
4e Megalocatie Oasen

Ontwerp van een onthardingsinstallatie

CT5520 – Drinkwater 2



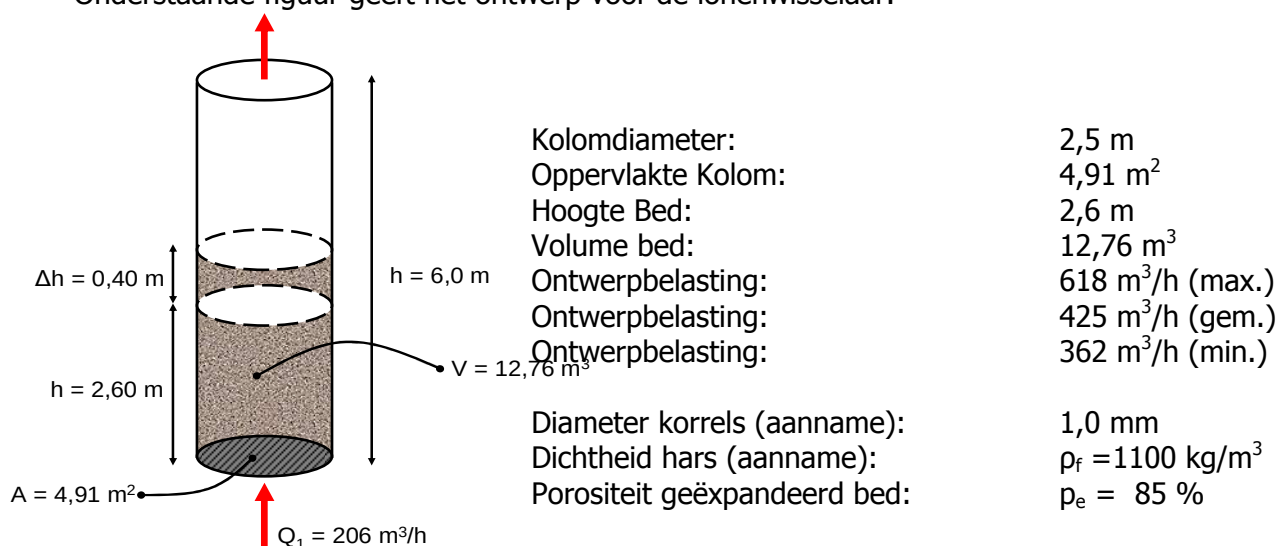
Heleen van der Vliet - 1177079
Marianne van der Griendt - 1026224

Samenvatting

Dit rapport bevat het ontwerp voor een onthardingsinstallatie op 'De Vierde Megalocatie' van het drinkwaterbedrijf OASEN. Deze vierde megalocatie zal in de toekomst 8,5 miljoen m³/jaar drinkwater produceren. De onthardingsinstallatie zal de hardheid van het water verlagen van 2,5 mmol/l tot 1,5 mmol/l.

Uit rapporten van Kiwa en DHV (zie literatuurlijst) blijkt dat een ionenwisselaar een goed alternatief is voor ontharding met pelletreactoren. Op basis hiervan is besloten om een onthardingsinstallatie te ontwerpen met een ionenwisselaar. Voor het ontwerp van 'de vierde megalocatie' is besloten om vier straten te bouwen, waarvan er steeds drie gebruikt worden. De vierde is voor onderhoud en regeneratie. Gedurende de projectfasering zijn nog niet alle straten nodig: Tijdens 'fase 1' (3 miljoen m³/jaar) zijn 2 ionenwisselaars nodig, tijdens 'fase 2' (6 miljoen m³/jaar) zijn 3 ionenwisselaars nodig. In de eindfase moeten er 4 in totaal aanwezig zijn.

Onderstaande figuur geeft het ontwerp voor de ionenwisselaar.



De ionwisselaar dient na verloop van tijd (circa 12 uur) geregenereerd te worden met NaCl. Tijdens regeneratie worden de harsbolletjes opnieuw opgeladen met Na-ionen. De regeneratievloeistof wordt gerecycled d.m.v. het toevoegen van Na₂CO₃. Hierdoor slaat CaCO₃ neer (precipitatie-installatie) en kan NaCl opnieuw gebruikt worden. Het verbruik van NaCl wordt hierdoor met circa 90 % verlaagd.

	Chemicalien	Zonder Recycling m3/week	Met recycling m3/week
IN	NaCl	33,75	5,4
UIT	CaCl2	19,85	0
IN	Na2CO3	0	18,9
UIT	CaCO3	0	33,5

De ionenwisselaar wordt in het proces ingevoegd voor de AC-filters. De opwaartse stroming in de ionenfilter wordt op deze manier gebruikt, zodat het water vervolgens onder vrij verval door de AC en UV richting de reinwaterkelder zal stromen.

De totale investering voor de ionenwisselaar wordt geschat op 780.000 euro. De jaarlijkse kosten (fase 3) bedragen circa 400.000 euro.

Inhoudsopgave

Samenvatting
Inhoudsopgave
Inleiding

1	Huidige Situatie	1
1.1	Inleiding	1
1.2	Station 'Lekkerkerk en station 'De Put'	1
1.3	Kwaliteitsgegevens	2
1.4	Capaciteit zuiveringsstation 'Lekkerkerk'.	3
1.5	Hydraulische lijn zuiveringsstation 'Lekkerkerk'	3
2	Alternatieven voor ontharding	4
2.1	Inleiding	4
2.2	Alternatieven voor ontharding	6
2.3	Afweging van alternatieven voor ontharding	7
2.4	Keuze uit alternatieven	9
3	Ionenwisseling als onthardingsstap	13
3.1	Wat is ionenwisseling?	13
3.2	Plaatsing Ionenwisselaar in proces	15
3.3	Type stroming door Ionenwisselaar	17
3.4	Processchema	18
3.5	Ontwerp	19
3.6	Natrium gehalte	20
3.7	Magnesium gehalte	21
3.8	Belastingen	22
3.9	Debietsturing	24
3.10	Weerstand Geëxpandeerd bed	25
3.11	Pompen	26
3.12	Dimensionering Pijpleidingen	27
4	Regeneratie	28
4.1	Wat is regeneratie?	28
4.2	Regeneratieproces	28
4.3	Uitwerking regeneratiestappen	29
4.4	Chemicaliën	31
5	Bedrijfsvoering	33
5.1	Fasering 1-2-3	33
5.2	Ionenwisseling	34
5.3	Regeneratie	35
6	Kosten	36
7	Conclusie en aanbevelingen	37
8	Literatuurlijst	38
Bijlage I	- Hydraulische lijn	39
Bijlage II	- Doorsnedes	40
Bijlage III	- Stroomschema	41
Bijlage IV	- Plattegrond	42
Bijlage V	- Deelstromen	43
Bijlage VI	- Regeneratiekosten	44

Inleiding

Het drinkwaterbedrijf OASEN overweegt om het drinkwater-zuiveringsstation 'Lekkerkerk' tot een 4^e megalocatie om te bouwen. Deze mega-locatie zal een uitbreiding zijn van de capaciteit en er zal ontharding worden toegevoegd aan het huidige zuiveringsproces.

Oasen heeft de TU Delft advies gevraagd om deze 4^e Megalocatie te realiseren. Men heeft een richtlijn gegeven voor het ontwerp, namelijk dat het project in 3 fases uitgevoerd moet kunnen worden. Tijdens de eerste fase zal alleen op 'Lekkerkerk' ontharding plaatsvinden, op dit moment verwerkt 'Lekkerkerk' ongeveer 3 miljoen m³. In de 2^e fase verhuist zuivering 'De Put' de actief kool en UV richting 'Lekkerkerk', ook voor dit water moet dan ontharding mogelijk zijn. In de 3^e fase wordt het zuiveringsstation 'Lekkerkerk' omgebouwd tot een 4^e megalocatie met een productiecapaciteit van 8,5 miljoen m³/jaar. Dit betekent uitbreiding van de filtercapaciteit en mogelijk uitbreiding van andere zuiveringsstappen.

In het kader van het vak 'CT5520 - Drinkwater 2' is deze ontwerpopdracht uitgewerkt. De rapportage heeft u op dit moment in handen. Hoofdstuk 1 behandelt de situatie op dit moment, hoofdstuk 2 geeft verschillende alternatieven voor ontharding. Op basis van een afweging tussen deze alternatieven hebben wij een ontwerp gemaakt van een ionenwisselaar. Uitleg en dimensionering van de ionenwisselaar wordt gegeven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 behandelt de regeneratie, waarna in hoofdstuk 5 de bedrijfsvoering behandeld wordt. Tenslotte wordt in hoofdstuk 6 een schatting gemaakt van de kosten.

In de bijlagen kunt u enkele schema's vinden en achtergrondinformatie die wij gebruikt hebben bij ons ontwerp.

- Marianne van der Griendt & Heleen van der Vliet -

1 Huidige Situatie

1.1 Inleiding

Sinds 1883 wordt er drinkwater geleverd aan Gouda. De uitbraak van Cholera noodzaakte de gemeenteraad om het water uit de IJssel te zuiveren, daarom werd de Goudse Waterleiding Maatschappij opgericht. Op dit moment levert het drinkwaterbedrijf OASEN drinkwater aan 320.000 aansluitingen in regio Zuid-West van Zuid Holland. Dit komt neer op 47 miljoen m³ drinkwater per jaar. Het drinkwater is oevergrond-filtratiewater vanuit de rivier 'de Lek'. Dit water wordt opgepompt door 3 mega-locaties en verschillende andere kleine stations. Het water vanaf de megalocaties wordt getransporteerd naar het Noorden, de kleine zuiveringsstations leveren aan het omliggende gebied.

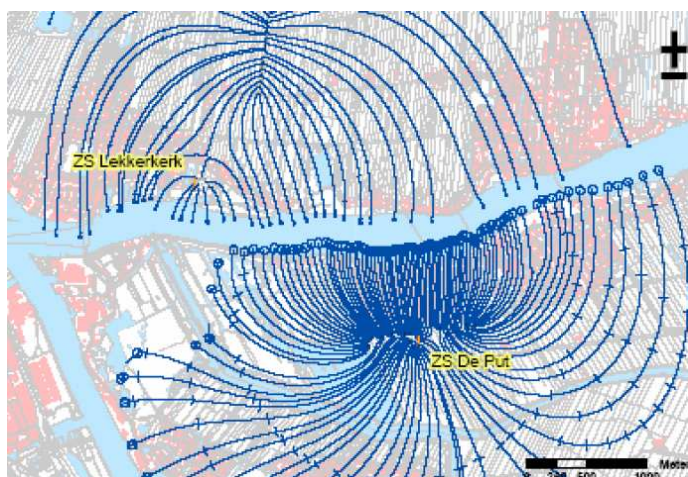
OASEN overweegt de bouw van een vierde megalocatie waardoor 'de slagader' (de leiding richting het noorden) ontlast kan worden. De vierde megalocatie zal een uitbreiding zijn van het station 'Lekkerkerk', maar ook op termijn een samenvoeging van station 'De put' en station 'Lekkerkerk'. In dit zuiveringsstation zal ook ontharding moeten plaatsvinden, de concentraties van calcium en magnesium bevinden zich rond de toegestane bovengrens.



Figuur 1-1 Leveringsgebied Oasen

1.2 Station 'Lekkerkerk' en station 'De Put'

Het zuiveringsstation 'Lekkerkerk' heeft 28 waterwinputten op Schuwacht (nabij het station) en op Tiendweg. Dit water wordt getransporteerd naar de filtratiebedden. Het filtratiebed (droog) bestaat uit een voorfilter en een nafilter met beluchting. Door de hoge concentratie NH_4^+ zijn er 2 filtratiestappen nodig. Ook in de waterwinputten wordt het water reeds belucht. Hierdoor wordt het proces van nitrificatie versneld. Tijdens deze filtratiestappen wordt NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} voldoende verwijderd. Na de filters komt het water in een filtratiekelder, deze dient als buffer voor de actief-kool-filtratie. (zodat de pompen niet droogvallen) Tijdens deze filtratiestap worden bestrijdingsmiddelen, medicijnen en andere (smaak)stoffen verwijderd. Door vervolgens een UV-desinfectie toe te passen is het water vrij van micro-organismen. Het water wordt getransporteerd naar de reinwaterkelder en is klaar voor gebruik. Het zuiveringsstation 'de Put' werkt vergelijkbaar met 'Lekkerkerk', het zuiveringsstation is echter niet uit te breiden door ruimtegebrek. Daarom zal in de toekomst het water op een andere locatie gezuiverd moeten worden.



Figuur 1-2 Winputten Lekkerkerk en de Put

1.3 Kwaliteitsgegevens

Onderstaande tabel geeft de kwaliteitsgegevens weer van het ruwe water op het zuiveringsstation 'De Put' en 'Lekkerkerk'. Hieruit blijkt dat het zuurstofgehalte van het water te laag is, de concentratie ammonium, ijzer en mangaan is te hoog. Deze stoffen worden verwijderd door het filtratiebed. De beluchters hierbij verhogen de concentratie zuurstof.

De hardheid van het water wordt bepaald door de concentratie calcium en magnesium. De hardheid bevindt zich aan de bovengrens. Vooral de calciumconcentratie moet verlaagd worden. OASEN wil dit realiseren door een onthardingsstap in te voegen.

Tabel 1-1 Waterkwaliteitsgegevens

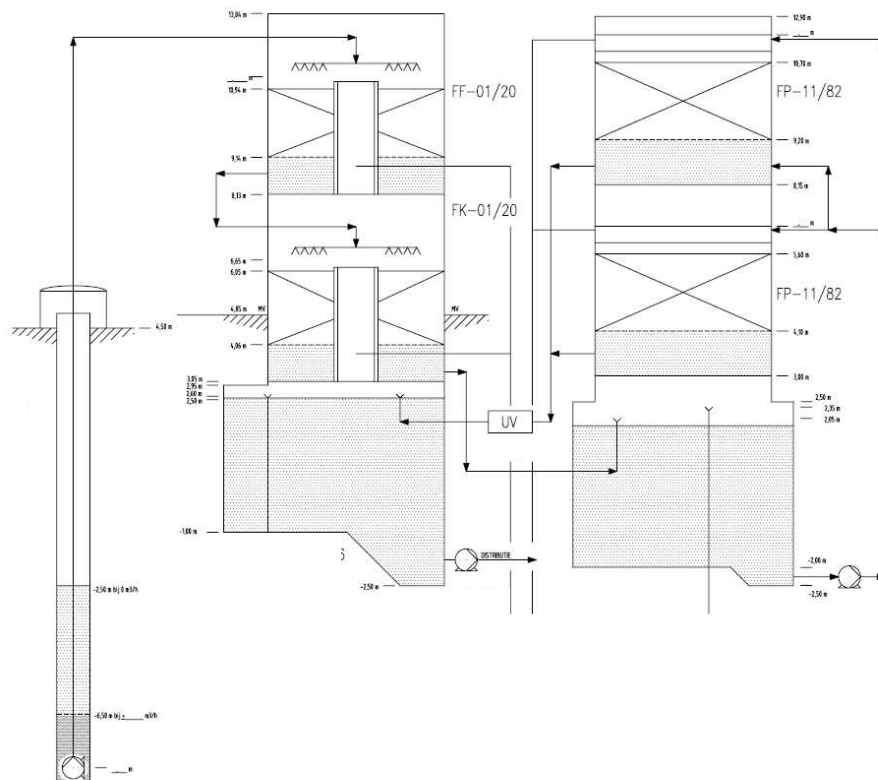
		Norm		Influent		
		min	max	DE PUT	Schuwacht	Tiendweg
Temperatuur	oC		25	12,3	12	12
Zuurstof	mg/l O ₂	2		<0,5	<0,5	<0,5
Troebelingsgraad	FTE		1			
Zuurgraad	pH	7	9.5	7,34	7,3	7,24
Saturatie-index	SI	-0,2				
EGV	mS/m		125	68,4	70,6	74,7
HCO ₃	mg/l	60		241	233	224
Cl	mg/l		150	94,5	101	121
SO ₄	mg/l		150			
NH ₄	mg/l		0,2	5,9	1,86	5,09
NO ₂	mg/l		0,1			
NO ₃	mg/l		50			
TOC	mg/l					
Na	mg/l		200	46,5	56,8	63,2
Hardheid	mmol/l	1	2,5	2,5	2,5	2,5
Fe	mg/l		0,2	2,68	3,12	5,25
Ca	mg/l			80,3	81,7	81,2
Mg	mg/l			10,6	11,2	10,7
Mn	mg/l		0,5	0,336	0,869	0,598

1.4 Capaciteit zuiveringsstation 'Lekkerkerk'.

De oppervlakte van de filters bedraagt $8 \times 18 \text{ m}^2$ en zijn gedimensioneerd op een debiet van 50 a 60 m^3/uur . Het maximale debiet per jaar bedraagt dan 4,2 miljoen m^3/jaar . Het filtergebouw is in goede staat. De capaciteit van het AC-filter is ruim voldoende, op dit moment bedraagt de contacttijd 40 minuten. Bij uitbreiding naar 8,5 miljoen m^3/jaar , zal de contacttijd circa 15 minuten bedragen. Het AC-gebouw is in goede staat, in dit gebouw bevinden zich ook 2 UV-filters. Bij sluiting van 'De Put' zullen deze UV-filters uitgebreid moeten worden. Bij de bouw van de rein-water-kelder is een fout gemaakt: De kelder kan niet leeg worden gepompt wegens gevaar voor opdrijven. Bij uitbreiding tot een megalocatie zal deze kelder moeten worden vergroot. Het is ook een optie om een reservoir toe te voegen aan het leidingnetwerk.

1.5 Hydraulische lijn zuiveringsstation 'Lekkerkerk'

Figuur 1-3 laat de hydraulische lijn zien van het zuiveringstation Lekkerkerk. Het water wordt opgepompt tot 12 meter hoogte, vanaf hier loopt het over het filterbed (rood) onder zwaartekracht richting de filtratiekelder (licht groen). Hier wordt het omhoog gepompt richting de actief-kool-filters (lichtblauw), vanaf hier loopt het water weer onder zwaartekracht door de UV-filters (paars) tot de Rein Water Kelder. (donker blauw). Het vloerniveau van beide kelders ligt op -2.0 meter.



