



Rapport

Pompstation Andijk

Strategische verkenning drinkwaterproductiemiddelen

Aan

Gerlof Steen

Ter kennisneming aan

PWN

Van

Jink Gude

Samenstellers

Jink Gude

Opdrachtgever

PWN

Datum

27-6-2019

Registratienummer

Rev.	Datum	Beschrijving	Gemaakt door	Getoetst	Vrijgegeven
1	23-5-2019	Concept	Jink Gude	Gerlof Steen	
				John Boogaard	
				Erik Koreman	
				Jim Plooi	
				Bram Martijn	
				Herman Smit	
	27-6-2019	Definitief			

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	2
1. Inleiding	2
Achtergrond	5
Doel	5
Leeswijzer	5
2. Waterbehandeling Andijk	6
Overzicht	6
Waterbehandeling per proces	6
Bron	6
Bekken	6
Ruwwater microzeven	7
Coagulatie en flocculatie	8
Snelfiltratie	9
SIX (Andijk 3)	10
Ceramac (Andijk 3)	11
UV-H ₂ O ₂ (Andijk 2)	12
Actief koolfiltratie	12
Reinwater microzeven	12
Productiecapaciteit	15
Watervraag nu	15
Watervraag de komende jaren	15
Waterkwaliteit	15
Chloride	16
Sulfaat	18
Corrosie-index	19
Natrium	20
Nitraat	21
Natuurlijk organisch materiaal IJsselmeer	21
Multi barrier approach	23
3. Toekomst bestendig drinkwater maken	25
Nu	25
2028	25
2040	26
4. Aanbevelingen	27
Algemeen	27
Waterbehandeling	27

Samenvatting

Inleiding

Er is gevraagd om een analyse te maken van de toekomstbestendigheid van Drinkwaterproductielocatie Martien den Blanken (PSA). PSA behandelt oppervlaktewater uit het IJsselmeer tot drinkwater en is opgebouwd uit verschillende zuiveringsprocessen van variërende leeftijden en ontwerpgrondslagen. Naast de zeer recent in bedrijf genomen productiemiddelen, ionenwisseling en microfiltratie (SIX en CeraMac), bevat PSA ook productiemiddelen uit de jaren '60 (coagulatie, bezinking in vlokkendekenapparaten en snelle zandfiltratie), '70 (actieve koolfiltratie met reinwatermicrozeving en nadesinfectie met chloordioxide ter vervanging van de nachloring), '90 (uitdiepen reservoir en introductie 'bekkenontharding' en 2004 (UV/H₂O₂ behandeling, ter vervanging van de breekpuntschloring). De recent in bedrijf genomen voorzuivering (Andijk 3) zou de oude voorzuivering (Andijk 1) vervangen. Echter om aan de productievraag te kunnen voldoen zullen tot 2035 de nieuwe en de oude voorzuivering beide operationeel zijn en voorgezuiverd water leveren aan de na-zuivering (Andijk 2). Er dient volop gewerkt te worden aan een strategie voor de zuivering van PSA na 2035 omdat dan de productiecapaciteit van Andijk 1 wegvalt. Deze analyse zal hiervoor onderzoeksrichtingen aandragen.

Bron

Met een uitdagende bron als het IJsselmeer, denk aan zouten, antropogene stoffen als bestrijdingsmiddelen en geneesmiddelen, natuurlijk organisch materiaal (NOM), algen, bacteriën en virussen, is het essentieel de zuivering op te zetten volgens het multi-barrier principe. Dit houdt onder andere naast bronbescherming in, dat schadelijke en onwenselijke stoffen op meerdere manieren in de zuivering verwijderd worden. Ook PSA is uitrust volgens het multi-barrier principe, organische microverontreinigingen worden door Uv-licht en hydroxyl-radicalen omgezet en verwijderd door adsorptie aan kool. Ook pathogene micro-organismen, bacteriën en virussen, worden en door uv-licht en door chloordioxide onschadelijk gemaakt. Echter zijn er wel twee waterkwaliteitsparameters die niet aan de wet voldoen: chloride en Aeromonas is regelmatig te hoog in het einde van het distributienet. Naast aanpak van deze wettelijke parameters zijn er wellicht ook andere optimalisaties mogelijk en zijn benoemd in de aanbevolen onderzoekagenda.

Chloride

De jaargemiddelde chlorideconcentratie van het IJsselmeer was 107 mg/L (vanaf 2000), slechts 43 mg/L onder de norm van 150 mg/L (als kalenderjaargemiddelde). De voorzuiveringen Andijk 1, coagulatie met FeClSO₄ en Andijk 3, ionenwisseling met chloride geladen hars voegen respectievelijk 14 en 55 mg/L chloride toe aan het drinkwater. Hoewel ongewenst, zal de 14 mg/L toegevoegd in Andijk 1 niet leiden tot een overschrijding van de norm, ook niet in jaren met hoge gemiddelde chlorideconcentraties (max 134 mg/L in 2017). Andijk 3 voegt in de SIX 55 mg/L chloride toe door het uitwisselen van chloride met organisch materiaal, bicarbonaat, sulfaat en nitraat (anionen). Dit is geen ongewenst bijeffect, hoe efficiënter het uitwisseling proces dus hoe hoger de nitraat en organisch materiaalverwijdering, hoe meer chloride in het drinkwater terechtkomt (de SIX was ontworpen op 75 mg/L chloride toevoeging). Volledige inzet van de SIX resulteert in een gemiddelde chloride concentratie van 162 mg/L en voldoet daarmee niet aan de norm, sinds 2000 zouden er maar 4 jaren zijn met een laag genoeg chloridegehalte in het IJsselmeer dat aan de wet voldaan zou worden. Ergo, volledige inzet van de SIX zal dus resulteren in een structurele overschrijding van de norm van 150 mg/L als jaargemiddelde in het drinkwaterbesluit. Er zijn twee onderzoeksrichtingen die de SIX operationeel kunnen houden. (1) uitwisselen met een ander anion, door b.v. te regenereren met NaHCO₃ in plaats van NaCl of (2) het chloride weer te verwijderen door middel van ontzilting.

Parallel aan dit vervolgonderzoek dient in beeld gebracht te worden wat de opties zijn voor een ander voorzuiveringsconcept, mocht NaHCO₃ niet technisch haalbaar is en ontzouting ongewenst blijken (reststroom, kosten, waterverlies).

Constant debiet Andijk 1, Andijk 3 flexibele inzet

De debieten door de drie flocculators worden handmatig met een regelklep door de bedrijfsvoerders ingesteld en evt. verschillen in debiet worden beoordeeld door dienstdoende bedrijfsvoerder (ook na de renovatie). Dit resulteert in debietverschillen: op moment van schrijven lagen de debieten meer dan 11% uit elkaar. De flocculators zijn gevoelig voor snelheidswisselingen, bij het optoeren van het debiet komt een (klein) deel van de vlokkendeken in het effluent terecht komt. Dit verstopt de nageschakelde zandfilters. Het bedrijven van de flocculators met constant, niet te groot, debiet levert de beste waterkwaliteit. Daarnaast kunnen dan de nageschakelde snelfilters weer terug onder hun ontwerp filtratiesnelheid van 7 m/h weer naar een hoger filterbed door de vrijgekomen hydraulische ruimte. Dit resulteert in meer vuilberging, minder waterverlies en betere waterkwaliteit. Andijk 3 daarentegen is veel

beter bestand tegen debietschommelingen vanwege de robuust microfiltratie. Onderzoek naar de waterverdeling tussen Andijk 1 en Andijk 3 zou de waterkwaliteit (o.a. deeltjes en mangaan) van het voorgezuiverde water ten goede komen.

Oeverfiltratie

Een mogelijke alternatieve voorzuivering is oeverfiltratie en is twee jaar geleden door de hydrologen voorgesteld, dit is toen echter om onduidelijke redenen weggewuifd (deeltjes nodig voor de CeraMac...). Oeverfiltratie in Amerikaans onderzoek laat de volgende waterkwaliteitsverbeteringen zien: DOC 42%, UV254 39%, NO₃ 86% en PO₄ 74%. Ook in Nederland is er veel ervaring met oeverfiltratie, Nederlands onderzoek toont aan dat oeverfiltratie ook effectief een groot aantal organische microverontreinigingen (pesticiden, medicijnen, industriële afvalproducten, voedsel/drank additieven) kan verwijderen. Oeverfiltratie zou daarmee een gunstige en duurzame voorzuiveringsstap vormen voor de UV-H₂O₂. Ook zullen coagulatie doseringen omlaag kunnen, wat leidt tot: besparing in chemicaliën (NaOH en FeCl₃), verminderde chloride en verminderde restromen (slib). Na bodempassage dient het water niet meer in bekkens te komen i.v.m. herbesmetting. Daarmee zal de huidige bekenontharding komen te vervallen, wat op een andere manier gerealiseerd zou moeten worden. Een onderzoek naar de toepasbaarheid van oeverfiltratie van IJsselmeerwater zou grote meerwaarde voor de zuivering van PSA kunnen aantonen.

Aeromonas

De andere normoverschrijding is Aeromonas. Dit is een bacterie die fungeert als nagroei parameter en in het drinkwaterbesluit is opgenomen als < 1000 kolonievormende eenheden per 100 ml. Het drinkwater af pompstation voldoet aan deze norm, echter met name in eind van het voorzieningsgebied worden regelmatig overschrijdingen gemeten. In 2016 waren het er 25 van de 300 metingen, in 2017 waren het er meer, 34 van de 300 metingen. De biologische stabiliteit van drinkwater is een lastig hard te maken parameter en is al jaren onderwerp van onderzoek, ook op Andijk. De studies voorhanden geven aan dat water na de UV-H₂O₂ door oxidatie van organisch materiaal in makkelijk assimileerbaar koolstof (AOC; hapklare brokken) groei van bacteriën oplevert, zeer veel meer dan voor de oxidatie. De koolfilters zijn derhalve ook biologisch actief, micro-organismen zetten een deel van AOC om in CO₂. Deze biologische activiteit leidt ook tot meetbare micro-organismen uit de koolfilters die niet meer worden tegengehouden door de microzeven (maaswijdte van 35µm terwijl bacteriën ±1µm zijn), maar kapot worden gemaakt door chloor en het distributienet ingaan als voeding (deeltjes, restanten van (organische) microverontreinigingen en bacteriën <35 µm gaan het voorzieningsgebied in). Onderzoek naar de vervanging van de microzeven voor een membraan barrière zou de hoeveelheid voeding naar het distributienet drastisch kunnen verminderen.

Ook in het kader van toekomstbestendig drinkwater maken en klantperceptie zou een absolute barrière voor bacteriën, virussen, microverontreinigingen als laatste zuiveringsstap zeer gewenst zijn. Hiermee is de chloordioxide dosering overbodig wat vorming desinfectie-bij-producten voorkomt en ook weer een reductie van AOC oplevert, dus minder voeding in het distributienet.

Aanbevelingen

Volgorde van onderzoeksrichting is weergegeven op basis van prioriteit (disclaimer: kosten opgenomen in punt d zijn zeer grof ingeschat).

1. Chloride minimaliseren
 - a. Wat: Onderzoek laden hars van de SIX met HCO₃ i.p.v. chloride;
 - b. Waarom: Op basis van chloride toevoeging niet aanvaardbare processtap;
 - c. Impact: als niet mogelijk is met NaHCO₃ te regenereren zal SIX vervangen worden voor coagulatie en later i.c.m. met oeverfiltratie. Of (nog een) extra stap: deelstroomontziltling
 - d. Urgentie hoog, onderzoekskosten gering, aanpassing installatie blijkt uit onderzoek, complexiteit zal blijken uit onderzoek
2. Constant debiet Andijk 1, Andijk 3 variabel
 - a. Wat: Vast debiet door flocculators en snelfilters
 - b. Waarom: optimalisatie waterkwaliteit en waterverlies
 - c. Impact: verhoogde chloride door inzet Andijk 3
 - d. Snel en makkelijk te implementeren, kosten nihil, quick-win
3. Snelfilter Andijk 1 optimaliseren op basis van vast debiet
 - a. Wat: Verhoging van de filterbed hoogte en reductie van belasting (filtratiesnelheid)
 - b. Waarom: bedreven boven ontwerpbelasting met gereduceerde bedhoogte. Herstellen zal meer ijzer tegenhouden, vrijwel volledige ontmanganing en ammoniumverwijdering

verzorgen. Door minder ijzerdoorslag minder spoelen en dus minder waterverlies in de koolfilters. Geen mangaan en ammonium in de koolfilters betekent minder overschrijdingen na regeneratie en wellicht langere levensduur kool. Wellicht verbeterde UV-t dus gunstig voor desinfectie en onderhoud (E verbruik en levensduur lampen)

- c. Impact: hydraulische lijn, capaciteitsverlies
 - d. Snel en makkelijk te implementeren, <50.000 euro,
4. Onderzoek naar toepassing oeverfiltratie
- a. Wat: Verlaging NOM, algen, zwevende stof, ammonium en nitraat
 - b. Waarom: Effectievere zuivering, minder coagulant nodig waardoor minder chloride, bekken overbodig door kans op herbesmetting.
 - c. Impact: Huidige bekkenontharding komt daarmee ook te vervallen dus centrale ontharding moet op andere manier gerealiseerd worden.
 - d. Uitvoerig onderzoek nodig, investering > 10 mil. euro, complex (b.v. andere ontharding), lange doorlooptijd
5. Ceramische microfiltratie verplaatsten na de actief koolfilters
- a. Wat: omleggen leidingen zodat CeraMac na de koelfiltratie komt
 - b. Waarom: absolute barrière voor afstervende biologie, fines en hogere organismen waardoor ClO₂ niet meer nodig is en mogelijk verbetering biologische stabiliteit. Operationele voordelen zijn dat de flux veel hoger wordt door schoner water, er minder chemicaliën nodig zijn voor backwash mede door afwezigheid van mangaan
 - c. Impact: voorzuivering Andijk 3 heeft dan zandfilters nodig. Dus bijbouwen.
 - d. Onderzoek naar nut en effectiviteit duurt wel even, met zandfilter duur >20 miljoen euro zonder zandfilters aanzienlijk goedkoper, 1 miljoen euro, lastig om te bouwen en daarmee complex.
6. En/of Nanofiltratie (vervangen bekkenontharding)
- a. Wat: Verlagen hardheid, sulfaat en DOC-verwijdering bij lagere druk en minder geconcentreerde reststroom.
 - b. Waarom: Reststroom bevat geen extra chloride, dus matig zouter. Barrière voor organische stof en grotere organische microverontreinigingen zou biologische stabiliteit sterk kunnen verhogen en waterkwaliteit ten goede komen en draagt bij aan multi-barrier-approach
 - c. Impact: Moet aan het eind van de zuivering geplaatst worden ter voorkomen van te snelle vervuiling. Ook is voorbehandeling met microfilters gewenst en geeft waterverlies (reststroom).
 - d. Uitvoerig onderzoek nodig, investering >40 miljoen euro, complex in aanleg

1. Inleiding

Achtergrond

Er is gevraagd om een analyse te maken van de toekomstbestendigheid van Drinkwaterproductielocatie Andijk (PSA). PSA behandelt oppervlaktewater uit het IJsselmeer tot drinkwater en is opgebouwd uit verschillende zuiveringsprocessen van variërende leeftijden en ontwerpgrondslagen. Naast de zeer recent in bedrijf genomen productiemiddelen, de SIX en CeraMac, bevat PSA ook productiemiddelen uit de jaren '60 (coagulatie, bezinking in vlokkendekenapparaten en zandfiltratie), '70 (actieve koolfiltratie met reinwatermicrozeving en nadesinfectie met chloordioxide ter vervanging van de nachloring), '90 (uitdiepen reservoir en introductie 'bekkenontharding' en 2004 (UV/H₂O₂ behandeling, ter vervanging van de breekpuntschloring). Tot 2035 zullen de nieuwe en de oude voorzuivering operationeel zijn. Op gebied van chloride en Aeromonas waren er in 2017 overschrijdingen van het drinkwaterbesluit.

