

INVENTARISEREN VAN TECHNIEKEN VOOR DE BEHANDELING EN VALORISATIE VAN CONCENTRAATSTROMEN EINDRAPPORT



Auteurs

An Derden, Tim Goelen & Greet Janssens

Studie uitgevoerd door
het Vlaams Kenniscentrum
voor Beste Beschikbare Technieken (VITO)
in opdracht van het Vlaams Gewest

Februari 2023

Deze uitgave kwam tot stand in het kader van het project ‘Vlaams kenniscentrum voor de Beste Beschikbare Technieken en bijhorend Energie en Milieu Informatie Systeem’ (BBT/EMIS) van het Vlaams Gewest.

BBT/EMIS wordt begeleid door een stuurgroep met vertegenwoordigers van de Vlaamse ministers van het departement Omgeving, het departement Economie, Wetenschap en Innovatie (EWI), en de agentschappen VLAIO, OVAM, VEKA, VLM, VMM en Zorg en Gezondheid.

Hoewel al het mogelijke gedaan is om de accuraatheid van de studie te waarborgen, kunnen noch de auteurs, noch VITO, noch het Vlaams Gewest aansprakelijk gesteld worden voor eventuele nadelige gevolgen bij het gebruik van deze studie. Specifieke vermeldingen van procédés, merknamen, enz. moeten steeds beschouwd worden als voorbeelden en betekenen geen beoordeling of engagement.

De gegevens uit deze studie zijn geactualiseerd tot februari 2023.

VOOR VERDERE INFORMATIE, KAN U TERECHT BIJ:

Vlaams BBT-kenniscentrum

VITO

Boeretang 200

B-2400 MOL

e-mail: bbt@vito.be

emis.vito.be/bbt

Alle rechten, waaronder het auteursrecht, op de informatie vermeld in dit document berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek NV (“VITO”), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. De informatie zoals verstrekt in dit document is vertrouwelijke informatie van VITO. Zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO mag dit document niet worden gereproduceerd of verspreid worden noch geheel of gedeeltelijk gebruikt worden voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin aangewend worden.

INLEIDING

Voor u ligt een studie gepubliceerd door het BBT-kenniscentrum. Deze studie inventariseert en evalueert milieuvriendelijke technieken voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen.

WAT ZIJN BBT-STUDIES?

De BBT-studies zijn rapporten die per sector de BBT beschrijven. Deze sectorrapporten worden digitaal (<http://www.emis.vito.be>) verspreid, zowel naar de overheid als naar de bedrijven.

WAT ZIJN BBT?

Milieuvriendelijke technieken hebben als doel de milieu-impact van bedrijven te beperken. Het kunnen technieken zijn om afval te hergebruiken of te recyclen, bodem en grondwater te saneren, of afgassen en afvalwater te zuiveren. Vaker nog zijn het preventieve maatregelen die de emissie van vervuilende stoffen voorkomen en het gebruik van energie, grondstoffen en hulpstoffen verminderen. Wanneer zulke technieken, in vergelijking met alle andere, gelijkaardige technieken, ecologisch gezien het best scoren én ze bovendien betaalbaar zijn, dan wordt gesproken over Beste Beschikbare Technieken (BBT).

WAT IS HET BBT-KENNISCENTRUM?

In opdracht van de Vlaamse Regering heeft de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) in 1995 een kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken (BBT) opgericht. Het BBT-kenniscentrum inventariseert informatie over milieuvriendelijke technieken, evalueert per bedrijfstak de Beste Beschikbare Technieken (BBT) en formuleert BBT-aanbevelingen naar de Vlaamse overheid en bedrijven.

Het BBT-kenniscentrum wordt, samen met het zusterproject EMIS (<http://www.emis.vito.be>) gefinancierd door het Vlaamse Gewest. Het kenniscentrum wordt begeleid door een stuurgroep die wordt voorgezeten door het Departement Omgeving, afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten (GOP). De andere betrokken entiteiten in het beleidsdomein (diverse afdelingen van het Departement Omgeving en de Vlaamse Milieumaatschappij, OVAM, VEKA, VLM) zetelen eveneens in de stuurgroep.

WAAROM ZIJN BBT-STUDIES NUTTIG?

De vergunningsvoorwaarden die aan de bedrijven worden opgelegd en de ecologiepremie die in Vlaanderen van kracht is, zijn in belangrijke mate gebaseerd op de BBT. Zo geven de sectorale voorwaarden uit VLAREM II vaak de mate van milieubescherming weer die met de BBT haalbaar is. Het bepalen van BBT is dus niet alleen nuttig voor de bedrijven, maar ook als referentie voor de overheid in het kader van het vergunningenbeleid. In bepaalde gevallen verleent de Vlaamse overheid ook subsidies aan de bedrijven als zij investeren in BBT.

Het BBT-kenniscentrum werkt BBT-studies uit voor een bedrijfstak of voor een groep van gelijkaardige activiteiten. Deze studies beschrijven de BBT en geven bovendien de nodige achtergrondinformatie. Die achtergrondinformatie helpt de vergunningverlenende overheid om de dagelijkse bedrijfspraktijk beter aan te voelen. Bovendien toont ze de bedrijven de wetenschappelijke basis voor de milieuvorwaarden in hun vergunning.

De BBT-studies formuleren ook aanbevelingen om de vergunningsvoorwaarden en de regels inzake ecologiepremie aan te passen. De ervaring leert dat de Vlaamse overheid de aanbevelingen vaak ook werkelijk gebruikt voor nieuwe milieuregelgeving. In afwachting hiervan worden de aanbevelingen echter als niet-bindend beschouwd.

Deze sectoroverschrijdende studie ambieert om Vlaamse beleidsmakers en betrokken sectoren een geactualiseerd kader te geven voor de beoordeling van vergunnings-, investerings- en onderzoeks dossiers. BBT zijn een belangrijk referentiepunt bij het vaststellen van vergunningsvoorwaarden. Technieken die de status van BBT nog niet bereikt hebben maar beloftevol zijn (“technieken in opkomst” of “emerging techniques”) kunnen de basis vormen voor een stimulerend overheidsbeleid (bv. subsidies en flankerend beleid). Verder is evolutie in deze technieken een mogelijke reden om een BBT-studie (op sectorniveau) in de toekomst te herzien.

HOE KWAM DEZE STUDIE TOT STAND?

Deze sectoroverschrijdende studie is het resultaat van een intensieve zoektocht in de literatuur, samenwerking met experts in de sector, bevestigingen van techniekleveranciers, studiebureaus, drinkwatermaatschappijen en onderzoeksinstituten (via vragenlijst en (vervolg)interviews), uitgebreide contacten met bedrijfs- en milieuverantwoordelijken en ambtenaren enzovoort. De beschreven milieuvriendelijke technieken zijn een momentopname en bovendien niet noodzakelijk volledig: niet alle technieken die vandaag en in de toekomst mogelijk zijn, zijn in de studie opgenomen.

Voor de wetenschappelijke begeleiding van de studie werd een begeleidingscomité samengesteld met vertegenwoordigers van industrie en overheid. Dit comité kwam 3 keer samen om de studie inhoudelijk te sturen (op 19/11/2021, 24/06/2022, 21/11/2022). De namen van de leden van dit comité en van de externe deskundigen die aan deze studie hebben meegewerkt, zijn opgenomen in bijlage 1. Het BBT-kenniscentrum heeft, voor zover mogelijk, rekening gehouden met de opmerkingen van de leden van het begeleidingscomité. Dit rapport is echter geen compromistekst. Het weerspiegelt de technieken die het BBT-kenniscentrum op dit moment als actueel beschouwt en de aanbevelingen die daaraan beantwoorden.

LEESWIJZER

In **Hoofdstuk 1** wordt het begrip Beste Beschikbare Technieken (BBT) en de invulling ervan in Vlaanderen toegelicht en wordt vervolgens het algemene kader van de voorliggende studie geschetst.

Hoofdstuk 2 beschrijft de oorsprong en problematiek van de concentraatstromen. Ook worden de belangrijkste milieujuridische aspecten in dit kader geschetst.

In **Hoofdstuk 3** wordt een inventaris gemaakt van waterzuiveringstechnieken die ingezet kunnen worden voor het behandelen en valoriseren van concentraatstromen. Ook de algemene milieu-impact van deze technieken wordt beschreven.

Hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van de technieken, specifiek inzetbaar voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen. Voor courant gebruikte technieken wordt verwezen naar reeds bestaande technische fiches. Ook wordt een inschatting gemaakt van de performantie van de technieken om specifieke componenten (o.a. recalcitrante CZV, zouten, metalen en nutriënten) te verwijderen of verder op te concentreren in het kader van valorisatie (technische toepasbaarheid). Dit hoofdstuk bevat ook een beschrijving van de milieu-impact en financiële aspecten.

In **Hoofdstuk 5** worden deze milieuvriendelijke technieken geëvalueerd op basis van de BBT-criteria. Niet alleen de technische haalbaarheid, maar ook de milieuvoordelen en de economische haalbaarheid worden daarbij in rekening gebracht.

Hoofdstuk 6 geeft aanbevelingen op basis van de techniekevaluaties. Dit omvat aanbevelingen in het kader van de subsidieregelgeving (ecologiepremie) en aanbevelingen voor verder onderzoek.

SAMENVATTING

Het BBT-kenniscentrum, opgericht in opdracht van de Vlaamse Regering bij VITO, heeft tot taak het inventariseren, verwerken en verspreiden van informatie rond milieuvriendelijke technieken. Tevens moet het kenniscentrum de Vlaamse overheid adviseren bij het concreet maken van het begrip Beste Beschikbare Technieken (BBT).

Deze studie ambieert om Vlaamse beleidsmakers en betrokken sectoren een overzicht te bieden van de technieken om concentraatstromen te behandelen en te valoriseren. Immers, een goed management inzake behandeling en valorisatie van concentraatstromen is cruciaal voor het succesvol toepassen van waterzuiveringstechnieken bij verregaand waterhergebruik.

De analyses in deze studie gebeurden op basis van onderzoeksresultaten uit relevante literatuur en onderzoeksprojecten, aangevuld met bevestigingen en interviews met experts. De studie beoogt geen pasklaar antwoord op elk concentraatvraagstuk maar kan beschouwd worden als een voorbereidende stap voor een eventuele latere integratie in een horizontale studie rond waterbesparing en concentraatmanagement alsook voor een update van BBT-studies voor specifieke sectoren. De opmaak van deze studie gebeurde in nauw overleg met de vertegenwoordigers van de sector en specialisten uit de administraties.

In de voorliggende sectoroverschrijdende studie worden de technieken die momenteel in Vlaanderen (of elders, bv. NL, Azië, US, Afrika) worden toegepast of potentieel hebben voor het behandelen en valoriseren van concentraatstromen geïnventariseerd. De geïnventariseerde technieken zijn in deze studie onderverdeeld in 5 categorieën: membraan gebaseerde technieken, thermisch gebaseerde technieken, geavanceerde oxidatietechnieken, biologische technieken en diverse technieken. De werking en voorbeelden van innovaties voor elk van deze categorieën van technieken zijn als volgt:

- Bij membraan gebaseerde technieken worden stoffen, al dan niet selectief, uit een waterige stroom verwijderd met toepassing van membranen. Courant toegepaste membraan gebaseerde technieken zijn ultrafiltratie, nanofiltratie en omgekeerde osmose. Innovaties in het kader van concentraatstromen bestaan bv. uit variaties op (courant toegepaste) membraan gebaseerde technieken, al dan niet in combinatie met andere (membraan gebaseerde) technieken. In veel gevallen beoogt dit een hogere recovery (zouten, metalen, water) waarbij concentraatstromen verder opconcentreren. Variaties zijn bv.: aangepaste membranen, combinatie van verschillende types membranen, aangepaste pH, druk en/of temperatuur, recirculeren in de tijd van (concentraat)stromen, aanpassing van de stroomrichting of gedreven door elektrische stroom.
- Bij thermisch gebaseerde technieken is temperatuur de drijvende kracht voor de scheidingsprocessen. Enerzijds kan het aanwezige water (deels) worden verdampt via verhitting. Anderzijds kan concentratie van water of bepaalde stoffen bekomen worden via kristalvorming. Innovaties in het kader van concentraatstromen bestaan er bv. in dat gebruik gemaakt wordt van zonne-, wind- of recuperatie-energie in de plaats van fossiele brandstoffen, of het combineren van technieken zoals verdamping/indamping en kristallisatie.
- Door het oxideren van stoffen in afvalwater worden deze omgezet naar andere parameters die beter afgebroken kunnen worden. Bij dit type van technieken is zuurstof de drijvende kracht voor de behandeling van waterige stromen. Geavanceerde oxidatietechnieken zijn variaties op de klassieke chemische oxidatie, waarbij bv. gewerkt wordt bij hoge druk of bij lagere of subkritische procesomstandigheden, al dan niet met behulp van chemicaliën of katalysatoren, trillingen of in combinatie met technieken zoals biologische of UV-behandeling.
- Biologische processen worden courant ingezet voor het zuiveren van afvalwater. In een klassieke afvalwaterzuiveringstrein zijn deze biologische processen de hoofdzuiveringsstap. Geavanceerde biologische processen kunnen ook ingezet worden als nabehandeling en/of polishing stap, voor de verwijdering van specifieke componenten (bv. zouten en metalen). Innovaties in het kader van

concentraatstromen bestaan er bv. in dat gebruik gemaakt wordt van zouttolerante bacteriën, al dan niet gefixeerd op plantenwortels of het toevoegen van actieve kool of chemicaliën thv de biologische zuivering.

