



Levenscyclusanalyse van een nieuw drinkwaterproductieproces

Michiel Zijp (RIVM), Harmen van der Laan (Oasen)

Drinkwaterbedrijf Oasen heeft een verlanglijst: onberispelijk drinkwater, een toekomstbestendig productieproces en een duurzaam bedrijf. Mooie wensen, maar zijn die gelijktijdig te realiseren? Hoe verhouden nieuwe technologieën zich tot de conventionele manier van zuiveren? Naast experimenten met nieuwe drinkwaterproductietechnieken, wordt ook geëxperimenteerd met het gebruik van levenscyclusanalyses (LCA's) voor het optimaliseren van een nieuw drinkwaterproductieproces. Het RIVM en Oasen hebben een LCA uitgevoerd om inzicht te krijgen waar in de levenscyclus van het drinkwaterproductieproces de grootste milieu-impact plaatsvindt.

Een onberispelijk product en een duurzaam en toekomstbestendig proces. Dat zijn de doelen voor het nieuwe drinkwaterproductieproces dat Oasen ontwikkelt voor haar zuiveringsstation bij Kamerik. Maar gaan deze doelen samen op? Een levenscyclusanalyse (LCA) kan bijdragen aan het beantwoorden van deze vraag.

Oasens huidige drinkwater voldoet aan alle (wettelijke) eisen. Als bedrijf heeft Oasen de afgelopen jaren een stip aan de horizon gezet: het wil drinkwater produceren met een minimale hardheid en kleurintensiteit, chemisch en biologisch stabiel en twee keer zo schoon als de normen voor prioritaire stoffen. Daartoe ontwikkelt Oasen bij haar zuiveringsstation in Kamerik een nieuw drinkwaterproductieproces op basis van membraanfiltratie. Het proces moet robuust zijn om, zonder grote nieuwe investeringen, te kunnen anticiperen op mogelijke verslechtingen van de bron, gedurende de levensduur van de zuivering (20 – 30 jaar).

Oasen maakt gebruik van oeverinfiltraat als bron en wil dat graag zo houden. Ondanks het Europese en Nederlandse beleid om de bronnen voor de drinkwatervoorziening te verbeteren, wijzen toekomstverkenningen van het RIVM op de mogelijkheid dat door klimaat- en demografische veranderingen de kwaliteit en kwantiteit van met name oppervlaktewatergevoede drinkwaterbronnen in Nederland zullen verslechteren [1, 2]. In de daaropvolgende studie van het RIVM zijn beleidsopties geïnventariseerd om op deze mogelijke knelpunten voor de drinkwatervoorziening te anticiperen. Naast brongerichte maatregelen, is het overstappen op andere vormen van zuivering één van de mogelijke opties [3]. Het nieuwe drinkwaterproductieproces moet in staat zijn om, zonder grote aanpassingen, altijd voldoende zuiver drinkwater te kunnen produceren.

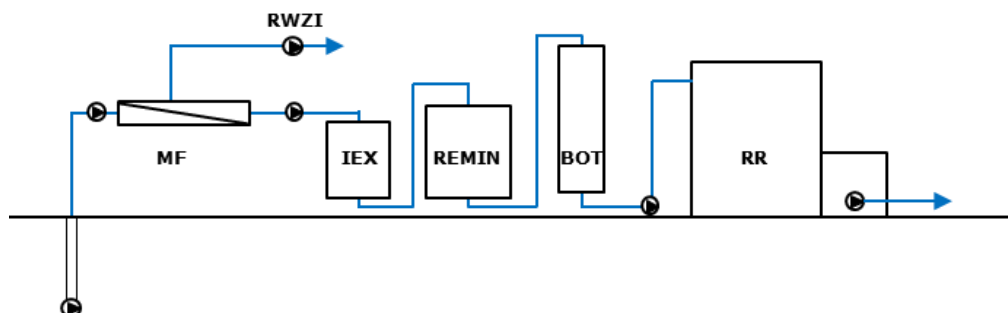
In haar missie stelt Oasen haar productie zodanig te willen inrichten dat ze niet alleen zo gezond mogelijk water produceert, maar dat het productieproces zelf ook zo goed mogelijk is voor het milieu. Denk hierbij aan de directe impact van het productieproces op de lokale omgeving, zoals bijvoorbeeld de impact van het onttrekken van water aan een systeem, maar ook aan indirecte effecten elders, zoals emissies en het grondstoffengebruik bij de productie en transport van hulpstoffen en bij de afvalverwerking.

