

Bouw waarschijnlijk dominant in CO₂-voetafdruk nieuwe drinkwaterzuivering

Bas Hofs (D₂O – Duurzaam Drinkwater), Andries van Eckeveld, Bert van der Wal (Evides Drinkwater), Wilbert van den Broek (Evides Industriewater)

Een hybride levenscyclusanalyse (LCA) voor drinkwater van in 2025 nieuw te bouwen drinkwaterzuiveringen (in bedrijf tot 2075), laat zien dat de impact van de bouw onzeker is en naar schatting voor 20 tot 70 procent bijdraagt aan de CO₂-voetafdruk. Bij gebruik van groene energie in de operationele fase is de bouw waarschijnlijk verantwoordelijk voor meer dan 50 procent van de CO₂-voetafdruk van het geproduceerde drinkwater.

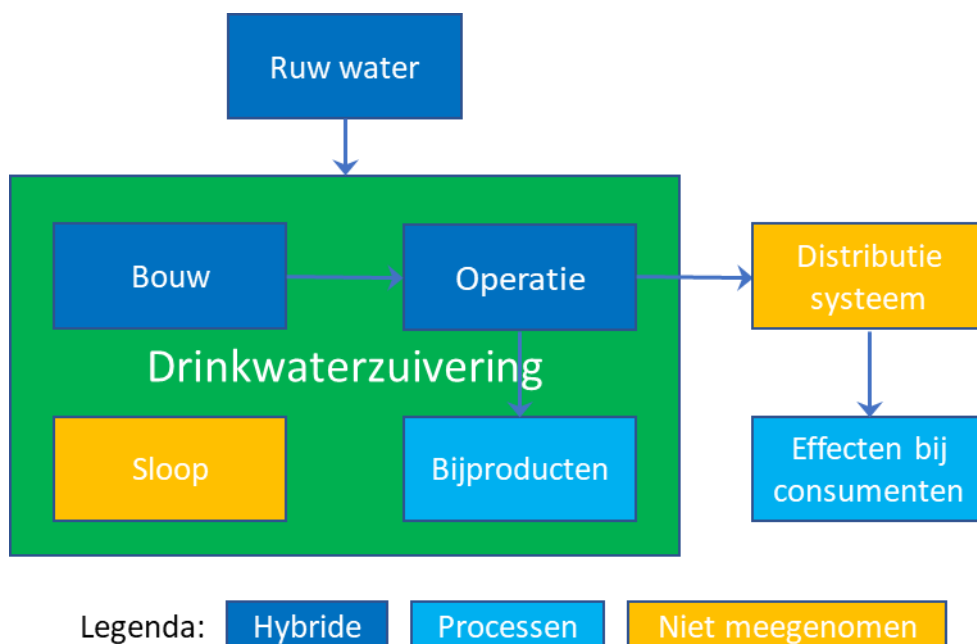
De impact van bouw (materialen en werkzaamheden) is in levenscyclusanalyses (LCA's) voor drinkwaterzuiveringen in het verleden vaak genegeerd. In een aantal studies is deze wel meegenomen en daarin is gevonden dat de bouw voor ongeveer 1 tot 20 procent bijdraagt aan de CO₂-voetafdruk [1]. Bij gebruik van groene energie tijdens de bedrijfsfase kan de bijdrage van de bouw zelfs de grootste worden [2]. Deze behoort dus ook onderdeel te zijn van de LCA.

Evides Waterbedrijf is bezig met de verkenning van een nieuw te bouwen drinkwaterzuivering. Daarin wordt duurzaamheid uiteraard meegenomen. Voor drie verschillende zuiveringsvarianten is een LCA gemaakt zodat de CO₂-voetafdruk kan worden meegewogen in de besluitvorming. Hierbij is de LCA voor de drinkwaterzuiveringen zo volledig mogelijk gemaakt, dus inclusief bouw, onderhoud, et cetera.