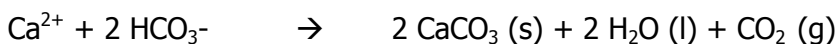
Figuur 1-3 Hydraulische schema

2 Alternatieven voor ontharding

2.1 Inleiding

De hardheid van het water wordt bepaald door de aanwezigheid van Calcium en Magnesium. In natuurlijk water is het Magnesiumgehalte bijna altijd beperkt ($< 0,5$ mmol/l), daardoor is voornamelijk het Calciumgehalte van belang. Drinkwater is bij voorkeur 'zacht'. De aanbevolen hardheid is ongeveer 1,5 mmol/l. Bij deze hardheid geeft het zachte water geen neerslag in het distributienet, bij de pompen, de wasmachine, de douches en de geiser.

De kalkaanslag wordt veroorzaakt door het verwarmen van het water. De volgende reactie vindt plaats:



Voordeel van een lage hardheid is een verminderd gebruik van fosfaten in wasmiddelen. De fosfaten in wasmiddel worden toegevoegd om de neerslag van CaCO_3 te verminderen.

Bij het ontharden moet erop worden toegezien dat het bicarbonaatgehalte (HCO_3^-) niet te sterk wordt verlaagd. Bicarbonaat zorgt voor een stabiele waterkwaliteit (buffer), waardoor de pH van het water weinig verandert. Een lage hardheid correspondeert met een hoge pH. Deze hoge pH zorgt voor een lagere koper- en loodoplossend vermogen van het water. Met deze pH, zal het water uit de kraan minder zware metalen bevatten en het distributienetwerk aantasten.

Volgens de Nederlandse wet is het niet toegestaan om het drinkwater verder te ontharden dan 1,0 mmol/l. Een lagere hardheid dan deze waarde brengt risico's voor de volksgezondheid met zich mee. De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) wordt in een concept-guideline een optimale hardheid van drinkwater van 2 tot 4 mmol/l geadviseerd. Dit advies is tot stand gekomen naar aanleiding van studies naar het verband tussen de hardheid van drinkwater en het voorkomen van hart- en vaatziekten. De aandacht van de WHO voor de hardheid van drinkwater wordt veroorzaakt doordat wereldwijd steeds meer ontziltingsinstallaties worden toegepast, bij deze techniek wordt water met een ultra lage hardheid geproduceerd wat mogelijk risico's inhoudt voor de volksgezondheid.

In de Nederlandse drinkwatersector is het standpunt bepaald om het huidige beleid ten aanzien van ontharding te handhaven, achtergrond van dit standpunt is: De door WHO geadviseerde bandbreedte is 'optimaal', bij de gangbare waarde voor hardheid in Nederland treden geen acute gezondheidsrisico's op.

Het is niet gewenst om Magnesium te verwijderen uit het water. Onderzoek heeft uitgewezen dat Magnesium een groter effect dan Calcium heeft bij het voorkomen van hart- en vaatziekten. Bij nanofiltratie en ionenwisselaars wordt totale aandeel aan Magnesium verwijderd. Dit is niet wenselijk. Bij ontharding wordt alleen calcium uit het water verwijderd, terwijl bij ontziltinginstallaties ook het magnesium wordt verwijderd.

In het onderzoek is geen rekening gehouden met voedingspatronen, zoals bijvoorbeeld het feit dat in Nederland veel melk gedronken wordt. Melk bevat namelijk ook veel calcium en magnesium, zodat de hardheid in Nederland niet zo hoog hoeft te zijn zoals de WHO adviseert.

Om in het zuiveringsproces van drinkwater de hardheid te verlagen moet een onthardingsstap worden toegevoegd aan het proces.

Naar aanleiding van de kwaliteitgegevens van het ruwwater uit 2005 kan worden geconcludeerd dat het water van de locaties de Put en Tiendweg niet onthard hoeft te worden aangezien de hardheid respectievelijk 2,45 en 2,49 mmol/l bedraagt. Deze waarden liggen beneden de maximum toelaatbare waarde van 2,5 mmol/l. Op de locatie de Schuwacht is de waarde voor de hardheid 2,51 mmol/l, dit is net boven de maximaal toelaatbare waarde. Er kan dus geconcludeerd worden dat een ontharding op ZS Lekkerkerk (locatie Tiendweg en Schuwacht) niet noodzakelijk is op basis van de gegevens uit 2005, de totale hardheid van het gecombineerde ruwe water is 2,5 mmol/l. Bij de toevoeging van locatie de Put aan ZS Lekkerkerk neemt de totale hardheid nog verder af tot 2,48 mmol/l.

Een lagere hardheid (1,5 mmol/l) is echter wel wenselijk, het is namelijk beter voor de waterkwaliteit, het milieu en huishoudelijke apparaten. Op basis van dit gegeven is het noodzakelijk om een onthardingsinstallatie aan de zuivering toe te voegen.

Normering in Nederland – ontwerpisen

In het Waterleidingbesluit Bijlage A staat vermeld aan welke eisen het water dient te voldoen. In het geval van een ontaardingsinstallatie zijn de volgende eisen van toepassing.

- pH:
Standaard : 7,0 < pH < 9,5
Richtlijn : 8,0 < pH < 8,3
- Hardheid
Standaard : 1,5 mmol/l
Richtlijn : 1,5 < hardheid < 2,5 mmol/l
- Hydrogen Carbonate
Standaard : -
Richtlijn : > 2 mmol/l
- Sodium concentratie
Standaard : max. = 120 mg/l
Richtlijn : zo laag als mogelijk.
- Natrium concentratie
WLB : < 150 mg/l

2.2 Alternatieven voor ontharding

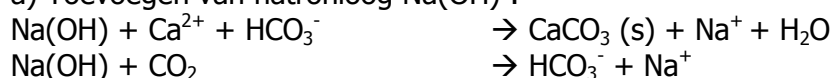
Het ontharden van water kan op verschillende manieren plaatsvinden in het zuiveringsproces. De verschillende methoden zullen kort worden toegelicht:

1. Korrelreactor
2. Beïnvloeden van het kalk-koolzuur-evenwicht
3. Membraanfiltratie
4. Ionenwisselaar

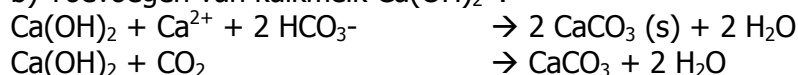
1. Korrelreactor

Door het toevoegen van een extra stof, vinden er verschillende reacties plaats in een korrelreactor. Deze reacties zullen voor al de drie gevallen worden weergegeven:

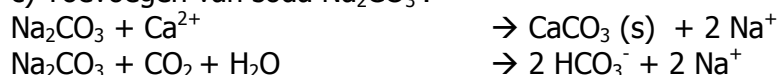
a) Toevoegen van natronloog $\text{Na}(\text{OH})$:



b) Toevoegen van kalkmelk $\text{Ca}(\text{OH})_2$:



c) Toevoegen van soda Na_2CO_3 :

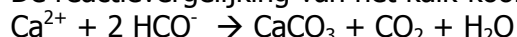


Deze stoffen worden onder in onderin de reactor toegevoegd. Daar kan de CaCO_3 neerslaan op bijvoorbeeld zandkorrels of ander entmateriaal.

Een bijkomend effect van het doseren van een base zoals natronloog, kalkmelk of soda, is dat koolzuur wordt omgezet in bicarbonaat HCO_3^- . Voor alle drie reacties geldt dat door het toevoegen van een base, de pH wordt verhoogd, er treedt ontzuring op. Het koolzuurevenwicht verplaatst zich dan.

2. Beïnvloeden van kalk-koolzuur-evenwicht

De reactievergelijking van het kalk-koolzuurevenwicht is als volgt:



Het kalk-koolzuurevenwicht kan licht verschuiven door het toevoegen van een base zoals natronloog, kalkmelk of soda. Deze verschuiving kan worden versterkt door het toepassen van extra verwijdering van CO_2 uit het water. De reactie die daarop volgt, is dat het evenwicht sterker naar rechts verschuift en er dus meer CaCO_3 (kalk) zal gaan neerslaan.

Het verwijderen van CO_2 , kan plaatsvinden door het water lange tijd te beluchten of te verhitten.

3. Membraanfiltratie

Bij membraanfiltratie wordt water onder hoge druk door een miniscuul dun filter geperst. De poriën van het filtermembraan wordt zodanig gekozen dat het deeltjes kan tegenhouden en water kan laten passeren. Door het toepassen van deze techniek op juiste wijze kunnen opgeloste ionen zoals Ca^{2+} en Mg^{2+} worden tegenhouden en worden afgescheiden van het water. Deze fijnste techniek heet nanofiltratie. Het verwijderen van deze ionen resulteert in verlaging van de hardheid van het water. Nanofiltratie is nog steeds in ontwikkeling.

De efficiëncie van nanofiltratie bedraagt 90% voor pesticiden, 90 % voor DOC, 90% voor hardheid (Ca^{2+} , Mg^{2+}), 90 % voor zouten. Het rendement voor desinfectie bedraagt 99,99 %.

4. Ionenwisselaar

Ionenwisselaars zijn kolommen gevuld met bolletjes van kunsthars die ongewenste ionen uit een vloeistof (normaal gesproken water) kunnen verwijderen door ze uit te wisselen tegen andere ionen. De vloeistof wordt over een met bolletjes ionenwisselaarhars gevulde kolom geperst. De ongewenste ionen in de vloeistof wisselen met de ionen die op de drager gehecht zijn. Er wordt gewisseld met gelijkwaardige elektronvalenties, zo zal Ca^{2+} op de drager door 2 H^+ worden gewisseld. Het zuiveringsrendement is sterk afhankelijk van het type ionenwisselaar en de gebruikte harssoorten.

De ionenwisselaar kan na gebruik worden geregenereerd door de harsbolletjes te spoelen met een regeneratievloeistof, deze bevat een hoge concentratie regeneratiemiddel (zout, zoutzuur of natronloog) met een bepaalde pH. Het type regeneratiemiddel is afhankelijk van het type ionenwisselaar. Door na te spoelen met behandeld water wordt restvervuiling verwijderd en is de ionenwisselaar weer geschikt voor gebruik.

Een bekend type ionenwisselaar is de waterontharder, bijvoorbeeld in een aquarium of een afwasmachine. Een andere toepassing bevindt zich in de industrie. Voor het verkrijgen van zeer zuiver water (ultrapuur water genoemd), bijvoorbeeld voedingwater voor het maken van stoom, wordt een demineralisatie-installatie toegepast. Een veel toegepaste versie is als volgt samengesteld:

2.3 Afweging van alternatieven voor ontharding

De onthardingsstap duurt relatief lang, daarom is de plaats in het zuiveringsproces zeer belangrijk. Wanneer na de ontharding een snelfiltratie volgt, kan de na-ontharding plaatsvinden in het filterbed. Wanneer deze stap niet zou worden toegevoegd, vindt de na-ontharding plaats in het distributienetwerk. Dit moet voorkomen worden. In deze paragraaf worden de voor en nadelen van de verschillende methodes besproken.

1. Korrelreactor

Op moleculaire basis zijn er een aantal verschillen tussen de drie bases in het verbruik en het reactieproduct. Daarbij wordt gekeken naar de hoeveelheid toe te voegen base om de hardheid te verlagen (ΔCa^{2+}). Het totale verbruik / vorming van bicarbonaat (HCO_3^-). De vorming van kalkafzetting CaCO_3 (s) en de vorming van Natrium Na^+ tijdens de optredende reactie.

Tabel 2-1 Verbruik en reactieproducten

	NaOH Natronloog	Ca(OH) ₂ Kalkmelk	Na ₂ CO ₃ Soda
Ontharden			
CO ₂	0	0	0
HCO ₃ ⁻	-1	-2	0
Ca ²⁺	-1	-1	-1
Na ⁺	1	0	2
	NaOH Natronloog	Ca(OH) ₂ Kalkmelk	Na ₂ CO ₃ Soda
Ontzuren			
CO ₂	-1	-2	-1
HCO ₃ ⁻	1	2	2
Ca ²⁺	0	1	0
Na ⁺	1	0	2

Hieruit blijkt dat door het toevoegen van Soda, zeer veel Na⁺ aan het water wordt toegevoegd. Om 1 mol Ca²⁺ te verwijderen, wordt 2 mol (= 46 gram) Na⁺ aan het water toegevoegd. De natrium-concentratie blijft dan welliswaar binnen de normen, maar wordt wel verdubbeld. Uit de vergelijking met kalkmelk en natronloog blijkt dat natronloog het beste is.

Kalk is als chemicaliën goedkoper dan natronloog, maar de doseerinstallatie is gecompliceerder, waardoor de aanschaf duurder is.

2. Beïnvloeden van Kalk-koolzuurevenwicht

Met het uitdrijven van CO₂ door beluchting of verwarming als enige onthardingsstap kan geen gewenst hardheid van 1,5 mmol/l worden bereikt.

3. Membraanreactor

Het voordeel van een membraanreactor is dat *alle* stoffen uit het water worden gehaald. Dit is tegelijkertijd ook het nadeel. Het is goed voor de volksgezondheid dat er bepaalde stoffen in het water aanwezig zijn.

Verder is er een geconcentreerde reststroom aanwezig die óf teruggeloozd zal moeten worden, óf verder gezuiverd zal moeten worden. Deze reststroom bedraagt circa 20% van het influent en is dus 5 maal geconcentreerder dan het influent. Oasen wil een capaciteit bereiken die precies aan de vergunningen voldoet. Voor deze optie zal óf de vergunning moeten worden uitgebreid, of de reststroom zal verder gezuiverd moeten worden.

4. Ionenwisselaar

Het rendement van een ionenwisselaar bedraagt 60% voor NOM-stoffen, 70-85% voor Calcium en 30-55% voor Magnesium. (Haalbaarheidsstudie van Kiwa, 2006) Het rendement voor ontharding neemt echter binnen 2 weken af naar 0%. Op dat moment moet de ionenwisselaar geregenereerd worden met een regeneratievloestof, bijvoorbeeld NaCl.

Een ionenwisselaar is goedkoper dan een membraanreactor. Doordat er echter regelmatig regeneratie nodig is, ligt het rendement van ontharden uiteindelijk lager dan bovengenoemde waardes.

Een groot voordeel van de ionenwisselaar is dat elke hardheid bereikt kan worden, zelfs een hardheid van 0 is mogelijk. In dat geval zou er een deelstroom door de ionenwisselaar moeten gaan, de restflow kan dan omgeleid worden.

2.4 Keuze uit alternatieven

Voor de uitbreiding van het zuiveringsstation Lekkerkerk tot een 4^e megalocatie, zijn er 4 alternatieven voor ontharding. Deze zullen in de volgende paragrafen behandeld worden.

- An-aeroobe ontharding d.m.v. een korrelreactor
- Aeroobe ontharding d.m.v. een korrelreactor
- Gesplitste zuivering: membraanreactor + conventionele zuiveringsmethode van Lekkerkerk.
- Gesplitste zuivering: ionenwisselaar + conventionele zuiveringsmethode van Lekkerkerk.

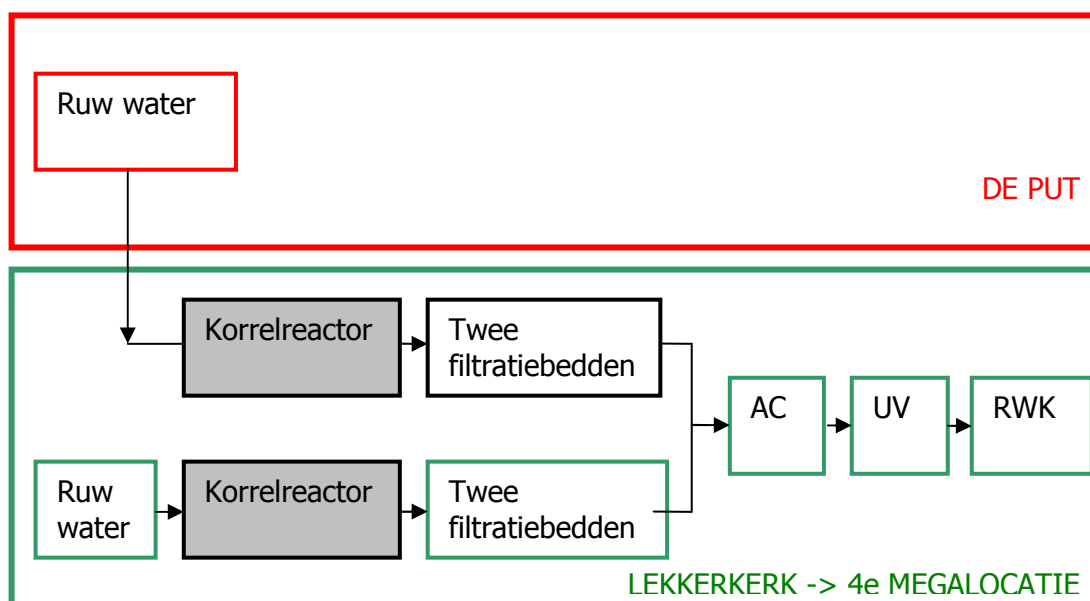
Anaerobe ontharding d.m.v. een korrelreactor

Het grondwater wat wordt opgepompt is anaeroob, het bevat (bijna) geen zuurstof. Door een korrelreactor voor de filtratiebedden te plaatsen, heb je geen extra filtratiebed nodig voor de na-ontharding. Een ander voordeel is dat de filtratiebedden ontlast worden, in de korrelreactoren wordt namelijk al Fe^{2+} , Mn^{2+} en NH_4^+ verwijderd.

Alle andere gebouwen blijven staan en worden eventueel uitgebreid. Dit leidt tot relatief weinig kapitaalvernietiging. Ook uitbreiding van de capaciteit is mogelijk: Doordat de filterbedden minder zwaar belast worden, kan het debiet hierover verhoogd worden.

Realisatie kan als volgt plaatsvinden:

Bouw korrelreactor op station 'Lekkerkerk' en aansluiten in bestaande proces. Halffabrikaat vanaf 'De Put' (zonder ontharding) richting Lekkerkerk. Uitbreiden korrelreactorgebouw en filtratiegebouw zodat beide stromen onthard worden.