Onderzoek naar membraanfiltratie

Met de resultaten van het onderzoek op de locatie Kamerik, waaronder deze LCA, worden de ontwerpparameters vastgesteld waarmee in 2016/2017 de nieuwe zuivering op deze locatie kan worden gebouwd. Het streven is dat in 2018 het nieuwe zuiveringsstation in productie is.

Bij membraanfiltratie wordt ruwwater onder druk door een membraan geperst. Het principe is dat de verontreinigingen niet door het membraan gaan, maar de watermoleculen wel. Op deze manier ontstaat zuiver water. Dit zuivere water, permeaat genoemd, wordt nog nabehandeld om er onberispelijk drinkwater van te maken. Het restwater, concentraat genoemd, gaat naar de RWZI. Het permeaat wordt verder behandeld door een ionenwisselingsstap. Hierin worden de laatste sporen

van ammonium (NH_4^+) verwijderd. In de tweede nabehandlingsstap wordt het water weer chemisch stabiel gemaakt met behulp van remineralisatie. Door een reactie met koolstofdioxide (CO_2) en calciumcarbonaat (CaCO_3) krijgt het water zijn bufferende vermogen terug, gaat de zuurgraad omhoog tot een net positieve verzadigingsindex (SI) en verbetert de smaak van het water. Als laatste stap wordt het water belucht, waardoor in het water aanwezige gassen (vluchtige koolwaterstoffen, methaan en de overmaat aan CO_2) worden verwijderd en zuurstof wordt toegevoegd.



Afbeelding 1. Toekomstig productieproces. MF: membraanfiltratie; RWZI: rioolwaterzuiveringsinstallatie; IEX: ionenwisselaar; REMIN: remineralisatie; BOT: beluchtungs- en ontgassingstoren; RR: reinwaterreservoir

Milieu-impact nieuw en huidig productieproces

In dit artikel delen we de resultaten van de levenscyclusanalyse (LCA) die het RIVM en Oasen hebben uitgevoerd ter vergelijking van dit nieuwe productieproces en een conventioneel productieproces zonder membraanfiltratie. Het doel van de LCA was om

- 1) hotspots te identificeren: welke productiestap zorgt voor de grootste milieu-impact?
- 2) de keuze voor membraanfiltratie te onderzoeken: hoe verhoudt de milieu-impact van een productieproces op basis van membraanfiltratie (afb. 1) zich tot een conventioneel productieproces (afb. 3)?

Op basis van deze studie wordt tevens beoordeeld of een LCA waardevol kan zijn bij duurzaamheidsbeoordelingen in de ontwikkelingsfase van producten, zoals drinkwater.

