

Duurzame drinkwaterzuivering met membraanfiltratie

Peter Wessels, Walter van der Meer (Oasen)

Uit een integrale vergelijking voor zuiveringsstation De Hooge Boom in Kamerik blijkt dat drinkwaterproductie met volstroom membraanfiltratie en remineralisatie de CO₂-uitstoot met 71 procent reduceert ten opzichte van conventionele zuivering met pelletontharding en actieve kool. Natuurlijk moet wel worden meegewogen dat membraanfiltratie tot een hoger productieverlies leidt en een reststroom oplevert die moet worden afgevoerd. Met die reststroom worden echter geen zouten of chemische verontreinigingen geloosd, alleen een zeer kleine hoeveelheid anti-scalant. Met membraanfiltratie wordt een superieure drinkwaterkwaliteit gerealiseerd tegen vergelijkbare kosten.

In Nieuw-Lekkerland en Kamerik realiseert Oasen nieuwe drinkwaterzuiveringen die gebaseerd zijn op volstroom omgekeerde osmose (reverse osmosis, RO) en remineralisatie. Met deze nieuwe RO-zuiveringen wordt de best mogelijke drinkwaterkwaliteit gerealiseerd. Zo is de verwijdering van chemische verontreinigingen met RO superieur ten opzichte van andere geavanceerde zuiveringstechnieken. RO verwijdert verreweg de meeste stoffen en vormt daarbij geen nieuwe stoffen [1]. Bovendien is vastgesteld dat na RO en remineralisatie de nagroeipotentie en de legionella-groeipotentie respectievelijk een factor 12 en 700 lager zijn ten opzichte van de huidige, conventionele zuivering [2]. Omdat met RO ook zouten worden verwijderd, is de nieuwe RO-zuivering bovendien de beste verzekering tegen mogelijk toenemende verzilting als gevolg van klimaatverandering. Uit berekeningen met de Kostencalculator drinkwater [3] blijkt bovendien dat de kosten per m³ van de nieuwe RO-zuivering vergelijkbaar zijn met de kosten per m³ bij herbouw van de bestaande, conventionele zuiveringstrein. Maar hoe zit het met de duurzaamheid?



Afbeelding 1. Zuiveringsstation De Put (Nieuw-Lekkerland) in aanbouw

In dit artikel zijn de emissies van CO₂ en zouten door de nieuwe RO-zuivering van zuiveringsstation De Hooge Boom bij Woerden vergeleken met de bestaande zuivering. De belangrijkste gegevens van de ruwwaterkwaliteit zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. Kwaliteit ruw water De Hooge Boom

	eenheid	waarde in ruw water
Totale hardheid	mmol/L	3,4
HCO ₃ ⁻	mg/L	390
IJzer	mg/L	8,2
Ammonium	mg/L	3,6
Mangaan	mg/L	0,5
CO ₂	mg/L	55
Methaan (CH ₄)	mg/L	1,9

Bestaande zuivering De Hooge Boom

De bestaande zuivering heeft een maximale productiecapaciteit van 2,55 miljoen m³ per jaar (wincapaciteit 3 miljoen m³/jaar, 15% productieverlies) en omvat een zestal processtappen:

1. Beluchting/ontgassing
2. Droogfiltratie
3. Torenontgassing
4. Pelletontharding
5. Carry-overfiltratie
6. Actiefkoolfiltratie

In het huidige zuiveringsproces worden de volgende chemicaliën en materialen gebruikt:

- Natronloog (NaOH 50%) voor de ontharding
- Zwavelzuur (H₂SO₄ 96%) voor de pH-correctie na de pelletontharding
- Entzand voor de pelletontharding
- IJzerchloride (FeCl₃ 42%) als vlokmiddel voor de carry-overfilters

Om aan alle drinkwatereisen en bedrijfsnormen te voldoen, moet de actieve kool worden geregenereerd na 19.000 m³ waterproductie per m³ kool (dat wil zeggen na 19.000 bedvolumina). Op andere locaties wordt de actieve kool veel minder vaak, meestal na 35.000 bedvolumina, geregenereerd.

In het huidige zuiveringsproces komen kalkpellets, ijzerslib en spoelwater vrij. De kalkpellets en het ijzerslib worden als grondstof elders hergebruikt. Het spoelwater wordt, via bezinkvijvers, op het lokale oppervlaktewater geloosd.