- Voor de selectieve verwijdering van componenten uit water zijn er ook andere technieken beschikbaar, zoals bv. adsorptie, coagulatie/precipitatie, electrocoagulatie en extractie en fosfaat leaching. Deze technieken kunnen ingebouwd worden in een afvalwaterzuiveringstrein met het oog op het afscheiden van specifieke componenten, zoals (an)organische stoffen, recalcitrante CZV, P-houdende componenten of metalen.

Ook valorisatieopties van herwonnen stoffen (zouten, metalen, nutriënten, chemicaliën) en water worden beschreven in deze studie.

Vervolgens worden deze technieken geëvalueerd met betrekking tot de fase van ontwikkeling, de doelmatigheid en financiële aspecten. Dit laat toe om na te gaan of de technieken voldoen aan de BBT-criteria of als techniek in opkomst beschouwd kunnen worden. De randvoorwaarden inzake de toepassing van deze technieken zijn in veel gevallen bepalend voor de toepasbaarheid ervan in de praktijk alsook hetgeen men voor ogen heeft, bv. het terugwinnen van zouten, metalen, nutriënten en/of chemicaliën, naast het herwinnen van water.

Tenslotte worden er in deze studie aanbevelingen geformuleerd met betrekking tot de subsidieregelgeving (ecologiepremie) en voor verder onderzoek en technologische ontwikkelingen.

ABSTRACT

The Centre for Best Available Techniques (BAT) is founded by the Flemish Government and is hosted by VITO. The BAT knowledge centre collects, evaluates and distributes information on environmentally friendly techniques. Moreover, it advises the Flemish authorities on how to translate this information into its environmental policy.

The aim of the study is to provide Flemish policymakers and involved sectors with an overview of the techniques for treating and valorizing concentrate streams. After all, good management of the treatment and valorisation of concentrate streams is crucial for the successful application of water purification techniques for extensive water reuse.

The analyzes in this study were based on research results from relevant literature and research projects, supplemented by surveys and interviews with experts. The study does not aim to provide a ready-made answer to every concentrate issue but can be regarded as a preparatory step for a possible later integration in a horizontal study on water conservation and concentrate management as well as for an update of BAT studies for specific sectors. The formal consultation was organized by means of an advisory committee with representatives of the sector and Flemish Government.

In this cross-sectoral study, the techniques that are currently being used in Flanders (or elsewhere) or have potential for the treatment and valorisation of concentrate streams are inventoried. These techniques are divided into 5 categories in this study: membrane-based techniques, thermally based techniques, advanced oxidation techniques, biological techniques and various techniques. In addition, the study also contains valorisation options for recovered substances (salts, metals, nutrients, chemicals) and water.

Subsequently, these techniques are evaluated regarding the stage of development, effectiveness and financial aspects. This makes it possible to check whether the techniques meet the BAT criteria or can be regarded as emerging techniques. The preconditions regarding the application of these techniques are in many cases decisive for their applicability in practice as well as what is intended, e.g. the recovery of salts, metals, nutrients and/or chemicals, in addition to the recovery of water.

Finally, recommendations are formulated regarding subsidy regulations and for further research and technological developments.

INHOUD

HOOFDSTUK 1: OVER DEZE STUDIE.....	2
1.1 Beste Beschikbare Technieken in Vlaanderen	2
1.1.1 Definitie	2
1.1.2 Beste Beschikbare Technieken als begrip in het Vlaamse milieubeleid	2
1.2 Studie voor het inventariseren van milieuvriendelijke technieken voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen	3
1.2.1 Doelstellingen van studie	3
1.2.2 Inhoud van de studie	5
HOOFDSTUK 2: OORSPRONG EN PROBLEMATIEK VAN CONCENTRAATSTROMEN & MILIEUJURIDISCHE SITUERING.....	7
2.1 Oorsprong van concentraatstromen	7
2.2 Problematiek van concentraatstromen	8
2.3 Milieujuridische situering	10
2.3.1 Milieuvoorwaarden	10
2.3.2 Overige Vlaamse regelgeving	15
2.3.3 Europese wetgeving	16
HOOFDSTUK 3: INVENTARIS VAN TECHNIEKEN EN MILIEUASPECTEN	18
3.1 Inleiding.....	18
3.2 Inventarisatie milieuvriendelijke technieken.....	18
3.3 Globale milieu-impact.....	20
HOOFDSTUK 4: BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN	22
4.1 Technieken voor behandeling en valorisatie van concentraatstromen	22
4.1.1 Membraan gebaseerde technieken.....	23
4.1.2 Thermisch gebaseerde technieken	35
4.1.3 Geavanceerde oxidatietechnieken	40
4.1.4 Biologische Technieken.....	45
4.1.5 Diverse Technieken	49
4.2 Valorisatieopties van herwonnen stoffen en water	54
4.3 Lozen, injectie of afvoer van behandeld afvalwater, gelinkt aan concentraatstromen	56
HOOFDSTUK 5: EVALUATIE VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN EN TECHNIEKEN IN OPKOMST	60
5.1 Evaluatie van de beschikbare milieuvriendelijke technieken	60
5.2 Conclusies	75
5.2.1 Terugwinning van specifieke stoffen en herwinning van water	76
5.2.2 Behandelen en afvoeren van (specifieke) afvalwater(fracties).....	78
5.2.3 Besluit	79
HOOFDSTUK 6: AANBEVELINGEN OP BASIS VAN DE GEËVALUEERDE TECHNIEKEN.....	81
6.1 Aanbevelingen voor verder onderzoek	81

6.2	Aanbevelingen voor ecologiepremie	82
6.3	Aandachtspunten inzake omkadering en begeleiding.....	85
LITERATUURLIJST		86
BEGRIPPENLIJST		96
BIJLAGE 1: MEDEWERKERS VAN DE BBT-STUDIE		102
BIJLAGE 2: VRAGENLIJST EN TERUGKOPPELING INTERVIEWS		104
BIJLAGE 3: TECHNISCHE FICHES/CASES		113
BIJLAGE 4: VOORBEELDEN VAN TECHNIEKTREINEN		132
BIJLAGE 5: FINALE OPMERKINGEN		142

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Definitie / omschrijving van belangrijkste termen en technieken gebruikt in deze studie ...	7
Tabel 2: Definities uit VLAREM II	10
Tabel 3: Algemene voorwaarden voor het lozen in de gewone oppervlaktewateren van bedrijfsafvalwater dat geen gevaarlijke stoffen bevat, zoals vermeld in VLAREM II, Artikel 4.2.2.1.1	12
Tabel 6: Beschrijving van de membraangebaseerde technieken.....	26
Tabel 7: Beschrijving van de thermisch gebaseerde technieken	37
Tabel 8: Beschrijving van de geavanceerde oxidatietechnieken.....	42
Tabel 9: Samenvatting biologische technieken	47
Tabel 10: Beschrijving van de diverse technieken	50
Tabel 11: Toepassing van herwonnen nutriënten uit concentraatstromen	54
Tabel 12: Voorbeelden van toepassingen van herwonnen chemicaliën uit concentraatstromen	55
Tabel 13: Voorbeelden van toepassingen van herwonnen water uit concentraatstromen	55
Tabel 14: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en technieken in opkomst, specifiek in het kader van het behandelen en valoriseren van concentraatstromen.....	65

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Evaluatie van BBT en technieken in opkomst op basis van scores voor verschillende criteria	63
Figuur 2: Schematische weergave van osmotische processen	114
Figuur 3: Traditionele OO	115
Figuur 4: CCRO – stap 1 – gesloten circuit – duur 6-60 min	115
Figuur 5: CCRO – stap 1 – flush fase concentraatstroom – duur: 1,5 min – 2% van de totale hoeveelheid	115
Figuur 6: Schematische weergave van Triple S/TS module met verschillende membranen in 1 module	116
Figuur 7: Schematische weergave van mechanische damprecompressie (WASS-indampen)	122
Figuur 8: Schematische weergave van vacuumverdamping (WASS-indampen)	123
Figuur 9: Schematische weergave van vacuumverdamping WASS-Pelletkristallisatie/Korrelreactor	126
Figuur 10: Wet Air Oxidation - CWAO	129
Figuur 11: Overzicht van behandelingsstreinen voor concentraatstromen (Verjans et al., 2020)....	132
Figuur 12: Behandeling van regeneraat met NF/MD enerzijds en behandeling van het geconcentreerde gedeelte met ED anderzijds (Vanoppen M. et al, 2016).	133
Figuur 13: Mogelijke behandelingsroutes voor het regeneraat van ionenwisselaars voor demi-water productie (Vanoppen M. et al, 2016)	134
Figuur 14: Behandeling van het pekelbad (voedingsindustrie) met ED voor het terugwinnen van een geconcentreerde zoutstroom of met ED of UF-NF voor recyclage van het zout (Vanoppen M. et al, 2016)	135
Figuur 15: Behandeling van IEX regeneraat (drinkwaterproductie) met combinatie van IEX/NF/ED enerzijds en IEX/ED anderzijds met het oog op de recyclage van chloriden en de productie van een herbruikbare stroom (Vanoppen M. et al, 2016)	135
Figuur 16: Behandeling van het IEX regeneraat (raffinage van suikerstroom) met ED en EDBM (Vanoppen M. et al, 2016)	136
Figuur 17: Behandeling van gezuiverd afvalwater met IEX/DD in combinatie met RO (met recirculatie van het RO concentraat) enerzijds en combinatie van RO/korrelbed/MD en kristallisatie (en behandeling van het RO concentraat) anderzijds (Vanoppen M. et al, 2016)	136
Figuur 18: Proceswaterbehandeling (verwijdering van multivalente kation en verhogen RO wateropbrengst) door combinatie van CDI-RO enerzijds IEX-RO anderzijds Vanoppen M. et al, 2016)	137
Figuur 19: Behandeling van bronbemalingswater (als voedingswater voor koeltorens) met pelletontharder enerzijds en CDI anderzijds (Vanoppen M. et al, 2016)	137
Figuur 20: Behandeling van de HNO ₃ -stroom met en zonder sulfaat en fosfaat met NF enerzijds en ED anderzijds (Vanoppen M. et al, 2016)	138
Figuur 21: Behandeling van zoutstromen met beperkte metaalverontreiniging met combinatie van NF, MD en kristallisatie enerzijds en ED, indamping en kristallisatie (anderzijds) (Vanoppen M. et al, 2016)	139
Figuur 22: Behandeling van digestaat (met vorming van apatiet) door combinatie van EDM, stripping en kristallisatie (Vanoppen M. et al, 2016)	139
Figuur 23: Behandeling van bedrijfsafvalwater (tankcleaning) door combinatie van UF, FO en MD (Vanoppen M. et al, 2016)	140
Figuur 24: Combinatie van CDI en OO voor de productie van ultra puur water enerzijds en het maximaliseren van de waterterugwinning bij de behandeling van pekel anderzijds (Lenntech-CDI)	140
Figuur 25: Toepassing van DD in combinatie met ED en Transmembrane Chemisorption (TMCS) unit voor de verwijdering van TAN (Total Ammonia Nitrogen) uit UASB-effluent (laboschaal) (Rodríguez M. et al., 2021	140

Figuur 26: Afvalwaterzuiveringstrein van een kunststoffenrecyclagebedrijf met ZLD (omloop 15 m ³ /u water)	141
---	-----