Methodiek

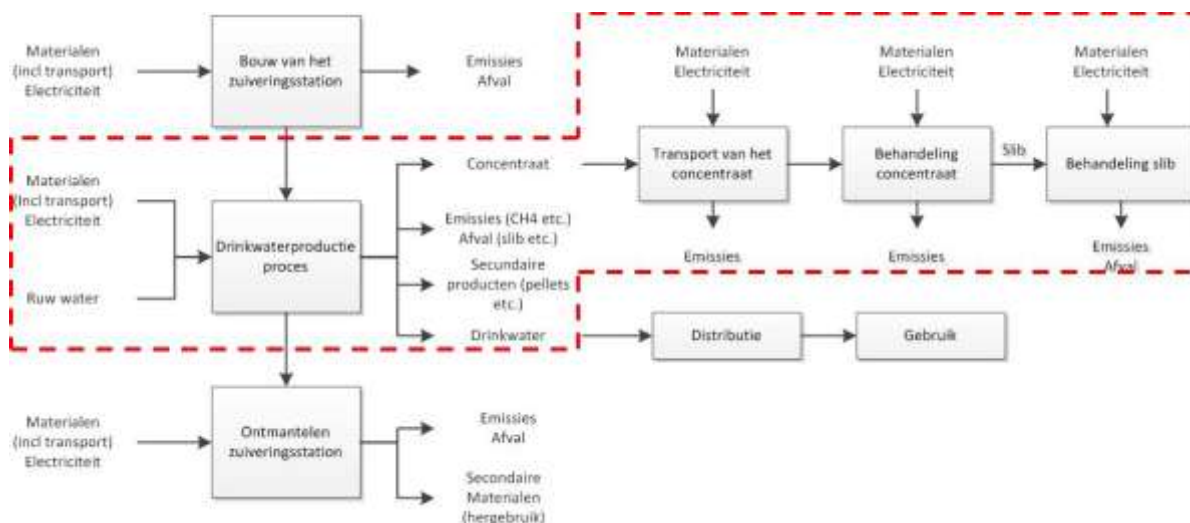
LCA's [4] worden gebruikt voor het beoordelen van de milieu-impact van producten of processen. Een LCA inventariseert emissies en grondstoffengebruik tijdens de hele levenscyclus van een product: vanaf de onttrekking van grondstoffen tot aan de verwerking van afval. Deze emissies en uitputting worden vervolgens vertaald naar impact op het milieu met behulp van een levenscyclusimpactmethode (LCIA).

LCA kan ondersteunen bij de keuze tussen twee alternatieven door de milieu-impact tijdens de hele levenscyclus van de alternatieven te vergelijken. Voor een eerlijke vergelijking wordt een LCA uitgevoerd per functionele eenheid: bijvoorbeeld in het geval van drinkwater per m^3 geproduceerd drinkwater of in ons geval per jaarproductie van 2,4 miljoen m^3 drinkwater dat voldoet aan de huidige bedrijfsnormen van Oasen: minimale hardheid en kleurintensiteit, chemisch en biologisch stabiel en twee keer zo schoon als de normen voor prioritair stoffen.

Een LCA kan ook ondersteunen bij het optimaliseren van een productieproces door een 'hotspotanalyse'. Een hotspotanalyse geeft inzicht in de vraag waar de grootste impact in de keten zit. Voor verschillende drinkwaterproductieprocessen, ook voor membraanfiltratie, zijn LCA's te vinden in de literatuur (bv. [5, 6]). Deze studies zijn niet één op één te vertalen naar de situatie van Oasen, vanwege verschillen in de kwaliteit van de bron, verschillen in de stappen van het productieproces en verschillende keuzes voor hulpstoffen en afvalverwerking.

Voor de LCA is gebruik gemaakt van de LCA-software Simapro en van Excel en @Risk. Voor de processen op het zuiveringsstation zelf zijn primaire data verzameld. Voor de processen die nodig zijn voor bijvoorbeeld het produceren van hulpstoffen, energie en transport zijn data gebruikt die beschikbaar zijn in de database Ecoinvent versie 3.1 (secundaire data). Voor het vertalen van emissies en grondstoffengebruik naar milieu-impacts is gebruik gemaakt van de LCIA-methode ReCiPe[7].

In afbeelding 2 is schematisch weergegeven welke processen onderdeel zijn van de LCA. De LCA behelst het hele productieproces tot het moment dat het kan worden gedistribueerd (Cradle to Gate). De grens ligt dus bij de reinwaterreservoirs. De milieu-impact voor de pompsectie voor de distributie is buiten beschouwing gelaten aangezien deze voor beide varianten gelijk is. Het bouwen en afbreken van de infrastructuur is niet meegenomen in de LCA. Uit andere studies blijkt dat dit, vanwege de lange levensduur van de infrastructuur, nauwelijks bijdraagt aan de totale impact per m³ geproduceerd drinkwater [6, 8, 9]. Verdere specificaties (functionele eenheid, referentiestromen en een uitgebreide inventarisatielijst) zijn te vinden in het achtergrondrapport [10].