In totaal zijn ongeveer 75 vrachtbewegingen per jaar nodig voor de aanvoer van chemicaliën en materialen, en de afvoer van kalkpellets en ijzerslib.

In tabel 2 zijn in één overzicht de CO₂-uitstoot en zoutemissie van de huidige zuivering De Hooge Boom samengevat bij 3 miljoen m³ per jaar.

Tabel 2. CO₂-uitstoot en zoutemissie huidige zuivering De Hooge Boom

	Verbruik	CO ₂ -uitstoot per kg 100% product	CO ₂ -uitstoot (ton/j)	Na ⁺ -emissie (ton/j)	Cl ⁻ -emissie (ton/j)	SO ₄ ²⁻ -emissie (ton/j)
Elektriciteit	0,35 kWh/m ³	0/kWh	0			
NaOH 50%	530 ton/j	1,36/kg	360,4	152		
H ₂ SO ₄ 96%	30 ton/j	0,12/kg	3,5			29
FeCl ₃ 42%	5 ton/j	1,14/kg	2,4		1	
Actieve kool	55 ton/j	3,50/kg	192,5			
CO ₂ direct	50 mg/l		150			
CH ₄ direct	1,9 mg/l		160			
Totaal			869	152	1	29

Toelichting bij tabel 2:

- Gerekend is met 100% gebruik van groene stroom met een aangenomen uitstoot van 0 kg CO₂/kWh.
- De kg CO₂-uitstoot per kg 100% product (géén oplossing) is berekend volgens de Praktijkcode Drinkwater nr. 11 [4].
- Bij regeneratie van actieve kool gaat 10% van de kool verloren. Dit moet dus worden aangevuld. Regeneratie leidt tot 2,75 kg CO₂-uitstoot per kg, nieuwe kool heeft een uitstoot van 10,28 kg CO₂ per kg.
- 50 mg/L ontgassing van CO₂.
- 1,9 mg/L ontgassing van methaan. Uitstoot van 1 ton CH₄ is vergelijkbaar met 28 ton CO₂-uitstoot.

In het huidige zuiveringsproces wordt de CO₂-uitstoot voor circa 64 procent veroorzaakt door het verbruik van chemicaliën en de regeneratie van actieve kool. De overige 36 procent wordt veroorzaakt door de directe uitstoot van CO₂ en methaan bij de ontgassing.

Bij de huidige zuivering worden aanzienlijke hoeveelheden zout in het drinkwater gedoseerd: natrium via natronloogdosering in het onthardingsproces, sulfaat via zwavelzuurdosering na de ontharding en chloride via ijzerchloridedosering. Het toegevoegde zout wordt, via drinkwater de huishoudens en het riool afgevoerd naar de rioolwaterzuivering en leidt uiteindelijk tot een significante zoutemissie naar het oppervlaktewater. Bij gebruik van kalkmelk voor de pelletontharding en CO₂-dosering als pH-correctie, zou de zoutemissie nagenoeg geheel kunnen worden gereduceerd.

Nieuwe RO-zuivering

De nieuwe RO-zuivering zal een maximale productiecapaciteit van 2,37 miljoen m³/jaar hebben (wincapaciteit 3 miljoen m³/jaar, 21% productieverlies), en vier processtappen omvatten:

1. Anaerobe omgekeerde osmose
2. Anaerobe kationwisseling
3. Anaerobe calciëfiltratie
4. Torenontgassing

Vanwege het hoge gehalte ammonium in het grondwater en de onvolledige verwijdering (~95%) daarvan met RO, moet het RO-permeaat worden nabehandeld met kationwisseling. Deze kationwisseling verbruikt heel weinig regeneratiezout. Op De Hooge Boom is geen, of maar heel weinig, CO₂-dosering nodig voor de remineralisatie met calciëfiltratie. Het grondwater bevat gemiddeld al meer dan voldoende CO₂, dat bovendien niet wordt verwijderd door de RO en de kationwisseling. Na de calciëfiltratie volgt als laatste stap een torenontgassing voor de inbreng van zuurstof, de verwijdering van methaan, het overtollig CO₂ (pH-correctie) en de verwijdering van vluchtige organische koolwaterstoffen.

