeterfunctie.

### Concepten voor het tegengaan van putverstopping

Vervolgens zijn ideeën gegenereerd voor het tegengaan van verstoppingen. Voor uiteenlopende deelproblemen werden oplossingen gegenereerd.

De laatste sessie van het project was gewijd aan het convergeren. Verschillende ideeën werden gecombineerd, en de meest veelbelovende (combinaties van) ideeën zijn geselecteerd op basis van 11 criteria, elk met een eigen gewicht. Belangrijke criteria waren onder andere een lage onderhoudsfrequentie, lage onderhoudskosten, lange levensduur en het tegengaan van verstoppingen.

De volgende concepten zijn gekozen als veelbelovend:

- **Voor de lange termijn:**
  - “Fysiek verwijderen van de boerspoeeling” met een aantal mogelijke uitwerkingsvarianten zoals: bolletjes met springlading perforeren boerspoeeling; maak omstorting deels in water oplosbaar; 2-staps perforatie methode formatie; geheugenmateriaal aanbrengen voor perforatie; telescopische pijpjes perforeren de boorgatwand.
  - “Gebruik van mix van polymeer en oplosmiddel als boerspoeeling” vooral het gebruik van polysulfon, polyethersulfon, celluloseacetaat, PVDF, stoffen die al een positief ATA-test resultaat hebben biedt perspectieven. Het gevormde schuim zal ook als omstorting dienst doen.
  - “Segmentgewijs de buis opbouwen van bovenaf” naar analogie van tunnelbouw.
- **Voor de korte termijn:**
  - “Veel water gebruiken en dus weinig boerspoeeling”/boerspoeeling verschonen
  - “Grond bevroren tijdens het boren voor steun van de formatie”. Hierdoor hoeft geen boerspoeeling gebruikt te worden. Een variant is om niet de volledige formatie direct rond de waterput te bevroren, maar met een zeer koude boorkop de boringen uit te voeren.
  - “Hard en variabel pompen”. De intentie is om met grote variaties in stroomsnelheden de boerspoeeling voor een groot deel weg te kunnen spoelen.
  - “Draai stroomrichting om (backflush)”. Hierbij is de bedoeling ervoor te zorgen dat deeltjes niet vastlopen in de vernauwde poriën van de boorgatwand. Een mogelijke uitwerking kan zijn dat de pompen ’s nachts van stroomrichting veranderen.
  - “Buisdiameter kleiner maken ter hoogte van het filter” hierdoor wordt versmering van de omgeving van de filter zoveel mogelijk voorkomen.

### Conceptverrijking

Er bestaat nog de mogelijkheid om de concepten te verrijken. Dit kan door ideeën te combineren die een vergelijkbare functie hebben, maar die de sterke punten op verschillende criteria hebben. Dit is in het project uitgelegd aan de hand van een combinatie tussen de huidige boormethode van het zuigboren en het pulsbooren.

Dat leidt tot een **beter concept**:

- Toepassen van zuigboren voor de eerste grondlagen. Na het passeren van de laatste leem- of kleilaag de boerspoeeling wegzuigen en vervolgens de laatste afstand afleggen met behulp van pulsbooren.

Dit concept wordt praktisch zeker uitvoerbaar geacht en het is niet bekend of deze combinatie ooit eerder is uitgeprobeerd.

Ten slotte is een zestal onderzoeksvragen geformuleerd voor nader onderzoek, zoals: ‘Wat doen trillingen met verstopping op de boorgatwand: wordt een beginnende verstopping erger (door zetting) of juist minder?’.

## 1. Inleiding

Bij Kiwa Water Research te Nieuwegein is op 9 oktober 2001 een TRIZ workshop gehouden. Een van de onderwerpen die in het kader van deze workshop is bekeken is het verstoppende van pompputten. In het kader van de workshop is het probleem van de verstopping summier bekeken en is met behulp van één van de technieken van TRIZ een aanzet gemaakt om oplossingen voor dit probleem te bedenken.

In 2002 is Kiwa Water Research gestart met een invoeringstraject van TRIZ in de eigen organisatie. Dit traject bestaat uit de opleiding van 2 Kiwa medewerkers in TRIZ op zodanige manier dat zij zelfstandig TRIZ projecten intern de organisatie en voor de klanten van Kiwa uit kunnen voeren. Bij het gebruik van TRIZ staat een systematische aanpak van (product-)innovatie voorop. De ondersteuning van TRIZ richt zich dan vooral op de conceptuele fase van de productontwikkeling. De aanpak van deze conceptuele fase gebeurt in een traject dat 5 verschillende stadia kent:

- probleembeschrijving
- functionele beschrijving van het huidige systeem
- selectie en prioritering van deelproblemen waaraan gewerkt gaat worden
- gebruik van geschikte TRIZ technieken om deelproblemen op te lossen
- samenstellen van concept oplossingen en aanbeveling van beste 2 oplossingen

Om deze aanpak over te dragen op de Kiwa medewerkers is ervoor gekozen een 2-tal praktijk probleem uit te werken met deze aanpak. In dit kader is het onderwerp “verstopping pompputten” gekozen. Het doel van dit project is tweevoudig. Het eerste doel is om de kennis over de TRIZ aanpak bij het genereren van oplossingen over te dragen aan de Kiwa medewerkers. Het tweede doel is om goede en innovatieve oplossingen te genereren voor pompputten. Hierdoor moet bereikt worden dat in nieuwe generatie putten veel minder (of geen) regeneratie meer nodig is gedurende de levensduur van de put.

Dit rapport beschrijft de problemen en oorzaken van putverstopping in detail, de functies van de onderdelen in het huidige systeem en de problemen die daarmee optreden, de wijze waarop het projectteam oplossing heeft bedacht voor de verschillende deelproblemen bij verstopping en de aanbevelingen die het projectteam doet voor aanpassingen aan de waterwinning. In het rapport staat in hoofdstuk 2 een gedetailleerde beschrijving van het probleem van putverstopping. Er wordt onderscheid gemaakt tussen 2 verschillende vormen van verstopping: op de boorwand en in de filterspleten. Ook wordt er ingegaan op de oorzaken van deze verschillende vormen van verstopping. In hoofdstuk 3 geven we een beschrijving van de functies die de onderdelen in de pompput moeten uitoefenen en welke ongewenste gevolgen deze gekozen implementaties hebben. In hoofdstuk 4 gaan we dan in op de aanpak die gevolgd is om de belangrijkste deelproblemen bij verstopping succesvol van een oplossingsrichting te kunnen voorzien. In hoofdstuk 5 worden de resultaten van deze aanpak bediscussieerd. Tenslotte worden in hoofdstuk 6 de conclusies uit dit project beschreven en worden aanbevelingen gegeven over de richtingen waarin Kiwa onderzoek kan doen om de problemen met verstopping voor de toekomst te reduceren of te elimineren.

Aan dit project hebben de volgende personen deelgenomen:

- Jan Willem Kooiman
- Eelco Trietsch
- Elbert Schrama
- Kees van Beek
- Bert-Rik de Zwart
- Gilbert Galjaard (PWN)
- Carleen Mesters (projectleiding)
- Marc Balemans





## 2. Probleembeschrijving van putverstopping

Voordat een probleem succesvol met TRIZ technieken kan worden aangepakt is een goed begrip van het probleem of de problemen met het huidige product essentieel. Hiervoor is een gestructureerd sjabloon gemaakt waarin informatie over alle belangrijke onderdelen van het probleem geschreven kan worden. Zo wordt niet alleen gekeken naar het huidige systeem en de manier waarop het is bedoeld te werken en welke problemen hierbij optreden. Er wordt ook informatie ingewonnen over de omgeving waarin het systeem moet werken, de historische pogingen die er al gedaan zijn om het probleem op te lossen en waarom deze niet geslaagd zijn, gelijksoortige problemen bij andere industrieën. Om het probleem op te kunnen lossen moet verder van tevoren nog beschreven worden aan welke criteria een oplossing moet voldoen. Bovendien wordt een inventarisatie gemaakt van alle resources waarvan we, bij het bedenken van een oplossing, gebruik kunnen maken.

In dit hoofdstuk worden de hoofdonderdelen van de probleembeschrijving aangegeven.

### 2.1 Korte beschrijving van het probleem

Nadat waterputten zijn aangelegd en met internals (pomp, filters, leidingen, meetinstrumentatie e.d.) in gebruik zijn genomen kan na verloop van tijd verstopping optreden. Door diverse oorzaken kunnen deze putten op 2 wezenlijk verschillende punten verstopten n.l. op de boorgatwand en in de filterspleten. Door dergelijke verstoppingen vermindert de opbrengst van de put en wordt de bedrijfszekerheid aangetast. Zodra de put ernstig verstopt moet met behulp van de huidige technologie de put geregenereerd worden. Dit brengt hoge kosten met zich mee, een ongewenste ingreep in de bedrijfsvoering en het kan in een hoge milieubelasting resulteren. De wens is nu om verstoppingen zoveel mogelijk te voorkomen.

Een extra toelichting is hier op zijn plaats. Van de beide typen verstoppingen (boorgatwand en filterspleten) komt verstopping op de boorgatwand het meeste voor. Op dit moment wordt gedacht dat de meeste verstoppingen fysisch van aard zijn (dit blijkt onder andere uit monsters). Hierbij zorgen deeltjes voor de verstopping van de poriën van de omstorting. De geschatte verdeling van verstoppingproblemen in Nederland is als volgt :

- 1/3 verstopping filterspleten door chemische oorzaken
- 2/3 verstopping boorgatwand door mechanische oorzaken

Veelal komt verstopping tot stand door een wisselwerking tussen fysische, chemische en biologische factoren.

### 2.2 De huidige pompputten

#### De structuur

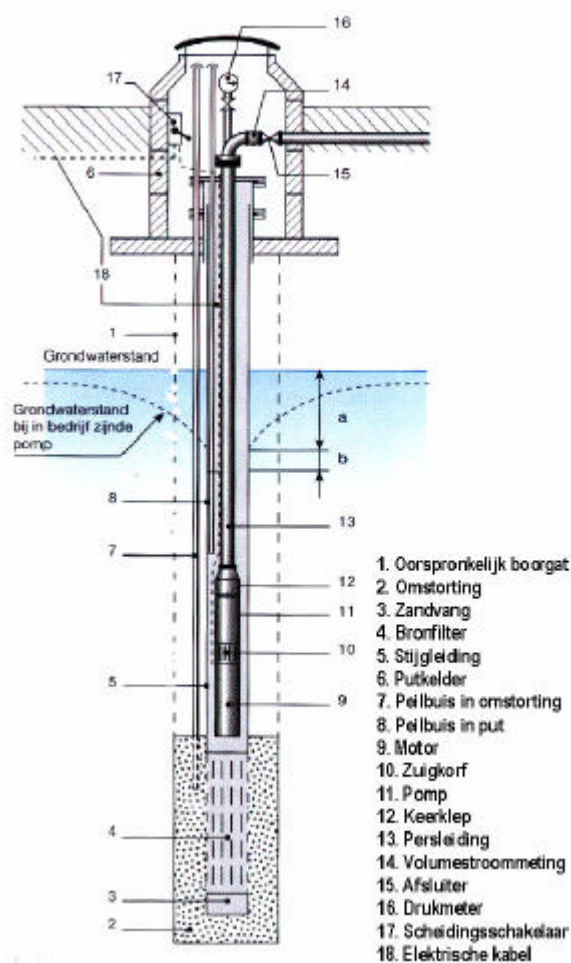
Voor het winnen van grondwater wordt gebruik gemaakt van pompputten. Een voorbeeld van de structuur van een pompput is te zien in figuur 2.1. Een deel van de oorzaken voor mechanische verstopping is gelegen in de manier waarop de pompputten worden aangelegd. Daarom wordt dit ook summier meegenomen in de beschrijving van de huidige pompputten. De belangrijkste onderdelen die we kunnen onderscheiden bij de aanleg van pompputten en in de pompput zijn als volgt:

#### **Aanleg pompput:**

- 1) Boorinstallatie voor het boren van een verticaal gat.
- 2) Boorgat met diameter van 50 tot 120 cm en diepte van 10 tot 300 meter

### Structuur pompput:

- 1) Boorgat door het vorige aanlegproces aangebracht. Door de boorgatwand treed een flux van water op van gemiddeld 2 [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h].
- 2) Stijgleiding en filter: PVC buis met op de windiepte spleten (taps toelopen) aangebracht (=filter). Het filter gedeelte heeft een lengte van 10 à 30 meter, incidenteel heeft het filter een lengte van 5 of 50 meter. De diameter van het filter is 15 tot 45 cm.
- 3) Zandvang onderin de stijpleiding om ervoor te zorgen dat het aangezogen zand hier sedimenteert. De moderne putten hebben geen zandvang meer, omdat er geen zand meer in de put terecht komt
- 4) Omstorting tussen putfilter en formatie. De keuze voor de korrelgrootte(-verdeling) van de omstorting is afhankelijk van de grootte van de bodemkorrels. De keus is zodanig dat het oorspronkelijke zand niet door de omstorting heen kan migreren. Het materiaal van de omstorting bestaat uit gegloeid grind om besmetting met bacteriologische kiemen te voorkomen. De omstorting is tussen de 10 en 15 cm dik.
- 5) Pomp met motor: wordt in de stijpleiding opgehangen. (meestal betreft het een onderwaterpomp). De capaciteit van de pomp hangt af van de opvoerhoogte, het doorlaatvermogen van het watervoerende pakket en de opvoerhoogte van de pomp.
- 6) Volumestroommeting
- 7) Peilbuis in omstorting en peilbuis in put voor afleiden intreeweerstand



Figuur 2.1 Overzicht van een pompput

### Het functioneren van de pompput

Met behulp van de onderdelen van de pompput kan het grondwater worden opgepompt. Dit werkt op de volgende manier. Doordat de pomp (5) water wegpompt, wordt het waterpeil in de put verlaagd. Door het peilverschil in de peilverschil in de put zal er in de bodem water naar de put toestromen. Hierdoor zal grondwater door de omstorting dringen en via het filter in de stijgleiding terecht komen. Hieruit wordt het door het drukverschil getransporteerd naar de zuigleiding tot het afleverpunt bij de afsluiter (maaiveld). Dit normale transport kan ernstig gehinderd worden als er een verstopping optreedt. Deze verstoppingen kunnen optreden in de omstorting of in de filterspleten.

### De omgeving van de pompput

De omgeving van de put is ook belangrijk bij het analyseren van de problemen rondom verstopping. De putten worden aangebracht in een ondergrond. Een deel van de putten staat boven het maaiveld. Dit gedeelte is onderhevig aan buitencondities. Onder het maaiveld wordt de omgeving van de put het meest significant beïnvloed door de bodemgesteldheid. Belangrijke parameters in de bodemgesteldheid die van belang zijn, zijn de volgende:

- chemische samenstelling van het grondwater
- aanwezigheid van ijzerhoudende componenten
- bacteriologische processen
- aard van het zandpakket (soort zand, aanwezigheid van reactieve componenten – bijv. kalk of organisch materiaal -,...)

Er is ook een interactie van de put op het grondwaterniveau. Er ontstaat een zogenaamde afpompingsput. Lokaal ter hoogte van de boorgatwand daalt het grondwaterniveau en het niveauverschil wordt afpompingsput genoemd. Als er verstopping optreedt dan zal de afpompingsput toenemen.

De putten staan gegroepeerd in een zogenaamd puttenveld.

Bij de omgeving rekenen we ook de wijze van bedrijfsvoering van de pompen. Voor de bedrijfsvoering kan een aantal situaties worden onderscheiden. Voor ons zijn de bedrijfsvoering bij normaal gebruik van belang en de bedrijfsvoering als een putverstopping wordt geconstateerd. Er wordt vermoed dat bij veelvuldig schakelen van een bepaalde put de kans op verstopping wordt verhoogd.

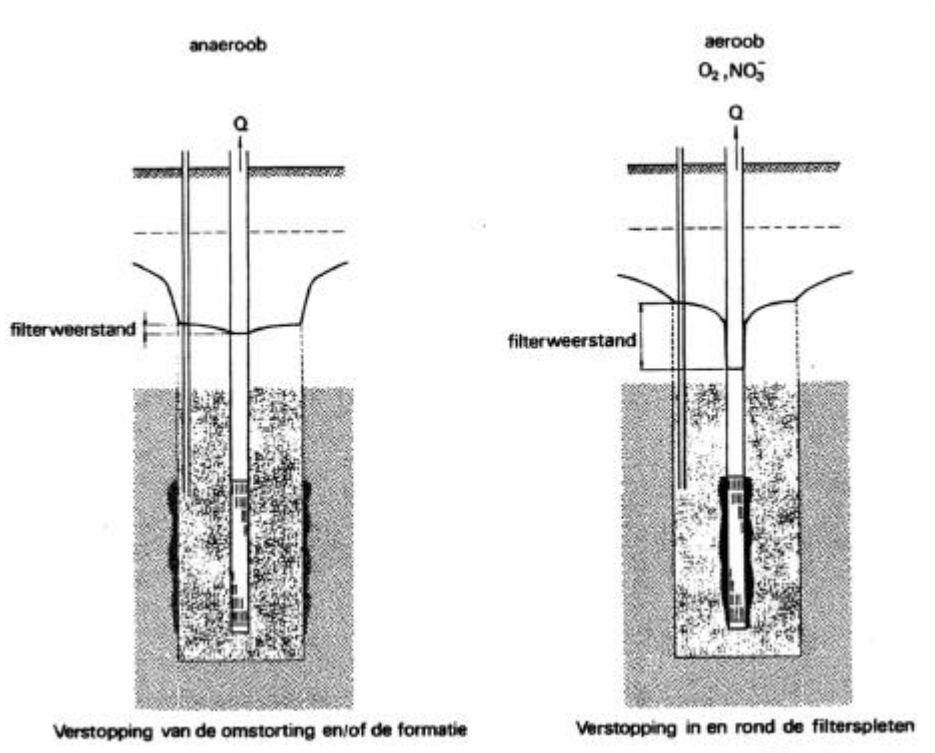
Tot slot is het interessant om op te merken dat de wijze van waterwinning die in deze paragraaf is beschreven niet wordt toegepast in de buurt van zoutwater en in situaties waarin het watervoerend pakket dun is. In die situatie wordt gewerkt met horizontale drains. Hierbij treden wel dezelfde verstoppingen op, maar de frequentie is lager. Dit komt omdat er geen menging van aëroob en anaëroob water optreedt. Hierdoor blijft de chemische reactie en neerslagvorming, die de filterspleten verstopt, uit.

## **2.3 Problemen bij de huidige pompputten**

In de vorige paragrafen is al uitgelegd dat dit project zich richt op het voorkomen van verstoppingen bij de verticale pompputten. Deze verstoppingen komen op 2 gebieden van de pompput voor. Het eerste gebied is de boorgatwand en het tweede gebied is de filterspleten. Bekend is dat ca. 50% van de pompputten gedurende hun levensduur verstopt. Naar schatting is de verdeling van dit aantal verstoppingen als volgt in Nederland:

- 1/3 verstopping filterspleten
- 2/3 verstopping boorgatwand

In figuur 2.2 zijn de beide typen van verstopping te zien:



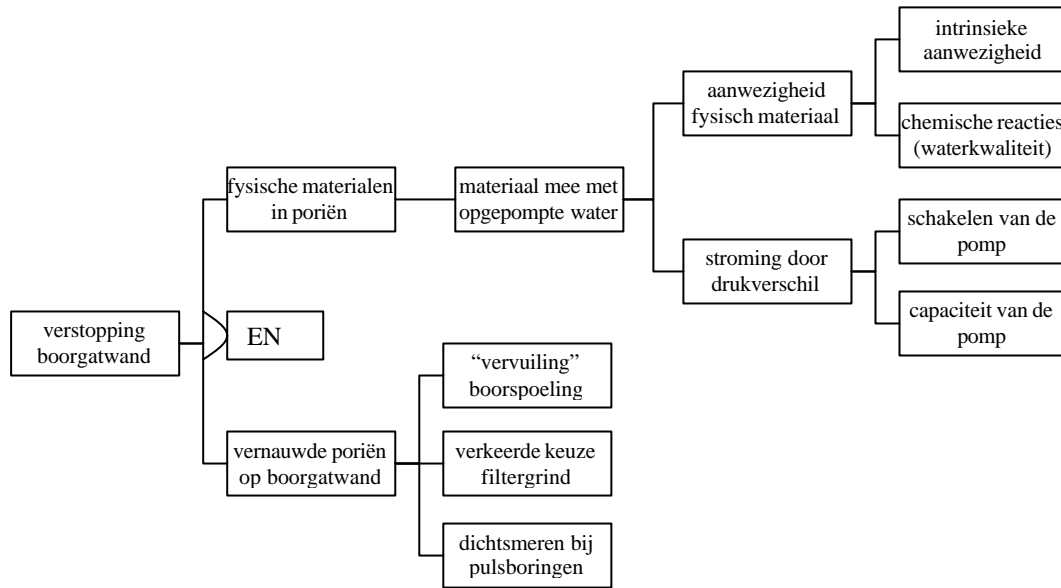
**Figuur 2.2: Overzicht van de 2 verschillende typen van verstoppingen**

Over verstopping is op dit moment nog niet met zekerheid te zeggen hoe het mechanisme in elkaar zit, maar er zijn een aantal waarschijnlijke mechanismen:

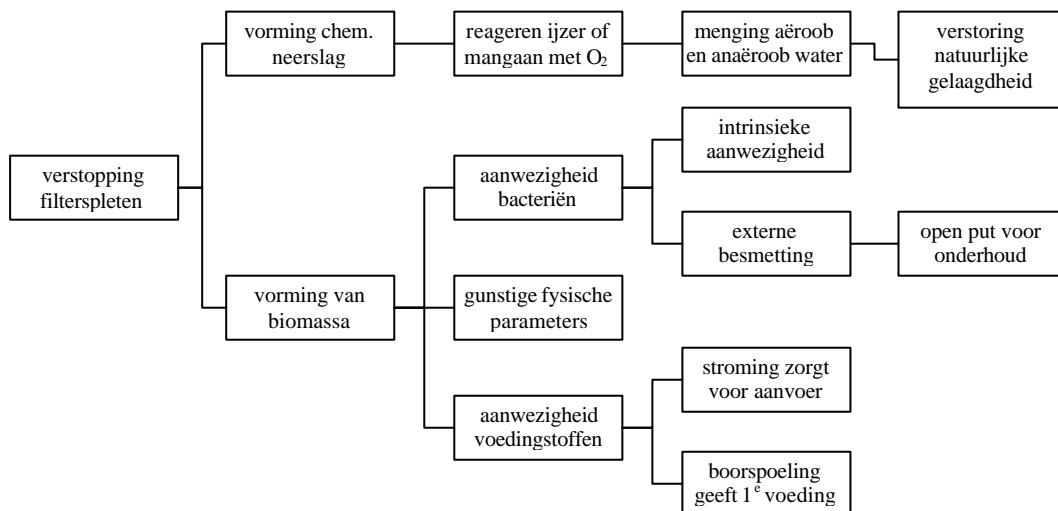
A) **Verstopping filter:** doordat uit de directe omgeving van de put ter hoogte van de windiepte grondwaterstromen van verschillende chemische samenstelling elkaar ontmoeten wordt een neerslag gevormd. Dit gebeurt vooral als ijzer- en mangaanhoudende stromen (of bodem) met zuurstof bevattende stromen in aanraking komen. De stoffen die hieruit gevormd worden slaan neer en verstopen de filterspleten. Dit effect wordt nog versterkt door aanwezigheid van ijzer- en mangaanoxiderende bacteriën. Als er voor deze organismen gunstige omstandigheden bestaan dan zal de biomassa ervan sterk toenemen. Dit leidt tot afvangen van materiaal dat door grondwater wordt meegevoerd. Dit zal accumuleren en meewerken aan de verstopping.