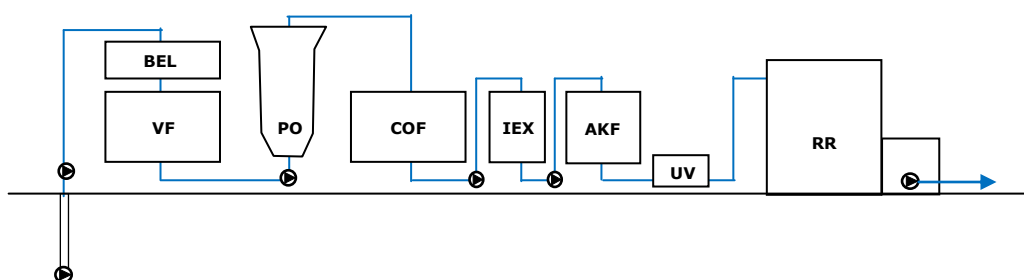
Afbeelding 2. Gekozen systeemgrenzen van de levenscyclusanalyse van het drinkwaterproductieproces bij Oasen

Bij toepassing van membraanfiltratie is er meer ruwwater nodig. Waar bij de conventionele variant het spoelwaterverlies rond de 5% is, wordt bij membraanfiltratie circa 20% van het ruwwater afgevoerd als concentraat. Dit verschil is ook meegenomen in de LCA, waarbij ook de invloed van de concentraatlozing bij de RWZI, inclusief de hulpstoffen en het energiegebruik van de RWZI, emissies naar water vanuit de RWZI en de slibvergisting en -verbranding is meegenomen.

Omdat het gaat om een productieproces in ontwikkeling, staan sommige keuzes in het productieproces nog niet vast. Daarom is er in deze fase een onzekerheid over de benodigdheden bij een *full scale* fabriek. Dit geldt bijvoorbeeld voor hulpstoffen, zoals antiscalant en natronloog, en voor de hoeveelheid slib die zal moeten worden afgevoerd.

Het maken van een LCA van een bestaand productieproces is wat dat betreft eenduidiger. Aan de andere kant kan een LCA in de ontwikkelingsfase bijdragen aan het maken van keuzes in de vormgeving van het proces. Door te spelen met de keuze tussen verschillende hulpstoffen en verschillende hoeveelheden wordt inzicht verkregen in welke keuzes het meest bijdragen aan een milieuvriendelijke oplossing. Daarnaast is het, zoals met elke LCA, belangrijk om onzekerheid over en gevoeligheid voor de invoerdata mee te nemen in de interpretatie van de resultaten. Hiervoor is dan ook een uitgebreide onzekerheids- en gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

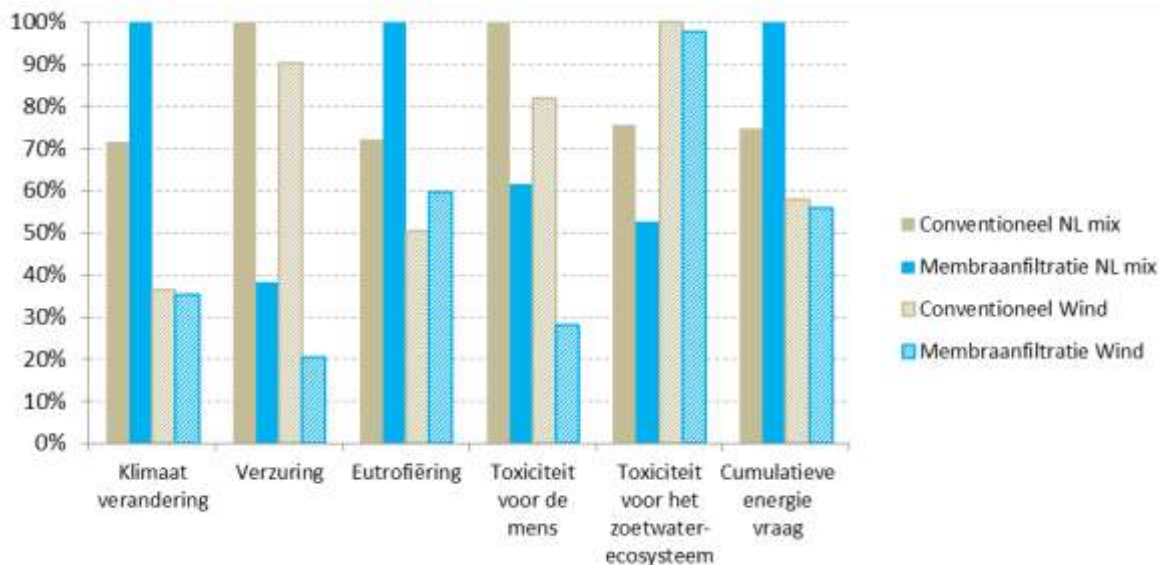
Om tot een goede vergelijking te komen is als alternatief proces een *high standard* conventioneel productieproces gekozen. Dit is het proces zoals het waarschijnlijk ontworpen zou worden als Oasen niet voor membraanfiltratie zou kiezen. Ook dit resulteert in drinkwater dat voldoet aan de bedrijfsnormen van Oasen. Dit productieproces is schematisch weergegeven in afbeelding 3. De eerste stap is een droogfilter met intensieve beluchting, waarin biologische ontijzering en het strippen van methaan plaatsvinden. Ook wordt hier een eerste deel van het ammonium omgezet. De tweede stap is een pelletreactor voor de ontharding van het grondwater, gevolgd door een carry-overfilter om deeltjes af te vangen en het overgebleven ammonium te verwijderen. Omdat het ruwwater in Kamerik een hoog kleurgehalte heeft vanwege een hoog gehalte aan natuurlijk organisch materiaal, is een ionenwisselingsstap noodzakelijk om te voldoen aan de bedrijfsnorm. Voor de verwijdering van organische microverontreinigingen volgt een behandeling met actieve kool waarna de laatste stap, desinfectie, plaatsvindt in een UV-reactor.