Figuur 2-1 Alternatief anaerobe ontharding dmv een korrelreactor

Aerobe ontharding d.m.v. een korrelreactor

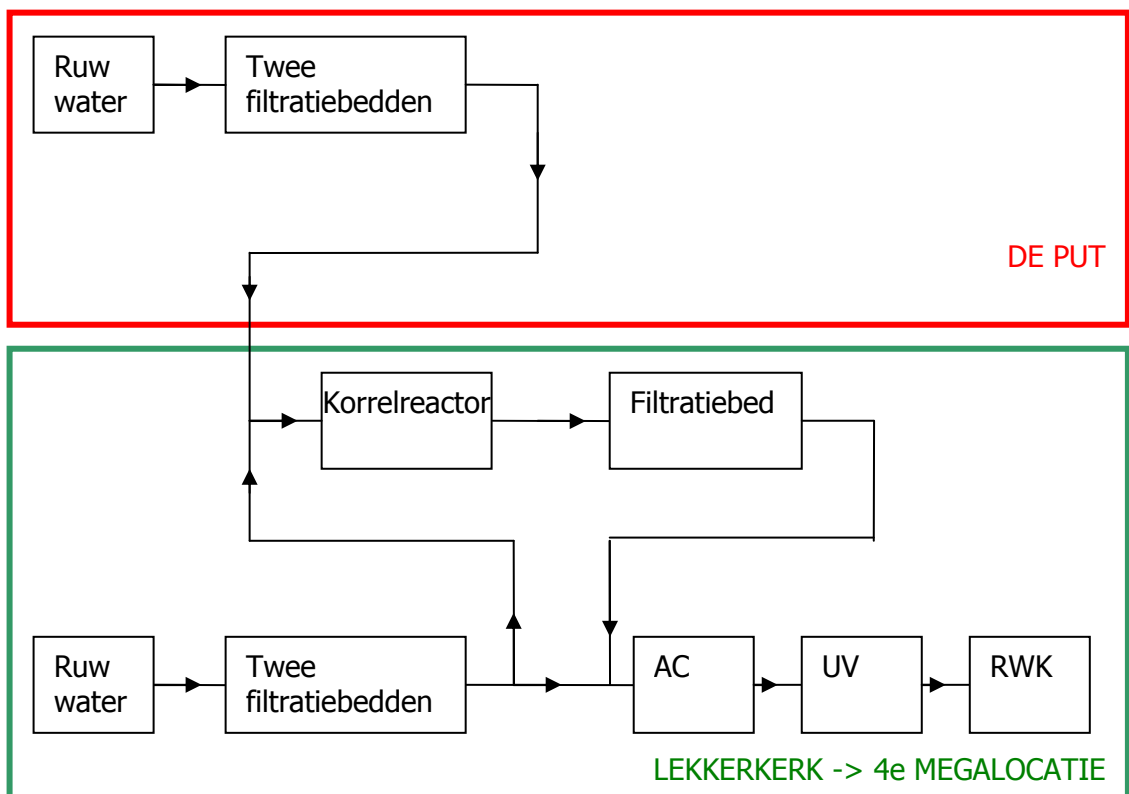
Bij dit alternatief wordt de korrelreactor geplaatst na de filtratiebedden. Het voordeel hiervan is dat dit simpel is in te voegen. Een ander voordeel is dat de korrelreactor ook ijzer, mangaan en ammonium verwijdert, hierdoor worden de filterbedden minder zwaar belast. Daarom kan het debiet hierover de filtratiebedden hoger worden. Het is dus niet nodig om 'De Put' te sluiten, dat zou kapitaalvernietiging zijn.

Het nadeel van een aerobe korrelreactor is echter dat een filtratiebed na de ontharding nodig is om na-ontharding te voorkomen.

Realisatie kan als volgt plaatsvinden:

Bouw korrelreactor en filtratiebed op station 'Lekkerkerk'; Aansluiten in bestaande situatie na de 2 filterbedden, voor de Aktief Kool.

Aansluiten van het filtratiebed-water van 'De put'. Grotere capaciteit wordt gewaarborgd doordat de filters hydraulisch zwaarder belast kunnen worden.



Figuur 2-2 Alternatief aerobe ontharding dmv een korrelreactor

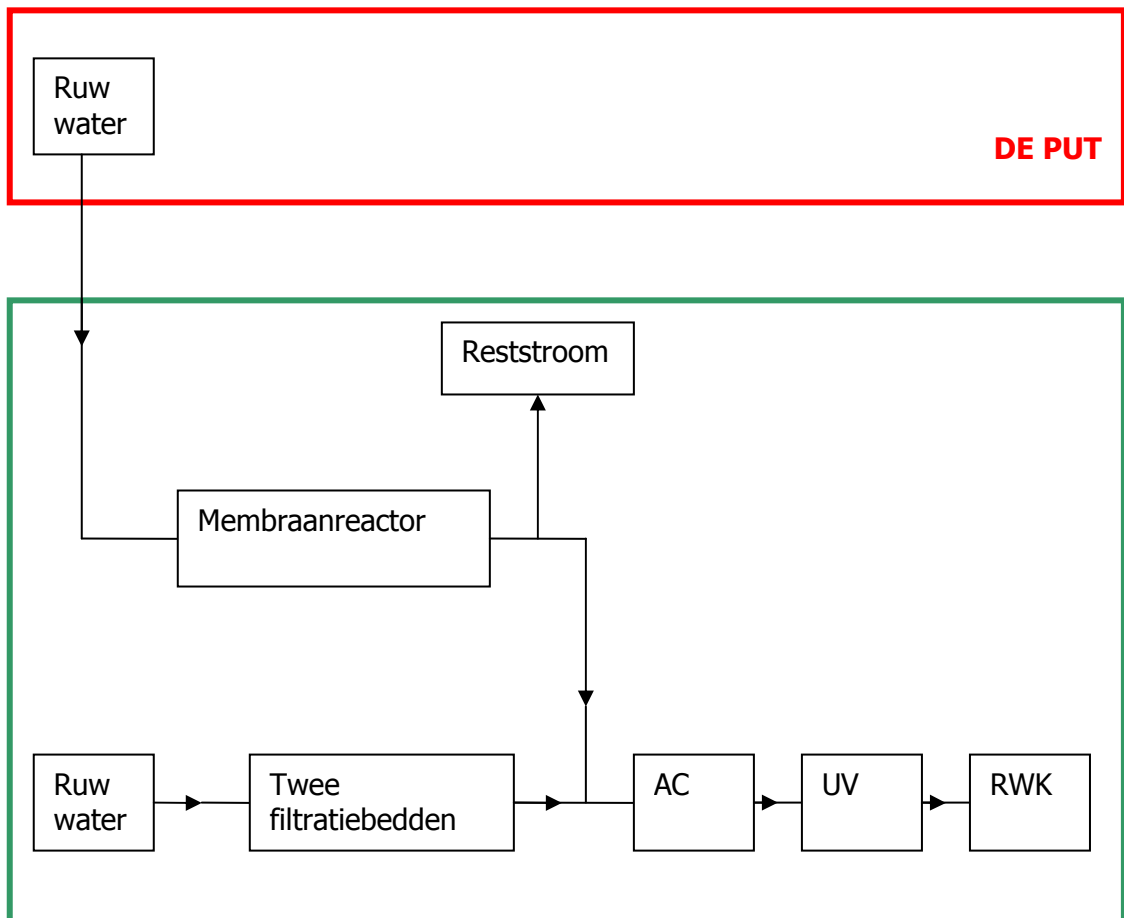
Gesplitste zuivering: membraanreactor + conventionele zuiveringsmethode van Lekkerkerk.

In dit alternatief stap wordt het water van station Lekkerkerk op de conventionele manier gezuiverd en dus niet onthard. Het water vanaf station 'De Put' wordt behandeld door een membraanreactor. Het rendement van een membraanreactor is zeer groot. Door het water na behandeling te mengen voor de actief kool filters is de kwaliteit van het drinkwater goed.

Realisatie kan als volgt plaatsvinden:

Bouw membraanreactor (e.a.) op locatie 'Lekkerkerk'. Hier testen met water vanaf locatie lekkerkerk.

Aansluiten van het ruwe water vanaf 'De Put'.



Figuur 2-3 Membraamreactor

Gesplitste zuivering: ionenwisselaar + conventionele zuiveringsmethode van lekkerkerk.

In dit alternatief wordt het water van station 'Lekkerkerk' op de conventionele manier gezuiverd. Het water vanaf 'De put' wordt behandeld door een ionenwisselaar. Het rendement van deze ionenwisselaar wordt geschat op ca. 60 %. Beide deelstromen worden na zuivering gemengd en de kwaliteit van het water zal gemiddeld goed zijn. (Hardheid = 1,8 mmol/l)

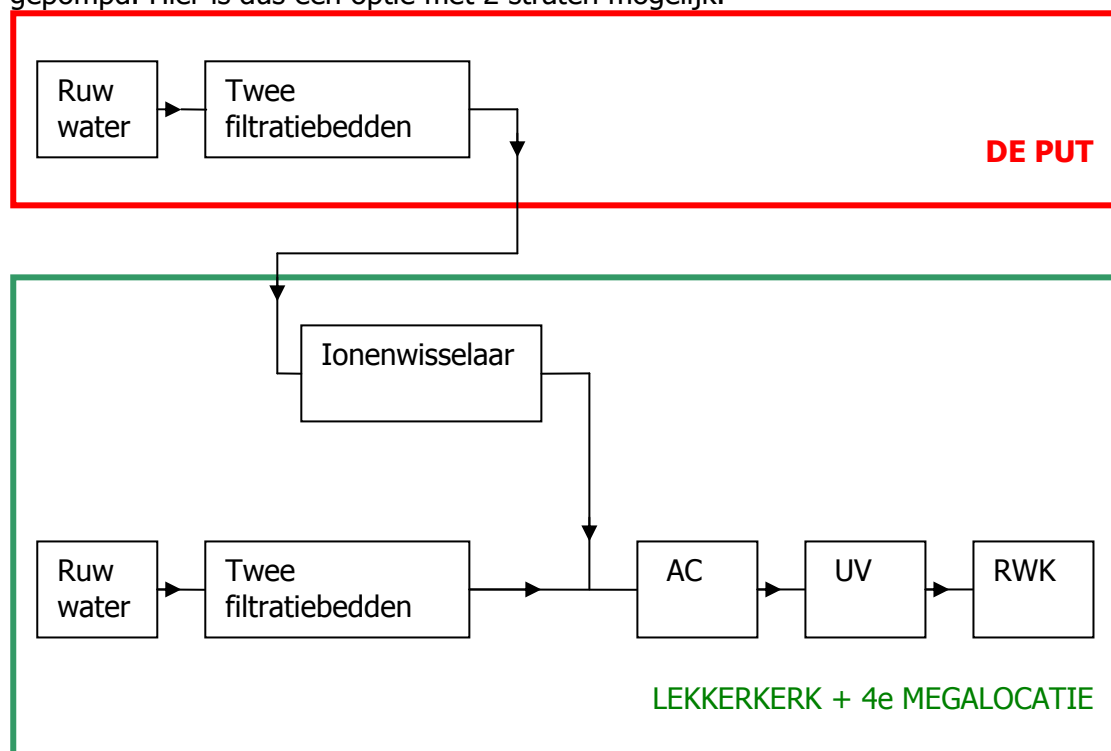
Voordeel van deze methode is dat alle bestaande gebouwen gebruikt worden, er is relatief weinig kapitaalvernietiging.

De realisatie kan als volgt plaatsvinden:

Bouw ionenwisselaar op station 'Lekkerkerk'; aansluiten en testen

Aansluiten van filtratiewater vanaf 'De Put'.

Indien capaciteit verhoogd moet worden: Bouw van extra filtratiebed op de 4^e megalocatie. Het ruwe water vanaf 'De Put' wordt dan naar het filtratiebed gepompt. Hier is dus een optie met 2 straten mogelijk.



Figuur 2-4 Ionenwisselaar

Keuze

Onze voorkeur gaat uit naar het laatste alternatief met de ionenwisselaar. Uit verschillende studies van Kiwa blijkt dat dit een goed alternatief is voor pelletreactoren. De omvang van een ionenwisselaar t.o.v. pelletreactoren is relatief klein (en dus goedkoop). De manuren benodigd voor operationeel houden en onderhoud zijn ongeveer gelijk. Een ander voordeel van de Ionenwisselaar is dat dit systeem makkelijk gefaseerd is te implementeren, hiervoor zijn waarschijnlijk minder verbouwingen nodig dan bij pelletreactoren.

Oasen heeft aangegeven een creatief en innovatief ontwerp te willen. Met het ontwerp voor de ionenwisselaar is bekeken of dit haalbaar alternatief is voor de ontharding van het water. De membraanreactor valt af omdat dit kapitaalvernietiging zou zijn. Met dit systeem zou 'De Put' direct gesloten moeten worden omdat filtercapaciteit niet meer nodig is, dit is geen optie.

3 Ionenwisseling als onthardingsstap

In Nederland wordt voor de ontharding meestal de korrelreactor toegepast in het zuiveringsschema. Na onderzoek is bewezen dat ontharding van hard water ook plaats kan vinden m.b.v. ionenwisselaars. In industriële toepassingen wordt voor de ontharding veelvuldig gebruik gemaakt van ionenwisseling, omdat bij deze toepassingen, vaak volledige hardheidsverwijdering wordt gewenst.

Ionenwisseling wordt niet alleen toegepast voor ontharden maar kan ook worden toegepast voor:

- Verwijdering van zware metalen
- Nitraat verwijdering
- Verwijdering van humuszuren
- NOM verwijdering

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de mogelijkheden van het toepassen van ionenwisseling voor de ontharding op de 4^e megalocatie in Lekkerkerk.

3.1 Wat is ionenwisseling?

Ionenwisselaars zijn kolommen gevuld met bolletjes van kunsthars die ongewenste ionen uit een vloeistof (normaal gesproken water) kunnen verwijderen door ze uit te wisselen tegen andere ionen.

De vloeistof wordt over een met bolletjes ionenwisselaarhars gevulde kolom geperst. De ongewenste ionen in de vloeistof wisselen met de ionen die op de drager gehecht zijn. Er wordt gewisseld met gelijkwaardige elektronvalenties. Er kan gebruik gemaakt worden van ionen met een positieve lading (kationen) en ionen met een negatieve lading (anionen). Deze 2 verschillen uiten zich in twee verschillende ionenwisselaars: kationwisselaar en de anionwisselaar.

Bij de kationwisselaar zo bijvoorbeeld Ca^{2+} kunnen worden uitgewisseld met 2H^+ of 2Na^+ . Het zuiveringsrendement is sterk afhankelijk van het type ionenwisselaar en de gebruikte harssoorten. Iedere ion kan in principe met een ionenwisselaar worden gewisseld.



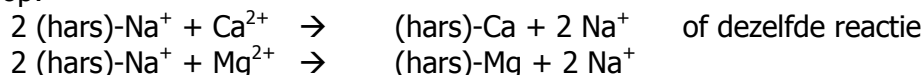
Figuur 3-1 Bolletjes hars

Bij gebruik van een ionenwisselaar voor de ontharding van water wordt een kationenwisselaar toegepast. De magnesium – en calciumionen zullen verwisseld worden op de harsbolletjes.

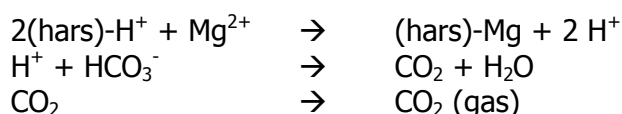
Sterkuur of zwakzuur

Er zijn 2 hoofdtypen van ionenwisselaars, dit zijn de sterkzure (of basische) en de zwakzure (of basische) ionenwisselaars.

Bij de eerste categorie wordt een ion vervangen door een ander ion. De volgende reactie treedt op:



Bij de tweede categorie, de zwakzure ionenwisseling, worden er ook ionen vervangen, maar vinden er tevens chemische reacties plaats. De optredende reacties zijn:



Bij de zwakzure oplossing is een extra stap van ontgassing vereist.

De sterkzure of basische ionenwisselaar is in staat om de hardheid tot 0,0 mmol/l te reduceren. De tweede categorie kan de hardheid tot slecht 2,0 mmol/l terugbrengen

Voor en nadelen ionenwisseling

De voor en nadelen van een ionenwisselaar zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 3-1 Voor en Nadelen ionenwisselaar

Voordelen	Nadelen
• Ionenwisseling heeft een breed gebied van toepassing, geschikt voor het (selectief) verwijderen van ionogene verbindingen • Hoge zuiverheid van het behandelde water • Vermogen om ionen in lage concentraties op te concentreren • Relatief klein ruimtebeslag • Bij procesgeïntegreerde toepassing terugwinning mogelijk van regeneraat	• extra installatie benodigd voor behandeling van regeneraat • chemicaliënverbruik • het is een gevoelig proces

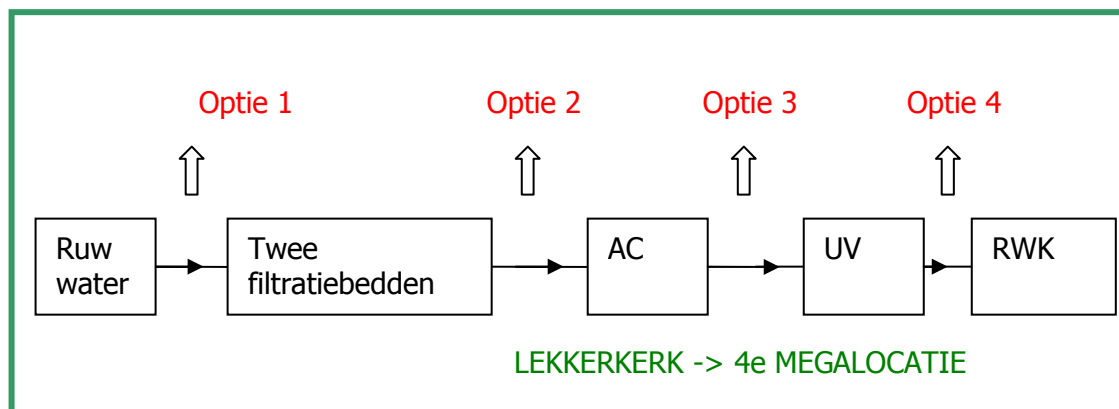
Onthardingscyclus

Het ontharden van water kent een aantal cyclussen in het proces. De verschillende stappen zijn in deze paragraaf kort en bondig weergegeven:

1. Bij de start van de cyclus zijn de ionen (het hars) volledig opgeladen en klaar om calcium- en magnesiumionen uit te wisselen.
2. Wanneer water doorheen de ontharder stroomt heeft de uitwisseling plaats en worden de calcium- en magnesiumionen weerhouden in het harsbed
3. Uiteindelijk zal dit 'verzadigd' worden met calcium en magnesium
4. dit is punt waarop een 'regeneratie' van het harsbed moet plaatsvinden
5. na deze regeneratie kan de cyclus herstarten

3.2 Plaatsing Ionenwisselaar in proces

Er zijn verschillende opties om de ionenwisselaar te plaatsen op 4^e megalocatie in Lekkerkerk. In deze paragraaf worden de verschillende opties toegelicht.