B) **Verstopping boorgat:** Doordat de grondwaterstroming een grote snelheid bereikt wordt het mogelijk gemaakt dat er diverse chemische en/of fysische processen gaan spelen die zorgen voor verstopping van het boorgat. Zo kunnen bijvoorbeeld door de hogere snelheden deeltjes gemobiliseerd worden, die uiteindelijk meehelpen aan de verstopping. De deeltjes kunnen ook door andere mechanische invloeden of chemische elementen worden gemobiliseerd.

Het beeld van de verschillende oorzaken van de verstoppingen is ook in zogenaamde cause-and-effect graph gemaakt. Hierin worden de verschillende oorzaak-gevolg ketens aangegeven, die uiteindelijk kunnen leiden tot een verstopping van de boorgatwand of een verstopping van de filterspleten. In de volgende figuren zijn de cause-and-effect graph voor verstopping op de boorgatwand en die voor verstopping van de filterspleten te zien:



**Figuur 2.3: De oorzaak-gevolg keten voor verstoppingen op de boorwand**



**Figuur 2.4: De oorzaak-gevolg keten voor verstoppingen van de filterspleten**

Opm : incidenteel alleen vorming van biomassa, meestal is vorming van biomassa een factor die de vorming van chemische neerslag versnelt en verergert

Om de problemen met verstopping op te lossen zijn in het verleden al verschillende oplossingen geprobeerd. De informatie over historische pogingen om het probleem op te lossen zijn altijd interessant. Enerzijds omdat de benodigde technologie toen niet aanwezig was en nu wel. Anderzijds kan gekeken worden waarom de oplossing toen niet werkte en voor die bottleneck een oplossing bedacht kan worden. De oplossingen, die voor putverstopping geprobeerd zijn, zijn de volgende:

- **gescheiden onttrekking (filterspleet verstopping):** door het aërobe en het anaërobe water gescheiden op te pompen via gescheiden putfilters. Dit werkte niet, omdat het

scheidingsvlak niet scherp gedefinieerd bleek in de praktijk. Bovendien was de oplossing duur.

- **ondergrondse ontijzering (beide typen verstopping)**: hierbij werd zuurstofhoudend water geïnjecteerd. Het ontstane neerslag, waarin de ijzer zat, werd verwijderd. Deze oplossing werkt, maar een bijkomend probleem is dat niet overal een vergunning verleend wordt voor deze wijze van waterwinning.
- in Duitsland is geprobeerd om putten **preventief te chloreren**. Dit werkte niet goed. De aanpak was gericht op het bestrijden van verstoppingen door biomassa.
- het **beïnvloeden stromingsverdeling in de put** via extra pijp in de put. Werkte niet.

## 2.4 In welke richting moet de oplossing gezocht worden

Om te bepalen in welke richting de oplossingen gezocht moeten worden, wordt een zogenaamd ideaal eindresultaat geformuleerd. In het geval van verstopping zou een oplossingsrichting kunnen zijn om de wijze van regenereren minder belastend voor het milieu te maken. Door het projectteam wordt echter een andere richting gekozen. Het ideale eindresultaat is geformuleerd als:

Een pompput waarin geen verstoppingen meer optreden en waarvan de on-stream factor 100% is.

Om dit ideale eindresultaat te bereiken moeten een aantal problemen opgelost zijn. Deze problemen zijn in de cause-and-effect graphs in paragraaf 2.3 beschreven.

## 2.5 Waaraan moet een oplossingsrichting voldoen

De oplossingen die gegenereerd worden in dit project zijn niet zonder meer kandidaat oplossingen, die nader uitgewerkt kunnen worden. De oplossingen zullen beoordeeld worden aan de hand van een aantal criteria die in deze paragraaf opgesomd zullen worden. De criteria zijn in een aantal categorieën onderverdeeld:

- technische criteria
- toegestane veranderingen aan het huidige systeem
- economische criteria
- tijdsplanning
- verwachte graad van nieuwheid
- overige criteria

### 2.5.1 Technische criteria

Onder technische criteria horen alle wensen en eisen die gesteld worden vanuit het vakgebied van de waterwinning. Dus hier zal het gaan over bacteriologische verontreinigingen, gebruik van chemicaliën, aansluiting op gebruikte infrastructuur etc. De criteria die door het projectteam in deze categorie zijn genoemd, zijn als volgt:

1. De oplossing voor het tegengaan van verstoppingen mag de afpompings niet verergeren ten opzichte van de huidig gebruikte technologie op die locatie.
2. De oplossing voor verstopping mag het niet mogelijk maken dat opgepompt water ongemerkt terugstroomt
3. Bij toepassing van de oplossing tegen verstoppingen moet de opgepompte hoeveelheid water minimaal 50 kubieke meter per uur bedragen
4. Bij toepassing van de oplossing tegen verstoppingen mag de temperatuur niet teveel oplopen



5. Bij het toepassen van de oplossing tegen verstoppingen mogen er geen contaminaties geïntroduceerd worden van bijvoorbeeld chemische, bacteriologische of radioactieve aard
6. Bij het introduceren van de oplossing tegen verstoppingen moet de onderhoudsfrequentie maximaal eens per 2 jaar zijn en bij voorkeur langer. Dit betekent dus een minder onderhoudsgevoelige pompput ten opzichte van de huidige technologie
7. Bij het introduceren van de oplossing tegen verstoppingen moet de levensduur van de pompput voor de volgende aspectgebieden gegarandeerd zijn:
  - werktuigbouwkundig: 15 jaar
  - civieltechnisch: 50 jaar
  - elektrotechnisch: 5 jaar

### **2.5.2 Toegestane veranderingen aan het huidige systeem**

In sommige gevallen moet een nieuw systeem op hoofdlijnen gelijk blijven, bijvoorbeeld om de acceptatie bij de klant te garanderen. In het projectteam is ook deze vraag gesteld. Hieruit kwam naar voren dat de huidige gebruikte technologie volledig mag veranderen, maar de hoofddoelstelling moet gehaald worden. En die hoofddoelstelling is "het onttrekken van grondwater uit de bodem".

Een drastische verandering aan de pompputten kan op 2 momenten gebeuren. De eerste mogelijkheid is als er nieuwbouw wordt uitgevoerd en de tweede mogelijkheid is als er gerenoveerd wordt. De eerste mogelijkheid komt in Nederland maar zelden voor. Renovaties komen regelmatig voor.

### **2.5.3 Economische criteria**

Bij de economische criteria ligt het voor de hand om te berekenen of de kosten voor een oplossing tegen verstoppingen zich snel genoeg laten terugverdienen door besparing op onderhoudskosten. De volgende gegevens kunnen hiervoor gebruikt worden:

- kosten voor beheer en onderhoud per put per jaar: €9500
- de kosten die een bedrijf op jaarbasis moet maken voor vervanging van een put zijn: €75.000 (Quick scan document 2001: totaal vervangingskosten voor 5 representatieve bedrijven per jaar bedroeg €355.000)
- De derving tengevolge van verstopping hoeft niet meegerekend te worden, omdat de putvelden met een overcapaciteit ontworpen zijn

### **2.5.4 Tijdsplanning**

Voor de implementatie van een oplossing ter voorkoming van putverstopping wordt het volgende tijdsplan gebruikt:

- onderzoek naar de mechanismen van verstopping en aandragen van mogelijke oplossingen in de periode van 1-1-2002 tot 31-12-2005
- implementatie van mogelijke oplossingen worden verwacht 2 jaar na start onderzoek in een proefopstelling en verdere uitwerking in een periode van 2-3 jaar nadien.





### ***2.5.5 Verwachte nieuwheidsgraad***

In sommige situaties is het kunnen octrooieren van een oplossing een expliciet doel. Bij het bedenken van oplossingen ter voorkoming van verstoppingen in pompputten speelt dit niet.

### ***2.5.6 Overige criteria***

Een belangrijke eis waaraan een oplossing ter voorkoming van verstoppingen aan pompputten is dat de bedrijfsvoering minder onrustig wordt.

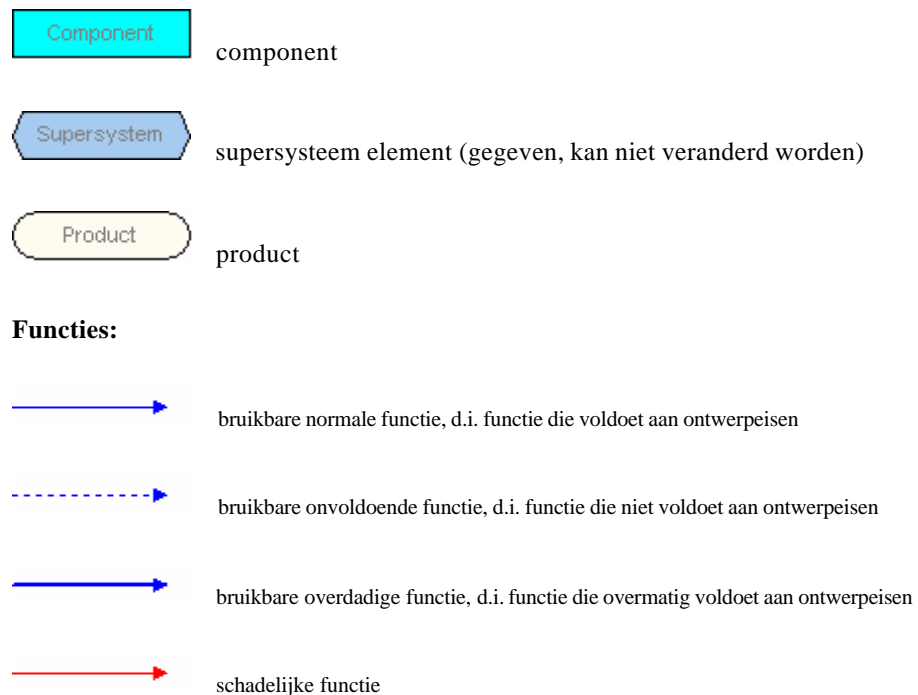
### 3. Een functionele beschrijving van waterwinning

Om een goed overzicht te hebben van de putten voor waterwinning en de problemen rondom verstopping die hier spelen wordt een functioneel model gemaakt van de putten. Hierbij zal blijken dat we niet geïnteresseerd zijn in de huidige implementatie (dus keuze voor een filter, onderwaterpomp e.d.) maar in de primaire functies die deze onderdelen moeten uitvoeren. Verder zullen we uitgebreid aandacht hebben voor de mechanismen die in de formatie zorgen voor verstopping, omdat we op een aantal punten in dit mechanisme invloed zouden kunnen uitoefenen.

#### 3.1 Verstopping van putten voor waterwinning

Nadat waterputten zijn geboord en met internals (pomp, filters, leidingen, meetinstrumentatie e.d.) in gebruik zijn genomen kan na verloop van tijd verstopping optreden. Door diverse oorzaken (fysische, chemische en biologische processen, putontwerp, bedrijfsvoering e.d.) kunnen deze putten op 2 wezenlijk verschillende punten verstopten n.l. verstopping boorgatwand en verstopping filterspleten. Door dergelijke verstoppingen vermindert de opbrengst van de put en wordt de bedrijfszekerheid aangetast. Zodra de put ernstig verstopt moet met behulp van de huidige technologie de put geregenereerd worden. Dit brengt hoge kosten met zich mee, een ongewenste ingreep in de bedrijfsvoering en het kan in een hoge milieubelasting resulteren. De vraag is nu of verstoppingen zoveel mogelijk voorkomen kunnen worden.

Om ideeën te genereren voor de oplossing van dit probleem, moeten we eerst beschikken over een functioneel model. In dit model wordt een overzicht gegeven van de componenten zoals die in de huidige putten voor waterwinning zitten. Tussen die componenten worden de functies aangegeven die de componenten onderling verbinden. Deze functies moeten we lezen als component A oefent functie uit op component B. Bijvoorbeeld onderwaterpomp (component A) transporteert (functie) gewonnen grondwater (component B). Voor het maken van een functioneel model maken we gebruik van een grafische taal die er als volgt uitziet:



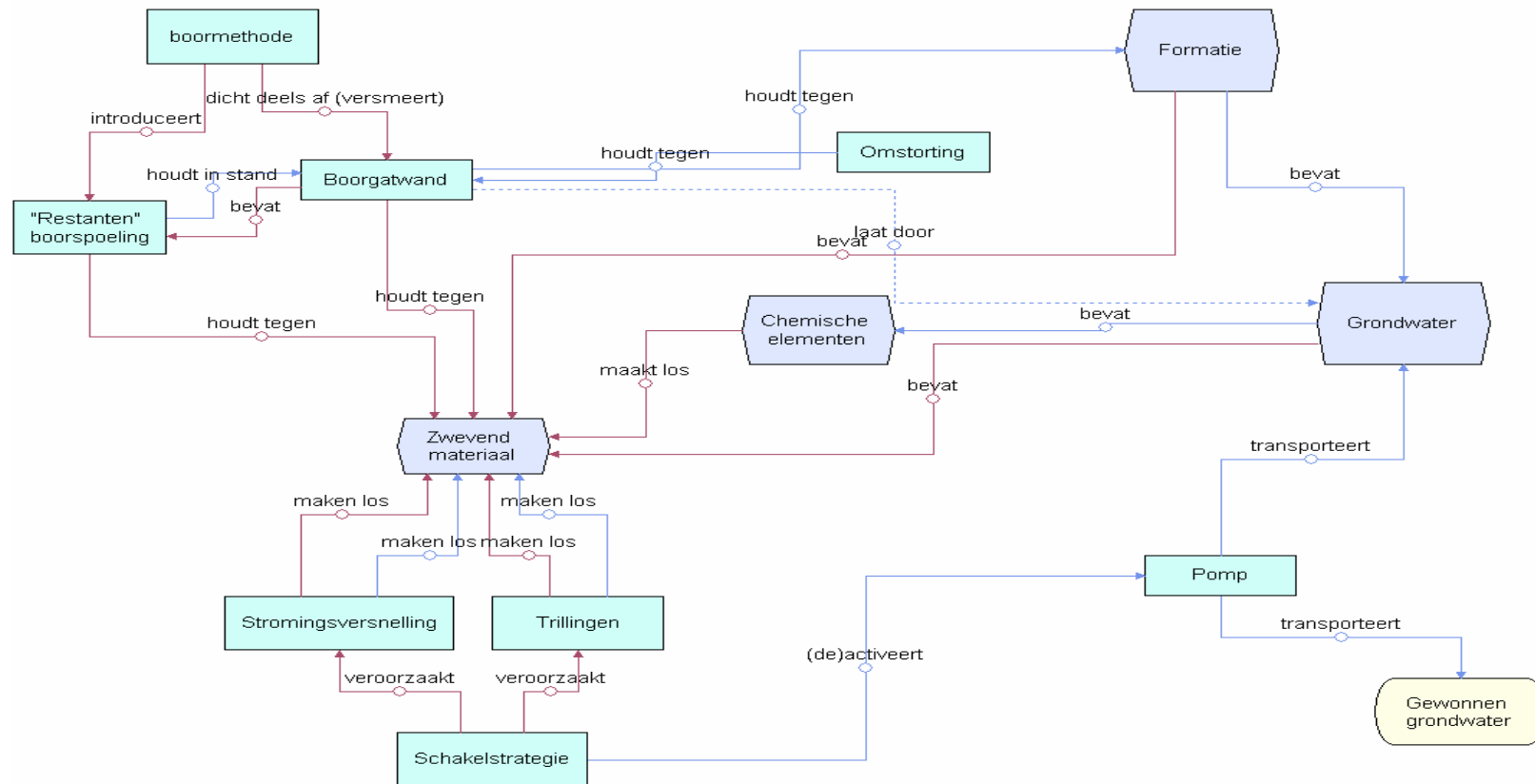


De richting van de pijlen is belangrijk. Als een pijl gericht is van A naar B dan oefent A de functie uit op B. Bijvoorbeeld pomp(A) transporteert het grondwater (B) (d.i. de bruikbare functie).

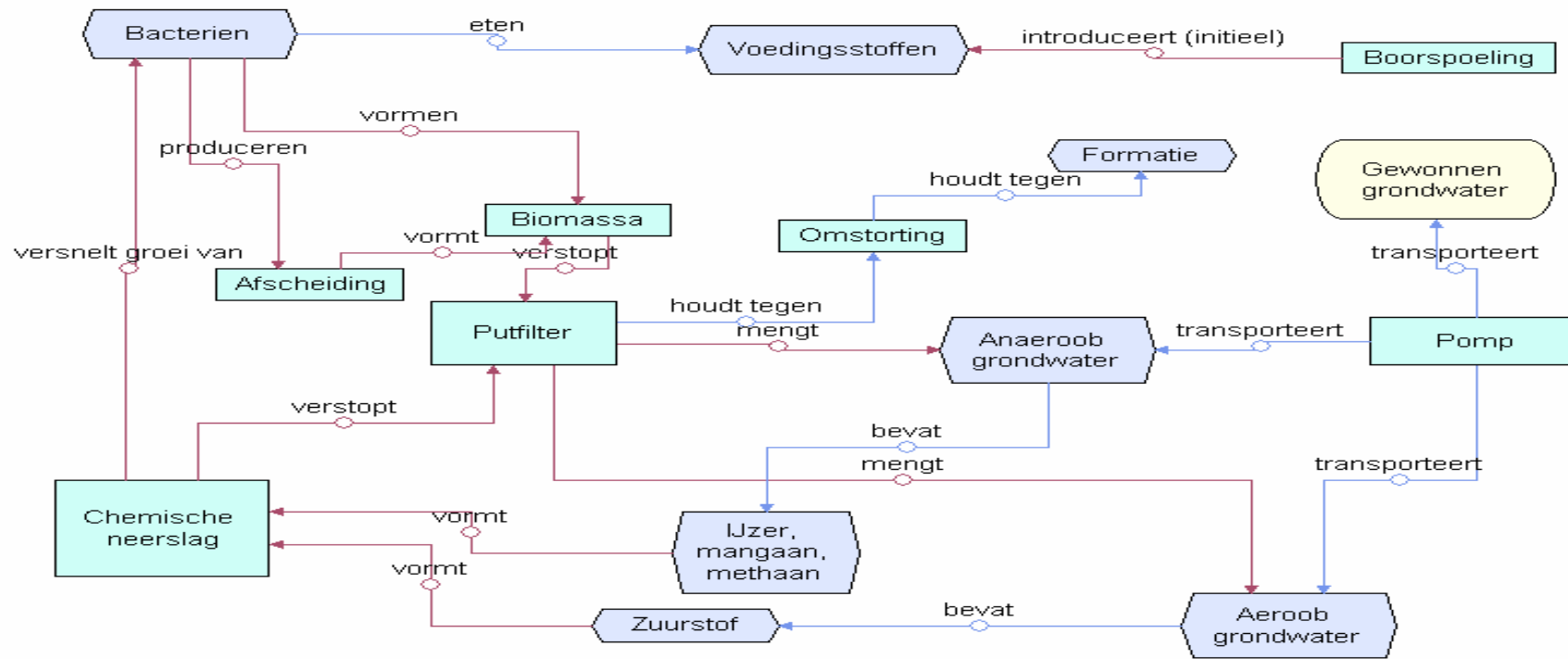
Bij het maken van het functionele model voor de verstopping bij putten voor de waterwinning hebben we een aantal praktische regels gebruikt:

1. Bij de naamgeving van de functies kiezen we zoveel mogelijk uitvoeringsvorm onafhankelijke namen. Bijvoorbeeld pomp transporteert grondwater i.p.v. pomp verpompt water. Dit wordt gedaan om in fase 3 makkelijker los te komen van de bestaande implementatie.
2. Grondwater, en wat daarin zit, wordt beschouwd als supersysteem.
3. We maken in eerste instantie een grof model dat de essentie van de verstoppingen bevat. Op een later moment kunnen er meer gedetailleerde modellen gemaakt worden.