In het proces worden op verschillende plaatsen chemicaliën gebruikt:

- anti-scalant in de voeding van de RO
- natriumchloride (NaCl 100%) voor regeneratie van de ionenwisseling
- calcië (CaCO₃ 100%) voor de remineralisatie
- magnesiumchloride (MgCl₂ 32%) voor de toevoeging van magnesium

- een zeer beperkte hoeveelheid chemicaliën voor de reiniging van de membranen

Bij de nieuwe RO-zuivering komen alleen vloeibare reststromen vrij: RO-spoelwater, regeneert van de kationwisseling en spoelwater van de calciëfilters. Het spoelwater van de RO en het regeneert van de kationwisseling worden afgevoerd naar de lokale rioolwaterzuivering (~ 1,5 km afstand) en gezamenlijk met het huishoudelijke afvalwater behandeld en geloosd. Het spoelwater van de calciëfilters wordt, via bezinkvijvers, geloosd op het oppervlaktewater.

In totaal zijn ongeveer 20 vrachtbewegingen per jaar nodig voor de aanvoer van grondstoffen.

In tabel 3 is in één overzicht samengevat welke CO₂-uitstoot en emissie van zout de nieuwe RO-zuivering op De Hooge Boom heeft bij 3 miljoen m³ per jaar.

Tabel 3. Berekende CO₂-uitstoot en zoutemissie van de nieuwe RO-zuivering De Hooge Boom

	Verbruik	Kg CO ₂ - uitstoot per kg 100% product	CO ₂ - uitstoot (ton/j)	Na ⁺ - emissie (ton/j)	Cl ⁻ - emissie (ton/j)	SO ₄ ²⁻ - emissie (ton/j)
Elektriciteit	0,78 kWh/m ³	0/kWh	0			
Anti-scalant	6 ton/j	2,98/kg	17,9			
Membraan- reiniging	600 L/j	n.b.	n.b.			
Membraan- vervanging	138 stuks/j	44,8/stuk	6,2			
NaCl 100%	15 ton/j	0,28/kg	4,2	6	9	
Calciet 100%	288 ton/j	0,04/kg	11,5			
MgCl ₂ 32%	120 ton/j	0,28/kg	10,8		29	
CO ₂ direct	50 mg/l		44			
CH ₄ direct	1,9 mg/l		160			
Totaal			255	6	38	

Toelichting bij tabel 3:

- Gerekend is met 100 procent gebruik van groene stroom met een aangenomen uitstoot van 0 kg CO₂ per kWh.
- De CO₂-uitstoot per kg 100% product is berekend volgens de Praktijkcode Drinkwater nr. 11 [4].
- Het energieverbruik van de RO is berekend met een gemiddelde voedingsdruk van 12 bar en een recovery van 80%.
- Voor de membraanvervanging is 25% per jaar genomen. De CO₂-uitstoot voor de productie van membranen is in een aparte levenscyclusanalyse (LCA) berekend.
- Gerekend is met 5 mg/L magnesiumdosering.
- 50 mg/L CO₂ wordt verwijderd uit 3 miljoen m³ grondwater per jaar. De RO zet 80% van de voeding om in permeaat. Uit deze 80% wordt 44 mg/L gebruikt bij de remineralisatie/calcietfiltratie van het RO-permeaat. Deze hoeveelheid wordt dus niet meer uitgestoten.

- 1,9 mg/L ontgassing van methaan: 1 ton CH₄-uitstoot is vergelijkbaar met 28 ton CO₂-uitstoot.

Bij de nieuwe RO-zuivering is nagenoeg al het energieverbruik elektrisch. RO is wat dit betreft een ontwikkeling die eigenlijk te vergelijken is met elektrisch rijden in het personenvervoer. De directe uitstoot van CO₂ wordt op locatie De Hooge Boom fors verlaagd doordat het van nature in het ruw water aanwezige CO₂ wordt gebruikt voor de remineralisatie van het RO-permeaat. De totale CO₂-uitstoot die overblijft is bijna geheel gerelateerd aan de resterende directe uitstoot van CO₂ en methaan.

De zoutemissie van de nieuwe RO-zuivering is fors lager in vergelijking met de huidige, conventionele zuivering. Dit komt doordat er veel minder chemicaliën worden gedoseerd. Een tweede verschil is dat het zout dat van nature in het ruw water aanwezig is, niet via drinkwater naar de huishoudens en het riool wordt afgevoerd naar de rioolwaterzuivering, maar direct via het RO-spoelwater.