Doel

Door middel van een grondige analyse is het doel om meer inzicht te verkrijgen in de kwaliteit en de effectiviteit van onze zuiveringsstappen op pompstation Andijk. Elementen uit deze analyse kunnen meegenomen worden in het strategisch plan dat aan het eind van 2019 gereed moet zijn. Het strategisch plan bestrijkt de tijdspanne van nu tot 2040. Voor PSA wordt het volgende in beeld gebracht:

1. welke zuiveringstappen zijn geïnstalleerd en wat daar gebeurt;
2. welke waterkwaliteitsparameters zijn aandachtspunten voor het leveren van goed en voldoende drinkwater;
3. welke maatregelen moeten we nemen/wat moeten we onderzoeken, nu, in 2028 en in 2040 om uitstekend drinkwater te maken op PSA.

Leeswijzer

Allereerst worden de processtappen beschreven zoals momenteel geïnstalleerd. Hierbij is met name de functie beschreven en of de geproduceerde waterkwaliteit voldoet. De opgestelde productiecapaciteit wordt hierbij ook kort beschreven. Vervolgens worden belangrijke waterkwaliteitsparameters beschreven in samenhang met de complete waterzuivering. In hoofdstuk 3 zijn de sterke en zwakke punten van de complete oppervlaktewaterbehandeling van Andijk beschreven en oplossingen aangereikt om de zwakke punten te mitigeren. Er is een schematische weergave van een mogelijke nieuwe zuiveringsopzet in 2040. Hoofdstuk 4 is een schematische opsomming van mogelijke onderzoeken om te komen tot een robuuste zuivering met onberispelijke drinkwaterkwaliteit.

2. Waterbehandeling Andijk

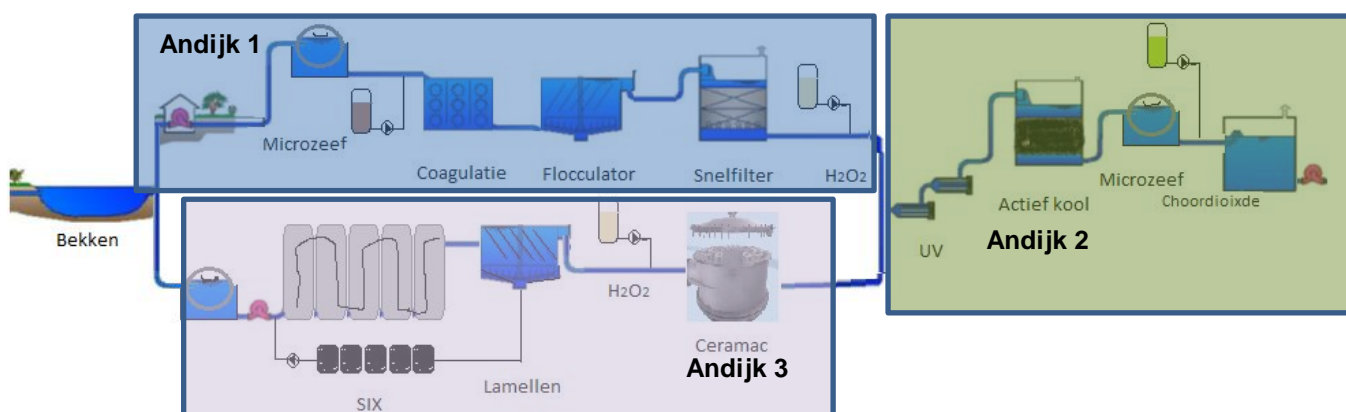
Overzicht

Water vanuit het IJsselmeer komt de zuivering in vanuit twee afzonderlijke bekken, het PSA en het WPJ bekken. Al het water ingenomen in het PSA bekken wordt onthard met NaOH tot ongeveer 1 mmol/L en bijgemengd met water uit het WPJ bekken tot 1,4 mmol/L. Aan het ontharde water wordt CO₂ toegevoegd om kalkneerslag in de ruwwatermicrozeven te voorkomen. Na de CO₂ is nog een viswering opgesteld en gaat het de voorzuivering in.

De conventionele voorzuivering van Andijk 1 bestaat uit microzeven met poriegrootte 35 µm, coagulatie met 20 mg/L FeClSO₄ en 0,2-0,4 mg/L PE in opwaartse flocculatietanks met vlokkendekens (2,5 m/h). Uitslaande deeltjes uit de flocculators worden afgevangen in een snelfilter bestaande uit zand en bims. Het snelfiltraat gaat naar de nazuivering (Andijk 2).

De nieuwe voorzuivering Andijk 3 beschikt ook over ruw trommelzeven, weliswaar met poriegrootte 200 µm. Direct na de trommelzeven wordt er 12 ml/L Cl⁻-geladen ionenwisselingshars gedoseerd en wisselen de Cl⁻ ionen in grote betonnen contactoren uit met het DOC⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ en NO₃⁻ aanwezig in het water. Het volgeladen hars wordt van het water gescheiden met lamellenseparatoren. Vervolgens zijn er keramische membraan elementen met poriegrootte van 0,1 µm opgesteld in tien drukvaten om alle bacteriën, microalgen en zwevende stof uit het water te filteren. Dit water komt (binnenkort) samen met voorgezuiverd water van Andijk 1 en gaat naar Andijk 2

Andijk 2, de nazuivering, begint met middendruk UV-reactoren en toegevoegd H₂O₂ voor desinfect en verwijdering van organische micro-verontreinigingen. Daarna volgen actief koolfiltratie, reinwater microzeven (ook 35 µm) en desinfectie met ClO₂ op basis van een restchlor gehalte van <0.04 mg/L. Figuur 1 geeft bovenstaande schematisch weer.



Figuur 1 Actuele (tot 2035) schematische weergave van waterbehandeling op PSA.

Waterbehandeling per proces

Bron

De bron voor drinkwaterproductielokatie Martien den Blanken in Andijk (PSA) is het IJsselmeer. Dit is met 110.000 hectare het grootste zoetwatermeer van Nederland. Het IJsselmeer wordt voor 70% gevoed door water uit de Rijn dat via de IJssel in het IJsselmeer uitstroomt, de overige 30% is afkomstig van onder andere uitslag water uit polders en de randmeren.

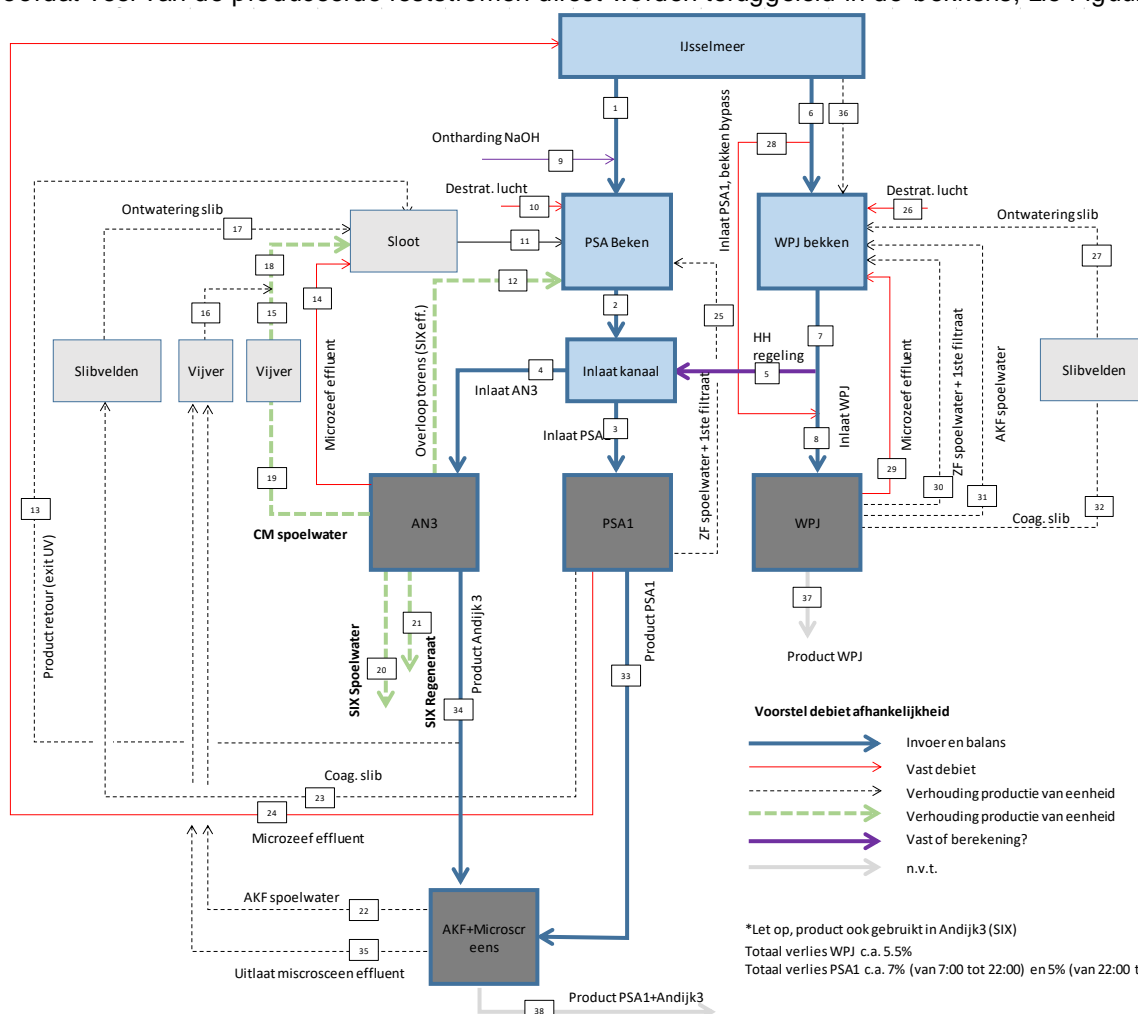
De lange verblijftijd van het water in het (ondiepe) IJsselmeer en de voedselrijke samenstelling van het uitslagwater zijn er mede de oorzaak van dat de biologische samenstelling van het water na instroom vanuit de IJssel, ingrijpend wijzigt. Het ingenomen water bevat vooral in de zomermaanden grote aantallen algen. Ook kan de chlorideconcentratie hoog oplopen.

Bekken

Het IJsselmeerwater wordt via een verdiept afsluitbaar inlaatwerk ingenomen. Bij het innamepunt van IJsselmeerwater vindt een natronloogdosering plaats. Deze dient ervoor om het water te ontharden. Continu vindt een luchtinjectie in het diepste gedeelte van het bekken plaats. Hiermee wordt verticale circulatie van het water verkregen waardoor algengroei afgeremd wordt en de stratificatie voorkomen wordt. Het bekken is ongeveer 400.000 m² groot en gedraagt zich als een mengbekken. De inhoud is

3.760.000 m³ en de gemiddelde verblijftijd is bij een gemiddelde onttrekking van 2900 m³/h ongeveer 54 dagen.

Ontharding wordt gerealiseerd aan het begin van het bekken door NaOH batchgewijs te doseren, hierdoor slaat CaCO₃ neer op zwevende stof uit het IJsselmeer. De totale hardheid (TH) is de som van calcium en magnesium, na bekken is de TH 1 mmol/L. Dit wordt gemengd met niet onthard water uit het WPJ-bekken tot een gewenste TH van 1,4 mmol/L. Ter voorkoming van CaCO₃ neerslag in de microzeven wordt CO₂ gedoseerd. Ondanks dat de bekkens een theoretische verblijftijd van 39 dagen hebben, is dit in praktijk twee tot vier weken door kortsluitstroming. Bij ongunstige windrichting kan dit nog veel korter zijn. Dit kan tot kwaliteitsproblemen van het water dat de zuivering in gaat leiden. Mede doordat veel van de produceerde reststromen direct worden teruggeleid in de bekkens, zie Figuur 2.



Figuur 2 Stroomdiagram PS Andijk inclusief reststromen.

Er is geen onderzoek voorhanden dat de invloed van het onbehandeld terugvoeren van de reststromen kwantificeert. Het is uiteraard wel zo dat het rondpompen van deeltjes de effectiviteit van waterbehandelingsprocessen niet ten goede komt. Bovendien bevat het water in de bekkens meer chloride omdat toegevoegd chloride in de zuivering ook weer in de bekkens terecht komt.

Aanbeveling: Zoveel mogelijk behandelen van reststromen en kritisch kijken naar stromen met hoger chloridegehalte.

Ruwwater microzeven

Zes ruwwater microzeven met maaswijdte van het gaas van 35 µm zijn geïnstalleerd. De capaciteit van de ruwwater microzeven is mede afhankelijk van het vaste stof aanbod. Wat voornamelijk bestaat uit slib, algen en eventueel aanwezige grove bestanddelen.

De weerstand van de microzeven bedraagt regulier 10 cm waterkolom (cmwk). Deze wordt in stand gehouden door een gecombineerde toerenregeling van de trommelzeef en spoelwaterdrukregeling.

Tevens is er een mogelijkheid om tijdens het proces met ultrasone trillingen het gaas te reinigen (momenteel continu bij).

Het verschil tussen 35 µm van Andijk 1 en 200 µm geïnstalleerd op Andijk 3 en WPJ is dat ze intensiever gereinigd moeten worden en groter oppervlak nodig hebben, maar wel meer deeltjes en algen tegenhouden. Het is een afweging tussen waterkwaliteit en waterkwantiteit. Om achterliggende processtappen te ontlasten en zoveel mogelijk algen tegen te houden (kunnen verstrend werken in de flocculators) lijkt 35 µm door de hoge algenbelasting van het IJsselmeer verstandig.

Aanbeveling: Houd deze maaswijdte van 35 µm aan (WPJ en Andijk 3 hebben 200 µm).

Coagulatie en flocculatie

Na de microzeven komt het water in de chemicaliënmengebakken. Hier worden een vlokmiddel (FeClSO_4) en vlak voor de flocculatietanks een hulpvlokmiddel polyelectrolyt (PE) aan het water toegevoegd.

De minimale ijzerdosering is 8 mg/L en maximaal wordt 30 mg/L aangehouden. De afgelopen jaren was een dosering tussen de 18 en 24 mg/L gebruikelijk, nu staat de FeClSO_4 het hele jaar vast ingesteld op 20 mg Fe /L. De gebruikelijke PE-dosering ligt tussen de 0,2 en 0,3 mg/L. T.b.v. enhanced coagulation wordt de pH daling als gevolg van de toegevoegde chemicaliën, pas in het effluent van de flocculators met natronloog gecorrigeerd.

De scheiding van de gevormde vlokken en het water gebeurt in drie flocculators. De inhoud per flocculator bedraagt ongeveer 1900 m³. Bij een productie van 1000 m³/h/flocculator is de stijgsnelheid ongeveer 2,5 m/h. Het maximale debiet bedraagt 1200 m³/h per flocculator. De dekenhoogte varieert door de opwaartse snelheid en de watertemperatuur. Door middel van de PE-dosering wordt de dekenhoogte gereguleerd. Bij de juiste instellingen en een constante snelheid is er een zeer goede effluent kwaliteit mogelijk. De prestaties van flocculators zijn uitstekend uit te drukken in ijzerconcentraties in het effluent, hoe minder ijzer hoe beter de werking. In Tabel 1 zijn de ijzerconcentraties uit de flocculators 1, 2 en 3 weergegeven van de afgelopen 2 jaar.