Methode en bronnen

De LCA is attributioneel en uitgevoerd met SimaPro [3]. Dit softwarepakket wordt veelvuldig toegepast bij het uitvoeren van LCA-berekeningen. In de LCA is gekeken naar de CO₂-voetafdruk van drinkwater van een in 2025 nieuw te bouwen drinkwaterzuivering, die naar verwachting 50 jaar in bedrijf zal zijn en per jaar 11,5 Mm³ drinkwater zal produceren. De functionele eenheid is m³ geproduceerd drinkwater. Zowel de bronnen als de zuivering tot en met het hogedruk pompstation is meegenomen in de LCA. Het distributiesysteem is buiten beschouwing gelaten (afbeelding 1). Drie mogelijke varianten van de nieuwe zuivering zijn vergeleken;

- Conv-UF: een conventionele zuivering met ultrafiltratie (UF), bestaande uit coagulatie, flotatie, zandfiltratie, middendruk-UV, granulair actiefkool (GAC), en UF.
- RO: een conventionele voorzuivering met omgekeerde osmose (RO), bestaande uit coagulatie, flotatie, zandfiltratie, kationwisseling, RO, middendruk-UV en remineralisatie.
- CapNF: een zuivering gebaseerd op capillaire nanofiltratie (CapNF), bestaande uit CapNF, middendruk-UV, GAC en zandfiltratie.



Afbeelding 1. Systeemgrens van de LCA voor het berekenen van de CO₂-voetafdruk van drinkwater over de levensduur van de zuivering (2025-2075). Ruw water, bouw en operatie zijn hybride meegenomen, bijproducten en effecten bij de klant via processen. De sloop en het distributiesysteem zijn niet meegenomen

Als input voor de LCA zijn de kosten uit de Kostenstandaard drinkwater [4] genomen; hierbij zijn zowel de operationele kosten (zoals energie, chemie en onderhoud) als de bouwkosten meegenomen (tabel 1, 2 en 3). Om de verschillende categorieën van de bouw om te rekenen naar milieu-impact is gebruik gemaakt van een complete LCA die Pré Sustainability voor Evides heeft uitgevoerd voor een waterzuivering.

Om een goed beeld van de CO₂-voetafdruk van het geproduceerde drinkwater over de levensduur van de zuivering te krijgen, is bovendien gerekend met twee toekomstscenario's. Het eerste scenario is een conservatieve reductie in de CO₂-voetafdruk van activiteiten in de EU: 40% in 2030 en 80% in 2050 (dit is het oude plan van de EU). Het tweede scenario volgt het in 2021 aangenomen huidige plan van de EU: 55% in 2030 en 100% in 2050.

Er zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor de bron van de elektriciteit, de CO₂-voetafdruk van de membranen (informatie van leverancier versus de Ecolnvent-database in SimaPro) en de CO₂-voetafdruk van de bouw. Voor de details van de berekeningen, zie [1].

Tabel 1. Geprojecteerde investerings- en onderhoudskosten, opbrengst en elektriciteitsverbruik voor de drie drinkwaterzuiveringsvarianten

Variant	Investering [M€]	Onderhoud [M€/jaar]	Opbrengst [%]	Elektriciteit [kWh/m ³]
Conv - UF	58	0,87	87	0,55
RO	69	0,93	78	0,78
CapNF	57	0,75	85	0,56

Tabel 2. Geprojecteerde investeringskosten per subcategorie voor de drie varianten en de gebruikte emissiefactoren

	Civiele techniek	Werktuigbouw	Electrotechniek	Ontwerp, administratie en supervisie	Eerste vulling	Overige kosten	
Conv-UF	17,9	13,9	8,7	8,5	2,8	6,1	M€
RO	20,6	18,7	10,1	10,2	1,8	7,6	M€
CapNF	15,4	10,0	9,4	8,7	9,4	4,0	M€
Emissiefactor	0,986	1,02	0,206	0,146	0,734	0,146	kg CO ₂ eq./€

Tabel 3. Geprojecteerd verbruik van verbruiksartikelen voor de drie varianten

Verbruiksartikelen [100%]	eenheid	Conv-UF	RO	CapNF
NaOH	[ton/jaar]	6,9	1,4	10
FeCl ₃	[ton/jaar]	183	195	0
NaHSO ₃	[ton/jaar]	12	5,5	0
HCl	[ton/jaar]	3,8	1,4	11
NaOCl	[ton/jaar]	3,6	0	4,4
CaCO ₃	[ton/jaar]	0	70	0
CO ₂	[ton/jaar]	0	78	0
Kationhars	[ton/jaar]	0	17	0
NaCl	[ton/jaar]	0	3,8*10 ³	0
GAC ¹	[ton/jaar]	131	0	131
Membranen ²	[m ² /jaar]	2,75*10 ³	13,7*10 ³	21,9*10 ³

De hoeveelheid is gegeven voor een concentratie van 100%.