Vergelijking van de nieuwe RO-zuivering met de bestaande zuivering

Uit de berekeningen blijkt dat de nieuwe RO-zuivering op ZS De Hooge Boom tot 71% reductie van de CO₂-uitstoot leidt bij volledige inzet van groene stroom. Daarnaast is de zoutemissie fors lager met volstroom RO en remineralisatie. Dit is nog eens samengevat in tabel 4.

Tabel 4. Vergelijking huidige zuivering met nieuwe RO-zuivering De Hooge Boom

	CO ₂ -uitstoot (ton/jaar)	Zoutemissie (ton/jaar)
Huidige zuivering	869	152 (Na ⁺) 1 (Cl ⁻) 29 (SO ₄ ²⁻)
Volstroom RO +remineralisatie	255	6 (Na ⁺) 38 (Cl ⁻)
Nieuwe RO-zuivering t.o.v. huidige zuivering	-71%	-146 (Na ⁺) +37 (Cl ⁻) -29 (SO ₄ ²⁻)

De conclusie is dat volstroom RO met remineralisatie, bij gebruik van groene stroom, dus altijd een significant lagere CO₂-uitstoot heeft dan een conventionele zuivering met pelletontharding en actieve kool. Daarnaast is de zoutemissie van volstroom RO + remineralisatie altijd significant lager dan pelletontharding wanneer daarbij natronloog wordt gebruikt.

RO-spoelwater

Voor de integrale afweging moet echter ook worden gekeken naar de lozing van het RO-spoelwater. Om zoutneerslag aan de voedingszijde van de membranen te voorkomen moet een deel van het voedingswater van de RO worden gebruikt als spoelwater (continue crossflow) langs de voedingszijde van het membraan. Dit RO-spoelwater, veelal 20 procent van de voedingsstroom, bevat alle opgeloste stoffen uit het voedingswater en kan op dit moment niet duurzaam en economisch worden teruggewonnen. De terugwinning van mineralen uit het RO-spoelwater bevindt zich ook nog in de fase

van fundamenteel onderzoek. In de huidige situatie moet het RO-spoelwater daarom uiteindelijk nog altijd worden geloosd, meestal op oppervlaktewater.

In vergelijking met de conventionele zuivering wordt de lozing van het RO-spoelwater nog weleens als nadeel gezien. Zo zou RO-zuivering tot een hoger productieverlies leiden, waardoor er meer ruw water nodig is voor dezelfde productiehoeveelheid. Ook zouden met de lozing van RO-spoelwater zouten, chemische verontreinigingen en anti-scalants op het oppervlaktewater worden geloosd.

Productieverlies

Met de nieuwe RO-zuivering wordt het productieverlies echter maar beperkt verhoogd. Om scaling te voorkomen wordt 20 procent van het voedingswater als RO-spoelwater afgevoerd en geloosd. Door de hoge ijzer- en ammoniumgehalten van het ruw water op De Hooge Boom is het productieverlies in de huidige zuivering met zandfilters en koolfilters echter ook al ongeveer 15%. Op veel andere zuiveringsstations in Nederland is het productieverlies van zuiveringen zonder RO echter 5% of lager. Toepassing van volstroom RO betekent in die gevallen wel een forse toename van het productieverlies. Om het RO-spoelwaterverlies significant te beperken kan een extra voorbehandeling met chemische ontharding en/of ionenwisseling worden overwogen [5]. Een dergelijke voorbehandeling introduceert helaas wel weer een hoger chemicaliënverbruik (NaCl en/of NaOH of kalkmelk) met daarmee samenhangend een fors hogere CO₂-uitstoot én een hogere zoutemissie. De vraag is hier hoeveel extra CO₂-uitstoot en zoutemissie duurzaam wordt geacht per procent verlaging van het RO-spoelwatervolume.

Lozing RO-spoelwater

Er is een aantal feitelijke argumenten waarom de lozing van RO-spoelwater veel minder nadelig is dan vaak wordt gedacht. Ten eerste is eerder in dit artikel al vastgesteld dat met de nieuwe RO-zuivering in totaal meestal minder zout op het oppervlaktewater wordt geloosd. Dit komt mede doordat bij de zuivering met RO-membranen geen zout wordt gedoseerd, en dus ook niet wordt geloosd. Juist bij conventionele zuiveringen vindt zoutemissie plaats, vooral via chemicaliën die worden gedoseerd bij de coagulatie, ontharding en pH-correctie. Op locatie De Hooge Boom betekent toepassing van RO zelfs een significante verlaging van de zoutlozing.