LIJST VAN AFKORTINGEN

AIEX	Anion Exchange
AGMD	Air Gap Membrane Distillation
AOP	Advanced Oxidation Process / Geavanceerde oxidatietechnieken
BBT	Beste Beschikbare Technieken
BC	Brine Concentrator
BECC	Brine Evaporative Cooler / Concentrator
CCRO	Closed Circuit Reverse Osmosis
CDI	Capacitive deionisation
CIEX	Cation Exchange
CFRO	Counter Flow Reverse Osmosis
CWAO	Catalytic Wet Air Oxidation / Katalytische natte lucht oxidatie
DCMD	Direct Contact Membrane Distillation
DD	Donnan Dialysis
EAWAG	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz – Zwitserse Federaal Instituut voor Watervoorziening, Afvalwaterbehandeling en Waterbescherming
ED	Electrodialysis
EDBM	Bipolar Membrane Electrodialysis
EDI	Electrodeionisation
EDM	Electrodialysis methathesis
EDR	Electrodialysis Reversal (zie ook RED)
EFC	Eutectic Freeze Crystallization
EMIS	Energie en Milieu Informatiesysteem voor het Vlaamse Gewest
FFRO	Flow Reversal Reverse Osmosis
FO	Forward Osmosis
GPBV	Geïntegreerde Preventie en Bestrijding van Verontreiniging
HART	Highway Addressable Remote Transducer (protocol)
HiPRO	High Recovery inter-stage Precipitation Reverse Osmosis
HPRO	High Pressure Reverse Osmosis
HRRO	High Recovery Reverse Osmosis
IEX	Ion Exchange
IPC	Integrated Permeate Channel
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
KWR	Water Research Institute - Nederlandse kennisonderneming voor de watersector
LTL	Limitatieve Technologieënlijst – Limitatieve Lijst van Technologieën
MBR	Membraanbioreactor
MCDI	Membraan Capacitieve Deionisation
MCr	Membrane Crystallization
MD	Membrane Distillation
MED	Multi-effect Distillation
MF	Microfiltratie
MLD	Minimal Liquid Discharge
MVC	Mechanical Vapor Compression
MSF	Multistage Flash Distillation
NF	Nanofiltratie
OARO	Osmotically Assisted Reverse Osmosis
ODC	Oxygen-depolarised cathodes
OO	Omgekeerde Osmose
PAO	Pressure Assisted Osmosis

PRO	Pressure Retarded Osmosis
Q	Vragenlijst
RED	Reverse Electrodialysis (zie ook EDR)
RO	Reverse Osmosis
SCWO	Super Critical Water Oxidation / Superkritische wateroxidatie
SGMD	Sweeping Gas Membrane Distillation
SWRO	Sea water reverse osmosis
TF	Technische Fiche
TMCS	TransMembrane ChemiSorption
TRL	Technology Readiness level
TVC	Thermal vapour compression
UF	Ultrafiltratie
UHPRO	Ultra High Pressure RO
vgtg	van geval tot geval
VEKA	Vlaams Energie- en Klimaatagentschap
VITO	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek
VLAIO	Vlaams Agentschap Innoveren & Ondernemen
VLAREM II	Besluit van de Vlaamse regering houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne
VMD	Vacuum Membrane Distillation
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij
WAAS	Water as a service
WAIV	Wind-Aided Intensified Evaporation
WAO	Wet Air Oxidation / Natte lucht oxidatie
ZLD	Zero Liquid Discharge

LIJST VAN SYMBOLEN

$\mu\text{S}/\text{cm}$ Geleidbaarheid van water, bepaald door de opgeloste zouten die aanwezig zijn in het water

HOOFDSTUK 1: OVER DEZE STUDIE



HOOFDSTUK 1: OVER DEZE STUDIE

In dit hoofdstuk wordt eerst het begrip Beste Beschikbare Technieken (BBT) toegelicht. Vervolgens wordt het algemene kader van deze studie geschetst. Onder meer de doelstellingen, de inhoud, de begeleiding en de werkwijze van de studie worden verduidelijkt.

1.1 BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN IN VLAANDEREN

1.1.1 DEFINITIE

Het begrip “Beste Beschikbare Technieken”, afgekort BBT, wordt in VLAREM II , artikel 1.1.2, gedefinieerd als:

“het meest doeltreffende en geavanceerde ontwikkelingsstadium van de activiteiten en exploitatiemethoden, waarbij de praktische bruikbaarheid van speciale technieken om in beginsel het uitgangspunt voor de emissiegrenswaarden en andere vergunningsvoorwaarden te vormen is aangetoond, met het doel emissies en effecten op het milieu in zijn geheel te voorkomen of, wanneer dat niet mogelijk blijkt algemeen te beperken;

“technieken”: zowel de toegepaste technieken als de wijze waarop de installatie wordt ontworpen, gebouwd, onderhouden, geëxploiteerd en ontmanteld;

“beschikbare”: op zodanige schaal ontwikkeld dat de betrokken technieken, kosten en baten in aanmerking genomen, economisch en technisch haalbaar in de industriële context kunnen worden toegepast, onafhankelijk van de vraag of die technieken al dan niet op het grondgebied van het Vlaamse Gewest worden toegepast of geproduceerd, mits ze voor de exploitant op redelijke voorwaarden toegankelijk zijn;

“beste: het meest doeltreffend voor het bereiken van een hoog algemeen niveau van bescherming van het milieu in zijn geheel.”

Deze definitie vormt het vertrekpunt om het begrip BBT concreet in te vullen voor het behandelen en valoriseren van concentraatstromen in Vlaanderen. Naast de BBT (altijd of van geval tot geval) worden ook de technieken in opkomst in kaart gebracht.

1.1.2 BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN ALS BEGRIP IN HET VLAAMSE MILIEUBELEID

ACHTERGROND BIJ BEGRIP

Bijna elke menselijke activiteit (b.v. woningbouw, industriële activiteit, recreatie, landbouw) beïnvloedt op de één of andere manier het leefmilieu. Vaak is het niet mogelijk in te schatten hoe schadelijk die beïnvloeding is. Vanuit deze onzekerheid wordt geoordeeld dat iedere activiteit met maximale zorg moet uitgevoerd worden om het leefmilieu zo weinig mogelijk te belasten. Dit stemt overeen met het zogenaamde voorzorgsbeginsel.

In haar milieubeleid gericht op het bedrijfsleven heeft de Vlaamse overheid dit voorzorgsbeginsel vertaald naar de vraag om de “Beste Beschikbare Technieken” toe te passen. Deze vraag wordt als zodanig opgenomen in de algemene voorschriften van VLAREM II (art. 4.1.2.1). Het toepassen van de BBT betekent in de eerste plaats dat iedere exploitant al wat technisch en economisch mogelijk is, moet doen om milieuschade te vermijden. Daarnaast wordt ook de naleving van de vergunningsvoorwaarden geacht overeen te stemmen met de verplichting om de BBT toe te passen.

Binnen het Vlaamse milieubeleid wordt het begrip BBT in hoofdzaak gehanteerd als basis voor het vastleggen van vergunningsvoorwaarden. Dergelijke voorwaarden die aan inrichtingen in Vlaanderen worden opgelegd steunen op twee pijlers:

de toepassing van de BBT;
de resterende milieu-effecten mogen geen afbreuk doen aan de vooropgestelde milieu-kwaliteitsdoelstellingen.

Ook de Europese Richtlijn Industriële Emissies (RIE, 2010/75/EU) en haar voorganger, de “IPPC” Richtlijn (2008/1/EC), schrijven de lidstaten voor op deze twee pijlers te steunen bij het vastleggen van vergunningsvoorwaarden.

CONCRETISERING VAN BEGRIJP

Om concreet inhoud te kunnen geven aan het begrip BBT, dient de algemene definitie van VLAREM II nader verduidelijkt te worden. Het BBT-kenniscentrum hanteert onderstaande invulling van de drie elementen.

“Beste” betekent “beste voor het milieu als geheel”, waarbij het effect van de beschouwde techniek op de verschillende milieucompartimenten (lucht, water, bodem, afval, ...) wordt afgewogen;

“Beschikbare” duidt op het feit dat het hier gaat over iets dat op de markt verkrijgbaar en redelijk in kostprijs is. Het zijn dus technieken die niet meer in een experimenteel stadium zijn, maar effectief hun waarde in de bedrijfspraktijk bewezen hebben. De kostprijs wordt redelijk geacht indien deze haalbaar is voor een ‘gemiddeld’ bedrijf uit de beschouwde sector én niet buiten verhouding is tegenover het behaalde milieuresultaat;

“Technieken” zijn technologieën én organisatorische maatregelen. Ze hebben zowel te maken met procesaanpassingen, het gebruik van minder vervuilende grondstoffen, end-of-pipe maatregelen, als met goede bedrijfspraktijken.

Het is hierbij duidelijk dat wat voor het ene bedrijf een BBT is dat niet voor een ander hoeft te zijn. Toch heeft de ervaring in Vlaanderen en in andere regio’s/landen aangetoond dat het mogelijk is algemene BBT-lijnen te trekken voor groepen van bedrijven die dezelfde processen gebruiken en/of gelijkaardige producten maken. Dergelijke sectorale of bedrijfstak-BBT maken het voor de overheid mogelijk sectorale milieuvoorwaarden vast te leggen. Hierbij zal de overheid doorgaans niet de BBT zelf opleggen, maar wel de milieuprestaties die met BBT haalbaar zijn als norm beschouwen.

Het concretiseren van BBT voor sectoren vormt tevens een nuttig referentiepunt bij het toekennen van steun bij milieuvriendelijke investeringen door de Vlaamse overheid. De regeling ecologiepremie+ bepaalt dat bedrijven die milieu-inspanningen leveren die verdergaan dan de wettelijke vereisten, kunnen genieten van een investeringssubsidie.

1.2 STUDIE VOOR HET INVENTARISEREN VAN MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN VOOR DE BEHANDELING EN VALORISATIE VAN CONCENTRAATSTROMEN

1.1.1 DOELSTELLINGEN VAN STUDIE

De studie heeft als doel het evalueren/voorstellen van een algemene aanpak inzake het behandelen/valoriseren van concentraatstromen en het formuleren van aanbevelingen inzake verdere onderzoeksnoden en subsidies. Een **screening van sectorale VLAREM-normen** en het **voorstellen van aangepaste VLAREM-normen** alsook een **methodiek voor normafwijkingen in het kader van verregaande waterbesparingen** valt **buiten de scope** van deze studie.

De focus van deze sectoroverschrijdende studie ligt op (1) het ontstaan van concentraatstromen, (2) de inventarisatie van technieken die momenteel in Vlaanderen (of elders, bv. NL, Azië, US, Afrika) worden toegepast of potentieel hebben voor de behandeling/valorisatie van concentraatstromen en (3) de evaluatie van de technieken met betrekking tot de fase van ontwikkeling, de doelmatigheid en financiële aspecten. Tot slot zullen de technieken onderworpen worden aan een analyse voor wat betreft de technische haalbaarheid, milieu-impact en economische haalbaarheid.

De studie beoogt geen pasklaar antwoord op elk concentraatvraagstuk maar tracht wel om een goed beeld te schetsen van de technieken voor concentraatbehandeling anno 2022 in Vlaanderen.

Deze studie geeft mee invulling aan actie 2.2 van de Blue Deal ‘circulair watergebruik als regel, vooral binnen prioritaire sectoren’. De prioritaire of meest waterintensieve industriële sectoren die door VLAKWA in kaart gebracht zijn, zijn o.a. voeding, landbouw, chemie, energie/elektriciteit, metaal en cokes (VLAKWA, 2019)¹.

Deze studie richt zich zowel op de GPBV als niet-GPBV activiteiten en ambieert om Vlaamse beleidsmakers en betrokken sectoren een overzicht te bieden van de technieken om concentraatstromen te behandelen (zodat ze kunnen geloosd worden) of om ze intern of extern te valoriseren. Immers, een goed management inzake behandeling en valorisatie van concentraatstromen is cruciaal voor het succesvol toepassen van tertiaire of verregaande waterzuiveringstechnieken (zoals membraanfiltratie, naar analogie met drinkwaterzuivering) bij verregaand waterhergebruik. Uitgangspunt hierbij zijn de onderzoeksresultaten uit relevante literatuur en onderzoeksprojecten, aangevuld met bevestigingen en interviews.