Tabel 1 IJzergehalten na de drie flocculators van 1-1-2017 tot 1-4-2019. Ijzerdosering 20 mg/L.

	n	Ijzer mediaan	Ijzer min.	Ijzer gem.	Ijzer max.
	[-]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
Flocculator 1	105	0,14	0,04	0,18	0,65
Flocculator 2	98	0,12	0,03	0,14	0,73
Flocculator 3	106	0,21	0,01	0,31	2,60

De prestaties van de flocculators 1 en 2 zijn aanzienlijk (>50%) beter dan flocculator 3 gezien de ijzerconcentratie in het gezuiverde water (0,14, 0,12 en 0,21 mg/l respectievelijk). Minder ijzer uit de flocculators zorgt voor een langere looptijd, betere filtraatkwaliteit en lager waterverlies van de nageschakelde snelfilters. De afwijkende prestaties zijn reden goed te kijken naar optimale bedrijfsvoering, dezelfde installatie die hetzelfde water verwerkt mag niet 50% meer ijzer uitslaan. Huidige bedrijfsvoering is grotendeels handmatig. De debieten worden met een regelklep door de bedrijfsvoerders ingesteld, de verschillen in debiet worden beoordeeld door dienstdoende bedrijfsvoerder (ook na de renovatie). Op moment van schrijven lagen de debieten meer dan 11% uit elkaar. Ook worden de PE-dosering gebruikt voor het bijsturen van de vlokkendeken en deze staat niet altijd op hetzelfde niveau voor de verschillende flocculators. Door optimalisatie kan het rendement omhoog. De flocculators zijn gevoelig voor snelheidswisselingen, bij het optoeren van het debiet komt een (klein) deel van de vlokkendeken in het effluent terecht komt. Het bedrijven van de flocculators met constant, niet te groot, debiet levert de beste waterkwaliteit.

Als zuiveringsstap zijn de flocculators robuust en leveren sinds enhanced coagulation (zie kader¹) een grote bijdrage aan de waterkwaliteit door het verwijderen van een groot deel van de DOC, de lage ijzerlast op de filters en de geconcentreerde slibstroom richting de slibvelden.

¹ Erik Koreman, Marcel Welling, and Lotte Kuijer, "Jaarrapportage (September 2008 - September 2009) Enhanced Coagulation," no. september 2008 (2009).

Enhanced coagulation is ingevoerd na een ruime test periode in 2008-2009. Feitelijk is het op PSA het corrigeren van de pH na de vlokkenafschieding. Hierdoor coaguleren en flocculeren de ijzervlokken bij een lagere pH (\approx pH 6.8). Dat is gunstig omdat hierdoor de oppervlaktelading positiever wordt en daardoor meer negatief geladen humuszuren bindt. De resultaten zijn samengevat in Jaarrapportage (september 2008- september 2009) Enhanced coagulation en de belangrijkste conclusies t.o.v. waterkwaliteit volgen hieronder:

1. Na het in bedrijf nemen van de enhanced coagulation, is de UV-transmissie na de flocculators met 8% toegenomen, van ca. 84% naar ca 92%;
2. Het DOC gehalte van het water na de flocculators is sterk afgenomen, met ca. 45% (2 mg/L). Logischerwijs is ook het DOC gehalte in het drinkwater hierdoor afgenomen. De afname van het DOC gehalte in het drinkwater als gevolg van de enhanced coagulation bedraagt circa 1,5 mg/L;
3. Het ijzergehalte na de flocculators (tijdens stabiel bedrijf) is sterk afgenomen, van gemiddeld ca. 0,18 mg/L naar circa 0,10 mg/L. Uit de gegevens blijkt tevens dat tijdens variabel bedrijven van de voorzuivering het ijzergehalte na de flocculators minder dan de helft van de waarde is, die het bezat toen met het UV-peroxide proces werd begonnen en de zuivering ook variabel werd bedreven. Dit was gemiddeld 0,47 mg/L en is na invoering van de enhanced coagulation 0,17 mg/L;
4. De troebelingsgraad is nagenoeg gelijk aan de troebelingsgraad in 2006;
5. Voor de kleur van het drinkwater is een sterke afname zichtbaar, van ca. 2 mg/L Pt naar 0,5 mg/L Pt.
6. De AOC van het water na de koolfilters is sterk afgenomen met ca. 50% (van ca. 25 μ g/l naar ca 13 μ g/l).

Aanbeveling: Vast debiet op basis van watertemperatuur en doseringen herijken (i.c.m. extra CO₂ en minder coagulant = zelfde pH)

Snelfiltratie

De zandfilters zijn downflow filters met een gelijkblijvende bovenwaterstand van ongeveer 1 meter. De filteropbouw bestaat uit een bovenste laag van 20 cm bims materiaal met daaronder een laag van 25 cm filterzand met een diameter van 0,8 – 1,2 mm. Er zijn 12 filters met een oppervlakte van 33 m² per filter. Bij een productie van 3000 m³/h is de filtratiesnelheid 7,6 m/h. Indien één van de filters buiten gebruik is (bijvoorbeeld spoelen) betekent dit voor de overige filters een snelheidstoename naar 8,3 m/h. De verblijftijd van het water in het zand bedraagt dan resp. 3,55 en 3,25 minuten. De zandfilters worden op weerstand (maximaal 200 cmwk) gespoeld.

PWN past bims toe op meerdere locaties (ook PS Bergen). Bims een vulkanisch filtermateriaal wat samen met zand in dubbellaagsfilters kan worden toegepast door het geringe soortelijk gewicht. Het voordeel van bims is door interne porositeit een groot oppervlak heeft en daarom efficiënt bacteriologisch processen kan faciliteren en het heeft ook een uitstekende filtrerende werking. Nadelig is dat de poreuze korrels niet slijtvast zijn. Tijdens terugspoelen schuren ze kapot en spoelen ze makkelijk uit. PWN heeft dan ook op de locaties waar bims wordt toegepast zo nu en dan lagere filterbed hoogtes dan wenselijk door te laat aanvullen van bims (uit gesprek met Piet Bakker en memo RvdN). De 12 snelfilters van PSA hebben een totale filterhoogte van 45 cm. Dat samen met een filtratiesnelheid van 7.6 m/h en 8.3 m/h indien er een filter gespoeld wordt (deze zandfilters zijn ontworpen op 7 m/h ²) geeft een zeer beperkte verblijftijd van 3.25 min. Hierdoor krijgen bacteriologische processen voor mangaan en ammonium verwijdering weinig tijd.

Zandfilters zijn uitstekend geschikt voor de verwijdering van ijzer, mangaan en het omzetten van ammonium³ mits de filterconfiguratie en verblijftijd het toelaat. Zoals in Figuur 4 te zien is aan de bruine aanslag is dat er wat doorslag is van ijzer.

² J. Haasnoot, "De Drinkwatervoorziening van Het PWN Ten Noorden van Het Noordzeekanaal," *H2O* 1, no. 9 (1968): 28.

³ J C J Gude, L C Rietveld, and D Van Halem, "As(III) Removal in Rapid Filters: Effect of PH, Fe(II)/Fe(III), Filtration Velocity and Media Size," 2018, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.005>.



Figuur 3 UV-sleeves met ijzerafzettingen na de snelfilters

Door de geringe filterbedhoogte is de vuil bergende capaciteit ook niet groot. Dat zie je terug in ijzerconcentraties in het effluent van de zandfilters. Over twee jaar gezien is de spreiding groot. De mediaan is 0,02 mg/L, maar het gemiddelde is 0,09 mg/L. Dat komt omdat het maximum hoog ligt (5,80 mg Fe/L). Verondersteld kan worden dat als alle filters vol zitten en er een snelheidswisseling is dat ze flink doorslaan. Dit gebeurt niet vaak, getuige de mediaan van 0,02 mg/L, maar vaak genoeg om het gemiddelde op 0,1 mg Fe/L te krijgen. Zandfilters met deze ijzerbelasting zouden met voldoende filterbedhoogte en belasting onder de 5 m/h, 0,01 als mediaan en 0,02 als gemiddelde moeten kunnen halen. Ook zijn er periodes van mangaandoorslag, al zijn de absolute waarden laag: 5 µg/l. Een hogere bedhoogte, lichte verlaging van snelheid kunnen de snelfilters van een polishing stap waar wat ijzervlokken worden afgevangen, naar een serieuze zuiverstap brengen dat naast ijzer, ook ammonium en mangaan verwijderd.

Aanbeveling: Lagere belasting en optimalisatie van filterbedopbouw

SIX (Andijk 3)

Het SIX® proces is een door PWNT ontwikkeld innovatief ionenwisselingsproces voor het verwijderen van (geladen) organische stoffen met anionwisselingsharsen⁴. Doel hiervan is het vormen van een eerste stap in de verwijdering van natuurlijk (al dan niet opgelost) organisch materiaal (troebelheid), nitraat en sulfaat. De toegepaste kunsthars is Lanxess Lewatit® S5128, een sterk basische, gelachtige anionhars (type I), gebaseerd op een acryl-divinylbenzeen copolymeer met een speciale grootteverdeling. Het SIX®-proces is ontworpen op basis van een 14 mL/L kunsthars dosering, 25 minuten contacttijd in propstroomcontactors met menging door luchtbellen. Daarna wordt de hars afgescheiden in lamellenseparators en wordt de gebruikte hars geregenereerd met NaCl. Het proces loopt efficiënter als meer Cl⁻ ionen uitwisselen met DOC⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ en NO₃⁻, maar daar is wel een maximum aangesteld. Het uitgangspunt is dat Cl⁻ onder de 200 mg/L blijft, TOC onder de 3 mg/L komt, HCO₃⁻ boven de 90 mg/L blijft en UV-t boven de 90% komt. Onderstaande tabel geeft de waterkwaliteit voor en na de SIX.

Tabel 2 Gemeten waterkwaliteit influent en effluent van het SIX proces op 3 dagen van straat 4.

	Cl (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	TOC (mg/L)	UV-T (%)
Influent	134,2	138,8	5,0	79,1
Eis	< 200,0	> 90,0	< 3,0	> 90,0
14-6-2017	194,3	110,8	2,8	92,0
15-6-2017	192,0	110,2	2,8	92,4
16-5-2017	187,8	108,3	2,6	91,9
Gem.	191,4	109,8	2,7	92,1

De toename in Cl⁻ is 53-60 mg/L en al blijft het behandelde water binnen de gestelde eisen, het de vraag is waarom Cl⁻ niet onder de wettelijk norm moet blijven. Ook is de UV-T eis laag want de conventionele

⁴ Gilbert Galjaard and Erik Koreman, "SIX®: A New Resin Treatment Technology for Drinking Water," *Water Practice and Technology* 4, no. 4 (2010), <https://doi.org/10.2166/wpt.2009.076>.

voorzuiivering haalt tot 94% transmissie (en lagere TOC concentraties). HCO_3^- werkt als pH buffer en kan het beste zo hoog mogelijk blijven gezien de hoeveelheid Cl^- en SO_4^{2-} voor de corrosie-index. Naast waterkwaliteit levert het regeneratieproces een zeer geconcentreerde reststroom⁵ op van 30 m³/h. Een vergunning om deze stroom te lozen is nog niet afgegeven en behandelen is erg duur en een technische uitdaging. Door de hoge groeipotentie van brine, veel organisch materiaal, is bij testen bleken de infiltratieputten snel te vervuilen. Om de putten gangbaar te houden en niet frequent te hoeven regenereren zijn er 4 langzame zandfilters van 50 m² voorzien om het brine voor te zuiveren. Tevens is er gemeten en d.m.v. extrapolatie uitgerekend dat er 16 tot 31% harsuitspoeling per jaar (verlies) optreedt met de verwachting is dat dit meer wordt naar mate de resin ouder wordt⁶, deze komen weer in de bekken terecht (eigen nest vervuilen).

De gewenste flexibiliteit om extra DOC te verwijderen en meer grip op inkomende DOC concentraties te krijgen, is bij volle capaciteit (900 m³/h per straat) niet mogelijk om twee redenen⁷: (1) geringe regeneratie capaciteit en (2) uitspoelen van resin uit lamellenseparator door geringe hydraulische capaciteit. Hierdoor kan er slechts 12 ml/L worden gedoseerd. Dit is wel voordelig voor de chloride en TAC gehalten (HCO_3^-). Om binnen de wettelijke normen voor chloride te blijven is de huidige opstelling ontoereikend, ook moet de reststroom een definitieve bestemming krijgen. Onderzoek naar belading met NaHCO_3 zou zeer interessant kunnen zijn. Hierbij zou er in plaats van chloride, HCO_3^- in het water komen wat de waterkwaliteit juist ten goede zou komen. De vraag is of de installatie (incl. regeneratie installatie) toereikend is, de huidige hars gebruikt kan worden, de reststroom aanzienlijk veranderd (lozings- en infiltratievergunning) en of DOC voldoende te verwijderen is.

Aanbeveling: Op basis van chloride processtap niet houdbaar. Direct starten met onderzoek naar NaHCO_3 als regeneratie zout.

Ceramac (Andijk 3)

CeraMac® is een door PWNT ontwikkeld innovatief keramisch membraanfiltratieproces voor het verwijderen van deeltjes en een deel van de organische stoffen. De toegepaste installatie bestaat uit (monoliet) keramische membraanelementen van 1,5 m lang, een diameter van 0,18 m en een nominale poriegrootte van 0,1 µm. Ieder element heeft een membraanoppervlak van 25 m²; met 90 membraanelementen per behuizing wordt dus een membraanoppervlak van 2250 m² verkregen per CeraMac-module. In totaal zijn er 10 drukketels opgesteld op PSA. De membranen worden bedreven onder dead-end filtratie, met een ingenieus systeem voor terugspoeling⁸.

Het initiële ontwerp van de CeraMac was gebaseerd op 192 membraan elementen per ketel. Het teruggaan van 192 naar 90 heeft een reductie in capaciteit tot gevolg. Deze kan deels worden opgevangen door een flocculant toe te voegen als FeCl_3 , hierdoor blijven de poriën open en blijft de vervuiling voornamelijk 'op' het membraan liggen. Het voordeel is een toename in flux, de nadelen zijn dat de reststroom meer (ijzer)slib zal bevatten en dat het chloride verder wordt verhoogd met 13 mg/L. De CeraMac installatie vangt door de kleine poriën een groot deel van de bacteriën af en een deel van het organisch materiaal. Door de robuuste membranen is dit ook een robuust proces en kan er met behoorlijk agressieve spoelingen gereinigd worden. Door de plaatsing in de zuivering, veel organisch materiaal en mangaan aanwezig nog, moet dit ook flink en preventief gebeuren.

De ombouw van de ketels is in volle gang en daardoor zitten we nog middenin het optimalisatie proces. Er lopen ook nog onderzoeken om met een dosering van een coagulant (FeCl_3 of FeClSO_4) de flux te verhogen ook veranderen de terugspoel tijden nog. De membranen worden periodiek teruggespoeld met en zonder chemicaliën om de verontreinigingen te verwijderen of los te weken. BW = water na de UV zonder toevoegingen, CEBW met chloor (NaOCl 100 – 150 mg/L) en een CEBW met zuur en H_2O_2 (pH 2-2.5, H_2O_2 100 tot 150 mg/L). De BW wordt ingezet na elke 117 m³ (≈30 min) behandeld water om voornamelijk deeltjes van de membranen te verwijderen. Na 10 reguliere terugspoelingen (iedere 5 uur) wordt chloor toegevoegd (CEBW) om voornamelijk biopolymeren en/of algen te verwijderen. Na iedere 4 CEBW met chloor wordt het terugspoelwater aangezuurd tot pH 2 en 150 mg/L H_2O_2 toegevoegd. Het zuur kan ijzer- en mangaancomplexen oplossen. De rol van H_2O_2 is niet zo voor de hand liggend. Terugspoelen kost uiteraard water en voor deze installatie ligt het totale waterverlies net iets boven de 10%.

