

Eindrapport

Onderzoek naar terugspoelregime calcietfilter

Ten behoeven van een nieuwe drinkwaterzuivering in Kamerik

Stagiair: Justus van Rijnbach

Docentbegeleider: Joop Slaa

Bedrijfsbegeleidster: Sara Ghanbari

Inlever datum: 03-02-2020

oaseo



Samenvatting

Oasen N.V. heeft een innovatie wijze ontwikkeld om drinkwater te produceren. Dit nieuwe proces berust op het gebruik van membranen. Met behulp van scheidingstechniek: Reverse Osmose (RO) worden opgeloste stoffen uit het oppervlaktewater verwijderd. Ionen die nog aanwezig zijn in het water worden met behulp van een ionenwisselaar verwijderd. De mineralen, die essentieel zijn voor de mens, worden toegevoegd aan het water door middel van een calciëfilter en een magnesiumdosering. Met behulp van een beluchtingstoren wordt tot slot zuurstof toegevoegd aan, en koolstofdioxide verwijderd uit het water.

In het calciëfilter reageert het RO permeaat (puur water) met de aanwezige calciëkorrels. Door deze reactie neemt de korrelgrootte af, wat resulteert in fijne deeltjes. Door de toename van fijne deeltjes zal de weerstand in het bed en de troebelheid van het water toenemen. Oasen N.V. stelt strenge eisen ten aanzien aan het drinkwater. Een van deze eisen is een troebelheidswaarde van $\leq 0,15$ NTU. Om deze waterkwaliteitseis te kunnen waarborgen, moet de fijne stof verwijderd worden. Dit kan gedaan worden door het calciëfilter te spoelen. Tijdens dit onderzoek is het optimale terugspoelregime onderzocht, waarbij de troebelheidseis niet werden overschreden. Om het optimale terugspoelregime te bepalen werden verschillende spoelparameters (spoelfrequentie, -tijdsduur, -snelheid) onderzocht en vergeleken met vers calcië (NC-kolom) als met oud calcië (OC-kolom).

Tijdens dit onderzoek is een 2-stapsspoeling onderzocht. Eerst werd er 3 minuten gespoeld met lucht (0,6 bar) en vervolgens 15 minuten met water. Hierbij werd gevarieerd met de watersnelheid. Uit de resultaten is gebleken dat bij beide kolommen de meest optimale terugspoelsnelheid ligt op 25 m/h, doordat de troebelheid van het spoelwater het snelst stabiliseerde en de kortste spuitijd bevatte. Deze spuitijd zou verder verkort kunnen worden door het spoelregime te optimaliseren met behulp van een op- en afram tijd. Daarbij nam per 12 seconde de waterspoelsnelheid met 5 m/h toe.

Voor beide kolommen geldt dat de spoelfrequentie >32 dagen is met een spoelwaterverlies van 0,14%. Tot slot is bij deze optimale terugspoelsnelheid een bed expansie van 7%.

Wanneer een hoge troebelheid (≥ 1500 NTU) tijdens de luchtspoeling wordt gerealiseerd, kan de terugspoelsnelheid verlaagd worden met een factor van 2,5. Dit betekent dat bij een lagere terugspoelsnelheid ongeveer dezelfde resultaten worden behaald. Hierdoor zal het waterverlies vele malen lager zijn.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat zowel bij nieuw als bij oud calcië het optimale terugspoelregime luidt als volgt. Luchtspoeling (0,6 bar) van 3 minuten gevolgd door een waterspoeling (25 m/h) van 15 minuten. De waterspoelsnelheid wordt elke 12 seconde op- en afgebouwd met 5 m/h.

Voorwoord

U heeft voor zich het eind rapport van mijn oriënteerde stage. Ik heb een leerzame periode gehad bij Oasen N.V. waar ik me focuste op het terugspoelregime van de calcielfilter. Tijdens mijn stage heb ik veel geleerd op het gebied van de onderzoekswereld en persoonlijke ontwikkeling.

Als aller eerst wil ik Sara Ghanbari bedanken voor de kans die ik heb gekregen om bij Oasen N.V. mijn oriënterende stage te lopen. Daarnaast wil ik haar bedanken voor de begeleiding en de persoonlijke ontwikkeling die ik tijdens mijn stage heb gemaakt.

Ook wil ik mijn medestudent Victor Shao en zijn begeleiders en collega van Waternet Onno Kramer, Eric Baars en Cas van Schaik bedanken. Tijdens mijn stage heb ik met hen metingen mogen doen om een beter beeld te krijgen op het gebied expansie tijdens het terugspoelen.

Tot slot wil ik mijn docentbegeleider Joop Slaa bedanken voor de begeleiding die hij mij heeft gegeven. Joop is een fijne begeleider die luistert naar de problemen waarmee ik heb gezeten en probeert een oplossing erop te vinden. Na de gesprekken die ik met Joop heb gehad kwam ik altijd positief eruit. Daarnaast was de feedback die ik van Joop kreeg altijd helder en goed opgebouwd. Hartelijk bedankt voor het begeleiden van mijn stage!

Inhoud

Samenvatting.....	2
Voorwoord.....	3
1. Inleiding.....	6
1.1. Oasen	6
1.1.1. Waterkwaliteitseisen	6
1.1.2. Huidige manier van Waterzuivering.....	6
1.1.3 Toekomst.....	7
1.2 Probleeminstelling	8
1.3 Onderzoeksvragen.....	8
2. Theorie.....	8
2.1 Introductie	8
2.2 Terugspoel regimes:.....	9
2.3 Expansie	9
2.4 Op- en Aframptijd	10
2.5 Waterverlies:.....	10
2.5.1 Spuiwater	10
2.5.2 Spoelwater	11
2.6 Spoelfrequentie.....	11
2.7 Conclusie	11
3. Materiaal en methode	12
3.1 Gebruikte pilot en calcië	12
3.1.1 Gebruikte pilot	12
3.1.2 Gebruikte calcië	13
3.1.3 Porositeit van het calcië bed.....	13
3.2 Terugspoelsnelheid	14
3.2.1 2-stapspoeling	14
3.3 Op- en aframptijd	14
3.4 Spoelfrequentie	14
3.5 Expansie	14
4. Resultaten.....	15
4.1 Resultaten 2-stapspoeling	15
4.2 Resultaten op- en aframptijd	22
4.3 Resultaten frequentie	23

4.4 Resultaten expansie	24
5. Discussie	25
6. Conclusie.....	27
6.1: Deelconclusie 1	27
6.2: Deelconclusie 2	27
6.3: Eindconclusie	27
7. Aanbevelingen	28
8. Symbolenlijst	29
9. Literatuur	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10. Bijlage	32
Bijlage 1. Karakteristieke eigenschappen van het calciëet	34
Bijlage 2. Resultaten – Expansie metingen Waternet	32
Bijlage 3. Spoelfrequentie van Evides	33
Bijlage 4. ATP en Koloniegetal	35
Bijlage 5: Zeefanalyse van Aqua-TECHNIEK's Juraperle calciumcarbonaat (1 – 2 mm).....	37
Bijlage 6: Plan van Aanpak	38

1. Inleiding

1.1. Oasen

Oasen N.V. is een maatschappelijk drinkwaterbedrijf dat sinds 1883 gevestigd is in Gouda. Oasen levert aan 21 gemeenten drinkwater. Binnen deze gemeentes bevinden zich 750.000 mensen en 7.500 bedrijven die schoon drinkwater krijgen van hoge kwaliteit.

Het hoofdkantoor van Oasen N.V. is gevestigd in Gouda, Nieuwe Gouwe O.Z. 3. Op deze locatie bevinden zich alle afdelingen en kunnen de nodige vergaderingen gehouden worden. Oasen N.V. heeft in Kamerik, 's-Gravensloot 36A, een proefhal gevestigd waar dit onderzoek plaats heeft gevonden.

Oasen N.V. is een drinkwaterbedrijf dat indirect grondwater zuivert. Dit water wordt ook wel oevergrondwater genoemd. Oasen N.V. bevat 7 zuiveringsstations waar het oevergrondwater wordt gezuiverd. Daarvan halen 6 zuiveringsstations het water uit de rivier de Lek. Zuiveringsstation (ZS) De Hooge Boom, Kamerik, gebruikt de rivier De Grecht als bron.



Figuur 1: Drinkwater gebied van Oasen N.V.

1.1.1. Waterkwaliteitseisen

Binnen Nederland zijn er strikte regels waar het drinkwater aan moet voldoen. Omdat de productie van 'onberispelijk water' één van de essentiële aspecten is van Oasen, heeft de organisatie nog strengere eisen zodat het drinkwater van hoge kwaliteit is.

Tabel 1 geeft de eisen binnen zowel Nederland als de organisatie Oasen N.V. weer.

TABEL 1: DRINKWATER EISEN BINNEN NEDERLAND EN OASEN N.V.

Parameter	Oasen N.V. drinkwater eisen	Nederland drinkwater eisen
Totale hardheid	1 mmol/L	>1
Calcium	0,625 mmol/L	-
Magnesium	0,375 mmol/L	-
HCO_3^-	2 mmol/L	> 0,99 mmol/L
Troebelheid	$\leq 0,15$ NTU	≤ 1 NTU
pH	$7,8 < \text{pH} < 8,3$	$7,5 < \text{pH} < 9,5$

1.1.2. Huidige manier van Waterzuivering

Oasen N.V. gebruikt oevergrondwater als bron. Oevergrondwater is water dat via oevers van rivieren (de Lek en de Grecht) in de grond is getrokken. Het grondwater is geïnfilteerd in de onderliggende zandlagen en wordt door Oasen N.V. opgepompt [1]. Door de verschillende bodemlagen wordt microverontreiniging verwijderd. Echter moet het nog behandeld worden voordat het beschouwd kan worden als schoon drinkwater.

Bij het zuiveren van oevergrondwater stroomt het eerst door een droog zandfiltraat. Hierna stroomt het water door een beluchtingstoren waarbij opgeloste stoffen, gassen en chemicaliën worden verwijderd. Hierna wordt het water onthard in een reactor. Vervolgens stroomt het water door een

nat zandfiltraat. De resterende verontreinigen (smaak-, geur- en organische stoffen) worden verwijderd met behulp van actiefkool. Tot slot wordt het water gedesinfecteerd van micro-organisme met behulp van UV-licht.

1.1.3 Toekomst

1.1.3.1 Visie en Missie

Het bedrijf heeft voor de periode van 2016 tot 2020 een missie en visie geformuleerd: 'Beter is Mogelijk'. In deze periode wilt Oasen N.V. als bedrijf zich nog meer verbeteren op drinkwater, transportsysteem en klantinteractie.

1.1.3.2 Toekomstige manier van het zuiveren van drinkwater

Oasen N.V. heeft het doel om op een innovatieve manier drinkwater aan mensen te leveren. Om dit te realiseren heeft Oasen N.V. een nieuwe waterzuiveringsproces ontwikkeld dat bestaat uit de volgende vier stappen: omgekeerde osmose, ionenwisseling, calciëfiltratie en beluchting. De nieuwe zuiveringsbehandeling is gebaseerd op membranen. Door het gebruik maken van membranen worden microverontreiniging (zoals farmaceutische producten en pesticiden) verwijderd van het water. Maar ook de essentiële mineralen die nodig zijn in drinkwater. Deze essentiële mineralen worden achteraf weer toegevoegd tot de gewenste concentraties.

Omgekeerde osmose

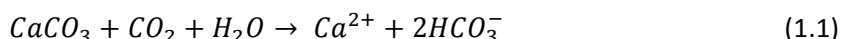
Bij de eerste stap in het nieuwe waterzuiveringsproces komt de zuiveringstechniek omgekeerde osmose (RO) aanbod. Tijdens dit proces wordt een drukverschil opgebouwd. Door dit drukverschil worden opgeloste stoffen verwijderd van het water, inclusief de ionen van zouten.

Ionenwisseling

De tweede stap, ionenwisseling, wordt gebruikt om nog aanwezige ionen te verwijderen. Met behulp van ionenwisselaars worden ionen die dezelfde elektrochemische lading bevatte uitgewisseld. Het grondwater in Kamerik bevat veel ammonium (NH_4^+). In de buurt van ZS De Hooge Boom bevinden zich veel boerderijen. Door de hoeveelheid gebruikte mest kan ammonium uit het mest door de grond zijn opgenomen.

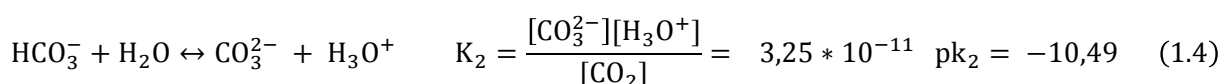
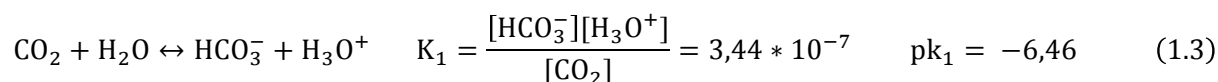
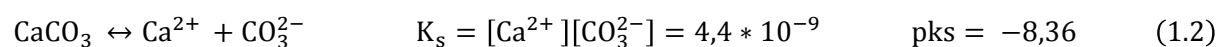
Calciëfiltratie

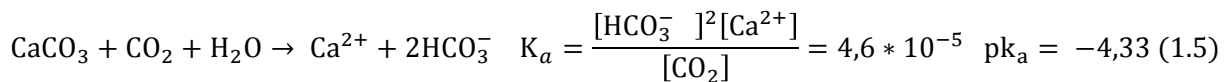
Het RO permeaat voldoet niet aan de waterkwaliteitseisen die binnen Nederland gehanteerd wordt, daarom worden essentiële mineralen nog toegevoegd. Dit wordt gedaan met behulp van een calciëfilter. Het RO permeaat dat langs het calcië (CaCO_3) stroomt reageert met het calcië volgens de reactie vergelijking dat geïllustreerd is in 1.1



Door het toevoegen van CO_2 in het systeem wordt het RO permeaat agressiever waardoor er meer calcium opgenomen wordt. Het permeaat stroomt langs het calcië waardoor het pH-waarde toeneemt.

De volgende reactie vergelijkingen geven de chemische reacties weer die ontstaan bij een temperatuur van 10°C [2].





Beluchtingstoren

De laatste stap van de nieuwe zuiveringsinstallatie is het beluchtingstoren. Dit wordt gedaan om gassen, zoals methaan en resterende koolstofdioxide te verwijderen en zuurstof toe te voegen aan het water.

1.2 Probleeminstelling

Zoals beschreven in '1.1.3.2 – Toekomstige manier van drinkwater opwekken' wordt calcium toegevoegd aan het water. Dit komt doordat calciëet reageert met koolstofdioxide en water, zoals geïllustreerd in reactievergelijking 1.1. Doordat het calciëet reageert met het RO permeaat neemt de korrelgrootte af. Door de afname van de korrelgrootte resulteert in fijne deeltjes die overblijven in de calciëetfilter. De toename van de fijne stof in de calciëetfilter zal resulteren in meer weerstand in het bed en toename van de troebelheid.

Om er voor te zorgen dat de troebelheidseis, zie tabel 1, niet wordt overschreden en om het stof te verwijderen uit de kolom moet het calciëetfilter regelmatig terug gespoeld worden.

Het doel van het onderzoek is een optimaal terugspoel regime te ontwikkelen, waarbij de troebelheidseis niet wordt overschreden, de aanwezige stof worden verwijderd uit het calciëetfilter en dat later gebruikt kan worden in het toekomstige zuiveringsstation.

1.3 Onderzoeksvragen

Om het doel van het onderzoek goed in kaart te brengen is de volgende onderzoeksvraag opgesteld.

“Wat zijn de optimale spoelregime instellingen van het calciëetfilter, waarbij de maximale troebelheidseis van Oasen N.V. niet worden overschreden”

Om deze hoofdvraag te kunnen beantwoorden zijn de volgende deelvragen opgesteld. Hiervan is een deel van de deelvragen gefocust op het daadwerkelijke terugspoelregime, de andere deelvragen legt nadruk op het calciëet bed.

- Waarmee wordt er teruggespoeld? Water, lucht of tegelijk?
- Met welke waterspoelsnelheid wordt er teruggespoeld?
- Hoelang duurt het terugspoelen van de calciëetfilter?
- Wat is het effect van de opramp- en aframptijd?
- Met welke frequentie wordt er teruggespoeld?
- Hoeveel water verlies ontstaat bij het terugspoelen?
- Hoe groot is de bed expansie bij de optimale terugspoelsnelheid?
- Wat zijn de gevolgen van de veroudering van het calciëet?

2. Theorie

2.1 Introductie

Tijdens het onderzoek is er literatuur onderzoek gedaan naar het optimale terugspoelregime. Er zijn verschillende manieren om een calciëetfilter te spoelen. Hierbij kan er gekozen worden om te spoelen met alleen water (1-stapsspoeling), met lucht gevolgd met water (2-stapsspoeling) en een spoeling waarbij eerst gespoeld wordt met lucht, daarna met lucht en water tegelijk en afsluitend met enkel

water (3-stapsspoeling). In dit literatuur onderzoek zijn 1-, 2- en 3-stapsspoelingen onderzocht en is de effectiviteit met elkaar vergeleken. Ook is er gekeken naar de andere parameters die aanbod komen tijdens spoelen zoals; expansie, op- en aframptijd, waterverlies en frequentie. Tot slot wordt er ingegaan op de gekozen spoelinstellingen per spoel methode.

2.2 Terugspoel regimes:

In eerder onderzoek van Oasen werden twee verschillende spoelregimes geëvalueerd, waarbij er gewerkt werd met hetzelfde calciëet en pilotopstelling [3]. Daarbij werd er gespoeld in combinatie met lucht en water (2-stapsspoeling) en enkel water (1-stapsspoeling). Tevens is het effect van de korrelgrootte onderzocht. Hierin werd duidelijk dat een 1-staps spoeling (met een waterspoeling van 25 m/h) vergeleken met een 2-staps spoeling (luchtspoeling van 20 m/h gevolgd met een waterspoeling 25 m/h) minder stof uitspoelt en daarmee minder effectief zou zijn. De voorkeur om te spoelen met lucht en water wordt verder bevestigd [4]. Hierbij wordt de korrelgrootte gezien als een belangrijke korrelgrootte.

Ook beschrijft eerder onderzoek van Oasen N.V. het effect van de korrelgrootte op de troebelheid van het spoelwater [3]. Het benoemt dat de troebelheidspiek bij het filter met 0,5 – 1,2 mm calciëet stuk groter is. Dit resulteert in meer stof dat wordt uitgespoeld, wat zou betekenen op hogere bed afname. Tot slot is de troebelheid van het spoelwater na de spoeling bij 0,5 – 1,2 mm stuk hoger in vergelijking met 1 – 2 mm. Ander onderzoek van Oasen N.V. is de optimale bedrijfsvoering van het calciëetfilter onderzocht [2]. Hieruit is gebleken dat de kleinere fractie effectiever is dan de grovere fractie, omdat het een grotere reactieoppervlakte bevat.

Daarnaast wordt in het artikel van Orly et. al [5] een 2-staps spoeling beschreven (een luchtspoeling van 65 m/h van 5 minuten gevolgd een waterspoeling op 36 m/h voor 36 minuten) dat vervolgd werd door een filtratiesnelheid van 20 m/h met een tijdsduur van 15 minuten. Het gebruikte water bevatte een temperatuur van 24 °C. Hierdoor is het water minder viskeus, wat effect heeft op de expansie tijdens het spoelen en kan effect hebben op de spoeling zelf, zie bijlage 1.

Ook is er onderzoek gedaan naar een 3-stapsspoeling [6]. Hierbij wordt een 3-stapsspoeling besproken waarbij eerst 3 á 5 minuten met lucht gespoeld wordt op 60 m/h. Dit wordt gevolgd met van 3 á 5 minuten, vervolgd met een luchtspoeling op 60 m/h en een waterspoeling op 10 m/h voor 5 á 10 minuten en tot slot een waterspoeling van 10 m/h voor 10 á 15 mintuten). Hierbij werd wekelijks het calciëetfilter gespoeld zodat de waterkwaliteit gewaarborgd werd.

2.3 Expansie

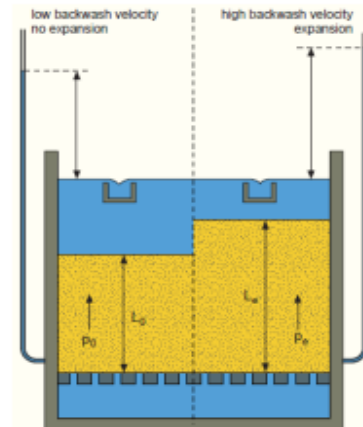
Als een calciëetfilter wordt gespoeld kan bij hoge terugspoelsnelheden expansie ontstaan, zoals figuur 2 weergeeft. Het is van belang het geëxpandeerd bed niet een te hoge bedhoogte bereikt, omdat het anders een deel van het bed uit kan worden gespoeld. De afstand tussen het bed en de terugspoel leiding heet free-board. Figuur 2 illustreert een geëxpandeerd en een niet geëxpandeerd bed. De expansie kan berekent worden volgens vergelijking 2.1 [4].

$$E = \frac{L_e - L_0}{L_0} \quad (2.1)$$

Waarbij:

- E = Expansie (-)
- L_e = Filterbed tijdens terugspoelen (m)
- L_0 = Daadwerkelijke filterbed (m)

Verder wordt in artikel [7] onderzoek gedaan naar expansie bij verschillende temperaturen. Hierin wordt beschreven dat bij spoelwater van ongeveer 10 °C (dezelfde temperatuur als grondwater) niet gespoeld moet worden > 45 m/h. Dit advies wordt gegeven om te voorkomen dat het bed wordt uitgespoeld. Als de terugspoel snelheden constant worden gehouden en de temperatuur van het water juist wordt verlaagd, neemt de expansie toe. Bijlage 1 geeft dit weer.



Figuur 2: Het verschil tussen een lage en hoge terugspoelsnelheid

2.4 Op- en Aframptijd

Als het debiet geleidelijk verhoogd of verlaagd wordt kan het filterbed zich hier aan aanpassen en ontstaat er minder verstoring in het systeem. De tijdsduur om het debiet op te bouwen wordt opramptijd genoemd en de tijdsduur om het afbouwen wordt aframptijd genoemd. Met behulp van de op- en aframptijd kan het waterverlies worden verlaagd.

2.5 Waterverlies:

Doordat het calciëfilter gespoeld moet worden, ontstaat er een verlies aan water. Het totale waterverlies komt door twee variabelen: spuiwater en spoelwater. Het streven is om het waterverlies zo laag mogelijk te houden in verband met duurzaamheid en extra kosten.