BBT zijn een belangrijk referentiepunt bij het vaststellen van vergunningsvoorwaarden. Technieken die de status van BBT (altijd of van geval tot geval) nog niet bereikt hebben maar beloftevol zijn, met name technieken in opkomst² kunnen de basis vormen voor een stimulerend overheidsbeleid (bv. subsidies en flankerend beleid)³.

De onderzoeksvraag van deze studie luidt als volgt: “Hoe met behulp van technieken die voldaan aan de BBT-criteria (altijd of van geval tot geval) of technieken in opkomst in Vlaanderen omgaan met de concentraatstromen met het oog op behandelen, intern hergebruiken, afvoeren of lozen. Deze studie kan beschouwd worden als een voorbereidende stap voor een eventuele latere, horizontale studie rond waterbesparing en concentraatmanagement alsook een update van BBT-studies voor specifieke sectoren.

¹ VLAKWA ism VITO, Studie van het socio-economisch belang van water in Vlaanderen, 2019 (<https://vlakwa.be/nl/socio-economisch-belang-van-water-vlaanderen>; https://vito.be/sites/vito.be/files/compressed-downloads/infographic_vlakwa_socio_econ_studie_water.pdf)

² Een “techniek in opkomst” is volgens de Europese Richtlijn Industriële Emissies (2010/75/EU) een nieuwe techniek die, als zij commercieel wordt ontwikkeld, hetzij een hoger algemeen beschermingsniveau voor het milieu hetzij ten minste hetzelfde beschermingsniveau voor het milieu en grotere kostenbesparingen kan opleveren dan de bestaande BBT. Het uitvoeringsbesluit van de richtlijn (2012/119/EU) verduidelijkt dat het hier enkel over technieken gaat die reeds voldoende zijn ontwikkeld, zodat er een gerede kans bestaat dat zij in de (nabije) toekomst BBT worden.

Synoniemen: innovatieve technieken of emerging techniques

³ Artikel 27 van de Europese Richtlijn Industriële Emissies (2010/75/EU) vraagt dat lidstaten, waar passend, de ontwikkeling en de toepassing van “technieken in opkomst” voor GPBV-activiteiten stimuleren. Conform de richtlijn laat Artikel 1.9.6° van VLAREM III toe om voor GPBV-activiteiten een tijdelijke vrijstelling toe te staan van de eisen vermeld in punt 5°, artikel 3.3.0.3, 2°, tweede lid, van titel II van het VLAREM, en artikel 2.1.1, 1° en 2°, voor een totale periode van ten hoogste negen maanden om technieken in opkomst te testen en te gebruiken, op voorwaarde dat na de vermelde periode hetzij met de techniek wordt gestopt, hetzij met de activiteit in kwestie in elk geval de BBT-GEN niet worden overschreden.

1.2.2 INHOUD VAN DE STUDIE

Hoofdstuk 2 beschrijft de oorsprong en de problematiek van de concentraatstromen. Daarnaast bevat dit hoofdstuk ook een milieujuridische situering van de activiteiten in het kader van het behandelen en valoriseren van concentraatstromen.

Op basis van een uitgebreide literatuurstudie, aangevuld met o.a. input verzameld via een daartoe ontworpen vragenlijst (Q, zie bijlage 2) en vervolginterviews met techniekleveranciers, studiebureaus, onderzoeksinstituten en drinkwatermaatschappijen (zie bijlage 1), wordt in hoofdstuk 3 een inventaris opgesteld van milieuvriendelijke technieken die worden toegepast in verschillende sectoren in Vlaanderen of elders (bv. NL, Azië, US, Afrika) om concentraatstromen te behandelen en te valoriseren. Ook de algemene, bijhorende milieu-impact van deze technieken worden mee in kaart gebracht.

In hoofdstuk 4 worden de milieuvriendelijke technieken, voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen beschreven. Voor courant gebruikte technieken wordt verwezen naar reeds bestaande technische fiches. Ook wordt een inschatting gemaakt van de performantie van de technieken om specifieke componenten (o.a. recalcitrante CZV, zouten, metalen en nutriënten) te verwijderen of verder op te concentreren in het kader van valorisatie (technische toepasbaarheid). Dit hoofdstuk bevat ook een beschrijving van de milieu-impact en financiële aspecten.

Vervolgens, in hoofdstuk 5, vindt voor elk van deze technieken een evaluatie plaats op basis van de BBT-criteria.

In hoofdstuk 6 worden een aantal aanbevelingen geformuleerd met betrekking tot de subsidieregelgeving (ecologiepremie) en voor verder onderzoek en technologische ontwikkelingen.

HOOFDSTUK 2: OORSPRONG EN PROBLEMATIEK VAN CONCENTRAATSTROMEN & MILIEUJURIDISCHE SITUERING



HOOFDSTUK 2: OORSPRONG EN PROBLEMATIEK VAN CONCENTRAATSTROMEN & MILIEUJURIDISCHE SITUERING

In dit hoofdstuk wordt vooreerst een beschrijving gegeven van de oorsprong van de concentraatstromen. Daarnaast wordt een milieujuridisch situering gegeven van de activiteiten in het kader van de behandeling en valorisatie van concentraatstromen.

2.1 OORSPRONG VAN CONCENTRAATSTROMEN

Concentraatstromen kunnen enerzijds ontstaan bij het toepassen van technieken voor (verregaande) (afval)waterzuivering, met het oog op waterbesparing/waterhergebruik of voor het behalen van de van toepassing zijnde lozingsnormen. Anderzijds kunnen ze ontstaan bij het opwaarderen van grondwater en oppervlaktewater tot proceswater.

Processen waarbij concentraatstromen ontstaan zijn bv.:

- toepassing van waterzuiveringstechnieken o.a. (varianties van) omgekeerde osmose, nanofiltratie, ionenuitwisseling en verdamping/evaporatie;
- drinkwaterproductie;
- behandeling van drainwater in de glastuinbouwsector;
- behandeling van de dunne mestfractie.

Daarnaast kunnen ook bedrijfsspecifieke waterige deelstromen beschouwd worden als concentraatstromen, die gevaloriseerd kunnen worden, bv. door terugwinning van metalen.

In het kader van deze studie definiëren we de term **concentraatstroom** (zie Tabel 1). Ook een aantal waterzuiveringstechnieken en termen relevant in het kader van het ontstaan van concentraatstromen worden in deze tabel omschreven.

Opmerking

Ook VLAREM bevat een aantal relevante definities. Deze zijn terug te vinden in Tabel 2.

De in hoofdstuk 3 geïnventariseerde technieken worden gedefiniëerd/beschreven in een aparte excel.

Tabel 1: Definitie / omschrijving van belangrijkste termen en technieken gebruikt in deze studie

TERM / TECHNIEK	DEFINITIE / OMSCHRIJVING
Concentraatstroom	Een geconcentreerde, waterhoudende stroom die resulteert uit één of meerdere (afval)waterbehandelingstechnieken en die een verhoogde of omgevingsvreemde concentratie bevat aan moleculen, zoals zouten, nutriënten, metalen en/of (an)organische componenten.
Permeaat	De verdunde, waterhoudende stroom die resulteert uit waterbesparende technieken zoals ultrafiltratie (UF), nanofiltratie (NF), omgekeerde osmose (OO) en analoge (membraan gebaseerde) technieken (Vanoppen et al., 2016).
Brak water	Het watergebied dat tussen zoetwater en zoutwater in zit en komt veel voor in kust gebieden (http://www.aquagids.nl/Aquagids_zeewater_woordenboek.html)
Brijn	Zout concentraat dat ontstaat bv. bij het behandelen/ontzouten van brak water dmv omgekeerde osmose.

TERM / TECHNIEK	DEFINITIE / OMSCHRIJVING
	Hooggeconcentreerde oplossing van zout (meestal NaCl) in water, met bv. een zoutoplossingen van ca. 3,5% (een typische concentratie van zeewater) Synoniem: pekel: bevat typisch ionen (bv. Na ⁺ , Cl ⁻ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ en SO ₄ ²⁻) in hoge concentratie (meerdere bronnen obv literatuur en search met zoektermen 'brine' & 'definition')
Ultrafiltratie (UF)	Een membraanproces dat op basis van een aangelegd drukverschil of concentratiegradiënt over een semipermeabel membraan component kan scheiden. Het concentraat bevat zwevende stoffen en componenten met een hoge molecuulmassa. Componenten met een lage molecuulmasse waaronder ook eenwaardige en tweewaardige ionen kunnen doorheen het membraan bewegen en komen in het permeaat terecht (de Waal, 2020).
Nanofiltratie (NF)	Een membraanproces met voorkeur voor verwijdering van multivalente ionen. De selectiviteit is echter niet volledig zodat ook monovalente ionen tot een bepaalde graad (lager dan multivalente ionen) tegengehouden worden (ca. 40-60%). Zouten die tegengehouden worden komen in het concentraat terecht en worden aldus opgeconcentreerd. Zouten die niet tegengehouden worden, komen in het permeaat terecht (Vanoppen et al., 2016).
Omgekeerde osmose (OO)	Een membraanproces dat zowel de mono- als divalente zouten verwijdert en dus kan gebruikt worden om zoute stromen verder op te concentreren. Het permeaat bevat minder zouten dan bij NF (Vanoppen et al., 2016).

2.2 PROBLEMATIEK VAN CONCENTRAATSTROMEN

De problematiek van concentraatstromen kadert in het bredere milieuvraagstuk over duurzaam watergebruik⁴. In het kader van waterschaarste en circulair denken is er een grote behoefte/incentive om water (verregaand) te gaan hergebruiken of recyclen. De waterzuiveringstechnieken die hiervoor dan ingezet worden, houden naast een aantal voordelen (bv. nuttig inzetten van permeaat als proceswater in aanvulling of vervanging van grondwater of captatiewater, waarbij mogelijk minder chemicaliën nodig zijn voor de aanmaak van het proceswater) ook een verschuiving van het milieuprobleem in, bv. energieverbruik of ontstaan van een waterige afvalstroom.

Anno 2022 worden concentraatstromen in Vlaanderen veelal afgevoerd via lozing op oppervlaktewater of riool. Lozing van concentraatstromen geeft in de praktijk vaak aanleiding tot overschrijding van de algemene of sectorale lozingsnormen van bepaalde parameters (bv. recalcitrante CZV, BZV, ZS, stikstof, nitriet, fosfor, chloriden, sulfaten, AOX, zware metalen (VMM, persoonlijke communicatie, 2022)) en mogelijks ook van de milieukwaliteitsnormen in de ontvangende waterlichamen. Er is dus nood aan een algemeen kader inzake technieken die toegepast kunnen worden voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen.

Via het inzetten van (combinaties van) technieken voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen kan (in theorie) gezorgd worden voor minder milieubelasting, minder of geen

⁴ BBT-studie in opstart (najaar 2022)

afvalwaterstromen (MLD/ZLD), recuperatie van valoriseerbare componenten (bv. zouten, nutriënten of chemicaliën) en een hogere opbrengst van teruggewonnen water.

Opmerkingen

Voor het heffingsjaar 2021 (werkjaar 2020) werden er door VMM 355 nullozers in Vlaanderen opgelijst. Voorbeelden van activiteiten of sectoren met bedrijven met het nullozersstatuut zijn: betonproductie, baksteenproductie, steenbewerking, puinbreekinstallaties, wegenbouw, recyclagebedrijven, tankcleaning, afvalverwerking, voedingsindustrie, veevoederindustrie, slachthuizen, mestverwerking, vergisting, compostering, textielindustrie, chemische industrie, drukkerijen en metaalindustrie.

(Input leden BC, 2021/2022)

Een voorbeeld van een sector waar het nullozersstatuut via VLAREM II is opgelegd zijn de betoncentrales en installaties voor productie van betonproducten die ingedeeld zijn in de eerste klasse:

Artikel 5.30.4.2.

Het is verboden om afvalwater, afkomstig van het productieproces, te lozen, tenzij dit voor tijdelijke inrichtingen uitdrukkelijk wordt vermeld in de omgevingsvergunning voor de exploitatie van de ingedeelde inrichting of activiteit.

Een concreet voorbeeld van afvalwater, afkomstig van het productieproces, in deze sector is het bedrijfsafvalwater dat ontstaat bij het afspritzen van de vrachtwagens en het potentieel verontreinigd hemelwater dat valt op deze wasplaats.