Voor het maken van het model is gebruik gemaakt van de een put voor waterwinning zoals weergegeven in Figuur 2.1. Er zijn 2 verschillende functionele modellen gemaakt. Het eerste functionele model beschrijft de manier waarop verstoppingen van de boorgatwand tot stand komt en het tweede functionele model beschrijft de manier waarop de verstopping van filterspleten tot stand komt. Bij de verstopping van het filter komt zowel verstopping door chemische neerslag voor als verstopping door biomassa of een combinatie van beide.



**Figuur 3.1: Functioneel model voor verstoppingen op de boorgatwand**



Figuur 3.2: Functioneel model voor verstopping van filterspleten

## 4. Aanpak van de deelproblemen bij putverstopping

Bij de bestudering van een functioneel model vallen direct een aantal verbeterpunten op. Dit zijn schadelijke functies en onvoldoende functies. De schadelijke functies willen we bij voorkeur elimineren en de onvoldoende nuttige functies willen we bij voorkeur verbeteren. Een ander type van verbeterpunt is de contradictie. In dit geval bestaat er een component in het systeem, die zowel nuttige functies uitoefent als een schadelijke functie. Een iets andere vorm is een parameter die 2 tegengestelde waarden op het zelfde moment zou moeten hebben. Een voorbeeld is de boorspoeling, die aanwezig moet zijn om de boorgatwand in stand te houden en die niet aanwezig moet zijn omdat het de boorgatwand afdicht en daardoor bijdraagt aan het ontstaan van verstoppingen. Er is een analyse van het model gemaakt en hieruit kwamen de volgende (essentieel verschillende) verbeteringsmogelijkheden:

Number	Name
5.1	Contradiction of "tegenhouden" (Boorspoeling - Formatie) : Boorspoeling houdt formatie tegen, maar restanten ervan verstoppen vervolgens de boorgatwand
5.2	Contradiction of "(de)activeert" (Schakelstrategie – pomp) Schakelstrategie (de)activeert pomp maar veroorzaakt ook trillingen en stroomversnelling
5.3	Physical contradiction "trillingen maken los" <ul style="list-style-type: none"> <li>• zwevend materiaal uit formatie (ongewenst)</li> <li>• zwevend materiaal uit boorgatwand (gewenst?)</li> </ul>
5.4	Physical contradiction "stroomversnelling maken los" <ul style="list-style-type: none"> <li>• zwevend materiaal uit formatie (ongewenst)</li> <li>• zwevend materiaal uit boorgatwand (gewenst?)</li> </ul>
4.4	Elimination of "houdt tegen" (Boorgatwand - Zwevend materiaal)
4.5	Elimination of "bevat" (Boorgatwand – Restanten boorspoeling)
4.6	Elimination of "houdt tegen" (Restanten boorspoeling - Zwevend materiaal)
4.8	Elimination of "dicht deels af" (Boormethode - Boorgatwand)
4.11	Elimination of "maken los" (Trillingen - Zwevend materiaal)
4.12	Elimination of "maken los" (Stromingsversnelling - Zwevend materiaal)
3.1	Improvement of "laat door" (Formatie - Grondwater)
4.1	Elimination of "maakt los" (Chemische elementen - Zwevend materiaal)
4.3	Elimination of "bevat" (Grondwater - Zwevend materiaal)

### 4.1 Geanalyseerde verbeterrichtingen

Als we een oplossing kunnen aandragen waarmee we 1 van deze verbeteringsrichtingen kunnen realiseren dan hebben we een deel van het probleem van verstoppingen opgelost. Daarom zijn deze verbeteringsrichtingen eerst gesorteerd in volgorde van invloed op de eindoplossing (het voorkomen van verstoppingen op de boorgatwand). En vervolgens zijn de 4 belangrijkste verbeteringsrichtingen verder bekeken met een geschikte TRIZ techniek.

Het gebruik van de verschillende TRIZ technieken helpt om ideeën te vinden voor een oplossing. Het projectteam heeft bijvoorbeeld nr. 5.1

- “Boorspoeling is nuttig omdat het de boorgatwand intact houdt, maar het is niet nuttig omdat het verstopping van de boorgatwand veroorzaakt”

geselecteerd. Een mo gelijke manier om oplossingen te vinden die zowel helpen de boorgatwand intact te houden als het water door de boorgatwand door te laten is het gebruik van een TRIZ techniek

“scheidingsprincipes”. Het intact houden van de boorgatwand is essentieel tijdens de aanleg van de put, als de put aangelegd is, wordt het essentieel dat de boorgatwand het water doorlaat. Dus de functie “intact houden van de boorgatwand” moeten we tijdens de aanleg uitoefenen en “water door de boorgatwand doorlaten” moeten we tijdens het operationeel zijn van de put uitoefenen. De TRIZ techniek die het beste gebruikt kan worden wordt dus ingegeven door het type probleem. Tijdens het project zijn de volgende problemen geselecteerd voor verdere uitwerking:

- 5.1: Boorspoeling houdt formatie tegen, maar restanten ervan verstoppert vervolgens de boorgatwand
- 5.4: Stroomversnellingen maken deeltjes los uit de formatie (ongewenst), maar maken ook deeltjes los uit de boorgatwand (gewenst)
- 4.4: Elimineer de mogelijkheid van de boorgatwand om deeltjes tegen te houden
- 4.8: Elimineer de gedeeltelijke afdichting van de boorgatwand door de boormethode (versmering)

Het is de ervaring van Innovation Quotient dat idee generatie vrij volledig gebeurt ook al wordt het aantal verbeteringsrichtingen, dat verder wordt uitgewerkt, beperkt (hier tot 4).

#### Verbetering 5.1:

Bij de verbeteringsrichting 5.1 staat een fysische contradictie centraal. Aan de ene kant is het nuttig dat er boorspoeling is omdat daardoor de boorgatwand in stand wordt gehouden en er een gedeeltelijke waterafdichting is tijdens de aanleg van de put. Aan de andere kant is het schadelijk dat er boorspoeling is (in restanten), omdat daardoor de boorgatwand verminderd doorlaatbaar is tijdens operatie.

Zoals we in het voorgaande al hebben aangegeven kunnen ideeën voor het oplossen van deze contradictie gegenereerd worden door gebruik te maken van de scheidingsprincipes. We kunnen dan denken aan oplossingen die tijdens de aanleg de boorgatwand intact houden (eventueel zonder gebruik van water onder druk in de boorput) en tijdens operatie doorlaatbaar zijn voor water.

De deelnemers worden hierin verder ondersteund door de zogenaamde 40 inventieve principes (= Algemene oplossingsstrategieën voor inventieve problemen). Door ervoor te kiezen de functies “tegenhouden boorgatwand” en “doorlaten van grondwater (door boorgatwand)” te scheiden in de tijd komt een selectie van de 40 principes in aanmerking voor toepassing. Bijvoorbeeld “prior counteraction”, pas een inerte onderlaag toe waarop de boorspoeling wordt aangebracht en na aanleg van de put kan de boorspoeling via de onderlaag eenvoudig verwijderd worden. De deelnemers hebben op basis van de relevante selectie van de 40 principes ideeën gegenereerd om oplossingen aan te dragen voor de contradictie van de boorspoeling.

#### Verbetering 5.4:

Ook bij verbeteringsrichting 5.4 staat een fysische contradictie centraal. Hier moeten enerzijds stroomversnellingen wel aanwezig zijn om ervoor te zorgen dat de deeltjes in de boorgatwand los komen en de bron voor verstopping opheffen. Anderzijds moeten stroomversnellingen niet aanwezig zijn om ervoor te zorgen dat de deeltjes in de formatie niet gemobiliseerd worden en uiteindelijk de boorgatwand kunnen gaan verstoppert. Voor het genereren van oplossingen is hier ook met de scheidingsprincipes, aangevuld met de 40 inventieve principes, gewerkt

#### Verbetering 4.4:

Bij verbetering 4.4 staat het elimineren van het tegenhouden van de deeltjes door de boorgatwand centraal. Deze ongewenste functie kan op tal van manieren geëlimineerd worden. In het projectteam is de techniek van het trimmen bekeken. Hierbij wordt met een algoritmische aanpak bekeken of een onderdeel van de put voor waterwinning verwijderd kan worden. In dit geval is bekeken wat er moet gebeuren om de boorgatwand te verwijderen uit het systeem. Hierbij moet aangetekend worden dat de boorgatwand niet als fysiek onderdeel bestaat, maar dat het een gebied is uit de formatie van ca. 10 cm. dikte dat direct aan het gat voor de put grenst.

In essentie zijn er 2 manieren om de boorgatwand te “eliminieren” of te trimmen uit het systeem. De eerste mogelijkheid is door invoering van een nieuwe component, die ervoor zorgt dat de rest van de formatie wordt tegengehouden tijdens de aanleg. Hierbij zijn mogelijke oplossingen als het gebruik van harsen en dergelijke nader bekeken. De 2<sup>e</sup> manier is dat de formatie zichzelf tegenhoudt. Dit kan bijvoorbeeld door de formatie deels te bevriezen of op een andere manier tijdelijk compacter te maken, bijvoorbeeld door magnetiseerbare deeltjes in de putvloeistof te gebruiken en dan een magnetisch veld aan te brengen waardoor de putvloeistof verdicht naar de wanden toe.

Door de toepassing van het trimmen ontstaat in wezen een nieuw systeem, waarin het onderdeel met de schadelijke functie is geëlimineerd. Door het trimmen zijn ook nieuwe problemen geïntroduceerd, die vervolgens opgelost moeten worden. Zo moet bij de trimvariant, waarin het tegenhouden van de formatie door een nieuwe component X wordt uitgeoefend, uitgezocht worden hoe losse deeltjes gecompriëerd kunnen worden of tot vast materiaal gemaakt kunnen worden. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van de Effecten database. Hierin staan ca. 8000 chemische en fysische effecten op een functionele wijze geordend. Zo vinden we onder de Hoofdgroep “Substance: Produce” een sub-groep met “Produce solid substances” of “Produce structured substances”. Hierin staat ook de mogelijkheid om stoffen te bevriezen. Op deze manier kunnen we dus ideeën genereren die concreet zijn en de schadelijke functie (tegenhouden van deeltjes door de boorgatwand) hebben geëlimineerd.

#### Verbeterrichting 4.8:

Bij verbeterrichting 4.8 staat het versmeren van de boorgatwand door de boormethode centraal. De versmering hoort bij het pulsboor als boormethode. De versmering treedt hier op 2 manieren op. Ten eerste direct door het contact tijdens roteren en transfereren van de buis in de grond. En ten tweede worden door de buis klei en leemdeeltjes uit de hogere grondlagen meegenomen en deze komen terecht in de lager gelegen lagen van de formatie en verstoppen hier deels de wanden.

Om dit versmeren te elimineren is een andere techniek gebruikt dan bij 4.4. Hier is gebruik gemaakt van de technologie trends. De grondgedachte is dat een systeem (bijvoorbeeld een product als een auto) in de loop van de tijd steeds beter wordt. De nuttige functies worden steeds beter uitgevoerd (bijvoorbeeld de snelheid van transport door de auto) en er verdwijnen steeds meer schadelijke functies (bijvoorbeeld het geluid van de motor). Om dit te bereiken worden aanpassingen aan het systeem gemaakt. In deze aanpassingen kunnen evolutie trends onderscheiden worden. De trends zijn abstracte beschrijvingen van fasen waarin een onderdeel van het systeem in kan verkeren. Zo is bijvoorbeeld een trend “Space segmentation”. De eerste fase is een massieve ruimte, daarna wordt 1 holte in de ruimte aangebracht, vervolgens meerdere holten, daarna zien we de overgang naar capillaire holten of poreus materiaal en tenslotte worden additieven toegevoegd in de capillaire holten of de poriën. Dit kan bijvoorbeeld worden gezien in een autoband. Deze bestond eerst uit massief rubber. Daarna kwam de met lucht opgepompte band. Weer later worden meerdere holten gebruikt om te voorkomen dat de hele band leeg loopt bij een lek. Op dit moment zijn er banden met schuim dat de band opvult en waardoor het geluid gedempt wordt en geen lekke banden kunnen ontstaan. Banden met additieven in de capillaire holten of poriën zijn nog niet bekend.

Voor de verbetering van de boormethode is een overzicht gemaakt van de fasen waarin de boormethode nu verkeert. Voor elke trend is beoordeeld in welke fase het onderdeel, dat zorgt voor de versmering (d.i. de buis), zich bevindt. Hierna kan beoordeeld worden wat er gewonnen wordt als we in een trend naar de volgende fase zouden overgaan. Bijvoorbeeld de buis is nu massief met 1 centrale holte. Wat gebeurt er als we de buiswand perforeren waardoor materiaal naar binnen kan worden afgevoerd en niet in de lagere lagen terecht komt? Op deze manier kunnen we dus ideeën genereren die de eliminatie van het versmeren voor elkaar krijgen.

## **4.2 Niet-geanalyseerde verbeterrichtingen**

Een aantal verbeterpunten zijn tijdens de TRIZ sessie buiten beschouwing gelaten. De meeste punten zijn niet verder uitgewerkt om dat het team van mening was dat in die richting wienig winst te behalen valt, daarnaast zijn een aantal aspecten niet verder uitgediept omdat de invloed van deze functies niet (volledig) bekend is. De punten 5.2, 5.3 zijn om deze reden niet geëvalueerd. Het is namelijk onbekend





hoe sterk de trillingen zijn die vrijkomen bij het schakelen van een onderwaterpomp. Daarnaast zijn de effecten van trillingen op mechanische verstoppingen nog zeer onduidelijk. Enerzijds kunnen trillingen het verstoppend materiaal verwijderen dus de werking is dan zeer positieve effecten, anderzijds kan het juist het verstoppend materiaal compacteren en is de werking negatief. Omdat het schakelen van een pomp en de daarmee geïnduceerde trillingen van invloed kunnen zijn op verstopping is een onderzoeksvraag gedefinieerd (zie paragraaf 5.2 vraag 5 en 6). Deze onderzoeksvragen kunnen in verder onderzoek naar putverstopping meegenomen worden.

## 5. Resultaten van het TRIZ project “putverstopping”

Bij de uitvoering van het project staat het genereren van oplossingen voor het tegengaan van verstoppingen centraal. De gegenereerde ideeën staan verzameld in Bijlage C. De fase waarin de ideeën gegenereerd worden is de divergente fase van het project. Voor uiteenlopende deelproblemen worden oplossingen gegenereerd. De laatste sessie van het project is gewijd aan het convergeren. Combineren van de verschillende ideeën en ervoor zorgen dat er keuzes gemaakt kunnen worden uit de meest veelbelovende (combinaties van) ideeën.

Om het convergeren mogelijk te maken zijn de verschillende oplossingsconcepten in een matrix gezet. In de rijen van de matrix staat het concept en in elke kolom komt een van de criteria te staan waarop het concept getoetst wordt. De criteria zijn geïnventariseerd in paragraaf 2.5 van dit rapport. Deze criteria worden meestal aangevuld met kosten en tijd voor implementatie. De resultaten van deze conceptselectie staan in dit hoofdstuk. Ten slotte zijn bij het genereren van de ideeën een aantal vragen gerezen, die niet anders beantwoord kunnen worden dan door het uitvoeren van aanvullend onderzoek. Deze onderzoeksvragen zijn opgenomen in dit hoofdstuk in paragraaf 5.2

### 5.1 Conceptselectie

Bij conceptselectie is het de bedoeling de verschillende conceptoplossingen om verstopping tegen te gaan te ordenen naar de aantrekkelijkheid van de oplossing. Hiervoor is het noodzakelijk om elk van de concepten te beoordelen op de criteria die zijn vastgesteld. In het projectteam is dit gebeurt door elk concept door 2 verschillende personen onafhankelijk van elkaar te laten beoordelen. De beoordeling gebeurt op de volgende criteria met daarachter het gewicht van het criterium (1, 2 of 3 = zeer belangrijk):

1. tegengaan van verstoppingen (3)
2. afpompings van nieuw systeem gelijk aan aanleg met zuigboring nu (2)
3. geen terugstroom van water in de put naar de formatie (1)
4. capaciteit minimaal 50 [m<sup>3</sup>/h] (2)
5. geen grote temperatuurverhoging (> 2 [°C]) waardoor micro-organismen groeien (2)
6. geen introductie van contaminaties (3)
7. onderhoudsfrequentie langer dan eens per 2 jaar (3)
8. gebruikelijke levensduren (WB 15 jr, Civiel 50 jr en elektrotechnisch 5 jr) gegarandeerd (3)
9. Kosten onderhoud lager dan €9500 per jaar (3)
10. Kosten aanleg lager of gelijk aan €75000 (2)
11. De bedrijfsvoering met het nieuwe systeem is rustig (2)

De criteria 9 en 10 zijn gebaseerd op gemiddelde waarden uit het Quick Scan onderzoek dat in 2001 is uitgevoerd. Elk criterium krijgt een waarde -5 (veel slechter), -1 (slechter), 0 (gelijk), 1 (beter) of 5 (veel beter). Hierbij wordt een vergelijking gemaakt met de huidige standaard, d.i. gebruikte boommethode is zuigboren en opbouw waterput zoals in Figuur 2.1.

Nieuwe uitleg van matrix en toevoegen (2 x 2). De oplossingen zijn verdeeld in twee delen en daarvan zijn alle concepten door twee teamleden geëvalueerd en besproken. Alle teamleden hebben de een top 3 samengesteld voor zowel oplossingen op lange en korte termijn. Dit resulteert in 4\*3 oplossingen op korte termijn en 4 \* 3 oplossingen op lange termijn. Deze top 3's zijn toegelicht en naar aanleiding van de discussie hierover zijn de meest geschikte concepten geselecteerd.