2.5.1 Spuiwater

Omdat na het spoelen het filtraat een hoge troebelheid bevat kan dit water niet gebruikt worden als drinkwater. Daarom wordt het filtraat eerst gespuid totdat de troebelheid onder de maximale troebelheidsgrens is. Het spuivolume dat geproduceerd wordt tijdens het spuiproces kan berekend worden volgens formule 2.2.

$$V_{spui} = \emptyset_{filtraat} * t_{spui} \quad (2.2)$$

Waarbij:

- V_{spui} = Volume spuiwater (m³)
- $\emptyset_{filtraat}$ = Filtratiesnelheid (m³/h)
- t_{spui} = Spuitijd (h)

Het is van belang dat de spuitijd zo kort mogelijk wordt gehouden, zodat er zo min mogelijk spoelverlies ontstaat.

2.5.2 Spoelwater

Spoelwater is de hoeveelheid water dat verbruikt wordt tijdens het spoelregime. De hoeveelheid spoelwater berekend worden volgens formule 2.3.

$$V_S = \emptyset_S * t_S \quad (2.3)$$

Waarbij:

- V_S = Volume spoelwater(m³)
- $\emptyset_S$ = Terugspoel debiet (m³/h)
- t_S = Tijd van het terugspoelen (h)

Met V_S kan het spoelwater verlies, in vergelijking met productie tussen twee spoelingen worden bepaald. Formule 2.4 illustreert dit.

$$V_{S,verlies}(\%) = \frac{V_S}{V_P} \quad (2.4)$$

Waarbij:

- $V_{S,verlies}$ = Spoelwater verlies (%)
- V_P = Geproduceerde drinkwater (m³)

2.6 Spoelfrequentie

De spoelfrequentie is de tijdsduur/periode dat de calcieterfilter niet gespoeld hoeft te worden. Het calcieterfilter hoeft pas worden gespoeld wanneer het filtraat een troebelheid heeft dat boven de maximale troebelheidsgrens zit. In onderzoek wordt de frequentie bepaald voor dezelfde pilotopstelling en calcieter soort [8]. Hierbij is er een interne troebelheidsnorm van 0,1 NTU.

Hierbij zijn de filtratiesnelheden 10 m/h en 12 m/h onderzocht. Uit dit onderzoek is gebleken dat de troebelheidsnorm werd overschreden bij een filtratiesnelheid van 10 m/h na 8 dagen en bij een filtratiesnelheid van 12 m/h was dit 6 dagen. Dit geeft weer dat de filtratiesnelheid effect heeft op de frequentie. Bijlage 2 illustreert dit.

2.7 Conclusie

Zoals beschreven kan er op verschillende manieren gespoeld worden. Uit de theorie is gebleken dat een spoelregime waarbij gespoeld wordt met lucht en water het efficiënts is. Omdat de gebruikte pilotopstelling beschikte over een limitatie is alleen de 2-stapsspoeling (eerst lucht, daarna water) onderzocht.

Tijdens de luchtspoeling zal er gespoeld worden met een constante luchtdruk. Daarnaast wordt er gewerkt met een calcieter fractie van 0,5 – 1,2 mm. Tot slot wordt er niet onderzoek gedaan bij terugspoelsnelheden > 35 m/h.

3. Materiaal en methode

Voor dit onderzoek is een pilotopstelling gebruikt wat is gestationeerd in 'De Hooge Boom' te Kamerik.

3.1 Gebruikte pilot en calciëet

3.1.1 Gebruikte pilot

De voeding van de pilot is het RO permeaat. Het RO permeaat stroomt in neerwaartse stroming door het filter heen. In de kolommen bevinden zich sensoren die de hoogte van het calciëet bed monitoren. Het RO permeaat reageert met het calciëet en het filtraat/effluent wordt door SWAN-sensoren gemonitord op geleidbaarheid, pH-waarde en troebelheid. De waarden van het in- en effluent worden vervolgens met behulp van het monitor regelsysteem 'PI' continue bijgehouden. Met behulp van PI kan elk moment de gegevens opgezocht worden.

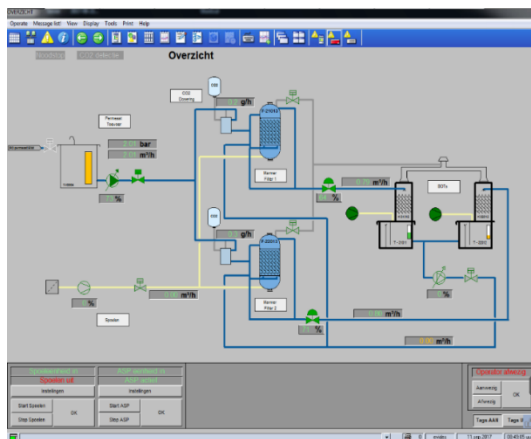
Tot slot wordt een dossering magnesiumchloride bij het effluent van de pilotopstelling toegevoegd voordat het door de beluchtingstoren gaat. Na de beluchtingstoren wordt het drinkwater bewaard in een buffertank, dat gebruikt wordt om de calciëetfilters te spoelen.

In figuur 3 is de pilot weergegeven.



Figuur 3: Pilotopstelling te Kamerik

Bij het gebruiken van de pilot is het mogelijk om CO₂ te doseren en een deelstroom te bypassen zodat de gewenste Ca²⁺ : HCO₃⁻ wordt behaald. Dit wordt ingesteld in het regelsysteem AAB. In figuur 4 is een overzicht van het beheersysteem van de proefinstallatie weergegeven.



Figuur 4: Pilot overzicht van het regelsysteem AAB

Met behulp van het regelsysteem kan het debiet en de tijdsduur van het terugspoelen worden ingesteld. Bij het gebruikte kraaninstelling, zie figuur 5, wordt spoelwater uit de buffertank gepompt en in een opwaartse beweging in de kolom gepompt. Daarnaast wordt de luchttoevoer met een luchtpomp aangevoerd. In tabel 2 zijn de spoelsnelheden van het water weergegeven waarmee gewerkt is tijdens het onderzoek. Hierbij werd de luchttoevoer constant gehouden op 0,6 bar.



Figuur 5: Aan de linkerkant is de kraaninstelling weergegeven als er gespoeld moet worden en de rechterkant als er drinkwater geproduceerd wordt

3.1.2 Gebruikte calciet

Tijdens het onderzoek is één soort calciet gebruikt, Aqua-TECHNIEK's Juraperle calciumcarbonaat korrels. Deze bevatten een zuiverheid van 99,1%. Het gebruikte calciet heeft een korrelgrootte dat tussen de 0,5 -1,2 mm ligt. In bijlage 3 zijn de karakteristieke eigenschappen van het calciet weergegeven.



Figuur 6: Aqua-TECHNIEK's Juraperle calciumcarbonaat korrels

3.1.3 Porositeit van het calciet bed

Zoals eerder besproken bevat de pilotinstallatie twee calcietfilter. Aan het begin van het onderzoek is een kolom volledig schoongemaakt en gevuld met het calciet. In het verder onderzoek wordt dit de NC-kolom genoemd. De kolom heeft een doorstromende van 0,079 m² en bevatte een calciet hoogte van 2,2 meter. Zodoende was er 0,17 m³ calciet in de kolom aanwezig.

Om dit volume te bereiken is de kolom gevuld met 10 zakken calciet van 25 kg. De leverancier Aqua-TECHNIEK leverde calciet met een dichtheid van 2700 kg/m³. Dit impliceert dat de kolom 0,093 m³ calciet bevat. Met vergelijking 3.1 kan de porositeit bepaald worden.

$$p_0 = 1 - \frac{V_{\text{calciet}}}{V_{\text{bed}}} \quad (3.1)$$

Met behulp van vergelijking 3.1 is de porositeit bepaald op 0,45 is. Deze porositeit blijft niet constant. Doordat het RO permeaat reageert met het calciet en de korrelgrootte afneemt, verandert

de porositeit ook. Porositeit wordt ook beïnvloed door andere factoren zoals; het bijvullen en uitspoelen van calciet. Ook de verandering in oriëntatie kan (door de niet ronde vorm van calciet) invloed hebben op de bedhoogte.

De tweede calcietfilter was sinds 2017 al inbedrijf met calciet. In verder onderzoek wordt dit beschouwd als de OC-kolom. Toen der tijd had het bed een porositeit van 0,50 [2].

3.2 Terugspoelsnelheid

3.2.1 2-stapspoeling

Het terugspoel debiet waarbij gescheiden gespoeld wordt met lucht en water is onderzocht in de periode 28 oktober tot 19 december. Het betreft hierbij een 2-staps spoeling.

Het volgende spoelregime is gebruikt;

- Eerste stap: 3 minuten luchtspoeling op 0,6 bar
- Tweede stap: 15 minuten waterspoeling (5 tot 30 m/h met stappen van 5 m/h)

Na de luchtspoeling en elke 5 minuten waterspoeling is er een sample genomen van het spoelwater en is de troebelheid bepaald. Elke 10 seconde werd de troebelheid van het spoelwater gemeten.

Bij OC-kolom is terugspoel snelheid 10 m/h meerdere malen onderzocht. Hierbij is gekeken naar het effect van andere parameters. Hierbij zijn de volgende veranderingen gemaakt;

a)

- Eerste stap: 3 minuten waterspoeling op 0,6 bar
- Tweede stap: 20 minuten waterspoeling op 10 m/h

b)

- Eerste stap: 3 minuten waterspoeling op 0,6 bar
- Tweede stap: 15 minuten waterspoeling op 10 m/h
- Na de spoeling: 15 minuten bed rust geven en niet filtreren

3.3 Op- en aframptijd

De op- en aframptijd is onderzocht in de periode 20 tot 27 januari.

Het effect van de op- en aframptijd werd bepaald bij een terugspoelsnelheid van 25 m/h. Hierbij werd de snelheid met op/afgebouwd met stappen van 5 m/h per 12 seconde.

3.4 Spoelfrequentie

Tussen 20 december 2019 tot 20 januari zijn de kolommen niet gespoeld. Door het niet spoelen van de kolommen is de frequentie om te spoelen bepaald.

3.5 Expansie

De expansie is onderzocht in de periode 1 oktober tot 14 oktober.

De expansie werd bepaald bij alle5 tot 35 m/h, met stappen van 5 m/h. Voordat er werd gespoeld werd de hoogte van het niet-geëxpandeerd bed met behulp van een sensor bepaald. Hierna werd 10

minuten lang gespoeld op één van de instellingen. Tijdens het spoelen werd handmatig het geëxpandeerde bedhoogte afgemeten.

4. Resultaten

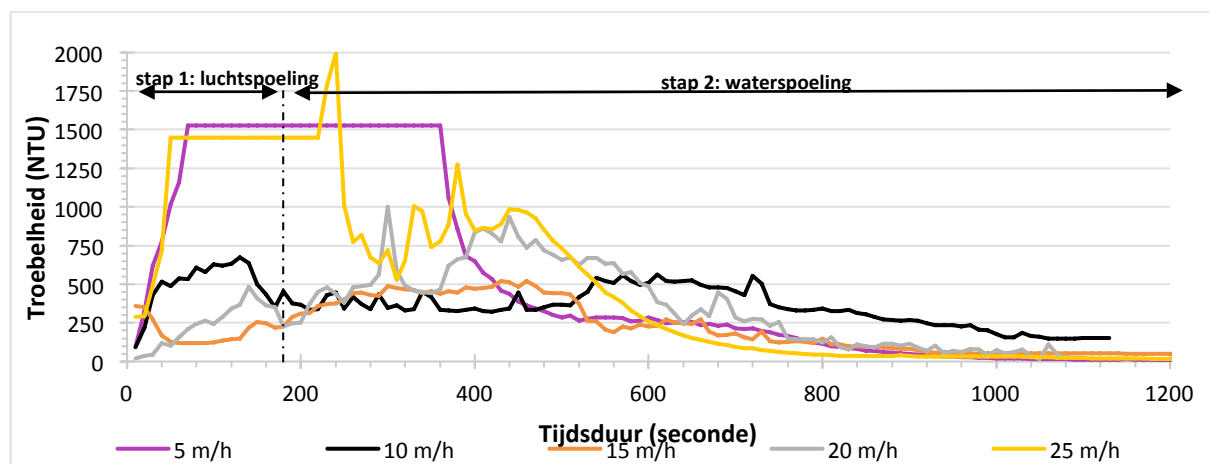
4.1 Resultaten 2-stapspoeling

Resultaten – NC-kolom:

Troebelheid van het spoelwater:

Grafiek 1 geeft de gemeten troebelheid van 5 spoelregimes weer. Tijdens het spoelen op 30 m/h is calciet in de troebelheidsmeter gekomen¹, waardoor de troebelheid van het spoelwater niet meer gemeten kon worden.

GRAFIEK 1: TROEBELHEID TIJDENS HET SPOELEN VAN DE NC-KOLOM

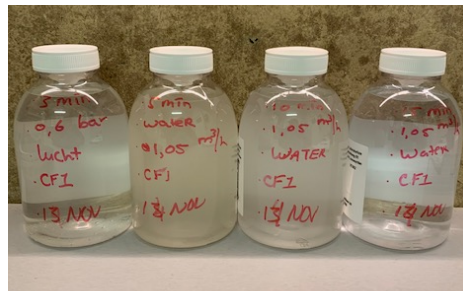


Uit deze grafiek blijkt het volgende:

1. Troebelheidswaardes > 1500 NTU liggen buiten het bereik van de troebelheidsmeter. Bij het verhogen van het bereik neemt de onnauwkeurigheid van de metingen toe.
2. Ondanks dat de instellingen van de luchtspoelingen identiek zijn geweest is er een grote spreiding te zien in de gemeten troebelheid (150 tot 1450 NTU). De bedhoogtes van de spoelingen waren ongeveer even hoog (spreiding van 10 cm) en de frequentie van terugspoelsnelheid 25 m/h was net zoals bij terugspoelsnelheden 10, 15 en 20 m/h 7 dagen. De mogelijke reden van de spreiding zou door de luchtpomp kunnen komen.
3. Bij terugspoelsnelheid 5 m/h was het filter 2 dagen van te voren bijgevuld met vers calciet en gespoeld. Het is mogelijk dat hierdoor de troebelheidswaarde aan het eind van de spoeling zo laag is. Doordat de spoelfrequentie vele malen lager is bij terugspoelsnelheid 5 m/h (een spoelfrequentie van 2 dagen), zijn de resultaten niet representatief. In een later stadium zou een terugspoelsnelheid van 5 m/h onderzocht moeten worden waarbij er 7 dagen niet gespoeld wordt.
4. Er is een indicatie (terugspoelsnelheid 25 m/h) dat een goede luchtspoeling (een luchtspoeling waarbij een troebelheidswaarde van +/- 1500 NTU wordt bereikt) mogelijk een positieve effect heeft op de troebelheidswaarde aan het eind van de spoeling. Voor een analyse hiervan bladzijde 19.
5. Bij terugspoelsnelheden ≥ 15 m/h is na 15 minuten waterspoeling de troebelheid flink verlaagd. Figuur 7 geeft de troebelheid afname bij een terugspoelsnelheid van 15 m/h. Uit figuur 10 is te zien dat het spoelwater na de waterspoeling visueel helder is. Dit bevestigt dat bij terugspoelsnelheden ≥ 15 m/h een waterspoeling tijd van 15 minuten afdoende is.

¹ De kolom had een bedhoogte van 226 cm. Tijdens het spoelen op 30 m/h is het bed geëxpandeerd en is een deel mee gegaan in de spoeling. Hierdoor is calciet in de troebelheidsmeter gekomen.

6. Bij terugspoelsnelheid 25 m/h is na 850 seconde (11 minuten waterspoeling) de troebelheid constant. Dit is ongeveer 3 minuten eerder dan bij terugspoelsnelheden 15 en 20 m/h.
7. Uit de grafiek blijkt dat terugspoelsnelheden ≥ 15 m/h efficiënter zijn in uitspoelen van deeltjes daarom ligt de voornamelijk focus op deze specifieke terugspoelsnelheden.



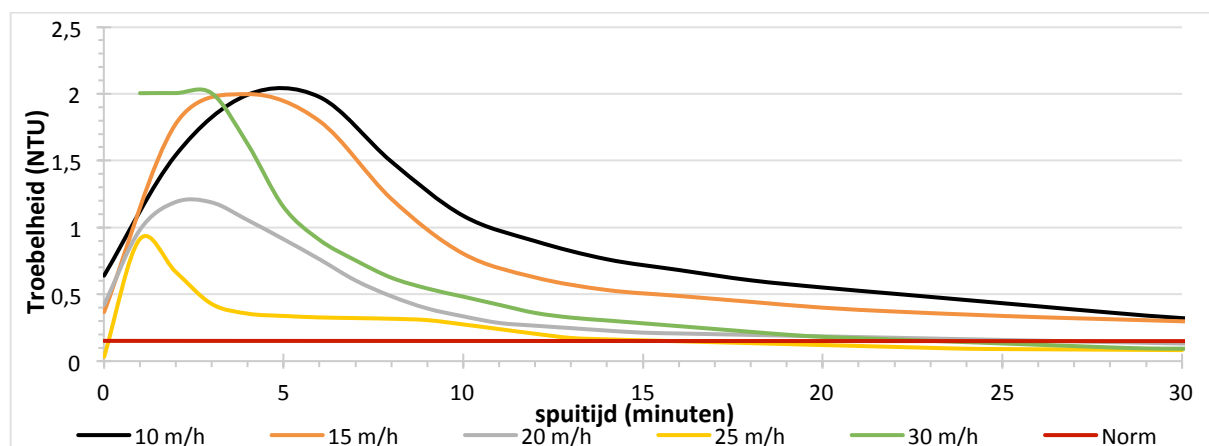
Figuur 7: Samples van het spoelwater op een terugspoelsnelheid van 15 m/h

Spuittijd bij 2-staps spoeling NC-kolom

Na ieder individueel spoelregime is het filter gelijk inbedrijf genomen op een filtratiesnelheid van 7,6 m/h. Met behulp van het monitor systeemprogramma 'PI' werd de troebelheid van het filtraat gemeten tot dat een troebelheidswaarde van $\leq 0,15$ NTU werd bereikt. De tijdsduur dat het filtraat een troebelheidswaarde had van $> 0,15$ NTU is de spuitijd.

Grafiek 2 geeft de spuitijd van de NC-kolom weer. Hierin is de troebelheid tegen de tijdsduur uitgezet. Doordat 'PI' niet functioneerde is 5 m/h buiten beschouwing gelaten.

GRAFIEK 2: SPUITIJD VAN TERUGSPOELSNEHEDEN 20, 25 EN 30 M/H VAN DE NC-KOLOM



In grafiek 2 is het volgende te zien:

1. Een terugspoelsnelheid van 10 m/h bevat een lange spuitijd. Dit kan veroorzaakt zijn doordat aan het eind van de spoeling, grafiek 1, een te hoge troebelheid aanwezig is. Hieruit kan geconcludeerd worden dat een spoelregime van 10 m/h niet bruikbaar is bij een waterspoeling van 15 minuten.
2. Terugspoelsnelheid 15 m/h bevat een spuitijd die langer is dan 30 minuten. Daarom wordt er nog geconcentreerd op terugspoelsnelheden 20, 25 en 30 m/h.
3. Terugspoelsnelheden 20 en 30 m/h bevatten ongeveer een even lange spuitijd.
 - a) Bij terugspoelsnelheid 20 m/h wordt minder spoelwater verbruikt waardoor niet al het stof uit de kolom wordt gespoeld.
 - b) Een terugspoelsnelheid 30 m/h kan extra onrust in het bed veroorzaken. Hierdoor is het minder efficiënt om te spoelen bij terugspoelsnelheden > 25 m/h.

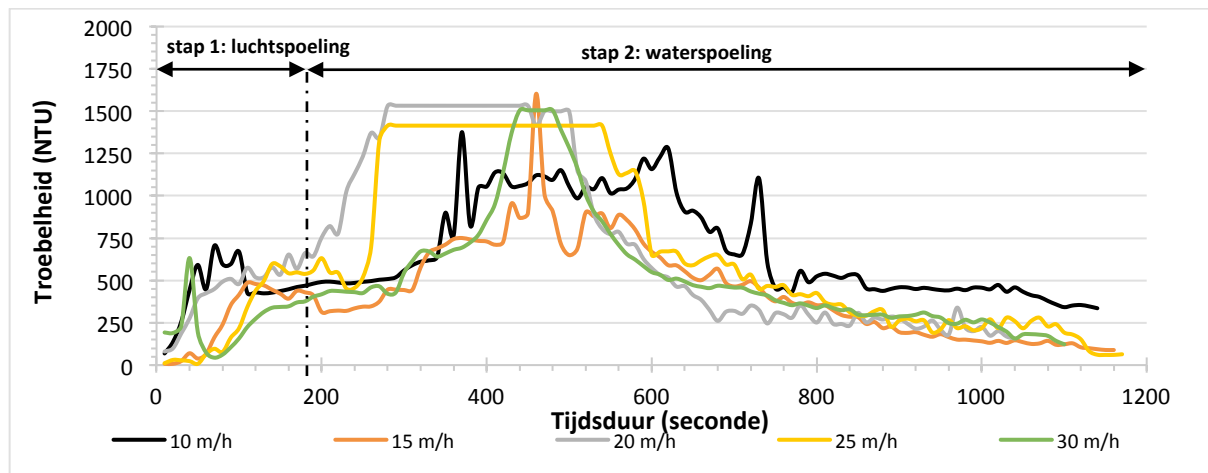
- c) Doordat de efficiëntie bij terugspoelsnelheden > 25 m/h afneemt, ligt de focus op terugspoelsnelheden 20 en 25 m/h.
4. Terugspoelsnelheid 25 m/h het snelst de gewenste troebelheid $\leq 0,15$ NTU bereikt. Dit resulteert in een spuitijd van 16 minuten.
5. Onder productieomstandigheden betekent dit: de totale uitvaltijd van dit proces bij een terugspoelsnelheid van 25 m/h 34 minuten lang is (18 minuten spoelregime en 16 minuten spuitijd).

Resultaten– OC-kolom

Troebelheid van het spoelwater

Grafiek 3 geeft de troebelheid van het spoelwater weer. Door een error in de troebelheidsmeter is 5 m/h buiten beschouwing gelaten.

GRAFIEK 3: TROEBELHEID TIJDENS HET SPOELN VAN DE OC-KOLOM



Uit de grafiek is het volgende te herleiden:

1. Troebelheidswaardes > 1500 NTU liggen buiten het bereik van de troebelheidsmeter.
2. Daarnaast is te zien dat de luchtspoelingstap ongeveer dezelfde startwaarde aan troebelheid creëerde voor dat water spoelen begon (dit in tegenstelling met de NC-kolom)
3. Bij terugspoelsnelheid 10 m/h is de troebelheidwaarde aan het eind van de spoeling ongeveer even hoog als aan het begin van het proces. De verwachting is dat deze troebelheidwaarde verder verlaagd zou kunnen worden bij een veel langduriger spoelregime van 10m/h.
4. Bij terugspoelsnelheden van ≥ 15 m/h wordt meer stof uitgespoeld dan bij een terugspoelsnelheid van 10 m/h. Met andere woorden bij een spoelregime van 10 m/h wordt simpel weg niet alle deeltjes uitgespoeld. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de OC-kolom niet gespoeld kan worden bij terugspoelsnelheden ≤ 10 m/h.
5. De beginconditie bij 30 m/h week af van de begincondities terugspoelsnelheden 20 en 25 m/h². Bij terugspoelsnelheid 30 m/h was er mogelijk minder stof aanwezig in de kolom.
6. Omdat bij terugspoelsnelheden 15, 20, 25 en 30 m/h ongeveer dezelfde troebelheidswaarde bevatte na de spoeling, ligt de nadruk op deze specifieke spoelsnelheden.