(Input leden BC, 2021/2022)

Om een goed zicht te krijgen op de gangbare praktijk anno 2022 werd een bevraging (Q, zie bijlage 2) georganiseerd alsook een aantal vervolginterviews (20-tal) afgenomen. Op basis van de informatie die beschikbaar gesteld werd, blijkt dat het aantal concrete praktijkcases in Vlaanderen waarbij concentraatstromen effectief worden behandeld en gevaloriseerd echter beperkt is.

Concentraatstromen worden in de praktijk anno 2022 bv. als volgt aangepakt:

- een belangrijk deel van de gevormde concentraatstromen in Vlaanderen wordt rechtstreeks geloosd; het herwonnen permeaat wordt in veel gevallen gebruikt als proceswater in vervanging/aanvulling van bv. grondwater of captatiewater;
- terugvoer naar de biologische zuiveringsstap (= hoofdbehandeling) maar hier kan de hoge zoutconcentratie een inhiberende werking hebben op de bacteriële activiteit;
- gebruik van brijnwater voor reiniging van membranen (productie van javelwater – NaOCl) in vervanging/aanvulling van pekewater;
- gebruik als spoelwater van zandfilter (voorbehandeling waarbij tot 5% van het benodigde water kan worden bespaard);
- gebruik voor de generatie van harsen in de onthardingsinstallatie/IEX (= voorbehandeling);
- transport met tankwagens of via leidingen (bv. transportafstanden over de weg van 100 km⁵) naar een locatie met mogelijkheid voor lozing in brak (zout) water;
- afgevoerd naar buurbedrijf/betonproductie (= laagwaardige toepassing, mits voldaan aan de eisen inzake samenstelling chlorides en sulfaten);
- samenwerking tussen chemische industrie en veevoederproducent⁶: specifieke proces/deelstroom (rijk aan suiker en mineralen) wordt apart opgevangen en ingedampt (zonder energierecuperatie) met het oog op valorisatie als product voor bijmenging in voeder voor varkens en runderen;

⁵ vermeld tijdens een interview als gangbare praktijk

⁶ werd vermeld tijdens een interview als vertrouwelijke case

- afvoer via een externe verwerker (evt. vermengd met andere afvalstromen) en gestort; andere opties zouden verbranden of vergisten zijn;
- hergebruik van concentraat bij zoute aquacultuur.

In de literatuur en buitenlandse cases zijn daarnaast ook volgende valorisatie/afvoeropties voor concentraatstromen toegepast:

- verdampingsvijvers;
- lozing van concentraten in *brine wells*, gelegen op grote diepte (onder de drinkwaterlagen);
- injectie in de bodem.

2.3 MILIEUJURIDISCHE SITUERING

In onderstaande paragrafen wordt het milieujuridisch kader van deze studie geschetst.

2.3.1 MILIEUVOORWAARDEN

VLAREM II (Besluit van de Vlaamse regering houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne) regelt de indeling en milieuvoorwaarden voor de hinderlijke inrichtingen in het Vlaamse Gewest. VLAREM III (Besluit van de Vlaamse regering houdende bijkomende algemene en sectorale bepalingen voor GPBV-installaties) geeft bijkomende milieuvoorwaarden voor GPBV-installaties.

VLAREM II – DEFINITIES

In VLAREM II zijn een aantal definities opgenomen zoals samengevat in Tabel 2

Tabel 2: Definities uit VLAREM II

TERM	DEFINITIE
afvalwater	Het verontreinigde water waarvan men zich ontdoet, zich moet ontdoen of de intentie heeft zich van te ontdoen, met uitzondering van hemelwater dat niet in aanraking is geweest met verontreinigende stoffen.
bedrijfsafvalwater	Alle afvalwater dat niet voldoet aan de bepalingen van huishoudelijk afvalwater of koelwater.
bodemwater	Het water aanwezig in de onverzadigde zone tussen het aardoppervlak en de grondwatertafel.
brak water	De wateren waarvan het chloridegehalte op natuurlijke wijze 600 mg Cl/l kan overschrijden.
gewone oppervlaktewateren	Alle oppervlaktewateren met uitzondering van de kunstmatige afvoerwegen voor hemelwater en de openluchtgreppels, behorend tot de openbare riolering.
grondwater	Al het water dat zich onder het bodemoppervlak in de verzadigde zone bevindt en dat in direct contact met bodem of ondergrond staat.
hemelwater	Verzamelaam voor regen, sneeuw en hagel, met inbegrip van dooiwater.
huishoudelijk afvalwater	afvalwater dat alleen bestaat uit het water dat afkomstig is van: 1° normale huishoudelijke activiteiten; 2° sanitaire installaties;

TERM	DEFINITIE
	3° keukens; 4° het reinigen van gebouwen, zoals woningen, kantoren, plaatsen waar groot- of kleinhandel wordt gedreven, zalen voor vertoningen, kazernen, kampeerterreinen, gevangenissen, onderwijsinrichtingen met of zonder internaat, zwembaden, hotels, restaurants, drankgelegenheden, kapsalons; 5° wassalons, waar de toestellen uitsluitend door het cliënteel zelf worden bediend.
koelwater	Het water dat in de nijverheid voor afkoeling gebruikt wordt en dat niet in aanraking is gekomen met af te koelen stoffen of met andere verontreinigende stoffen.
lozing van afvalwater	De emissie van afvalwater door daartoe bestemde afvoerkanalen.
openbare riolering	Het geheel van openbare leidingen en openluchtgreppels bestemd voor het opvangen en transporteren van afvalwater.
oppervlaktewater	Het stilstaande of stromende zoet, brak of zout water dat permanent of op geregelde tijdstippen op natuurlijke of kunstmatige wijze een deel van het aardoppervlak inneemt en dat deel uitmaakt van een waterhuishoudkundig systeem. Het stilstaande water dat permanent of op geregelde tijdstippen op natuurlijke wijze een deel van het aardoppervlak inneemt, dat niet in verbinding staat met het waterhuishoudkundig systeem maar wordt gevoed door hemelwater.
stedelijk afvalwater	Huishoudelijk afvalwater of het mengsel van huishoudelijk afvalwater en/of bedrijfsafvalwater en/of afvloeiend hemelwater.
verontreinigende stoffen	Iedere stof die tot verontreiniging kan leiden, als vermeld in bijlage 2A van VLAREM II.
verontreiniging	Het direct of indirect door de mens lozen van stoffen of energie in het aquatisch milieu, ten gevolge waarvan de gezondheid van de mens in gevaar kan worden gebracht, het leven en de ecosystemen in het water kunnen worden geschaad, of enig rechtmatig gebruik van het water kan worden gehinderd.
zoet water	De oppervlaktewateren in het binnenland tot de plaats waar bij hoog tij en in een periode met gering zoetwaterdebiet, het zoutgehalte stijgt ten gevolge van de aanwezigheid van zeewater.

VLAREM II - MILIEUVOORWAARDEN

VLAREM II beschrijft de milieuvorwaarden waaraan ingedeelde inrichtingen moeten voldoen. Er worden drie soorten milieuvorwaarden onderscheiden: algemene, sectorale en bijzondere. De

algemene milieuvorwaarden (hoofdstuk 4 van VLAREM II) zijn van toepassing op alle hinderlijke inrichtingen. De sectorale milieuvorwaarden (hoofdstuk 5 van VLAREM II) zijn specifiek van toepassing op welbepaalde hinderlijke inrichtingen, en primeren op de algemene voorwaarden. Daarnaast voorziet VLAREM II ook de mogelijkheid om bijzondere milieuvorwaarden op te leggen in de individuele omgevingsvergunningen.

Voor het behandelen en valoriseren van concentraatstromen zijn ondermeer de onderstaande algemene en sectorale milieuvorwaarden van belang.

• **VLAREM II - ALGEMENE VOORWAARDEN**

Algemene voorschriften (hoofdstuk 4.1)

In het bijzonder wordt hier verwezen naar de voorschriften inzake de toepassing van BBT, hinderbeheersing, het beheer van afvalstoffen, de opslag van gevaarlijke stoffen, het milieujaarverslag en de milieucoördinator.

Beheersing van oppervlaktewaterverontreiniging (hoofdstuk 4.2)

Algemene lozingsnormen worden opgelegd voor:

- bedrijfsafvalwater dat geen gevaarlijke stoffen bevat (afdeling 4.2.2);
- bedrijfsafvalwater dat één of meer gevaarlijke stoffen bevat (afdeling 4.2.3);
- koelwater (afdeling 4.2.4);
- huishoudelijk afvalwater (afdeling 4.2.7).

VLAREM II, Artikel 4.2.2.1.1 vermeldt de algemene voorwaarden voor het lozen in de gewone oppervlaktewateren van bedrijfsafvalwater dat geen gevaarlijke stoffen bevat (Tabel 3).

Tabel 3: Algemene voorwaarden voor het lozen in de gewone oppervlaktewateren van bedrijfsafvalwater dat geen gevaarlijke stoffen bevat, zoals vermeld in VLAREM II, Artikel 4.2.2.1.1

PARAMETER	ALGEMENE LOZINGSVOORWAARDEN
pH	6,5-9
BZV	25 mg/l
ZS	60 mg/l
Bezinkbare stoffen	0,5 ml/l
Perchloorethyleenextraheerbare apolaire stoffen	5 mg/l
Som van anionische, niet-ionogene en kationische oppervlakteactieve stoffen	3 mg/l

Voor bedrijfsafvalwater dat één of meerdere gevaarlijke stoffen bevat, gelden o.a. de volgende algemene voorwaarden van Artikel. 4.2.3.1:

- 1° *Onverminderd de in dit besluit vastgestelde emissiegrenswaarden dient de lozing van gevaarlijke stoffen van bijlage 2C maximaal te worden voorkomen door de toepassing van de beste beschikbare technieken.*
- 2° *Voor de lozing van bedrijfsafvalwater dat één of meer gevaarlijke stoffen van bijlage 2C bevat gelden dezelfde algemene emissiegrenswaarden als in de Afdeling 4.2.2. voorgeschreven voor de lozing van bedrijfsafvalwater dat geen gevaarlijke stoffen bevat, behoudens het bepaalde onder 3° hierna.*
- 3° *Van de gevaarlijke stoffen als bedoeld in bijlage 2C, mogen in concentraties hoger dan de indelingscriteria, vermeld in de kolom "indelingscriterium GS (gevaarlijke stoffen)" van artikel 3 van bijlage 2.3.1 [...], enkel die stoffen worden geloosd waarvoor in de omgevingsvergunning voor*

de exploitatie van de ingedeelde inrichting of activiteit emissiegrenswaarden zijn vastgesteld overeenkomstig het bepaalde in art. 2.3.6.1.

Deze emissiegrenswaarden bepalen:

- a) de in de lozingen toelaatbare maximumconcentratie van een stof; in geval van verdunning moet de in dit besluit voor bedoelde stof vastgestelde emissiegrenswaarde worden gedeeld door de verdunningsfactor;*
- b) de in de lozingen toelaatbare maximumhoeveelheid van een stof tijdens een of meer bepaalde perioden; zo nodig kan deze hoeveelheid bovendien worden uitgedrukt in een gewichtseenheid van de verontreinigende stof per eenheid van het element dat kenmerkend is voor de verontreinigende werkzaamheid (bijvoorbeeld gewichtseenheid per grondstof of per eenheid product).*
- c) als het geloosde bedrijfsafvalwater afkomstig is van het gebruik van gewoon oppervlaktewater of van grondwater of van water bestemd voor menselijke consumptie als vermeld in artikel 2.1.2, 32°, van het decreet van 18 juli 2003 betreffende het integraal waterbeleid, gecoördineerd op 15 juni 2018, kunnen de emissiegrenswaarden, vermeld in punt a) en b), vermeerderd worden met het gehalte of de hoeveelheid in het opgenomen water, als dat principe vermeld is in de omgevingsvergunning voor de exploitatie van de ingedeelde inrichting of activiteit bijkomend aan de opgelegde norm.*

Beheersing van bodem- en grondwaterverontreiniging (hoofdstuk 4.3)

Hoofdstuk 4.3 van VLAREM II bevat verschillende bepalingen die van toepassing zijn op lozingen in grondwater, zoals bedoeld in rubriek 52 van bijlage 1 van VLAREM I (art. 4.3.1.1).

In art. 4.3.2.2 worden een aantal technische maatregelen (o.a. de aanwezigheid van een waterzuiveringsinstallatie, de plaatsing van meetputten, de uitvoering van metingen en analyses, ...) voorgeschreven. Als emissiegrenswaarden gelden minimaal de milieukwaliteitsnormen die van toepassing zijn op grondwater.