Figuur 3-2 verschillende opties voor inpassing Lekkerkerk

Optie 1: Plaatsing voor de filtratiebedden

De filtratiebedden (met beluchting) verwijderen NH_4^+ , Fe^{2+} en Mn^{2+} . Door de ionenwisselaar voor de filtratiebedden te plaatsen worden deze componenten ook verwijderd in de ionenwisselaar. De filtratiebedden worden hiermee ontlast en de ionenwisselaars worden hiermee iets zwaarder belast. Dit kan een voordeel zijn, er zijn echter ook 2 grote nadelen: Indien de ionenwisselaar voor de filtratiestap wordt gezet, dan moet ruw water vanaf Lekkerkerk worden getransporteerd. Dit heeft nadelen zoals ijzerafzetting in de leidingen. Filtratie op Lekkerkerk is vervolgens lastiger.

Een ander nadeel van de ionenwisselaar voor de filtratiebedden is dat de regeneratievloestof vervuild wordt met allerlei verschillende componenten. Hierdoor is het lastiger om het slib te verwerken.

Ook bevat het water voor de filtratiebedden nog zwevende deeltjes. In geval van een gestapeld bed filterkolom is de kans op verstopping groot. Het filterbed zal hierdoor relatief vaak moeten teruggespoeld worden.

Optie 2: Plaatsing na filtratiebedden, voor AC-filters

Door de ionenwisselaar hier te plaatsen worden de filtratiebedden volledig benut voor het verwijderen van NH_4^+ , Fe^{2+} en Mn^{2+} . Ook worden de AC-filters ontlast doordat het water al onthard is en eventuele andere stoffen (NOM) eruit zijn gefilterd. Daarom is regeneratie en vervanging van het AC minder vaak nodig. Een belangrijk voordeel van het plaatsen van de Ionenwisselaar bij deze optie, is dat de inpassing in het hydraulische schema optimaal lijkt door dat de ionenwisselaar na de pompen, richting de AC-bedden kunnen worden geplaatst.

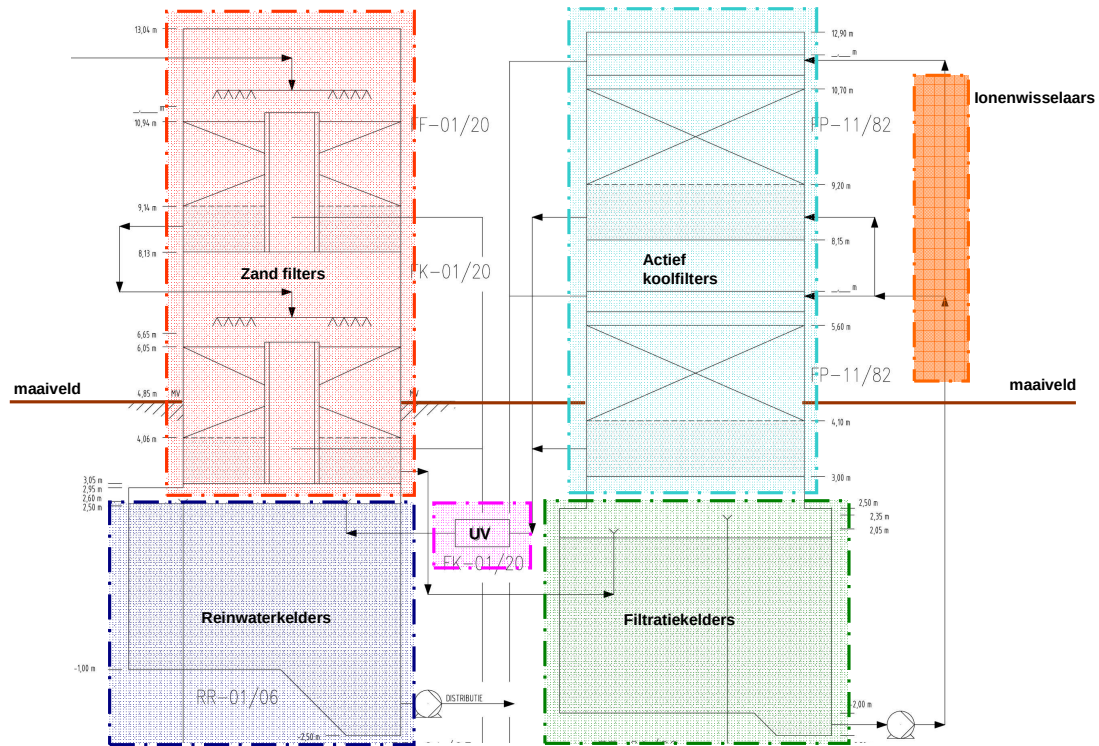
Optie 3 en 4: Plaatsing na AC of UV-filters

Geen interessante opties, door voor optie 2 te kiezen worden deze filtratiestappen ontlast.

Conclusie:

De keuze is gemaakt om de ionenwisselaars te plaatsten bij Optie 2 . Hierbij past de Ionenwisselaar goed in het hydraulische schema, en wordt via de bestaande pompen uit de filtratiekamers de debieten opgepompt richting de ionenwisselaar. De capaciteit van de filtratiebedden wordt hier geheel benut, terwijl de AC-filters ontlast worden.

Dit leidt tot de kleinste en goedkoopste dimensionering van de ionenwisselaars.



Figuur 3-3 Onthardingsstap in het hydraulische lijnschema

3.3 Type stroming door Ionenwisselaar

Het water door de ionenwisselaar kan 2 kanten op stromen. De 2 opties zijn:

- Van boven naar onder, gestapeld bed
- Van onder naar boven, geëxpandeerd bed

Gestapeld bed:

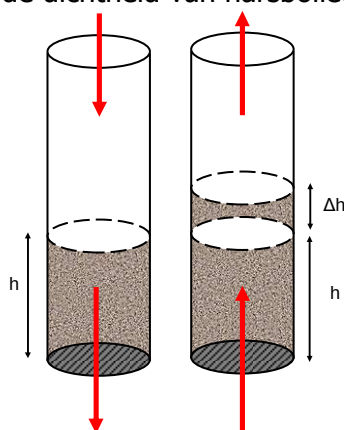
Het principe van een gestapeld bed is dat het materiaal hars op elkaar ligt en niet expandeert. De deeltjes blijven gedurende het proces met elkaar in contact en gaan niet zweven in het bed. Het water loopt door het filter, met de zwaartekracht mee.

In dit 'Down-flow' systeem loopt het water vanaf bovenin het systeem naar beneden. Doordat het water in contact komt met de hars-bolletjes wordt het Ca^{2+} en Mg^{2+} uitgewisseld tegen 2Na^+ . In dit systeem zijn langere contacttijden mogelijk, doordat er geen constante stroming nodig is. Een voordeel is dat de benodigde constructiehoogte van de tanks relatief laag is. Een nadeel is dat er kanalen kunnen ontstaan waardoor niet alle hars effectief gebruikt kan worden.

Geëxpandeerd bed:

Het principe van een geëxpandeerd bed, is dat de stroming opwaarts plaatsvindt. Het bed expandeert hierdoor, het bed gaat dus zweven.

In dit 'Up-flow' systeem stroomt het water vanaf onderin de kolom naar boven. De hars-bolletjes worden hierdoor iets opgelift, daardoor wordt kanaalvorming en luchtbelvorming voorkomen. Een nadeel van deze constructie is dat harsbolletjes kunnen meestromen in het effluent, daarom moet rekening gehouden worden met de dichtheid van harsbolletjes.



Figuur 3-4 Type belasting: (a) gestapeld bed - (b) geëxpandeerd bed

Op basis van het hydraulisch schema is gekozen voor het Up-flow-systeem, met een geëxpandeerd bed. In de huidige situatie wordt het water vanaf de filteratiekelder opgepompt richting de AC-filters. Het Up-flow-systeem is hierin zeer gemakkelijk te integreren. De pomp zal vervangen moeten worden voor een pomp met een grotere capaciteit om de (extra) weerstand te overwinnen. Het water zal in de toekomst via de ionenwisselaar op goede hoogte worden gebracht, zodat het water daarna via de AC-filters onder zwaartekracht verder kan stromen.

3.4 Processchema

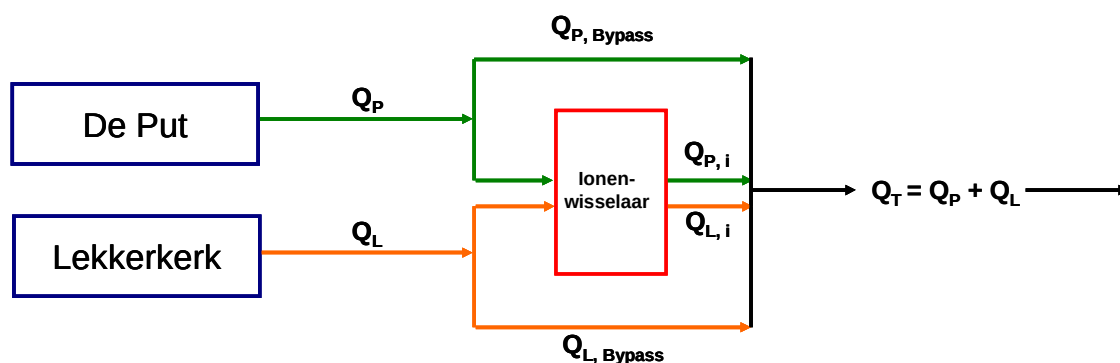
Voor de ontharding met een ionenwisselaar op de 4^e Megalocatie wordt gekozen voor het toepassen van een sterkzure (basische) ionenwisselaar i.p.v. de zwakzure (of basische) ionenwisselaar. De achtergrond van deze keuze is het realiseren van een zeer flexibel ontwerp, waarbij afhankelijk van de eisen en debieten de installatie kan worden ingesteld.

Met het toepassen van een sterkzure ionenwisselaar kan de hardheid gereduceerd worden tot zelfs 0,0 mmol/l. Met een flexibel ontwerp, waarbij verschillende deelstromen in het proces worden gerealiseerd, kan een gedeelte van het water worden onthard tot 0,0 mmol/l en een gedeelte van het water via de bypass later gemengd worden met het ontharde water.

In onderstaand figuur zijn de mogelijkheden voor de 4^e Megalocatie aangegeven waarbij de splitsstromen en de stromen door de ionenwisselaar zijn aangegeven.

De deelstromen zijn:

- $Q_{L, i}$: debiet vanaf Lekkerkerk door de ionenwisselaar
- $Q_{L, b}$: debiet vanaf Lekkerkerk door de bypass
- $Q_{P, i}$: debiet vanaf De Put door de ionenwisselaar
- $Q_{P, b}$: debiet vanaf De Put door de bypass



Figuur 3-5 Mogelijkheden van deelstromen.

De keuze van de procesvoering kent een heel aantal mogelijkheden, waarbij de deelstromen worden ingesteld en de hoeveelheid water door de ionenwisselaar wordt bepaald. In bijlage III zijn de resultaten weergegeven van een aantal opties die zijn uitgewerkt. Daarbij is gekozen bij de verschillende opties voor deelstromen die 0-50-100 % bedragen. Ook is er een optie waarbij gekozen is om het kleinste mogelijke debiet door de ionenwisselaar te sturen en waarbij het resultaat van 1,5 mmol/l wordt bereikt. De debieten vanaf de Put en Lekkerkerk verhouden zich t.o.v. elkaar 1:1 (de Put: 778 m³/h, Lekkerkerk: 765 m³/h).

3.5 Ontwerp

Er wordt gekozen voor het verder ontwerp voor de optie, waarbij het minimale debiet door de ionenwisselaar wordt gevoerd. Dit kan worden bereikt, wanneer 40 % van het totale onttrokken grondwater (de Put + Lekkerkerk) over de ionenwisselaar wordt gevoerd. Deze keuze geeft aan dat kan worden gekozen voor een verdeling van de Put en Lekkerkerk. Dit kan bijvoorbeeld 80 % van Lekkerkerk zijn, 20 % van Lekkerkerk over de bypass en een behandeling van 0 % van De Put. In een ander geval kan worden gekozen voor ontharding van het water van de Put, of een mix van beide. Verschillende mogelijkheden zijn beschikbaar.

De uitwerking van de optimale deelstroom die is berekend, wordt hieronder weergegeven:

Gewenste hardheid richting Actief koolfilters: 1,5 mmol/l
Hardheid influent: 2,5 mmol/l

Keuze voor de verdeling van de deelstromen: $Q_L, i: (100-x)\%$,
 $Q_L, b: (x)\%$,
 $Q_P, i: 0\%$,
 $Q_P, b: 100\%$

Effluent: $200\% \cdot 1,5 \text{ mmol/l} = 3,0 \text{ mmol/l}$

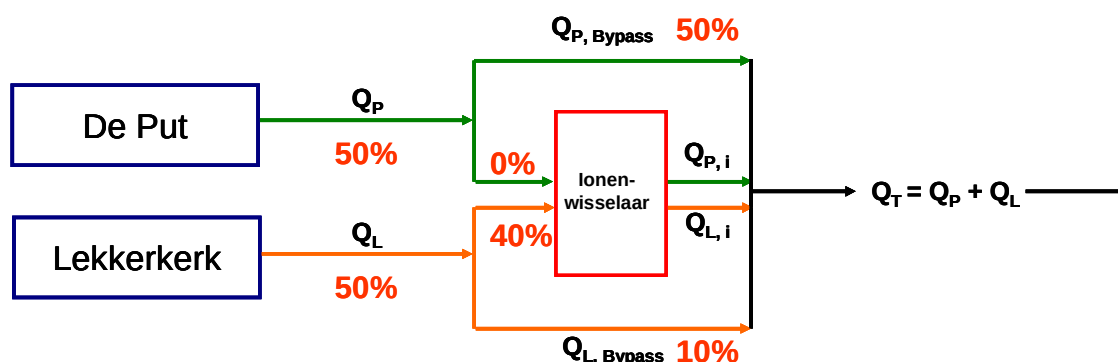
100 %	* 2,5 mmol/l	=	2,5	mmol/l	(Q_P, b)
0 %	* 0 mmol/l	=	0,0	mmol/l	(Q_P, i)
(100-x)%	* 0 mmol/l	=	0,0	mmol/l	(Q_L, i)
x %	* 2,5 mmol/l	=	2,5(x)	mmol/l	(Q_L, b)
200 %	* 1,5 mmol/l	=	3,0	mmol/l	(Q_T)

Dus:

$2,5(x) \text{ mmol/l} = 0,5 \text{ mmol/l} \rightarrow (x) = 0,2 = 20\%$

Bij het totale ontharden van het water in de ionenwisselaar, wordt 80 % van Lekkerkerk door de ionenwisselaar gevoerd en 20 % over de bypass.

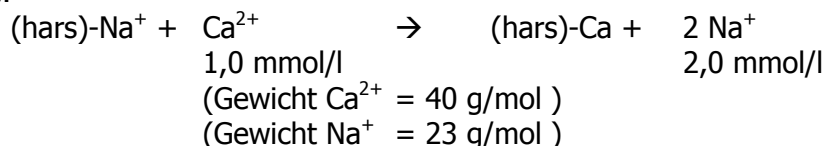
Deze verdeling kan ook anders, bijvoorbeeld water van de Put, zolang maar wordt gezorgd dat 40 % van het onttrokken grondwater (De Put + Lekkerkerk) door de ionenwisselaar wordt gevoerd.



Figuur 3-6 Gekozen verdeling debieten.

3.6 Natrium gehalte

Bij de ontharding met een sterkzure ionenwisselaar wordt de Calcium/Magnesium uit het water gehaald en wordt Natrium aan het water toegevoegd. De maximale concentratie van de aanwezigheid van Natrium in het water is volgens het Waterleidingbesluit 150 mg/l. Deze omzetting vindt plaats volgende de volgende reactie:



Bij ontharding van het water van 2,5 mmol/l naar 1,5 mmol/l wordt er 1,0 mmol/l Ca^{2+} omgezet in 2,0 mmol/l Natrium. Bij deze reactie wordt er 46 mg/l natrium toegevoegd aan het water (= 2,0 mmol/l x 23 g/mol).

De beginconcentratie van het natrium in het water wat bij de ionenwisselaar komt is:

- Influent de Put: 46,5 mg/l
- Influent Schuwacht: 56,8 mg/l
- Influent Tiendweg: 63,2 mg/l
- Gemiddeld influent Lekkerkerk (Schuwacht + Tiendweg) = 60 mg/l

Per optie is de keuze voor de verdeling van de deelstromen uitgewerkt, waarin is berekend hoeveel de ionenwisselaar moet ontharden om de gewenste 1,5 mmol/l als effluent te krijgen na de menging van de 4 deelstromen. De natrium na de menging is berekend en toegevoegd in de tabel. In Bijlage I zijn de uitkomsten van de berekeningen weergegeven. In onderstaande tabel is de uitkomst van de gekozen optie (optie 9).

Bij de berekeningen is getoetst of de effluentwaarden van het natriumgehalte niet boven de 150 mg/l uitkomen. Dit is voor alle opties niet het geval.