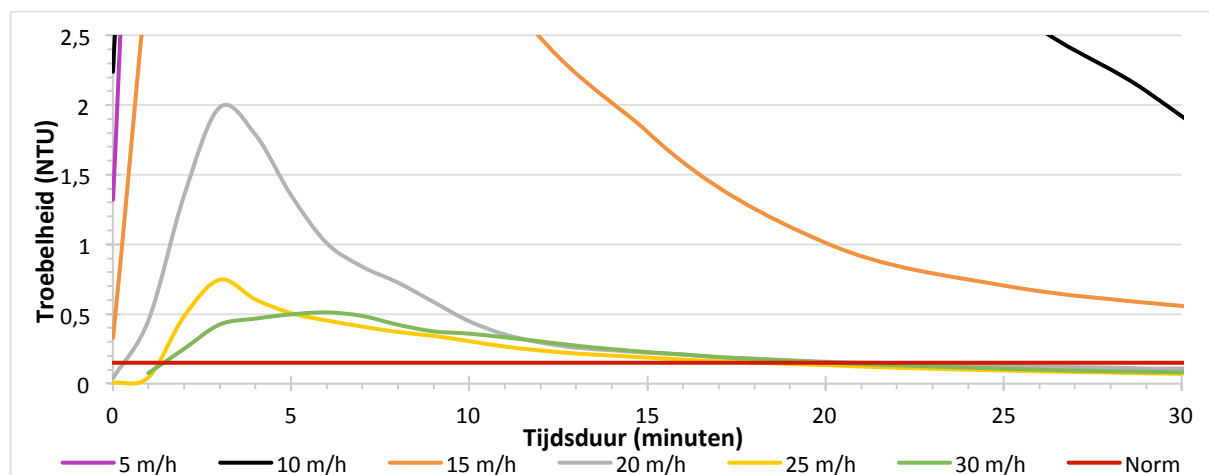
Spuitijd

Na ieder individueel spoelregime is het filter gelijk inbedrijf genomen op een filtratiesnelheid van 7,6 m/h. Met behulp van het monitor systeemprogramma 'PI' werd de troebelheid van het filtraat

² Bij terugspoelsnelheid 30 m/h is de kolom 4 dagen niet gespoeld en bij de terugspoelsnelheden 20 en 25 m/h 7 dagen.

gemeten tot dat een troebelheidswaarde van $\leq 0,15$ NTU werd bereikt. De tijdsduur die het filtraat een troebelheidswaarde had van $> 0,15$ NTU heet de spuitijd.

GRAFIEK 4: SPIUITIJD VAN DE OC-KOLOM



Grafiek 4 geeft het volgende weer:

1. Terugspoelsnelheid 10 m/h bevat een spuitijd die langer is dan de maximale toegestane spuitijd. Dit kan veroorzaakt zijn doordat aan het eind van de spoeling, zie grafiek 3, een te hoge troebelheidswaarde aanwezig is. Hieruit kan geconcludeerd worden dat een spoelregime van 10 m/h niet bruikbaar is, tenzij de waterspoeling verlengd wordt.
2. Een terugspoelsnelheid van 15 m/h geeft een spuitijd langer dan 30 minuten. Vandaar dat de resultaten zich nog richt op terugspoelsnelheden 20, 25 en 30 m/h.
3. Terugspoelsnelheden 20, 25 en 30 m/h hebben ongeveer een even lange spuitijd.
4. Terugspoelsnelheid van 30 m/h heeft in vergelijking met terugspoelsnelheid 25 m/h een spuitijd dat 2 minuten langer duurt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat bij terugspoelsnelheden > 25 m/h de effectiviteit van het spoelen afneemt, waarschijnlijk doordat het bed te onrustig wordt. Daarom richten de resultaten zich nog op terugspoelsnelheden van 20 en 25 m/h.
5. Terugspoelsnelheid van 25 m/h levert het snelst de gewenste troebelheidswaarde $\leq 0,15$ NTU. Terugspoelsnelheid van 25 m/h bevat een spuitijd van 16 minuten.

Tijdens het onderzoeken van terugspoelsnelheid 10 m/h (OC-kolom) is gebleken dat het spoelregime een spuitijd van 305 minuten bevatte. Om de spuitijd te verlagen is dit spoelregime verder onderzocht en geoptimaliseerd.

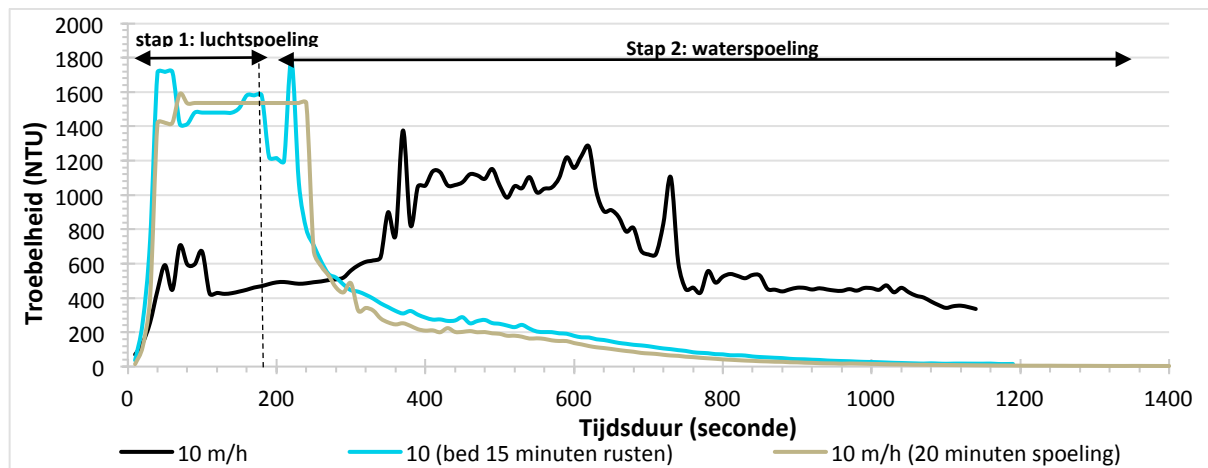
Bij het optimaliseren van het volledige spoelregime is gekozen om ná de waterspoeling van 10 m/h het bed 15 minuten te laten rusten. Tevens is een spoelregime bedacht, waarbij de waterspoeling een tijdsduur had van 20 minuten in plaats van de standaard 15 minuten.

Resultaten –spoelregimes op 10 m/h

Troebelheid van het water

Grafiek 5 geeft de gemeten troebelheid van de 10 m/h spoelregime onder normale en gewijzigde procesinstellingen weer. Hierbij is de troebelheid uitgezet tegen de tijdsduur.

GRAFIEK 5: TROEBELHEID TIJDENS HET SPOELN VAN VERSCHILLENDE SPOELREGIMES WAARBIJ ER GESPOELD WORDT OP 10 M/H



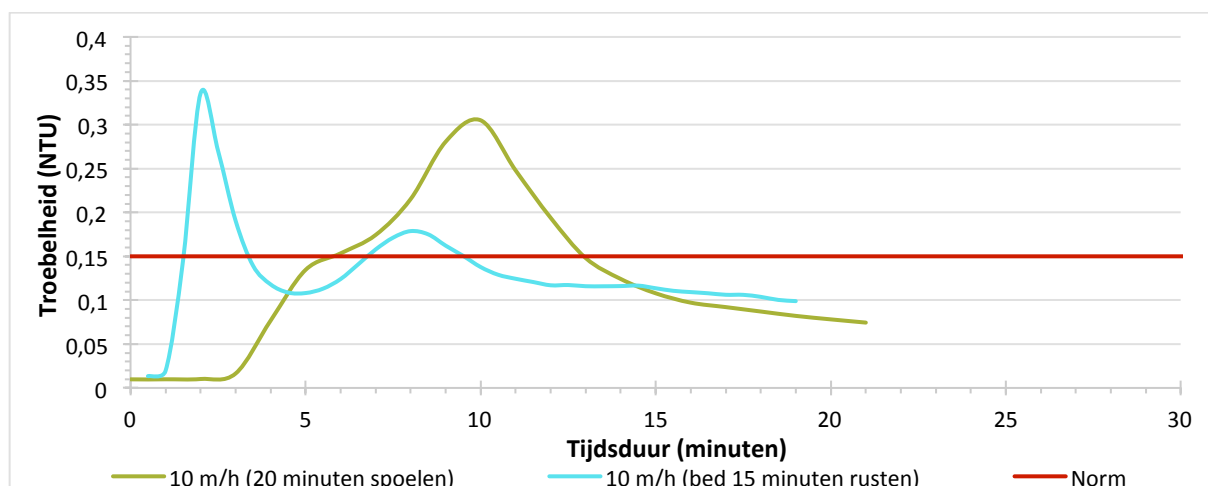
Uit deze grafiek is te herleiden:

1. Troebelheidswaardes > 1500 NTU liggen buiten het bereik van de troebelheidsmeter.
2. Tot aan 1200 seconde zijn de spoelregimes identiek uitgevoerd. Tijdens de luchtspoeling (eerste 180 seconde) ontstaat veel spreiding in de gemeten waarden (500 tot 1500 NTU). De bedhoogtes bij deze spoelregimes komen met elkaar overeen (spreiding van 10 cm). Het grote verschil in troebelheid kan veroorzaakt zijn doordat de luchtpomp niet nauwkeurig ingesteld kan worden.
3. Bij terugspoelsnelheden 10 m/h (bed 15 minuten rusten) en 10 m/h (20 minuten spoeling) heeft de luchtspoeling even veel effect gehad. Hierdoor neemt de troebelheid tijdens de waterspoeling bij beide spoelregimes even exponentieel af.
4. Als er gekozen wordt om te spoelen met 10 m/h is het essentieel dat met behulp van de luchtspoeling een hoge troebelheidswaarde wordt gerealiseerd. Als dit niet plaats vindt zal na de spoeling het spoelwater een nog steeds een hoge troebelheidswaarde bevatten (zie terugspoelsnelheid 10 m/h (standaard)).
5. Omdat een spoelregime van 10 m/h (bed 15 minuten rusten) over de gehele spoeling minder spoelwater verbruikt, is dit spoelregime efficiënter dan het spoelregimes 10 m/h (20 minuten spoelen) en 10 m/h.

Sputtijd

Grafiek 6 geeft de spuitijd weer van de verschillende 10 m/h spoelregimes. Doordat de terugspoelsnelheid 10 m/h (standaard) een spuitijd heeft >30 minuten, wordt deze buiten beschouwing gelaten.

GRAFIEK 6: SPUITIJT VAN VERSCHILLENDE SPOELREGIMES WAARBIJ ER GESPOELD WORDT OP 10 M/H



Grafiek 2 geeft weer:

1. Spoelregime 10 m/h (20 minuten spoelen) een spuitijd bevat van 13 minuten.
2. Spoelregime 10 m/h (bed 15 minuten rusten) heeft het snelst een troebelheidswaarde van $\leq 0,15$ NTU. Het bevat een spuitijd van 10 minuten.
3. Na spoelregimes 10 m/h (20 minuten spoelen) en 10 m/h (bed 15 minuten rusten) fluctueert de troebelheid. Het is onduidelijk wat de oorzaak hiervan is. Er moet verder onderzoek gedaan worden om dit verschijnsel te verklaren.

TABEL 2: overzicht van de parameters van de verschillende 10 m/h spoelregimes

Parameters	Terugspoelsnelheid 10 m/h		
	standaard	20 minuten spoelen	15 minuten rust
Uitvaltijd (minuten)	323	36	43
Spuittijd (minuten)	305	13	10
Spuivolume (liter)	3050	130	100
Spoelwaterverlies (liter)	175	233	175
Waterverlies (liter)	3225	363	275

Tabel 2 geeft weer dat:

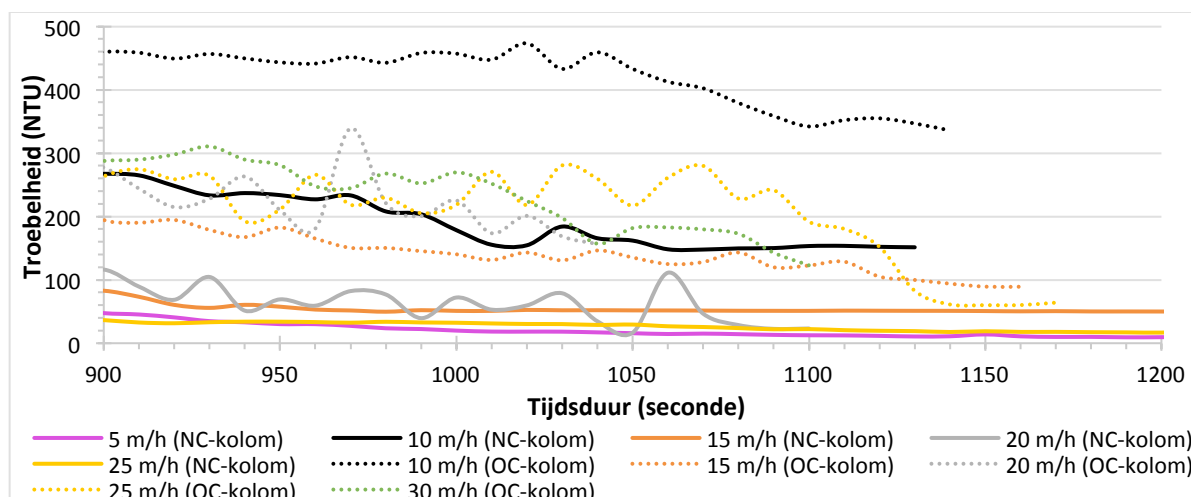
1. Spoelregime 10 m/h (20 minuten spoelen) de kortste productie uitval tijd bevat.
2. Spoelregime 10 m/h (bed 15 minuten rusten) heeft de kortste spuitijd. Daarnaast bevat dit spoelregime het minste waterverlies.
3. Het handhaven van de standaard instellingen van 10 m/h bij OC-kolom resulteert in extreem lange spuitijd (305 minuten) en spuivolumes (3050 liter). Een aanzienlijke verbetering is het realiseren met het verleggen van de terugspoelsnelheid met 5 minuten. De productie uitvaltijd wordt dan vergelijkbaar met de optimale terugspoelsnelheid van 25 m/h.

2-stapsspoeling –Kolomvergelijking

Spoelwater– Kolomvergelijking

Grafiek 7 geeft van beide kolommen de troebelheid weer aan het eind van de spoeling. Hierbij zijn de doorstreepte lijnen de NC-kolom en de gestipte lijnen de OC-kolom.

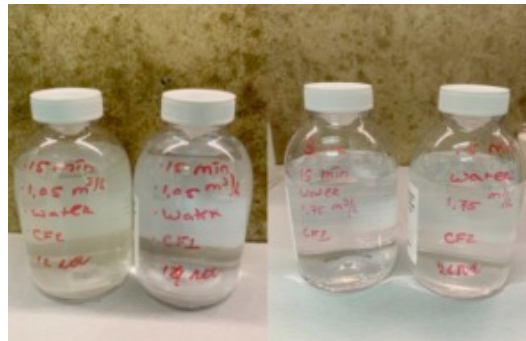
GRAFIEK 7: TROEBELHEID VAN HET SPOELWATER AAN HET EIND VAN DE SPOELING (KOLOMVERGELIJKING)



Uit grafiek 7 is te halen:

1. Bij de NC-kolom is na 13 minuten waterspoeling alle deeltjes uitgespoeld en is de troebelheid constant. Bij de OC-kolom is terugspoelsnelheid 25 m/h na 16 minuten als enige constant.
2. De troebelheid in de OC-kolom in vergelijking met de NC-kolom hoger is aan het eind van de spoeling. Dit betekent dat de OC-kolom meer spoeltijd nodig is en dat de waterspoeling groter moet zijn dan 15 minuten.

Figuur 8 laat de troebelheid na de spoeling zien van beide kolommen. Hieruit is goed te zien dat bij de OC-kolom een terugspoelsnelheid 15 m/h meer troebelheid bevat dan bij de NC-kolom. Bij een terugspoelsnelheid 25 m/h is dit niet het geval.



Figuur 8: Spoelwater samples. Links bij een terugspoelsnelheid van 15 m/h. Rechts bij een terugspoelsnelheid van 25 m/h

Tabel 3 geeft een overzicht van de parameters uit beide kolommen bij andere snelheden dan 5 tot 15 m/h.

TABEL 3: overzicht van de parameters van terugspoelsnelheden 20, 25 en 30 m/h

Parameters	Terugspoel snelheden (m/h)					
	20		25		30	
	NC	OC	NC	OC	NC	OC
Uitval tijd (minuten)	45	40	34	36	41	38
Sputijd (minuten)	27	22	16	18	23	20
Spuivolume (liter)	270	220	160	180	230	200
Spoelwaterverlies (liter)	350	350	437,5	437,5	515	515
Waterverlies (liter)	620	570	597,5	617,5	745	715

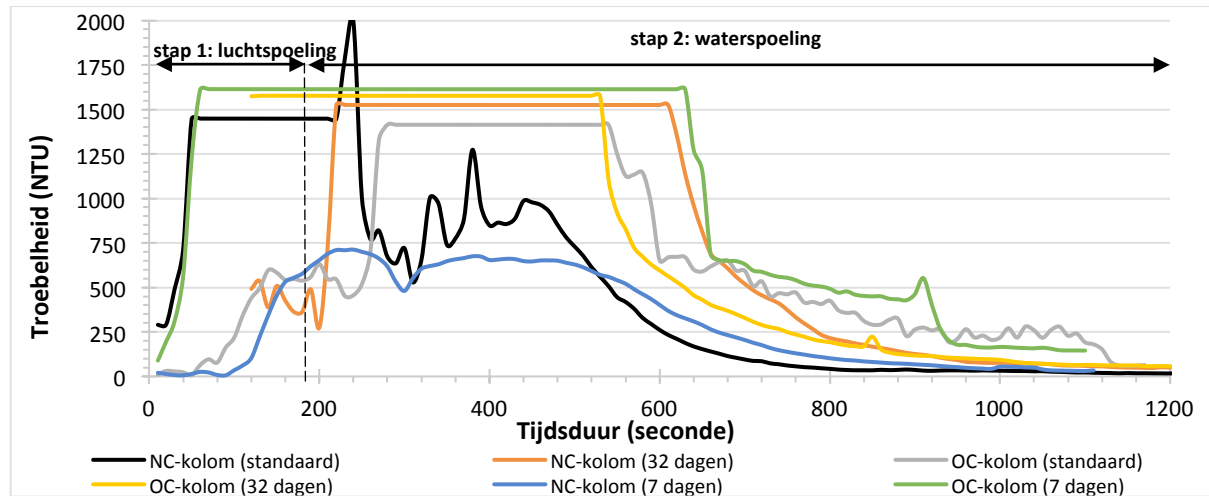
Tabel 3 laat zien:

1. Zowel nieuw als oud calciet hebben beide ongeveer eenzelfde optimale terugspoeltijd van 25 m/h. Dit terugspoelsnelheid geeft namelijk een minimale uitvaltijd van het drinkwaterproces van zo'n 34 á 36 minuten.
2. Het verschil bij beide kolommen is erg klein. Echter neemt de efficiëntie af bij verouderd calciet.
3. Variaties bij de optimale terugspoelsnelheid tussen -20% en +20% geven bij zowel NC- als OC-kolom disproportionele verlenging van de uitvaltijd.
4. Zowel bij de NC- als OC-kolom is het creëren van hoge troebelheid tijdens het luchtspoelen van groot belang. Hoge troebelheid veroorzaakt met de luchtspoeling verlaagt de troebelheid gelijk tijdens de waterspoeling aanzienlijk.

4.2 Resultaten op- en aframptijd

De volgende resultaten zijn behaald bij een 2-stapsspoeling waarbij er gespoeld werd op 25 m/h. Hierbij zijn de NC-/OC-kolom (standaard) spoelregimes waarbij er niet gespoeld werd met een op- en aframptijd en een spoelfrequentie van 7 dagen. NC-/OC-kolom (32 dagen) en (7 dagen) bevatten wel een op- en aframptijd en een spoelfrequentie, 32 en respectievelijk 7 dagen.

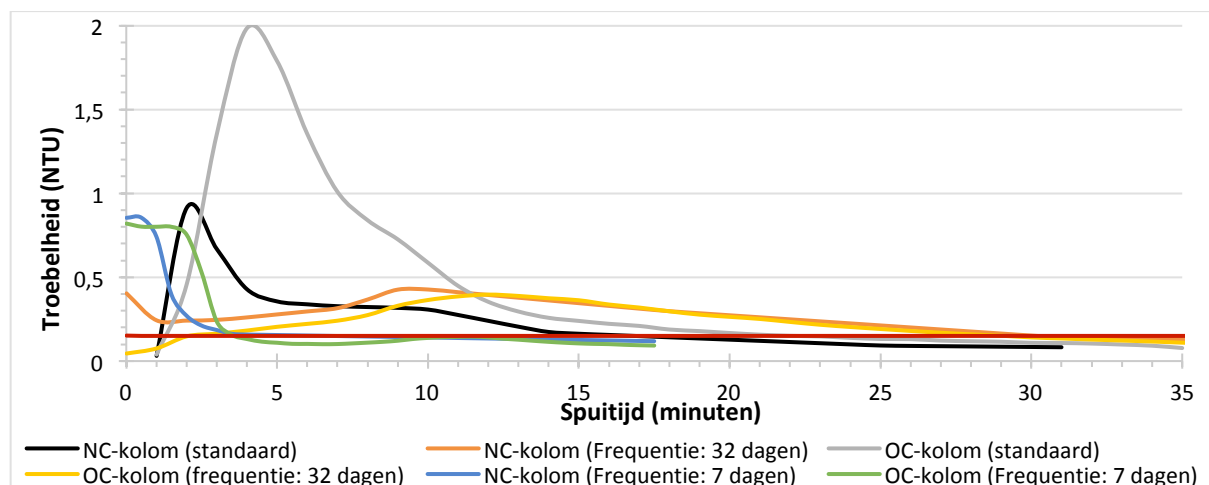
GRAFIEK 7: TROEBELHEID VAN HET SPOELWATER VAN TERUGSPOELSNEELHEID 25 M/H MET EN ZONDER OP- EN AFRAMPTIJD



In grafiek 7 is te zien:

1. Troebelheidswaardes > 1500 NTU liggen buiten het bereik van de troebelheidsmeter.
2. De troebelheid is aan de start van de luchtspoeling niet gemeten bij zowel NC- als OC-kolom (32 dagen). Dit komt doordat een te laag debiet door de troebelheidsmeter stroomde.
3. OC-kolom (7 dagen) in vergelijking met de andere spoelregimes bevat een hoge troebelheidswaarde aan het eind van de spoeling. Mogelijk kan dit komen doordat de begincondities (het bedhoogte) niet overeen kwam als bij de andere spoelregimes.