Afbeelding 3. Alternatief productieproces

Resultaten

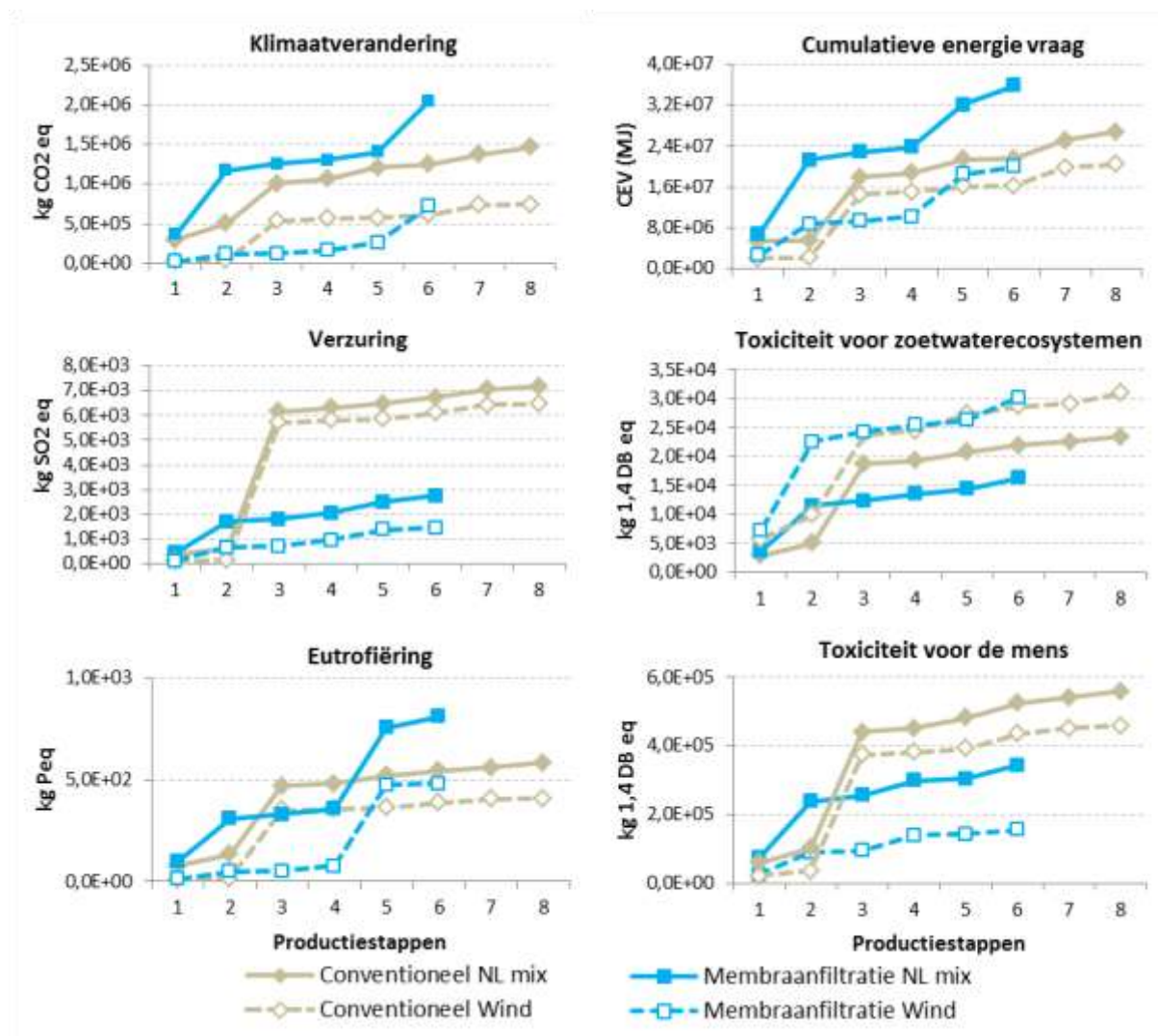
Energiegebruik is vaak een bepalende factor voor de uitkomsten van een LCA. Oasen koopt sinds 2013 windenergie in, in plaats van de standaard energiemix in Nederland. De invloed van die keuze is meegenomen in de vergelijking tussen beide alternatieven. In afbeelding 4 is de impact per impactcategorie voor alle vier de combinaties weergegeven ten opzicht van de grootste impact in die categorie. Dus de impact op klimaatverandering van de combinatie 'membraanfiltratie met Nederlandse energiemix' is het grootst en daarom 100%. Door gebruik van windenergie daalt die impact naar 35% van de oorspronkelijk impact. Afbeelding 5 is meer gedetailleerd en laat de absolute bijdrage per processtap van de twee drinkwaterproductieprocessen zien. Elke impactcategorie wordt uitgedrukt in een eigen maat met een eigen eenheid (zie kader).