¹ Granulair actief kool (GAC) wordt grotendeels hergebruikt door reactivatie.

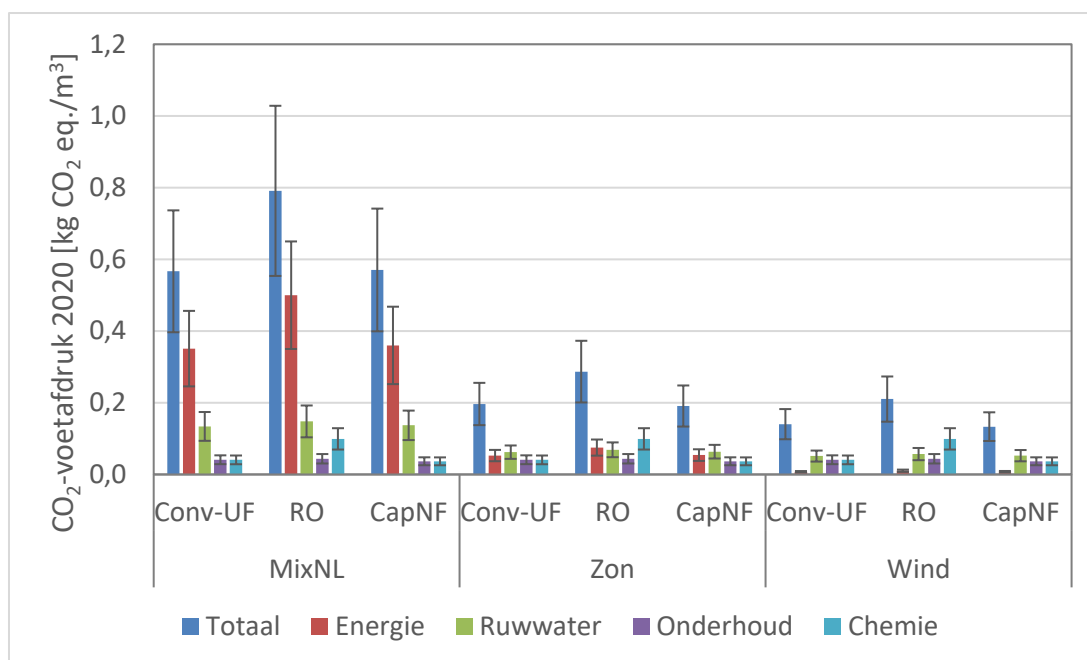
² Membranen worden periodiek ingekocht. Hier is het verwachte gemiddelde verbruik per jaar genomen.

Resultaten

Van de resultaten van de LCA wordt eerst de situatie met emissiefactoren voor 2020 besproken. Vervolgens worden de toekomstscenario's beschreven, die de beste schatting geven van de werkelijk te verwachten impact en als laatste de gevoeligheidsanalyses. Aangezien het type van de elektriciteit een grote invloed heeft op de resultaten wordt deze continu meegenomen in de analyses.

CO₂-voetafdruk in 2020

De operationele CO₂-voetafdruk met emissiefactoren voor 2020 is te zien in afbeelding 2. Voor de Nederlandse elektriciteitsmix (MixNL) en RO is deze het hoogst, met ongeveer 0,79 kg CO₂ eq./m³. Voor Conv-UF en CapNF is deze ongeveer 0,57 kg CO₂ eq./m³. Gebruik van groene energie verlaagt de CO₂-voetafdruk drastisch, met een factor drie à vier voor respectievelijk zonne- en windenergie. De categorie ruwwater bestaat uit inname, ontharding in de spaarbekkens en transport; de impact hiervan wordt grotendeels bepaald door elektriciteitsverbruik.