GRAFIEK 8: SPIJTIJD VAN TERUGSPOELSNEELHEDEN 25 M/H MET EN ZONDER OP- EN AFRAMPTIJD



Grafiek 8 is te zien:

1. NC-/OC-kolom (Frequentie: 32 dagen) is de spuitijd toegenomen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat als in de praktijk gespoeld wordt met 3 minuten lucht en 15 minuten water, waarbij de spoelfrequentie hoger ligt dan 7 dagen, de spuitijd groter is dan 16 á 18 minuten. Door het verlengen van de waterspoeling kan mogelijke de resterende deeltjes in de kolom uitgespoeld worden en de spuitijd worden verlaagd.

- Als het spoelregime zonder op- en aframptijd vergeleken wordt met het spoelregime mét een op- en aframptijd met een spoelfrequentie van 7 dagen, is te zien dat de spuitijd bij beide kolommen verkort wordt door een op- en aframptijd.

Tabel 4 geeft aanvullende informatie weer over de op- en aframptijd.

TABEL 4: overzicht van de parameters met en zonder op- en aframptijd

Parameters	standaard		5 m/h per 12 seconde			
	NC	OC	NC	OC	NC	OC
Uitvaltijd (minuten)	34	36	25	22	49	48
Spuittijd (minuten)	16	18	7	4	31	30
Spuivolume (liter)	160	180	70	40	310	300
Spoelwaterverlies (liter)	437,5	437,5	406,7	406,7	406,7	406,7
Waterverlies (liter)	597,5	617,5	476,7	446,7	716,7	706,7
Frequentie (dagen)	7	7	7	7	32	32

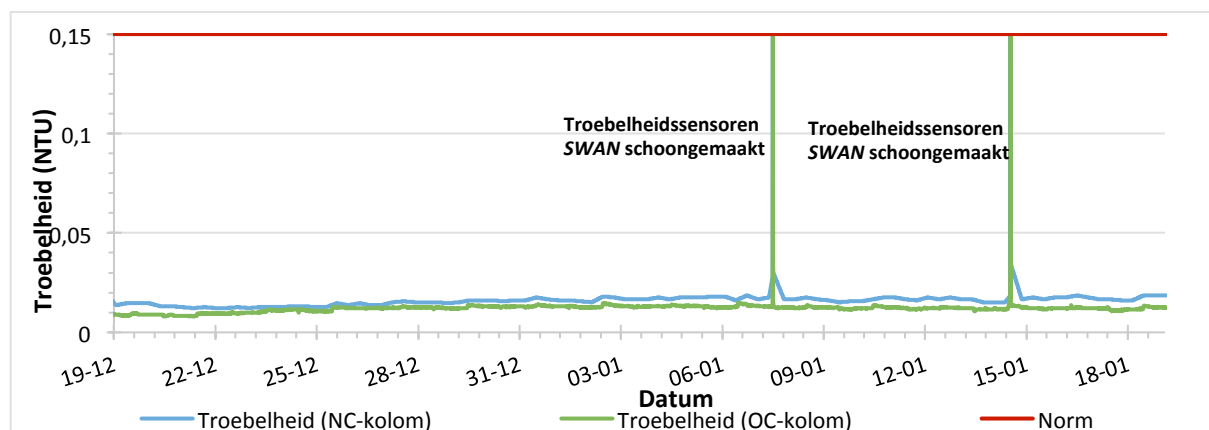
De tabel geeft weer:

- De op en aframptijd meer effect heeft bij de OC-kolom. De spuitijd is in vergelijking met de NC-kolom korter. Mogelijk kan het wordt het bed bij verouderd calcië minder verstoort waardoor de spuitijd afneemt.
- De spuitijd bij de NC-kolom neemt met eenzelfde spoelfrequentie af als er gespoeld wordt met een op- en aframptijd. De spuitijd is 7 minuten (een reductie van 50%).
- De spuitijd bij de OC-kolom neemt met eenzelfde spoelfrequentie af als er gespoeld wordt met een op- en aframptijd. De spuitijd is 4 minuten (een reductie van 75%).
- De productie uitval tijd toeneemt als de spoelfrequentie toeneemt. Hierdoor neemt het waterverlies ook toe.

4.3 Resultaten frequentie

In grafiek 9 is de troebelheid weergegeven van de OC-kolom tussen de periode 20 december 2019 tot 20 januari 2020. Hierbij is de troebelheid uitgezet tegen de tijdsduur dat de kolom niet werd gespoeld. Tussentijds werd de kolom gefiltreerd op de standaardproces instelling van 5 m/h.

GRAFIEK 9: TROEBELHEID VAN BEIDE KOLOMMEN TUSSEN 19 DECEMBER EN 20 JANUARI



Grafiek 9 geeft weer:

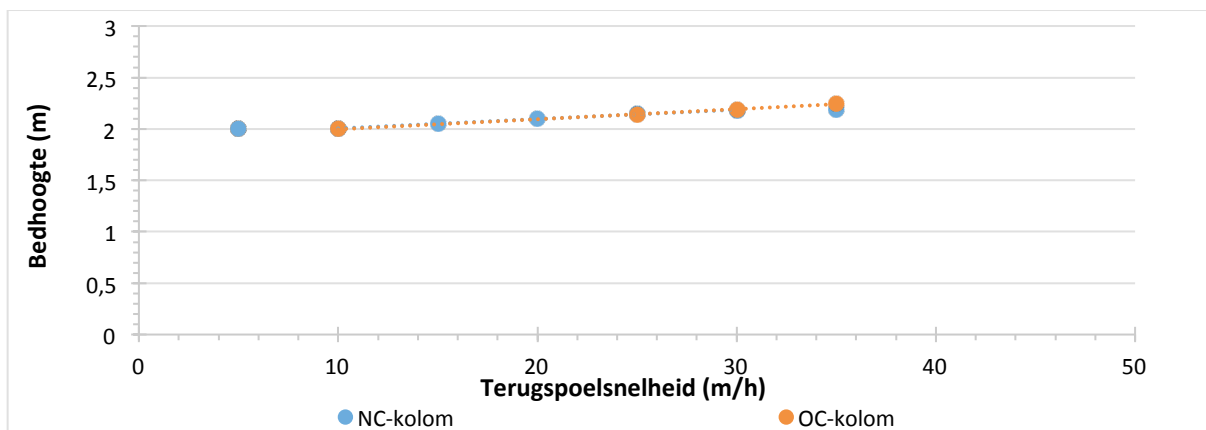
- Op 8 en 15 januari troebelheidspieken zijn gedetecteerd die een troebelheidwaarde hebben > 0,15 NTU. Dit komt doordat de troebelheidsmeters zijn schoongemaakt.
- De troebelheid van de NC-kolom over het algemeen hoger is dan de OC-kolom. Dit kan komen door afwijkende instellingen in de troebelheidsmeter.

3. Na 20 januari de maximale troebelheidsgrens niet is overschreden. Dit betekent dat de frequentie van de spoeling >32 dagen is. Uit eerder onderzoek van Evides is gebleken dat de troebelheid plots exponentieel toe kan nemen [8].
4. Als er gespoeld wordt op een spoelregime van 25 m/h, zonder op en afamtijd kan het waterverlies bepaald worden met behulp van vergelijkingen 2.4. Hieruit is gebleken dat bij een 25 m/h spoelregime, waarbij 32 dagen niet gespoeld is, een waterverlies bevat van 0,14 %.

4.4 Resultaten expansie

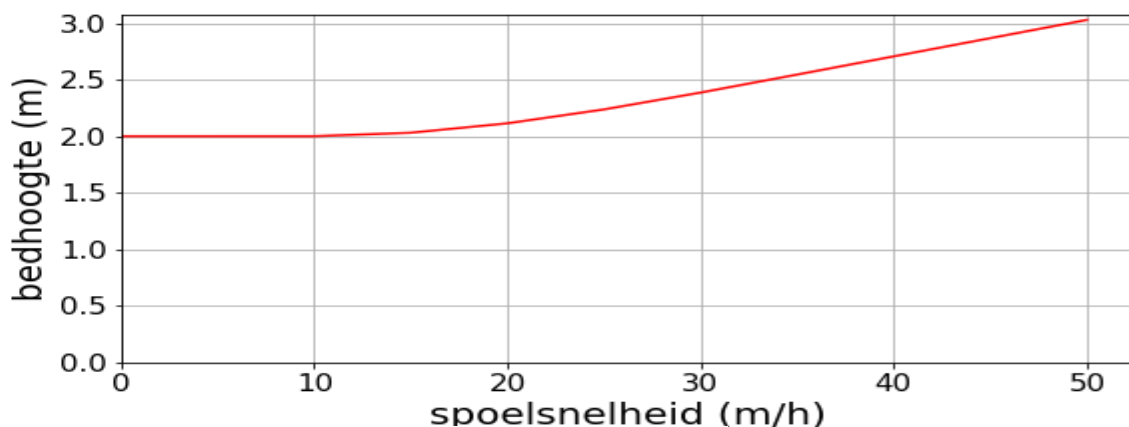
In het algemeen is er per dag een bed afname van 1 cm. Dit komt door de reactie van het RO permeaat met calciëet. Daarnaast kan tijdens het spoelen calciëet uitgespoeld worden, waardoor een calciëetverlies ontstaat. Daarom is gekozen om de berekeningen te doen bij een standaard bedhoogte van 200 cm in rust toestand. Grafiek 10 geeft de relatie weer tussen terugspoelsnelheid en bedhoogte, voor zowel de NC- als de OC-kolom.

GRAFIEK 10: BEDHOOGTES VAN DE NC- EN OC-KOLOM BIJ VERSCHILLENDE TERUGSPOELSNELHEDEN



Grafiek 10 geeft het volgende weer:

1. Bij terugspoelsnelheden ≤ 10 m/h is er geen verandering in het bed. Echter worden bij deze snelheden wel stof uitgespoeld
2. Bij de OC-kolom zijn bedhoogtes waargenomen bij terugspoelsnelheden 20 en 25 m/h. De bedhoogtes zaten tussen twee kijkgaten. Hierdoor konden de bedhoogtes niet nauwkeurig gemeten worden. Hierdoor neemt de betrouwbaarheid van de waardes af. Figuur 9 geeft een expansiemodel dat door Vitens is ontwikkeld, specifiek voor de pilot.
3. Vitens heeft een expansiemodel ontwikkeld specifiek voor het gebruikte calciëet en pilotopstelling van dit onderzoek. Figuur 12 geeft dit expansiemodel weer.

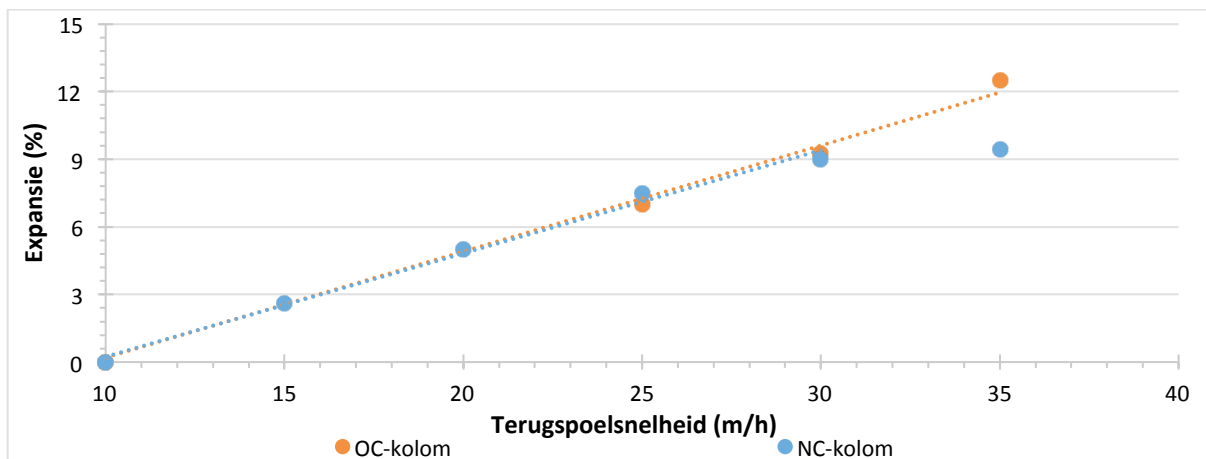


Figuur 9: Expansiemodel van Vitens

- Als grafiek 10 en figuur 9 met elkaar wordt vergeleken is te zien dat bij beide pas een bedhoogte toename is bij terugspoelsnelheden > 10 m/h.
- Dat in figuur 9 het bed meer toeneemt dan tijdens de experimenten. Dit kan komen doordat het expansiemodel meer metingen bevat. Hierdoor kan de spreiding in waarnemingen kleiner zijn, waardoor het betrouwbaarder is.
- Het expansiemodel is ontwikkeld volgens de Kozeny-Carman vergelijking. De resultaten uit grafiek 10 zijn experimenteel waargenomen.

In grafiek 11 is de expansie van de bedhoogte weergegeven als functie van de terugspoel snelheid. Omdat er geen expansie ontstaat bij terugspoelsnelheden ≤ 10 m/h, is 10 m/h de oorsprong van de grafiek.

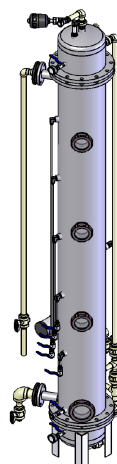
GRAFIEK 11: EXPANSIE VAN DE NC- EN OC-KOLOM BIJ VERSCHILLENDE TERUGSPOELSNELHEDEN



Grafiek 11 geeft een trend weer tussen de toenemende terugspoelheden en de expansie. Zoals verwacht neemt de expansie bij beide kolommen lineair toe. Dit geldt voor de NC-kolom niet voor terugspoelsnelheid 35 m/h.

Versil in expansie bij een terugspoelsnelheid van 35 m/h kan komen door:

- Bedhoogte van de NC-kolom niet accuraat is afgelezen. De pilot bevat vier kijkgaten, zie figuur 10. Wanneer het bedhoogte tussen een van de kijkgaten bevindt, is het niet mogelijk om het bedhoogte accuraat af te lezen. Indien de bedhoogte lager wordt ingeschat dan het daadwerkelijk is, neemt de expansie in de grafiek af.
- Bij hogere spoelsnelheden kan een deel van het calciëbed uit zijn gespoeld, waardoor het bedhoogte afneemt en dus ook de expansie.



Figuur 10: Schematische tekening van de pilotopstelling

5. Discussie

Allereerst zijn alle experimenten eenmalig uitgevoerd. Hierdoor neemt de betrouwbaarheid van de waarnemingen af. De resultaten geven alleen een indicatie. Om betrouwbaardere waardes te krijgen voor het optimale terugspoelregime, zou het experiment meerdere malen herhaald moeten worden.

Uit de resultaten is te zien dat bij dezelfde begincondities een grote spreiding kan ontstaan tijdens de luchtspoeling. Bij een luchtspoeling waarbij een troebelheidswaarde van 1500 NTU wordt gerealiseerd is te zien dat een terugspoelsnelheid van 10 m/h afdoende is om alle fijne deeltjes uit te spoelen/gestabiliseerde troebelheid wordt behaald. Echter indien tijdens de luchtspoeling een troebelheid van 1500 NTU niet wordt behaald, moet de terugspoelsnelheid met een factor van 2,5 verhoogd worden om een zo laag mogelijke productie uitvaltijd te bewerkstelligen. Vandaar dat er meer onderzoek gedaan zou moeten worden naar een luchtspoeling waarbij een troebelheid ≥ 1500 NTU wordt behaald.

Gezien dat bij beide kolommen de spuitijd het korst is bij een terugspoelsnelheid van 25 m/h, moet het werkgebied tussen terugspoelsnelheden 20 en 30 m/h verder onderzocht worden. Het is mogelijk dat de spuitijd korter is bij een waterspoelsnelheid tussen 20 en 25 m/h. Echter geldt dit ook voor 25 en 30 m/h.

De gemiddelde spoelfrequentie bij het onderzoek had een periode van 7 dagen. Bij het onderzoek naar de spoelfrequentie, is gebleken dat na 32 dagen de maximale troebelheidsgrens ($\leq 0,15$ NTU) niet werd overschreden. Omdat deze spoelfrequentie (32 dagen) vele malen langer is, ontstaan meer fijne deeltjes in de kolom. Daarmee zal de optimale spoelfrequentie bij 32 dagen, of meer, verlengd moeten worden om alle deeltjes uit te spoelen. Met het verlengen van de waterspoeling neemt het spoelwaterverlies toe.

In de praktijk zal echter er variatie zijn in de filtratiesnelheid, dat bepalend kan zijn in de uiteindelijk keuze betreffende de spoelfrequentie.

Bij de bepaling van de expansie is veel onnauwkeurigheid. Omdat het geëxpandeerde bed met het blote oog bepaald moet worden, is er een grote spreiding (foutmarge) in de waarnemingen.

De bedhoogtes bij terugspoelsnelheden 15 en 20 m/h van de OC-kolom zijn buitenbeschouwing gelaten. Dit komt doordat beide bedhoogtes tussen twee kijkgaten bevind. Hierdoor het bedhoogte geïnterpoleerd worden.

Tot slot zijn er veelbelovende optimalisatie gedaan (op- en aframptijd bij 25 m/h, bed rusten bij 10 m/h en het verlengen van de spoeltijd bij 10 m/h), in der maten interessant dat ze zijn opgenomen in de aanbevelingen.

6. Conclusie

Gedurende de periode 1 september 2019 tot en met 31 januari 2020 is onderzoek gedaan bij Oasen N.V. Het onderzoek betrof het bepalen van de optimale terugspoelregime instellingen van twee calcielfilters, te weten een calcielfilter gevuld met vers calciet (NC-kolom) en verouderd calciet (OC-kolom). Calcielfilters worden gebruikt bij de productie van drinkwater. De filters veroorzaken een zekere troebelheid. De randvoorwaarden van Oasen N.V. is een troebelheidsis van drinkwater $\leq 0,15$ NTU.

Hierbij richtte het onderzoek zich op het zogenaamd 2-stapsspoeling. Het spoelregime bestaande uit een spoeling met lucht (de eerste stap, bij 0,6 bar constant) gevolgd door een spoeling met water (de tweede stap). Via een reeks van spoelexperimenten met een frequentie van ongeveer 7 dagen werd de watersnelheid stapsgewijs verhoogd van 5 m/h tot 30 m/h. Hierbij was het van belang bij welke watersnelheid al het stof was uitgespoeld/de troebelheid het snelst stabiliseerde. Het spoelen gebeurde bij zowel vers als verouderd calciet. De tijdsduur van het waterspoelen werd bij ieder experiment gelijk gehouden, namelijk 15 minuten.

Verder richtte het onderzoek zich op het spuiproces, waarbij er werd gekeken naar de tijdsduur waarin het filtraat een troebelheidswaarde had van $> 0,15$ NTU.

6.1: Deelconclusie 1

Met de uitvoering van de experimenten bij zowel vers als verouderd calciet komt naar voren dat een watersnelheid van 25 m/h de troebelheid het snelst stabiliseerde. Bij vers calciet werd dit gerealiseerd in 11 minuten en bij oud calciet bleek dit 15 minuten te zijn. De spoelsnelheid van 25 m/h gaf ook de kortste spuitijd, te weten 16 minuten respectievelijk 18 minuten.

Met vaststelling dat 25 m/h de optimale waterspoelsnelheid is, dat voor zowel vers als verouderd calciet in de kortste spuitijd resulteert, is dit spoelregime geoptimaliseerd met een op- en aframptijd (elke 12 seconde een toe- of afname van 5 m/h). Opmerkelijk is dat de spuitijd drastisch korter werd als er gespoeld werd met een op- en aframptijd. Hierbij werd bij vers calciet de spuitijd verkort tot 7 minuten (reductie van 50%). Bij het verouderd calciet was de spuitijd nog korter, namelijk 4 minuten (reductie van 75%).

6.2: Deelconclusie 2

Verder kan er geconcludeerd worden dat als een hoge troebelheidswaarde wordt gerealiseerd tijdens de luchtspoeling (≥ 1500 NTU), de waterspoelsnelheid met een factor 2,5 verlaagd kan worden. Dit resulteert in minder waterverlies.

6.3: Eindconclusie

Om het optimale terugspoelregime te bewerkstellingen (voor zowel nieuw als verouderd calciet) handelt men als volgt: Eerste stap 3 minuten spoelen met lucht (0,6 bar) gevolgd door 15 minuten spoelen met water (25 m/h), met een op- en aframptijd van 5 m/h per 12 seconde.

7. Aanbevelingen

Naar aanleiding van de verkregen inzichten van dit onderzoek zijn de volgende aanbevelingen gedaan waarbij Oasen N.V. vervolgonderzoek kan doen.

1. Het onderzoek domein moet verkleint worden naar het werkgebied tussen spoelsnelheden 20 en 30 m/h, om verdere optimalisatie te bepalen.
2. De betrouwbaarheid van de waarnemingen moeten verhoogd worden, middels meerdere keren het uitvoeren van de spoelregimes .
3. Het verkleinen van de foutmarge met betrekking tot het bepalen van de expansie . Met een maatverdeling in de kolom.
4. Er moet verder onderzoek gedaan worden naar de effectiviteit van de eerste stap van een 2-stapspoeling, de luchtspoeling. Wanneer er tijdens deze stap een troebelheid van ≥ 1500 NTU wordt gerealiseerd kunnen alle fijne deeltjes worden uitgespoeld met een lagere spoelwaterverbruik van 10 m/h in plaats van 25 m/h.
5. Tijdens het spuiproces moet de filtratiesnelheid verhoogd worden. Dit heeft een limitatie tot aan 10 m/h. Hoger dan 10 m/h heeft het een negatief effect op de troebelheid.
6. Na het spoelen van de calcielfilter kan het spuiproces uitgesteld worden. Door het calcietbed een korte periode rust geven (5 tot 15 minuten), wordt de spuitijd mogelijk verkort.
7. Bij verouderd calciet de waterspoeling verlengen. Hierdoor kunnen de resterende fijne deeltjes worden uitgespoeld en wordt de spuitijd verkort.
8. Bij de daadwerkelijke spoelfrequentie moet een afweging gemaakt worden om het calcielfilter frequenter te spoelen of de waterspoeling te verlengen.
9. Het toevoegen van een spoelstap (eerste spoelen met lucht, gevolgd met lucht en water en tot slot met alleen water). Hierdoor kan bij een lage waterspoelsnelheid een turbulente stroming gerealiseerd worden waardoor fijne deeltjes uitgespoeld worden.
10. Er moet onderzoek gedaan worden ten aanzien van een spoelregime, direct na het bijvullen van een calcielfilter. Om hiermee het probleem van calciet stofvorming na het bijvullen op te lossen.