• VLAREM II - SECTORALE VOORWAARDEN

Relevante sectorale milieuvoorwaarden (deel 5 van VLAREM II) die van toepassing (kunnen) zijn, zijn deze van Hfdst. 5.3: het lozen van afvalwater en koelwater.

In het kader van verregaande waterbesparende maatregelen kunnen aangepaste emissiegrenswaarden worden toegestaan op basis van onderstaand artikel.

Artikel 5.3.2.4. §3

De vergunningverlenende overheid kan op basis van vergaande waterbesparende maatregelen in de omgevingsvergunning voor de exploitatie van de ingedeelde inrichting of activiteit voor bepaalde parameters hogere emissiegrenswaarden toestaan dan de emissiegrenswaarden, vermeld in paragraaf 1, als aan al de volgende voorwaarden is voldaan:

- 1° het betreffen parameters die aanleiding geven tot concentratieverhoging;*
- 2° de exploitant stelt lozingsvoorwaarden voor, rekening houdend met het overeenstemmende debiet (waterbesparing);*
- 3° de exploitant toont aan dat:*
 - a) de BBT inzake preventie en waterzuivering wordt toegepast om de lozing van de parameters in kwestie te beperken;*
 - b) technieken worden toegepast die op een intensieve wijze het waterverbruik beperken;*
 - c) de milieukwaliteitsdoelstellingen van het ontvangende oppervlaktewater daardoor niet in het gedrang komen door de toepassing van de hogere emissiegrenswaarden;*

d) er geen acute toxiciteit wordt veroorzaakt in het oppervlaktewater door de toepassing van hogere emissiegrenswaarden;

4° de exploitant maakt een waterbalans op.

• BIJZONDERE MILIEUVOORWAARDEN

Overeenkomstig hoofdstuk 3.3 van VLAREM II, kan de bevoegde overheid bijzondere milieuvoorwaarden opleggen. Bijzondere milieuvoorwaarden vullen de algemene en/of sectorale milieuvoorwaarden aan, of stellen bijkomende eisen. Ze worden opgelegd met het oog op de bescherming van de mens en het leefmilieu, en met het oog op het bereiken van de milieukwaliteitsnormen.

Op basis van artikel 5.3.2.4. §3 (zie hoger) kunnen aangepaste emissiegrenswaarden worden toegestaan. Dit gebeurt in onderling overleg tussen de vergunningsverlenende overheden en het betreffende bedrijf, waarbij de bedrijfs- en locatiespecifieke situatie case-by-case dient bekeken te worden. Op basis van een screening van de vergunningsbesluiten van 18 bedrijven (veelal voedingsbedrijven) die concentraatstromen (evt. deels) lozen of hiervoor minstens een vergunning hebben blijkt dat er gewerkt wordt met vrachtnormen⁷ (bv. jaargemiddelde zoutvracht of CZV-vracht, dagvrachten BZV, CZV, ZS, N_{tot}, P_{tot}, chloriden en sulfaten) en/of een formule is opgenomen voor toegelaten normafwijking voor specifieke parameters die opconcentreren bij waterhergebruik (bv. 70-90% recovery).

Deze formule is als volgt samengesteld:

$$\text{Lozingslimiet } Y = [\text{Vergunde lozingslimiet} * (Q_{\text{lozing}} + Q_{\text{permeaat RO}})] / Q_{\text{lozing}}$$

waarbij:

- Q_{lozing} = het debiet dat wordt geloosd;
- $Q_{\text{permeaat RO}}$ = het debiet dat hergebruikt;
- Vergunde lozingslimiet = de toegelaten lozingsnorm zonder hergebruik;
- Lozingslimiet Y = de verhoogde lozingsnorm door hergebruik.

De toepassing van bovenstaande formule is onlosmakelijk verbonden met onderstaande voorwaarde:

- plaatsen van (elektromagnetische) debietsmeters:
 - op geloosd effluent en hergebruikt permeaat;
 - uitleesbaar via het HART-protocol (Highway Addressable Remote Transducer: hiermee kan veldinstrumentatie in procestechnieken worden aangestuurd).
 - opconcentratiefactor dient uitleesbaar te zijn t.h.v. het controlepunt;
 - gegevens van de continue debietsregistraties dienen beschikbaar te zijn voor VMM en Afdeling Handhaving (minstens ter inzage liggen of in specifieke gevallen jaarlijks worden bezorgd).
 - periodieke controle van de debietmeter wordt uitgevoerd conform de "Code van goede praktijk voor installatie, onderhoud en controle van elektromagnetische debietmeting van afvalwater in gesloten systemen".

In een aantal gevallen zijn via bijzondere voorwaarden ook volgende watergerelateerde voorwaarden mee opgelegd:

- melden van opstart AWZI, lozing in oppervlaktewater en opstart OO-installatie;
- beperken van de hoeveelheid grondwatergebruik;
- toegelaten maximale lozingsdebiet, uitgedrukt in m³/u;

⁷ vooral het geval bij oudere vergunningen

- uitvoeren van een studie, met een evaluatie van:
 - de werking van de UF/RO;
 - de behaalde rendementen;
 - een actuele waterbalans (waterbronnen, verbruik en geloosde debieten);
 - de geloosde chloride- en sulfaatconcentraties;
 - een actuele zoutbalans;
 - de overige lozingsnormen;
- tweejaarlijks opvolgen en evalueren van de zoutbalans en de bedrijfsafvalwaterlozing in relatie tot de impact op de waterkwaliteit;
- zelfcontrole uitvoeren volgens art. 4.2.5.3.1. van Vlarem II, en volgens de meetfrequentie opgenomen in de BREF FDM;
- binnen de 2 jaar door een erkend deskundige water de lozing van het bedrijfsafvalwater laten evalueren, rekening houdend met het effectieve hergebruik van het gezuiverde effluent;
- herbekijken van de waterbalans, indien nodig aangepaste normen voorstellen en de studie bezorgen aan VMM;
- momentaan en op hetzelfde moment afleesbaar zijn ter hoogte van het staalnamepunt van zowel het geloosde debiet (Q lozing) als het gerecupereerde debiet (Q permeaat RO); zo ook Q lozing en Q permeaat RO van de voorbije 7 dagen per 24 uur afleesbaar;
- uitvoeren van ecotoxiciteitstesten;
- uitvoeren van een watertoets.

Aandachtspunt hierbij is de goede opvolging van de (inzet van) waterstromen op het bedrijf, alsook de controle en handhaafbaarheid van de afwijkende normen. VMM geeft ook aan dat er anno 2022 in de praktijk bedrijven zijn die (een deel van het) effluent of water hergebruiken, zonder dat daarbij afwijkende normen zijn vergund. (VMM, persoonlijke communicatie, 2022).

2.3.2 OVERIGE VLAAMSE REGELGEVING

De onderstaande paragraaf geeft een oplistijng (niet-limitatieve lijst) van overige Vlaamse milieuregelgeving die relevant is in het kader van het behandelen en valoriseren van concentraatstromen.

DECREET INTEGRAAL WATERBELEID

Het decreet betreffende het Integraal Waterbeleid (decreet IWB) van 18 juli 2003 (BS 14 november 2003) creëert het juridisch en organisatorisch kader waarbinnen het waterbeleid in Vlaanderen moet gevoerd worden. Het decreet IWB biedt de decretale basis voor de omzetting van de Europese kaderrichtlijn Water (KRLW) in Vlaanderen. Het uitgangspunt vormt een integrale benadering van de waterproblematiek op stroomgebiedniveau via stroomgebieddistricten. Vlaanderen gaat met het decreet IWB op een aantal punten verder dan wat de KRLW oplegt. Waar de KRLW voornamelijk op waterkwaliteit is toegespitst, schenkt het decreet ook aandacht aan de kwantiteit en de beheersbaarheid ervan. Meer informatie over het IWB is terug te vinden op de [VMM-website](#).

BESLUIT VAN DE VLAAMSE REGERING HOUDENDE VASTSTELLING VAN DE REGELS INZAKE HET LOZEN VAN BEDRIJFSAFVALWATER OP EEN OPENBARE RIOOLWATERZUIVERINGSINSTALLATIE

Dit besluit van 21 februari 2014 vervangt het eerdere uitvoeringsbesluit van 21 oktober 2005 houdende vaststelling van de regels inzake contractuele sanering van bedrijfsafvalwater op een openbare rioolwaterzuiveringsinstallatie, gewijzigd bij het besluit van de Vlaamse Regering van 29 mei 2009, en de omzendbrief LNW 2005/01 met betrekking tot verwerking van het bedrijfsafvalwater via de openbare zuiveringsinfrastructuur van 23 september 2005.

Meer informatie over dit besluit is terug te vinden via de [VMM-website](#).

2.3.3 EUROPESE WETGEVING

RICHTLIJN INDUSTRIËLE EMISSIES (RICHTLIJN 2010/75/EG)

In het kader van de Richtlijn Industriële Emissies (RIE) organiseert de Europese Commissie een uitwisseling van informatie tussen de lidstaten en de betrokken bedrijfstakken over de Beste Beschikbare Technieken. Concreet worden door het European IPPC Bureau in Sevilla (Spanje) zogenaamde BREF's (referentiedocumenten Beste Beschikbare Technieken) opgesteld. Deze BREF's geven per bedrijfstak aan wat de BBT zijn en welke milieuprestaties met de BBT haalbaar zijn. O.a. in de Europese BBT-studie behandeling en beheer van afvalwater en afvalgas in de chemiesector ([BREF CWW](#)) zijn beschrijvingen en cases inzake (verregaande zuiveringstechnieken) terug te vinden.

EUROPESE KADERRICHTLIJN WATER (KRLW)

Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid heeft als doel om de watervoorraden en de kwaliteit van de stroomgebieden in Europa op lange termijn veilig te stellen. De richtlijn is sinds 22 december 2000 van kracht en hanteert concrete doelstellingen voor de kwaliteit van oppervlaktewater en grondwater. Die doelstellingen worden bereikt via stroomgebiedbeheerplannen en maatregelenprogramma's.

VERORDENING INZAKE MINIMUMEISEN VOOR HERGEBRUIK VAN WATER (2020/741)

De Verordening (EU) 2020/741 van het Europees Parlement en de Raad van 25 mei 2020 inzake minimeisen voor hergebruik van water kadert in de Europese actieplannen voor circulaire economie. Meer informatie over deze Verordening is te vinden via [PB EU \(europa.eu\)](#).

HOOFDSTUK 3: INVENTARIS VAN TECHNIEKEN EN MILIEUASPECTEN



HOOFDSTUK 3: INVENTARIS VAN TECHNIEKEN EN MILIEUASPECTEN

In dit hoofdstuk worden relevante milieuvriendelijke technieken geïnventariseerd die worden toegepast in verschillende sectoren om concentraatstromen te behandelen en te valoriseren alsook de algemene, bijhorende milieu-impact van deze technieken.

Deze inventarisatie vormt de basis om in hoofdstuk 4 de (types van) technieken meer uitgebreid te beschrijven.

De details van de procesvoering, en de volgorde van de toegepaste technieken, kunnen in de praktijk variëren van bedrijf tot bedrijf. Niet alle mogelijke varianten in procesvoering worden in dit hoofdstuk beschreven. Ook kan de procesvoering in de praktijk complexer zijn dan hier beschreven.

3.1 INLEIDING

Bij toepassing van technieken, zoals ultrafiltratie, nanofiltratie en omgekeerde osmose (naar analogie met drinkwaterproductie) ontstaat een waterstroom (permeaat) en een concentraatstroom. Deze laatste is een mengsel van verschillende verontreinigingen, waaronder restgehalten aan (recalcitrante) CZV en verhoogde zout- en nutriëntconcentraties. De hoeveelheid en samenstelling van een gevormde concentraatstroom is afhankelijk van de specifieke situatie, bv. samenstelling van het te behandelen water (geleidbaarheid), procesvoering, (combinatie van) technieken die ingezet worden voor drinkwater- of proceswaterproductie enerzijds of afvalwaterzuivering anderzijds.