Afbeelding 4. De relatieve impact van de twee productieprocessen (membraanfiltratie en conventioneel) in combinatie met de twee energiebronnen (Nederlandse mix en alleen windenergie) op 6 categorieën. De impact is uitgedrukt ten opzichte van de combinatie met de grootste impact

Uitleg bij de impactcategorieën

In LCA's worden emissies vertaald naar impacts. Emissies met eenzelfde type impact worden bij elkaar opgeteld. Om dit te doen zijn zogenoemde 'karakterisatiefactoren' afgeleid. Een karakterisatiefactor drukt de bijdrage van een emissie aan een bepaalde impact uit ten opzichte van een referentiestof. Bijvoorbeeld broeikasgassen worden uitgedrukt in CO₂-equivalenten. Emissie van 1 kg methaan heeft 28 keer zoveel broeikaseffect als 1 kg CO₂. De karakterisatiefactor van methaan is dus 28 CO₂-eq. Op dezelfde wijze wordt verzuring uitgedrukt in SO₂-eq., toxiciteit in 1,4 DB-eq. (1,4 dichloorbenzeen) en eutrofiëring in P-eq. De karakterisatiefactoren zijn gebaseerd op disciplinespecifieke modellen, zoals het IPCC-model voor de broeikasgassen en worden ontsloten via LCIA, zoals ReCiPe.