8. Symbolenlijst

<u>Symbol</u>	<u>Omschrijving</u>	<u>Eenheid</u>
$\emptyset_{\text{filtraat}}$	Filtraat debiet	[m ³ /h]
$\emptyset_s$	Spoel debiet	[m ³ /h]
E	Expansie	[-]
K_a	Zuurconstante	[-]
L_0	Daadwerkelijke filterbed	[m]
L_e	Filterbed tijdens terugspoelen	[m]
pk_a	logaritmische zuurconstante	[-]
p_0	Daadwerkelijke porositeit	[-]
t_s	Spoeltijd	[h]
t_{spui}	Sputtijd	[h]
V_{bed}	Volume calcietbed	[m ³]
V_{calciet}	Volume calciet	[m ³]
V_p	Geproduceerde drinkwater	[m ³]
V_s	Volume spoelwater	[m ³]
$V_{s, \text{verlies}}$	Spoelwater verlies	[%]
V_{spui}	Volume spoelwater	[m ³]

<u>Afkortingen</u>	<u>Omschrijving</u>
NC-kolom	Kolom met nieuw calciet
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
OC-kolom	Kolom met verouderd calciet
PI	Process Information
RO	Reverse Osmose
ZS	Zuiveringsstation

9. Bibliografie

[1] Internet

Oasen onderzoekt werking van zuiverende bodem bij oevergrondwater filtratie.

Opgeroepen op Februari 1, 2020, van Oasen: <https://www.oasen.nl/nieuws/oasen-onderzoekt-werking-van-zuiverende-bodem-bij-oevergrondwater-filtratie>

[2] Ghanbari, S.

Pilot study and modeling of remineralization of low-temperature desalinated water by calcite filtration.

Delft: TU Delft. 2018

[3] Dusseldorp, J.

Calcietfiltratie: Onderzoek bedrijfsvoering calcietfiltratie + kalkafzetting na remineralisatie.

Gouda: Oasen N.V. 2018

[4] TU Delft

Granular filtration Water Treatment.

Opgehaald van TU Delft: <https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/Granular-filtration-1.pdf>

2019, September 2

[5] Orly, E., e.a.

Model Economic Optimization Of The Remineralization Process.

Tianjin, China: IDA. 2013

[6] Lahav, O., e.a.

Post-Treatment of Desalinated Water

(p. 473+). Balaban Desalination Publications.

[7] Kawamura, S., e.a.

Modifying a backwash trough to reduce media loss.

American Water Works Association, 59. 1997

[8] van Opijnen, J., e.a.

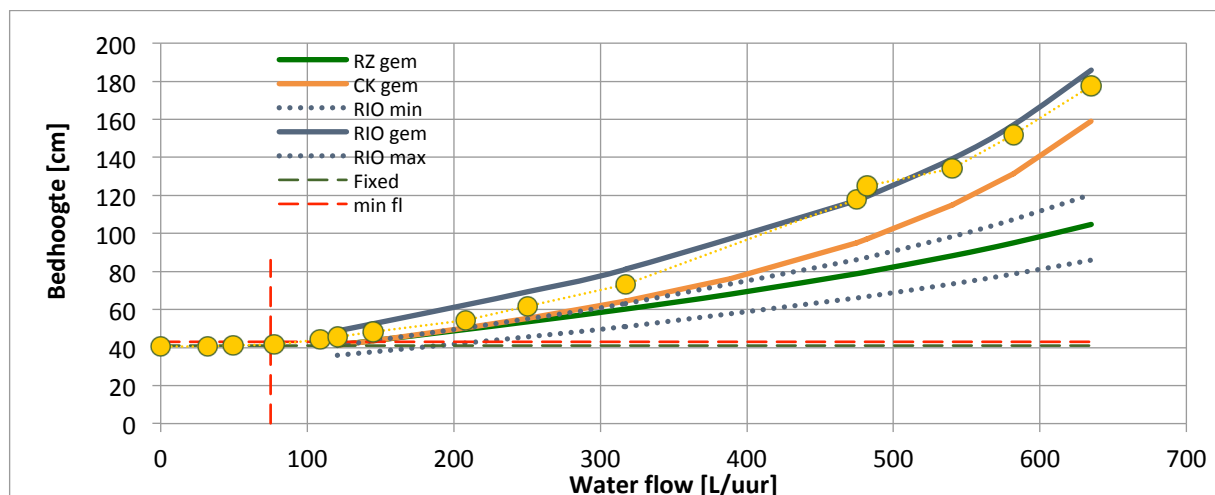
Rapport Remineralisatie van RO permeaat.

Dordrecht : Evides. 2017

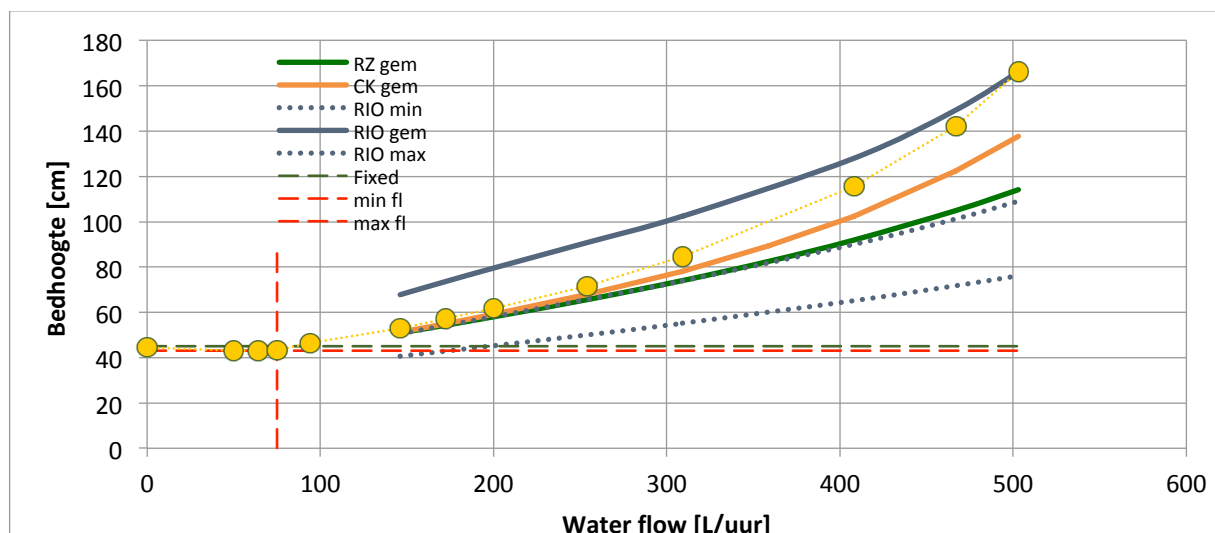
10. Bijlage

Bijlage 1. Resultaten – Expansie metingen Waternet

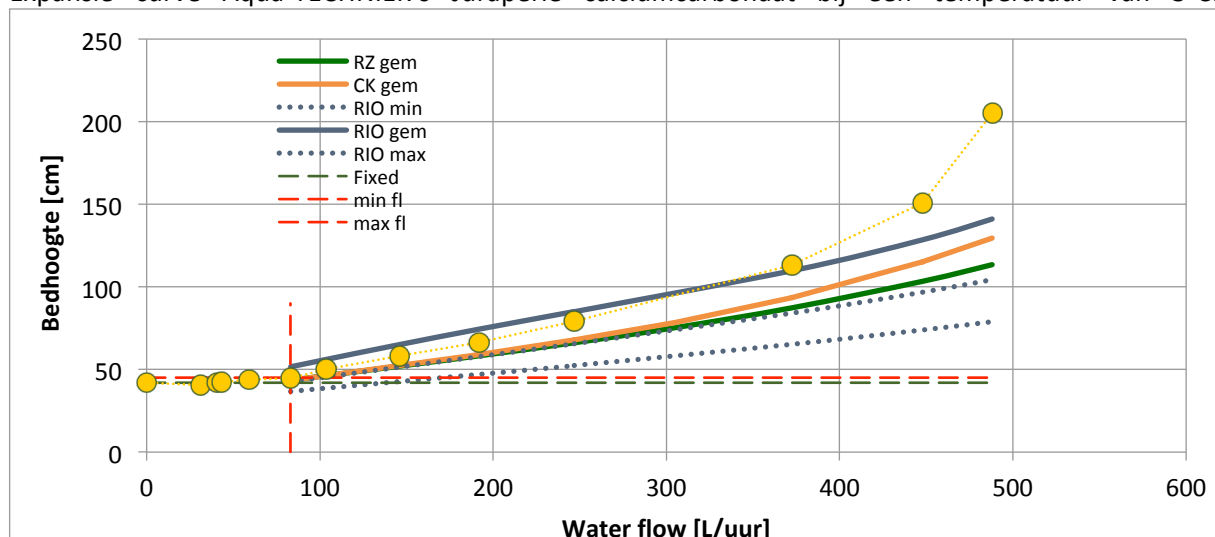
Expansie curve Aqua-TECHNIEK's Juraperle calciumcarbonaat bij een temperatuur van 35 °C.



Expansie curve Aqua-TECHNIEK's Juraperle calciumcarbonaat bij een temperatuur van 15°C.

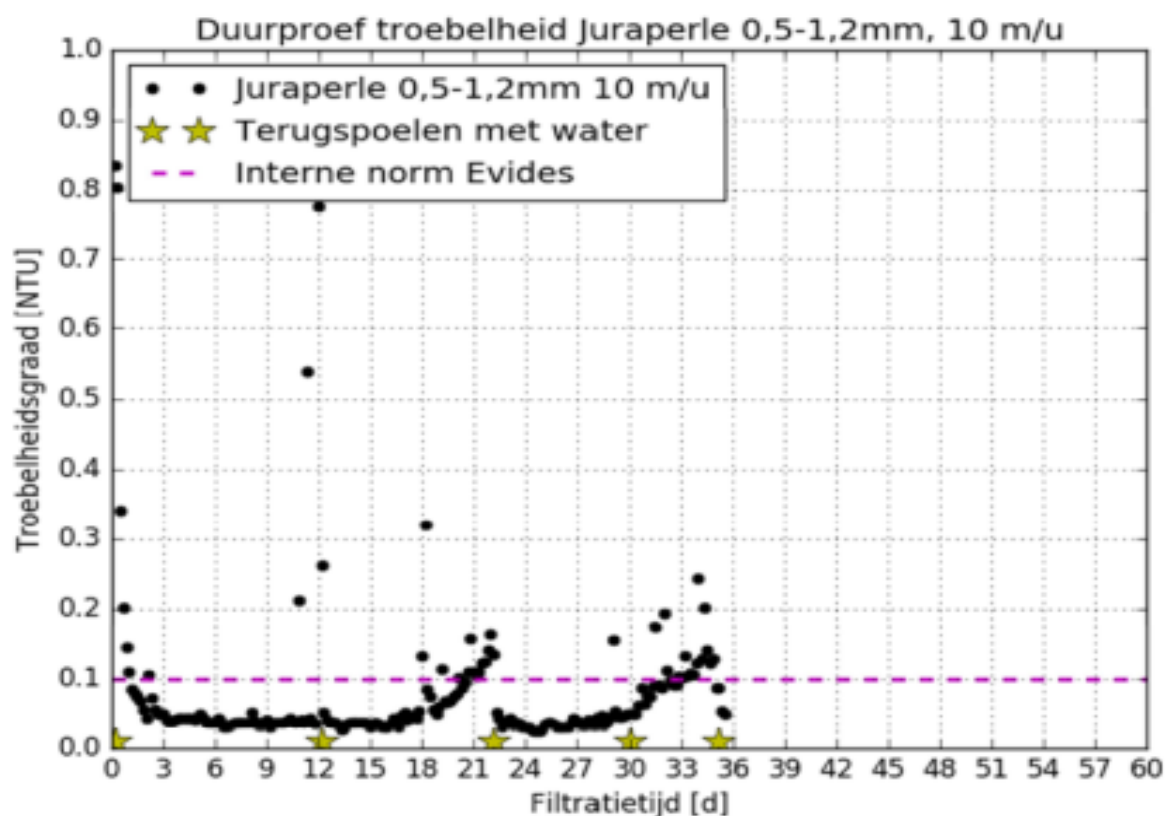


Expansie curve Aqua-TECHNIEK's Juraperle calciumcarbonaat bij een temperatuur van 3°C.

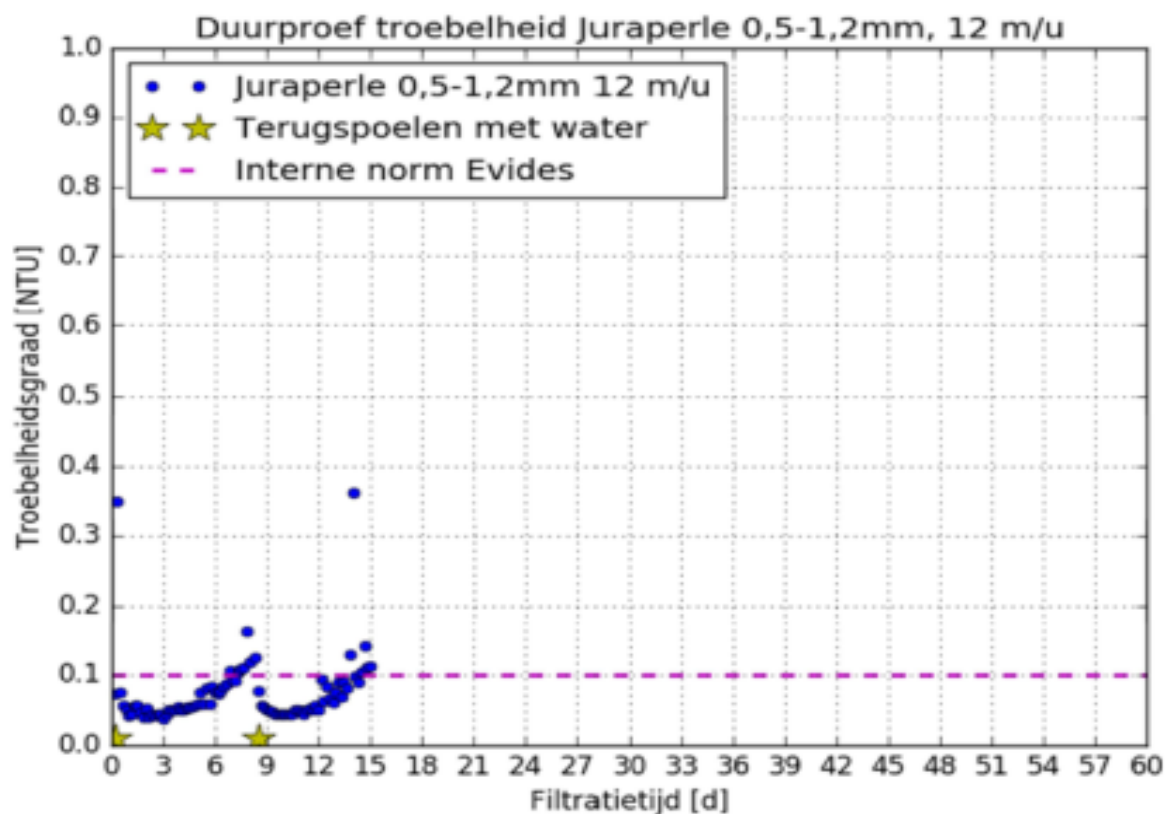


Bijlage 2. Spoelfrequentie van Evides

Spoelfrequentie Aqua-TECHNIEK's Juraperle calciumcarbonaat (0,5 – 1,2 mm) bij filtratiesnelheden 10 en 12 m/h.



Figuur 22 - Duurproef troebelheidsopbouw JP0512 (10 m/u)



Bijlage 3. Karakteristieke eigenschappen van het calciëet


Aqua - TECHNIEK bv

Filtermedia for Water Treatment

AQUA-JURAPERLE JW®

Aqua-Techniek B.V.
 H.O. Box 615
 3236 ZJ Roskanje
 176 Netherlands
 Phone : +31 181 40 46 00
 Fax : +31 181 40 47 44
 E-mail: info@aquas-techniek.com
 http://www.aqua-techniek.com

Voor: pH-correctie, verwijdering van koolzuur, opharding, ijzer- en mangaanverwijdering.

1. Algemeen

Aqua-Juraperle JW is een korrelig filtermateriaal met een zuiverheid van 99,1% calcium carbonaat. Door zijn micro-kristalline structuur is het superieur aan gewone kalksteen. Aqua-Juraperle JW behoudt zijn activiteit voor pH-correctie zelfs na verwijdering van hoge concentraties van ijzer en mangaan.

2. Toepassingen

a: Koolzuurverwijdering en opharding van zacht water
 b: Remineralisatie van destillaat en/of ongekookte rommel
 c: Verwijdering van ijzer en mangaan

3. Gewicht

Stortgewicht : 1,5 t/m³
 Soortelijk gewicht : 2,7 g/cm³

4. Korrelgrootte

1,0 – 2,0 mm, 1,2 – 1,8 mm, 1,8 – 2,5 mm, 2,5 – 4,0 mm.
Andere maten op aanvraag

5. Analyse

CaCO ₃	99,1 %
SiO ₂ + Al ₂ O ₃	0,54 %
Fe ₂ O ₃	0,039 %
Cu	-
Mn	-
H ₂ O (110° C)	0,04 %

6. Technische gegevens

a: Lading

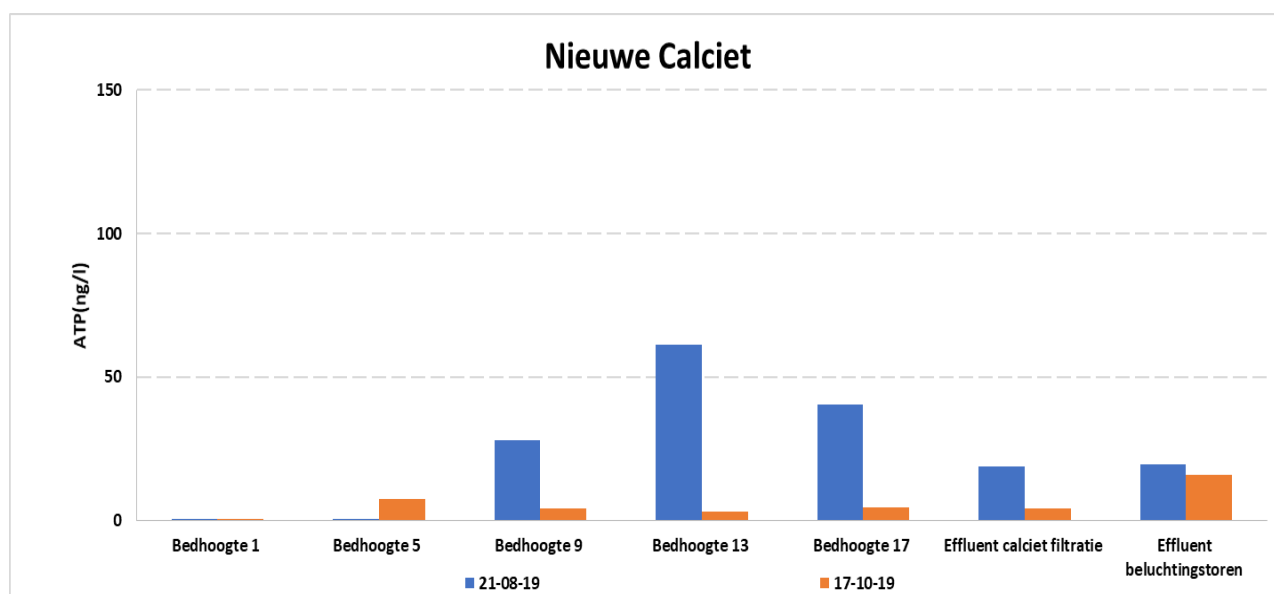
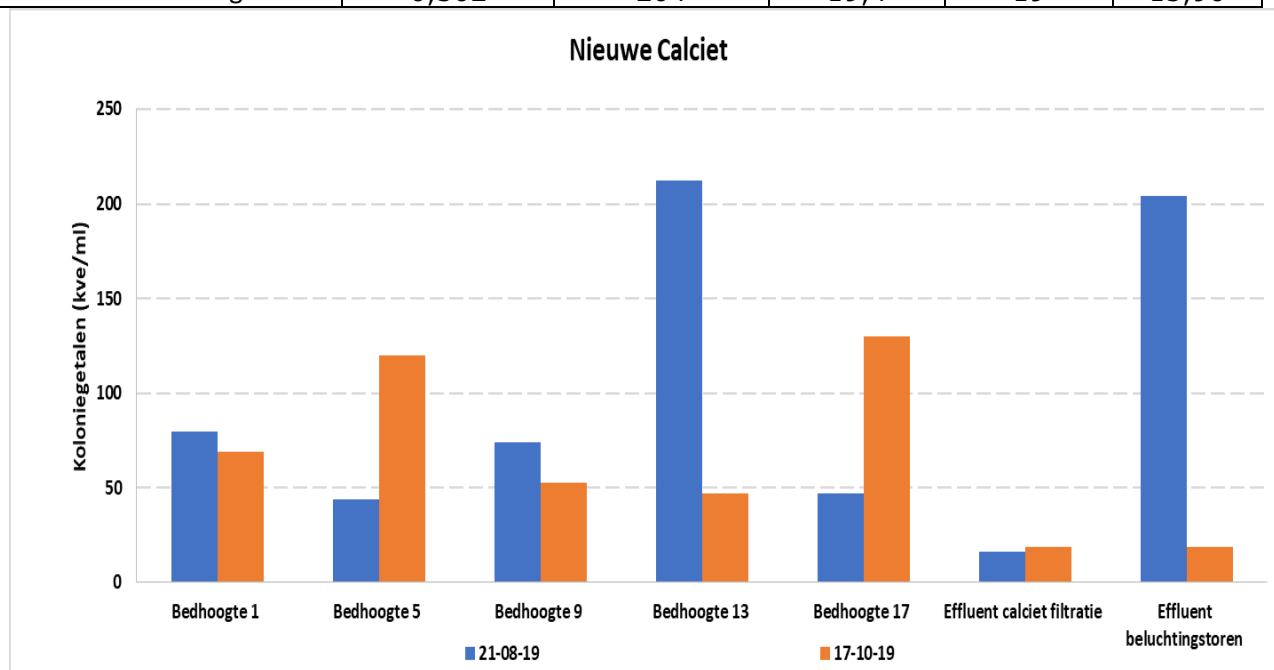
$$\text{Specifieke lading: } S = \frac{\text{m}^3 \text{ water}}{\text{m}^3 \text{ Aqua-Juraperle JW/h}} = 1 - 10$$