Afbeelding 2. Operationele CO₂-voetafdruk in 2020 voor de drie varianten en drie verschillende elektriciteitsmixen (MixNL, zon en wind)

Bouw

Voor de bouw lijkt de CO₂-voetafdruk een stuk lager; deze komt uit rond de 0,07 kg CO₂ eq./m³, berekend over de verwachte levensduur van de zuivering (tabel 4). Dit komt goed overeen met in de literatuur voorkomende waarden van een bijdrage van grofweg 1 tot 20 procent aan het totaal.

Tabel 4. CO₂-voetafdruk van de bouw van de drie varianten

	Civiele techniek	Werktuigbouw	Electrotechniek	Ontwerp, administratie en supervisie	Eerste vulling	Overige kosten	Totaal	
Conv-UF	0,031	0,025	0,003	0,002	0,004	0,002	0,066	kg CO ₂ eq./m ³
RO	0,035	0,033	0,004	0,003	0,002	0,002	0,079	kg CO ₂ eq./m ³
CapNF	0,026	0,018	0,003	0,002	0,012	0,001	0,063	kg CO ₂ eq./m ³

Toekomstscenario's

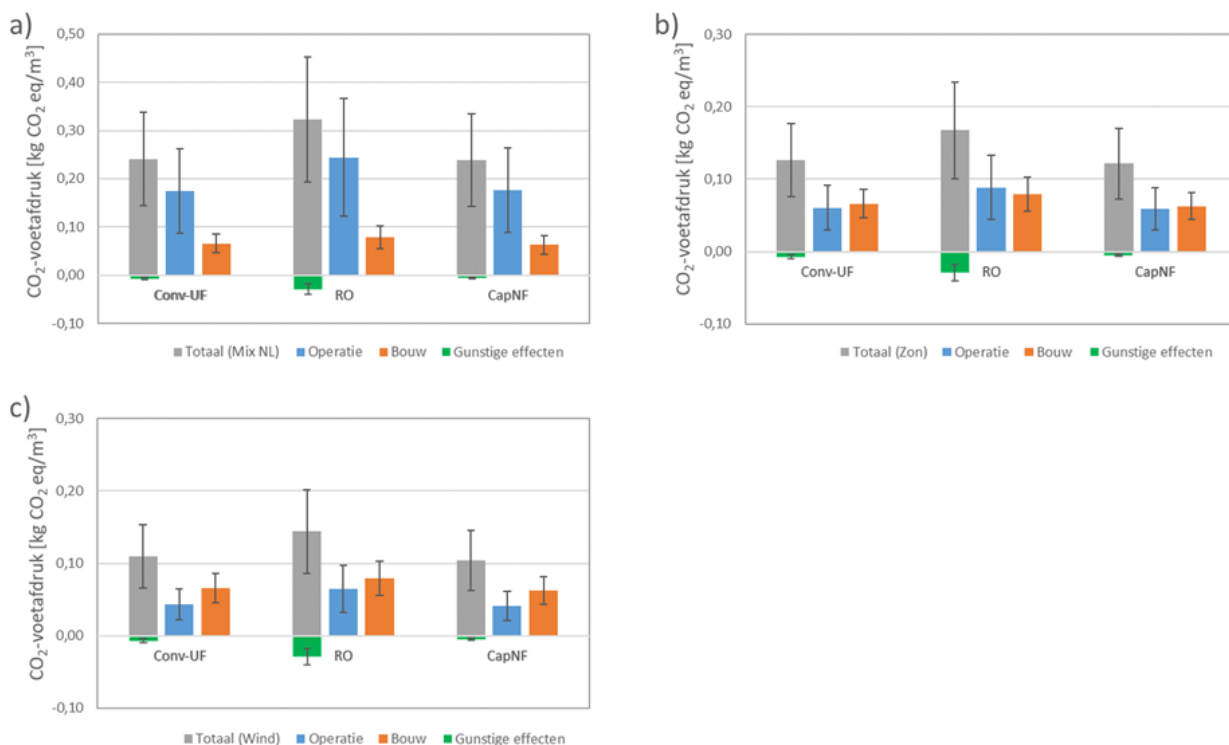
Vanwege de vele toekomstige veranderingen is het bij het berekenen van de CO₂-voetafdruk van een nieuw te bouwen drinkwaterzuivering essentieel om met toekomstscenario's te werken. Hoewel de toekomst onzeker is, geeft deze exercitie inzicht in de verwachte mogelijke effecten. Op basis daarvan kan een beter gewogen beslissing genomen worden wat betreft klimaatverandering. De plannen van de EU op dit gebied lijken vooralsnog het grootste effect te hebben. Door deze plannen dalen de CO₂-uitstoot van onder andere elektriciteit per kWh en chemie per ton al jaren langzaam.