Ten tweede moet worden bedacht dat in het RO-spoelwater vooral chemische verontreinigingen aanwezig zijn die al in het ruw water aanwezig waren. Wanneer deze chemische verontreinigingen helemaal niet aanwezig zouden zijn (wat zo zou moeten zijn!) zouden deze stoffen ook niet in het RO-spoelwater aanwezig zijn. Met RO-membranen worden, behalve anti-scalants, geen stoffen toegevoegd. Feitelijk loost een drinkwaterbedrijf dus geen chemische verontreinigingen via RO-spoelwater, uitgezonderd de kleine hoeveelheid anti-scalants. Door het RO-spoelwater samen met het huishoudelijke afvalwater te mengen vóór het lozingspunt, zijn de concentraties van chemische verontreinigingen vergelijkbaar met de concentraties in de ruwwaterbronnen.

Wat wel een punt van aandacht is, zijn de eerder genoemde anti-scalants. Deze worden in zeer kleine hoeveelheden gedoseerd en via het RO-spoelwater geloosd. In de huidige praktijk zijn anti-scalants echter onmisbaar om het verlies via RO-spoelwater te beperken tot 20 procent. De afweging op duurzaamheid is hier de afweging tussen 1) een nog hoger RO-spoelwaterverlies accepteren óf 2) een kleine hoeveelheid anti-scalant gebruiken. Het is in ieder geval wel van belang om het gebruik van








anti-scalants altijd te minimaliseren en, waar mogelijk, anti-scalants te gebruiken met de laagste milieu-impact.

In het geval van De Hooge Boom levert de lozing van het RO-spoelwater zelfs nog een positieve bijdrage op de rioolwaterzuivering. Het drinkwaterijzer, dat in het anaerobe RO-spoelwater aanwezig is, wordt namelijk gebruikt in de zuivering van het afvalwater. Hiermee wordt een extra reductie van de CO₂-uitstoot gerealiseerd: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden zou anders namelijk vlokmiddelen inkopen die met behulp van fossiele brandstoffen worden geproduceerd.

Integrale vergelijking

Gebaseerd op een integrale afweging van alle aspecten kiest Oasen bij nieuwbouw met volle overtuiging voor volstroom RO met remineralisatie op locaties waar het water moet worden onthard én ook verwijdering van chemische verontreinigingen noodzakelijk is. Zeker als er ook nog een risico op verzilting aanwezig is (tabel 5).

Tabel 5. Integrale vergelijking nieuwe RO-zuivering ten opzichte van de huidige, conventionele zuivering voor locatie De Hooge Boom

	Nieuwe RO-zuivering
Verwijdering chemische verontreinigingen	
Nagroeipotentie / legionellagroepotentie	
Klimaatrobuust (barrière tegen verzilting)	
Kosten (€/m ³)	
CO ₂ -emissie (100% groene stroom)	
Zoutemissie (natrium, chloride, sulfaat)	
Productieverlies/lozing RO-spoelwater	

Referenties

1. Brunner, A.M. et. al. (2020). 'Integration of target analysis, non-target screening and effect-based monitoring to assess OMP related water quality changes in drinking water treatment'. *Science of the Total Environment*, vol 705, 135779
2. Learbuch, K.L.G., Lut, M.C., Liu, G., Smidt, H. Wielen, P.W.J.J. van der (2019). 'Legionella growth potential of drinking water produced by a reverse osmosis pilot plant'. *Water Research*, vol 157, 55-63
3. Royal Haskoning DHV. CoP kostencalculator Drinkwater. <https://kostenstandaard.nl>
4. Oosterholt, F., Brand, T. van den (2020). 'Berekening CO₂-voetafdruk van drinkwaterbedrijven'. *Praktijkcode Drinkwater* nr. 11
5. Heijman, S.G.J., Guo, H., Li, S., Dijk, J.C. van, Wessels, L.P. (2009). 'Zero liquid discharge: heading for 99% recovery in nanofiltration and Reverse Osmosis'. *Desalination*, vol 236, 357-362