b: Filtersnelheid

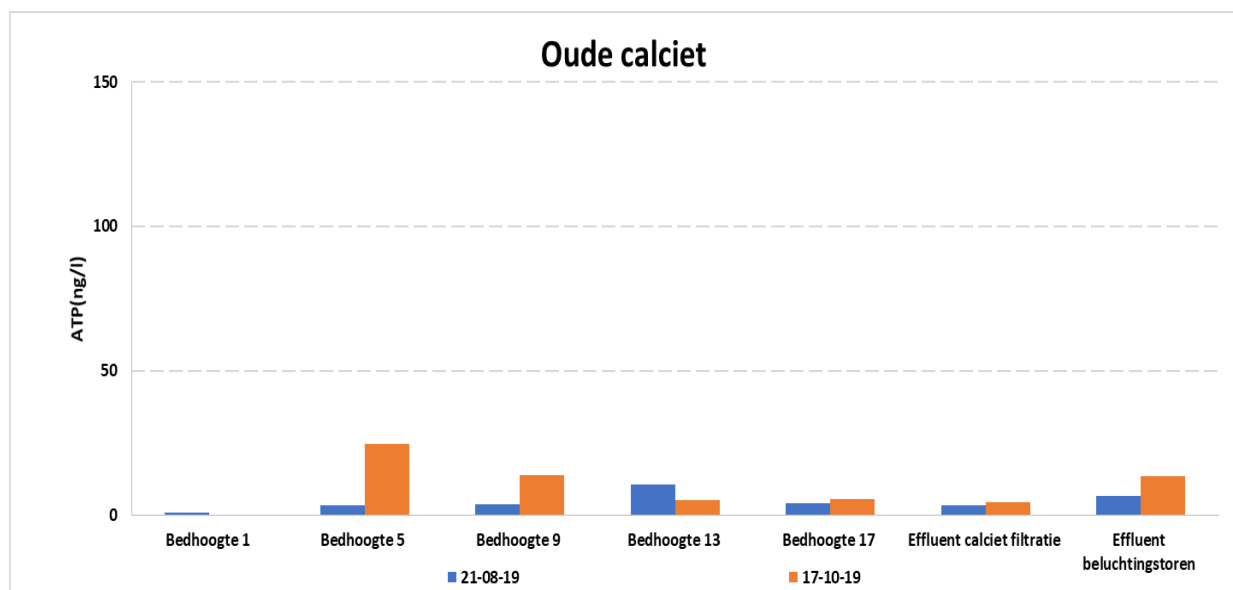
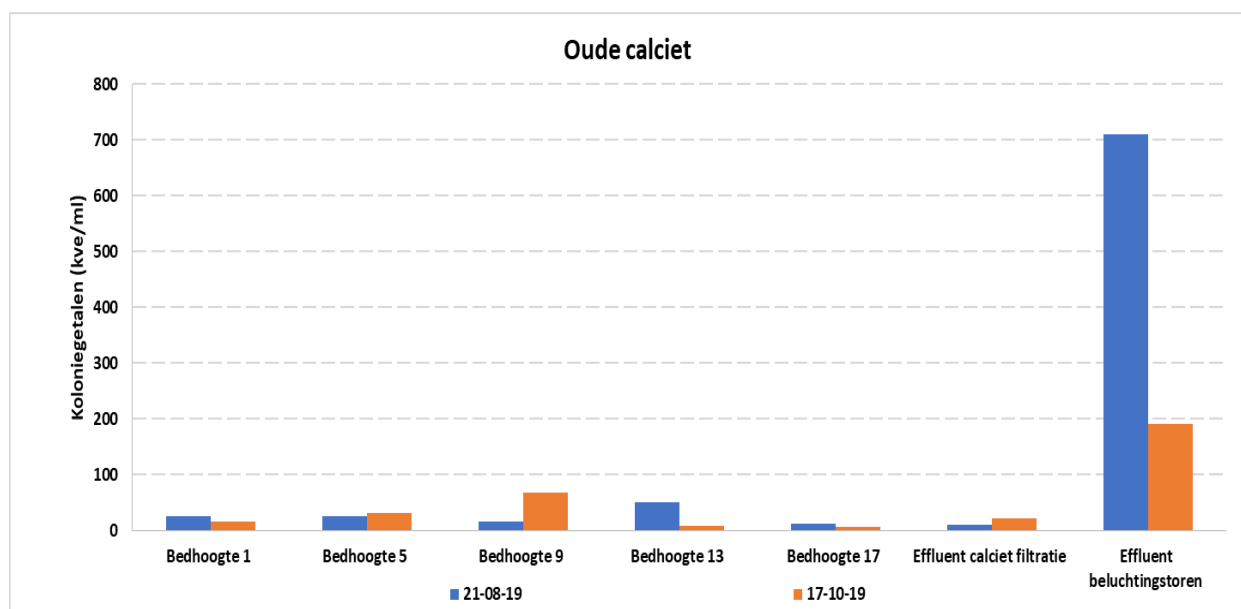
Open filters : 5 – 15 m/h.
 Gesloten filters : 30 m/h max.

Bijlage 4. ATP en Koloniegetal

Monsternaam (filter 1-2 mm)	Troebelheid (NTU)	Koloniegetal (kve/ml)	ATP (ng/l)	KOLONIE22 (kve/ml)	ATP (ng/l)
Bedhoogte 1	0,091	80	0,58	69	0,50
Bedhoogte 5	0,994	44	0,64	120	7,50
Bedhoogte 9	12,255	74	27,8	53	4,10
Bedhoogte13	20,879	212	61,2	47	3,21
Bedhoogte 17	4,049	47	40,2	130	4,66
Effluent calcietfiltratie	7,181	16	18,7	19	3,99
Effluent beluchtingstoren	0,302	204	19,4	19	15,90

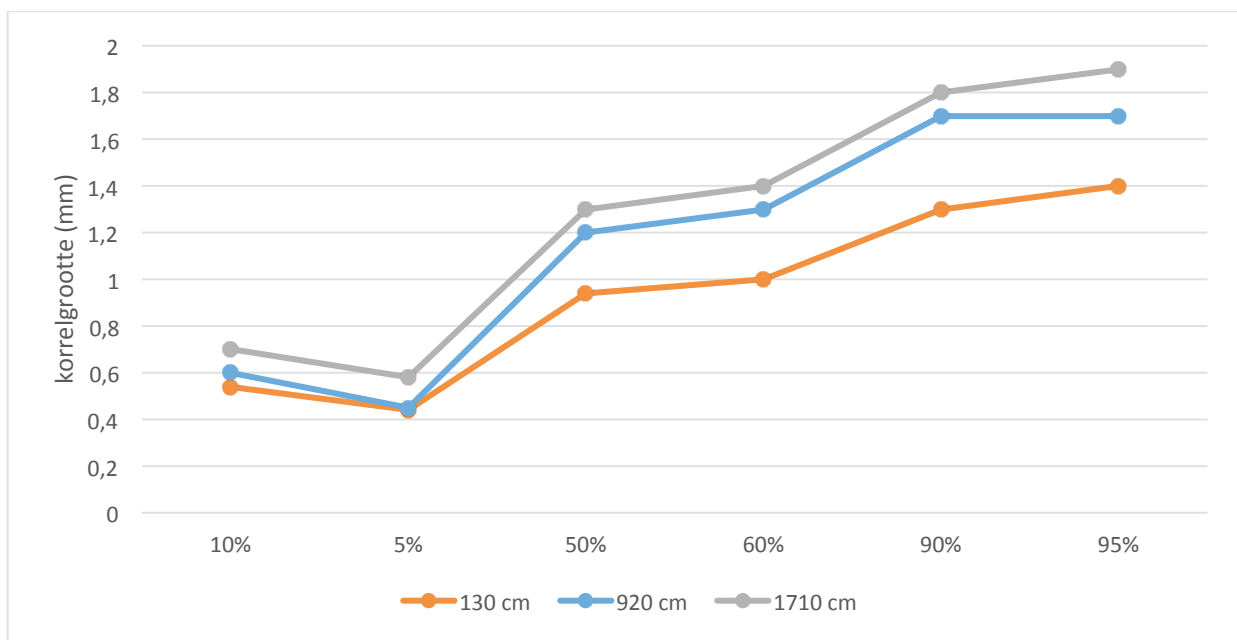


Monsternaam (filter 0,5 -,1,2 mm)	Troebelheid (NTU)	Koloniegetal (kve/ml)	ATP (ng/l)	KOLONIE22 (kve/ml)	ATP (ng/l)
Bedhoogte 1	0,699	26	0,91	15	<0,5
Bedhoogte 5	0,66	26	3,39	31	24,7
Bedhoogte 9	0,207	15	3,58	68	13,9
Bedhoogte13	0,227	51	10,4	8	5,19
Bedhoogte 17	0,385	11	4,24	6	5,34
Effluent calcietfiltratie	0,109	9	3,31	21	4,54
Effluent beluchtingstoren	0,151	710	6,56	190	13,6



Bijlage 5: Zeefanalyse van Aqua-TECHNIEK's Juraperle calciumcarbonaat (1 – 2 mm)

###	###	1275	1275	1275	1275	1275
D10	D5	D50	D60	D90	D95	UC
10%	5%	50%	60%	90%	95%	
µm	µm	µm	µm	µm	µm	
700	580	1300	1400	1800	1900	2.0
0,7	0,58	1,3	1,4	1,8	1,9	
600	450	1200	1300	1700	1700	2.2
0,6	0,45	1,2	1,3	1,7	1,7	
540	440	940	1000	1300	1400	1.9
0,54	0,44	0,94	1	1,3	1,4	



Bijlage 7: Behaalde resultaten tussen week 42 en 51

Weken	Week 42		Week 43	
Medium	Terug spoelsnelheid (bar) / (m/h)	Tijdsduur (minuten)	Terug spoelsnelheid (bar) / (m/h)	Tijdsduur (minuten)
Lucht	0,6	13 (10 minuten overlapping)	0,6	13 (10 minuten overlapping)
Water	10	20 (10 minuten overlapping)	5	20 (10 minuten overlapping)
(Extra stap)	Nee	Nee	10	5 NC 10 OC
Resultaten	Nieuw Calciet (NC)	Nieuw Calciet (OC)	Oud Calciet (NC)	Oud Calciet (OC)
Troebelheid vóór spoelen (NTU)	0,016	0,016	0,002	0,002
Sputtijd	37 min	40 min	20 min	1 h, 30 min
Spuiverlies (l)	246	366	198	900
Sample na lucht (NTU)	70,63	n.v.t	272	60,83
Sample 10 min (NTU)	141	456,33	974	237,7
Sample 20 min (NTU)	0,13	321	1,8	1,76
Sample 4 (NTU)	n.v.t	n.v.t	1,77	0,50
Sample 5 (NTU)			0,29	n.v.t
Expansie (%)	Niet meetbaar	Niet meetbaar	Niet meetbaar	Niet meetbaar
Periode tussen spoeling (dagen)	/	8	7	/
Spoelwater (l)	/	175	233,3	/
Bed volume (l)	n.v.t.	n.v.t.	76800	86400
Spoelwater verlies (%)	/	0,23	0,25	/
Spoelwater helder na spoeling	Ja	Nee	Ja	Nee
Bedhoogte vóór spoeling (cm)	205	198	179	196
Bedhoogte ná spoeling (cm)	205	194	177	189
Bijgevuld	Nee	Nee	Nee	Nee
Hoeveel zakken	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Filtratiesnelheid (m/h)	5,7	7,6 & 5,7	5,7	5,7
Bijzonderheden				

Weken	Week 44		Week 45	
Medium	Terug spoelsnelheid (bar) / (m/h)	Tijdsduur (minuten)	Terug spoelsnelheid (bar) / (m/h)	Tijdsduur (minuten)
Lucht	0,6	3	0,6	3
Water	5	15	10	15
(Extra stap)				
Resultaten	NC	OC	NC	OC
Troebelheid vóór spoelen (NTU)	0,043	0,061	0,003	0,008
Sputtijd	?	2 u, 30 min	?	5 u, 5 min
Spui volume (l)	?	1500	?	3050
Sample na lucht (NTU)	622,3	86,57	154,67	100,17
Sample 5 min (NTU)	107	109	45,97	556,67
Sample 10 min (NTU)	15,75	176	8,72	278,00
Sample 15 min (NTU)	1,98	159	1,10	242,67
Sample 20 min (NTU)	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Expansie (%)	Niet meetbaar	Niet meetbaar	Niet meetbaar	Niet meetbaar
Periode tussen spoeling (dagen)	1	2	8	5
Spoelwater (l)	87,45	87,45	250	250
Bed volume (l)	9334	18 794	65 800	36 600
Spoelwater verlies (%)	0,94	0,46	0,40	0,68
Spoelwater helder na spoeling	Ja	Nee	Ja	Nee
Bedhoogte vóór spoeling (cm)	222	221	213	210
Bedhoogte ná spoeling (cm)	215	213	215	206
Uitgespoelde calcië (gr)	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten	101,5
Hoeveel is uitgespoeld (cm)	Niet berekenbaar	Niet berekenbaar	Niet berekenbaar	0,047
Bijgevuld	Ja	Ja	Nee	Nee
Hoeveel zakken	1 ¼	1 ¾	n.v.t.	n.v.t.
Samples na net bijgevuld			n.v.t.	n.v.t.
Filtratiesnelheid (m/h)	7,6	7,6	7,6	7,6
Bijzonderheden*	Verkeerde kraan stond open → permeaat werd gemeten		Verkeerde kraan stond open → permeaat werd gemeten	Sputtijd te lang, wordt in december geoptimaliseerd

Weken	Week 46		Week 47	
Medium	Terug spoelsnelheid (bar) / (m/h)	Tijdsduur (minuten)	Terug spoelsnelheid (bar) / (m/h)	Tijdsduur (minuten)
Lucht	0,6	3	0,6	3
Water	15	15	20	15
(Extra stap)				
Resultaten	NC	OC	NC	OC
Troebelheid vóór spoelen (NTU)	0,013	0,005	0,008	0,008
Sputtijd	1 u, 12 min	1 u, 40 min	27 min	22 min
Spui volume (l)	720	1000	270	220
Sample na lucht (NTU)	38,13	142	82,27	203,67
Sample 5 min (NTU)	283,67	409	409	688,33
Sample 10 min (NTU)	171,67	244	77,27	161,33
Sample 15 min (NTU)	36,83	37,57	20,90	86,1
Sample 20 min (NTU)				
Expansie (%)	1,4	Niet meetbaar	5,14	3,05
Periode tussen spoeling (dagen)	7	7	6	7
Spoelwater (l)	262,5	262,5	350	350
Bed volume (l)	67200	68200	57837,6	
Spoelwater verlies (%)	0,39	0,38	0,61	0,52
Spoelwater helder na spoeling	Ja	Bijna	Ja	Bijna
Bedhoogte vóór spoeling (cm)	213	201	214	197
Bedhoogte ná spoeling (cm)	216	203	225	204
Hoeveelheid uitgespoeld (gr)	9	19	10	16,5
Hoeveel is uitgespoeld (cm)	0,042	0,089	0,047	0,08
Bijgevuld	Nee	Nee	Nee	Nee
Hoeveel zakken	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Samples na net bijgevuld	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Filtratiesnelheid (m/h)	7,6	7,6	7,6	7,6
Bijzonderheden	Bedhoogte is toegenomen → oriëntatie calciëet	Bedhoogte is toegenomen → oriëntatie calciëet	- Systeem is uitgevallen - Bed vergroot met 11 cm	Systeem is uitgevallen

Weken	Week 48		Week 49	
Medium	Terug spoelsnelheid (bar) / (m/h)		Terug spoelsnelheid (bar) / (m/h)	Tijdsduur (minuten)
Lucht	0,6		0,6	3
Water	10	25	10	20
<i>(Extra stap)</i>				
Extra informatie				
Resultaten	NC		OC	OC
Troebelheid vóór spoelen (NTU)	0,005	0,014	0,001	
Sputtijd (min)	56	16	19	
Spui volume (l)	560	160	190	
Sample na lucht (NTU)	187,33	470,33	269,00	379,33
Sample 5 min (NTU)	188,00	156,33	738,00	84,27
Sample 10 min (NTU)	301	16,58	139,67	15,68
Sample 15 min (NTU)	101,43	7,29	36,27	1,42
<i>Sample 20 min (NTU)</i>				
Periode tussen spoeling (dagen)	6	8	7	7
Spoelwater (l)	175		437,5	233
Bed volume (l)	4800		67200	67200
Spoelwater verlies (%)	0,36	0,61	0,65	0,37
Spoelwater helder na spoeling	Nee	Ja	Ja	Ja
Bedhoogte vóór spoeling (cm)	220	202	196	194
Bedhoogte ná spoeling (cm)	213	220	203	182
Hoeveelheid uitgespoeld (gr)	27,5	178,5	23,5	219
Hoeveel is uitgespoeld (cm)	0,13	0,8	0,011	0,01
Bijgevuld	Nee		Nee	Ja*
Hoeveel zakken	n.v.t		n.v.t.	
Filtratiesnelheid (m/h)	7,6		7,6	7,6
Bijzonderheden			Geen metingen door vullen	Gevuld na de meting

Weken	Week 50		Week 51	
Medium	Terug spoelsnelheid (bar) / (m/h)		Terug spoelsnelheid (bar) / (m/h)	Tijdsduur (minuten)
	NC	OC		
Lucht		0,6		3
Water		10		15
(Extra stap)				
Resultaten	NC		OC	OC
Troebelheid vóór spoelen (NTU)				
Sputtijd			10	21
Spui volume (l)			100	210
Sample na lucht (NTU)			495	259,33
Sample 5 min (NTU)			140	519,00
Sample 10 min (NTU)			35,7	92,07
Sample 15 min (NTU)			4,55	45,67
Sample 20 min (NTU)				
Periode tussen spoeling (dagen)			7	4
Spoelwater (l)			175	595,5
Bed volume (l)			67200	28800
Spoelwater verlies (%)			0,26	2
Spoelwater helder na spoeling			Ja	Ja
Bedhoogte vóór spoeling (cm)			177	170
Bedhoogte ná spoeling (cm)			171	178
Hoeveelheid uitgespoeld (gr)			70	176
Bijgevuld				
Hoeveel zakken				
Filtratiesnelheid (m/h)	7,6		7,6	
Bijzonderheden	Foutieve meting			

Bijlage 7: Plan van Aanpak

Plan van Aanpak Onderzoek naar terugspoelregiem calcielfilter

Ten behoeven van een nieuwe drinkwaterzuivering in Kamerik

Stagiair: Justus van Rijnbach

Docentbegeleider: Joop Slaa

Bedrijfsbegeleidster: Sara Ghanbari

Inlever datum: 11-10-2019

oaseo



Inhoud

Afkortinglijst	46
1. Achtergrond	47
1.1 – Oasen N.V.	47
1.2 – Theorie	47
1.2.1 – Terugspoelen	48
1.2.2 – Pilot	49
1.3 – Drinkwater eisen	49
2. Project doelstelling	50
3. Project aanpak	51
3.1 – Literatuur onderzoek	51
3.2 – Opzet pilot	51
3.3 – Opzet experimenten	52
3.3.1 Expansie:	52
3.3.2. Terugspoel debiet	52
3.3.3. Frequentie	54
3.3.4. Afram- en opram tijd:	54
3.3.5. Kolom vergelijking:	55
4. Project Grenzen	55
4.1 – Aannames:	55
5. Producten	56
6. Project organisatie	57
6.1 Betrokkenen van de Hogeschool Utrecht	57
6.2 Betrokkenen van Oasen N.V.	57
6.3 Communicatie	58
7. Tijdsplanning	58
7.1 – Algemene planning	58
7.2 – Pilot tijdsplanning	59
8. Risico Analyse	60
8.1 – Algemene risico's	60
8.2 – Risico's rondom de pilot	61
9. Bibliografie	62
Bijlage 1.	64
Bijlage 2.	65

Afkortinglijst

Ca^{2+}	–	Calcium ion
Ca	–	Calcium
CaCO_3	–	Calciet
CO_2	–	Koolstofdioxide
Demi water	–	Gedestilleerd water
H_2O	–	Water
HCO_3^-	–	Bicarbonaat ion
Mg	–	Magnesium
mm	–	Millimeter
NTU	–	Nephelometric Turbidity Unit
pH-waarde	–	Zuurtegraad
PI	–	Proces informatie
RO	–	Reverse Osmose

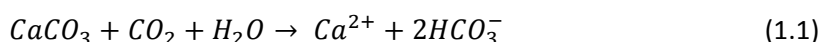
1. Achtergrond

1.1 – Oasen N.V.

Oasen N.V. is een maatschappelijk drinkwaterbedrijf dat sinds 1883 gevestigd is in Gouda. Het levert aan 21 gemeentes drinkwater. Het bedrijf heeft voor de periode van 2016 tot 2020 een missie en visie geformuleerd: 'Beter is Mogelijk'³.

Het hoofdkantoor van Oasen N.V. is gevestigd in Gouda, Nieuwe Gouwe O.Z. 3. Hier bevindt de onderzoeksafdeling en kunnen vergaderingen gehouden worden. Oasen N.V. heeft in Kamerik, 's-Gravensloot 36A, een proefhal gevestigd waar onderstaand onderzoek plaats vindt.

Tussen 2014 en 2016 heeft Oasen N.V. verschillende technologieën onderzocht die betrekking hebben op het zogeheten 'remineraliseren'. Hieronder verstaan we het toevoegen van essentiële mineralen aan gedestilleerd water. In vergelijking 1.1 is de reactie van remineraliseren, met betrekking tot het toevoegen van calcium ionen, geïllustreerd.



In deze periode werd gekeken welke techniek het beste scoorde op waterkwaliteit, robuustheid, duurzaamheid en kosten⁴. Uit dit onderzoek is gebleken dat het calciëfilter de beste techniek is om te remineraliseren. De techniek voldoet aan de waterkwaliteitseisen, is duurzaam en is per kuub water het goedkoopst.

Vervolgens is tussen 2017 – 2018 meer onderzoek gedaan naar deze pilot⁵. Met dit onderzoek werd het beste kinetische calcië oplossingsmodel onderzocht. Er werd gekeken naar de effecten van verschillende parameters zoals korrelgrootte, filtratiesnelheid en koolstofdioxide (CO₂) toevoer.

Uit beide onderzoeken is gebleken dat bij gebruik van een calciëfilter een terugspoelregime noodzakelijk is. Het onderstaande onderzoek is gericht op het terugspoelregime van het calciëfilter.