Voor het zuiveren van afvalwater wordt in de praktijk veelal een combinatie van waterzuiveringstechnieken ingezet. Algemeen kan een onderscheid gemaakt worden tussen de volgende 3 zuiveringsstappen:

- Primaire zuivering of voorzuivering
 - bv. zeef/rooster/filter/cycloon, zandvanger/zandfiltratie, voorbezinker/influentbuffer, vetafscheider/slib-opvang vetten en oliën, bezinker/buffer bezinkbare stoffen en/of flotatie (bv. DAF);
 - ingezet voor het verwijderen van grove delen (organische stoffen en zand), bezinkbare stoffen, vetten en oliën, en flotterende stoffen.
- Secundaire of hoofdzuivering, bv.
 - fysico-chemische en/of biologische zuivering;
 - ingezet voor het verwijderen van o.a. organische componenten, fosfaten en chloriden.
- Tertiaire of verregaande zuivering, bv.
 - membraan gebaseerde technieken, thermisch gebaseerde technieken en/of geavanceerde oxidatietechnieken;
 - ingezet voor het verwijderen van o.a. ziektekiemen, antibiotica, recalcitrante stoffen en het terugwinnen van o.a. water, zouten, metalen, nutriënten.

In deze studie gaat de focus naar de tertiaire of verregaande waterzuiveringstechnieken in het kader van het behandelen en valoriseren van concentraatstromen.

3.2 INVENTARISATIE MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN

Het doel van deze paragraaf is om alle relevante waterzuiveringstechnieken op te lijsten die sectoroverschrijdend kunnen worden toegepast. In hoofdstuk 4 zal vervolgens ingezoomd worden op de technieken die ingezet kunnen worden om concentraatstromen te behandelen en te valoriseren.

De **geïnterviewde waterzuiveringstechnieken** zijn opgenomen in een afzonderlijke excel (concentraatstromen_inventaris_H3). Deze excel bevat, naast een definitie/omschrijving van de technieken, ook een overzicht van de specificaties en een korte terugkoppeling van de bevraging en interviews alsook een overzicht van de geraadpleegde (literatuur)bronnen.

Het overgrote deel van deze technieken is afkomstig uit drinkwaterproductie, ontziltingsinstallaties, glastuinbouw en landbouw. Andere sectoren waar deze problematiek kan spelen, zijn onder andere chemie, textiel, tankcleaning, afvalwaterverwerking en voeding. In het kader van deze studie worden de geïnterviewde technieken onderverdeeld in

- (i) membraan gebaseerde technieken
- (ii) thermisch gebaseerde technieken
- (iii) geavanceerde oxidatietechnieken
- (iv) biologische technieken
- (v) diverse technieken

Hoewel een deel van de technieken bedoeld zijn om de concentraatstromen te reduceren of te elimineren (niet-selectieve verwijderingstechnieken, bv. met het oog op nullozing (Zero Liquid Discharge, ZLD)), zijn er ook technieken die zorgen voor de selectieve verwijdering en herwinning van bepaalde componenten (selectieve verwijderingstechnieken, bv. met het oog op selectieve zoutverwijdering, mineralenterugwinning of productie van chemische componenten zoals NaOH of HCl). Naast technieken die toegepast worden voor het geschikt maken van concentraatstromen voor gebruik in andere processen of het hergebruiken van concentraatstromen, zijn er ook die energie terugwinning beogen. De toepassingsmogelijkheden van de verschillende technieken zijn hoofdzakelijk afhankelijk van de samenstelling en hoeveelheid van de concentraatstromen. Vaak worden deze technieken in de praktijk niet alleen op zichzelf toegepast, maar in een combinatie van meerdere technieken in een behandelingstrein. Bovendien is voorbehandeling in bepaalde gevallen zinvol, bv. chemische ontharding om maximaal in te kunnen slaan bij membraan gebaseerde processen.

Verder kan er een onderscheid gemaakt worden tussen enerzijds technieken die verwijdering van water uit concentraatstromen beogen, zoals omgekeerde osmose, indampen of kristalliseren en anderzijds technieken die de samenstelling van de concentraatstroom wijzigen zoals nanofiltratie of eutectische vrieskristallisatie (De Watergroep, persoonlijke communicatie, 2022).

Het verzamelen van de informatie van de technieken voor het behandelen en valoriseren van concentraatstromen gebeurde in verschillende stappen:

- Literatuur screening (zie referentielijst, aparte excel).
- Bevraging aan de hand van een door het BBT-kenniscentrum van VITO op maat ontwikkelde vragenlijst (zie bijlage 2).
- Interviews met techniekleveranciers, studiebureaus, onderzoeksinstituten en drinkwatermaatschappijen (zie bijlage 1).

In de praktijk kunnen voor de behandeling van concentraatstromen technieken met elkaar gecombineerd worden, bv.:

- bij de strategieën om concentraatstromen zo klein mogelijk te krijgen via bv. RO, hogedruk RO of indampen, er in bepaalde gevallen voorafgaand chemische ontharding vereist om maximaal in te kunnen slaan met membraantechnologie
- ifv het te behandelen debiet, worden membraantechnieken zoals OO, CCRO, enz. in de praktijk in parallel geplaatst.
- om de recovery van water te verhogen worden bepaalde stromen, hetzij volledig, hetzij deels behandeld teruggevoerd naar de inputzijde; de bijkomende behandelingsstap kan gezien worden als een uitbreiding van een bestaande behandelingstrein.

Concrete voorbeelden van behandelingstreinen voor concentraatstromen zijn terug te vinden in bijlage 4.

3.3 GLOBALE MILIEU-IMPACT

Verregaande zuivering van waterige stromen vergt in veel gevallen de toepassing van (een combinatie van) technieken die *energie* verbruiken (o.a. thermisch gebaseerde technieken), *water* verbruiken (bv. membraangebasseerde technieken voor regeneratie) en/of gebruik maken van *chemicaliën* (bv. als hulpstof of voor de reiniging van membranen). Afhankelijk van de concrete toepassing kan *afval* gegenereerd worden (bv. slib) of *afvalwater* ontstaan (bv. spui, reinigingswater).

Het behandelen en valoriseren van concentraatstromen geeft mogelijkheden inzake *waterterugwinning* en *-hergebruik*. Daarnaast kan de focus ook liggen op het verder indikken van de waterige stromen met het oog op *herwinning* van *zouten*, *metalen* of *nutriënten* (***circulariteitsprincipe***). De toepassing van deze producten kan elders liggen en niet per se binnen de sector waar de concentraatstromen ontstaan (***ketenaspect***).

HOOFDSTUK 4: BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN



HOOFDSTUK 4: BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN

In dit hoofdstuk ligt de focus op de verschillende milieuvriendelijke technieken voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen. Voor deze technieken worden de criteria in het kader van de BBT-analyse (zie hoofdstuk 5) beschreven.

Naast de toepasbare technieken die ingezet kunnen worden voor het herwinnen van water, zouten, nutriënten, metalen en chemicaliën worden in dit hoofdstuk de valorisatieopties van deze herwonnen stoffen in beeld gebracht, met eventuele knelpunten of aandachtspunten.

4.1 TECHNIEKEN VOOR BEHANDELING EN VALORISATIE VAN CONCENTRAATSTROMEN

Het doel van dit hoofdstuk is om een praktische en beknopte beschrijving te geven van de verschillende *types van technieken / uitvoeringsvormen* voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen. Daarnaast worden de technische toepasbaarheid, de milieu-impact en de financiële aspecten van de technieken beschreven.

BESCHRIJVING

Het gaat om technieken die anno 2022 toegepast worden in de praktijk, in onderzoek zijn of potentieel hebben. De technieken zijn i.f.v. concentraatstroombehandeling beschreven. Echter, vaak worden de technieken voor behandeling van concentraatstromen niet als 'stand alone' toegepast, maar zijn ze onderdeel van een afvalwaterzuiveringsinstallatie/zuiveringstrein voor de behandeling van de gehele waterstroom.

TECHNISCHE TOEPASBAARHEID

Hier wordt aangegeven welke componenten verwijderbaar zijn en in welke fase van ontwikkeling of toepassing de techniek zich bevindt voor de behandeling of valorisatie van concentraatstromen.

Waar relevant wordt aangegeven of de individuele technieken in de praktijk toegepast worden in combinatie met andere technieken. De toepaste combinatie van technieken is in de praktijk meestal erg situatiespecifiek.

Aspecten die ook onder dit luik vallen, zijn:

- de productvereisten bij valorisatie van de concentraatstromen;
- de locatiespecifieke omstandigheden (bv. type, hoeveelheid en kwaliteit van het ingenomen water).

MILIEU-IMPACT

Hier wordt aangegeven op welke milieu-compartimenten de techniek en impact heeft, met focus op water (terugwinning), afvalwater (recalcitrante CZV, zouten, metalen en nutriënten), afval, energie en overige (bv. metalen). Dit kan zowel een positieve als negatieve impact zijn.

FINANCIËLE ASPECTEN

De kostprijs van de technieken is erg bedrijfs- en situatiespecifiek. Waar mogelijk worden voorbeelden/indicaties gegeven van de kostprijzen van de beschouwde technieken. De kostprijzen zijn gebaseerd op de informatie uit de vragenlijsten en interviews, WASS fiches en contacten met VLAKWA. Indien geen kostprijsgegevens beschikbaar zijn, wordt gebruik gemaakt van expertinschatting voor grootte-orde van kostprijzen of elementen die een belangrijk effect hebben op de kostprijs.

Opmerkingen

1. Obv van de vragenlijst en interviews bleek dat het aantal concrete cases in Vlaanderen anno 2022 beperkt is. Slechts van enkele cases werden grootte-orde van kostprijzen vermeld. Deze zijn te beschouwen als voorbeelden en kunnen niet zomaar veralgemeend worden.
2. Voor de technieken waarvoor kostprijsinformatie ontbrak, werden de vermelde kostprijzen uit de technische fiches van [WASS](#) aangehaald. Deze dateren echter van 2010 en zijn wellicht aan een update toe.

De informatie is enerzijds verzameld op basis van een uitgebreide literatuurscreening. Anderzijds werd een vragenlijst (Q, zie bijlage 2) ontwikkeld met het oog op het verzamelen van concrete informatie en praktijkkennis via watertechnologieleveranciers en werden een aantal vervolginterviews afgenomen (lijst van geïnterviewden, zie bijlage 1).

De conclusies uit dit hoofdstuk zijn bedoeld om de vergunningverlenende overheden een goed beeld te geven van de stand van zaken van de technieken die toegepast kunnen worden voor het behandelen en valoriseren van concentraatstromen. Naast de toepasbare technieken die ingezet kunnen worden voor het herwinnen van water, zouten, nutriënten, metalen en chemicaliën worden in dit hoofdstuk de valorisatieopties van deze herwonnen stoffen in beeld gebracht, met eventuele knelpunten of aandachtspunten.

De informatie in dit hoofdstuk vormt de basis waarop in hoofdstuk 5 de evaluatie van de milieuvriendelijke technieken zal gebeuren. Het is dus niet de bedoeling om reeds in dit hoofdstuk (hoofdstuk 4) een uitspraak te doen over het al dan niet BBT zijn van bepaalde technieken. Het feit dat een techniek in dit hoofdstuk besproken wordt, betekent m.a.w. niet per definitie dat deze techniek BBT is.

4.1.1 MEMBRAAN GEBASEERDE TECHNIEKEN

BESCHRIJVING

Bij membraan gebaseerde technieken worden stoffen, al dan niet selectief, uit een waterige stroom verwijderd met toepassing van membranen. Courant toegepaste membraan gebaseerde technieken zijn ultrafiltratie (UF), nanofiltratie (NF) en omgekeerde osmose (OO) (zie ook Tabel 1).

Voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen kunnen membraantechnieken worden toegepast. Innovaties in het kader van concentraatstromen bestaan er bv. in dat variaties op (courant toegepaste) membraan gebaseerde technieken, al dan niet in combinatie met andere (membraan gebaseerde) technieken, worden toegepast. In veel gevallen beoogt dit een hogere recovery (zouten, metalen, water) waarbij concentraatstromen verder opconcentreren (beperking van de hoeveelheid concentraat).