Voor zowel het, conservatieve, oude toekomstscenario (80% reductie in 2050) als het huidige plan van de EU (100% reductie in 2050) worden de effecten doorgerekend. De daaruit volgende getallen geven uiteraard slechts een indicatie.

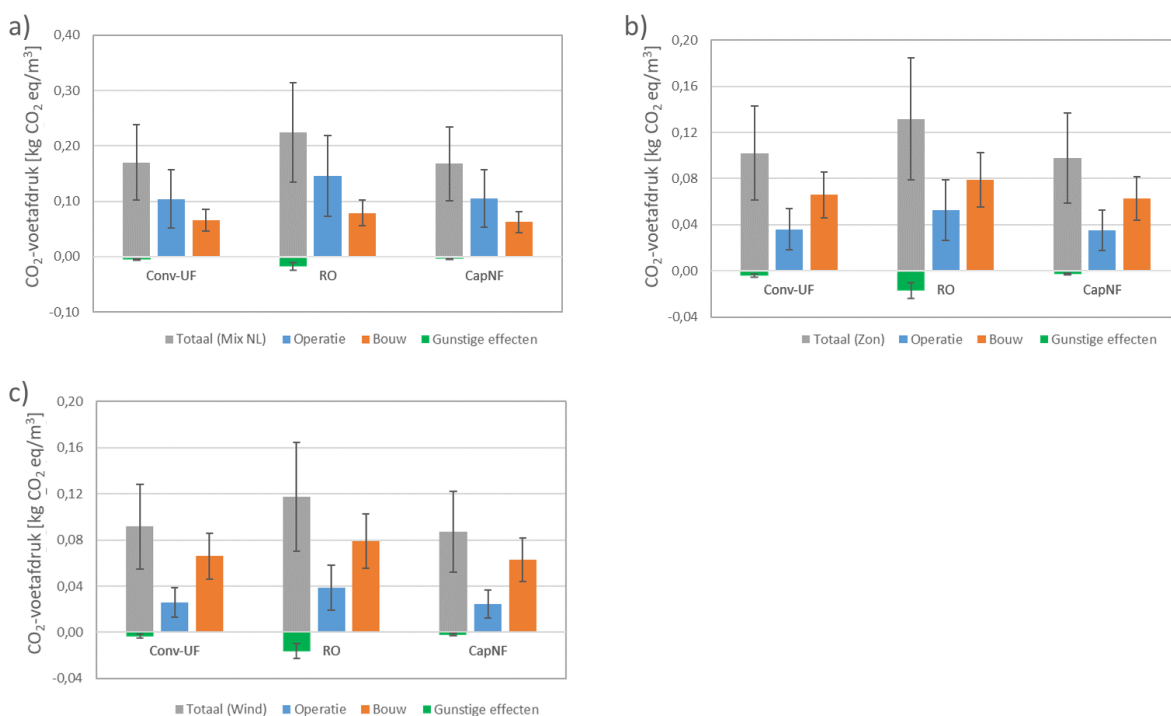
De CO₂-voetafdruk van de bouw blijft gelijk. Voor het conservatieve scenario daalt de CO₂-voetafdruk van de operationele fase en MixNL van 0,79 naar 0,24 kg CO₂ eq./m³ voor RO, en van 0,57 naar 0,18 kg CO₂ eq./m³ voor Conv-UF en CapNF. Voor zon en wind daalt deze uiteraard ook, zelfs zo ver dat de bijdrage van de bouw aan de totale CO₂-voetafdruk ongeveer de helft in de beslag neemt (afbeelding 3).