1.2 – Theorie

Osmose is een proces waarbij watermoleculen van een lage osmotische waarde naar een hoge osmotische waarde voortbewegen. Bij dit proces wordt er gebruik gemaakt van een semipermeabel membraan. Door dit membraan kan alleen water diffunderen en scheidt het zich van de opgeloste stoffen.

Bij Reverse Osmose, kortweg RO genoemd, wordt er een druk verschil opgebouwd. Door het opgebouwde drukverschil verplaatst het water zich van een hoge osmotische waarde naar een lage osmotische waarde. Bij het gebruik van deze techniek kan 95% tot 99% van de opgeloste stoffen verwijderd worden. Hierdoor blijft er permeaat over⁶. Uit dit permeaat zijn ook de mineralen verwijderd. Door de verwijdering van de mineralen bevat het permeaat een lage pH-waarde.

³ (Algemene informatie Oasen, 2019)

⁴ (Harmen van der Laan, Report: Optimal Remineralisation Technology, 2016)

⁵ (Ghanbari, Pilot Study - Calciëfiltratie, 2018)

⁶ (Osmose, 2019)

Om het permeaat drinkbaar te maken wordt het geremineraliseerd. Remineraliseren kan gedaan worden met behulp van een calcielfilter. Een calcielfilter is een filter dat gevuld is met calciet, calcium carbonaat (CaCO_3). Het permeaat stroomt langs het calciet bed waardoor het met elkaar reageert.

Voordat het permeaat door het filter gaat, kan er CO_2 bij toegevoegd worden. Door toevoeging van CO_2 wordt het permeaat agressiever. Wanneer er CO_2 aanwezig is kan er meer calcium opgenomen worden, zie vergelijking 1.1⁷. Het permeaat stroomt langs het calciet waardoor de pH-waarde toeneemt.

1.2.1 – Terugspoelen

Doordat het calciet opgenomen wordt door het permeaat neemt de korreldiameter af. Deze korrels kunnen de filterporiën, zie figuur 1, verstopen. Hierdoor ontstaat vervuiling en kan de waterkwaliteitseis overschreden worden. Om deze vervuiling moet er teruggespoeld worden.

Uit de praktijk is gebleken dat stoffen die een korreldiameter hebben $\leq 0,8$ mm in de filterporiën komen. Om het teruggespoelen te vereenvoudigen kan er teruggespoeld worden in combinatie van water en lucht. Door het toevoegen van lucht wordt de spoeling turbulent en verwijdt de deeltjes die zich in de filterporiën bevinden.



FIGUUR 1: FILTERPORIËN

Bed expansie ontstaat door teruggespoelen. Vergelijking 2.1 kan gebruikt worden om de expansie te berekenen⁸.

$$E = \frac{L_e - L_0}{L_0} \quad (2.1)$$

Hierbij is E de bed expansie, L_0 het daadwerkelijk filterbed (m) en L_e de bedhoogte na expansie (m). De porositeit (p_e) tijdens deze expansie kan berekend worden met de vergelijking 2.2.

$$p_e = \frac{p_0 + E}{1 + E} \quad (2.2)$$

Omdat er teruggespoeld moet worden ontstaat er een spoelwaterverlies. Dit spoelwaterverlies moet zo laag mogelijk gehouden worden. Het verlies aan spoelwater kan bepaald worden met vergelijking 2.3.

$$V_s = \frac{\phi_s}{t_s} \quad (2.3)$$

Hierbij is V_s de hoeveelheid spoelwater (m^3), ϕ_s het debiet van het teruggespoelen (m^3/h) en t_s de tijd van het teruggespoelen (h).

Het daadwerkelijke spoelwaterverlies, $V_{s,verlies}$ (%), kan bepaald worden met vergelijking 2.4.

$$V_{s,verlies} (\%) = \frac{V_s}{V_p} * 100\% \quad (2.4)$$

⁷ (Orly, Nadav, & Priel, 2013)

⁸ (Granular filtration)

Hierbij is V_p het permeaat volume (m^3) dat tussen twee achtereenvolgende spoelingen door het filter heeft gestroomd.

1.2.2 - Pilot

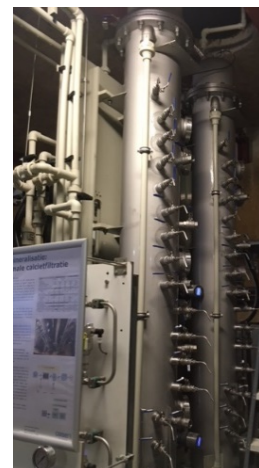
De kolom, zie figuur 1, bevat een oppervlakte van $0,079 m^2$ en een bedhoogte van 2,2 meter. Dit betekent dat er $0,17 m^3$ aan calciëet aanwezig is in de kolom. Om dit volume te bereiken is de kolom gevuld met 10 zakken calciëet van 25 kg. Dit betekent dat de kolom 250 kg calciëet bevat. Het calciëet heeft een dichtheid van $2700 kg/m^3$, wat betekent dat in de kolom $0,093 m^3$ calciëet bevat. Met vergelijking 2.5 kan de porositeit, p_0 , van het filterbed bepaald worden.

$$p_0 = 1 - \frac{V_{calciëet}}{V_{bed}} \quad (2.5)$$

Hierbij is $V_{calciëet}$ (m^3) de volume van het calciëet en V_{bed} het volume van het bed (m^3). Uit de praktijk is gebleken dat de porositeit $\leq 0,5$ is. In dit onderzoek is de porositeit 0,45.

Na een gebruikperiode moet het filter gespoeld worden om de kleine calciëet deeltjes te verwijderen. Het verwijderen kan worden gedaan met water en/of lucht.

Bij het terugspoelen kan er gekozen worden om het spoelmedium of -media in één keer door het calciëet bed te laten stromen of door dit geleidelijk op en af te bouwen. Als het debiet geleidelijk verhoogd c.q. verlaagd wordt kan het systeem zich hier aan aanpassen en ontstaat er minder verstoring in het bed. De tijdsduur om het debiet op te bouwen wordt opstart tijd genoemd en de tijdsduur om het afbouwen wordt stop tijd genoemd.



FIGUUR 2: CALCIËET PILOT

1.3 – Drinkwater eisen

In Nederland zijn er strenge eisen waaraan drinkwater moet voldoen. In tabel 1 zijn deze eisen te zien³.

TABEL 1: DRINKWATER EISEN BINNEN NEDERLAND EN OASEN N.V.

Parameter	Oasen N.V. drinkwater eisen	Nederland drinkwater eisen
Totale hardheid	1 mmol/L	> 1 mmol/L
Calcium	0,625 mmol/L	-
Magnesium	0,375 mmol/L	-
HCO_3^-	2 mmol/L	> 0,99 mmol/L
Troebelheid	$\leq 0,15$ NTU	≤ 1 NTU
pH	$7,8 < pH < 8,3$	$7,5 < pH < 9,5$

Tabel 1 laat zien dat de troebelheid in Nederland gelijk of lager moet zijn dan 1 NTU. Oasen N.V. heeft strengere eisen gesteld. Namelijk gelijk of lager dan 0,15 NTU.

2. Project doelstelling

Oasen N.V. verwijdert opgeloste stoffen dat zich in oppervlaktewater bevindt met behulp van reverse osmose. Bij het gebruiken van deze zuiveringstechniek worden ook mineralen verwijderd. Deze mineralen zijn essentieel in drinkwater. Het toevoegen van calcium ionen kan gedaan worden met hulp van een calcielfilter.

Bij het gebruiken van een calcielfilter kan de waterkwaliteitseisen, zie tabel 1, overschreden worden en kunnen de filterporiën verstopt raken. Om dit te vermijden is het van belang dat het filter terug gespoeld wordt.

Om deze terug spoeling goed in kaart te brengen moet de volgende vraag beantwoord worden

“Wat zijn de optimale spoelregime instellingen van het calcielfilter, waarbij de waterkwaliteitseisen van Oasen N.V. niet worden overschreden?”

Om deze hoofdvraag te kunnen beantwoorden, zijn er deelvragen opgesteld.

Een deel van deze vragen focust zich op het daadwerkelijke terugspoelregime, de andere deelvragen legt de nadruk op het calciel bed.

- Met welke frequentie wordt er teruggespoeld?
 - Waarmee wordt er teruggespoeld? Water, lucht of beiden?
 - Met welk debiet(en) wordt er teruggespoeld?
 - Wat is de optimale opram- en aframtijd?
 - Hoelang is de tijdsduur van een terugspoel actie?
 - Hoeveel water verlies ontstaat bij het terugspoelen? En welke stoffen bevinden zich in deze afvalstroom?
-
- Hoe ontstaat de biologische groei?
 - Wat is het effect van de biologische groei op het filtreren en hoe kan dit voorkomen worden?
 - Hoe kan de druk in het filter zo geminimaliseerd worden?
 - Wat is de grootte bed expansie na terugspoelen?
 - Zijn er gevolgen van de veroudering van het calcielfilter?

3. Project aanpak

3.1 – Literatuur onderzoek

Om het optimale terugspoelregime van de pilot te vinden, zijn de volgende artikelen bruikbaar.

In het artikel van Harmen van der Laan is vast te stellen dat wanneer de filtratiesnelheid 12 m/h is ingesteld er na 8 dagen de troebelheid is overschreden en dat er teruggespoeld moet worden². Het terugspoelregime, bestaande alleen uit water, had een op- en afram tijd van 20 minuten en stroomde met 35 m/h.

In een rapport van Oasen⁹ wordt een spoelregime beschreven, waar alleen water wordt gebruikt, dat na 20 minuten met een spoel snelheid van 25 m/h schoon is. Het is mogelijk dat met een lager debiet hetzelfde resultaat wordt behaald.

Een ander artikel¹⁰ beschrijft een ander spoelregime. Dit spoelregime bestaat uit drie delen. In het eerste gedeelte wordt gedurende 3 tot 5 minuten een luchtdebiet door het filter geblazen van 60 m/h. Hierna wordt er 5 tot 10 minuten met zowel water als met lucht gespoeld. Hierbij is het luchtdebiet 60 m/h en het waterdebiet 10 tot 12 m/h. Tijdens laatste fase wordt alleen gespoeld met water, voor 10 tot 15 minuten met een debiet van 15 tot 25 m/h. Dat het spoelen bestaat uit drie fases kan gebruikt worden in dit onderzoek. Echter wordt in dit onderzoek gebruik gemaakt van kleinere calcië korrels. Hierdoor moeten de instellingen van het huidige spoelregime aangepast worden.

In het boek Granular Filtration⁶ wordt beschreven dat uit de praktijk gebleken is dat terugspoelen met korrels die een diameter hebben van $\leq 0,8$ mm lastig wordt. Dit komt doordat kleine deeltjes de filterporiën sneller verstopen. Om dit probleem te vermijden wordt er aangeraden om terug te spoelen met lucht en zuurstof. Hierdoor ontstaat turbulente stroming waarmee deze deeltjes makkelijker van de filterporiën verwijderd worden.

In het artikel van Eyal Orly⁵ wordt een terugspoelregime besproken waarbij eerst 5 minuten met een luchtdebiet van 65 m/h in het filter wordt geblazen. Daarna 20 minuten spoelen op een waterdebiet van 36 m/h.

Het is onduidelijk of deze instellingen gebruikt kunnen worden voor dit onderzoek, omdat de korreldiameter niet beschreven wordt. Tevens zijn er bepaalde kenmerken van de proefopstelling die wel overeen komen met het artikel. Wanneer dit artikel vergeleken wordt met het artikel over Post-Treatment of Desalinated Water⁸ komen de debieten, waarbij alleen lucht in de filter wordt geblazen, wel met elkaar overeen. De aanname is dat er gewerkt werd met calcië dat ongeveer dezelfde grootte heeft.

3.2 – Opzet pilot

Er wordt gewerkt met de calcië filtratie pilot die op locatie Kamerik staat, zie figuur 2.

In figuur 2 is te zien dat aan beide kolommen meer dan 15 kraantjes zijn gemonteerd. Voor deze kraantjes zit een filter waardoor alleen het water doorheen kan stromen en niet het calcië. Uit deze kraantjes kunnen

⁹ (Dusseldorp, Jos, 2018)

¹⁰ (Lahav, Voutchkov, & Birnhack)



verschillende watermonsters gedaan worden. In figuur 2 is te zien dat er op verschillende hoogtes kijkkasten zitten. Vanuit deze kijkkasten wordt calcië toegevoegd of kan de eventuele expansie van het bed bepaald worden.

De kolommen worden geregeld met een monitor, zie figuur 3. Deze monitor geeft een algemeen beeld wat er afspeelt in het systeem. Het monitort het debiet, zuurtegraad, geleidbaarheid, temperatuur en troebelheid.

Aan de buitenkant van de kolommen bevinden zich nog meer meters. Deze meters monitoren de zuurtegraad, geleidbaarheid en troebelheid. Deze meters bevinden zich voor én na het permeaat door het calciëfilter stroomt. De metingen kunnen online via PI (Process Information) doorgestuurd worden naar het desbetreffende Excel sheet.

Boven in de kolom bevindt zich een sensor dat de bedhoogte meet. De manometer bevindt zich helemaal bovenaan de kolom.

Vervolgens wordt er gebruik gemaakt van het zogenaamde calcië; Aqua-TECHNIEK bv's AQUA-JURAPERLE JW Calcië (0,5 – 1,2 mm), dat een zuiverheid heeft van 99,1% (zie bijlage 1).

Bij het terugspoelen wordt via de 'AANSLUITING SPOELLUCHT' water terug in het filter gespoeld, zie figuur 4. Via een buis, 'BACKWASH DRAIN', stroomt het spoelwater uit het filter.

3.3 – Opzet experimenten

Bij de experimenten worden verschillende waterdebieten gebruikt dat wil zeggen kleiner dan 15 m/h, zie tabel 2. Met uitzondering op experiment 3.2.1 wordt er gewerkt met een debiet boven de 15 m/h. Volgens de theorie, zie bijlage 2, zal hier een bed expansie ontstaan. Bij de andere experimenten wordt er lucht gebruikt. Het luchtdebiet wordt constant gehouden op 60 m/h.

3.3.1 Expansie:

De expansie wordt bepaald bij verschillende debiet instelling, zie instellingen 1, 3, 5 tot en met 9 – zie tabel 2.

- De bedhoogte wordt eerst via de kijkglazen bepaald
- 10 minuten lang wordt bij het desbetreffende debiet de kolom terug gespoeld
- Na deze 10 minuten wordt de hoogte van het bed weer bepaald via het kijkkast

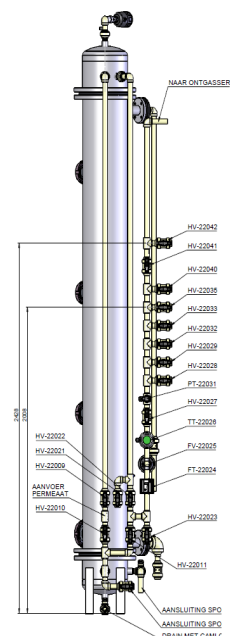
3.3.2. Terugspoel debiet

Omdat de instellingen van de kranen in m³/h zijn in plaats van m/h is in tabel 2 de conversie opgenomen die m/h naar m³/h berekend.

TABEL 2: DE TERUGSPOEL SNELHEDEN EN DE OMGEREKENDE DEBIETEN

Aantal instellingen	Terugspoel snelheid (m/h)	Daadwerkelijk debiet (m ³ /h)
---------------------	---------------------------	--

FIGUUR 3: MONITOR VAN DE PILOT



FIGUUR 4: SCHEMATISCHE TEKENING PILOT

1	5	0,35
2	8	0,56
3	10	0,70
4	12	0,84
5	15	1,05
6	20	1,4
7	25	1,75
8	30	2,1
9	35	2,45
10 (lucht)	60	4,20

3.3.2.1. Alleen water:

Om de verschillende manier van spoelen te meten worden bij de volgende waterdebieten gemeten:

- 0,35 m³/h, voor 40 minuten
- 0,56 m³/h, voor 35 minuten
- 0,70 m³/h, voor 30 minuten
- 0,84 m³/h, voor 25 minuten
- 1,05 m³/h, voor 20 minuten

3.3.2.2. Lucht en water:

Eerst wordt met lucht het calciëet losgemaakt, waarna het water het mee naar boven neemt:

- 1) Lucht: 4,2 m³/h, voor 3 minuten
2) Water: 0,35 m³/h, voor 30 minuten
- 1) Lucht: 4,2 m³/h, voor 3 minuten
2) Water: 0,56 m³/h, voor 25 minuten
- 1) Lucht: 4,2 m³/h, voor 3 minuten
2) Water: 0,70 m³/h, voor 20 minuten
- 1) Lucht: 4,2 m³/h, voor 5 minuten
2) Water: 0,35 m³/h, voor 30 minuten
- 1) Lucht: 4,2 m³/h, voor 5 minuten
2) Water: 0,56 m³/h, voor 25 minuten
- 1) Lucht: 4,2 m³/h, voor 5 minuten
2) Water: 0,70 m³/h, voor 20 minuten

3.3.2.3. Lucht met water:

Er wordt hier gespoeld waarbij eerst alleen lucht door het filter gaat. Hierna lucht en water. En als laatst alleen maar water. Er wordt altijd eerst met lucht gespoeld om het calciëet bed open te breken.

- 1) Lucht: 4,2 m³/h, voor 3 minuten
2) Lucht: 4,2 m³/h – Water: 0,35 m³/h, voor 10 minuten

3) Water: $0,70 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 10 minuten

- 1) Lucht: $4,2 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 3 minuten
2) Lucht: $4,2 \text{ m}^3/\text{h}$ – Water: $0,35 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 15 minuten
3) Water: $0,70 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 8 minuten
- 1) Lucht: $4,2 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 5 minuten
2) Lucht: $4,2 \text{ m}^3/\text{h}$ – Water: $0,35 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 10 minuten
3) Water: $0,70 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 5 minuten
- 1) Lucht: $4,2 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 5 minuten
2) Lucht: $4,2 \text{ m}^3/\text{h}$ – Water: $0,35 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 15 minuten
3) Water: $1,05 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 3 minuten
- 1) Lucht: $4,2 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 8 minuten
2) Lucht: $4,2 \text{ m}^3/\text{h}$ – Water: $0,35 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 10 minuten
3) Water: $0,70 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 5 minuten
- 1) Lucht: $4,2 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 8 minuten
2) Lucht: $4,2 \text{ m}^3/\text{h}$ – Water: $0,35 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 15 minuten
3) Water: $0,70 \text{ m}^3/\text{h}$, voor 3 minuten

3.3.3. Frequentie

Bij het experimenteren om de optimale spoelregime te vinden wordt als alle eerst de frequentie constant gehouden. Elke maandag wordt de filter gespoeld.

3.3.4. Afram- en opram tijd:

De debieten worden op de volgende verschillende manieren verhoogd.

3.2.3.1. Luchtdebiet:

- **Opram:** $0,14 \text{ m}^3/\text{h}$ per 10 seconde
Afram: $0,14 \text{ m}^3/\text{h}$ per 30 seconde
- **Opram:** $0,42 \text{ m}^3/\text{h}$ per 10 seconde
Afram: $0,42 \text{ m}^3/\text{h}$ per 20 seconde
- **Opram:** $0,84 \text{ m}^3/\text{h}$ per 10 seconde
Afram: $0,84 \text{ m}^3/\text{h}$ per 10 seconde

3.3.3.2. Waterdebiet

De volgende opram tijd geldt alleen bij de experimenten waar gewerkt wordt met een terugspoelsnelheid van $8 \text{ m}^3/\text{h}$ of hoger.

- 0,56 m³/h **Opram:** 0,1 m³/h per 10 seconde
 Afram: 0,1 m³/h per 20 seconde
- 0,7 m³/h: **Opram:** 0,05 m³/h per 10 seconde
 Afram: 0,05 m³/h per 15 seconde
- 0,84 m³/h: **Opram:** 0,21 m³/h per 20 seconde
 Afram: 0,21 m³/h per 25 seconde
- 1,05 m³/h: **Opram:** 0,15 m³/h per 15 seconde
 Afram: 0,15 m³/h per 30 seconde

3.3.5. Kolom vergelijking:

De kolommen resultaten van het spoelregime worden met beide kolommen vergeleken, kijken welk kolom betere resultaat heeft.

4. Project Grenzen

Bij de pilot zijn er verschillende meters aangesloten die de eigenschappen van het water meten. De zuurtegraad (pH-waarde), geleidbaarheid en troebelheid worden gemeten. Het aanwezige CO₂ in het water is een belangrijk parameter voor onder andere de zuurtegraad en geleidbaarheid. De periode, begin september 2019 tot eind januari 2020, is te kort om deze eigenschappen van het water te onderzoeken. Daarom wordt in dit onderzoek alleen de parameter troebelheid onderzocht.

Het eerste filter is sinds 2016 gevuld met calciet, dat per korrel een gemiddelde diameter bevat tussen de 0,5 en 1,2 mm. Het tweede filter bevat calciet, met dezelfde korrel grote, maar wordt pas op 25 september hiermee aangevuld.

Hierdoor kan er in duplo gemeten worden en kan er gekeken worden of er een verschil zit tussen een volledig nieuw filter en een oud filter.

Als laatst heeft de stagiair geen beperkingen en mag de stagiair alles meten. Wanneer een monster geanalyseerd moet worden, wordt er contact genomen met coördinator waterkwaliteit, zie tabel 2.

4.1 – Aannames:

Bij dit project kunnen de volgende aannames gedaan worden:

- Het water dat door de pilot stroomt, is eerst behandeld met RO. Het permeaat dat door het filter stroomt is puur - / demi water.
- In het project wordt gebruik gemaakt van Aqua-TECHNIEK bv's AQUA-JURAPERLE JW calciet. Dit calciet heeft een zuiverheid van 99,1 %. De diameter van het calciet ligt tussen de 0,5 en 1,2 mm. Dit is gekozen voor een betere contact oppervlakte.
- Het gewicht en dichtheid van het gebruikte calciet komt overeen met zand. Daarom heeft de leverancier, Aqua-techniek, de eigenschappen van dit zand doorgestuurd.

- Na een bepaalde periode neemt de pH-waarde van het geremineraliseerd water aanzienlijk af. Dit komt doordat er te weinig calciet opgenomen wordt door het RO permeaat en moet worden bijgevuld⁸.

5. Producten

Het eerste product dat ingeleverd wordt is het 'Student in Beroep of Bedrijf' (SBB) formulier. Dit wordt in week 36 ingeleverd bij de Hogeschool Utrecht. Het product is pas goed wanneer zowel de stagiair als de bedrijfsbegeleider het ondertekend heeft, ongeacht het antwoord, en het formulier op tijd is verstuurd.

Het tweede product is het plan van aanpak en wordt ingeleverd in week 38. Dit wordt ingeleverd bij de bedrijfsbegeleidster van Oasen N.V. en op de website OnStage.