Als een van de teamleden een reden had om een concept niet te scoren dan staan in de tabel bij de verschillende criteria “??” en volgt na de tabel een verduidelijking. Ideeën die een sterke gelijkens vertonen met andere ideeën uit de lijst zijn grijs en niet voorzien van waarden. Slechts 1 uniek idee wordt op deze manier geëvalueerd. De resultaten van de conceptselectie staan in de volgende 2 tabellen:



TABEL 5.1: Concepten beoordeling GROEP 1	Oplossen probleem Technische Criteria								Economische Criteria		Overige Criteria	Totaal Evaluatie
	Tegengaan van verstoppingen	T1 Afpompings gelijk	T2 Geen terugstroom	T3 Capaciteit minimaal 50 m3	T4 Geen temp verhoging	T5 Geen introductie contaminaties	T6 Onderhoudsfrequentie > 2 jaar	T7 Levensduur gegarandeerd	E1 Kosten onderhoud = 9500 (put/jaar)	E2 Kosten aanleg € 75000	OC1 Rustige bedrijfsvoering	
<b>Vergelijking van de diverse concepten met de beste huidige oplossing</b> <b>Scores: +5 = veel beter (dan huidige beste oplossing)</b> <b>+1 = beter</b> <b>0 = gelijk</b> <b>-1 = slechter</b> <b>-5 = veel slechter</b>												
Oplossingen boormethode:												
Idee 1: Gebruik pulsbooring	1/1	1/1	0/0	0/0	0/0	1/1	1/1	0/0	0/1	-1/-1	0/0	9/12
Idee 13: Gebruik teflon laag om buis (pulsboren)												0
Idee 22: Put erin heien	??/1	??/1	??/0	??/0	??/0	??/1	??/1	??/-1	??/1	??/1	??/0	??/13
Idee 30: Aanleg put tijdens boren	1/0	1/0	0/0	0/0	0/0	1/0	1/1	0/0	1/0	-1/-1	0/0	12/1
Idee 45: Leg scheve putten aan	0/1	0/1	0/0	0/-1	0/0	-	0/1	0/1	0/1	-1/-5	0/0	-5/4
Idee 48: Mechanische constructie voor tegenhouden formatie	1/1	1/1	0/0	0/0	0/0	1/1	1/1	0/0	1/1	-1/-1	0/0	12/12
Idee 51: Profiel op buis (bij pulsbooring)	1/1	1/1	0/-1	0/0	0/0	1/0	1/1	0/0	0/1	-1/-1	0/0	9/8
Idee 52: Geef buis stekels over hele lengte	1/1	0/1	0/-1	0/0	0/0	0/0	0/1	0/0	1/1	0/-1	0/0	6/
Idee 53: Laat buis krimpen bij eindsituatie	1/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/-1	0/0	3/-2
Idee 54: Buisdiameter kleiner ter hoogte van filter	5/1	1/1	0/0	0/-1	0/0	1/0	1/1	0/0	1/1	-1/-1	0/0	24/6
Idee 55: Vertoeren vanaf klei/leemlaag	5/1	1/1	0/0	0/1	0/0	1/0	1/1	0/0	1/1	-5/-1	0/0	16/12
Idee 56: Pas conische buis toe	1/5	0/1	0/0	0/1	0/0	1/0	1/1	0/1	0/5	0/0	0/0	9/41
Idee 57: Pulsbooring met permeabele buis	0/1	0/1	0/0	0/0	0/0	1/1	0/1	0/-1	0/1	-1/1	0/0	1/13
Idee 58: Pulsbooring met springladingen	-5/1	-1/1	0/0	-1/0	0/0	-1/-	-1/1	-1/0	0/1	-1/-1	0/0	-25/-6
Idee 59: Laagstructuur van tevoren bekend	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Idee 60: Breng balletjes op buitenzijde buis	1/1	1/1	0/0	0/0	0/0	1/0	1/1	0/0	0/1	-1/0	0/0	9/11
Idee 61: Uiteinde buis krijgt messen/uitsteeksels	0/1	0/1	0/-1	0/0	0/0	0/0	0/1	0/0	0/1	0/0	0/0	0/10
Idee 62: Anti-kleef coating op buis	1/1	1/1	0/0	0/0	0/0	-1/-	1/0	0/0	1/1	0/0	0/0	8/5
Idee 63: Zand/olie of zeep op buis (idee 62)	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Idee 64: Segmentgewijs opbouwen buis van onderaf aan	1/1	1/1	0/1	0/0	0/0	1/0	1/0	0/0	1/1	-1/-1	0/0	12/7
Idee 65: Schroefdraad op buis	0/1	0/1	0/-1	0/0	0/0	1/0	0/1	0/0	0/1	-1/-1	0/0	1/8
Idee 66: Bevriezen van grond voor eenvoudiger boren	5/1	1/1	0/0	0/0	0/0	1/1	1/0	0/0	1/1	-1/-1	0/0	24/9
Idee 67: Kortere rotaties met buis????	1/0	0/0	0/0	0/0	0/0	1/0	1/0	0/0	1/0	0/0	0/0	12/0
Idee 68: Frekwentie van rotatie omhoog	-1/0	0/0	0/0	0/0	0/0	1/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Oplossingen boorspoeling:												
Idee 2: Gebruik andere boorspoeling												0
Idee 3: Kalkdeeltjes i.p.v. kleideeltjes	1/1	0/1	0/0	0/0	0/0	0/0	1/1	0/0	1/1	0/0	0/0	9/11
Idee 4: Veel water => weinig boorspoeling	1/1	0/1	0/-1	0/0	0/0	1/1	1/1	0/0	1/1	-1/0	0/0	10/13
Idee 5: Grond bevroren bij boren voor steun van formatie	5/1	1/1	0/0	0/0	0/0	1/1	1/0	0/0	1/1	-1/-1	0/0	24/9
Idee 6: Gebruik een afbreekbare hars	1/1	0/1	0/0	0/0	0/0	0/-	1/0	0/0	1/1	0/-1	0/0	9/-9
Idee 17: Gebruik afbreekbaar folie	5/1	1/1	0/51	0/0	0/0	0/-	1/0	0/0	1/1	-1/-1	0/0	21/8
Idee 18: Gebruik folie dat water in 1 richting doorlaat	5/01	-1/0	5/5	0/0	0/0	0/0	1/0	-1/0	1/0	-1/-1	0/0	19/3
Idee 23: Met electrolyse deeltjes dispergeren	1/5	0/1	0/0	0/0	0/0	0/0	1/5	0/1	1/5	-1/-1	0/0	7/48
Idee 24: Vooraf inerte laag opbrengen onder boorspoeling	1/1	0/1	0/1	0/0	0/0	1/-	1/1	0/0	1/1	-1/-1	0/0	10/7
Idee 26: Slow release materialen voor afdichting gebruiken	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Idee 27: Mix van polymeer en oplosmiddel als boorspoeling	-1/5	-1/1	0/0	-1/0	0/0	-	-1/1	0/0	0/1	-1/-1	0/0	-16/21
Idee 29: Gebruik van karakter veranderende stoffen	1/1	0/1	0/1	0/0	0/0	-1/-	1/1	0/0	1/1	-1/0	0/0	4/9
Idee 31: Heel veel boorspoeling gebruiken	-1/0	0/0	0/1	0/0	0/0	-1/-	0/-1	0/0	0/-1	0/-1	0/0	-6/-10
Idee 47: Gebruik een membraan (idee 17, 18)												0
Idee 49: Balletjes of schubjes van bariumsulfaat/carbonaat	1/0	0/0	0/1	0/0	0/0	0/-	1/0	0/0	1/0	0/-1	0/0	9/-4
Idee 50: Gebruik hydrofoob poeder	0/1	0/1	0/5	0/0	0/0	0/-	0/1	0/0	0/1	0/-1	0/0	0/11
Idee 69: Verdichten van water in de put met magnetiseerbare	1/5	0/1	0/5	0/0	0/0	0/-	1/1	0/0	1/1	-1/-1	0/0	7/23



TABEL 5.2: Concepten beoordeling GROEP 2	Oplossen probleem		Technische Criteria						Economische Criteria		Overige Criteria	
	Tegengaan van verstoppingen	T1 Afpomping gelijk	T2 Geen terugstroo	T3 Capaciteit minimaal 50 m3	T4 Geen temp verhoging	T5 Geen introductie contaminaties	T6 Onderhoudsfrequentie > 2 jaar	T7 Levensduur gegarandeerd	E1 kosten onderhoud = 9500 (put/jaar)	E2 Kosten aanleg € 75000	OC1 Rustige bedrijfsvoering	Totaal Evaluatie
<b>Vergelijking van de diverse concepten met de beste huidige oplossing</b> <b>Scores: +5 = veel beter (dan huidige beste oplossing)</b> +1 = beter 0 = gelijk -1 = slechter -5 = veel slechter												
Oplossingen verwijderen (geheel/gedeeltelijk) boorspoeling	3	2	1	3	2	3	3	3	3	2	2	
Idee 7: Fysiek verwijderen boorspoeling	5/5	1/0	0/0	1/1	0/0	0/0	5/1	1/1	5/1	-5/-1	0/0	43/25
Idee 15: Schoonschrapen van boorgatwand (idee 7)												0
Idee 19: Bolletjes met springlading perforeren formatie	5/1	1/0	0/0	1/1	0/0	0/-	1/1	1/1	5/1	-5/-1	0/0	31/10
Idee 25: 2-staps perforatie methode formatie	5/1	1/0	0/0	1/1	0/0	0/-	5/1	1/1	5/1	-1/-1	0/0	51/10
Idee 28: Geheugenmetaal aanbrengen voor perforatie	5/1	1/0	0/0	1/1	0/-1	0/-	5/1	0/1	5/1	-5/-1	0/0	40/8
Idee 42: Telescopische pijpjes door boorgatwand	5/5	1/0	0/0	1/1	0/0	0/-	1/1	0/1	1/1	-5/-1	-1/0	14/22
Oplossingen in formatie:												
Idee 8: Ondergronds ontzieren	5/??	1/??	0/??	1/??	0/??	0/?	5/??	1/??	5/??	-5/??	0/??	43/??
Idee 10: Inbrengen van chemicaliën	5/1	0/0	0/0	0/1	0/0	-5/-	0/0	0/1	0/-1	0/0	0/0	0/3
Idee 11: Gebruik zuren voor in oplossing houden deeltjes	1/??	0/??	0/??	0/??	0/??	-	1/??	0/??	-5/??	0/??	-1/??	-14/??
Idee 12: Gebruik fosfaten om neerslag in oplossing te houden	1/??	0/??	0/??	0/??	0/??	-	1/??	0/??	-5/??	0/??	-1/??	-14/??
Idee 21: Wiggen maken in formatie voor extra aanvoer	1/5	0/0	0/0	0/1	0/0	0/0	1/1	1/1	1/1	-5/-1	0/0	2/25
Idee 33: Gebruik temperatuur voor beïnvloeden deeltjesgrootte	5/1	1/0	0/0	0/0	0/-5	0/0	1/0	0/0	-5/0	-1/-1	-1/0	1/-9
Idee 39: Stof zorgt voor neerslaan deeltjes	5/1	1/0	0/0	0/0	0/0	-1/-	1/-1	1/0	-1/-1	0/0	-1/0	15/-6
Idee 40: Injectie van water draait stroming om (idee 9)												0
Idee 43: Draai stroomrichting om (backflush)	5/1	1/0	0/0	0/1	0/0	0/0	5/0	1/1	1/1	0/-1	-1/0	36/10
Idee 44: Laat onderkant put open	0/1	1/0	0/0	0/1	0/1	0/-	0/1	-1/1	-1/1	0/0	-1/0	-6/14
Idee 46: Bij aanleg met hoge capaciteit infiltreren in formatie	1/1	1/0	0/0	0/0	0/0	0/0	5/0	1/0	1/0	-1/-1	0/0	24/1
Oplossingen in bedrijfsvoering:												
Idee 9: Omdraaien stromingsrichting 's nachts (idee 40)	5/5	1/0	0/0	0/1	0/0	0/0	5/0	1/1	-1/-1	-1/-1	-1/0	28/16
Idee 14: Vervuiling afvangen tussen put en waterzuivering	5/??	1/??	0/??	0/??	0/??	0/?	1/??	1/??	5/??	-1/??	1/??	38/??
Idee 16: Hard en variabel pompen => boorspoeling weg	5/1	1/0	0/0	0/1	0/0	0/0	1/0	1/1	5/1	-1/0	1/0	38/12
Idee 36: Langer ontzanden	1/1	1/0	0/0	0/1	0/0	0/0	1/0	1/1	5/1	-1/0	1/0	26/12
Idee 41: Zorg voor symmetrisch aanstroming van put	1/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/1	0/1	0/0	0/0	-1/0	1/9
Oplossingen in omstorting:												
Idee 20: maak omstorting deels in water oplosbaar	5/3	1/0	0/0	0/1	0/0	0/0	1/1	1/1	1/0	-1/-1	1/0	26/16
Idee 32: Pas compartimentering van de omstorting toe	1/1	1/0	0/0	0/1	0/0	0/0	1/1	1/1	1/1	-1/-1	1/0	14/13
Oplossingen in filter:												
Idee 34: Filterspletten variabel voor veranderen stromingen	1/0	1/0	0/0	0/-1	0/0	0/0	1/0	1/1	-1/-1	-1/0	-1/0	4/-3
Oplossingen in pomp:												
Idee 35: Sectie gewijs oppompen	1/1	0/0	0/0	0/1	0/0	0/0	0/0	0/1	-1/1	0/0	-1/0	-2/12
Idee 37: Gebruik een tweede pomp	1/1	1/0	0/0	0/1	0/0	0/0	1/-1	1/1	-1/0	0/0	-1/0	6/6
Idee 38: In serie schakelen van pompen	1/1	1/0	0/0	0/1	0/0	0/0	1/-1	1/1	-1/0	0/0	-1/0	6/6

Bij de conceptselectie zijn de volgende kanttekeningen geplaatst:

- Ad Idee 2 “put volledig in de grond heien” bestaan sterke vraagtekens of dit ooit technisch realiseerbaar is, daarom is dit idee niet geëvalueerd.
- Ad Idee 8 “Ondergronds ontijzeren” wordt gesteld dat dit alleen geschikt is om filterspleet verstoppingen tegen te gaan.
- Ad Idee 11 “Gebruik van zuren voor in oplossing houden van de deeltjes” wordt gesteld dat dit alleen geschikt is voor het tegengaan van verstoppingen van de filterspletten
- Ad Idee 12 “Gebruik fosfaten om neerslag in oplossing te houden” wordt gesteld dat dit alleen geschikt is voor het tegengaan van verstoppingen van de filterspletten
- Ad Idee 14 “Vervuiling wordt afgevangen tussen put en waterzuivering” wordt betwijfeld of dit überhaupt een effect heeft op het tegengaan van verstoppingen op de boorgatwand
- Bij idee 32 “Pas compartimentering van de omstorting toe” wordt aangegeven dat dit een mogelijkheid kan vormen om idee 41 “Zorg voor symmetrische aanstroming van de put” te realiseren over de lengterichting van het filter.

Op basis van de conceptselectie matrices en een aanvullende evaluatie van de best scorende ideeën zijn de volgende concepten gekozen als veelbelovend:

- **Voor de lange termijn:**
  - Idee 7 “Fysiek verwijderen van de boorspoeling” waarvan een aantal mogelijke uitwerkingsvarianten onder de ideeën staan, zoals 19 (bolletjes met springlading perforeren boorspoeling), 20(maak omstorting deels in water oplosbaar), 25 (2-staps perforatie methode formatie), 28 (geheugenmateriaal aanbrengen voor perforatie) en 42 (telescopische pijpjes perforeren de boorgatwand)
  - Idee 27 “Gebruik van mix van polymeer en oplosmiddel als boorspoeling” vooral het gebruik van polysulfon, polyethersulfon, celluloseacetaat, PVDF, stoffen die al een positief ATA-test resultaat hebben biedt perspectieven. Het gevormde schuim zal ook als omstorting dienst doen.
  - Idee 64 “Segmentgewijs de buis opbouwen van bovenaf ” naar analogie van tunnelbouw.
  - Idee 69 ?
- **Voor de korte termijn:**
  - Idee 4 “Veel water gebruiken en dus weinig boorspoeling”/boorspoeling verschonen
  - Idee 5 “Grond bevroren tijdens het boren voor steun van de formatie”. Hierdoor hoeft geen boorspoeling gebruikt te worden. Een variant is om niet de volledige formatie direct rond de waterput te bevriezen, maar met een zeer koude boorkop de boringen uit te voeren.
  - Idee 16 “Hard en variabel pompen”. De intentie is om met grote variaties in stroomsnelheden de boorspoeling voor een groot deel weg te kunnen spoelen.
  - Idee 43 “Draai stroomrichting om (backflush)”. Hierbij is de bedoeling ervoor te zorgen dat deeltjes niet vastlopen in de vernauwde poriën van de boorgatwand. Een mogelijke uitwerking kan zijn dat de pompen ’s nachts van stroomrichting veranderen. (ook idee 9 en 40)
  - Idee 54 “Buisdiameter kleiner maken ter hoogte van het filter” hierdoor wordt versmering van de omgeving van de filter zoveel mogelijk voorkomen.

Er bestaat nog de mogelijkheid om de concepten te verrijken. Dit kan door ideeën te combineren die een vergelijkbare functie hebben, maar die de sterke punten op verschillende criteria hebben. Dit is in het project uitgelegd aan de hand van een combinatie tussen de huidige boormethode van het zuigboren en het pulsbooren. Het sterke punt van het pulsbooren is dat er geen boorspoeling nodig is en dat daardoor dus geen afdichting van de boorgatwand optreedt. De zwakke punten zijn dat pulsbooren zorgt voor versmering en dat de boordiepte beperkt is tot 80 m. De sterke punten van zuigboren zijn juist de grote



diepte en het ontbreken van versmering (geen meenemen van klei en leemdeeltjes uit de hogere lagen naar de lagere lagen in de formatie). Het zwakke punt is dat er boorspoeling nodig is. Dit ziet er in een tabel als volgt uit:

	Zuigboren	Pulsboren
Boordiepte	+	-
Verstoppen door versmeren	+	-
Verstoppen door boorspoeling	-	+

De pulsboormethode heeft geen boorspoeling nodig omdat met een buis de formatie intact gehouden wordt. De beperking van de boordiepte komt door de grote kleefkrachten die vooral door klei en leemlagen op de buis worden uitgeoefend. De versmering van het pulsbooren komt uitsluitend voor in de klei en leemlagen en door het meenemen van deze deeltjes naar de lagere lagen van de formatie. Dit kan dus voorkomen worden als we door deze lagen zuigboring toepassen en na het passeren van de laatste kleilaag de resterende afstand afleggen met pulsbooren. Een beter concept is derhalve:

- 1. Toepassen van zuigboren voor de eerste grondlagen. Na het passeren van de laatste leem- of kleilaag de boorspoeling wegzuigen en vervolgens de laatste afstand afleggen met behulp van pulsbooren.**

Dit concept werd praktisch zeker uitvoerbaar geacht en het is niet bekend of deze combinatie ooit eerder is uitprobeerd.

Deze conceptverrijking kan dus ook gebeuren door concepten uit de conceptselectie matrix met elkaar te kruisen. Dit is in het kader van dit project niet meer uitgevoerd.

## 5.2 Onderzoeksvragen

In deze paragraaf worden de onderzoeksvragen genoemd die tijdens het project naar voren zijn gekomen. Een belangrijk deel van deze vragen kan tot inzicht leiden in oplossingen om verstopping drastisch te verminderen. Daar waar mogelijk is aangegeven wat de relatie van de onderzoeksvraag met de oplossing voor voorkomen van putverstopping is.

Nr.	Onderzoeksvraag	Relatie met putverstopping
1	Op sommige plekken langs de boorgatwand stroomt het water sneller. Het is onbekend of dit komt doordat er bijvoorbeeld meer verstoppend materiaal lokaal voorkomt of doordat de doorlaatbaarheid van de formatie lokaal groter is.	Verschillen in stroomsnelheden kunnen als indicator voor optreden van verstopping gebruikt worden en als onderdeel van een feedback regeling in bijvoorbeeld een flush back
2	Het is onbekend wat de exacte herkomst van het zwevende materiaal is: het type formatie. Het lijkt er nu op dat zwevend materiaal vooral voorkomt in fijne slecht gesorteerde grondlagen.	Er wordt aangenomen dat het mobiliseren van zwevend materiaal en vervolgens vastlopen in vernauwde poriën op de boorgatwand zorgt voor de verstoppingen. Dit zal leiden tot betere ontwerpcriteria voor putten dan de formule van Sichardt
3	Helpt het aanpassen van de frequentie en amplitude van het roteren bij pulsboeren om de mantelbuis makkelijker naar beneden te drukken (bijvoorbeeld kan er met de eigen resonantie van de buis geroteerd worden?)	Als pulsboeren eenvoudiger wordt en tot grotere diepte toegepast kan worden dan komen de problemen met verstoppingen door restanten boorspoeling minder voor.
4	De herkomst van deeltjes die opgepompt worden is nu onbekend. Dit kan mogelijk restanten boorspoeling zijn of deeltjes uit de formatie.	De herkomst is van belang om aan te tonen of er bij veranderingen in stroomsnelheden (bijv. bij schakelen pomp) boorspoeling los komt of deeltjes uit de formatie. Dit kan dan gebruikt worden bij een oplossing met opzettelijke stroomsnelheidsveranderingen
5	wat doen trillingen met verstopping op de boorgatwand: wordt een beginnende verstopping erger (door zetting) of juist minder?	Dit kan aanleiding geven tot het gebruik van trillingen om verstopping te voorkomen
6	Bij het schakelen van pompen is waargenomen dat er meer zwevend materiaal in het water zit. Er is onbekend of dit invloed heeft op de pompcapaciteit.	

## 6. Conclusies en aanbevelingen

Dit project is in een bijzonder prettige sfeer afgerond en heeft de volgende conclusies en aanbevelingen opgeleverd:

1. Er zijn wezenlijk andere oorzaken voor verstopping op de boorgatwand en filterspleet. De analyse toont duidelijk aan waar deze verschillen in gelegen zijn. De keuze om de boorgatwand verstoppingen verder uit te werken is een verstandige, omdat er al uitgebreider onderzoek naar oplossingen voor filterspleet verstoppingen is geweest.
2. De richtingen waarin de projectgroep voor de korte termijn verbeteringen uit verwacht zijn het boorspoelingsloos boren door bijvoorbeeld de grond te bevriezen of het sterk variëren van de stromingen in de formatie door backflushen met de pomp of hard en variabel water te onttrekken. Dit zijn wijzigingen die dicht bij de huidige werkwijze blijven, maar wel de potentie in zich dragen om een goede bijdrage te leveren aan het oplossen van verstoppingen.
3. Voor de lange termijn wordt er veel verwacht van verschillende manieren om te blijven zuigboren met boorspoeling, maar vervolgens de laag fysiek te verwijderen. Hiervoor bestaan verschillende varianten die gesuggereerd zijn, zoals het maken van perforaties met telescopische buisjes, het maken van perforaties met springlading, het gebruiken van geheugenmetaal om perforaties aan te brengen of het gebruik van een deels oplosbare omstorting. De andere hoofdrichting is het boren zonder gebruik van boorspoeling door bijvoorbeeld een mix van polymeer en oplosmiddel te gebruiken, door de buis segmentgewijs van onderaf op te bouwen.
4. Een idee dat goed haalbaar lijkt te zijn is aanvankelijk niet uit de ideegeneratie sessie gekomen, maar bij het bespreken van conceptverrijking. Het combineren van het zuigboren tot onder de laatste klei- of leemlaag, de boorspoeling af te pompen en vervolgens te continueren met pulsbooren tot de locatie waar het filter moet worden aangebracht lijkt praktisch goed uitvoerbaar. De projectteamleden ontvangen dit idee erg positief.
5. Er is nog geen volledige duidelijkheid over de ernst van het versmeren door pulsbooren. Dit kan betekenen dat er toch minder verstoppingen het gevolg zijn van de versmeringen bij het pulsbooren. In dit geval zou pulsbooren tot geringe dieptes een aangewezen aanleg methode zijn om de verstoppingen te beperken.
6. Wij bevelen aan om de conceptverrijking, zoals deze beschreven is in hoofdstuk 5, uit te voeren voor de beste concepten uit de lijst. Dit kan intern ondersteund worden door Eelco Trietsch
7. Wij bevelen aan dat er op basis van dit rapport nog een vervolg stap gezet wordt. Hierbij moet een planning opgesteld worden om de concepten uit te werken tot een “proof of concept” of een prototype. Hiervoor moet een gebruikelijk researchproject worden opgezet met onderzoeksdoelstellingen, aanpak, tijd en resourceplanningen.
8. Wij bevelen aan om het project intern te evalueren en de resultaten van deze evaluatie ook terug te koppelen naar MT van Kiwa Water Research.