Door het aanwezige ijzer, mangaan, algen en DOC in het influent vervuilen de microfilters snel, daarom is er een intensief backwash regime met chemicaliën nodig is. Keramische membranen zijn hier bij uitstek

⁵ J. Plooi, "SIX Regeneraat En Spoelwater Data" (PWN, n.d.).

⁶ Sytze Terwisscha van Scheltinga, "Rapportage Resultaten SIX Testen Andijk-III" (PWN, n.d.).

⁷ J. Plooi, "Andijk 3 SIX Performance Test" (PWN, 2016).

⁸ J Zheng et al., "IJssel Lake NOM Characteristics and Control through a Process Comprising Ion Exchange , Ceramic Microfiltration , UV / Peroxide AOP and Carbon Filtration," 2015.

tegen bestand alleen gaat dat wel gepaard met een hoog waterlies en relatief lange downtime. De flux van de CeraMac zou behoorlijk omhoog kunnen en backwash inclusief chemicaliën verminderd als het water na de kool door de membranen geperst zou worden.

Aanbeveling: Flux testen op gecoaguleerd water en op middellange termijn achter koolfiltratie plaatsten als absolute barrière voor micro-organismen en deeltjes.

UV-H₂O₂ (Andijk 2)

De UV/H₂O₂ installatie dient een tweeledig doel, ten eerste verzorgen van de primaire desinfectie ten behoeve van de drinkwaterproductie en ten tweede als universele barrière voor organische microverontreinigingen. Voor desinfectie is 120 mJ/cm² benodigd, voor afbraak van microverontreinigingen aanzienlijk meer, namelijk 560 mJ/cm². De combinatie UV en H₂O₂ vormt OH^{*} radicalen die ook weer organische microverontreinigingen afbreken.

De UV/ H₂O₂ installatie wordt gevoed vanuit drie parallelle kelders waarin H₂O₂ wordt gedoseerd (tussen de 6 en 20 mg/L). Vervolgens passeert het water de uv-installatie, bestaande uit drie parallelle straten. Per straat zijn vier reactoren met elk zestien UV-lampen (golflengte 200-300 nm) opgesteld. Onder reguliere procescondities wordt een UV-dosis van 560 mJ/cm² toegepast, benodigd voor het proces waarbij de UV/ H₂O₂ installatie dient als universele barrière voor organische microverontreinigingen. Ten behoeve van de desinfectie is voor PSA minimaal een UV-dosis van 120 mJ/cm² benodigd.

Het ontwerp en de capaciteit van de UV-installatie voorziet erin dat de desinfectie onder extreme bedrijfscondities gegarandeerd is. Met twee UV-straten met ieder twee UV-reactoren in bedrijf, is het mogelijk om met oude UV-lampen (output 80%) en een relatief lage UV-transmissie van het te behandelen water (UVT 80%) bij de maximale capaciteit (4000 m³/h) de desinfectie te garanderen. Zodra de desinfectie niet gegarandeerd is (zoals bijvoorbeeld bij uitval reactor en/of opstarten straat), gaat de installatie op recirculatie, hierdoor wordt voorkomen dat onvoldoende gedesinfecteerd water naar de volgende processtap stroomt. (situatie veranderd, vraag John Boogaard)

Aanbeveling: geen

Actief koolfiltratie

De functie van de actief koolfilters is viervoudig. (1) biologische afbraak van organisch materiaal, (2) katalytische omzetting van overgebleven H₂O₂, (3) adsorptie van organische microverontreinigingen en (4) omzetting van mangaan, ammonium en nitriet. De kool wordt iedere tweejaar geregenereerd. Voorheen was de koolfilteropstelling als pseudo-moving bed en werd geregenereerd bij doorslag van THM of andere chloor desinfectie bijproducten. Nu is er geen duidelijke doorslag parameter voorhanden, organisch materiaal wordt reeds na 2 maanden gebruik niet meer geadsorbeerd. Doorslag op organische microverontreinigingen ligt voor de hand maar worden onvoldoende gemeten.

De periodieke spoeling is ingesteld op 900h (37.5 dagen) looptijd. Er is een maximale weerstand van 250 kPa, maar die wordt zelden gehaald. De 900h limiet komt voort uitdoorslag van organisch materiaal/bacteriën die rechtstreeks het distributienet in zouden gaan. Naast deze veiligheidsmarge is er ook voorzien in een eerste filtraat afvoer. Desondanks gaat er na een koolfilterspoeling (ondanks 90 minuten draaien op 1e filtraat) alsnog een vracht met deeltjes naar de reinwatermicrozeven⁹.

Aanbeveling: kritisch kijken naar regeneratie frequentie kool en meten op doorslag organische microverontreinigingen

Reinwater microzeven

De reinwater microzeven zijn geïnstalleerd om zoöplankton en koolgruis met een afmeting groter dan 35 µm af te vangen. Testen met de microzeven in 2009 gaven aan dat er inderdaad geen deeltjes groter dan 15 µm voorkomen in het effluent. In de reststroom van de microzeven waren hydrobiologische levensvormen aangetroffen die niet in de inlaat gevonden zijn. Het goeie nieuws is dat ze gevonden zijn in de reststroom, het slechte nieuws is dat er vele hydrobiologische levensvormen zijn kleiner dan 15 µm¹⁰, die waarschijnlijk met de ClO₂ gedood worden en de reinwaterkelders instromen. Ook blijken de microzeven te verstopen, zodanig dat de capaciteit van de zeven te ver terugloopt. Aangezien het water een SI kleiner dan -0.1 heeft zullen het de deeltjes uit de koolfilters zijn en hoogst waarschijnlijk een biologische verstopping als gevolg van het biologische groeipotentieel uit de koolfilters. Het doorlaten van bacteriën en organismen met een grootte tot 15 µm, vervolgens kapot chloreren en het distributienet

⁹ Richard van Daalen, "Memo Systeembeschrijving Nazuivering PSA_v2," 2016.

¹⁰ van Daalen.

inpompen is kan als voedingsbron fungeren voor biologische activiteit. Dit zou zeer goed kunnen samenhangen met de regelmatige overschrijdingen van de kve *Aeromonas* bacteriën in het distributienet van PSA, deze staan namelijk bekend als 'lijkenpikkers'.

Aanbeveling: Vervangen voor filterstap met poriegrootte < 0.1 µm dat alle deeltjes verwijderd (voeding voor nagroei)

Chloordioxide (ClO₂)

(Na-)desinfectie, wordt gedoseerd direct na de reinwatermicrozeven en stuurt op 0,03-0,04 mg/L vrij chloor na de kelders. Doordat in warmwater chloor sneller reageert is hier in de zomer meer chloor voor nodig dan in de winter. Door de chloordosering is het drinkwater biologisch veilig, echter wordt er wel AOC gevormd en zullen de gedesinfecteerde cellen onschadelijk, maar niet verwijderd worden. Onderzoek uit 2015 naar biologische stabiliteit op Andijk toonde aan dat de biomassa accumulatie snelheid van het drinkwater groter was dan dat van na de actief-koolfiltratie¹¹. Onderzoek zou moeten aantonen of een absolute barrière (b.v. micro of ultrafiltratie) de ClO₂ dosering zou kunnen vervangen. Wellicht zou UV ook minder AOC vormen omdat dat al is toegepast eerder in de zuivering en op hogere intensiteit.

Aanbeveling: Evt. vervangen door UV, op langere termijn absolute barrière (<0.1 µm)

¹¹ Dick van der Kooij et al., "Improved Biostability Assessment of Drinking Water with a Suite of Test Methods at a Water Supply Treating Eutrophic Lake Water," *Water Research* 87 (2015): 347–55, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.09.043>.

Samenvatting

Tabel 3 Samenvatting productiemiddelen te Andijk inclusief taak, risico's en hoe te mitigeren.

	Productiemiddel	Taak	Risico's	Mitigeren
Bron	Bekkens	<ul style="list-style-type: none"> Afvlakking (Mini) berging Ontharding 	<ul style="list-style-type: none"> Inname stop kan slechts kort Kortsluitstromen Verziltig Algengroei 	<ul style="list-style-type: none"> Evt. Groter bekken creëren met serieuze buffer Uit-bedrijf nemen en oeverfiltratie toepassen
	Ruwwatermicrozeven (35 µm)	Verwijdering van: <ul style="list-style-type: none"> Zwevende stof Hydrobiologische organismen Algen 	Geen	Niets
	Flocculator	Verwijdering van: <ul style="list-style-type: none"> DOC Zwevende stof 	1. Vlokkendeken uitspoelen door debietsvariatie	Vast debiet
Andijk 1	Snelfilters	Verwijdering van: <ul style="list-style-type: none"> Deeltjes (ijzer) Mangaan Ammonium 	<ol style="list-style-type: none"> Te laag filterbed Te hoge belasting (boven ontwerp capaciteit) 	<ol style="list-style-type: none"> Optimaliseren bedhoogte Filters bijbouwen Belasting verlagen
	Trommelzeef (200 µm)	Verwijdering van: <ul style="list-style-type: none"> Zwevende stof Algen 	1. Laat meer deeltjes en algen door naar CeraMac wat flux mogelijk negatief beïnvloedt	
	SIX Ionenuitwisseling: contactor-lamellen	Uitwisseling van chloride met: <ul style="list-style-type: none"> DOC Nitraat Sulfaat Bicarbonaat Fosfaat 	<ol style="list-style-type: none"> Voegt +/- 50 mg/L chloride toe. Daarmee is niet te voldoen aan de wettelijke eis van 150 mg/L. Verwijdering van bicarbonaat Reststroom 	Regenereren met NaHCO ₃ i.p.v. NaCl Als dat niet lukt qua kosten of techniek moet SIX stoppen
Andijk 3	CeraMac microfilters (0,1 µm)	Verwijdering van: <ul style="list-style-type: none"> Zwevende stof Algen Bacteriën 	<ol style="list-style-type: none"> Zeer vervuילend water dus lage flux. Veel en intensief spoelen, aanzienlijke organische last en mangaan Geen mangaan verwijdering in Andijk 3 	<p>Water intensiever voorzuiveren voor de microfilters</p> <p>Mangaanverwijdering</p>
	UV-H ₂ O ₂	Verwijdering van: <ul style="list-style-type: none"> Bacteriën Virussen Organische microverontreinigingen Pathogene protozoa 	<ol style="list-style-type: none"> Zo min mogelijk DOC en NO₃ in water voor de UV t.b.v. efficiency UV-reactoren AOC-vorming moet in nageschakelde processen omgezet worden 	<ol style="list-style-type: none"> Oeverfiltratie Meer contacttijd voor AOC-omzetting Absolute barrière
	Koolfiltratie	Verwijdering van: <ul style="list-style-type: none"> Waterstofperoxide Organische microverontreiniging Omzetting van afbreekbaar organisch materiaal Mangaan en ammonium 	<ol style="list-style-type: none"> Er komen hydrobiologische levensvormen uit de koolfilters Na regeneratie mangaan, nitriet en ammonium doorslag 	<ol style="list-style-type: none"> Nageschakeld absoluut filter gewenst (<0.1µm poriën) Mangaan en ammonium in eerder stadium in snelfilter omzetten

Reinwatermicrozeven (35 µm)	Verwijdering van: Zoöplankton en koolfines	1. Groeien dicht 2. Laten bacteriën door	Vervangen voor absoluut filter < 0,1 µm
-----------------------------	---	---	--

Productiecapaciteit

Watervraag nu

Het scenario dat in het productieplan 2019 is aangehouden is opgenomen in de onderstaande tabel. Hierbij is rekening gehouden dat Andijk 3 productie kan draaien en aangenomen dat PSA ondanks de 'zoutproblematiek' de volle capaciteit kan halen.

Tabel 4 Productie PWN 2019 standaard scenario (bron: productiejaarplan 2019)

Productie vraag	Productie Andijk (PSA)	Productie Bergen (PSB)	Productie Mensink (PSM)	Productie Gooi	Inkoop Waternet
miljoen m ³ /jaar	miljoen m ³ /jaar	miljoen m ³ /jaar	miljoen m ³ /jaar	miljoen m ³ /jaar	miljoen m ³ /jaar
110,5	25,5	24,4	39,2	5	16,9

De totale productieprognose is 110,5 miljoen m³ in 2019 en PSA staat op de planning voor 25,5 miljoen m³. Dat is bij constante productie 2911 m³/h (24/7 het hele jaar). Om dit debiet constant te halen moet de conventionele voorzuivering van Andijk 1 op zijn tenen lopen, maar nu Andijk 3 in productie is kan Andijk 1 vast ingezet worden op +/- 2500 m³/h om zo de flocculators en de zandfilters niet te overbelasten en alle extra vraag in Andijk 3 behandelen (max. 1000 m³/h). Dit zou de beste kwaliteit geven en minimale inzet van Andijk 3 vergroot ook de kans dat aan de chloridenorm voldaan wordt. Op korte termijn lijkt er geen capaciteitsprobleem als alles operationeel is. De uitdaging voor de komende jaren is voldoende water te maken tijdens de grote renovatie en uitbreidingsprojecten. De meest in het oog springende projecten zijn renovatie en uitbreiding koolfilters (2022) en renovatie Andijk 1 (2020-2021).

Watervraag de komende jaren

Het is de verwachting dat de drinkwatervraag de komende jaren met 30% zal toenemen in 2040. Ook zijn er concrete vragen voor de levering van grote hoeveelheden koelwater. Daarbij komt dat de inkoop van Waternet contractueel is vastgelegd tot 2028. Gezien de bevolkingsprognose van Gemeente Amsterdam is verlenging geen zekerheid. Ook Amsterdam gaat volgens het GE scenario met 30% groeien in 2040. PWN zal rekening moeten houden dat er inkoopcapaciteit wegvalt en deze productievraag zelf opvullen. Voor extra water zal voornamelijk naar het IJsselmeer gekeken worden en zal de zuivering op Andijk moeten uitbreiden de komende jaren. Hiervoor is het noodzakelijk het gewenste processen scherp te hebben zodat de juiste processen opgeschaald worden. Ook dient er gekeken te worden naar de verdeling van het water binnen PWN: water geproduceerd in Andijk moet delen van het voorzieningsgebied van Bergen en Mensink kunnen bereiken. In 2035 zal Andijk 1 definitief sluiten, er moet vaart gemaakt worden met een proceskeuze voor de situatie van na 2035.

Conclusie: zo snel mogelijk optimale proceskeuze vaststellen zodat tijdig gestart kan worden met capaciteitsuitbreiding.

Waterkwaliteit

De waterkwaliteitsparameters voor een optimale watersamenstelling van drinkwater zijn vast gelegd in een KWR-mededeling gedragen door alle Nederlandse waterleidingbedrijven¹². Tabel 5 geeft het overzicht van de fysisch-chemische aanbevelingen voor de optimale watersamenstelling per parameter. De aanbevelingen zijn gebaseerd op gezondheidkundige en milieukundige aspecten en klantcomfort. De aanbevelingen houden rekening met alle leidingmaterialen die in het leidingnet en in drinkwaterinstallaties worden toegepast.