Voor het scenario met de hogere CO₂-reductie, het huidige plan van de EU, is de reductie van de impact van de operationele fase nog groter. De impact van de bouw blijft wederom gelijk, maar de CO₂-voetafdruk van de operationele fase en MixNL dalen dan van 0,79 naar 0,15 kg CO₂ eq./m³ voor RO, en van 0,57 naar 0,10 kg CO₂ eq./m³ voor Conv-UF en CapNF.

De relatieve bijdrage van de bouw stijgt daarmee naar ongeveer 37% voor MixNL, en naar respectievelijk ongeveer 63 en 70% voor zon en wind (afbeelding 4). Ondanks een grote onzekerheid in de onderliggende berekening, laat dit zien dat de bouw waarschijnlijk de grootste bijdrage levert aan de CO₂-voetafdruk van drinkwater uit een zuivering die draait op groene energie en die in de nabije toekomst wordt gebouwd.



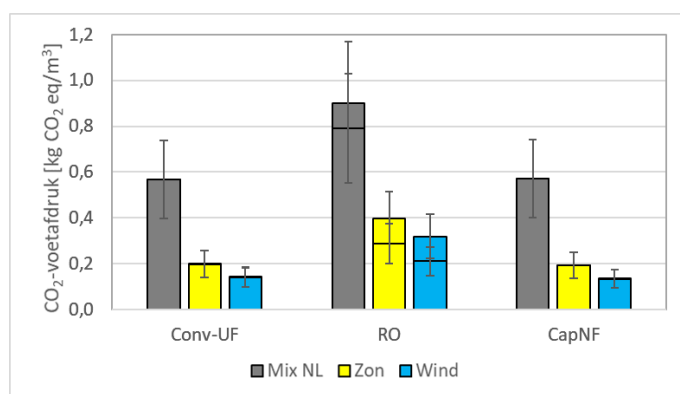
Afbeelding 3. Gemiddelde CO₂-voetafdruk van drinkwater over de levensduur van de zuivering voor drie varianten en het conservatieve toekomstscenario (80% CO₂-reductie in 2050). a) de huidige Nederlandse elektriciteitsmix (MixNL), b) zon en c) wind



Afbeelding 4. Gemiddelde CO₂-voetafdruk van drinkwater over de levensduur van de zuivering voor drie varianten en het huidige toekomstscenario (100% CO₂-reductie in 2050). a) de huidige Nederlandse elektriciteitsmix, b) zon en c) wind

Gevoeligheidsanalyses

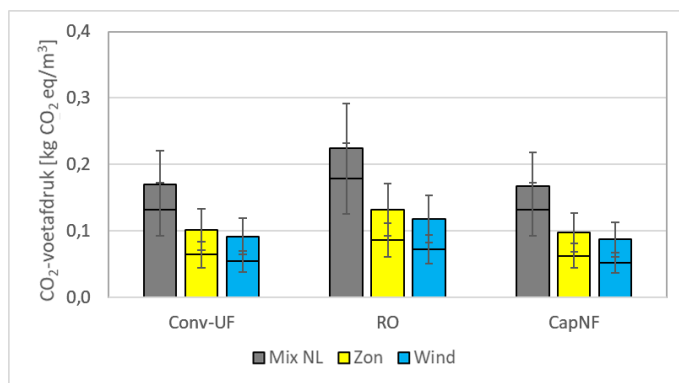
Voor de UF- en CapNF-membranen is het verschil tussen het kental voor de impact van de leverancier en de Ecoinvent-database in Simapro op de CO₂-voetafdruk (basisjaar 2020) verwaarloosbaar – respectievelijk slechts 0,002 en 0,0002 kg CO₂ eq./m³ (afbeelding 5). Voor de RO-membranen is het verschil tussen het kental van de leverancier en Ecoinvent echter groot; deze is in Ecoinvent ongeveer een factor 29 hoger. Hierdoor wordt de CO₂-voetafdruk (basisjaar 2020) van de RO-variant 0,11 kg CO₂ eq./m³ groter; respectievelijk 12, 27 en 34% voor MixNL, zon en wind. Dit komt doordat het Ecoinvent-proces voor RO-membranen uitstoot van CFC-113 registreert. Deze stof is al jaren verboden [5] en het lijkt onwaarschijnlijk dat dit een realistisch scenario is.