## Bijlage A. Een korte introductie tot TRIZ

### A.1 Algemeen

TRIZ is het Russische acroniem van “Theorie of Inventive Problem Solving”. De grondlegger van TRIZ is de Rus Genrich Altshuller, die in 1946 is begonnen met de ontwikkeling van de theorie. Hij raakte als uitvinder en medewerker bij het octrooibureau van de Russische marine geïntrigeerd door de vraag “Hoe komt een uitvinding tot stand”. Is het een kwestie van de geniale inval? Of kunnen uitvindingen gezien worden als het resultaat van systematische patronen van inventief denken. Hij raakte overtuigd van het uitgangspunt dat **“Inventieve problemen kunnen worden gecodeerd, geclassificeerd en methodisch opgelost, analoog aan andere technisch wetenschappelijke problemen”**.

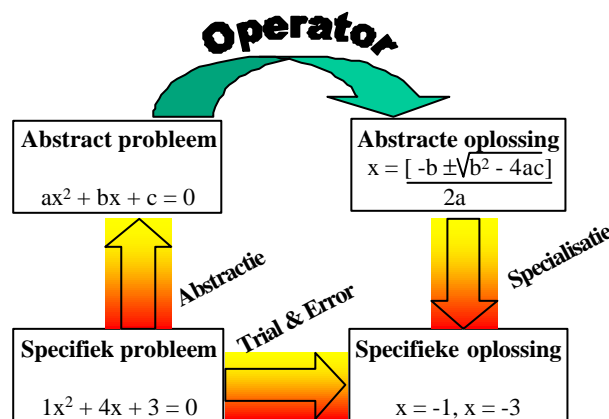
Om dit aan te tonen heeft Altshuller octrooien bestudeerd op zoek naar gemeenschappelijkheden, herhalende patronen en principes van inventieve gedachten. Hiervoor ontwikkelde hij een coderingssysteem en documenteerde ze. Inmiddels bestaat er een professionele gemeenschap van TRIZ wetenschappers, die samen meer dan 2 miljoen octrooien hebben geanalyseerd en ervoor gezorgd hebben dat de methode kan worden onderwezen.

### A.2 Abstractie versus Trial&error

De ontwikkeling van TRIZ is begonnen met het classificeren van uitvindingen. Hierin is onderzocht welke problemen opgelost zijn en op welke wijze dit is gedaan. Dit heeft geleid tot het definiëren van een verzameling van operatoren, die een centrale rol spelen in het oplossen van inventieve problemen. De wijze waarop deze werken kan als volgt geïllustreerd worden. Stel we moeten de volgende vergelijking oplossen:

$$1x^2 + 4x + 3 = 0$$

Zonder kennis van wiskunde zouden we dit kunnen oplossen met trial-and-error. Door een aantal waarden voor  $x$  te proberen. We weten niet zeker of we alle oplossingen hebben en we weten niet voor het proberen of de waarde voor  $x$  een oplossing geeft. Met kennis van wiskunde wordt het eenvoudiger (zie figuur)



In dit geval is de eerste stap het herkennen van het probleem in het kader linksonder als een speciaal geval van de kwadratische vergelijking linksboven. Hiervoor kennen we een algemene formule voor de

beide oplossingen, de kwadratische formule in het kader rechtsboven. Invullen van de verschillende parameters geeft ons de specifieke oplossing. Bij nadere beschouwing blijkt dat we met het abstracte probleem een hele verzameling van specifieke problemen hebben gevangen, immers a, b en c zijn onbekend.

De TRIZ theorie is nu zo ontworpen dat er een verzameling van abstracte problemen is geëxtraheerd uit de octrooien. Een gebruiker van de theorie moet dan identificeren in welke klasse zijn specifieke probleem valt. Bij de abstracte problemen zijn operatoren gedefinieerd, die het verband leggen met de abstracte oplossingen. Daarna blijft de taak om vanuit de abstracte oplossingen de specifieke oplossing in te vullen. Altshullers grote verdienste was dat hij de grondslagen gemaakt heeft om de inventieve problemen op verschillende manieren in klassen te verdelen en een bijbehorend systeem van operators heeft ontwikkeld. Bij elk systeem van operators heeft hij aangegeven welke toegepast kunnen worden op welke abstracte problemen.

Het oplossen van een inventief probleem met deze aanpak is natuurlijk complexer dan het oplossen van een algebraïsch probleem. Zo zijn inventieve problemen meer gevarieerd en is het aantal veel groter. Bovendien kan een specifiek probleem vaak in meerdere klassen van abstracte problemen vallen en kunnen op 1 abstract probleem meerdere operatoren toegepast worden. Dit leidt ertoe dat 1 specifiek probleem vaak vele specifieke oplossingen kent en het vinden hiervan vergt nog steeds creativiteit.

### A.3 Contradicties

Om nog een stap dieper uit te leggen welke systemen voor oplossingen TRIZ bevat volgen we één van Altshullers grootste ontdekkingen. Hij observeerde uit de analyse van alle patenten dat in veel inventieve problemen een zogenaamde technische contradictie wordt opgelost. Een technische contradictie bestaat als we parameter A in een technisch systeem proberen te verbeteren en het gevolg is dat parameter B verslechterd. Een voorbeeld:

We willen een stofzuiger ontwikkelen die (veel) harder zuigt dan de huidige stofzuigers. Het probleem hierbij is dat de kracht die nodig is om de stofzuiger voort te bewegen sterk toeneemt, wat de gebruiksvriendelijkheid ervan niet ten goede komt. De typische aanpak bij dergelijke contradicties is het sluiten van een compromis. In dit geval: de stofzuiger een beetje harder laten zuigen zodat het slechts een beetje moeilijker wordt om hem voort te bewegen. Een echte uitvinding is een idee dat een doorbraak levert en beide parameters in de gewenste richting verandert.

Altshuller gebruikte deze observatie om een eerste classificatie systeem voor inventieve problemen op te stellen (later volgden meer methoden om inventieve problemen mee te classificeren). Hij identificeerde octrooien waarin een contradictie werd opgelost en begon deze te bestuderen. Hij analyseerde in de octrooien welke contradictie werd opgelost en bovendien identificeerde hij het *principe*, d.i. de operator die in het octrooi gebruikt werd om de contradictie op te lossen. Op deze manier kwam hij tot 39 technische parameters zoals snelheid, kracht etc. Hiermee kunnen we de contradictie in het stofzuigervoorbeeld beschrijven als "Als ik het vermogen verbeter (een sterkere motor gebruik), dan verslechtert het energieverbruik van het bewegende object (ik moet als gebruiker meer energie gebruiken om de stofzuiger voort te bewegen). Hij kwam op 40 principes uit die gebruikt werden om dergelijke contradicties op te lossen. Hij bouwde daarmee een tabel op zoals in onderstaande figuur is te zien. In elke cel staan maximaal 4 principes, die het meest frequent zijn gebruikt om de contradicties op te lossen. Deze 40 principes zijn dan ook een belangrijke hoeksteen van TRIZ, omdat ze niet alleen gebruikt kunnen worden om contradicties op te lossen.



Ongewenst resultaat	1. Gewicht bewegend object	2. Gewicht niet-bewegend voorwerp			24. Energiegebruik door een bewegend object	39. Snelheid	40. Betrouwbaarheid
Te verbeteren eigenschap							
1. Gewicht bewegend object							
2. Gewicht niet-bewegend object							
12. Vermogen							
39. Snelheid							
40. Betrouwbaarheid							

#### Voorgestelde (abstracte) oplossingsrichtingen :

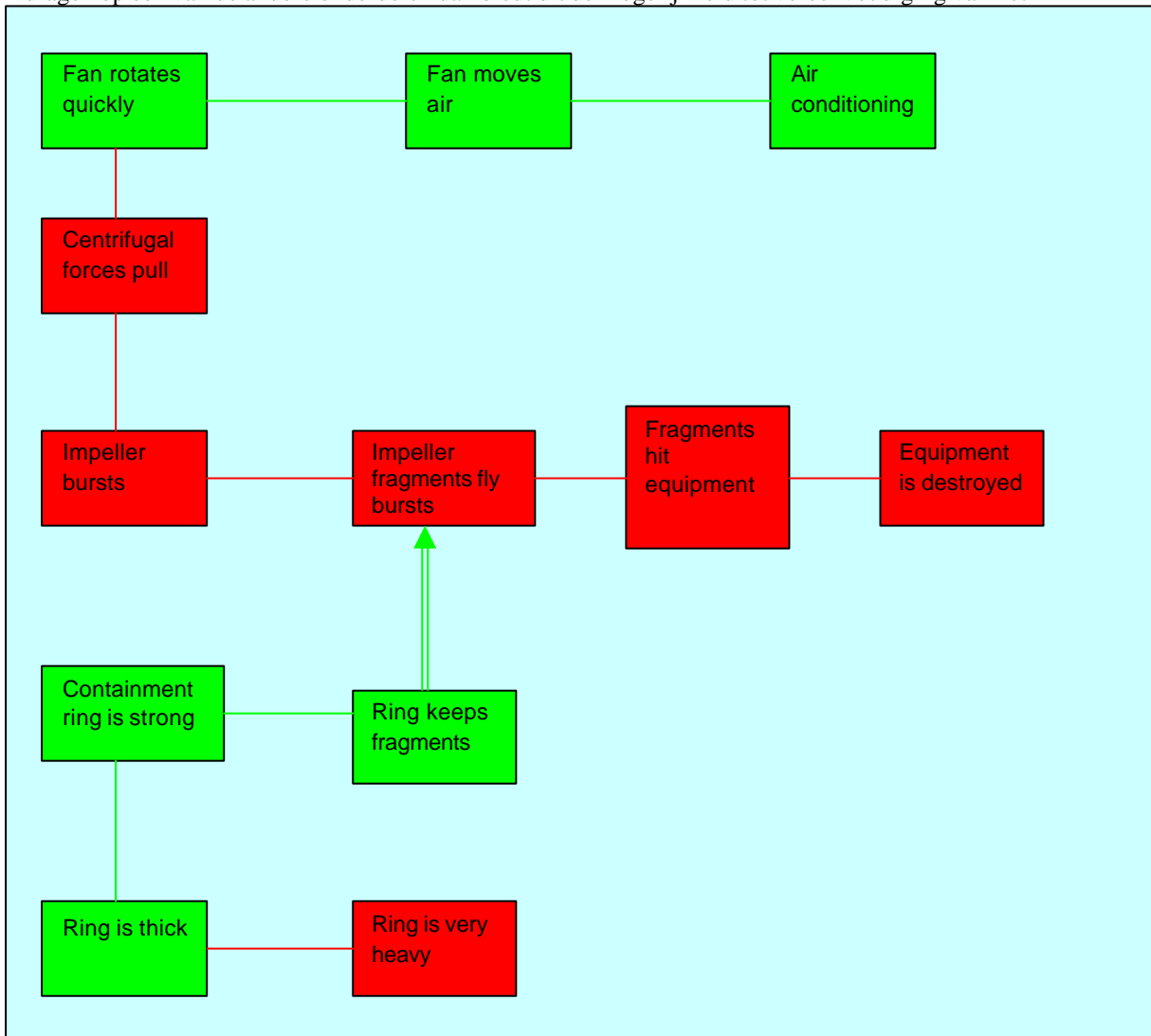
1. **Periodische actie**
2. **Gedeeltelijke of excessieve actie**
3. **Multifunctionaliteit**
4. **Thermisch expansie**

Hiermee hebben we het een voorbeeld van een systeem waarmee we het abstractie principe kunnen toepassen. In een specifiek systeem identificeren we de technische contradictie. Daarmee identificeren we het abstracte systeem (Vermogen verbeteren vs. Energiegebruik door bewegend object verslechteren). Met de contradictie matrix kijken we welke oplossingen (toe te passen principes) er zijn en deze vertalen we naar onze specifieke oplossingen. In dit geval komt het er dus op aan om de link te leggen tussen de abstracte suggestie “Periodische actie” en de specifieke oplossing voor het probleem: “Pulserend zuigen”. En dit kan gebeuren door een modulator op de slang (zie ook het gebruik van chemisch fysische effecten)

## A.4 Functioneel denken en modelleren

De ontwikkelingen van TRIZ hebben inmiddels meerdere systemen van categoriseren van inventieve problemen opgeleverd en de bijbehorende operatoren. Uiteraard is het niet zo dat het oplossen van een inventief probleem volstaat met het oplossen van een enkele contradictie. Vaak zijn er meerdere contradicties, die opgelost moeten worden in het streven naar idealiteit (zie “evolutie van trends”, waarbij het ultieme doel is om alle nuttige functies van een systeem te hebben zonder dat het technische

systeem bestaat want dan zijn er geen nadelige functies of effecten). Bovendien zijn er andere types van problemen die opgelost moeten worden. Om het technisch innovatie probleem als samenhangend geheel aan te pakken is de theorie uitgebreid met een zeer sterke aanpak: Het functioneel modelleren van het probleem. We zijn niet meer geïnteresseerd in de onderdelen van een technisch systeem maar in de functie ervan. Wanneer we er dus in slagen om onderdelen weg te laten en hun functie over te dragen op één van de andere onderdelen dan biedt dit de mogelijkheid tot vereenvoudiging van het



systeem. Maar het gaat nog verder. Deze manier van denken kan ook nuttig zijn wanneer men om een octrooi van een concurrent heen wil komen. Immers de functie die in het octrooi beschreven staat, kan wellicht via een ander principe (of een combinatie van principes) ook verkregen worden.

Even een voorbeeld om één en ander duidelijk te maken. Bij een ventilator in een vliegtuig zijn we niet geïnteresseerd in de ventilator zelf, maar in de functie van het verplaatsen van lucht die tot gevolg heeft dat de lucht geconditioneerd wordt. Bij het functioneel modelleren worden ook de schadelijke functies van het technisch systeem meegemodelleerd. Zo kunnen in het voorbeeld van de ventilator de bladen van de ventilator afbreken door de grote centrifugale krachten. Een compleet functioneel model van een dergelijke ventilator kan er dan uitzien als in bovenstaande figuur.

Als het functionele model van het technisch systeem gemaakt is dan kan dit worden geanalyseerd en de verschillende deelproblemen geanalyseerd. Dit kan door middel van software gebeuren. Bij elk deelprobleem worden dan suggesties gedaan over de mogelijke manieren waarop het probleem opgelost kan worden. Deze oplossingsrichtingen worden gegenereerd om enerzijds de hinderlijke effecten (in rood aangegeven in bovenstaande figuur) te voorkomen en anderzijds de nuttige functies te versterken. De uiteindelijke uitvinding zal dan bijna altijd uit een combinatie van oplossingen van deelproblemen bestaan. In het voorbeeld kan een vangring met meer lagen het probleem van het

gewicht oplossen, terwijl het idee om de vangring in segmenten op te delen en de segmenten elastisch met elkaar te verbinden ervoor kan zorgen dat de energie van de rondvliegende delen geabsorbeerd wordt.

## A.5 Trends in evolutie

Om de toepassing van deze oplossingen tijdbestendiger te maken is het fundament uitgebreid met regelmatigheden, die geanalyseerd zijn uit de evolutie van technische systemen. Dit leidde tot de beschrijvende definitie van een aantal wetmatigheden voor evolutie van technische systemen. 2 voorbeelden van deze wetmatigheden zijn:

- *Wet van toenemende idealiteit*: een technisch systeem evolueert in de richting van een toenemende graad van idealiteit (d.i. quotiënt van som van bruikbare functies/effecten van systeem gedeeld door som van schadelijke effecten). Dit betekent dat opvolgende generaties van een technisch systeem steeds meer bruikbare functies hebben en steeds minder schadelijke)
- *Wet van toenemende dynamiek*: In opvolgende generaties van een technisch systeem komen steeds meer beweegbare en aanpasbare onderdelen. Bijvoorbeeld bij een vliegtuig het uitklapbare landingsgestel, de flaps op de vleugels e.d.

Bovenstaande wetmatigheden vormen een leidraad bij de verbetering van een technisch systeem om de concurrentie voor te blijven, octrooien te verbeteren etc.

## A.6 Chemische en fysische effecten

In dit overzicht van TRIZ hebben we een korte toelichting gegeven op een deel van de oplossingsprincipes die we kunnen gebruiken om een inventief probleem op te lossen op het abstracte niveau. Om de abstracte oplossingen te kunnen vertalen naar specifieke oplossingen moeten we een overzicht hebben van fysische en chemische effecten die we kunnen gebruiken om de oplossing te realiseren. Hiervoor is een overzicht nodig van alle mogelijke effecten die in de onderzochte octrooien zijn gebruikt. Bijvoorbeeld effecten om de viscositeit te verhogen, een niveau te meten, een elektrische stroom te genereren etc. Het aantal bekende effecten dat hiervoor gebruikt kan worden is inmiddels al groter dan 4000.

## A.7 Tot slot

Er zijn diverse redenen om softwarematige ondersteuning te wensen als gebruiker van TRIZ. Het aantal gereedschappen waaruit TRIZ bestaat, de vele oplossingsrichtingen die in de verschillende gereedschappen gebruikt worden en het grote aantal fysische en chemische effecten dat gebruikt kan worden om verschillende functies te realiseren zijn hanteerbaar geworden door de inzet van software. Inmiddels bestaan er 2 software pakketten op de markt die deze ondersteuning leveren. Innovation Quotient heeft ervaring in het gebruik van deze software en kan het inzetten bij het oplossen van concrete technische problemen.



## Bijlage B. Overzicht van de resources bij waterwinning

Substance resources	Field resources	Space resources
1) boorgatwand	1) dynamische druk (door pomp)	1) Ruimte tussen boorgat en stijgleiding boven windiepte (alleen tijdens aanleg van de put)
2) omstorting	2) statische druk (door grond en water)	2) Ruimte in de filterbuis
3) stijgleiding	3) zwaartekracht	3) Ruimte in stijgleiding
4) grondwater	4) elektriciteit (elektromotor)	4) Ruimte in buitenpeilfilter
5) elementen in grondwater (Fe, Mn, CH <sub>4</sub> , ...)	5) chemische reactie energie	<b>Functional resources</b>
6) micro-organismen in water (aërobe en anaërobe)	6) stroomsnelheden	1) pomp kan ook vloeistof in de put pompen (kan niet met standaardpomp)
7) putfilter (buis + filterspleten)	7) warmte (gegenereerd door pomp)	2) pomp kan zorgen voor vibraties
8) zandvang	<b>Time resources</b>	3) elementen in water gebruiken voor bijvoorbeeld exotherme reacties
10) onderwaterpomp (met electromotor)	1) maken van de pompput	4) Binnenpeilfilter / buitenpeilfilter kan gebruikt worden om stoffen toe te voegen
11) volumestroom meter (niet standaard)	2) opstarten van de pompput	<b>Informational resources</b>
12) meetleiding in omstorting	3) periodes tussen uit- en aanschakeling (soms staan de putten stil)	1) geluid of energieverbruik van de pomp gebruiken om weerstanden te meten
13) meetleiding in put	4) tijdens onderhoud (vervangen pomp, regeneratie, ...)	2) gebruik van geluid om metaal aanwezigheid vast te stellen (combinatie met 1)
14) persleiding		3) Gebruik maken van de ferromagnetische eigenschappen van de elementen die deel uit maken van de verstoppingen
15) restanten boorspoeling (kleideeltjes, fijn zand, organisch materiaal, eventueel bentoniet, CMCs (antisol), soda)		
16) Terugslagklep of voetklep bij onderwaterpomp		

Deze tabel bevat een overzicht van alle belangrijke resources die in de putten voor waterwinning voorhanden zijn. Het belang van deze tabel is als naslag tijdens de ideegeneratie. Op dit moment kan deze lijst gebruikt worden om te bepalen of er voor de realisatie van een idee de benodigde resources al aanwezig zijn.