Parameter	Waarde	Opmerking	PSA
-----------	--------	-----------	-----

¹² PGG Slaats, MA Meerkkerk, and CHM Hofman-Caris, "Conditionering: De Optimale Samenstelling van Drinkwater," KWR, no. Mededeling 100 (2013): 65.

pH	> 7,4	Hoe hoger de pH, hoe kleiner kans op aantasting gietijzer Hoe hoger de pH, hoe lager koperafgifte door koperen drinkwaterleidingen Hoe hoger de pH, hoe lager loodafgifte door loden leidingen. Dit is vooral van belang in gebieden waar (delen) van loden leidingen voorkomen	V
TAC	> 2	Ter voorkoming van putcorrosie in koperen leidingen. Het is echter niet zo dat bij een TAC lager dan 2 mmol/l zonder meer putcorrosie op zal treden. Ter voorkoming van grote pH veranderingen in het leidingnet.	V
SI	> -0,2	Ter voorkomen van uitloging cementhoudende materialen	V
Totale Hardheid	TH < 1,8 mmol/l	Gebaseerd op klantcomfort, kosten voor de klant, milieu- en energiekosten	V
	TACC ₉₀ < 0,6 mmol/l	Bij een TACC ₉₀ groter dan 0,6 mmol/l neemt de kans op kalkafzetting bij verwarming van het drinkwater toe, bij een TACC ₉₀ groter dan 1,2 mmol/l is de kans op kalkafzetting groot	V

Tabel 5 parameters t.b.v. optimale waterkwaliteit van drinkwater getoetst met waterkwaliteit van PS Andijk af pompstation.

Drinkwater geproduceerd in Andijk voldoet aan alle eisen. Wat wel opvallend is dat in de meest recente mededeling is de concentratie van Cl en SO₄ niet meer zijn opgenomen. Deze parameters stonden nog wel in de editie uit 1978 en 1988¹³, bovendien staat vast dat er een relatie is tussen hoog chloride en sulfaat en verhoogde corrosiesnelheid van metalen.

Chloride

Chloride tot 300 mg/L is niet gevaarlijk voor de volksgezondheid, wel kunnen chlorideconcentraties hoger dan 300 mg/L smaakproblemen met zich mee brengen en kunnen verhoogde chlorideconcentraties het drinkwater corrosief ten opzichte van metalen maken^{14,15}. De Europese richtlijn heeft de WHO-aanbeveling van 250 mg/L overgenomen met de toevoeging dat het water niet agressief mag zijn¹⁶. In Nederland is een scherpere norm in een iets andere vorm opgenomen in het actuele drinkwaterbesluit: jaargemiddelde moet lager zijn dan 150 mg/L.

Recent overleg van o.a. PWN met ILT over met name de meldingsplicht heeft geresulteerd in een voorlopige beleidsnota¹⁷. In deze concept beleidsregel is de meldplicht voor inname en voor levering gekwantificeerd. Melding bij inname (IJsselmeerwater) geldt bij 150 mg/L per jaargemiddelde en bij overschrijding van 200 mg/L voor 30 dagen. Bij levering (drinkwater) gelden iets andere getallen. 150 mg/L jaargemiddeld per kalenderjaar, overschrijding van 250 mg/L voor 30 dagen. Uit deze getallen blijkt dat ILT gewoon wil handhaven op 150 mg/L chloride als jaargemiddelde.

De chlorideconcentratie in het IJsselmeer is het gevolg van meerdere factoren. De belangrijkste is de chloride aanvoer van de Rijn. Maar ook zoute kwel onder de afsluitdijk, intrede via de Zeesluizen en brak uitslagwater van de boezemgemalen brengen chloride het IJsselmeer in. Verder spelen uiteraard verdamping (concentratie) en neerslag (verdunding) nog een (kleine) rol¹⁸. Vooral voor de intrede van

¹³ Th.J.J. van den Hoven and M.W.M. van Eekeren, "Optimale Samenstelling van Drinkwater," *KIWA N.V.*, no. 100 (1988): 69.

¹⁴ WHO, "Chloride in Drinking-Water Background Document for Development," *Guidelines for Drinking-Water Quality - World Health Organization* 2 (2003): 9, http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chloride.pdf.

¹⁵ Cobi de Boer, "Brief: Verhoogde Zoutgehaltes in Drinkwater Als Gevolg van Droogte in Nederland - Status Vertrouwelijk" (RIVM, n.d.).

¹⁶ Europese Gemeenschappen, "Richtlijn 98/83/EG van de Raad," 1998.

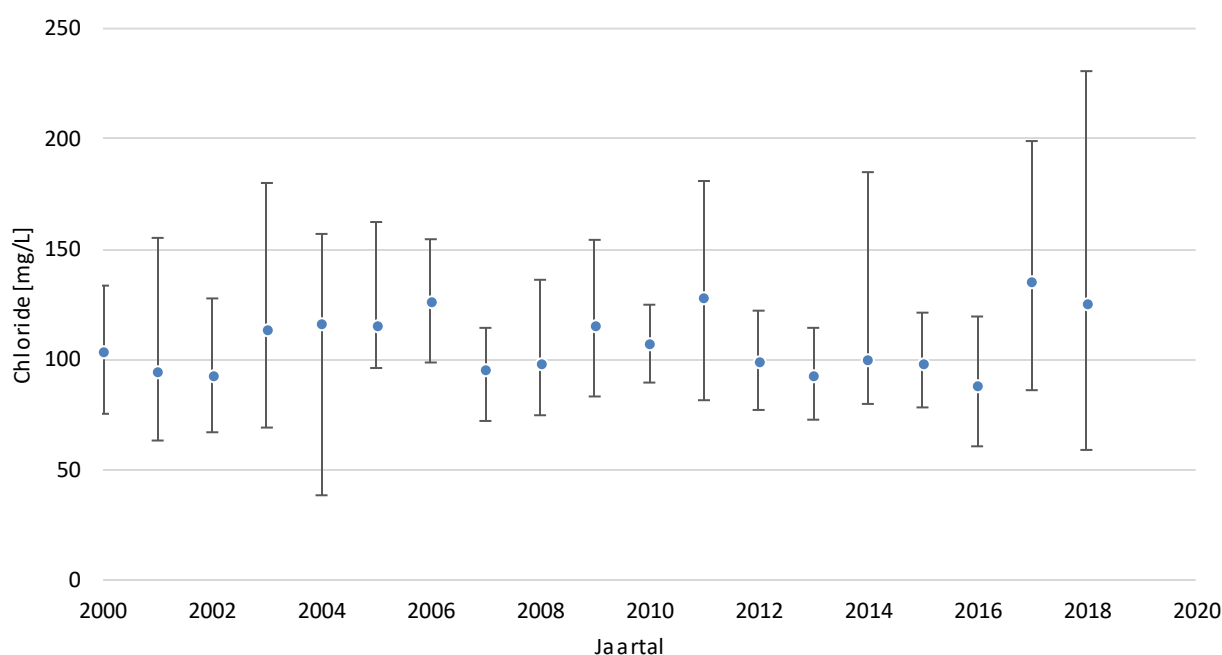
¹⁷ "20190322 Ontwerp Beleidsregel Verzuiling Drinkwater" (ILT, n.d.).

¹⁸ Paul K Baggelaar and Eit C.J. van der Meulen, "Historische En Toekomstige Ontwikkelingen Chloridebelasting in Het Traject Lobith Tot Andijk" (RIWA Rijnwaterbedrijven, 2009).

het Rijn-Zoutverdrag in 1985 was door de aanvoer van chloride door de Rijn de concentratie in het IJsselmeer hoog (≈ 180 mg/L), dit werd voornamelijk veroorzaakt door de zoutlozingen van de Franse kalimijnen in de Elzas en van de Duitse mijnen en zware industrie in het Ruhrgebied. Dit is sinds het verdrag aangepakt en de gemiddelde chlorideconcentratie in de Rijn afgenomen tot 96 in 2004¹⁹. Ook is er 12 mg/L verlaging gerealiseerd in 1993 door afleiding van brak kwelwater uit de Wieringermeer naar de Waddenzee.

Ondanks de maatregelen en de hierbij horende dalende trend in chlorideconcentraties schoot het chloride in 2017 en 2018 weer omhoog tot respectievelijk 134 en 124 mg/L²⁰. Het hoge zoutgehalte was het gevolg van een ongunstige samenloop van omstandigheden. Door een zeer lage afvoer van de Rijn was de chlorideconcentratie opgelopen tot boven de 150 mg/L in het rivierwater. Daarbij was er te weinig water beschikbaar om het zeewater dat binnenstroomt tijdens het schutten van de zeesluizen terug te voeren met overtollig rivierwater naar de Waddenzee. Tenslotte speelde nog mee dat er in de warme zomer van 2018 vanaf het grote wateroppervlak van het IJsselmeer ook meer water verdampte dan in de gemiddelde zomer²¹.

Om meer inzicht te krijgen in de chloridetrend van het IJsselmeer zijn alle jaargemiddelde vanaf 2000 weergegeven in Figuur 4, hierin representeren de foutbalken de minimale en maximale waarde van het desbetreffende jaar.



Figuur 4 Gemiddelde chloride concentraties van het ingenomen IJsselmeerwater per jaar van 2000 tot 2018. Foutbalken geven maximaal en minimaal gemeten waarden aan.

Het is duidelijk dat de jaren 2017 en 2018 wat aan de hoge kant liggen van de afgelopen decennia, maar met een gemiddelde chlorideconcentratie van 107 mg/L en de helft van de jaargemiddelden boven de 100 mg/L lijkt het verstandig om 100 mg/L chloride (jaargemiddelde) als uitgangspunt te nemen voor het in te nemen IJsselmeerwater.

Het innovatieve SIX-CeraMac proces is gebaseerd op ionenwisseling en keramische microfiltratie. De ionenwisselingshars wisselt Cl^- uit voor andere anionen waaronder natuurlijk opgelost organisch materiaal. Hoe beter het proces loopt, hoe meer Cl^- ionen uitwisselen met DOC^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , HCO_3^- en NO_3^- . Tijdens een 3-daagse test in juni 2017 werd gemiddeld 57 mg/L chloride toegevoegd aan het water. In-line coagulatie met ijzervrouwen voor de CeraMac (ILCA) brengt een extra chloride last met zich mee. Met de huidige doseerinstelling (6 mg/L Fe) wordt er 12 of 4 mg/L extra chloride toegevoegd, afhankelijk of FeCl_3 of FeClSO_4 wordt toegepast. ILCA is echter voor onbepaalde tijd opgeschort. Aangenomen dat de 3-daagse test in juni 2017 representatief voor de installatie is rekenen we 57 mg/L chloride toe. De bestaande voorzuivering voegt 14 mg/L Cl toe op basis van de huidige instelling 20 mg/L FeClSO_4 .

¹⁹ Baggelaar and van der Meulen.

²⁰ "Jaarrapport 2017 De Rijn," in *RIWA-Rijn* (RIWA - Vereniging van Rivierwaterbedrijven, 2018), 131.

²¹ "Zoutgehalte IJsselmeer Heeft Laagste Niveau Bereikt" (Waterpeilen, n.d.).

Tabel 6 berekende chloride toevoeging door Andijk 1 (+14 mg/L) en Andijk 3 (+57 mg/L). Wettelijke norm 150 mg/L.

Jaar	IJsselmeer	Andijk 1/Coagulatie	Andijk 3/SIX
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
2017	135	149	192
2018	124	138	181
2019 -	+14 mg/L	+57 mg/L

Andijk 1 brengt de chlorideconcentratie omhoog, maar blijft ondanks de hoge concentratie in het IJsselmeer net onder de wettelijke norm. De berekende chlorideconcentraties bij volledige inzet van Andijk 3 zou zoveel chloride toevoegen dat de wettelijke norm van 150 mg/L overschreden wordt. Tot 2035 zal inzet van Andijk 1 en Andijk 3 door chlorideconcentraties van het IJsselmeer gedictieerd worden. Chloride uit het water halen is technisch zeer goed mogelijk door omgekeerde osmose en wordt reeds toegepast bij PWN te Heemskerk. Het te behandelen water wordt dan door een semipermeabel membraam geperst waar water doorheen kan maar alle opgeloste zouten niet. Inzet van omgekeerde osmose brengt wel met zich mee dat er een volumineuze zoute reststroom ontstaat van minimaal 10% van de hoofdstroom ($\approx 500 \text{ m}^3/\text{h}$) waar dan ook nog een oplossing voor gevonden moet worden. Bovendien is het een kostbare installatie die gepaard gaat met relatief hoge operationele kosten. Eigenlijk is het beter om chloride niet toe te voegen dan het er later weer uit te halen.

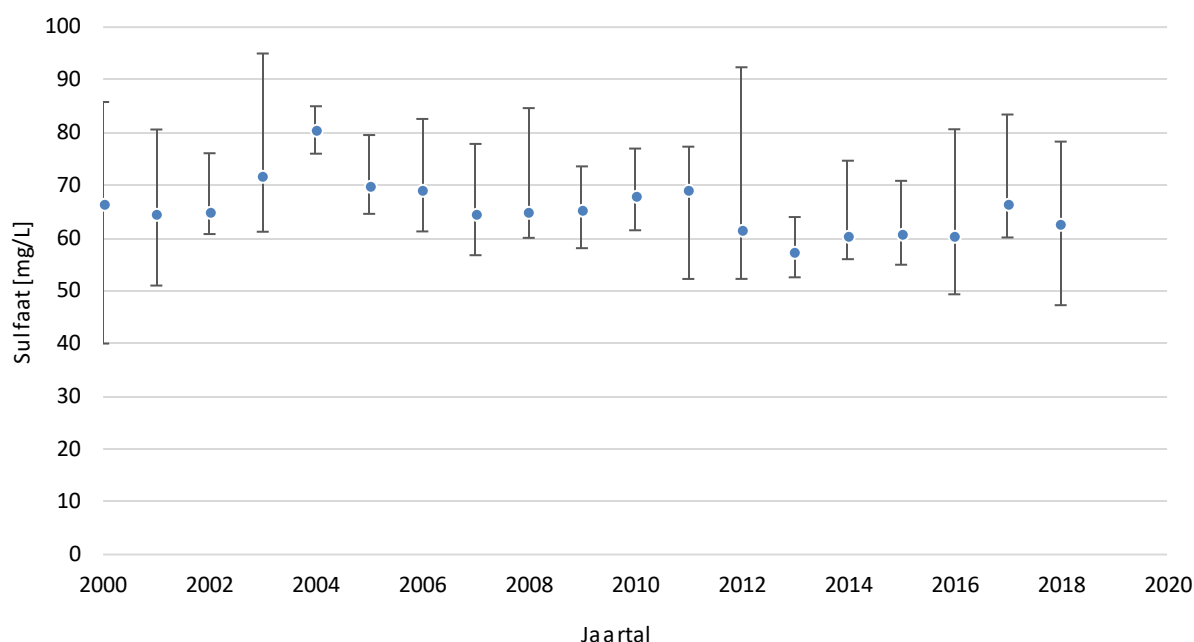
Aanbeveling: Er is niet aan de wettelijke norm van chloride te voldoen door belading van de SIX met NaCl. Belading met NaHCO_3 moet z.s.m. onderzocht worden op haalbaarheid, indien niet haalbaar zal voor de SIX op korte termijn een andere of aanvullende processtap gekozen moeten worden.

Sulfaat

Net als chloride is sulfaat geen gezondheidkundige parameter en de smaakgrens begint ergens tussen 250 en 500 mg/L²². Ook sulfaat kan corrosie versnellen en staat daarom met chloride in de berekening van de corrosie-index. De Europese richtlijn stelt een maximale sulfaatconcentratie in drinkwater van 250 mg/L en de noot dat het water niet agressief mag zijn. Het drinkwaterbesluit stelt dat de enkelvoudige meetwaarden van sulfaat niet boven de 150 mg/L mogen zijn.

Ingenomen sulfaatconcentraties in het IJsselmeer zijn weergegeven in Figuur 5. Deze zijn aanzienlijk lager dan de waarden voor chloride (Figuur 4) maar tellen dus als enkelvoudige meetwaarde. Alle maximale waarden liggen onder de 100 mg/L, uitdagende chloride jaren 2017 en 2018 zelfs onder de 85 mg/L, bovendien lijkt er een neerwaartse trend te herkennen.