Afbeelding 5. Gevoeligheidsanalyse voor het effect van de emissiefactor van de membranen op de CO₂-voetafdruk van drinkwater. De toename is weergegeven als een tweede kolom bovenop de originele berekening

Voor de bouw is gebruik gemaakt van een proxy via de LCA van een zuivering. Er zijn ook andere waarden beschikbaar, hoewel deze minder specifiek zijn. CE Delft heeft een macro-LCA gepubliceerd van de Nederlandse bouw- en sloopsector. Hieruit komt een kental van 0,28 kg CO₂ eq./m³. Dit is waarschijnlijk een onderschatting, aangezien maar een beperkt aantal zaken is meegenomen in de LCA en de sloop vermoedelijk een lagere CO₂-voetafdruk heeft dan de bouw [6]. Exiobase (een input/outputdatabase) geeft een waarde voor bouw van 0,28 kg CO₂ eq./m³ [3]. De EU & DK-input/outputdatabase geeft een waarde van 0,72 kg CO₂ eq./m³ voor 'Buildings, non residential', maar hierin wordt waarschijnlijk ook de gebruiksfase meegerekend [3]. Met de lagere waarde van Exiobase is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor het huidige toekomstscenario.

De totale CO₂-voetafdruk van de varianten varieert dan voor de impact van de bouw van 0,13 tot 0,22 kg CO₂ eq./m³ (afbeelding 6) voor MixNL, en van 0,052 tot 0,13 kg CO₂ eq./m³ voor zon en wind. Het aandeel van de bouw is daarmee respectievelijk ongeveer 20, 42 en 51% voor het lagere kental uit Exiobase. Voor de waarde via de proxy was dit 37, 63 en 70%. Dit laat zien dat de bouw een belangrijk onderdeel is van de LCA van drinkwaterzuiveringen en dat deze bij gebruik van groene energie waarschijnlijk de CO₂-voetafdruk domineert.



Afbeelding 6. Gevoeligheidsanalyse voor het effect van de emissiefactor van de bouw (laag: Exiobase, hoog: originele berekening) op de CO₂-voetafdruk van drinkwater, voor MixNL, zon en wind en het huidige toekomstscenario

Conclusie

De CO₂-voetafdruk van drinkwater van drie varianten (Conv-UF, RO of CapNF) van een in 2025 nieuw te bouwen drinkwaterzuivering die naar verwachting tot 2075 in bedrijf is, is berekend voor drie bronnen van elektriciteit (MixNL, Zon en wind). Daarbij zijn twee toekomstscenario's bekeken; een conservatief scenario waarbij de CO₂-voetafdruk daalt met 80% in 2050, en het huidige plan van de EU met een daling van 100% in 2050. Algemeen gezien heeft de RO-variant de hoogste CO₂-voetafdruk, door het hoge elektriciteitsverbruik. De CO₂-voetafdrukken van de Conv-UF- en CapNF-varianten lijken vergelijkbaar.

De toekomstscenario's laten zien dat de bouw een belangrijke bijdrage levert, die tot nu toe vaak onderschat wordt. Als groene energie wordt gebruikt wordt de bijdrage van de bouw aan de CO₂-voetafdruk van drinkwater uit een in 2025 nieuw te bouwen zuivering waarschijnlijk groter dan 50%. Als een lage CO₂-voetafdruk van drinkwater gewenst is, lijkt het dus essentieel om de bouw van de drinkwaterzuivering zo duurzaam mogelijk uit te voeren.

Referenties

1. Hofs, B. et al. (2022). 'The carbon footprint of drinking water over the life span of a treatment plant (2025-2075) is probably dominated by the construction phase'. *Cleaner Environmental Systems*.
2. Zhou, J. et al. (2014). 'Life Cycle Assessment for desalination: A review on methodology feasibility and reliability'. *Water Research*, 61, 210-223. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.05.017>
3. <https://simapro.com/> geraadpleegd april 2022
4. <https://kostenstandaard.nl/de-calculator/> geraadpleegd april 2022
5. <https://en.wikipedia.org/wiki/Chlorofluorocarbon>, geraadpleegd april 2022