Afbeelding 5. Impact op 6 categorieën van de productie van 2,4 miljoen m³ drinkwater. De productiestappen op de x-as komen overeen met productiestappen in afbeelding 1 en 3

Membraanfiltratie vraagt meer druk en daardoor meer energie dan conventionele zuivering. Dat is terug te zien in de grafiek van klimaatverandering en Cumulatieve Energievraag (CEV). In de tweede

stap van het membraanproductieproces gaat deze omhoog. Dit patroon verandert flink door het inzetten van windenergie. Minder broeikasgassen, maar ook minder CEV, doordat windenergie minder belastend in elektriciteit wordt omgezet dan fossiele energiebronnen. Ook de laatste stap van het membraanfiltratie-alternatief, beluchting en ontgassing, levert een flinke bijdrage aan de impactcategorie klimaatverandering. Dit wordt niet alleen veroorzaakt door het energieverbruik, maar ook door de emissies van methaan en CO₂ bij het ontgassen. Voor klimaatverandering en de energievraag geldt dat in totaal de twee alternatieven vergelijkbaar scoren bij het gebruik van windenergie. Uitgaande van de Nederlandse energiemix, scoort membraanfiltratie beduidend slechter. Het gebruik van onder andere natronloog bij de ontharding zorgt voor een flinke stijging voor het conventionele productieproces. De productie van natronloog kost veel energie. Dit laat zien dat als een bedrijf de eigen inkoop van bijvoorbeeld energie duurzamer heeft geregeld, het inkoopbeleid van leveranciers, bijvoorbeeld van natronloog, de bepalende factor gaat worden in de milieu-impact van een product.

Daarnaast is dit een voorbeeld van hoe een hotspotanalyse werkt. Op basis hiervan zou bijvoorbeeld de leverancier van natronloog naar zijn productieproces en energiecertificaat gevraagd kunnen worden. Wanneer de leverancier de stap zou maken - of al heeft gemaakt - naar hernieuwbare energie, dan zou de LCA kunnen worden aangepast en daalt de milieu-impactscore van het product. De verhoogde impact van verzuring tijdens de onthardingsstap wordt veroorzaakt door het gebruik en de productie van zwavelzuur en natronloog. Ook de eutrofiëring wordt met name veroorzaakt door de productie van hulpstoffen. Het gebruik van windenergie in plaats van de Nederlandse energiemix heeft een sterker toxisch effect op zoetwaterorganismen dan het verschil in productieproces met de verschillende chemische stoffen. Dit komt door de toepassing van metalen. Metalen hebben een toxisch effect en blijven lang in het milieu, dus hebben een hoge karakterisatiefactor (zie kader).

Normalisatie van resultaten

Voor de interpretatie van LCA-resultaten wordt vaak gebruik gemaakt van normalisatie, door de impacts te relateren aan de totale impact van een persoon, regio of de wereld in een jaar. Deze normalisatiefactoren zijn ook onderdeel van de LCIA. In onderstaande tabel zijn de impacts van de twee productieprocessen uitgedrukt ten opzichte van inschattingen van de totale impact door emissies in het jaar 2000 van 5000 personen (levergebied Oasen). Het laat zien dat de productieprocessen relatief veel bijdragen aan de totale impact op zoetwatertoxiciteit. Dit betekent niet direct dat alleen moet worden gefocust op deze impactcategorie. Een kleine bijdrage aan een groot probleem kan net zo belangrijk zijn als een grote bijdrage aan een klein probleem.

	Conventioneel NL mix	Membraan filtratie NL mix	Conventioneel Wind	Membraan filtratie Wind
Klimaatverandering	0,3%	0,4%	0,1%	0,1%
Verzuring	0,3%	0,1%	0,2%	0,1%
Eutrofiëring	0,6%	0,8%	0,4%	0,5%
Toxisch effect op de mens	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Toxisch effect op ecosystemen	5,7%	4,0%	7,6%	7,4%

Een andere manier om de resultaten te duiden is de volgende: het zuiveringsstation in Kamerik levert drinkwater aan circa 12.000 aansluitingen. Huishoudens hebben een gemiddelde CO₂-footprint van 23 ton CO₂-eq. (ruwe schatting www.milieucentraal.nl). De drinkwaterproductie per huishouden draagt dan, afhankelijk van het alternatief, tussen de 0,3 en 0,7% bij aan de CO₂-footprint van de huishoudens waar het zuiveringsstation in Kamerik aan levert.