De gebruikte categorieën zijn als volgt:





- **Substance resources:** elke soort materiaal waarvan waarvan het systeem of zijn omgeving gemaakt is (denk hierbij aan systeem onderdelen, afvalstoffen, stofstromen, ruwe grondstoffen)
- **Field resources:** omvat elk soort veld dat bestaat in het systeem of zijn omgeving en dat mogelijk gebruikt kan worden voor het oplossen van problemen. Denk hierbij aan energie in het systeem, energie in de omgeving, bronnen van energie en dissipatie van energie
- **Time resources:** omvatten alle tijdintervallen voor de start of na de afloop of tijdens cycli van een technologisch proces, die deels of volledig ongebruikt zijn. Deze resources zijn van belang om te bepalen of we iets voor aanvang van een cyclus kunnen doen, of om te bepalen of het reduceren van stilstand mogelijke oplossingsrichtingen bevatten etc. In het geval van putten voor waterwinning kan gekeken worden naar stilstandperiodes tijdens de operationele periode van de put (de periode tussen een uitschakeling en een nieuwe aanschakeling, bijvoorbeeld 's nachts).
- **Space resources:** omvat alle vrije en deels gebruikte ruimte in een systeem of zijn omgeving. Deze ruimte resources zijn van belang om nieuwe objecten te plaatsen of om ruimte in het systeem te winnen.
- **Functional resources:** omvatten alle mogelijkheden voor een systeem of zijn omgeving om additionele functies uit te voeren. Dus naast de functies, die de ontwerpers voor ogen stond toen het systeem werd ontworpen. Als we in staat zijn om gebruik te maken van deze functional resources dan leidt dit vaak tot zeer onverwachte oplossingen voor problemen.
- **Informational resources:** omvat alle additionele informatie die over het systeem verkregen kan worden. Hierbij wordt gebruikt gemaakt van alle dissipatie bronnen en materie of veldstromen, die door het systeem stromen.

## Bijlage C. Overzicht van gegenereerde ideeën

Idee nr	Omschrijving
1	Pulsboring gebruikt geen boorspoeling SP : Versmering treedt op, het is duurder, beperking qua diepte en diameter
2	Andere boorspoeling gebruiken (wordt naar gekeken)
3	Geen kleideeltjes gebruiken maar kalkdeeltjes die met zuur kunnen verwijderd worden
4	Boorspoeling beperken door veel water te gebruiken.
5	Grond bevroren bij boren (wordt gedaan bij tunnelboren) SP: er moeten vooraf voorzieningen aangebracht worden om de bodem weer te laten ontdooien (electriciteit,o.i.d.)
6	Hars gebruiken om wand vast te houden bij boren, deze hars wordt naderhand kapot gemaakt / verwijderd
7	Fysiek verwijderen van je boorspoeling SP : Er is heel veel water nodig om de druk van de formatie te compenseren.
8	Ondergronds ontijzeren
9	Omdraaien van de stromingsrichting (kan bijvoorbeeld 's nachts)
10	Inbrengen van chemicaliën SP : inspectie vindt dat niet leuk
11	Het gebruik van zuren kan ervoor zorgen dat de neerslag in oplossing blijft
12	Fosfaten (complexvormers) gebruiken om ervoor te zorgen dat de neerslag in oplossing blijft SP : toevoegen van additionele stoffen
13	Teflon laag om hechting te voorkomen
14	Vervuiling afvangen tussen put en waterzuivering.
15	Schoonschrapen van de boorgatwand zodat boorspoeling verwijderd wordt. Dit gebeurt bij een overdruk van water.
16	Als de omstorting al aanwezig is kan m.b.v. hard pompen en/of pompen met variërende snelheden de boorspoeling geprobeerd worden te verwijderen.
17	Werk met een oplosbaar of biologisch afbreekbaar folie als vervanging van de boorspoeling dat tijdens de werking van de put afgebroken wordt. (Opm : CMC is in principe zo'n afbreekbare stof) SP : moet 2 weken in stand blijven
18	Gebruik folie die water in 1 richting doorlaat SP : dure oplossing, folie moet hoge flux hebben
19	Bolletjes inbrengen nadat de put is aangelegd. De bolletjes vervolgens tot ontploffing brengen om de formatie te perforeren.
20	Vergroot de permeabiliteit van de boorgatwand door een deel gecontroleerd in te laten storten, na aanleg, hiervoor moet een ruimte worden gecreëerd. Bijvoorbeeld maak een gedeelte van de omstorting wateroplosbaar zodat er, nadat de put klaar is, ruimte wordt gecreëerd om de buitenste laag van de boorgatwand van structuur te veranderen (er ontstaat een lege ruimte)
21	Wiggen maken in het zand zodat er additionele routes worden gecreëerd voor het water.
22	Put erin heien
23	Via electrolyse proberen de kleideeltjes in de boorspoeling te dispergeren
24	Inerte laag opbrengen op de boorgatwand alvorens de boorspoeling aan te brengen. De inerte laag moet zodanig zijn dat ze eenvoudig loslaat van de formatie na aanbrengen van de omstorting



Idee nr	Omschrijving
25	Iets aanbrengen in de boorgatwand dat geactiveerd wordt op het ogenblik dat de boorspoeling geperforeerd moet worden: vb. denk aan analogie van bijv harsen die uitharden na aanraking met een andere component, kunstmestkorrels die langzaam de nutriënten vrijlaten, ...
26	Slow release materialen (polymeren) aanbrengen die voor afdichting zorgen maar slechts een bepaalde tijd
27	Als boorvloeistof een mix van een polymeer (polysulfon, polyethersulfon, celluloseacetaat, PVDF...) en oplosmiddel gebruiken. Oplosmiddel lost op in water. Als water toegevoegd wordt dan ontstaat schuimstructuur = poreuze bodemlaag. Deze dient als omstorting.  SP : afdichtingen naar boven moeten nog wel werken SP : mag de waterkwaliteit niet beïnvloeden, moet milieuvriendelijk zijn (vele van de stoffen hierboven hebben ATA -test)
28	Geheugenmetaal in boorgatwand die na aanbrengen van omstorting voor perforaties in de boorgatwand zorgt
29	Stoffen toepassen die van eigenschap veranderen afhankelijk van de druk die er op uitgeoefend wordt. Belangrijk is dat bij het opvoeren van de druk de boorgatwand afgedicht wordt en bij het relaxeren weer teruggaat (niet in de formatie komt en makkelijk verwijderbaar), bijvoorbeeld thixotropische vloeistoffen of elastomeren
30	Tijdens het boren de aanleg van de put doen. Boorkop laten zitten onderin het geboorde gat en enkel de as terugtrekken. Boven de boorkop ligt de omstorting.  Verfijning : boorput reeds klaarmaken boven de grond en die kant en klaar in de grond geboord wordt. SP : er ontstaan grote kleefkrachten SP : er moet eerst een kleine verkenningsboring gedaan worden om te kijken welke lagen we tegen komen en de eindpositie van het filter te bepalen
31	Heel veel boorspoeling toepassen zodat deze eerder afdicht en dus voorkomt dat de boorspoeling te ver de formatie indringt
32	Omstorting compartimentering toepassen, zodat er per compartiment perforaties ontstaan in de boorspoeling. Bij horizontaal boren gebeurt dit al.
33	Gebruik maken van temperatuurstijging / daling om de grootte van de deeltjes te beïnvloeden
34	Er (tijdelijk) voor zorgen dat een gedeelte van de filterspletten afgesloten wordt, waardoor op bepaalde stukken extra snelheid gehaald wordt en vastgelopen van deeltjes voorkomen kan worden. Bijvoorbeeld door gebruik van een Scherm, ...
35	Sectiegewijs afpompapparaat of sectiegewijs rondpompen zoals nu na aanleg van de put gebeurt
36	Veel langer ontzanden. De formatie ontzanden voor het opstarten van de put zodat alleen het skelet van de formatie overblijft.
37	Werken met een tweede pomp om lokaal de stroming over het filter te wijzigen
38	In serie schakelen van pompen zodat ze geschakeld kunnen worden
39	Stof introduceren in formatie die ervoor zorgt dat het materiaal neerslaat. Vb. door iets te injecteren dat later uithard.
40	In plaats van te ontzanden het zand de formatie insturen door met heel hoge snelheid water (> 2 maal de onttrekkingsnelheid van water) te injecteren vlak na de aanleg. Dit hoeft dan eenmalig te gebeuren, omdat de vrij beweegbare deeltjes dan voldoende ver van de put af worden gebracht om te voorkomen dat ze de boorgatwand poriën verstoppert.
41	Er is asymmetrie in de stroomsnelheid t.g.v. de opbouw van het pakket, de invloed naar de put toe wordt beïnvloed door de andere putten. Streef naar meer symmetrie in en rondom de put. Doel is een optimale stroomsnelheid overal bij de boorgatwand.

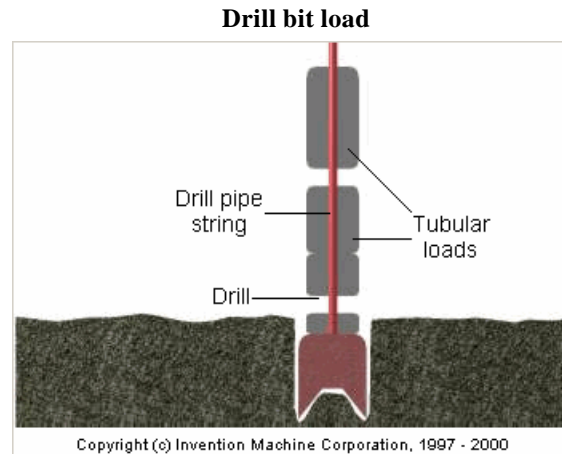
Idee nr	Omschrijving
42	Telescopische pijpjes doorheen de boorgatwand schieten en daardoor water aanzuigen. Bijkomend voordeel is dat er daardoor initieel een verticale stroming langs de boorgatwand ontstaat, die wellicht de restanten boorspoeling wegzuigt
43	(Preventief) terugduwen van de vervuiling door de stroomrichting om te draaien
44	Maak de onderkant van de put open zodat er ook langs de onderkant water aangezogen kan worden. SP : er mag geen zout water aangezogen worden.
45	Aanleggen van een scheve put : voordelen : lagere stroomsnelheden nadelen : lastiger constructie.
46	Water opnieuw infiltreren in de formatie om in de boorgatwand de stroomsnelheid en richting te variëren. Het te infiltreren water wordt direct na de pomp afgescheiden en weer terug gestuurd.
47	(Zie ook 17) Gebruik een membraan dat tijdens de aanleg de formatie moet tegenhouden. Dit membraan hoeft in principe niet waterdoorlatend te zijn, maar dan moet het of weggehaald kunnen worden of afbreekbaar zijn in een periode van 2 weken.
48	Toepassen van een mechanische constructie bij het tegenhouden van de formatie. Dit gebeurt nu ook bij het pulsboeren. Maar met deze boormethode kan maar 50 meter diep geboord worden. Als we kunnen voorkomen dat de kleefkrachten te hoog oplopen dan kan deze methode voor veel grotere diepten ingezet worden en is er dus geen boorspoeling nodig.
49	Door grote hoeveelheden balletjes in het water in het boorgat toe te passen kan de boorgatwand in stand gehouden worden. Mogelijkheden voor het materiaal zijn bariumsulfaat, bariumcarbonaat. Als de aanleg gebeurd is moeten de balletjes/schubjes weer weg. Belangrijk is dat de balletjes/schubjes het indringen van het water in de formatie tegen gaan
50	Pas een hydrofoob poeder toe. Hiermee wordt een scheiding van de waterlagen binnen en buiten de put verkregen. Het is bekend dat er zetmeel derivaten zijn die zeer hydrofoob zijn en mogelijk ook in de bodem afgebroken kunnen worden. SP: Het aanbrengen van het hydrofobe poeder op de putwand is een probleem dat nog opgelost moet worden.
51	Geef de buitenkant van de buis (bij het pulsboeren) een profiel ipv een gladde buis te gebruiken. SP: Er wordt verondersteld dat hierdoor de kleefkrachten te groot worden en de diepte waarop geboord kan worden bij het pulsboeren nog geringer dan 50 m wordt.
52	Geef de buis bij het eruit trekken "stekeltjes" zodat er geen versmering optreedt of de opgetreden versmering deels ongedaan wordt gemaakt
53	Buis laten krimpen wanneer hij volledig ingebracht is. Dit maakt het eruit halen makkelijker en zorgt ook voor minder versmering tijdens die stap.
54	Wanneer je op de diepte komt waar het filter komt verklein je de diameter waarmee geboord wordt. Zo zorg je ervoor dat het materiaal dat boven losgekomen is, beneden niet kan doordringen. Dit gebeurt in een andere vorm al bij het zgn. "Vertoeren" SP : kleinere diameter van de put bij het filter.
55	Vertoeren vanaf het ogenblik dat de klei/leemlaag doorboord is. Dit kan als de structuur van de grondlagen bekend is.
56	Conische buis. Een buis maken met de brede kant van de conus beneden. Zo wordt er niet over de gehele lengte van de buis versmeerd maar enkel in een kleine ring. (Combineren met krimpen van de buis voor het verwijderen)
57	Gebruik bij het pulsboeren een permeabele buis die gewoon kan blijven zitten.
58	Gebruik kleine springladingen in de wand van de buis waarmee later gaten worden geschoten in de wand.
59	Rekening houden met de gelaagde structuur van de grond om te bepalen op welke manier de buis door elke laag heen gaat
60	Balletjes / kogeltjes aan de buitenkant van de buis waardoor de kleefkrachten lager worden en de versmering van de wand minder wordt
61	Aan het einde van de buis uitsteeksels/messen of een borstel maken die bij het uittrekken de versmering kapot maakt SP : wel veel meer weerstand, maar het moet die werking enkel in het onderste gedeelte van de put te hebben daarna kunnen de uitsteeksels/ messen of borstel weer weg



Idee nr	Omschrijving
62	Coating op de buis zodat de klei niet vastplakt aan de buis. Hierdoor kan misschien ook dieper geboord worden met deze techniek
63	Zand of olie of zeep gebruiken als "smeermiddel" bij het boren door kleilagen en leemlagen. Inbrengen via de buis en op en neer bewegend boren
64	Boren zoals bij tunnelbuizen : het opbouwen van de buis van beneden uit (nadat er weer een stukje geboord is). Dan verkleeft hij niet. Verwijderen door weer weg te klappen. De laatste segmenten kunnen meteen sleuven of gaten bevatten zodat ze niet meer verwijderd hoeven te worden. SP : Er moet gekeken worden hoe de vrijgemaakte (zand)vorm niet instort maar dat krijgt men met tunnelbouw ook voor elkaar.
65	Schroefdraad aan de buitenkant van de buis. SP : wellicht meer weerstand
66	Bevriezen van de grond (zie ook 5)
67	Kortere roterende heen en weer beweging maken bij het boren zorgt voor minder versmering
68	Met heel hoge frequentie heen en weer roteren.
69	Het water in de put verdichten door het toevoegen van magnetiseerbare deeltjes en dan magnetische velden toepassen.

## Bijlage D. Oplossingrichtingen / technieken

### 1. Algemeen: Drill bit load



Changing the mass ratio of tubular loads increases borehole velocity development

#### Description

Tubular loads mounted on the drill pipe string have a different length providing the required mass ratio. The energy is accumulated when the load system moves upward during a single vibration cycle, and during downward motion the accumulated energy is transferred to the drill bit. As the upper moving body of a greater weight collides with the resting lower body of a lower weight, the second body acquires a higher speed than the first one. If each next lower body has a lower weight, it acquires even a higher velocity due to the impact. Thus, the impact with the lowermost body against the drill bit will be effected with the highest velocity. This provides an actually complete energy use for generating drill bit percussion loads and not for elastic deformation of elements.

#### See Also

Effect: [Colliding bodies interface affects energy transfer with collision](#)

Example: [Bench chisel](#)

Example: [Impact mechanism](#)

Example: [Pneumatic hammer](#)

#### Advantages

This results in a simple design of the over-drill bit load system, improved equipment performance and lower energy consumption.

#### Problem

When developing boreholes, it is necessary to impact load on the drill bit. In conventional designs of drill bit loads, disconnected tubular loads are mounted freely on the drill pipe string. As their mass is the same, the energy of the upper element colliding with the lower one is not completely transferred to the drill bit and partially dissipates due to the deformation of system elements.

#### Solution

**In order to** increase borehole velocity development,



**it is proposed** to change the mass ratio of percussion elements.

### References

SU A.C. N 447496.

### Description

Tubular loads mounted on the drill pipe string have a different length providing the required mass ratio. The energy is accumulated when the load system moves upward during a single vibration cycle, and during downward motion the accumulated energy is transferred to the drill bit. As the upper moving body of a greater weight collides with the resting lower body of a lower weight, the second body acquires a higher speed than the first one. If each next lower body has a lower weight, it acquires even a higher velocity due to the impact. Thus, the impact with the lowermost body against the drill bit will be effected with the highest velocity. This provides an actually complete energy use for generating drill bit percussion loads and not for elastic deformation of elements.

### See Also

Effect: [Colliding bodies interface affects energy transfer with collision](#)

Example: [Bench chisel](#)

Example: [Impact mechanism](#)

Example: [Pneumatic hammer](#)

### Advantages

This results in a simple design of the over-drill bit load system, improved equipment performance and lower energy consumption.

### Problem

When developing boreholes, it is necessary to impact load on the drill bit. In conventional designs of drill bit loads, disconnected tubular loads are mounted freely on the drill pipe string. As their mass is the same, the energy of the upper element colliding with the lower one is not completely transferred to the drill bit and partially dissipates due to the deformation of system elements.

### Solution

**In order to** increase borehole velocity development,  
**it is proposed** to change the mass ratio of percussion elements.

### References

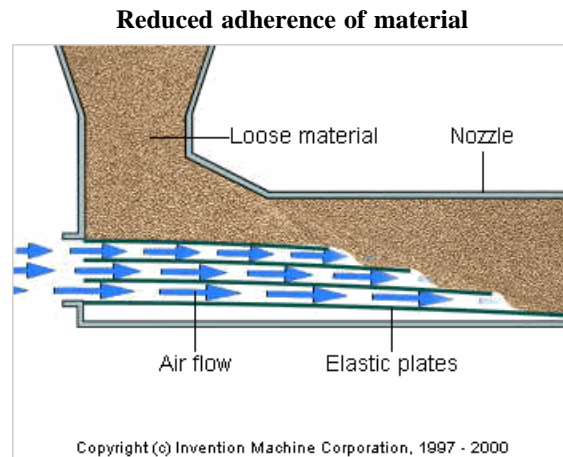
SU A.C. N 447496.

## 2. Bij idee nr 1: Reduced adherence of material

Idee nr 1: Pulsboring gebruikt geen boorspoeling

SP : Versmering treedt op, het is duurder, beperking qua diepte en diameter

Hierbij effecten opgenomen om te voorkomen dat materiaal kleeft aan de buis, zodat tot grotere diepten geboord kan worden.



Vibrating the elastic plates that convey the loose material exclude the adherence of loose material onto the nozzle surface

### Description

A loose material enters the [nozzle](#) body and then the pressure chamber. The conveying air is injected into the chamber. The pressure chamber comprises a system of elastic plates. Due to the aerodynamic effect, the air motion between the plates causes the plates to vibrate. As a result, the material loosening and friability

are improved. The conveying air blows the loose material out of the nozzle.

### See Also

Effect: [Vibration](#)

Example: [Anti-vibration support](#)

Example: [Concrete mix hardening determination](#)

Example: [Contact time determination of grinding wheel with part](#)

Example: [Destruction of double electric layer](#)

Example: [Dye mixing by vibration](#)

Example: [Film cohesion prevention using vibrations](#)

Example: [Gentle placing of fruit with the help of vibration](#)

Example: [Magnetic tape tension measurement](#)

Example: [Mass centering of rotor](#)

Example: [Metal rolling control](#)

Example: [Milking control](#)

Example: [Multi-frequency vibration damper](#)

Example: [Oscillation of cloth strips washes uneven surface](#)

Example: [Powder material measuring device](#)





- Example: [Reed resonator in musical instrument](#)  
Example: [Seismic exciter](#)  
Example: [Structural stiffness determination](#)  
Example: [Tachometer](#)  
Example: [Vibrating massaging device](#)  
Example: [Vibration crystallization of alloys](#)  
Example: [Vibration damper](#)  
Example: [Vibration grading](#)  
Example: [Vibration increases flow velocity of photopolymer](#)  
Example: [Vibration isolation of electric motor](#)  
Example: [Vibration knurl](#)  
Example: [Vibration pickup](#)  
Example: [Vibration prevents material congealing](#)  
Example: [Vibration processing of concrete](#)  
Example: [Vibratory cable plow](#)  
Example: [Vibratory filter](#)  
Example: [Vibratory mold](#)  
Example: [Vibratory shoe](#)  
Example: [Vibratory support](#)  
Example: [Waveguide modulator](#)

### Advantages

The method prevents the product adherence to the [nozzle](#) inside surface.

### Problem

When a loose material is conveyed, the product may adhere to the [nozzle](#) inside surface.