Het plan van aanpak is pas een goed product als eruit voortkomt dat de opdracht goed wordt begrepen. Om te laten zien dat de opdracht wordt begrepen, wordt het onderzoeksvraag goed geformuleerd en is onderbouwd met deelvragen. Daarnaast wordt een duidelijke verhaal over de achtergrond informatie, de betrokkenen van het onderzoek en een planning geformuleerd. Wanneer het plan van aanpak toch niet voldoet aan de eisen wordt in week 40 eventuele feedback besproken en wordt de definitieve versie in week 41 ingeleverd. Wanneer dit nog steeds niet het geval is wordt met de docentbegeleider en de stagecoördinator een gesprek ingepland om de opdracht te bespreken.

Het derde product is het beheersysteem verslag. In dit product wordt er in globale richtlijnen de kwaliteitszorgsysteem van Oasen N.V. beschreven. De opdracht valt onder de Hogeschool Utrecht competentie 'Beheren en Coördineren'. Deze competentie wordt alleen afgenomen tijdens de stage en moet dus met een voldoende goed gekeurd worden. Als dit niet het geval is wordt de stage periode als onvoldoende beschouwd. Om dit te voorkomen staat in week 46 een meeting ingepland tussen de stagiair en de bedrijfsbegeleidster om dit product in goede banen te sturen. Het product wordt pas officieel beoordeeld aan het eind van de stageperiode.

Het vierde product is de presentatie dat gegeven wordt op de 'terugkomdag'. Bij deze terugkomdag wordt er gepresenteerd wat de voortgang is van de eerste 12 weken. Voordat de presentatie gehouden wordt, wordt er eerst besproken met de bedrijfsbegeleidster wat wel en niet besproken kan worden. Dit in verband met vertrouwelijkheid.

De presentatie is pas een goed product wanneer een duidelijk verhaal overgebracht wordt aan de studenten en docenten die bij de presentatie aanwezig zijn. Dit product wordt ingeleverd in week 48.

Het vijfde product is het eindverslag. In dit verslag staan alle acties, resultaten, discussie punten, uiteindelijk conclusie en aanbeveling. Het eindverslag wordt ingeleverd in week 3.

Het laatste product is de eindpresentatie. In deze presentatie worden de resultaten, discussiepunten en aanbevelingen van het onderzoek gepresenteerd. Bij de presentatie is het toegestaan om alles te vertellen omdat alleen collega's aanwezig zijn.

De presentatie neemt plaats in week 4.

6. Project organisatie

In de periode van 2 september 2019 tot 31 januari 2020 zijn bij dit project medewerkers vanuit de Hogeschool Utrecht, als Oasen N.V. betrokken.

6.1 Betrokkenen van de Hogeschool Utrecht

De stagecoördinator van de Hogeschool Utrecht is Jeroen van Gestel. Via meneer van Gestel worden alle stages van Hogeschool Utrecht, van Institute for Lifesciences Chemistry, geregeld. Meneer van Gestel heeft de opdracht 'Calcietfilter met terugspoel' goedgekeurd en heeft namens de Hogeschool Utrecht de docentbegeleider voor de periode aangewezen, Joop Slaa.

Joop Slaa is de docentbegeleider die namens de Hogeschool Utrecht de stagiair in de periode begin september 2019 tot eind januari 2020 begeleidt bij dit project. Via de website OnStage worden de producten bij de docentbegeleider ingeleverd.

6.2 Betrokkenen van Oasen N.V.

De bedrijfsbegeleidster is Sara Ghanbari. Bij mevrouw Ghanbari wordt tijdens dit project gerapporteerd en is de opdrachtgeefster van het onderzoek.

Ze heeft in 2017-2018 bij Oasen N.V. haar Master Thesis onderzoek gevolgd. In deze periode heeft ze de calcietfiltraat onderzocht en heeft veel achtergrond informatie op het onderwerp.

Heden werkt mevrouw Ghanbari bij Oasen N.V. op de afdeling onderzoek. Met de bedrijfsbegeleidster en de stagiair zijn elke woensdag, behalve in de periode 9 tot 20 september, meetings gepland om de stand van zaken te bespreken.

Daarnaast is Jos Dusseldorp werknemer bij OASEN en werkt op de afdeling onderzoek. In de periode 9 september tot 20 september zal de stagiair met meneer Dusseldorp het meest contact hebben in verband met het verlof van Sara Ghanbari. In deze periode zullen geen meetings plaatsvinden.

Mariëlla Beker is coördinator waterkwaliteit. Als er een monster geanalyseerd moet worden, wordt er met haar contact op gezocht. Als er geanalyseerd moet worden, moet er een week van tevoren contact met haar opgezocht worden.

In tabel 2 zijn de contact gegevens van de betrokkenen van het project.

TABEL 2: CONTACT GEGEVENS VAN BETROKKEN VAN HET ONDERZOEK

Naam	Functie	Email	Telefoonnummer
Jeroen van Gestel	Stage coördinator, docent	Jeroen.vangestel@hu.nl	+31 884818425 +31 638150647
Joop Slaa	Docentbegeleider, docent	Joop.slaa@hu.nl	+31 884818883 +31 614435567
Sara Ghanbari	Bedrijfsbegeleidster, afdeling onderzoek	Sara.ghanbari@oasen.nl	+31 654704632
Jos Dusseldorp	Medewerker, afdeling onderzoek	Jos.dusseldorp@oasen.nl	+31 630723022 +31 182593419
Mariëlla Beker	Coördinator Waterkwaliteit	Mariella.beker@oasen.nl	+31 182593382
Justus van Rijnbach	Stagiair, Student	Justus.van.rijnbach@oasen.nl / Justus.vanrijnbach@student.hu.nl	+31 637409331

6.3 Communicatie

Tijdens dit project wordt tussen de betrokkenen van de Hogeschool Utrecht, HU, contact met elkaar gelegd met behulp van de HU e-mailadressen. Als er een dringende vraag of noodgeval zijn kan er telefonisch contact gelegd worden. Daarnaast is het ook mogelijk om een gesprek op de Hogeschool Utrecht te plannen.

Op de website van OnStage worden de producten ingeleverd en gearchiveerd.

Bij Oasen N.V. bevindt het contact via de oasen e-mailadressen. In noodzakelijke gevallen de telefoonnummer die te vinden zijn in tabel 2.

De ingeleverde producten worden ingeleverd bij de bedrijfsbegeleidster. Daarnaast zullen meetings tussen de stagiair en bedrijfsbegeleidster elke woensdag plaatsvinden. Alleen in de tweede en derde week niet, dan kan er contact opgezocht worden met een medewerker.

Als laatst is er zowel met de Hogeschool Utrecht als Oasen N.V. een geheimhoudingsovereenkomst ondertekend.

7. Tijdsplanning

7.1 – Algemene planning

In tabel 3 is te zien welk product in welke week ingeleverd moet worden.

TABEL 3: OVERZICHT WELK PRODUCT WANNEER INGELEVERD MOET WORDEN

	Weken																			
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Producten	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3
SBB-formulier	X																			
Plan van Aanpak			X			X ¹⁾														
Beheer en Systeem verslag												X								
Presentatie													X ²⁾							X ³⁾
Eindverslag																			X	

In week A1 is te zien het SBB-formulier ingeleverd moet worden. Hier wordt gelijk aan gewerkt en ingeleverd.

In week A3 is te zien dat het plan van aanpak ingeleverd moet worden. Vanaf week A1 tot A3 wordt hier aan gewerkt door achtergrond informatie te vinden via het internet en het lezen van diverse artikelen. Als het plan van aanpak feedback krijgt, waardoor een tweede versie ingeleverd moet worden, wordt deze versie ingeleverd in week A6¹⁾. Het verbeteren van het plan van aanpak gebeurt in week A5 en A6.

Het beheer en systeem verslag moet ingeleverd worden voordat de docentbegeleider langs komt op de locatie. Het bezoek op locatie Woerden zal plaats nemen in week B4. In week B1 wordt op woensdag, 13 november, met de bedrijfsbegeleidster besproken over het beheersysteem opdracht. Wat in deze meeting wordt besproken, wordt verwerkt in week B1 en B2 en ingeleverd.

In de stageperiode dat 20 weken duurt zullen er twee presentaties gehouden. In week B3 wordt een presentatie gehouden op de Hogeschool Utrecht voor docenten en mede studenten²⁾. Bij de meeting op 20 november wordt er besproken wat er wel en niet verteld mag worden in deze presentatie. Dit in verband met geheimhoudingsplicht. De presentatie voorbereiden en oefenen nemen plaats in week B2 en B3.

De tweede presentatie is de eindpresentatie dat gehouden wordt op Oasen N.V., locatie Gouda, en neemt plaats in week B10³⁾. Hierin wordt er gepresenteerd wat de resultaten zijn van het onderzoek en de conclusie die hieruit getrokken kan worden. De aanwezige bij de presentatie zijn collega's en mag dus alles verteld worden. Week B9 en B10 worden besteed om de presentatie gereed te maken en voor te bereiden.

Als laatst wordt het eindverslag, zoals tabel 3 wordt aangegeven, ingeleverd in week B9. In dit eindverslag wordt alle literaire onderzoek, resultaten en de eindconclusie van het onderzoek in beschreven. Het format van het eindverslag wordt gemaakt in B6, waardoor in B7 tot B9 het volledige eindrapport geschreven wordt.

Als laatst als een speciale analyse gedaan moet worden, wordt er contact op gezocht met de coördinator waterkwaliteit, zie tabel 1. Het laten analyseren moet één week van tevoren aangegeven worden.

7.2 – Pilot tijdsplanning

In week A1 tot A3 wordt door het lezen van artikelen worden verschillende proeven bedacht waarmee gewerkt kan worden met de pilot. Vanaf week A4 wordt er gewerkt met de pilot. Hier is voor gekozen omdat de bedrijfsbegeleidster van 9 tot 20 september met verlof is. Na dit verlof zullen de eerste metingen gedaan worden op 25 september. Deze metingen worden gedaan onder toezicht, zodat het in goede banen zal verlopen. De metingen zullen doorgaan tot week B8 of B9, ligt aan de behaalde resultaat.

Op 25 september, A4, komt het bedrijf Logisticon langs. Logisticon heeft de pilot ontworpen. Logisticon gaat één filter, filter 1, volledig legen en deze aanvullen met calciet, dat per korrel een diameter bevat dat tussen de 0,5 en 1,2 mm ligt. De stagiair mag dit ook doen, alleen onder toezicht.

Aan de pilot zelf bevinden zich meters die continue de pH, troebelheid, temperatuur en geleidbaarheid monitoren. Deze zijn verbonden met het data base programma PI (Process Information). In week A4 wordt er gekeken naar het data programma of de meters correct monitoren. In week A6 wordt dit volledig aangesloten.

In dezelfde week wordt een deeltjes teller, genaamd PAMAS, aan de pilot geïnstalleerd. Deze apparatuur wordt gebruikt om te kijken welke deeltjes zich bevinden in het water voor en na de spoeling.

In tabel 3 is te zien wanneer welk experiment gedaan wordt.

TABEL 3: OVERZICHT TIJDSDUUR VAN ELK EXPERIMENT

	Weken																			
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Experimenten	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3
Expansie					X	X	X													
Terugspoel Debiet							X	X	X	X	X	X	X	X						
Op en afram tijd																X	X	X		
Frequentie											X	X	X	X	X	X	X	X		
Kolom vergelijking					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

Tabel 3 laat zien dat de eerste metingen beginnen in week A5. In week A5 wordt de expansie van het bed gemeten. Het meten van de expansie wordt gedaan volgens de manier die gehanteerd wordt in hoofdstuk 3.3.1. Het meten van de expansie duurt tot week A7.

Vervolgens beginnen de experimenten van het 'Terugspoel Debiet' eind week A6. Omdat er drie verschillende soorten terugspoel variaties gemeten worden, wordt er meer tijd vrij gemaakt om dit te onderzoeken. In hoofdstuk 3.3.2 zijn de instellingen van het debiet beschreven. Er wordt verwacht dat in week B5 het gewenste 'Terugspoel debiet' bepaald is. Nadat er voor enkele weken het optimale terugspoel debiet onderzocht is, wordt er ook gekeken naar de frequentie van het terugspoelen. De metingen van de frequentie van het spoelen begint in week B1 en eindigt wanneer de laatste metingen klaar zijn, week B8.

Daarnaast worden de laatste drie weken van het experimenteren, week 51 tot week 1, gefocust op de optimale op- en afram tijd. Om dit te bepalen moet eerst de optimale terugspoel debiet zijn bepaald.

Tot slot is te zien uit tabel 3 dat vanaf het begin van meten alle gemeten gegevens van de twee filterkolommen met elkaar worden vergeleken. Het vergelijken van de kolom begint in week 40 tot aan de eerste week van het nieuwe jaar.

8. Risico Analyse

8.1 – Algemene risico's

In de periode begin september '19 tot eind januari '20 wordt er verwacht dat de optimale instellingen van het terugspoelregime bepaald worden. Wanneer dit niet behaald wordt, moet dit in een later stadium nogmaals onderzocht worden, wat Oasen N.V. extra tijd en geld kost.

Om deze risico's te verkleinen worden resultaten uit de artikelen van (Harmen van der Laan, Info - Report: Optimal Remineralisation Technology, 2016) en (Dusseldorp, Jos, 2018) gebruikt als referentiepunt. Beide onderzoeken hebben plaats gevonden met deze pilot, met kleine verschillen in het gebruikte materiaal. Door deze onderzoeken als referentiepunt te gebruiken kan er gelijk een goede start gemaakt worden.

8.2 – Risico's rondom de pilot

Het is van belang dat als er gespoeld wordt met zowel water als lucht, dat het waterdebiet niet te hoog is ingesteld. Door de aanwezigheid van het luchtdebiet kan het water helemaal bovenaan komen in de kolom, waardoor de kolom kapot kan gaan. Als de pilot kapot gaat moet het onderzoek gestopt worden en kan de gewenste resultaat, de optimale terugspoelregime van de calciëfilter, niet behaald worden. Vervolgens moet de pilot gerepareerd worden door een monteur van Logisticon. Dit zijn onnodige extra kosten. Om dit te voorkomen wordt het luchtdebiet constant gehouden, 4,2 m³/h, en het waterdebiet onder de 1,05 m³/h.

Daarnaast kan een te hoge debiet(en) instelling ook zorgen dat onnodige hoeveelheid calcië uit de filter wordt gespoeld. Ook dit zijn extra kosten. De prijs van het calcië is €206,00 per ton. Eén zak AQUA-JURAPERLE JW van 25 kg kost €5,15.

Als er wordt bijgevuld, wordt dit altijd gedaan met twee personen. Dit in verband met dat de zakken te zwaar zijn om op hoogte veilig bij te vullen.

Tot slot is het van belang dat tijdens het vullen water in de kolom staat. Dit omdat de calcië korrels anders tegen elkaar worden geperst en klonten ontstaan. Hierdoor neemt de contact oppervlakte af en kan het calcië minder snel opgenomen worden.

Ook is het van belang dat er goed gekeken wordt wanneer er teruggespoeld moet worden. Dit omdat de waterkwaliteitseisen niet overschreden zullen worden. Als dit te laat wordt gedaan, neemt de vervuiling op de filterporiën toe. Hierdoor is het mogelijk dat zowel de troebelheid als de druk toeneemt. Als de druk toeneemt kost het meer energie om te filtreren.

Als de druk van de manometer af moet worden gelezen, moet er gewerkt worden op een trap.

Omdat er op hoogte gewerkt wordt is een helm verplicht.

9. Bibliografie

- Algemene informatie Oasen.* (2019, September 2). Opgehaald van Website algemene informatie Oasen: <https://www.oasen.nl/over-oasen>
- Dusseldorp, J. (2018). *Calcietfiltratie: Onderzoek bedrijfsvoering calcietfiltratie + kalkafzetting na remineralisatie*. Gouda: Oasen N.V. .
- Dusseldorp, Jos. (2018). *Onderzoek bedrijfsvoering calcietfiltratie + kalkafzettendheid na remineralisatie*. Gouda.
- Ghanbari, S. (2018, Januari 15). *Pilot Study - Calcietfiltratie*. Delft . Opgehaald van MSc_report: [file:///C:/Users/jrh/Onedrive%20-%20Oasen%20N.V/Desktop/Producten/Overig/Artikelen/20180202%20-%20MSc%20thesis%20Ghanbari%20Modelling%20Calcite%20Filtration%20\(FINAL%20version\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/jrh/Onedrive%20-%20Oasen%20N.V/Desktop/Producten/Overig/Artikelen/20180202%20-%20MSc%20thesis%20Ghanbari%20Modelling%20Calcite%20Filtration%20(FINAL%20version)%20(1).pdf)
- Ghanbari, S. (2018, Januari 15). *Pilot Study - Calcietfiltratie*. Opgehaald van MSc_report : [file:///C:/Users/jrh/Onedrive%20-%20Oasen%20N.V/Desktop/Producten/Overig/Artikelen/20180202%20-%20MSc%20thesis%20Ghanbari%20Modelling%20Calcite%20Filtration%20\(FINAL%20version\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/jrh/Onedrive%20-%20Oasen%20N.V/Desktop/Producten/Overig/Artikelen/20180202%20-%20MSc%20thesis%20Ghanbari%20Modelling%20Calcite%20Filtration%20(FINAL%20version)%20(1).pdf)
- Ghanbari, S. (2018). *Pilot study and modeling of remineralization of low-temperature desalinated water by calcite filtration*. Delft: TU Delft.
- Granular filtration. (sd). In *Granular filtration* (p. 102+). TU Delft. Opgehaald van Granular filtration: <https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/Granular-filtration-1.pdf>
- Harmen van der Laan, J. v. (2016). *Info - Report: Optimal Remineralisation Technology*. Opgehaald van Website - Report: Optimal Remineralisation Technology: <file:///C:/Users/jrh/Onedrive%20-%20Oasen%20N.V/Desktop/Producten/Overig/Artikelen/Remin%20Report%20-%20FINAL.pdf>
- Harmen van der Laan, J. v. (2016). *Report: Optimal Remineralisation Technology*. Kamerik. Opgehaald van Website - Report: Optimal Remineralisation Technology: <file:///C:/Users/jrh/Onedrive%20-%20Oasen%20N.V/Desktop/Producten/Overig/Artikelen/Remin%20Report%20-%20FINAL.pdf>
- Kawamura, S., Najm, I., & Gramith, K. (1997). Modifying a backwash trough to reduce media loss. *American Water Works Association*, 59.
- Lahav, O., Voutchkov, N., & Birnhack. (sd). Post-Treatment of Desalinated Water. In O. Lahav, N. Voutchkov, & Birnhack, *Post-Treatment of Desalinated Water* (p. 473+). Balaban Desalination Publications. Opgehaald van Post-Treatment of Desalinated Water: <file:///C:/Users/jrh/Onedrive%20-%20Oasen%20N.V/Desktop/Producten/Overig/Artikelen/post-treatment%20of%20desalinated%20water.pdf>

- Oasen N.V. (2016, Januari 15). *Oasen onderzoekt werking van zuiverende bodem bij oevergrondwater filtratie*. Opgeroepen op Februari 1, 2020, van Oasen: <https://www.oasen.nl/nieuws/oasen-onderzoekt-werking-van-zuiverende-bodem-bij-oevergrondwater-filtratie>
- Orly, E., Nadav, N., & Priel, M. (2013). *Model Economic Optimization Of The Remineralization Process*. Tianjin, China: IDA. Opgehaald van Model Economic Optimization Of The Remineralization Process: file:///C:/Users/jrh/Onedrive%20-%20Oasen%20N.V/Desktop/Producten/Overig/Artikelen/TIAN13-304%20remin%20modelling.pdf
- Osmose. (2019, September 5). Opgehaald van Algemene informatie Osmose: <https://www.lenntech.nl/bibliotheek/omgekeerde-osmose/watisro.htm>
- TU Delft. (2019, September 2). *Granular filtration Water Treatment*. Opgehaald van TU Delft: <https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/Granular-filtration-1.pdf>
- van Opijnen, J., Heidekamp, M., & van der Veldt, D. (2017). *Rapport Remineralisatie van RO permeaat*. Dordrecht : Evides.

Bijlage 1.

Aqua - TECHNIEK bv	Filtermedia for Watertreatment												
AQUA-JURAPERLE JW®	Aqua-Techniek B.V. P.O. Box 615 3235 ZJ Rockanje The Netherlands Phone : +31 181 40 46 00 Fax : +31 181 40 47 44 E-mail: info@aquatechniek.com http://www.aqua-techniek.com												
***** Voor: pH-correctie, verwijdering van koolzuur, opharding, ijzer- en mangaanverwijdering. *****													
1. Algemeen	Aqua-Juraperle JW is een korrelig filtermateriaal met een zuiverheid van 99,1% calcium carbonaat. Door zijn micro-kristallen structuur is het superieur aan gewone kalksteen. Aqua-Juraperle JW behoudt zijn activiteit voor pH-correctie zelfs na verwijdering van hoge concentraties van ijzer en mangaan.												
2. Toepassingen	a: Koolzuurverwijdering en opharding van zacht water b: Remineralisatie van destillaat en/of omgekeerde osmose c: Verwijdering van ijzer en mangaan												
3. Gewicht	Stortgewicht : 1,5 t/m³ Soortelijk gewicht : 2,7 g/cm³												
4. Korrelgrootte	1,0 – 2,0 mm, 1,2 – 1,8 mm, 1,8 – 2,5 mm, 2,5 – 4,0 mm. Andere maten op aanvraag.												
5. Analyse	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">CaCO₃</td> <td style="text-align: right;">99,1 %</td> </tr> <tr> <td>SiO₂ + Al₂O₃</td> <td style="text-align: right;">0,34 %</td> </tr> <tr> <td>Fe₂O₃</td> <td style="text-align: right;">0,039 %</td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td style="text-align: right;">-</td> </tr> <tr> <td>Mn</td> <td style="text-align: right;">-</td> </tr> <tr> <td>H₂O (110° C)</td> <td style="text-align: right;">0,04 %</td> </tr> </table>	CaCO ₃	99,1 %	SiO ₂ + Al ₂ O ₃	0,34 %	Fe ₂ O ₃	0,039 %	Cu	-	Mn	-	H ₂ O (110° C)	0,04 %
CaCO ₃	99,1 %												
SiO ₂ + Al ₂ O ₃	0,34 %												
Fe ₂ O ₃	0,039 %												
Cu	-												
Mn	-												
H ₂ O (110° C)	0,04 %												
6. Technische gegevens	a: Lading $\text{Specifieke lading: } S = \frac{\text{m}^3 \text{ water}}{\text{m}^3 \text{ Aqua-Juraperle JW/h}} = 1 - 10$ b: Filtersnelheid Open filters : 5 – 15 m/h. Gesloten filters : 30 m/h max.												

Bijlage 2.