Tabel 3-2 Uitkomsten berekeningen

optie	Q _{L,i}	Q _{L,b}	Q _{P,i}	Q _{P,b}	Verwijderen van Ca^{2+} of Mg^{2+}	Effluent ionenwisselaar	Natrium effluent ionenwisselaar
9	80%	20%	0%	100%	verwijdering van 2,5 mmol/l	Bereikte hardheid 0,0 mmol/l	99,25 mmol/l

Verwijdering van 2,5 mmol/l → betekend een omzetting naar $2 \times 2,5 = 5,0 \text{ mmol/Na}$
Dit komt overeen met $5,0 \text{ mmol/l} \times 23 \text{ g/l} = 115 \text{ mg/l Na}$. Met de bekende beginconcentraties van de Put (46,5 mg/l) en Lekkerkerk (60 mg/l) is de berekening uitgevoerd:

100 %	* 46,5 mg/l	=	46,5 mg/l	(Q _{P, b})
0 %	* (46,5 + 115) mg/l	=	0 mg/l	(Q _{P, i})
80 %	* (60 + 115) mg/l	=	140 mg/l	(Q _{L, i})
20 %	* 60 mg/l	=	12 mg/l	(Q _{L, b})
200 %		=	198,5 mg/l	(Q _T)
100 %		=	99,25 mg/l	(Q _T)

De waarde van Natrium in het water wat gemend is en richting de actiefkoolfilters gaat is 99,25 mg/l. Dit ligt ruim onder de maximale grens van het WLB (150 mg/l)

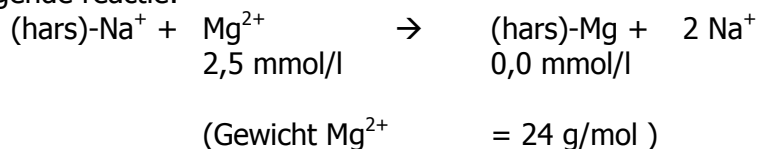
Het toepassen van de sterkzure ionenwisselaar vormt geen gevaar voor de overschrijding van de maximale Natriumconcentratie.

3.7 Magnesium gehalte

De beginconcentratie van het magnesium in het water wat de ionenwisselaar nadert is:

- Influent de Put: 10,6 mg/l
- Influent Schuwacht: 11,2 mg/l
- Influent Tiendweg: 10,7 mg/l
- Gemiddeld influent Lekkerkerk (Schuwacht + Tiendweg) = 11 mg/l

Deze omzetting in de watersamenstelling in de ionenwisselaar, vindt plaats volgende de volgende reactie:



Bij ontharding van het water van 2,5 mmol/l naar 0,0 mmol/l wordt er 2,5 mmol/l Mg^{2+} omgezet. Bij deze reactie wordt er dus 48 mg/l magnesium verwijderd uit het water (= 2,0 mmol/l x 24 g/mol). Er kan niet meer worden verwijderd aan magnesium, dan dat er in het water zit. Dit resulteert in een eind magnesiumconcentratie van 0,0 mmol/l.

De totale magnesium concentratie wordt op de volgende manier berekend:
Met de bekende beginconcentraties van de Put (10,6 mg/l) en Lekkerkerk (11,0 mg/l) is de berekening uitgevoerd:

100 %	* 10,6 mg/l	=	10,6	mg/l	(Q _P , b)
0 %	* (10,6 - 10,6) mg/l	=	0	mg/l	(Q _P , i)
80 %	* (11,0 - 11,0) mg/l	=	0	mg/l	(Q _L , i)
20 %	* 11,0 mg/l	=	2,2	mg/l	(Q _L , b)
200 %		=	12,8	mg/l	(Q _T)
100 %		=	6,4	mg/l	(Q _T)

De waarde van Magnesium in het water wat gemend is en richting de actiefkoolfilters gaat is 6,4 mg/l.

3.8 Belastingen

In de vervolgstappen van het ontwerpproces is gekozen voor de uitwerking van de laatste opties van de deelstromen. Dit is de optie waarbij 40 % van het totale onttrokken grondwater (beide locaties) door de ionenwisselaar wordt geleid. Dit kan water zijn vanuit Lekkerkerk, maar dit kan door het flexibele ontwerp ook water van de Put zijn, of een combinatie van beide stromen.

In deze optie wordt 40 % ($= 0,5 \cdot 80\%$) van de totale grondwateronttrekkingen onthard tot een hardheid van 0,0 mmol/l. De rest van het onttrokken grondwater wordt niet onthard en gaat via de bypass, met een hardheid van 2,5 mmol/l. Bij de actiefkoolfilters worden de 4 deelstromen met elkaar gemend, waarbij het water een hardheid van 1,5 mmol/l bezit.

Voor de uitwerking van het ontwerp wordt gekozen voor een ontwerp wat de maximale capaciteit van de pompen (grondwateronttrekkingen) kan verwerken. Het maximale aanstroomdebiet kan op deze wijze worden verwerkt.

De maximale capaciteit van het debiet is:	1543 m ³ /h
• 40 % van 1543 m ³ /h :	618 m ³ /h (max.) (factor 1,45)
• Gemiddelde productie	425 m ³ /h (gem.) (factor 1,00)
• Minimale productie	362 m ³ /h (min.) (factor 0,85)

Lekkerkerk		De Put		Verwijdering Ca ²⁺ , Mg ²⁺ in ionenwisselaar	Debiet	Te verwijderen Ca ²⁺ , Mg ²⁺ in ionenwisselaar
Ionenwisselaar	bypass	Ionenwisselaar	bypass	mmol/l	m ³ /h	mol/h
80%	20%	0%	100%	2.5	618	1545
				2.5	425	1063
				2.5	362	905

Het proces van ontharden moet ervoor zorgen dat de hardheid van het gewonnen water ($= 2,5$ mmol/l) moet worden teruggebracht naar 1,5 mmol/l. Uit bovenstaande tabel blijkt dat in de maximale belasting circa 1545 mol/h Ca²⁺ en Mg²⁺ verwijderd moet worden.

Uit andere pilot-installaties is gebleken dat voor ontharding de waarden voor de uitwisselingscapaciteit (eq/l_{hars}) liggen tussen 1,4 – 2,2.

- Voor het ontwerp kiezen we een uitwisselingscapaciteit (eq/l_{hars}) van 2,0

Dit resulteert in een hoeveelheid hars van:

- $1545 \text{ mol/h Ca}^{2+} \text{ en Mg}^{2+} \rightarrow 3090 \text{ l}_{\text{hars}} / \text{h} = 3,1 \text{ m}^3 \text{ hars per uur}$

De looptijd van de ionenwisselaars kan verschillen per installatie. Wanneer deze tijd is verstreken dient de ionenwisselaar regeneratie van de hars te ondergaan.

- Voor het ontwerp kiezen we een looptijd van 12 uur.

Regeneratie na 12 uur geeft een benodigde hoeveelheid hars van 37,2 m³ ($= 3,1 \times 12 \text{ uur}$).

In het ontwerp kiezen we voor de bouw 4 ionenwisselaars, waarvan er 3 in gebruik zijn, tijdens de maximale productie. De andere is beschikbaar voor regeneratie en

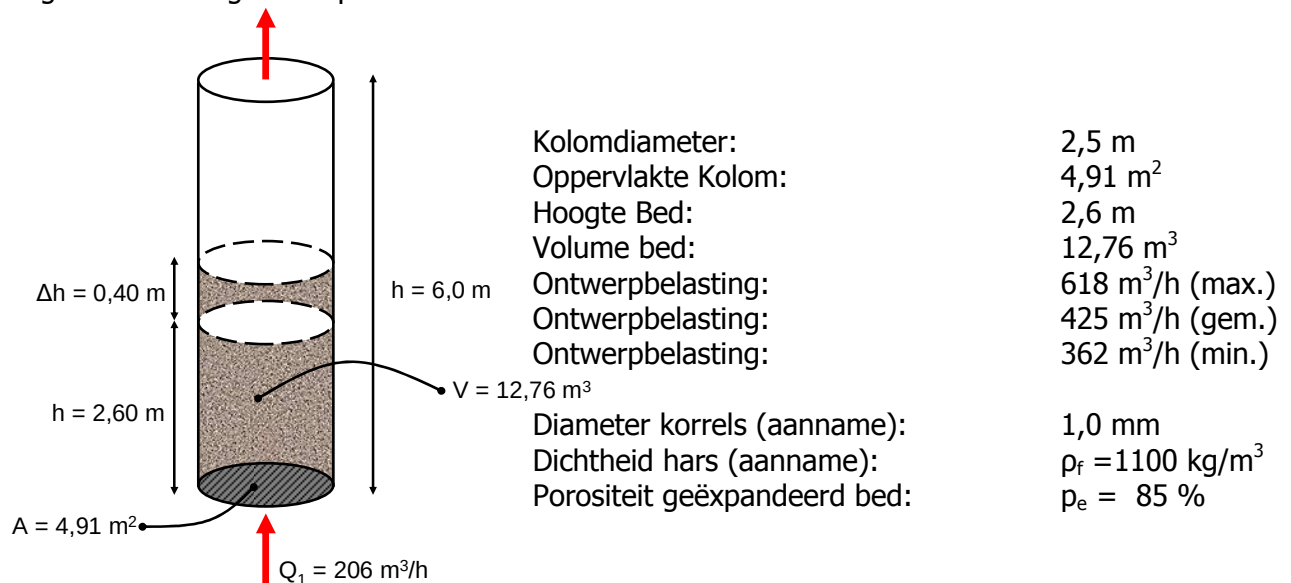
onderhoud. Bij de gemiddelde en de minimale productie zijn er 2 van de 4 ionenwisselaars in werking. (zie **Error! Reference source not found.**)

De ionenwisselaar krijgen elk een bedvolume (BV) van $12,4 \text{ m}^3$. (benodigd $37,2 \text{ m}^3 / 3 \text{ stuks} = 12,40 \text{ m}^3$).

De randvoorwaarden waaraan het ontwerp moet voldoen (zie Tabel 3-3):

- De aanbevolen filtratiesnelheid ligt beneden de 60 m/h .
- Voor de bedvolumebelasting wordt $6\text{-}50 \text{ BV/h}$ aanbevolen
- Een minimale bedhoogte van 800 mm .

In de tabel in Bijlage I zijn enkele opties uitgewerkt waarbij de dimensies van de ionenwisselaars variëren. Uit de onderzochte opties is ene tank gekozen met de volgende afmetingen en specificaties:



Figuur 3-7 Ontwerp paramaters Ionenwisselaar

Tabel 3-3 Ontwerp en bedrijfsvoeringcondities

	Sterkzure Kationwisselaar
Bedbelasting (BV/h)	6-50
Filtratiesnelheid (m/h)	< 60
Bedhoogte (mm)	> 800
Uitwisselingscapaciteit (eq/lhars)	1,4 - 2,2
Looptijd (uur)	12-24
Regenerant	10% NaCl

3.9 Debietsturing

Maximale debiet:

Wanneer de ionenwisselaars het maximale debiet moeten verwerken, dit is 618 m³/h, wordt het debiet over 3 straten verdeeld. De 4^e blijft beschikbaar voor continue productie wanneer een van de andere 3 moet regenereren of wanneer onderhoud moet worden gepleegd. Het debiet van 618 m³/h verdeeld over 3 straten, geeft een debiet van 206 m³/h over elke straat.

Het debiet van 618 m³/h, wordt de maximale factor op de zuivering gegeven. Deze factor heeft de waarde 1,45.

Het gemiddelde debiet:

Het gemiddelde debiet is het debiet over de zuivering met factor 1,00. Het gemiddelde debiet is gelijk aan 425 m³/h. Dit debiet wordt over 2 straten verdeeld. Per straat wordt er 212,5 m³/h door de ionenwisselaar geleid.

Het minimale debiet:

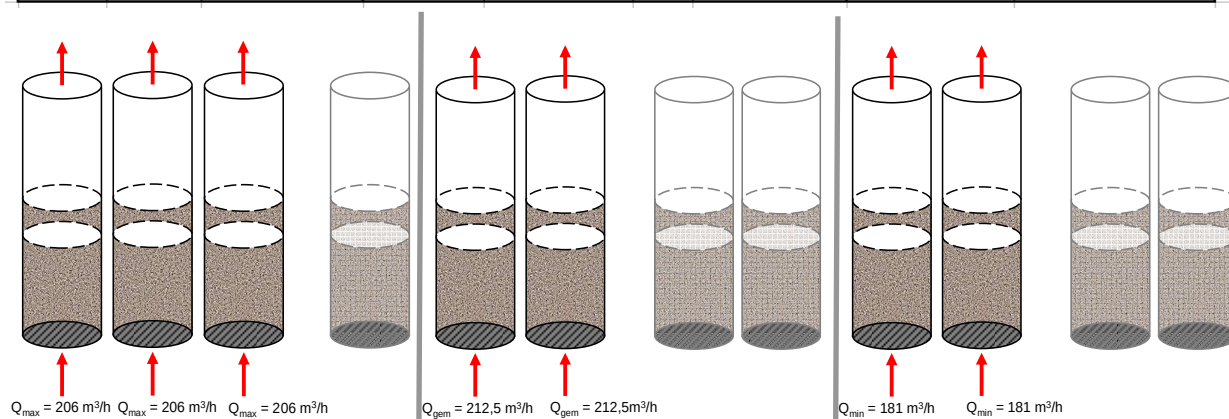
Het minimale debiet dat de zuivering moet kunnen verwerken heeft de factor 0,85 toegekend gekregen. Dit komt overeen met een debiet van 362 m³/h. Een verdeling van dit debiet over 2 straten wordt op de zuivering toegepast. Per straat wordt er 181 m³/h door de ionenwisselaar geleid.

In onderstaande tabel, zijn de waarden voor de bedbelasting en de filtratiesnelheid weergegeven. Alle waarden, vallen binnen de gestelde randvoorwaarden van het ontwerp. De randvoorwaarden waren:

- Filtratiesnelheid: < 60 m/h.
- Bedvolumebelasting: 6-50 BV/h
- Minimale bedhoogte: 800 mm.

Tabel 3-4 verschillende bedbelastingen en filtratiesnelheden

debiet m ³ /h	straten -	debiet/straat m ³ /h	diameter m	hoogte bed m	opp m ²	volume bed m ³	bedbelasting BV/h	filtratiesnelheid m/h
618	3	206.00	2.50	2.60	4.91	12.76	16.14	41.97
425	2	212.50	2.50	2.60	4.91	12.76	16.65	43.29
362	2	181.00	2.50	2.60	4.91	12.76	14.18	36.87



Figuur 3-8 Processturing: (a) max. debiet – (b) gem. debiet – (c) min. debiet

3.10 Weerstand Geëxpandeerd bed

De weerstand over het filter (opwaartse stroming) wordt berekend met de volgende formule:

$$H_{\max} = 130 \cdot \frac{v^{0,8}}{g} \cdot \frac{(1-p_e)^{1,8}}{p_e^3} \cdot \frac{v^{1,2}}{d^{1,8}} \cdot L_e$$

H_o = weestand (m)

u = kinematische viscositeit (m^2/s)

g = gravitatieconstante (m/s^2)

v = filtratiesnelheid (m/s)

d = diameter harskorrel (m)

L_e = hoogte geëxpandeerd bed

p_e = porositeit tijdens de expansie

Om in de ionenwisselaar een geëxpandeerd bed te kunnen verkrijgen moet de weerstand in de filter gelijk zijn aan de massa van het filterbed onder water. De volgende vergelijking dient opgelost te worden:

$$\rho_w \cdot g \cdot H_{\max} = (1-p_e) \cdot L_e \cdot (\rho_f - \rho_w) \cdot g \rightarrow H_{\max} = (1-p_e) \cdot L_e \cdot \frac{\rho_f - \rho_w}{\rho_w}$$

$$H_{\max} = 130 \cdot \frac{v^{0,8}}{g} \cdot \frac{(1-p_e)^{1,8}}{p_e^3} \cdot \frac{v^{1,2}}{d^{1,8}} \cdot L_e = (1-p_e) \cdot L_e \cdot \frac{\rho_f - \rho_w}{\rho_w}$$

Bekende parameters in deze formule zijn:

- Gravitatieconstante: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- Dichtheid water: $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$
- snelheid: $v = 618 / 3 = 206 \text{ (m}^3/\text{h)}$ (per ionenwisselaar)
- viscositeit: $T = 15 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow u = 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

De verschillende aannames die bij deze berekening zijn gedaan:

- korrelgrootte: grootte hars korrel = 1,0 mm, $d = 0,0010 \text{ m}$
- porositeit: porositeit geëxpandeerd bed 85 %, $p = 0,85$
- dichtheid harskorrels: $\rho_f = 1100 \text{ kg/m}^3$

Met een iteratieprocedure, volgt dat bij de aannames van de parameters die zijn gedaan dat de hoogte van het geëxpandeerde bed kan worden gevonden.

Deze is voor de belasting van $206 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 3,0 \text{ meter}$.

De expansie van het bed wordt berekend met de volgende formule:

$$E = \frac{L_e - L_o}{L_o} = \frac{3,0 - 2,6}{2,6} = 15\%$$

- De gevonden weerstand over het bed is 0,045 m.

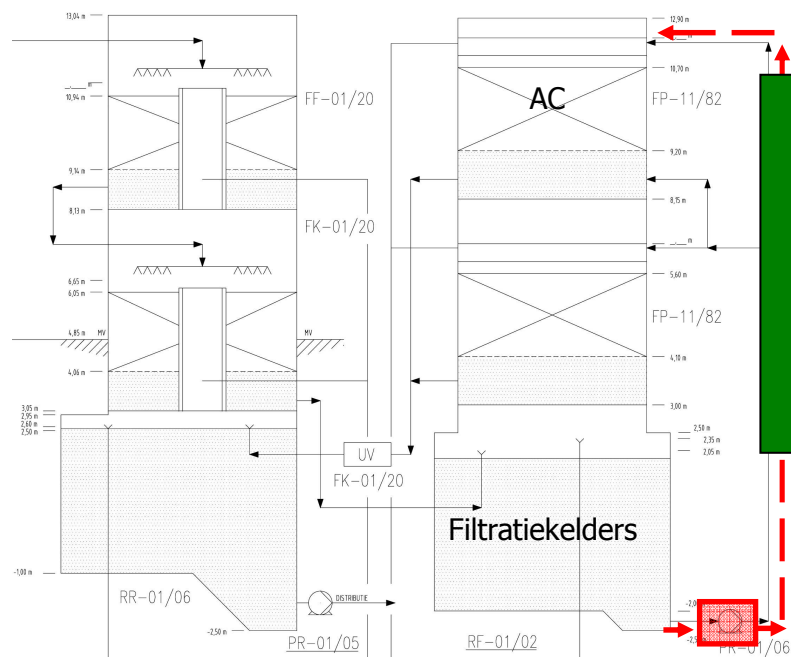
3.11 Pompen

Op de huidige locatie in Lekkerkerk, wordt water vanuit de filtratiekelders richting de Actief koolfilters gepompt.

In deze kelder zijn momenteel 4 pompen aanwezig met elk een capaciteit van 250 m³/h. Het is bekend dat in de huidige situatie deze pompen aan vervanging toe zijn.