Tot slot is een gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse uitgevoerd voor de ingevoerde primaire data met behulp van *latin hypercube sampling* (1.000 iteraties). Uit de analyse bleek dat het model voor de membraanfiltratie veruit het meest gevoelig is voor de keuze in recovery (het percentage van het ruwwater waarvan drinkwater wordt gemaakt) en het model voor de *high standard* conventionele manier voor de hoeveelheid natronloog die nodig is. Uit de analyse volgt dat ondanks de onzekerheid in bepaalde operationele parameters en het gebruik van hulpstoffen, de LCA betrouwbaar genoeg is voor de gevraagde vergelijking.

Conclusies

De LCA laat zien waar de grootste impacts voor het milieu te verwachten zijn, zowel op het eigen zuiveringsstation als potentieel bij leveranciers van hulpstoffen. Vooraf was de vraag hoe de hogere energiebehoefte van membraanfiltratie zich zou verhouden tot de impact op andere onderdelen van de LCA. Het blijkt dat de impact van de hogere energiebehoefte door toepassing van windenergie sterk afneemt. Alleen op eutrofiëring scoort membraanfiltratie zo'n 10% slechter dan de conventionele variant. Op alle andere milieu-impactcategoriën scoort de membraanvariant vergelijkbaar of beter.

Nu zijn voor de hulpstoffen gemiddelde data genomen voor Europa. Samen met de leveranciers kan worden gekeken hoe de impact van het product kan worden gereduceerd en de LCA worden gespecificeerd met leveranciersspecifieke data.

Gegeven de systeemgrenzen (b.v. distributienetwerk niet meegenomen) en beschikbare data (b.v. generieke gegevens hulpstoffen) in deze studie, geeft de studie voor Oasen een sterke indicatie dat de keuze voor membraanfiltratie voor de zuivering van oeverinfiltraat te Kamerik in lijn is met het streven naar een minimale milieu-impact. Met andere woorden, als het gaat om CO₂-footprint en CEV krijgen we op deze manier beter drinkwater met dezelfde of een lagere impact.

Het ontwikkelen van een LCA parallel aan het ontwikkelen van een productieproces heeft voordelen. Ondanks dat het eindproces nog niet zeker is, geeft het inzicht in de hotspots en consequenties van keuzes in het ontwerp. Op basis van de LCA wordt verder onderzoek uitgezet, bijvoorbeeld het testen van een nieuwe techniek om lokaal CO₂ te onttrekken.

Met andere woorden: *wordt vervolgd*.

Referenties

1. Wuijts S., et al., *Effecten klimaatontwikkeling op de waterkwaliteit bij innamepunten voor drinkwater. Analyse van stofberekeningen*. 2012, RIVM: Bilthoven.
2. Wuijts S., et al., *Prospective study of the drinking water supply in the Netherlands* RIVM report 609716001 2011.
3. Wuijts, S., et al., *Impact klimaat op oppervlaktewater als bron voor drinkwater : Van knelpunten naar maatregelen*. 2014, RIVM: Bilthoven.
4. ISO, *International Standard 14040, Environmental Management—Life cycle Assessment—Principles and Framework*. 1997E, International Organisation for Standardisation (ISO): Geneva.
5. Klaversma, E., A.W.C. Van der Helm, and J.W.N.M. Kappelhof, *The use of life cycle assessment for evaluating the sustainability of the Amsterdam water cycle*. Journal of Water and Climate Change, 2013. **4**(2): p. 103-109.
6. Ribera, G., et al., *Life cycle and human health risk assessments as tools for decision making in the design and implementation of nanofiltration in drinking water treatment plants*. Science of the Total Environment, 2014. **466-467**: p. 377-386.
7. Goedkoop, M., et al., *ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*. . 2009.
8. Amores, M.J., et al., *Environmental assessment of urban water cycle on Mediterranean conditions by LCA approach*. Journal of Cleaner Production, 2013. **43**: p. 84-92.



9. Muñoz, I. and A.R. Fernández-Alba, *Reducing the environmental impacts of reverse osmosis desalination by using brackish groundwater resources*. *Water Research*, 2008. **42**(3): p. 801-811.
10. Zijp, M.C. and H. Van der Laan, *Life Cycle Assessment of two alternative drinking water production schemes at Oasen-Kamerik*. in prep, RIVM: Bilthoven.