²² WHO, "Sulfate in Drinking-Water," *Guidelines for Drinking Water Quality*, 2004, WHO/SDE/WSH/03.04/114.



Figuur 5 Gemiddelde sulfaatconcentraties van het ingenomen IJsselmeerwater per jaar van 2000 tot 2018. Foutbalken geven maximaal en minimaal gemeten waarden aan.

Om chloride toevoeging door coagulatie in de voorzuivering van Andijk 1 te beperken is er in het verleden overgestapt van FeCl_3 naar FeClSO_4 . Bij een dosering van 18 mg/L ijzer heeft dit een toename van 31 mg/L SO_4 tot gevolg. Wettelijk gezien (<150 mg/L) is dit niet kritiek, wel kan men stellen dat hoe lager de SO_4 concentratie in het drinkwater hoe minder corrosief het water t.o.v. metalen is (zie corrosie-index). De noodzaak tot het verwijderen van sulfaat lijkt de komende jaren niet aan de orde. Mocht dit toch gewenst zijn, dan is dat iets minder ingrijpend dan chloride. Het kan met Nano-filtratie membranen dat monovalente (Na^+ , K^+ en Cl^-) ionen doorlaat (minder zoute reststroom) en op lagere druk bedreven wordt. Het kan neergeslagen worden met Ca tot CaSO_4 en het is uit te wisselen met een anionen hars geladen met Cl^- of OH^- (wat weer een andere reststroom met zich meebrengt).

Aanbeveling: geen

Corrosie-index

De corrosie-index (vergelijking 1) geeft een richtlijn voor de verhouding van de concentraties chloride, sulfaat en carbonaten in drinkwater. Het gaat hier om een berekende waarde en is een maat voor de ijzerafgifte van gietijzeren leidingen. Bij een corrosie-index onder de 1 is de kans op ijzerafgifte minimaal. Als de index aanzienlijk hoger is, kunt u dat merken aan de kleur en smaak van het water²³.

$$CI = \frac{Cl^- + 2 \cdot SO_4^{2-}}{TAC} < 1$$

Vergelijking 1

Waarin TAC staat voor totaal anorganisch koolstof, de som van CO_2 + HCO_3^- + CO_3^{2-} .

De corrosie-index is gesneuveld in de meest recente mededeling over optimale waterkwaliteit. Echter lijkt het toch van belang om een goede verhouding van deze parameters aan te houden om corrosie van gietijzer en staal zoveel mogelijk te beperken.

Andijk 1 verhoogt de corrosie-index door toevoeging van Cl^- en SO_4^{2-} . Andijk 3 verhoogt de corrosie index op twee manieren. Enerzijds door verhoging van de som $\text{Cl}^- + 2 \text{SO}_4^{2-}$ en anderzijds door verlaging van TAC (HCO_3^- wordt namelijk ook uitgewisseld voor chloride).

Tabel 7 Corrosie-index PSA met data van 14-12-2018 (<1 is optimaal)

		IJsselmeer	Andijk 1	Andijk 3
Cl^-	mmol/L	4.73	5.13	6.18

²³ P C Kamp, J C Kruithof, and J C Schippers, "Zuiveringsstrategie NV PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland," n.d.

SO ₄ ²⁻	mmol/L	0.45	0.85	0.11
TAC	mmol/L	2.08	2.08	1.90
Corrosie-Index	< 1	2.70	3.28	3.38

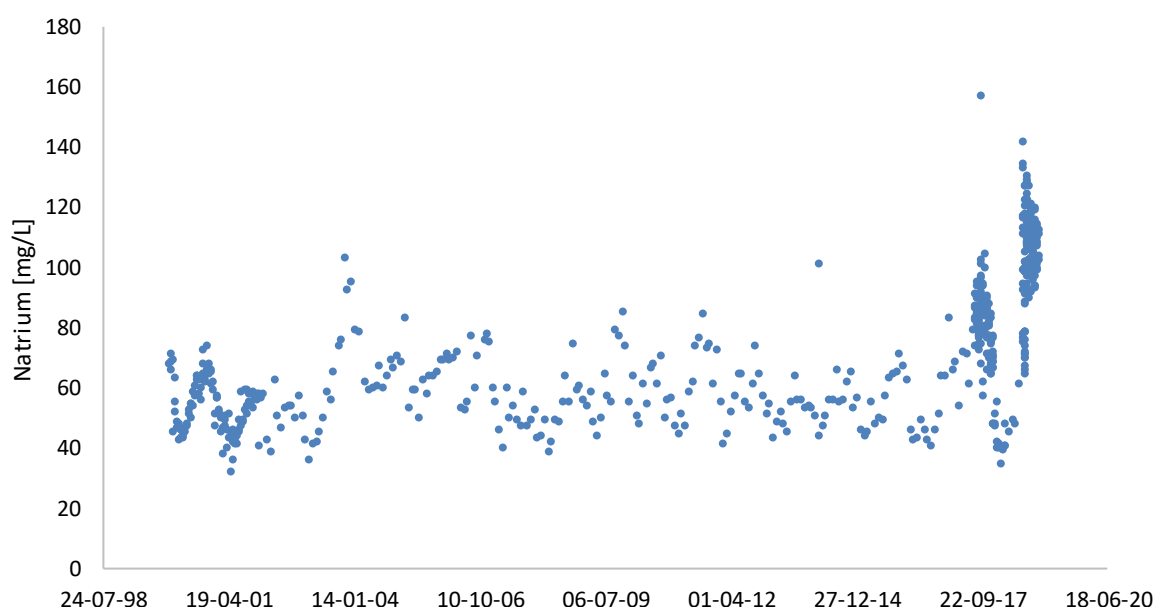
De uitwisseling van Cl⁻ met HCO₃⁻ resulteerde wel in een TAC-concentratie onder < 2 mmol/L. TAC moet hoger zijn om putcorrosie te voorkomen. Een onderzoek uitgevoerd door KIWA in 2001 naar lekkende warmwatertoestellen uit het voorzieningsgebied van Andijk resulteerde in de aanbeveling om chloride en sulfaat te verlagen, aangezien drinkwater uit Andijk de hoogste chlorideconcentratie en corrosie-index van Nederland heeft en een hoge uitval van warmwatertoestellen²⁴. Wel werd nadrukkelijk benoemd dat N.V. PWN juridisch niet aansprakelijk is voor de schade aan warmwatertoestellen.

Omdat chloride en sulfaat verwijdering ingrijpende zuiveringsprocessen met zich meebrengt is het herzien van het inbrengen hiervan een logische stap. Meerdere oplossingsrichtingen kunnen hiervoor aangehouden worden. Ten eerste zou voor elektrocoagulatie gekozen kunnen worden aangezien hier onder invloed van een spanningsverschil ijzer oplost zonder toevoeging van chloride of sulfaat. Ten tweede zou de dosering flink omlaag kunnen bij toepassing van oeverfiltratie.

Aanbeveling: zo min mogelijk chloride en sulfaat toevoegen, voldoende HCO₃ aanwezig houden

Natrium

De wettelijke norm voor natrium (Na) is 150 mg/L als Jaargemiddelde, met een maximum van 200 mg/L per enkelvoudige meting. De natriumconcentraties vanaf het jaar 2000 zijn weergegeven in Figuur 8.



Figuur 6 Natriumconcentraties in IJsselmeer bij innamepunt vanaf het jaar 2000.

De natriumconcentraties in het IJsselmeer schommelen tussen de 40 en 80 mg/L tot 2017. In 2017 en 2018 schieten de concentraties omhoog. Waarschijnlijk spelen hierbij dezelfde redenen voor de simultaan optredende verhoogde chlorideconcentraties hier ook een rol. De jaargemiddelden liggen rond de 80 mg/L wat aanzienlijk lager is dan de chlorideconcentraties en daarmee dus ook ver onder de norm van 150 mg/L. Echter, in de zuivering wordt 55 mg/L Na toegevoegd. NaOH wordt gebruikt voor ontharding en twee keer als pH correctie. Ontharding is 26 mg/L netto (bijmenging WPJ) en beide pH correcties zijn goed voor 28 mg/L. Normaal gesproken zijn overschrijdingen van de wettelijke norm, 80 + 55 = 135 mg/L, niet aan de orde. Wel kan de 200 mg/L incidenteel overschreden worden.

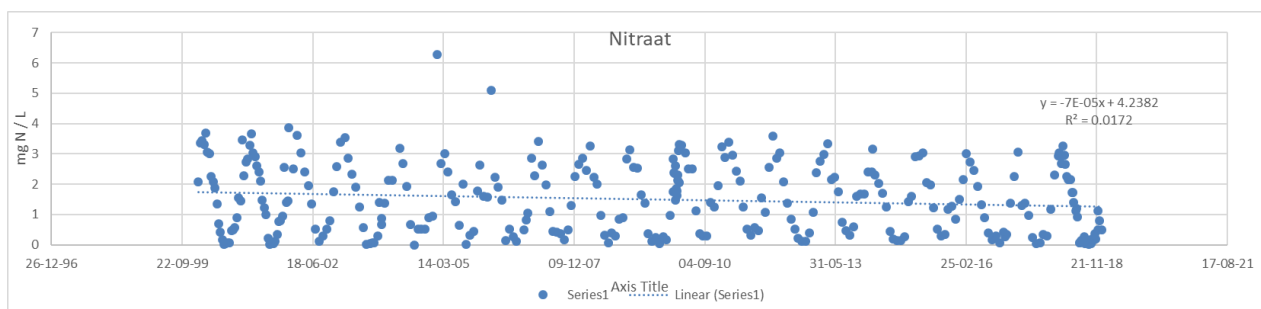
Door de kritisch te kijken naar de doseringen, pH schommelt door de zuivering heen kan er mogelijk NaOH bespaard worden. Hiervoor is een chemisch rekenmodel een handige tool.

Aanbeveling: Chemisch rekenmodel ontwikkelen om het bedrijfsvoerders makkelijker te maken op chemicaliën te besparen. Meer inzicht in processen leidt tot optimalere bedrijfsvoering.

²⁴ KIWA, "Corrosiviteit van Het Water van Ps Andijk t.o.v. Warmwatertoestellen," no. september (2001).

Nitraat

Nitraat (NO_3^-) absorbeert samen met DOC gemakkelijk UV-licht wat ten koste gaat van de efficiency van de UV reactoren. NO_3^- concentraties in het IJsselmeer zijn seizoensgebonden zoals te zien in Figuur 7.



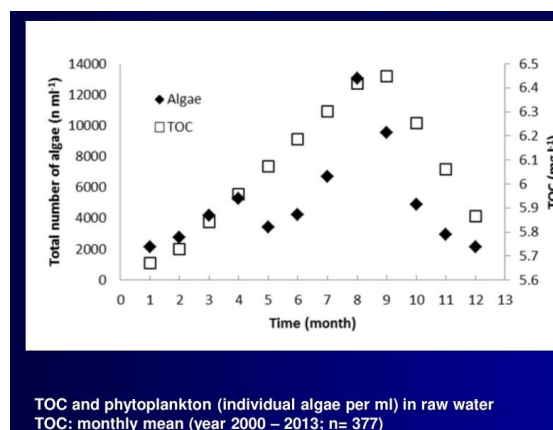
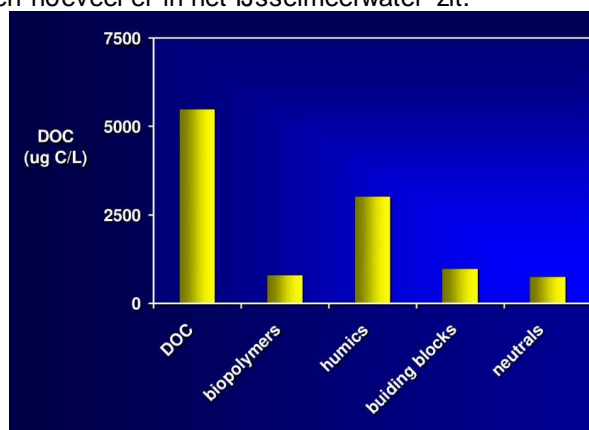
Figuur 7 Nitraat concentraties van 2000 tot 2019. Zomers nauwelijks nitraat en 's winters 3-4 mg N/L.

Het waterleidingbesluit stelt een maximale waarde voor nitraat van 50 mg/L. Met maximale waarden van 12 mg NO_3^- /L (Figuur 7) is nitraatverwijdering alleen nuttig voor het rendement van de UV-reactoren en om nitriet vorming tegen te gaan, maar geen wettelijk vereiste. Het SIX/CeraMac proces is mede ontwikkeld om NO_3^- te verwijderen. Een andere mogelijkheid is bacteriologische denitrificatie. In dit proces kan een biomassa NO_3^- omzetten in N_2 er moet wel een koolstofbron aanwezig zijn terwijl zuurstof juist afwezig moet zijn. Dit proces is niet gebruikelijk bij oppervlaktewaterbedrijven omdat water reeds aerob aangevoerd wordt en 50 mg/L zelden gehaald wordt. Toepassing van oeverfiltratie zou denitrificatie kunnen faciliteren²⁵.

Aanbeveling: geen

Natuurlijk organisch materiaal IJsselmeer

Opgeloste organische stof (DOC) kan geur, kleur en smaak aan het water toevoegen maar is niet opgenomen in het waterleiding besluit. Wel mag er geen abnormale verandering optreden in het distributienet. Verandering van DOC in het distributienet is hoogst waarschijnlijk het gevolg van biologische activiteit. In de zuivering kan DOC, net als NO_3^- , de prestaties van de UV-reactoren beïnvloeden (Grafiek Bram Martijn). DOC en UV-transmissie zijn omgekeerd evenredig, hoe meer DOC in het water hoe minder Uv-licht doorlatend. DOC dat UV-licht absorbeert wordt omgezet in assimileerbaar organisch materiaal (AOC). AOC kan eenvoudig worden omgezet in biomassa. Om deze redenen moet DOC worden verlaagd. In onderstaande figuren is weergegeven waar het DOC uit bestaat en hoeveel er in het IJsselmeerwater zit.



Figuur 8 DOC concentratie van het IJsselmeer met de afzonderlijke fracties waar het uit bestaat (links) en het verband tussen algen en organisch materiaal (rechts).

²⁵ Julia Regnery et al., "Start-up Performance of a Full-Scale Riverbank Filtration Site Regarding Removal of DOC, Nutrients, and Trace Organic Chemicals," *Chemosphere* 127 (2015): 136–42, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.076>.

Er zit tussen de 6 en 7 mg/L DOC in het ingenomen IJsselmeerwater met als grootste fractie humuszuren (Figuur 8; links). Humuszuren zijn negatief geladen bij neutrale pH en kunnen daarom efficiënt verwijderd (75%) worden door coagulatie bij lage pH (enhanced coagulation), maar ook m.b.v. een anionenhars uitgewisseld voor b.v. Cl⁻. De andere organische fracties zijn lastiger te verwijderen, buildingblocks en neutrals, zijn ongeladen en daardoor slechts tegen te houden met een fysieke barrière (membraan) of door biologische omzetting tot CO₂.

In figuur 8 (rechts) is de jaarlijkse DOC variatie te zien. Waarbij duidelijk een piek in de zomer is waar te nemen en die loopt gelijk op met het aantal algen in het water. Omdat het IJsselmeer relatief ondiep is en uit voedselrijk water bestaat groeien er makkelijk algen en die veroorzakende extra DOC in de zomer. Algen zetten met behulp van (zon-)licht anorganische koolstof om in organische koolstof (DOC), voornamelijk biopolymere, en drijven vaak aan de oppervlakte maar microalgen kunnen ook in dieper water voorkomen. Algen zijn zeer ongunstig voor een oppervlaktewaterzuivering omdat ze voeding kunnen zijn voor bacteriën, zeker als hun celwanden (door chloor bijvoorbeeld) kapot gemaakt wordt. De eerste stap op Andijk 1 en Andijk 3 is dan ook zoveel mogelijk DOC verwijderen. Om de UV-t zo hoog mogelijk te krijgen in de UV-reactoren.