Voor het ontwerp wordt ervan uitgegaan dat deze pompen in de nabije toekomst worden vervangen en dat elk van deze een voldoende grote capaciteit met voldoende opvoerhoogte om het benodigde debiet van maximaal 212,5 m³/h door de ionenwisselaars te sturen.

In een vervolgfase zal de opvoerhoogte nader bepaald moeten worden.



Figuur 3-9 Pompen

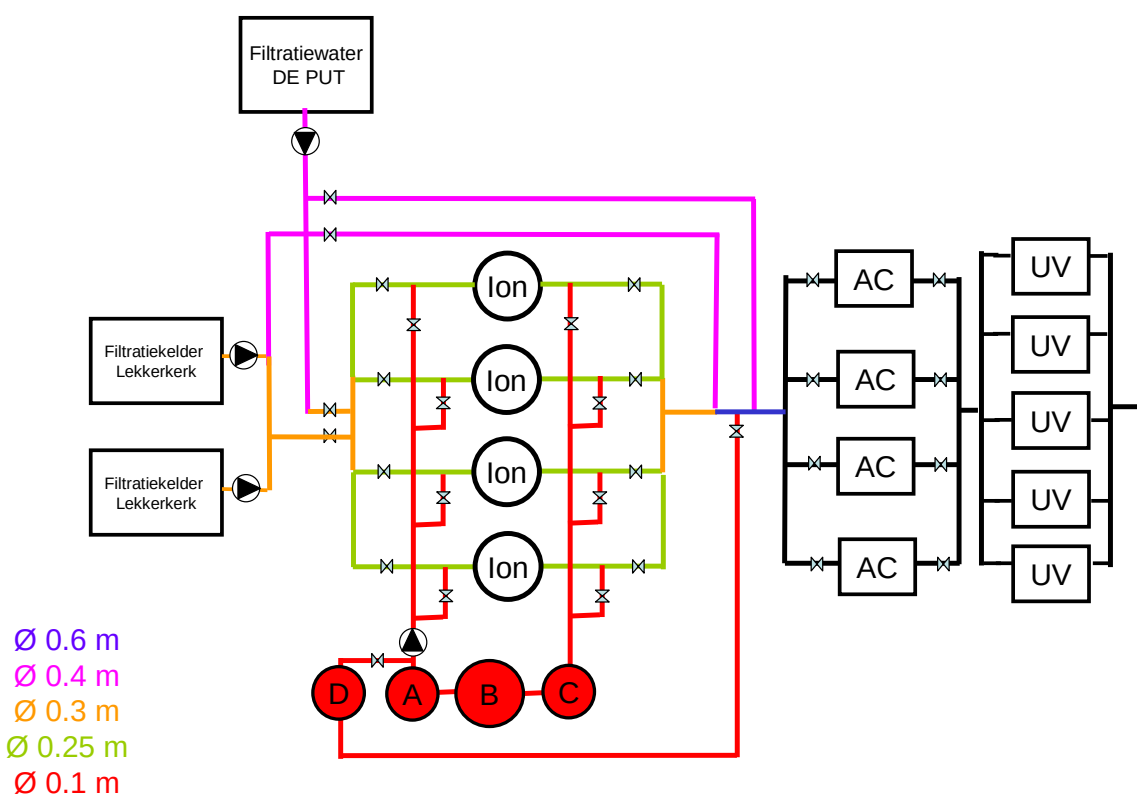
3.12 Dimensionering Pijpleidingen

Voor de dimensionering nemen wij aan dat de snelheid in de leidingen tijdens het gemiddelde debiet 1 m/s moet bedragen. De snelheid bij het maximale en het minimale debiet varieert dan tussen 0,27 m/s en de 1,69/s. Om extreme snelheden te voorkomen kan men beter van elke stroom 40% door de ionenwisselaar laten gaan.

Bij storingen blijven echter alle opties open.

Tabel 3-5 Bepaling leidingdiameters

Van	Naar	Q (gem) m ³ /h	Diameter m	v(gem) m/s	Q(max) m ³ /h	v(min) m/s	Qmin m ³ /h	v(max) m/s
Filtratiekelder 1 Lekkerkerk	bypass	264	0,3	1,04	382,5	1,5	225	0,88
Filtratiekelder 2 Lekkerkerk	bypass	264	0,3	1,04	382,5	1,5	225	0,88
Bypass begin lekkerkerk	AC-leiding	320	0,4	0,71	765	1,69	153	0,34
De Put'	AC-leiding	320	0,4	0,71	765	1,69	153	0,34
bypass lekkerkerk	ionenwisselaar	211	0,3	0,83	306	1,2	105	0,41
bypass 'de put'	ionenwisselaar	211	0,3	0,83	306	1,2	105	0,41
begin ionenwisselaar	einde ionenwisselaar	213	0,25	1,2	204	1,15	180	1,02
regeneratie		25,5	0,1	0,9	40	1,42		
totale debiet		1075	0,6	1,06	1535	1,51		



Figuur 3-10 Leidingdiameters getekend in stroomschema

4 Regeneratie

4.1 Wat is regeneratie?

Wanneer alle ionen zijn verwisseld en de hars is verzadigd, kunnen er geen wisselingen meer optreden. Wel zouden de Magnesium- en Calciumionen nog met elkaar kunnen wisselen, maar dat is voor het onthardingsproces ongewenst. Wanneer dit gebeurt, is regeneratie noodzakelijk.

De ionenwisselaar kan na gebruik worden geregenereerd door de harsbolletjes te spoelen met een regeneratievloeistof, deze bevat een hoge concentratie regeneratiemiddel (zout, zoutzuur of natronloog) met een bepaalde pH. Het type regeneratiemiddel is afhankelijk van het type ionenwisselaar. Door na te spoelen met behandeld water wordt restvervuiling verwijderd en is de ionenwisselaar weer geschikt voor gebruik.

4.2 Regeneratieproces

Het regeneratieproces omvat een aantal stappen:

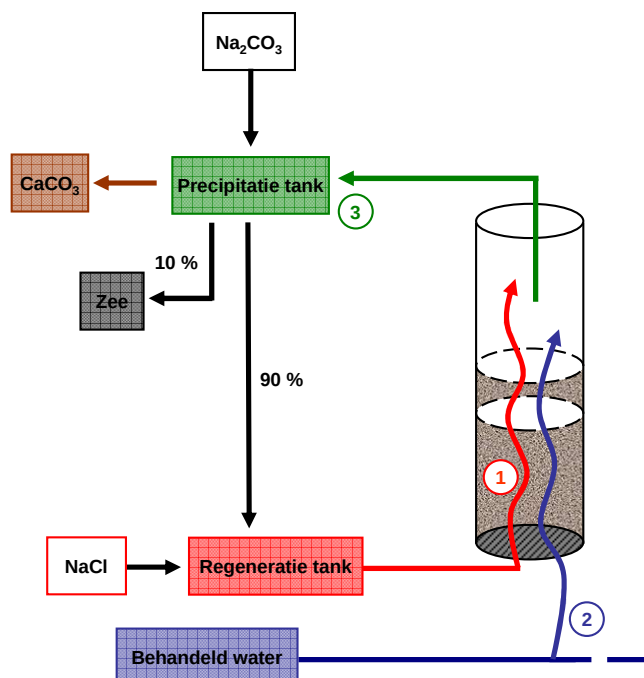
- Toevoegen chemicaliën (regenerant)
- Verwijderen chemicaliën uit het harsbed

Regeneratie gebeurt na 12 uur (ontwerp op gebaseerd, maximale belasting), maar het precieze moment van regeneratie kan m.b.v. een geleidbaarheidsmeting bepaald worden. Voor de 4^e Megalocatie is gekozen voor regeneratie in dezelfde richting als de als de influent-effluent-stroom. Bij tegenstroom (down-flow) zou de installatie ingewikkelder worden en bestaat kans op kanaalvorming en luchtbelontwikkeling. Een ander nadeel van neerwaartse stroming is dat de concentratie Calcium en Magnesiumionen steeds groter wordt naarmate de regeneratie lager in het bed komt. Tegelijkertijd neemt de concentratie aan uitwisselbare ionen in de regeneratievloeistof af. Als gevolg hiervan bestaat de kans dat de concentratie van de regeneratievloeistof niet meer voldoende is om de onderin aanwezige ionen van de hars te verdrijven. Na regeneratie is het onderste gedeelte van het bed dan nog gedeeltelijk beladen. Om dit te voorkomen is upflow regeneratie de beste optie. Uit een onderzoek van KIWA zijn een aantal verschillende mogelijkheden naar voren gekomen die hergebruik van de regeneratievloeistof mogelijk maken. Dit zijn nanofiltratie (NF), electrodialyse (ED), verdamping, precipitatie of een combinatie van deze opties.

Uit het rapport 'Mogelijkheden voor hergebruik van de regeneratievloeistof en reguleringen voor lozingen' van KIWA blijkt dat 'nanofiltratie + precipitatie' de meest rendabele en goedkoopste oplossing is. De berekeningen hiervoor zijn in Bijlage II te zien. Aangezien bij deze laatst genoemde optie, nanofiltratie met precipitatie, er twee installaties moeten worden gebouwd, kiezen we voor een ontwerp met 1 installatie, de precipitatie-installatie. Dit is ook makkelijker in het bedienen van de onthardingsinstallatie.

4.3 Uitwerking regeneratiestappen

Voor het dimensioneren van het regeneratieproces zijn er een aantal stappen die doorgerekend moeten worden. In onderstaande figuur zijn deze stappen met de cijfers 1-2-3 aangegeven.



Figuur 4-1 Drie stappen van regeneratie

Stap 1: Regeneratie

Er is gekozen om natriumchloride als regeneratievloeistof toe te passen voor de sterk-zure ionenwisselaar. De benodigde regeneratievloeistof (10% M NaCl) per regeneratieprocedure is te berekenen uit de aanbevolen snelheid voor regeneratie. (zie onderstaande tabel)

Tabel 4-1 Verbruik water per regeneratie (KIWA rapportage)

Fase in regeneratiecyclus	Snelheid (BV/h)	Periode (min)	Met	Waterverbruik (BV)
Regeneratie	2 - 10	30-60	10 % NaCl	2 - 10
Verdringing langzaam	2 - 7	30	ruw water	2 - 4

De aanbevolen snelheid voor regeneratie bedraagt 2-10 BV/h. Uitgaande van een bedvolume van $12,76 \text{ m}^3/\text{kolom}$, een regeneratiesnelheid van 2 BV/h, geeft een regeneratiestroom van $25,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ($= 2 * 12,76$). Met een gekozen regeneratietijd van 45 minuten, wordt een benodigd volume regeneratievloeistof van 20 m^3 berekend ($= 25,5 \text{ m}^3/\text{h} * 45 \text{ minuten}$).

De minimale grootte van de regeneratie vloeistof tank moet dan ook 20 m^3 bedragen.

De tanks dienen gemiddeld 1 maal per 12 uur geregenereerd te worden. (ontwerp)
Er zijn gemiddeld 2 tanks in gebruik. Hieruit volgt dat $(24/12*2*365)$ 1460 regeneraties per jaar nodig zijn.

Stap 2: Verwijderen van chemicaliën na regeneratie.

Op het moment dat de regeneratie stopt bevinden de chemicaliën zich nog in het harsbed. Deze kunnen worden verwijderd door het bed door te spoelen. Omdat de regeneratievloeistof gerecycled wordt, dient te worden gespoeld met behandeld water. De aanbevolen snelheid tijdens langzame verdringing (zie Tabel 4-1) is 2 tot 7 BV/h. Met een waterverbruik van 2 tot 4 bedvolumes, gedurende 30 minuten. In het ontwerp is gekozen voor een snelheid van 3 BV/h, ($3 \times 12,76 \approx$) 40 m³/h. De spoeltijd duurt 30 min. In totaal wordt dus (40 m³/h * 30 min)=20 m³ verbruikt. Ook dit water gaat richting de precipitatietank, de regeneratievloeistof wordt dus met 50% verdund.

Deze stromen van stap 1 en 2 zijn weergegeven in Figuur 4-1

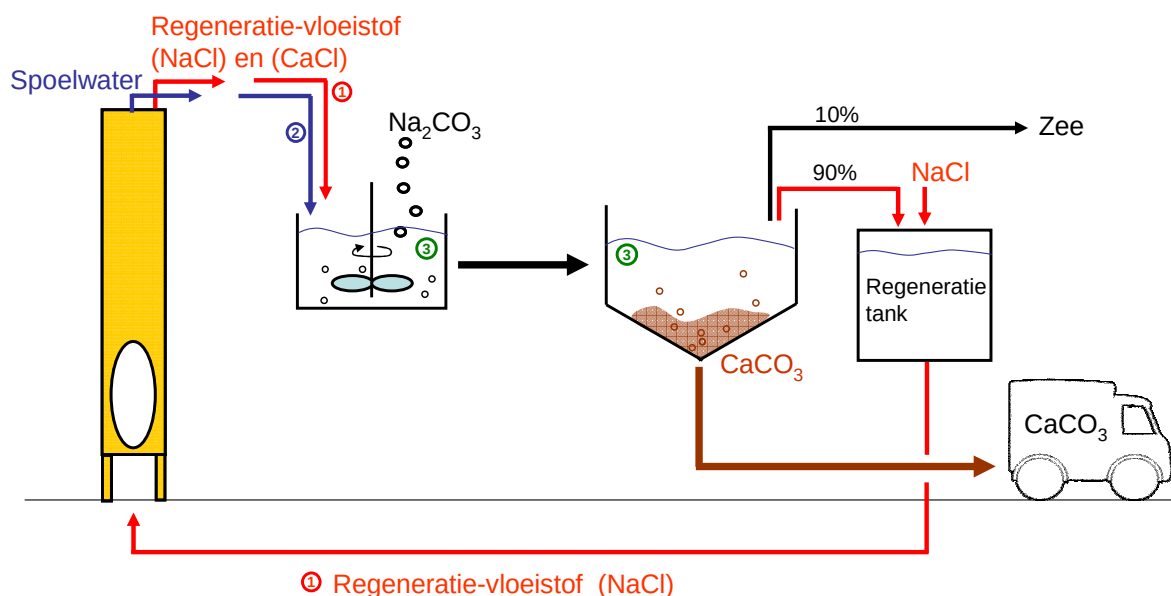
Stap 3: Precipitatie

De regeneratievloeistof (1) en het spoelwater (2) loopt vanuit de ionenwisselaar naar het precipitatiesysteem. Het principe van het precipitatie is dat de regeneratievloeistof en het spoelwater in een tank loopt waar het met Na₂CO₃ neerslaat tot CaCO₃. De Na₂CO₃ moet worden toegevoegd in een tank met een mixer, hierna kan het bezinken in een bezinktank. Een gedeelte van de bezonken CaCO₃ dient terug te worden gevoerd richting de mixtank. Dit vergroot het rendement van de precipitatie.

De benodigde verblijftijd in de mixtank wordt geschat op 30 minuten. Er kan maximaal 1 regeneratietank tegelijk geregenereerd worden.

Het volume van deze tank is (40 m³/ 0,5 uur=) 20 m³, met een diameter van 3,2 meter en een hoogte van 2,5 meter.

De verblijftijd in de bezinktank wordt geschat op 60 min. De tank heeft een volume van 40 m³, met een diameter van 4,5 meter en een hoogte van 2,5 meter.

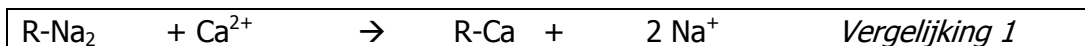


Figuur 4-2 Bewerking van het regeneraat

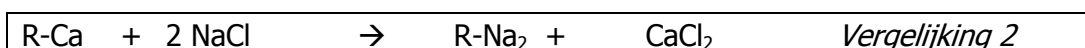
4.4 Chemicaliën

Benodigde hoeveelheid chemicaliën:

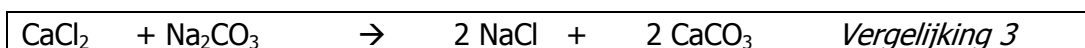
Tijdens het onthardingsproces in de ionenwisselaar vindt de volgende reactie plaats:



Deze reactie laat zien dat de Calcium (en Magnesium) zich aan de harsbolletjes binden, en dat Natriumionen vrijkomen. Tijdens regeneratie moet dit proces omgekeerd worden. Dit gebeurt volgens de volgende reactie:

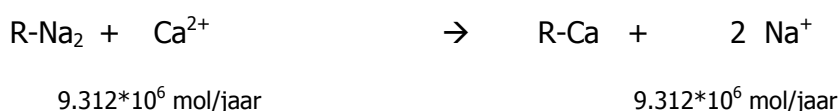


De harsbolletjes kunnen nu weer Natrium uitwisselen tegen calcium, de regeneratievloeistof is nu vervuild met $CaCl_2$. Door middel van precipitatie met soda kan dit neergeslagen worden als $CaCO_3$.



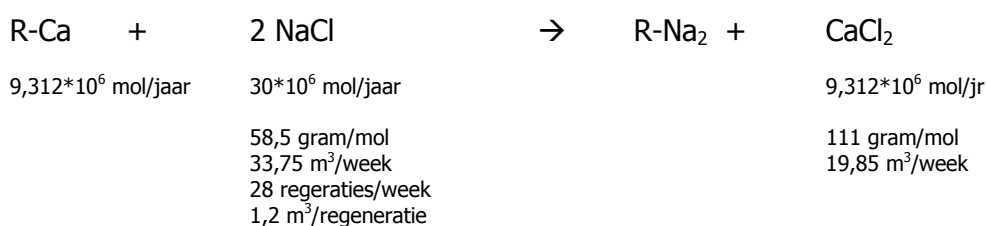
Uit KIWA-onderzoek blijkt dat d.m.v. precipitatie met soda 95% van de calcium kan worden omgezet tot $CaCO_3$.

Uit berekening van de ionenwisselingstanks blijkt dat gemiddeld 1063 mol/h Ca (en Mg) dient te worden uitgewisseld (zie voorgaande hoofdstuk). Dit komt neer op $(1063 \cdot 24 \cdot 365 =) 9,312 \cdot 10^6$ mol/jaar.