### Solution

**In order to** exclude the adherence of loose material onto the [nozzle](#) surface,  
**it is proposed** to vibrate the elastic plates that convey the loose material.

### References

SU A.C. 704854; Khustochkin; Dec. 25, 1979.; “Nozzle for loose materials to packing machines”;  
Giprococks Design Bureau of Automation and Mechanization of Production Processes at the Enterprises of By-Product Coke.

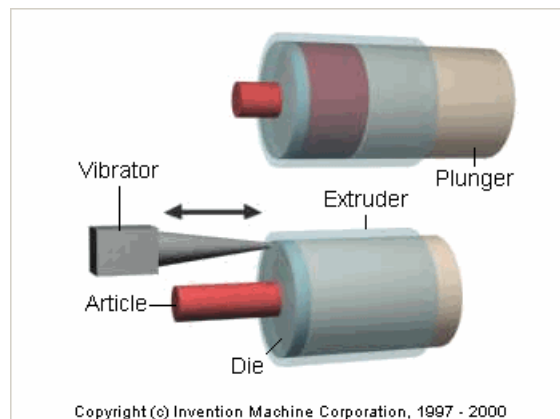
### 3. Bij idee nr 1: (verminder adhesie) Ultrasonic extrusion of thermoplastics

Idee nr 1: Pulsboring gebruikt geen boorspoeling

SP : Versmering treedt op, het is duurder, beperking qua diepte en diameter

Hierbij effecten opgenomen om te voorkomen dat materiaal kleeft aan de buis, zodat tot grotere diepten geboord kan worden.

#### Ultrasonic extrusion of thermoplastics



Vibrating the extruder increases the extrusion rate

#### Description

A plunger forces molten thermoplastic out through the forming die of the [extruder](#). An article of thermoplastic (extrudate) forms at the exit of the die. A magnetostrictive ultrasonic vibrator excites ultrasonic vibrations of the extruder in the direction parallel to the thermoplastic flow direction. The ultrasonic vibrations reduce the [viscosity](#) of the molten thermoplastic and the adherence to the [extrusion](#) apparatus walls. This increases the extrusion rate (thermoplastic flow rate) and decreases the pressure applied to the plunger.

#### See Also

Effect: [Magnetostrictive excitation of ultrasonic vibrations](#)

Example: [Bonding sheet polymers](#)

Example: [Gaseous inclusion removal using ultrasound](#)

Example: [Impregnation of porous bodies](#)

Example: [Ultrasonic cutting of hard organic tissues](#)

Example: [Ultrasonic drilling of printed circuit boards](#)

Example: [Ultrasonic flaring of polymer pipes](#)

#### Advantages

1. The [extrusion](#) rate of thermoplastics increases.
2. The extrusion pressure decreases.
3. The extrudate expansion at the exit of the [extruder](#) die decreases.
4. The extrusion temperature decreases.

#### Problem



[Extrusion](#) produces thermoplastic objects. During extrusion, thermoplastics adhere to the wall of the flow channel of the [extruder](#). This reduces the extrusion rate and requires high pressure for extrusion.

### **Solution**

**In order to** increase the [extrusion](#) rate,  
**it is proposed** to vibrate the [extruder](#).

### **References**

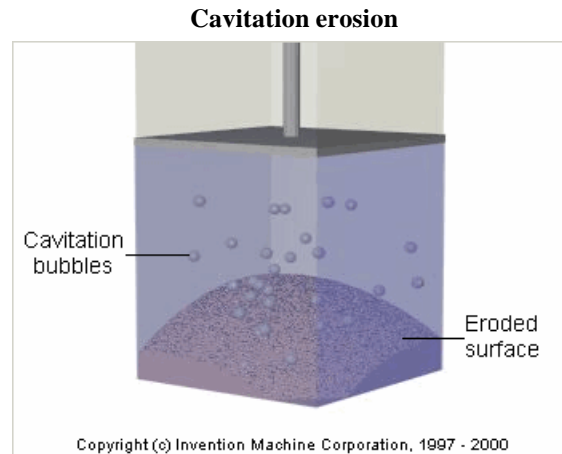
U.S. Patent. 4,793,954; Lee, Biing-Lin, et al.; Dec. 27, 1988; "Shear processing thermoplastics in the presence of ultrasonic vibration"; The B.F. Goodrich Company.

#### 4. Idee nr 1; (voorkom transport deeltjes) Cavitation erosie

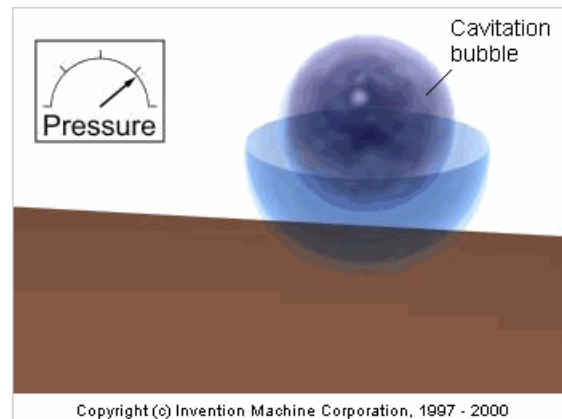
Idee nr 1: Pulsboring gebruikt geen boerspeling

SP : Versmering treedt op, het is duurder, beperking qua diepte en diameter

Hierbij effecten opgenomen om te voorkomen dat materiaal kleeft aan de buis of wordt meegenomen door de buis naar grotere diepten, zodat tot grotere diepten geboord kan worden.



A higher vibration amplitude increases the erosion rate



Ultrasonic vibrations generate cavitation bubbles destroying the surface

#### Description

The process of bubble formation and collapse in a liquid due to local pressure variation is called [cavitation](#). If the liquid pressure drops lower than saturated vapor pressure due to sharp change of a flow velocity, cavitation nuclei (bubbles) are formed therein. When pressure increases, they collapse sharply resulting in propagation of a pressure impulse in the form of a [shock wave](#) through the liquid medium. Pressure value may reach  $10^3$  MPa. Bubbles in an agglomeration collapse in synchronism, i.e. collapse of one bubble triggers collapse of others, and the resulting shock wave may cause rupture of the body surface. Vibration cavitation - related forces causing formation and collapse of bubbles are continuous high frequency pressure oscillations. These oscillations are generated by the vibrating surface submerged into a liquid producing pressure waves therein. Cavities are formed only in case when pulsation amplitude is sufficiently large to produce pressure drop to the level of the saturated vapor pressure and lower.

### See Also

Example: [Cavitation bubbles clean surface of pipes](#)

Example: [Cavitation bubbles clean textile products from stains](#)

Example: [Musical instrument sonority improvement](#)

Example: [Subsurface cleaning by use of ultrasound](#)

Example: [Ultrasonic cleaning of chandeliers](#)

Example: [Ultrasonic dishwasher system](#)

### Advantages

Vibrational [cavitation](#) - induced erosion is used in devices cleaning various articles and equipment. It also frequently affects operation of various machinery.

### Effect Index

G – erosion rate, g/h

### Materials

Amplitude increase from 60 to 90 mm at 6.5 kHz oscillations results in erosion rate increase of a steel sample from 0.01 g/h to 0.07 g/h, rubber sample - from 0 g/h to 0.01 g/h.

### Formula

$$G = F(A, F, L)$$

G – erosion rate, g/h

F – frequency

A – vibration amplitude

L – parameter characterizing material capacity to [resist](#) failure ([hardness](#), tensile strength, plasticity, etc.)

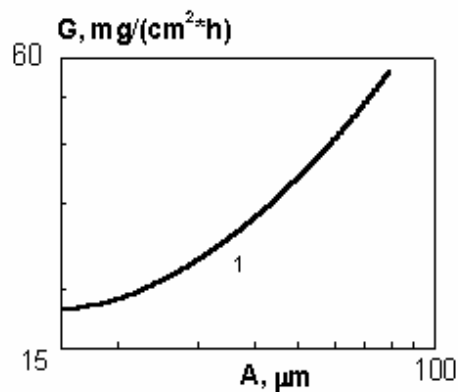


Fig. 1 A change in the erosion rate per unit area for a brass specimen vs the [oscillation amplitude](#).

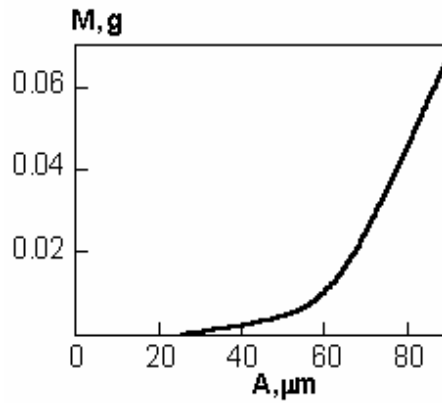


Fig. 2 [Cavitation](#) destruction of a specimen vs the oscillation amplitude at the frequency of 6.5 kHz.  
Cavitation destruction of various materials.

Cast iron	Mechanical properties		Volume loss (mm <sup>3</sup> ) during 16 hr cavitation destruction at 20 C
	Ultimate tensile strength $\sigma_b$ , kgs/mm <sup>2</sup>	Brinell hardness, H <sub>B</sub>	
Foundry iron	17.6	171	636.0
Foundry iron with a casting skin	17.6	200	396.0
Nickel	39.4	235	376.0
Nickel-copper	12.6	107	837.0
Chromium-nickel-copper	17.6	116	247.0

### Conditions

1. The effect occurs at vibration amplitudes producing liquid pressure lower than saturated vapor pressure.
2. The effect occurs at amplitudes of about 20 - 100 mm and frequencies of several kHz.

### References

Robert Knapp, Cavitation, New York 1970.

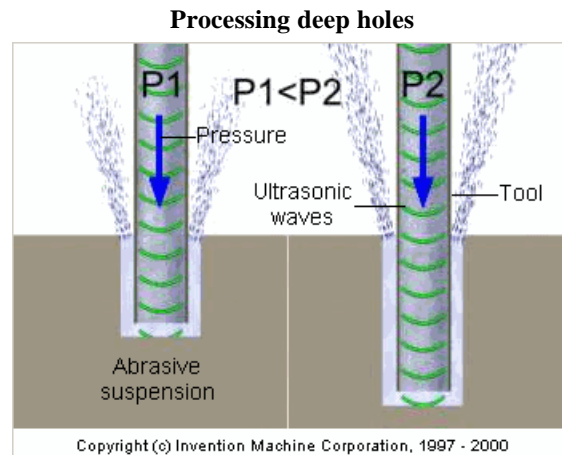
Preece, C.M. ed. "Erosion." *Treatise on Materials Science and Technology* 16. New York: Acad. Press, 1979.

## 5. Idee nr 1: Processing deep holes

Idee nr 1: Pulsboring gebruikt geen boorspoeling

SP : Versmering treedt op, het is duurder, beperking qua diepte en diameter

Hierbij effecten opgenomen om te voorkomen dat materiaal kleeft aan de buis of wordt meegenomen door de buis naar grotere diepten, zodat tot grotere diepten geboord kan worden.



The pressure of an abrasive suspension affects the erosion degree of the solid body surface

### Description

The supply of abrasive suspension to the processing area under a pressure of 5 to 6 atmospheres intensifies sharply the process of producing a hole. This is due to an increase in the intensity of an impact action on the surface of a solid body by the collapsing [cavitation](#) bubbles. Hence, the mechanical action of abrasive particles of the suspension on the surface increases. As a result, the tool can penetrate into the component to a great depth and form a hole.

### See Also

Effect: [Cavitation abrasive erosion under static pressure](#)

### Advantages

The degree of erosion rises 1.5 to 2 times irrespective of the material subjected to processing.

### Problem

The efficiency of processing deep profile holes by means of the effect of [cavitation](#) and abrasive erosion is sharply decreased as the tool penetrates into the component. In general, this is due to the loss of erosion activity of the suspension.

### Solution

**In order to** increase the degree of [cavitation](#) erosion of the surface of a solid body, **it is proposed** to increase the pressure of the abrasive suspension.

### References

Agranat, B.A., ed. *Ultrasonic Technology*. Moscow, 1974.

## 6. Idee nr 1 of 5: Frozen cutting tool

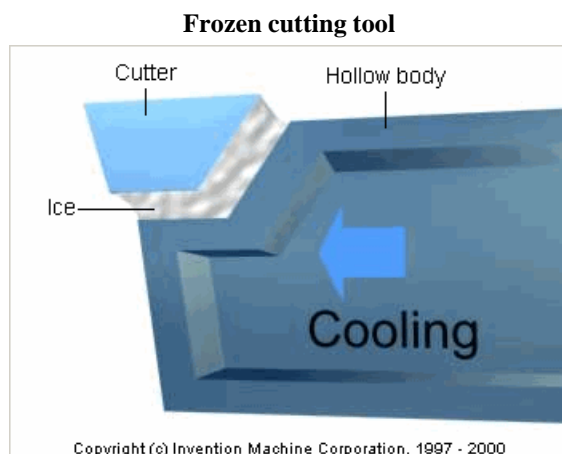
Idee 5: Grond bevroren bij boren (wordt gedaan bij tunnelboren)

SP: er moeten vooraf voorzieningen aangebracht worden om de bodem weer te laten ontdooien (electriciteit, o.i.d.)

Hier effecten opgenomen om op andere manieren te bevroren of de formatie compact te maken en verminderd waterdoorlatend

### Concept Description:

In plaats van de grond te bevroren kan met een sterk gekoelde boor gewerkt worden om de aanhechting van materiaal te verminderen.



Ice holds the cutter in the body

### Description

A tool includes a cutter and a body. There is an internal cavity in the body. A cooling agent such as freon is fed into the cavity.

Water is fed into the gap between the body and the cutter. The water freezes when it comes into contact with the cold body. The resultant ice immediately secures the cutter in the body.

### See Also

Effect: [Crystallization of supercooled liquid](#)

Example: [Air cleaning from impurity gases using crystallization](#)

Example: [Biological product crystallization by cold bar](#)

Example: [Crystallization of substance by introducing solid particles](#)

Example: [Emulsion stabilization with fat crystallization](#)

Example: [Gas separation using crystallization](#)

Example: [Layer-by-layer filling of vessel](#)

Example: [Minimization of water supercooling during ice production](#)

Example: [Obtaining ice granules of regular-shape](#)

Example: [Pure ice production by crystallization](#)

Example: [Solidification of wax fixes separation of particles](#)

Example: [Uniform distribution of oxidizer](#)

### Advantages

1. The cutter is secured very quickly.
2. Water expansion during freezing strengthens the attachment between the cutter and the tool.
3. No clamping is needed.
4. There is no need to carefully prepare the base surfaces of the cutter and the tool.



**Problem**

Metalworking uses cutting tools in which the cutter is clamped to the body of the tool. Clamping the cutter in the tool is time-consuming.

**Solution**

**In order to** secure the cutter in a body,  
**it is proposed** to freeze the water between the cutter and the body.

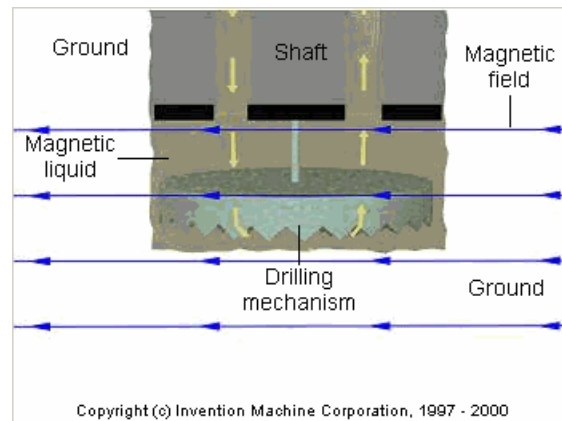
**References**

SU A.C. 319,389; Avakov, et al.; Nov. 2, 1971; "Combined cutting tool"; Leninakan Branch of Yerevan Polytechnic.

## 7. Bij idee nr 2: Stabilization of walls of drilled hole in ground

Idee no 2: Andere boorspoeling gebruiken (wordt naar gekeken)

### Stabilization of walls of drilled hole in ground



Magnetic liquid balances the hydrostatic pressure of ground water

### Description

A hydrophobic (water repelling) liquid, such as petroleum machine oil, mixed with 20-50% [magnetite](#) with a particle size of  $10^{-5}$  to  $10^{-7}$  cm should be used as the thixotropic solution. A sealed partition with magnets is installed in the [shaft](#) above the drill. A magnetic liquid is forced under pressure into the chamber in order to compensate for the [hydrostatic pressure](#) of ground water and to prevent the walls from collapsing. If the shaft properties or the hydrostatic pressure change, the magnetic field strength changes, and thus the magnetic liquid density is regulated. The magnetic liquid saturated with waste particles is pumped into a clarifying device. After clarification, the magnetic liquid returns to the chamber.

### See Also

Effect: [Ferromagnetism](#)

Example: [Abrasion device using magnetic field](#)

Example: [Adhesive bonding of ferromagnetic materials](#)

Example: [Angular displacement sensor using induction](#)

Example: [Cast-in-place pile manufacturing method](#)

Example: [Claydite raw granules treatment](#)

Example: [Construction slab](#)

Example: [Damper for measuring devices](#)

Example: [Decorative finishing of clay products](#)

Example: [Displacement measurement of magnetizable materials](#)

Example: [Electromagnetic separation of mixtures](#)

Example: [External heating surface cleaning](#)

Example: [Fast insensitive passage detector](#)

Example: [Ferroelectric liquid level sensor](#)

Example: [Ferromagnetic memory cell](#)

Example: [Ferromagnetic particle flux device for cooling](#)



- Example: [Ferromagnetic particles strengthen cement stone](#)
- Example: [Ferromagnetic vibration sensor](#)
- Example: [Fixing object contour when making animated films](#)
- Example: [Flux-gate magnetometer](#)
- Example: [Foreign particle detection in workpiece](#)
- Example: [Fruit packing device](#)
- Example: [Hole punching device](#)
- Example: [Hydraulic driven pump](#)
- Example: [Increasing transmitted torque](#)
- Example: [Inductive displacement sensor](#)
- Example: [Inductive liquid flowmeter](#)
- Example: [Inductive sensor of rotation speed](#)
- Example: [Iron ore locating using magnetic field intensity](#)
- Example: [Knife blade holding during sharpening](#)
- Example: [Liquid mixing device](#)
- Example: [Liquid surface vibration damper](#)
- Example: [Lubrication system for gears](#)
- Example: [Magnetic field direction sensor](#)
- Example: [Magnetic field sensor using ferromagnetic materials](#)
- Example: [Magnetic head working gap measurement](#)
- Example: [Magnetic liquid level sensor in reservoir](#)
- Example: [Magnetic liquid sealing of rotary shaft](#)
- Example: [Magnetic orientation of non-magnetic parts](#)
- Example: [Magnetic protection of pipeline shutoff valves](#)
- Example: [Magnetic separator with system of magnetized balls](#)
- Example: [Magnetic storage device](#)
- Example: [Metal fibers improve strength of attachment](#)
- Example: [Model with ferromagnetic filling](#)
- Example: [Molding splint-stab slabs in magnetic field](#)
- Example: [Moving ferromagnetic catalyst with magnetic field](#)
- Example: [Orientation of reinforcing bars in reinforced concrete constructions](#)
- Example: [Pile cap](#)
- Example: [Pipe magnetic seal](#)
- Example: [Polymer solidification determination](#)
- Example: [Profiled article manufacture from sheet thermoplastics](#)
- Example: [Protection from ferromagnetic dust](#)
- Example: [Recording of electrical signal](#)
- Example: [Reinforced concrete production](#)
- Example: [Self-metabolic functional material](#)
- Example: [Sorting device actuator](#)
- Example: [Temporary shut-off of pipeline](#)
- Example: [Vibration sensor attachment](#)
- Example: [Vibration transducer](#)
- Example: [Viscous melt spraying in magnetic field](#)
- Example: [Welding positioner](#)
- Example: [Workpiece polishing](#)



### Advantages

It is possible to efficiently regulate the magnetic liquid density, which increases the tunnel work efficiency and safety.

### Problem

In conventional wall stabilization methods, a thixotropic solution is forced into the hole. Re-use of the thixotropic solution requires complex clarifying devices. It is impossible to change the properties of this solution in the walls directly when the geological mining conditions change.

### Solution

**In order to** balance the [hydrostatic pressure](#) of ground water and prevent a vertical face from collapsing,

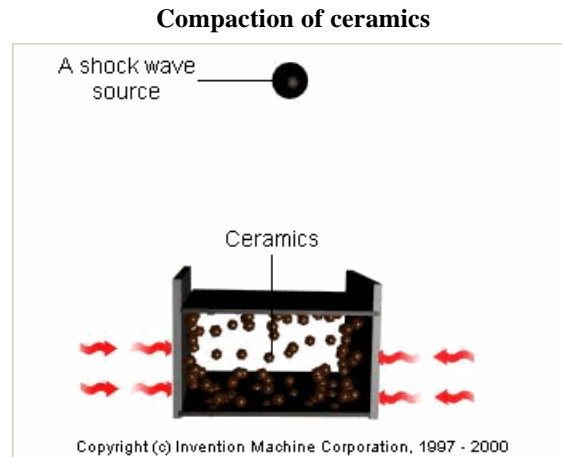
**it is proposed** to use a magnetic liquid.