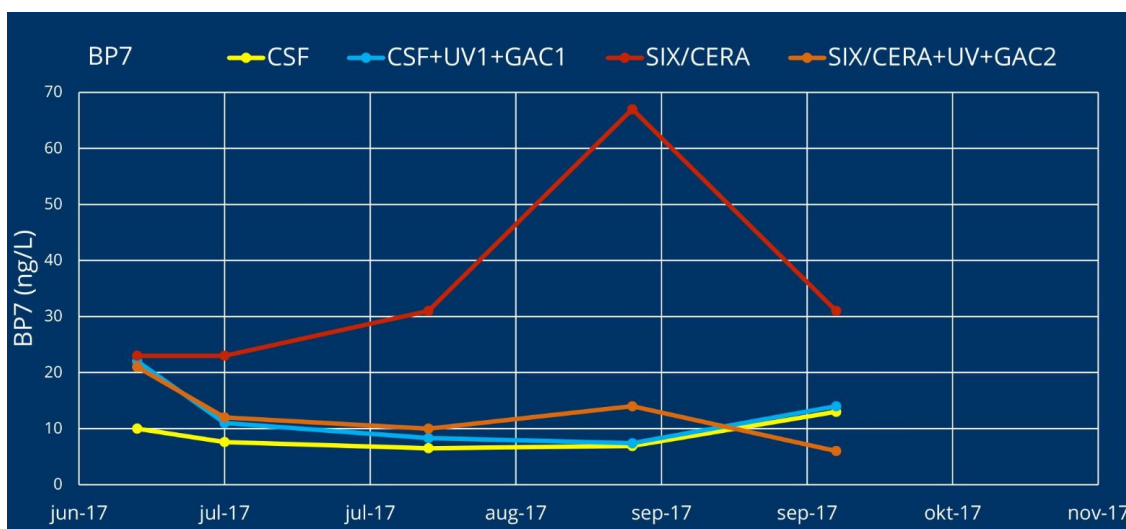
Door recirculatie van overtollig SIX-effluent naar het PSA bekken wordt de DOC concentratie meetbaar lager dan het ingenomen IJsselmeerwater. Tabel 8 geeft daarom het de influent concentratie en effluent concentratie van een flocculator en een SIX straat op data in november 2018 zo dicht mogelijk op elkaar (binnen 5 dagen).

Tabel 8 TOC en UV-extinctie van het te behandelen water, na enhanced coagulation (Andijk 1) en ionenwisseling (Andijk 3) alle datapunten uit november 2018.

	Eenheid	Inlaat	Andijk 1	Andijk 3
Totaal organisch koolstof (TOC)	mg C/L	4.26	1.65	2.53
UV-extinctie, 254 nm	ext/m	7.1	2.6	2.6

Op basis van UV-extinctie halen beide processen hetzelfde goede resultaat van 2.6 ext/m wat correspondeert met een UV-transmissie van 95% waarop de UV reactoren heel efficiënt kunnen draaien. De DOC (≈TOC) is aanzienlijk beter uit Andijk 1. Het lijkt erop dat het coagulatie proces additionele organische fracties in de vlokken sluit en mee-verwijderd.

Waar het naast efficiënte desinfectie om draait is het voorkomen van na-groei van bacteriën en andere organismen in het distributienet. BP7 is de maximum ATP-concentratie als gevolg van groei en/of handhaving, gemeten in een monster van het te onderzoeken water in een incubatieperiode van 7 dagen²⁶. De PB7 is bepaald voor een aantal punten in de PSA zuivering op 5 verschillende dagen en is weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9 Maximaal biomassa potentieel van verscheidene watermonsters door de zuivering heen.

²⁶ Dick van der Kooij and Harm R. Veenendaal, "Bepaling van de Biomassaproductiepotentie van Drinkwater," KWR, no. BTO 2014.038 (2014).

Opvallend is natuurlijk de rode grafiek die de BP7 voor het water uit Andijk 3 weergeeft. Deze lijn is buiten een uitschieter ongeveer 3 keer hoger dan de watermonsters uit de conventionele voorzuivering (Andijk 1: enhanced coagulation en snelfiltratie) en water na de actief kool. Deze waarden zijn waarschijnlijk zo hoog omdat het metalen vat met kool buiten geplaatst was en flink opwarmde wat biologische groeibevorderend werkt. De waarden na de actief kool zijn voor beide voorzuiveringen ongeveer gelijk maar wel in 4 van de 5 gevallen hoger dan voor de behandeling met UV-H₂O₂ en kool. Het lijkt erop dat de voeding (AOC) ontstaan tijdens de geavanceerde oxidatie voor een groot deel maar niet volledig wordt omgezet in de actief-koolfilters.

In een BTO rapport zijn de biologische stabiliteit van Andijk 1 en 3 en het effect op de nazuivering onderzocht²⁷. Na uitgebreid onderzoek bleek de watersamenstelling na de actiefkoolfiltratie vergelijkbaar ongeacht welke voorzuivering water leverde. Op basis van biologische stabiliteit hoeft niet te worden voor het SIX/Ceramac proces. Enhanced coagulation in combinatie met een verbeterd zandfilter kan op het gebied van bacteriologische stabiliteit net zo goed of beter water afleveren. Het lijkt dat vooral de processen na de UV-H₂O₂ in de zuivering (Andijk 2) nog tot verbeteringen kunnen leiden.

Conclusie: op basis van organisch materiaal is de conventionele zuivering van Andijk 1 beter en op basis van biologische stabiliteit geen duidelijk verschil tussen Andijk 1 en Andijk 3.

Multi barrier approach

Bacteriën, virussen en organische microverontreinigingen zijn aanwezig in vele soorten met allen specifieke eigenschappen en daarmee zijn ze niet allemaal met goed te verwijderen met dezelfde zuiveringstechniek.

Bacteriën en virussen

Desinfectie is het allerbelangrijkste onderdeel van iedere oppervlaktewaterzuivering omdat bacteriën en virussen, in tegenstelling tot bijna alle andere stoffen, directe ziekmakers zijn. Hygiënisch betrouwbaar drinkwater kan op drie manieren verkregen worden. De cellen kunnen geïnactiveerd worden door UV licht, hierbij wordt minimaal 120 mJ/cm² energie in de vorm van UV licht in het water gebracht en het UV licht beschadigt het DNA in de cellen waardoor er geen celdeling meer kan optreden. De bacteriën worden hiermee dus niet fysiek verwijderd. Ook kunnen bacteriën kapot gemaakt worden met een sterke oxidator zoals chloor. Dit oxideert de celwanden waardoor de bacteriën niet meer kunnen delen. Ook hier blijven de restanten achter. Vervolgens kunnen de bacteriën ook worden afgescheiden uit het water door een fysieke barrière (membraan). Deze moet dan poriën hebben van <0,1 µm of kleiner. Door membraanfiltratie worden de cellen dus daadwerkelijk verwijderd.

De desinfectie van PSA is gebaseerd op deze drie desinfectie methoden: inactivatie, fysieke barrière (Andijk 3: CeraMac) en lyseren (cellen kapot maken). In 2014 is er een uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de microbiologische veiligheid van de PSA zuivering, nog zonder Andijk 3, waarbij geconcludeerd werd dat de zuivering ruimschoots voldoet voor de verwijdering van pathogene micro-organismen²⁸.

Wel zou onderzocht kunnen worden of de volgorde van de desinfectie het meest optimaal is. Nu worden eerst alle bacteriën tegen gehouden door een membraan (CeraMac op Andijk 3, Andijk 1 heeft geen bacteriologische barrière), vervolgens gaat de UV wat er nog over is inactiveren. Maar hier wordt AOC gevormd wat weer tot groei in de biologische actiefkoolfilters leidt. Hiervan komt een klein deel in het filtraat terecht dat dan door de chloordioxide dosering wordt uitgeschakeld door lysering. Dit heeft wel tot gevolg dat de kapotgemaakte cellen (organisch materiaal) het distributienet ingaan. Onderzoek zou kunnen uitwijzen of de fysieke barrière niet beter tot zijn recht komt aan het eind van de zuivering. Met name omdat dat ook de grotere hydrobiologische levensvormen, b.v. Campylobacter, Giardia, Cryptosporidium en kleine radardiertjes tegenhoudt. Virussen zijn nog kleiner en vooral tegen te houden met nanofiltratie of reverse osmosis.

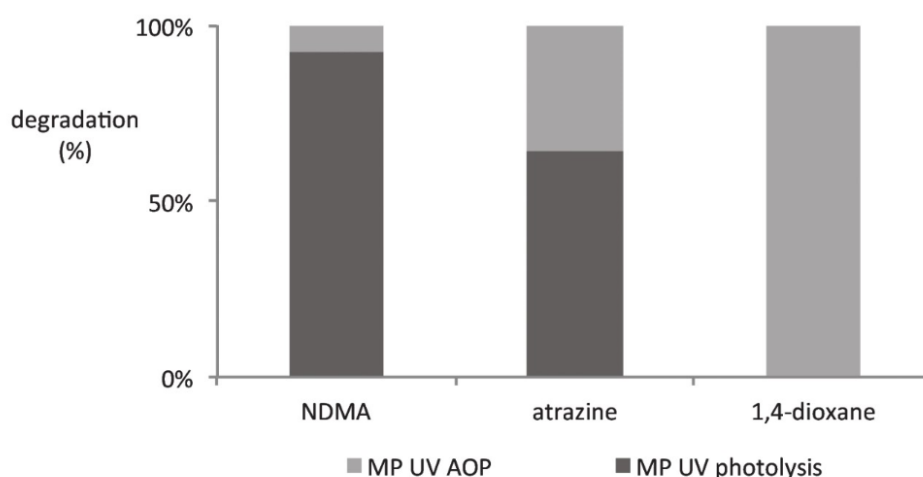
Aanbeveling: Niet alleen bacteriën onschadelijk maken, ook voorkomen dat restanten van cellen in distributienet terecht komen

Organische microverontreinigingen

Bestrijdingsmiddelen, medicijnresten oplosmiddelen. Actiefkool kan de apolaire stoffen effectief adsorberen en daarmee fysiek uit het water halen. De polaire organische microverontreinigingen (heel goed oplosbaar in water) zullen de actiefkool wel passeren. Deze kunnen door UV-H₂O₂ zet deze om door de molecuulstructuur aan te passen of af te breken, resten van de stof zullen dus in het water blijven. Hiervoor is 560 mJ/cm² energie aan UV-licht nodig.

²⁷ KWR, "Vergelijking Biologische Stabiliteit Oude En Nieuwe Zuivering Andijk," BTO, no. December (2018).

²⁸ John Boogaard, "Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwaterproductielocatie Martien Den Blanken (PSA)," 2014.



Figuur 10 bijdrage van fotolyse door UV en oxidatie door radicalen van 3 organische microverontreinigingen²⁹

Deze combinatie van OH^{\bullet} radicalen en UV-licht is een zeer robuuste en effectieve stap tegen organische microverontreinigingen. Waarbij het koolfilter nog nageschakeld is voor adsorptie van (afbraakproducten van) apolaire stoffen. Door betere meettechnieken en groeiend bewust zijn over microverontreinigingen zijn er drinkwaterbedrijven die een '100%' barrière nastreven. Dit kan eigenlijk alleen maar met omgekeerde osmose en is een zeer ingrijpend middel, maar zelfs reverse osmosis heeft geen goed retentie op b.v. pyrazool (<30% verwijdering). Voor PSA lijkt dit de komende tijd niet aan de orde met opstelling van UV- H_2O_2 en actiefkoolfiltratie.

Aanbeveling: koolregeneratie criteria vaststellen

²⁹ Abraham Jan Martijn, *Impact of the Water Matrix on the Effect and the Side Effect of MP UV/ H_2O_2 Treatment for the Removal of Organic Micropollutants in Drinking Water Production*, 2015.

3. Toekomst bestendig drinkwater maken

Het hart van de waterbehandeling van PSA is de UV-H₂O₂. Deze geavanceerde oxidatiestap zet organische microverontreinigingen effectief om en desinfecteert het water volledig³⁰. Er zijn echter twee uitdagingen bij toepassing van UV-H₂O₂ (net als bij alle andere geavanceerde oxidatiesystemen). Dat is enerzijds dat water vooraf behandeld zodat de UV-transmissie zo hoog mogelijk ligt om het energieverbruik van de UV-lampen te beperken. De twee belangrijkste waterkwaliteitsparameters om de UV-t hoog te krijgen zijn DOC en NO₃. Hoe lager die zijn hoe lager energieverbruik. En anderzijds nabehandeling van het oxideerde water omdat het gevormde AOC en nitriet weer moet worden omgezet. Met name de biologische stabiliteit is een aandachtspunt voor PSA wat terug te zien is in de frequente overschrijdingen van Aeromonas in het distributienet. Dit dient aangepakt te worden door water na UV-H₂O₂ verder te behandelen dan koolfiltratie en microzeven. Robuuste omzetting van AOC en een absolute barrière voor bacteriën, organische stof en hogere organismen zou de biologische stabiliteit mogelijk kunnen verbeteren.

Het tweede belangrijke aandachtspunt van PSA is chloride. Door de hoge chlorideconcentratie in het in te nemen IJsselmeerwater ligt het voor de hand dat het chloridegehalte verlaagd gaat moeten worden, dit is duur zowel in operationele als investeringskosten bovendien gaat het gepaard met veel waterverlies en een volumineuze reststroom. Zoals bleek uit bovenstaande analyse ligt het IJsselmeerwater net binnen de wettelijke norm en zijn overschrijdingen het gevolg van toegevoegde chloride door zuiveringsprocessen. Het reduceren van chloridetoevoegingen in de zuivering moet de komende jaren een van de prioriteiten worden en blijven.

Een derde uitdaging: definitieve verwerking van reststromen. Als hier geen definitieve oplossing voor komt zal het SIX proces uit bedrijf genomen moeten worden.

Nu

De pH wordt door alle toegepaste processtappen aangepast. Hier zou een model en proefondervindelijk vastgesteld kunnen worden of hier aan chemicaliën bespaart kunnen worden of dat de waterkwaliteit verbeterd kan worden. Zeker nu Andijk 1 en Andijk 3 ingezet kunnen worden. Bijvoorbeeld: misschien kan wat extra CO₂ (goedkoop en geen chloride en sulfaat toevoeging) kunnen zorgen dat de 20 mg/L Fe dosering wat verlaagd kan worden.

De flocculators moeten draaien op een vast debiet afhankelijk van de viscositeit van het water. Dit zal leiden tot de laagste ijzer uitstroom en beste waterkwaliteit.

De snelfilters zijn ontworpen voor 7 m/h maar draaien nu vaak op 7.6 m/h en 8.5 als er een filter spoelt en uitbedrijf is (krijgen de anderen meer). Door minder debiet door Andijk 1 te persen kunnen de snelfilters weer onder hun maximale ontwerp debiet draaien en kan de filterbed hoogte weer op niveau gebracht. Hierdoor zal de ijzerverwijdering beter zijn maar zeker niet onbelangrijk, mangaan- en ammoniumverwijdering zullen toenemen. De filterbed opbouw zou met antraciet en zand kunnen in plaats van Bims. Antraciet slijt nauwelijks en is makkelijker in gebruik.