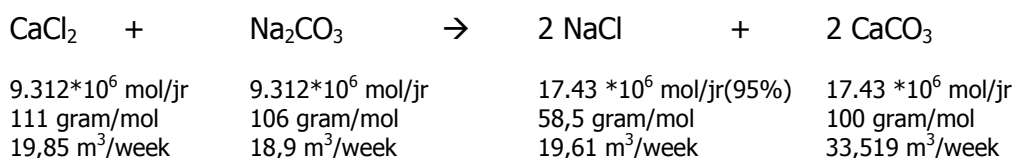


Tijdens regeneratie dient NaCl in overmaat gedoseerd te worden, zodat verzekerd is dat het rendement van regeneratie zo hoog mogelijk is. Aanbevolen wordt een overmaat van 40% tot 80% van de regeneratievloeistof. In ons ontwerp kiezen wij een overmaat van 60%.

Uit vergelijking 2 blijkt dat $(9,312 \cdot 10^6 \text{ mol/jaar} \cdot \text{molverhouding } 2 \cdot 160\%) = 30 \cdot 10^6 \text{ mol/jaar}$ NaCl per jaar nodig is. Er zijn gemiddeld 28 regeneraties/week. Dit komt neer op 1,2 m³/regeneratie, hiervan reageert 0,75 m³, 0,45 m³ (de overmaat) blijft over.



Tijdens onderzoek van Kiwa en DHV is gebleken dat 95% van deze $CaCl_2$ kan worden neergeslagen tot $CaCO_3$. Met deze reactie kan de NaCl teruggewonnen worden.



28 regeraties/week

0.71 m³/regeneratie 0.675 m³/regeneratie 0.7 m³/regeneratie 1.2 m³/regeneratie

De regeneratievloei is dan echter verdunt, hierdoor is enige onzekerheid over het rendement van dit proces. Men verwacht een rendement van zeker 90% te kunnen halen. In totaal kan dus $0,9 \cdot (0,45 + 0,675) = 1,0125 \text{ m}^3 \text{ NaCl}$ per regeneratie hergebruikt worden.

Er zijn gemiddeld 28 regeneraties per week. Hieruit volgt dat $(33,75 - 28 \cdot 1,0125) = 5.4 \text{ m}^3 \text{ NaCl}$ per week moet worden aangevoerd.

Uit de berekening volgt de benodigde hoeveelheid chemicaliën, met en zonder recycling:

Zonder recycling

	Chemicalien	m ³ /week
In	NaCl	33.75
Restproduct	CaCl ₂	19.85

Met recycling:

	Chemicalien	m ³ /week
In	NaCl	5.4
In	NaCO ₃	18.9
Restproduct	CaCO ₃	33.5

De ingaande stroom chemicaliën met recycling bedraagt in totaal 24,3 m³/week, de uitgaande stroom 33,5 m³/week. Zonder recycling is de ingaande stroom 33,75 m³/week, en de uitgaande stroom 19,9 m³/week. Het voordeel van recycling t.o.v. geen recycling is dat het restproduct CaCO₃ economisch meer waarde heeft dan CaCl. Door de precipitatie wordt NaCl teruggewonnen en zijn er in totaal minder chemicaliën nodig.

5 Bedrijfsvoering

5.1 Fasering 1-2-3

Het systeem met de ionenwisseling is zeer goed gefaseerd te implementeren in de zuivering van Lekkerkerk. Onderstaande tabel laat zien dat per fase 1 extra ionenwisselaar nodig is.

Tabel 5-1 Fasering 4e megalocatie

		fase 1	fase 2	fase 3	
max. flow	factor 1,45	500	1000	1543	m3/h
gem. flow	factor 1,00	345	690	1064	m3/h
min. flow	factor 0,85	300	565	905	m3/h
door ionenwisselaar					
max. flow	factor 1,45	200	400	618	m3/h
gem. flow	factor 1,00	138	276	425	m3/h
min. flow	factor 0,85	120	226	362	m3/h
aantal straten		1	2	3	
totale bedvolume		12,4	24,8	37,2	harsbed
bedbelasting BV/h					
max. flow		16,14	16,14	16,14	
gem. flow		11,13	11,13	16,65	3e fase sturing met straten mogelijk
min. flow		9,11	9,11	14,18	3e fase sturing met straten mogelijk
filtratiesnelheid					
max. flow		40,73	40,73	41,97	
gem. flow		28,1	28,1	43,29	3e fase sturing met straten mogelijk
min. flow		24,4	24,4	36,87	3e fase sturing met straten mogelijk

Fase 1: Ontharding op lekkerkerk. 3 miljoen m³/jaar

Het gebouw met de ionenwisselaar dient te worden gebouwd, de leidingen vanaf de filtratiekelder richting het ION-gebouw moeten worden aangelegd en de pompen dienen te worden vernieuwd. In deze fase is 1 ionenwisselaar nodig. (Dus 2 bouwen)

Fase 2: Ontharding van de Put op Lekkerkerk, 6 miljoen m³/jaar

Vanaf dit moment zijn 2 ionenwisselaars nodig, (dus 3 bouwen). De kwaliteit van het water van de Put en Lekkerkerk is vergelijkbaar, daarom moet weer een stroom van 40% van de totale stroom door de ionenwisselaar. De rest van de stroom wordt via de bypass richting de AC geleid. De capaciteit van de AC is voldoende, UV-installatie moet worden uitgebreid tot 3 UV-filters.

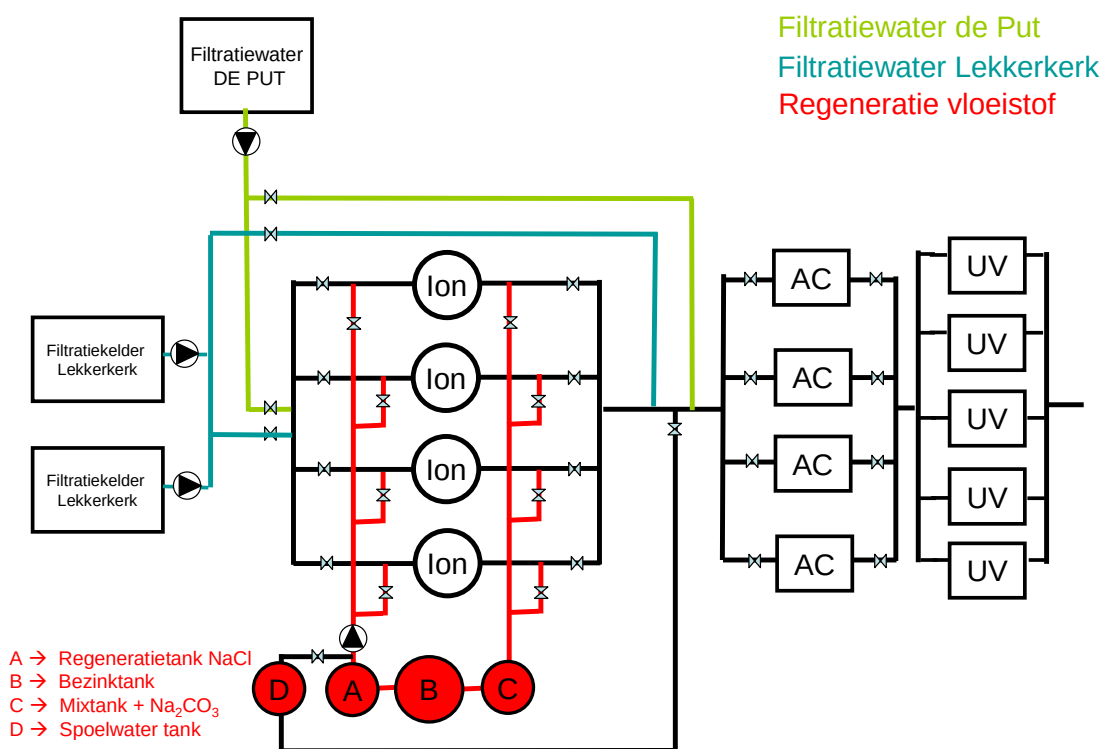
Fase 3: Sluiting De Put, uitbreiding capaciteit, 8,5 miljoen/jaar.

Het wordt OASEN afgeraden om de zuiveringslocatie 'De Put' te sluiten. Het vervoeren van ijzerhoudend water is lastig, er ontstaat namelijk ijzerafzetting in de leidingen. Hierna is het ook lastiger om het water door de filtratiebedden te laten gaan. Door de ijzervlokken raakt het ijzerbed sneller verstopt.

Indien de zuivering op 'de Put' echt gesloten moet worden, dan kan er een nieuw filtratiegebouw op 'de vierde megalocatie' worden gebouwd. Een nieuw filtergebouw voor uitbreiding van de filtercapaciteit kan op 'de 4^e megalocatie' gebouwd worden of 50% extra filtercapaciteit op 'De put' (ipv AC) en 50% extra op 'Lekkerkerk'. In het ontwerp hebben wij aangenomen dat de capaciteit van de AC op 'Lekkerkerk' voldoende is, op dit moment bedraagt de contacttijd 40 minuten. Tijdens het maximale uur zou de contacttijd (krap) 15 minuten bedragen. Hiermee wordt de gewenste kwaliteit van het afvalwater niet gehaald. Indien gewenst kan een extra koolfilter gebouwd worden, of men kan tevreden zijn met deze behaalde kwaliteit op het maximale uur. De UV-filters dienen te worden uitgebreid tot 5 filters met een capaciteit van circa 330 m³/h.

Uit bovenstaande fasering blijkt dat het ook mogelijk is om direct 'De Put' op de 4^e megalocatie aan te sluiten. Het drinkwaterleiding bedrijf zal hierin zelf een keuze moeten maken.

5.2 Ionenwisseling



Figuur 5-1 Processchema

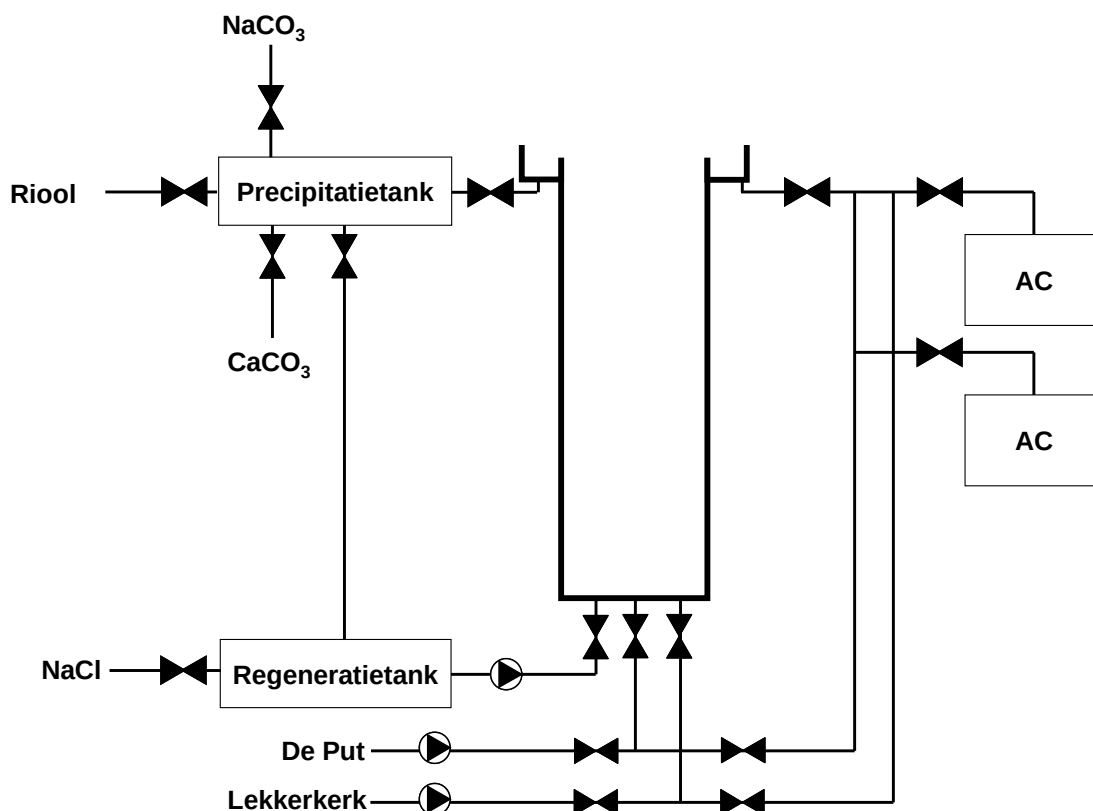
Bovenstaand processchema laat zien welke stromen door de ionenwisselaar kunnen gaan. De twee groene stromen zijn afkomstig vanaf 'De Put' en 'Lekkerkerk', hiervan moet 40% van de totale stroom door de ionenwisselaar geleid worden. In totaal zijn er maximaal 3 ionenwisselaars in bedrijf, 1 ionenwisselaar is voor onderhoud/regeneratie.

5.3 Regeneratie

Het moment van regeneratie wordt bepaald met een geleidbaarheidsmeter, de klep vanaf het ruw water en de klep richting de AC-filter wordt nu gesloten. De klep vanaf de regeneratie tank en richting de precipitatietank(mixtank) wordt nu geopend. Nu is er een loopje vanaf de regeneratietank door de ionenwisselaar, naar de mixtank, via de bezinktank naar de regeneratietank. Onderstaand stroomschema van de kolom laat zien waar welke chemicaliën waar worden toegevoegd.

Het vakje precipitatietank staat voor figuur B en C in het processchema.

Na de regeneratievloestof kan gespoeld worden met behandeld water, zodat de chemicaliën uit het bed verwijderd worden.



Figuur 5-2 Stroomschema Kolom

6 Kosten

De investeringskosten zijn met behulp van de formule het Kiwa-rapport 'Ionenwisseling als alternatief voor korrelreactoren' berekend. Namelijk:

$$\text{Bouwkosten ionenwisseling} = 0.02 * Q^{0.54} \text{ [M euro]}$$

Het ontwerpdebiet door de ionenwisselaars bedraagt 440 m³/h, dit invullen in bovenstaande formule geeft 0,530 M euro. Hierbij komen nog de kosten van de precipitatie-installatie, deze worden geschat op 0,15 M euro.

De investeringskosten in hars zijn hoog, de levensduur is echter circa 10 jaar. Tijdens het in bedrijf zijn van de installatie kan hars uitspoelen, dit is zeer onwenselijk, in de kostenberekening wordt echter rekening gehouden met een uitspoeling van 5% (Van Leenen 2004).

Per jaar zal de ionenwisselaar circa 0,4 FTE extra kosten, de onderhoudskosten worden geraamd op 25.000 euro/jaar.

De totale kosten voor chemicaliën bedragen circa 3,5 ton/jaar. Hier dient echter verder onderzoek naar gedaan te worden. Vitens gaat een proefinstallatie ontwikkelen waarin men het rendement van NaCl recycling in gaat testen.

Tabel 6-1 Schatting van de kosten

	aantal	eenheid	euro/aantal	euro	bron
Investing					
Gebouw + installaties + aanpassingen				680000	rapportage KIWA
Hars (levensduur circa 10 jaar)	50	m3	2000	100000	DHV Kostenstandaard
Totaal				780000	
Bedrijfsvoering (kosten per jaar)					
Controle & Regeling door operator	0,25	fte	40000	10000	rapportage KIWA
Onderhoud & Storingen	0,15	fte	40000	6000	rapportage KIWA
Onderhoudskosten				25000	schatting
Begeleiden transport (2,5 vrachtwagen per week)	0,1	fte	40000	4000	rapportage KIWA
Totaal				45000	
Chemicaliën en andere verbruik					
Vervanging hars	2,5	m3/jaar	2000	5000	rapportage KIWA
NaCl	281	m3/jaar	150	42150	DHV Kostenstandaard
Na2CO3	1000	m3/jaar	300	300000	DHV Kostenstandaard
afzet CaCO3	1750	m3/jaar	-	-	
Totaal				347000	

7 Conclusie en aanbevelingen

- Een ionenwisselaar is een goed alternatief voor ontharding op 'De vierde Megalocatie'. De fasering is zeer gemakkelijk op te nemen in het ontworpen systeem.
- Een ionenwisselaar is een innovatief ontwerp, die nog weinig is toegepast bij ontharding van drinkwater.
- Er is gekozen voor het ontwerpen van een flexibel systeem. Er kan een keuze worden gemaakt in de sturing van het debiet door de ionenwisselaars, waarbij in totaal 40 % van de totale hoeveelheid onttrokken grondwater (De Put + Lekkerkerk) door de ionenwisselaars wordt geleidt. Daarbij wordt de stroom door de ionenwisselaar van 2,5 tot 0,0 mmol/l onthard. Na vermenging is de hardheid 1,5 mmol/l.
- De installatie voor een ionenwisselaar is compact en behoeft weinig ruimte.
- De dimensies van een ionenwisselaar : diameter 2,5 m, hoogte 6 m, volume harsbed 12,76 m³.
- De keuze is aan OASEN of de leidingen vanaf de ionenwisselaar naar de actiefkoolfilters over de weg lopen (op hoogte) of dat de leidingen in de grond liggen.
- Voor realisatie van 'fase 1' is zijn 2 ionenwisselaars nodig (1+1), voor 'fase 2' zijn 3 (2+1) ionenwisselaars nodig, de uiteindelijke megalocatie heeft 4 ionenwisselaars nodig.
- De regeneratievloeistof kan gerecycled worden m.b.v. Na₂CO₃.
- Kosten kunnen bespaard worden wanneer de regeneratievloeistof wordt gerecycled.
- Binnenkort start Vitens met een onderzoek met een pilotinstallatie, waarin verder het recycleren van de regeneratievloeistof wordt onderzocht.
- Er wordt aanbevolen om de filtratiebedden op locatie 'De Put' aan te houden en niet te verwijderen. Het beluchte, en gefiltreerde water wordt getransporteerd naar de 4^e megalocatie. Daar kan door sturing van het proces worden bepaald of water van de Put (gedeeltelijk) wordt onthard of geen ontharding ondergaat.
- Er wordt aanbevolen om te kijken of de geplande 3 fases, ook uitgevoerd kunnen worden in 1 of 2 fases. In het ontwerp is rekening gehouden met de mogelijkheden voor de bouw van de 4 installaties in 1 keer. (gefaseerd bouwen blijft ook een optie)
- Bij vergroting van de capaciteit (fase 2 en 3), moet de reinwaterkelder op de 4^e Megalocatie vergroot worden,. Het wordt aanbevolen om de capaciteit in het leidingnetwerk zelf te vergroten en niet op de 4^e Megalocatie zelf.