### References

SU A.C. 504,850; Ziemens, et al.; Apr. 22, 1976; "A method for stabilizing the ground working face."

## 8. Idee nr 3: (compacter maken grond) Compaction of ceramics

Idee nr 3: Geen kleideeltjes gebruiken maar kalkdeeltjes die met zuur kunnen verwijderd worden



The gas pressure jump at the surface compacts the ceramics

### Description

The source ceramic materials are positioned in a mold and heated. The generated [shock wave](#) affects compacts the steel plate covering the molten [ceramics](#). Ceramics form which have greater than 90% of the theoretical density.

### See Also

Effect: [Shock wave in supersonic gas flow](#)

Example: [Hydraulic shock caused by shock wave](#)

Example: [Laser pumping device](#)

Example: [Liquid atomization by shock wave](#)

Example: [Mechanical strength testing of components](#)

Example: [Metal film formation by explosion welding](#)

Example: [Metal grinding with shock wave](#)

Example: [Surface cleaning using shock waves](#)

### Advantages

The produced [ceramics](#) have:

1. high density.
2. high homogeneity.

### Problem

The compaction of [ceramics](#) by mechanical presses does not allow the ceramic components to be produced with a high degree of density and homogeneity.

### Solution

**In order to** compact [ceramics](#),

**it is proposed** to produce a gas pressure jump at the ceramic surface.

### References

U.S. Patent. 5,162,118; Niiler, Andrus; Nov. 10, 1992; "Apparatus for compaction of ceramic"; The United States of America as represented by the Secretary of the Army.

## 9. Idee nr 5: Vibratory shoe

### Concept Description:

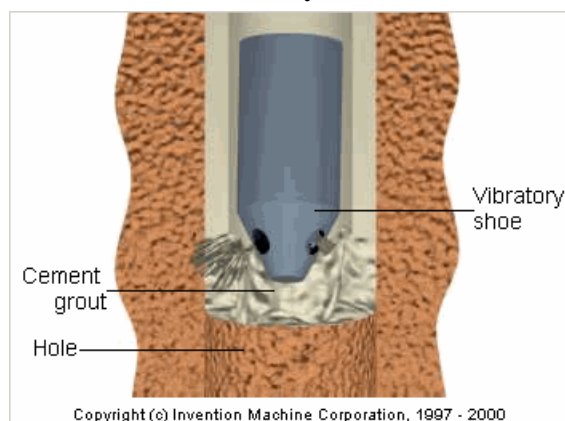
andere manier van putwanden compacter maken met vibraties

Idee 5: Grond bevroren bij boren (wordt gedaan bij tunnelboren)

SP: er moeten vooraf voorzieningen aangebracht worden om de bodem weer te laten ontdooien (electriciteit, o.i.d.)

Hier effecten opgenomen om op andere manieren te bevroren of de formatie compacter te maken en verminderd waterdoorlatend

### Vibratory shoe



The vibration of a vibratory shoe strengthens the walls of a hole

### Description

A vibratory shoe is disposed in a hole. A cement grout enters the hole through its casing. The grout flow rotates an eccentric rotor. This excites torsional vibrations of the vibratory shoe. The vibrations of the vibratory shoe compact the cement grout in the hole. This strengthens the hole walls.

### See Also

Effect: [Vibration](#)

Example: [Anti-vibration support](#)

Example: [Concrete mix hardening determination](#)

Example: [Contact time determination of grinding wheel with part](#)

Example: [Destruction of double electric layer](#)

Example: [Dye mixing by vibration](#)

Example: [Film cohesion prevention using vibrations](#)

Example: [Gentle placing of fruit with the help of vibration](#)

Example: [Magnetic tape tension measurement](#)

Example: [Mass centering of rotor](#)

Example: [Metal rolling control](#)

Example: [Milking control](#)

Example: [Multi-frequency vibration damper](#)

Example: [Oscillation of cloth strips washes uneven surface](#)



- Example: [Powder material measuring device](#)
- Example: [Reduced adherence of material](#)
- Example: [Reed resonator in musical instrument](#)
- Example: [Seismic exciter](#)
- Example: [Structural stiffness determination](#)
- Example: [Tachometer](#)
- Example: [Vibrating massaging device](#)
- Example: [Vibration crystallization of alloys](#)
- Example: [Vibration damper](#)
- Example: [Vibration grading](#)
- Example: [Vibration increases flow velocity of photopolymer](#)
- Example: [Vibration isolation of electric motor](#)
- Example: [Vibration knurl](#)
- Example: [Vibration pickup](#)
- Example: [Vibration prevents material congealing](#)
- Example: [Vibration processing of concrete](#)
- Example: [Vibratory cable plow](#)
- Example: [Vibratory filter](#)
- Example: [Vibratory mold](#)
- Example: [Vibratory support](#)
- Example: [Waveguide modulator](#)

### **Advantages**

1. The method is inexpensive.
2. Cement consumption decreases.

### **Problem**

The walls of a hole being drilled must be strengthened. Therefore, the walls are grouted. A bore injects a cement grout into the hole. The grout spreads on the walls and consolidates. However, holes produced in this way are not strong.

### **Solution**

The vibration of a vibratory shoe strengthens the walls of a hole.

### **References**

SU A.C. 1,778,275; Petrov, et al.; Nov. 30, 1992; "Pipe string vibratory shoe."

## 10. Idee nr 9 Changing flow turbulence by acoustic action

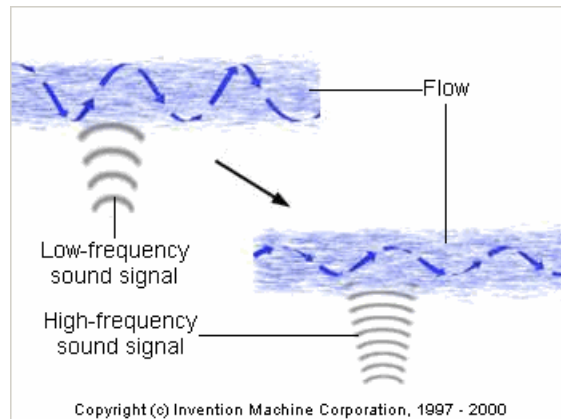
### Concept Description:

Toevoegen van een acoustisch veld kan de werking van stromingen misschien vergroten. Zie idee 9

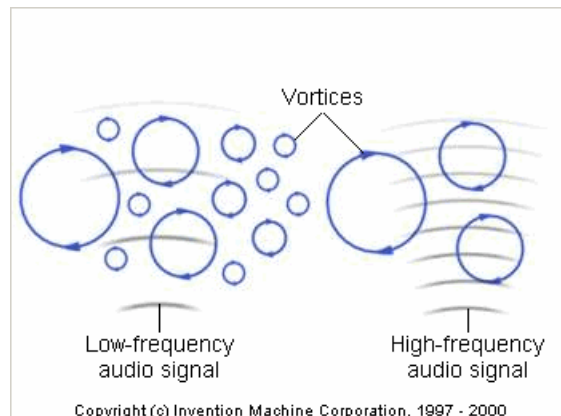
Idee nr 9: Omdraaien van de stromingsrichting (kan bijvoorbeeld 's nachts)

Hierbij effecten opgenomen die de resultaten van stroomverandering nog verder kunnen verbeteren.

### Changing flow turbulence by acoustic action



Sound changes the flow turbulence



A change in turbulence occurs due to the sound wave interaction with the vortices of a small or large scale

### Description

The flow turbulence increases or decreases depending on the frequency of sound acting on it. The results of experiments in this sphere are as follows:

1. a low-frequency sound signal increases the flow turbulence.
2. a high-frequency sound signal decreases the flow turbulence.

The pulsation average velocity was measured at the flow axis point ( $x = 8d$ ;  $x$  is the distance between the observation point and the [nozzle](#),  $d$  is the nozzle diameter) at different frequencies of sound irradiation of the flow. The measurements showed that at the nozzle diameter  $d = 10\text{mm}$  and the flow velocity  $u_0 = 20\text{ m/s}$  the most significant decrease in the average velocity and an increase in the velocity pulsation occurs at the sound signal frequency  $f = 500\text{ Hz}$ . And vice versa: the most considerable increase in the average velocity and, accordingly, a decrease in the velocity pulsation occurs at the frequency  $f = 5500\text{ Hz}$ . In the first case, the Strouhal number  $Sh = 0.25$ , in the second case,  $Sh = 2.75$ .





It appears that the acoustic action on a [turbulent flow](#) is substantial in the case when the acoustic field pressure pulsations are on the same order as the turbulent flow axis maximum pressures in the absence of acoustic field.

Under a turbulent flow, there occurs a chain of consecutive transmissions directed at the scale decrease. Thus, a cascade energy transfer from the largest vortices to smaller ones takes place. The process continues up to the moment when the [viscosity](#) influence prevails for the smallest vortices. One can suppose that application of a high-frequency pulsation to the turbulent flow disrupts the process. This happens because such application is equivalent to an additional energy transfer to a small-scale turbulence. Thus, to be maintained, the small-scale turbulence does not absorb the energy from the larger-scale turbulence and so on. As a result, the above cascade process is distorted and the turbulent flow as a whole takes away a smaller portion of the average movement energy for its own maintenance. Thus, the effectiveness of turbulent mixing decreases. On the contrary, the mixing intensification under low-frequency signal application may be caused by the signal influence on the large vortices. The action of low-signals is similar to the turbulator action. The difference is that the turbulator changes the initial turbulence and a low-frequency signal turbulizes the stream in the flow itself.

### See Also

Example: [Flow turbulence changing by acoustic signal](#)

### Advantages

A simple way of a flow turbulence suppression or generation. In particular, the sound level may be suppressed.

### Effect Index

$u'_1 / u'_0$  - pulsation component of flow velocity under the action of sound as related to the pulsation component of flow velocity in the absence of sound action.

### Limitations

In the experiments performed:  $0.6 \leq u'_1 / u'_0 \leq 1.2$

### Materials

The diagrams are attached.

### Formula

$$\frac{u'_1}{u'_0} = F(f, Sh, T)$$

$$Sh = \frac{L}{v t}$$

$u'_0, u'_1$  – pulsation components of flow velocity in the absence and in the presence of sound vibrations, accordingly, m/s

$u'_1$  – pulsation component of flow velocity under sound action as related to the pulsation component of flow velocity in the absence of sound action, m/s

$f$  – frequency of sound vibrations, Hz

$Sh$  – Strouhal number

$L$  – characteristic linear rate of flow, m

$v$  – characteristic velocity of flow, m/s

$t$  – time lapse characteristic for nonstationary movement, s

$T$  – flow temperature, K

**Conditions**

The flow [Reynolds number](#) (Re) must exceed the critical value ( $Re_{cr}$ ) determining the turbulence presence in the flow. That is, the flow must be turbulent,  $Re > Re_{cr}$

**References**

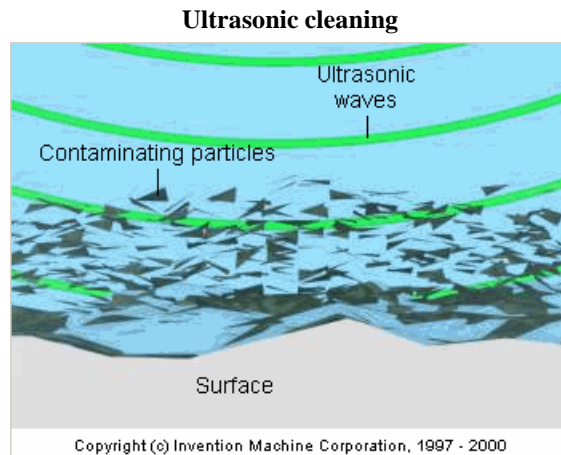
Vlasov, E.V., and A.S.Ginevskii. "Acoustic Action on Aerodynamic Characteristics of Turbulent Flow." *News of Academy of Sciences of USSR. Mechanics of liquid and gas* 4 (1967).

Vlasov, E.V., and A.S.Ginevskii. "Turbulence Generation and Suppression in an Axisymmetric Turbulent Flow under Acoustic Exposure." *News of Academy of Sciences of USSR. Mechanics of liquid and gas*, 6 (1973).

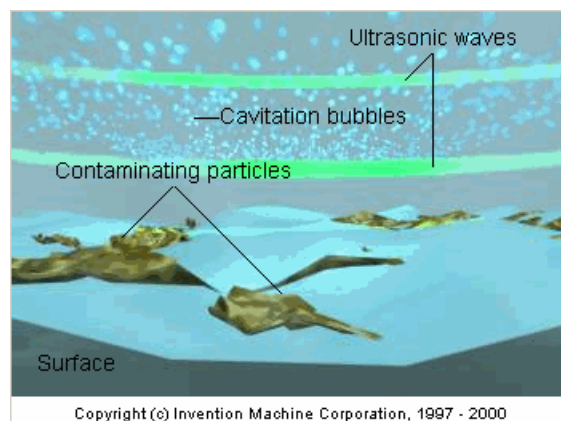
## 11.Idee nr 15: Ultrasonic cleaning

Idee nr 15: Schoonschrapen van de boorgatwand zodat boorspoeling verwijderd wordt. Dit gebeurt bij een overdruk van water.

Gezocht naar andere manieren om de wand schoon te schrapen.



Ultrasonic vibrations in a liquid increase the cleaning rate



Cleaning liquid cavitation causes the surface detachment of contaminating particles

### Description

It is due to liquid [cavitation](#) that the acoustic vibration causes the detachment of contaminating particles from the surface. The sound-[capillary](#) effect facilitates the cleaning liquid penetration into micropores and asperities of the surface being cleaned.

### See Also

Example: [Contamination removal of printed circuit board with ultrasound](#)

Example: [High-speed non-destructive cleaning of porous metal substrate](#)

Example: [Tape cleaning](#)

Example: [Ultrasonic cleaning of printhead](#)

### Advantages

1. Technological effectiveness. Cleaning is easy to implement on a standard ultrasonic equipment.
2. Strong solvents are not used for efficient cleaning.

**Effect Index**

$$K_0 = t_1 / t_0$$

$K_0$  – cleaning acceleration factor

$t_1$  – period of cleaning, s

$t_0$  – period of cleaning with ultrasonic vibrations, s

**Limitations**

$K_0$  varies from 1.5 to 10.

**Materials**

The cleaning acceleration factor:

porous solids - 2.5...5

leather and plastics - 1.5...2.5

**Formula**

$$V = F (X_1, X_2, X_3)$$

$V$  – cleaning rate

$X_1$  – cleaning liquid type

$X_2$  – [porosity](#) of a body

$X_3$  – ultrasonic vibration intensity

**Conditions**

The cleaning liquid insonified by ultrasonic vibrations flows about the surface being cleaned.

The ultrasonic vibration intensity exceeds the threshold value.

**References**

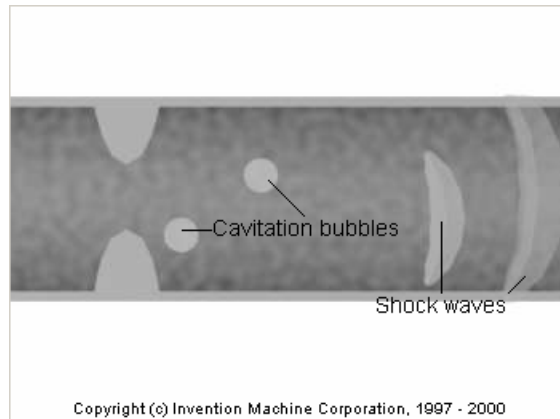
Rose, Joseph L.. *Ultrasonic Waves in Solid Media*. Cambridge Univ. Pr. (Short), 1999.

## 12. Idee nr 16, 34 of 37 Liquid vibrations under cavitation

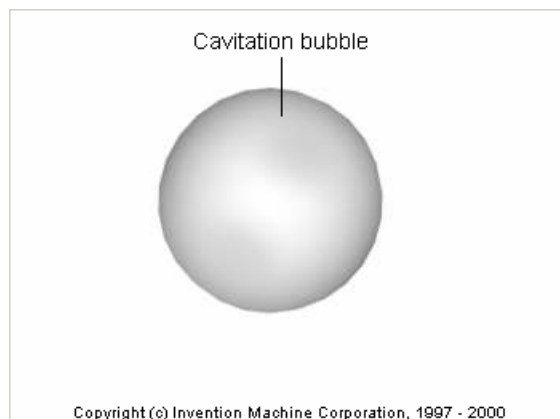
### Concept Description:

Idee 16, 34, 37: Veranderen van stromingssnelheden (hier door genereren van drukgolven) kan ook gebeuren door middel van cavitatie

#### Liquid vibrations under cavitation



Cavitation formation induces vibrations in the liquid



The vibrations result from the liberation of mechanical energy caused by the cavitation bubble collapse

### Description

**Cavitation** occurs in those portions of a flow where the pressure is decreased to a certain critical value (below the vapor pressure of a given liquid) at which there occurs an unlimited growth of gas bubbles available in the liquid or formation and growth of new steam-gas bubbles. When passing to the increased pressure zone, the bubbles cease growing and start reducing. When leaving the decreased pressure zone, the process of reduction (collapse) of a cavity (steam-gas bubble) takes place at a very high rate and is accompanied by a hydraulic shock. A considerable amount of energy liberated during this process serves as a source of liquid vibrations.

### See Also

Example: [Apparatus for producing fuel mixture](#)

Example: [Cavitation impregnation of porous plates with resins](#)

Example: [Cleaning by cavitation in liquefied gas](#)

Example: [Liquid suspension production](#)

**Advantages**

Intensive stirring of liquid. Mechanical action of liquid on surfaces.

**Effect Index**

D – [cavitation](#) bubble diameter.

**Limitations**

D varies from the tenth fractions of millimeter to several millimeters.

**Materials**

The [cavitation](#) bubble diameter, when a 50.8 mm spherical body is flown around by water with the velocity of 30.4 m/s, is 0.8 to 1.2 mm.

**Formula**

$$p = \rho cv$$

p – pressure at a bubble collapse, Pa (pascal)

r – density of liquid, kg/m<sup>3</sup>

c – speed of sound on a bubble wall, m/s

v – speed of bubble wall, m/s

**Conditions**

The liquid flow velocity must decrease pressure in the liquid below the pressure of vapor of a given liquid.

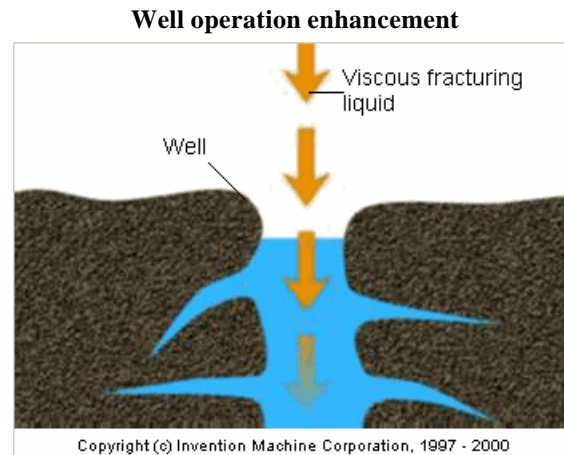
**References**

Young, F .Ronald, Cavitation, London, New York, McGraw-Hill. (1989) 418.

Brennen, Christopher E, Cavitation and Bubble Dynamics, New York, Oxford University Press, 1995.

## 13. Bij idee 21: Well operation enhancement

Idee nr 21: Als de omstorting al aanwezig is kan m.b.v. hard pompen en/of pompen met variërende snelheden de boorspoeling geprobeerd worden te verwijderen.



The earth formation fracture intensifies the well productivity

### Description

A special fracturing viscous liquid (a proppant) is injected into the operating well. The liquid fills the fractures existing in the earth formation and creates new fractures near the well. This increases the effective diameter of the well.

### See Also

Effect: [Use of viscous substances](#)

Example: [Stabilizer of recorder motor velocity](#)

Example: [Viscous electrolyte is held on the surface](#)

Example: [Viscous fluid decelerates flywheel](#)

Example: [Viscous fluid transmits rotation to fan](#)

Example: [Viscous liquid bonds broken glass pieces](#)

### Advantages

The wells treated by this method considerably increase their productivity and service life.

### Problem

While the well is used to produce liquids, the earth formations settle down. This decreases well productivity.

### Solution

**In order to** intensify the well productivity,  
**it is proposed** to fracture the earth formation.

### References

U.S. Patent. 5,253,707; Schmidt, et al.; Oct. 19,1993; "Injection well fracturing method"; Atlantic Richfield Company.



## Bijlage E. Aanvullende informatie

1. Een elektronische vorm van de contradictie matrix kan worden gevonden op de volgende URL:  
<http://www.inp.nsk.su/~dolgash/triz/index.html>
2. De beste informatie bron met onafhankelijke informatie over TRIZ is het TRIZ-journal. Dit is een E-magazine dat gratis bekeken kan worden. Het beschikt over een archief met daarin alle reeds verschenen nummers van het TRIZ-journal. Het TRIZ-journal is te vinden op:  
<http://www.triz-journal.com>
3. Een site met een groot aantal links naar verschillende TRIZ sites is te vinden op:  
<http://triz.startinbelgie.com>