Op korte termijn moet gekeken worden of er een alternatief is voor het SIX proces met chloride. Het is niet mogelijk aan de wet te voldoen (jaargemiddelde chloride) met de huidige installatie. Het hars regenereren met NaHCO₃ lijkt op basis van waterkwaliteit een uitstekend alternatief. Hierbij moet onderzocht worden wat de DOC verwijdering is, of de regeneratie installatie van voldoende capaciteit is en of de bestaande hars hergebruikt kan worden. Als dit niet kan zou wellicht de SIX installatie tijdelijk kunnen worden aangepast tot coagulatie, het maximale debiet door de membranen van de CeraMac gaat dan omhoog van 1100/1550 winter/zomer naar 2250/2500 winter/zomer³¹. Daarmee wordt chloride geminimaliseerd en zal de waterkwaliteit niet verslechteren. Bovendien kunnen we het vergunningstraject voor de reststroom stoppen en wordt kostbare ruimte bespaard (300 m²) door het niet installeren van langzame zandfilters.

Voor 2021 moet een proces keuze zijn uitgewerkt om in 2028 meer capaciteit te hebben staat dat onberispelijk water produceert dat aan de wet voldoet, voor een redelijke prijs en de reststromen hanteerbaar zijn. Er moet veel tijd uitgetrokken worden zodat er zonder haast, de benodigde infrastructuur gerealiseerd kan worden. Het gaat om een uiterst complexe aanpassingen op beperkt oppervlak.

2028

Uitdaging voor PWN in 2028 is voornamelijk waterkwaliteit. Het leveringscontract met Waternet loopt af en zal worden herzien. Aangezien Amsterdam groeit (o.a. stadsuitbreiding Haven-Stad) is maar de vraag

³⁰ Martijn.

³¹ J. Plooi, "PWN.000847.WT-ILCA-2019-001," 2019.

hoe deze onderhandelingen zullen lopen. Ook is er een toenemende vraag naar koelwater voor datacenters in het voorzieningsgebied van Andijk. PWN zal zoveel mogelijk zelfvoorzienend moeten worden en daartoe maximale capaciteit moeten opstellen. Een logische bron voor meer waterproductie is het IJsselmeer, hoewel de kwaliteit van de bron te wensen overlaat zit er aan wateronttrekking geen beperking.

Het kwaliteitsaspect kan worden opgevangen door oeverfiltratie. Oeverfiltratie wordt veelvuldig toegepast als eerste zuiveringsstap van oppervlaktewater tot drinkwater en reeds eerder voorgesteld door de PWN hydrologen. Een voorbeeld is oeverfiltratie van Rijnwater bij Düsseldorf. Hier worden bacteriën voor 3 log eenheden verwijderd, een bijna volledige virus verwijdering en parasieten (*Cryptosporidium* en *Giardia* l.) zelfs helemaal niet meer gevonden in het oeverfilteraat³². Naast deze voordelen is oeverfiltratie een zeer efficiënte barrière voor algen, mede omdat het de celwanden intact laat en er zo geen natuurlijk organisch materiaal uit de cellen ontsnapt (lyseren)³³. Als de verblijftijd lang genoeg is kan er opeenvolgend nitrificatie en denitrificatie optreden. Hiermee is het in te nemen water naar de zuivering reeds ontdaan van ammonium en nitraat. Een onderzoek van oeverfiltratie in Colorado laat de volgende waterkwaliteitsverbeteringen zien³⁴: DOC 42%, UV₂₅₄ 39%, NO₃ 86% en PO₄ 74%. Recent onderzoek toont aan dat oeverfiltratie ook effectief een groot aantal organische microverontreinigingen (pesticiden, medicijnen, industriële afvalproducten, voedsel/drank additieven) kan verwijderen³⁵. Oeverfiltratie zou een perfecte voorzuiveringsstap vormen voor de UV-H₂O₂. Ook zullen coagulatie doseringen omlaag kunnen en daarmee flink in chemicaliën bespaard worden en verminderde chloride tot gevolg hebben. Bekkenontharding zal door oeverfiltratie niet meer mogelijk zijn. Hiervoor kunnen pelletontharding of nanofiltratie toegepast kunnen worden. Pelletontharders, zoals toegepast op pompstation Wim Mensink, heeft geen waterverlies alleen een CaCO₃ reststroom met economische waarde. Nanofiltratie heeft een reststroom maar is een absolute barrière voor alles behalve monovalente ionen (Na⁺, Cl⁻, K⁺ ect.), dus ook bijvoorbeeld ook SO₄, DOC, bacteriën, virussen worden tegengehouden.

2040

Verziltting. Als de klimaatscenario's uitspelen als gepland heeft dat consequenties voor de waterkwaliteit van het IJsselmeer die met name in de nazomer tot kwaliteitsproblemen kunnen leiden. Door de temperatuursverhoging, langere periodes van droogte en de zeespiegelstijging zal het IJsselmeer zouter worden³⁶. Deze projecties zullen in het meest ongunstigste geval kunnen leiden tot ontzilting van een flinke deelstroom van het drinkwater of het bufferen van aanzienlijke hoeveelheden zoetwater om de zilte periodes te overbruggen. Temperatuur afvlakking zou gerealiseerd kunnen worden door oeverfiltratie of warte-koude-opslag. Hierdoor remt de biologische groei in het distributienet en zou het onder de wettelijke voorgeschreven 25 °C kunnen blijven.

Daarnaast is het waarschijnlijk dat als afvalwaterzuiveringen langs de Rijn geen medicijnresten gaan verwijderen de medicijnresten en andere organische microverontreinigingen kunnen toenemen. Een zekerheid is dat analysetechnieken verder verbeterd zullen worden en daarmee zullen meer stoffen, met hogere nauwkeurigheid worden gemeten. Dit kan alleen maar leiden tot strengere en meer wettelijke normen. Het is zaak processen zoveel mogelijk te compartimenteren, en de 4 functies van de kool en het regeneratieregime van 2 jaar lijkt dan niet meer haalbaar.

Voorraad bekkens nemen veel ruimte in, zijn kwetsbaar voor algen en zijn zeer kritisch in bedrijfsvoering (niet robuust, log). Ontzilting zal leiden tot een volumieuze reststroom van ongeveer 10% van de productie (bij +/- 50% chloride verlaging). Het voordeel deze stap ook voldoende is voor verlaging van de hardheid en de helft van de organische microverontreinigingen tegenhoudt. De stand van techniek en eventuele restwarmte zal t.z.t. bepalen hoe de installatie eruit zal zien. Een mogelijkheid om zonder reststroom te ontzouten is om de reverse osmosis membranen te plaatsen in de bodem en alleen het permeaat naar maaiveld te brengen.

Uit de publieke opinie de komende jaren zal moeten blijken hoe zuiver het drinkwater moet worden betreffende antropogene stoffen (organische microverontreinigingen, medicijnresten, microplastics).

³² R Irmischer and I Teermann, "Riverbank Filtration for Drinking Water Supply – a Proven Method , Perfect to Face Today ' s Challenges," 1992, 1–8.

³³ American Water Works Association, *Algae: Source to Treatment*, Volume 57 (American Water Works Association, 2011).

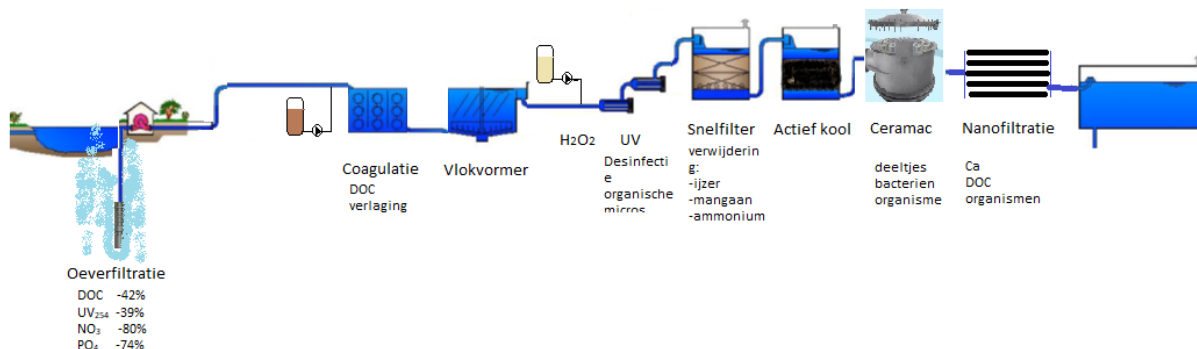
³⁴ Regnery et al., "Start-up Performance of a Full-Scale Riverbank Filtration Site Regarding Removal of DOC, Nutrients, and Trace Organic Chemicals."

³⁵ Cheryl Bertelkamp et al., "Hoe Voorspelbaar Is de Zuivering via Oeverfiltratie ?," no. april (2016): 1–5.

³⁶ Baggelaar and van der Meulen, "Historische En Toekomstige Ontwikkelingen Chloridebelasting in Het Traject Lobith Tot Andijk."

Technisch is het mogelijk puur H₂O te maken, hier is wel een dure installatie voor nodig, een hoog energieverbruik en aanzienlijke hoeveelheden chemicaliën.

Met de kennis van nu en in ogenschouw van de bestaande installatie op PSA zou de waterbehandeling er als volgt kunnen uitzien in 2040: oeverfiltratie, enhanced coagulation, UV-H₂O₂, zandfiltratie, actiefkool filtratie, microfiltratie, (open)nanofiltratie. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 11.



Figuur 11 Mogelijke waterbehandeling PSA in 2040

4. Aanbevelingen

Opsomming van de mogelijke onderzoeksrichtingen uit de analyse voor PSA.

Algemeen

Maken chemicaliënmodel: verder inzicht in prestaties zuivering, controle op leveranciers, verbetering waterkwaliteit door grip op zuivering.

Ontwikkelen tool voor inzicht in waterkwaliteit parameters HWL (calcium, chlorofyl ect.) en online metingen (debiet, pH, temp, UV-t, EGV ect.)

Waterbehandeling

Volgorde van onderzoeksrichting is weergegeven op basis van prioriteit (disclaimer: kosten opgenomen in punt d zijn zeer grof ingeschat).

1. SIX (toevoegen van chloride)
 - a. Wat: Onderzoek laden hars met HCO₃ i.p.v. chloride;
 - b. Waarom: Op basis van chloride toevoeging niet wettelijk aanvaardbare processtap;
 - c. Impact onderzoek: als niet mogelijk is met NaHCO₃ te regenereren zal SIX vervangen worden voor coagulatie en later i.c.m. met oeverfiltratie.
 - d. Is haast bij, onderzoekskosten gering, aanpassing installatie blijkt uit onderzoek, niet complex, wel andere restroom.
2. Constant debiet Andijk 1, Andijk 3 variabel
 - a. Wat: Vast debiet door flocculators en snelfilters
 - b. Waarom: optimalisatie waterkwaliteit en waterverlies
 - c. Impact: geen negatieve gevolgen
 - d. Snel en makkelijk te implementeren, kosten nihil, niet complex
3. Zandfilter Andijk 1 optimaliseren
 - a. Wat: Verhoging van de filterbed hoogte en reductie van belasting (filtratiesnelheid)
 - b. Waarom: Zal meer ijzer tegenhouden, vrijwel volledige ontmanging en ammoniumverwijdering verzorgen. Door minder ijzerdoorslag minder spoelen en dus minder waterverlies in de koolfilters. Geen mangaan en ammonium in de koolfilters betekent minder overschrijdingen na regeneratie en wellicht langere levensduur kool.
 - c. Impact: hydraulische lijn, capaciteit verlies
 - d. Snel en makkelijk te implementeren, <50.000 euro, niet complex
4. Onderzoek naar toepassing oeverfiltratie
 - a. Wat: Verlaging TOC, algen, zwevende stof, ammonium en nitraat
 - b. Waarom: Effectievere zuivering, minder coagulant nodig, minder chloride, bekkens overbodig.

- c. Impact: Huidige bekkenontharding komt daarmee ook te vervallen dus centrale ontharding moet op andere manier gerealiseerd worden.
- d. Uitvoerig onderzoek nodig, investering > 10 mil. euro, complex (b.v. andere ontharding), lange doorlooptijd
- 5. Ceramische microfiltratie verplaatsten na de actief koolfilters
 - a. Wat: omleggen leidingen zodat CeraMac na de koolfiltratie komt
 - b. Waarom: absolute barrière voor afstervende biologie, fines en hogere organismen waardoor ClO₂ niet meer nodig is en mogelijk verbetering biologische stabiliteit. Operationele voordelen zijn dat de flux veel hoger wordt door schoner water, er minder chemicaliën nodig zijn voor backwash mede door afwezigheid van mangaan
 - c. Impact: voorzuivering Andijk 3 heeft dan zandfilters nodig. Dus bijbouwen.
 - d. Onderzoek naar nut en effectiviteit duurt wel even, met zandfilter duur >20 miljoen euro zonder zandfilters aanzienlijk goedkoper, 1 miljoen euro, lastig om te bouwen en daarmee complex.
- 6. Nanofiltratie (vervangen bekkenontharding)
 - a. Wat: Verlagen hardheid, sulfaat en DOC-verwijdering bij lagere druk en minder geconcentreerde reststroom.
 - b. Waarom: Reststroom bevat geen extra chloride, nauwelijks zouter. Barrière voor organische stof en grotere organische microverontreinigingen zou biologische stabiliteit sterk kunnen verhogen en waterkwaliteit ten goede komen en draagt bij aan multi-barrier-approach
 - c. Impact: Moet aan het eind van de zuivering geplaatst worden ter voorkomen van te snelle vervuiling. Ook is voorbehandeling met microfilters gewenst en geeft waterverlies en concentraatstroom
 - d. Uitvoerig onderzoek nodig, investering >40 miljoen euro, complex in aanleg
- 7. Distributie
 - a. Drinkwater uit PSA moet water uit PS Bergen aanvullen zodat dat in zuidelijke richting kan om aan de groeiende vraag te voldoen.
 - b. Transportleiding berekeningen met scenario's waarbij Andijk 6.000 tot 10.000 m³/h (50 tot 75 miljoen m³/jaar) gaat maken.
- 8. Waterkwaliteitsmodel
 - a. Gezien het gebruik van de aanzienlijke hoeveelheid chemicaliën zou een waterkwaliteitsmodel houvast kunnen geven aan bedrijfsvoerders bij het instellen voor de doseringen.
 - b. Op zetten in PHreeqc, koppelen met HWL database en online monitors.
- 9. Elektrocoagulatie
 - a. Wat: coagulatie zonder inbreng van chloride of sulfaat. D.m.v. een spanningsverschil over een anode en kathode bestaande uit ondergedompelde ijzerplaten ontstaan ijzerzouten
 - b. Waarom: waterkwaliteit, chloride
 - c. Impact: aanzienlijke procesaanpassing, zeer waarschijnlijk nieuwbouw
 - d. Aanpassing installatie inclusief het onderzoek is tijdsintensief, 10 mil euro, complex
- 10. Zandfiltratie tussen UV-H₂O₂ en actief kool
 - a. Wat: verplaatsten zandfilter in de plaat van de zuivering
 - b. Waarom: Maximale biologische omzetting DOC door dubbele verblijftijd voor biomassa; door zoveel mogelijk DOC om te zetten voor actiefkoolfiltratie zou adsorptie van DOC geminimaliseerd worden en daarmee minder regeneraties nodig zijn en misschien wel effectievere adsorptie microverontreinigingen. Minder voeding het distributienet in en efficiënter gebruik kool
 - c. Impact: nieuwbouw of ombouw van hydraulische lijn
 - d. Lastig te implementeren (veel tijd), duur, complex als het op zich gebeurt en niet logisch mee kan in andere aanpassing