8 Literatuurlijst

Cornelissen, E, Gijsbertsen A. 2006. 'Gefluidiseerde ionenwisseling (Fix) voor ontharding of NOM verwijdering. Een haalbaarheidsstudie.' Kiwa N.V. Waterresearch

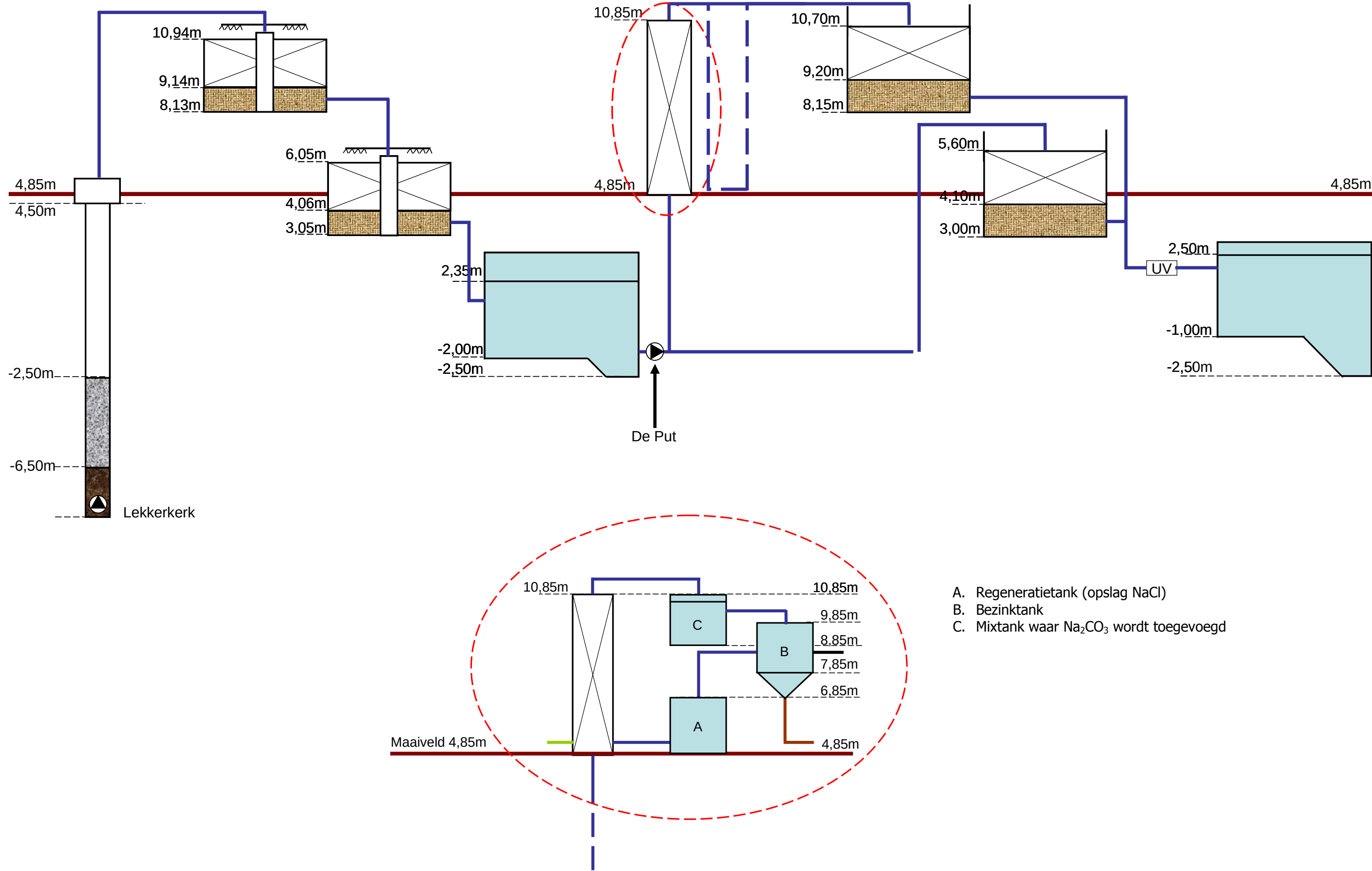
Post J, Siegers W, 2004. 'Ionenwisseling als alternatief voor korrelreactoren en nanofiltratie, Afweging van ionenwisseling ten opzichte van pelletontharding en nanofiltratie.' Kiwa N.V. Waterresearch

Post J, Siegers W, 2004. 'Ionenwisseling als alternatief voor korrelreactoren en nanofiltratie, Mogelijkheden voor hergebruik van de regeneratievloeistof en reguleringen voor lozingen.' Kiwa N.V. Waterresearch

Riemersma M, Post J, Siegers W, 2004. 'Ionenwisseling als alternatief voor korrelreactoren en andere toepassingen. Literatuuronderzoek en evaluatie van gesprekken met leveranciers en eindgebruikers' Kiwa N.V. Waterresearch

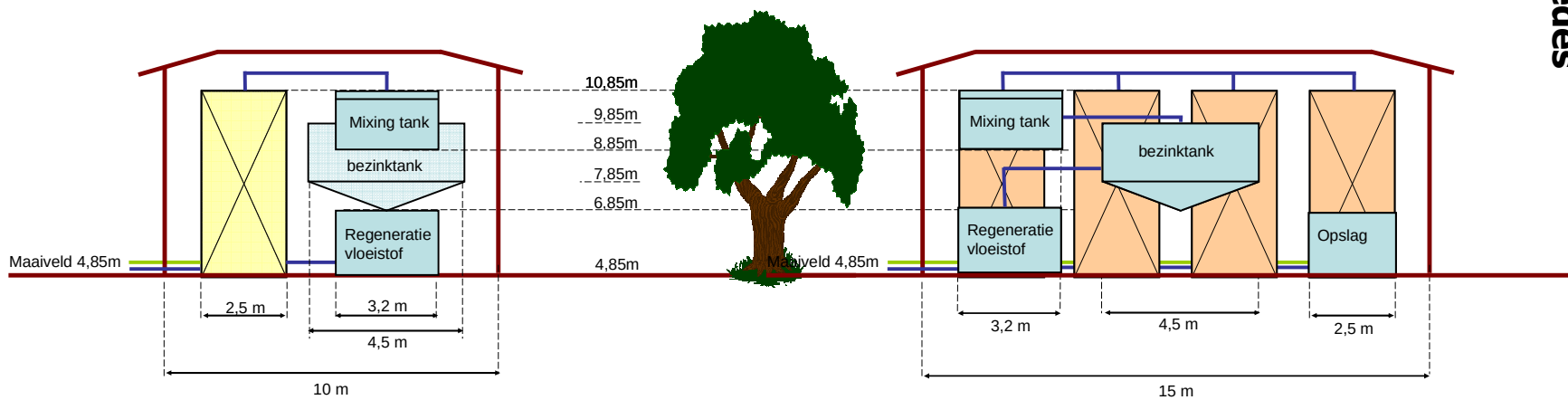
Van Dijk, J.C., Rietveld, L.C., Verberk, J.Q.J.C., 2004. CT4470-Drinking Water Supply – 1 Technology. TU Delft, Faculty of Civil Engineering and Geosciences.

Bijlage I - Hydraulische lijn

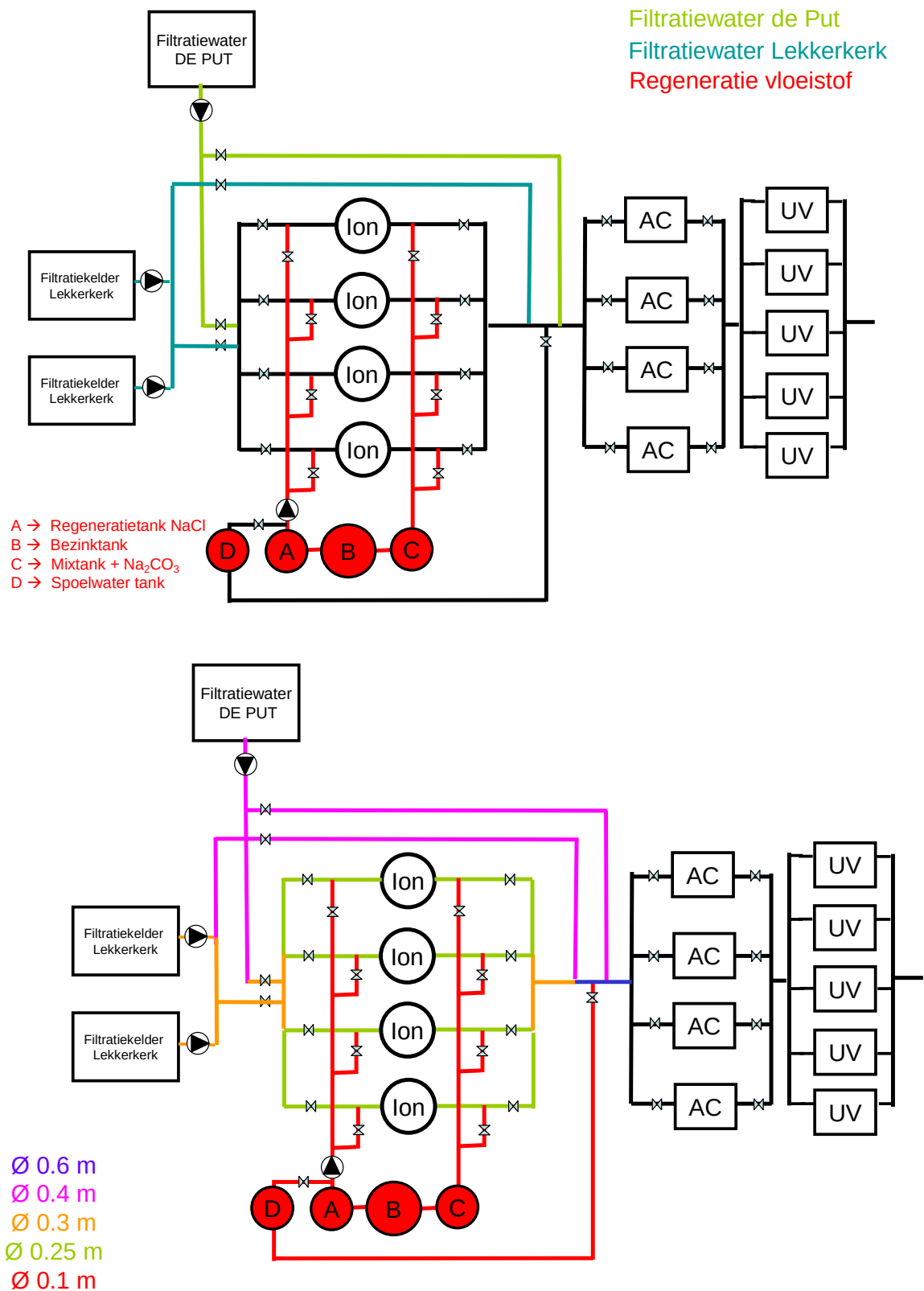


- A. Regeneratietank (opslag NaCl)
- B. Bezinktank
- C. Mixtank waar Na_2CO_3 wordt toegevoegd

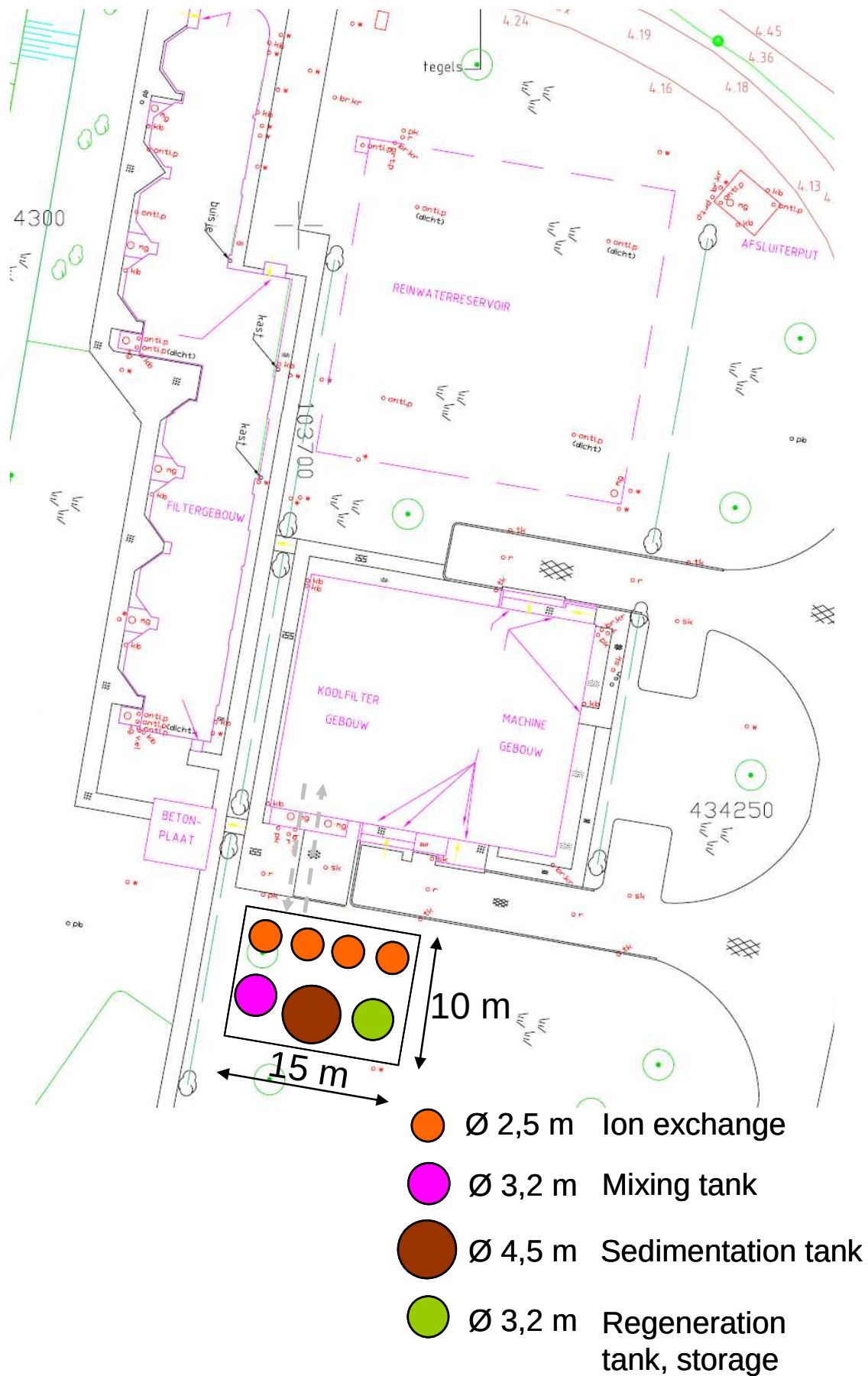
Bijlage II - Doorsnedes



Bijlage III - Stroomschema



Bijlage IV - Plattegrond



Bijlage V - Deelstromen

	Lekkerkerk		De Put				
optie	Q _{L,i}	Q _{L,b}	Q _{P,i}	Q _{P,b}	Verwijderen van Ca ²⁺ of Mg ²⁺	Effluent ionenwisselaar	Natrium effluent ionenwisselaar
1	100%	0%	100%	0%	verwijdering van 1,0 mmol/l	Bereikte hardheid 1,5 mmol/l	99,25 mmol/l
2	100%	0%	0%	100%	verwijdering van 2,0 mmol/l	Bereikte hardheid 0,5 mmol/l	99,25 mmol/l
3	0%	100%	100%	0%	verwijdering van 2,0 mmol/l	Bereikte hardheid 0,5 mmol/l	99,25 mmol/l
4	50%	50%	100%	0%	verwijdering van 1,34 mmol/l	Bereikte hardheid 1,16 mmol/l	99,34 mmol/l
5	50%	50%	0%	100%	Onvoldoende onthardings- mogelijkheid	Onvoldoende onthardings- mogelijkheid	x
6	0%	100%	50%	50%	Onvoldoende onthardings- mogelijkheid	Onvoldoende onthardings- mogelijkheid	x
7	100%	0%	50%	50%	verwijdering van 1,34 mmol/l	Bereikte hardheid 1,16 mmol/l	99,34 mmol/l
8	50%	50%	50%	50%	verwijdering van 2,0 mmol/l	Bereikte hardheid 0,5 mmol/l	99,25 mmol/l
9	80%	20%	0%	100%	verwijdering van 2,5 mmol/l	Bereikte hardheid 0,0 mmol/l	99,25 mmol/l

Bijlage VI - Regeneratiekosten

Uit onderzoek blijkt dat er verschillende mogelijkheden zijn voor het hergebruik van regeneratievloeistof. Namelijk nanofiltratie (NF), electrodialyse (ED), verdamping, precipitatie of een combinatie van deze opties. De tabellen in deze bijlage zijn overgenomen uit het rapport 'Ionenwisseling als alternatief voor korrelreactoren en NF' van KIWA. De kostenbesparing door hergebruik van chemicaliën zijn niet meegenomen in deze tabellen.

Met gebruik van de KIWA-tabellen is onderstaande tabel opgesteld. Met het percentage verliezen kan de benodigde extra hoeveelheid chemicaliën berekend worden. Hieruit resulteren de uiteindelijke totale kosten per jaar. (inclusief operationele kosten, rente en afschrijving)

	hergebruik	verlies	kosten/m ³	benodigd m ³	totale kosten
NF	80%	20%	2,08	58400	121472
NF+ verdamping	99%	1%	2,79	2920	8146,8
NF + precipitatie	99%	1%	2,68	2920	7825,6
ED	80%	20%	2,49	58400	145416
ED + verdamping	99%	1%	3,2	2920	9344
ED +precipitatie	99%	1%	3,09	2920	9022,8
verdamping	95%	5%	3,57	14600	52122
precipitatie	95%	5%	3	14600	43800

Uit bovenstaande tabel blijkt dat nanofiltratie + precipitatie de meest rendabele en goedkope oplossing is. Uiteindelijk zal 1% van de regeneratievloeistof na nanofiltratie en precipitatie richting het riool gaan. Tijdens het uitspoelen en het verwijderen van de chemicaliën uit het bed, zal circa 1% van het totale debiet verloren gaan. Het uiteindelijke rendement van de ionenwisselaars ligt daarom op circa 98,5%.