Variaties kunnen volgende aanpassingen inhouden:

- aangepaste membranen (bv. SWRO, HPRO, DD, ionenuitwisseling, IPC)
- combinatie van verschillende types membranen, in serie of parallel, of al dan niet in 1 module
- aangepaste druk (bv. CCRO, HRRO, PAO, PRO, HPRO, UHPRO)
- recirculeren in de tijd van (concentraat)stromen (bv. CCRO, HRRO)
- inbrengen van een verdunde zoutoplossing aan de productzijde van het membraan om de osmotische drukbarrière te verminderen (bv. CFRO)
- periodieke afwisseling van de doorstroomrichting (bv. FFRO)
- aanpassing van de stroomrichting (bv. FO)
- inbouwen van eiwitten (bv. Aquaporin Inside™ technology)
- pH-wijzigen (interstage bv. HiPRO)
- combinatie van technieken (bv. OARO, diafiltratie, pertractie, pervaporatie)

- roterende membranen (bv. Shear Enhanced MF)
- thermisch gedreven via verhoogde temperatuur (bv. MD)
- gedreven door elektrische stroom (bv. membraanelektrolyse, ED, MCDI, CDI, EDI, Mixed Bed IEX, EDBM, EDR/RED, EDM)

TECHNISCHE TOEPASBAARHEID

Veel van de geavanceerde membraan gebaseerde technieken die terug te vinden zijn in de literatuur in het kader van concentraatstromen worden momenteel voornamelijk op labo- en/of pilotschaal toegepast in het kader van onderzoek en/of projectwerking. Het aantal geavanceerde membraan gebaseerde technieken die anno 2022 effectief in Vlaanderen (of in Europe, Azië of USA) worden toegepast voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen zijn eerder beperkt. In bijlage 3 worden een aantal praktijkcases die effectief worden toegepast en/of potentieel hebben in Vlaanderen besproken. CCRO en andere variaties op OO zijn terug te vinden in PRAKTIJKCASE 1.

Concreet gaat het om 5 Vlaamse cases:

- HHRO - Colruyt Halle: Dupont/Waterleau
- CCRO - Project Ganzepoot: Waterleau ism De Watergroep, Farys en Aquaduin
- Masterplan De Blankaart: Waterleau ism De Watergroep
- Geoptimaliseerde OO-installatie – behandeling van captatiewater
- Geoptimaliseerde OO-installatie – behandeling van effluent van mestverwerkingsinstallatie

Daarnaast zijn er nog 9 buitenlandse cases kort toegelicht.

Membraan gebaseerde technieken kunnen ingezet worden voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen. Het type (of combinatie van) technieken dient gekozen te worden ifv het te behandelen afvalwater en de parameters die opgeconcentreerd en /of teruggewonnen moeten worden en hangt af van de bedrijfsspecifieke situatie.

Voornamelijk voor de behandeling van stromen met hoge zoutconcentratie zijn membraan gebaseerde technieken aangewezen.

MILIEU-IMPACT

Door toepassing van membraan gebaseerde technieken kunnen o.a. zouten, ionen, metalen, vluchtige componenten en/of micro-organismen uit een waterige stroom verwijderd worden.

In veel gevallen is voorbehandeling nodig indien membraantechnieken worden ingezet. Na verloop van tijd raken de membranen vervuild door het afzetten van deeltjes op de membranen (bv. Ca- en Mg-verbindingen) en geraken deze verstopt. Om de membranen te reinigen worden chemicaliën ingezet en wordt een waterige afvalstroom gegenereerd.

In specifieke toepassingen kunnen gevormde stromen ingezet worden als een alternatief /aanvulling voor de aangekochte chemicaliën, bv. het gebruik van brijnwater voor de reiniging van UF-membranen (productie van javelwater - NaOCl) of de toepassing van chlooroplossing (javelwater) als membraanspoelstof (membraanelektrolyse).

Bij thermisch gedreven membraanprocessen of bij toepassingen onder verhoogde druk is extra energie vereist. Terugwinning van energie is bij bepaalde technieken (bv. PRO) mogelijk.

Bij het inzetten van (gezuiverd) afvalwater in het productieproces kan bespaard worden op het waterverbruik.

FINANCIËLE ASPECTEN

Voor een aantal membraan gebaseerde technieken werden kostprijzen verzameld (zie Tabel 6 en PRAKTIJKCASE 1). Deze dienen echter met de nodige omzichtigheid geïnterpreteerd te worden. De investerings- en werkingskosten zijn immers zeer bedrijfs- en locatieafhankelijk.

De kostprijs wordt o.a. bepaald door het type, de uitvoeringsvorm (al dan niet in combinatie met andere technieken), de procesvoering (bv. druk, temperatuur), het te behandelen volume, de gewenste zuivering, de valorisatie-, afzet- of afvoeropties, enz. Andere factoren die een invloed hebben op de kostprijs zijn: de schaalgrootte en transportkosten (bv. afvoer brijn).

Hoe meer geavanceerd de techniek, hoe hoger wellicht de kostprijs:

- hoogwaardige membranen die bv. bestand zijn tegen zoutconcentraties, druk en/of temperatuur worden duurder ingeschat in vergelijking met standaardmembranen;
- installaties (bv. pompen, leidingen uit hoogwaardige materialen) die bestand zijn tegen hoge drukken zijn vermoedelijk ook duurder in aankoop.

TABEL - MEMBRAANGEBASEERDE TECHNIEKEN

Tabel 6 bevat voor elk van de geïnterpreteerde membraangebaserde technieken (zie excel, H3) een beschrijving van de technische toepasbaarheid (verwijderbare componenten en fase van ontwikkeling voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen), de milieu-impact (focusparameters van deze studie) en de financiële aspecten (voorbeelden van kostprijzen).

Tabel 4: Beschrijving van de membraangebaseerde technieken⁸

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
Closed Circuit Reverse Osmosis (CCRO) High Recovery Reverse Osmosis (HRRO) <i>Omgekeerde osmose (OO) met gesloten circuit</i> <i>Hoge recovery OO</i>	-ionen -zouten -metalen -micro-organismen	-in Vlaanderen: 1 full-scale, 1 in opstart, 1 piloot en 1 in testfase; -elders: meerdere cases (waarvan sommige in ontwerpfasen) <i>-zie bijlage 3 – praktijkcase 1</i>	-water: 80-90% herwinning -afvalwater: tot 75% minder pekelvolume tov OO -energie: tot 35% minder energieverbruik tov OO -chemicaliën: idem aan OO	-alg info uit literatuur ⁹ : energieconsumptie OO en NF: 2-6 kWh/m ³ - kwantitatieve info uit cases ¹⁰ : energieverbruik: 0,48 – 0,53 kW/m ³ permeaat geproduceerd; -verouderde algemene info uit WASS ¹¹ : OO: 15 000 en 20 000 €; NF: 300 000 en 350 000 €
Sea water reverse osmosis (SWRO) <i>Zeewater omgekeerde osmose / Brakwater omgekeerde osmose</i>	-ionen -zouten -metalen -micro-organismen	-1 referentie uit literatuur -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-zie CCRO: water, afvalwater, chemicaliën	-geen info

⁸ referenties zijn opgenomen aparte excel (zie luik inventaris in hoofdstuk 3)⁹ Panagopoulos A. & Haralambous K.J., 2020¹⁰ Vermits er met hogere druk gewerkt wordt dienen de materialen hoogwaardig te zijn (o.a. bestand tegen hogere druk en corrosie); duurder in vergelijking met traditionele OO. De kostprijzen van deze technieken zijn erg afhankelijk van de specifieke situatie. Het energieverbruik van HRRO in de vermelde cases (overige) varieert als volgt: lage druksystemen - bio effluent/ oppervlakte water: 0,48 – 0,53 kW/m³ permeaat geproduceerd¹¹ [WASS - omgekeerde osmose](#)De kostprijs van een typische omgekeerde osmose installatie van 40 m³/dag situeert zich tussen 15 000 en 20 000 €. Deze kost is exclusief de installatie onsite. De proceskarakteristieken zijn: recovery 75 %; CIP tank; energieverbruik gemiddeld 2.2 kW; 6 OO-membranen; werkdruk 12 bar; maximum recovery 75%; nominale retentie 90 - >99%; werk temperatuur 13-30°C; inlaat druk pomp 3 -6 bar; design temperatuur 15°C[WASS - nanofiltratie](#)Een nanofiltratie installatie voor de productie van 100 m³/u permeaat kost ongeveer tussen 300 000 en 350 000 €. Procesconfiguratie: 2-traps ontwerp; recovery 75 %; CIP tank; energieverbruik gemiddeld 25 kW voor 1e trap, 7 kW voor de 2e trap; 76 NF-membranen; 2-1 configuratie bestaande uit 6 drukbuizen voor 1e trap en 3 voor 2e trap; 54 membranen in 1e trap, 18 membranen in 2e trap; nominale zoutretentie 30-85%; werk temperatuur 15-30°C; inlaat druk pomp 3 -6 bar; design temperatuur 25°C

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
Counterflow Reverse Osmosis (CFRO) <i>Tegenstroom omgekeerde osmose</i>	-ionen -zouten -metalen -micro-organismen	-techniek 1x vermeld tijdens interview -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-zie CCRO: water, afvalwater	-geen info
Flow Reversal Reverse Osmosis (FRRO) <i>Stroomomkering omgekeerde osmose</i>	-ionen -zouten -metalen -micro-organismen	-beperkt aantal referenties uit literatuur -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-zie CCRO: water, afvalwater	-geen info
Forward osmosis (FO) <i>Voorwaartse osmose</i>	-ionen (mono en multivalent) -zouten -metalen -micro-organismen	-algemeen: techniek in opkomst (pilootschaal) -aandachtspunt: stabiliteit van de membranen ¹² -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-water: tot 98% terugwinning -afvalwater -nutriënten zware metalen: terugwinning: >99,5%	-alg info uit literatuur ¹³ : energieconsumptie 0,8-13 kWh/m ³
Pressure assisted Osmosis (PAO) <i>Drukondersteunde osmose</i>	-ionen -zouten -metalen -micro-organismen	-beperkt aantal referenties uit literatuur -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-waterterugwinning -afvalwater -geen kwantitatieve info	-geen info
Aquaporin Inside™ technology <i>Eiwitten ingebouwd in membranen</i>	-ionen -zouten -nutriënten -metalen -micro-organismen	-algemeen: techniek in opkomst, in OO membranen -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-waterterugwinning -afvalwater -energie -chemicaliën: minder verbruik bij gebruik in FO-membranen -geen kwantitatieve info	-geen info

¹² uitgebreid wetenschappelijk onderzoek naar gedaan (Morillo et al., 2014)

¹³ lager energieverbruik in vergelijking met andere behandelingstechnieken;) (Panagopoulos A. & Haralambous K.J., 2020)

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
High Recovery inter-stage Precipitation Reverse Osmosis (HiPRO) <i>Hoge herwinning inter-stage precipitatie omgekeerde osmose</i>	-multivalente ionen -zouten	-beperkt aantal referenties uit literatuur; -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-waterterugwinning -afvalwater -geen kwantitatieve info	-geen info
Pressure Retarded Osmosis (PRO) <i>Drukvertraagde osmose</i>	-zouten	-algemeen: techniek in opkomst -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-waterterugwinning -afvalwater -energie: kan terug gewonnen worden -geen kwantitatieve info	-geen info
High Pressure Reverse Osmosis (HPRO) <i>Hoge druk omgekeerde osmose</i>	-zouten	-algemeen: techniek in opkomst -techniek 1x vermeld tijdens interview -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-waterterugwinning -afvalwater -energie: lager in vergelijking met andere behandelingstechnieken ¹⁴ -geen kwantitatieve info	-alg info uit literatuur ¹⁵ : energieconsumptie: 3-9 kWh/m ³
Ultra High Pressure RO (UHPRO) <i>Ultrahoge druk omgekeerde osmose</i>	-zouten	-algemeen: techniek in opkomst -techniek 1x vermeld tijdens interview -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-waterterugwinning -afvalwater: tot 50% minder pekelvolume in vergelijking met 'traditionele' membranen in OO	-alg info uit literatuur ¹⁷ : duurder dan OO, goedkoper dan verdamping (thermisch gebaseerde techniek)

¹⁴ Panagopoulos A. & Haralambous K.J., 2020¹⁵ Panagopoulos A. & Haralambous K.J., 2020¹⁷ [Lennetech-UHPRO](#)

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN <u>CONCENTRAATSTROMEN</u>	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
			-energie: lager in vergelijking met andere behandelingstechnieken ¹⁶ geen kwantitatieve info	
Osmotically assisted RO (OARO) <i>Osmotisch ondersteunde omgekeerde osmose</i>	-zouten	-algemeen: techniek in opkomst -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-waterterugwinning -afvalwater -geen kwantitatieve info	-alg info uit literatuur ¹⁸ : energieconsumptie: 6-19 kWh/m ³
Diafiltration (dilution + filtration) <i>Diafiltratie (verdunning + filtratie)</i>	-organische componenten -ionen -zouten -solventen	-beperkt aantal referenties uit literatuur -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-waterterugwinning -afvalwater -geen kwantitatieve info	-geen info
Shear enhanced membrane filtration <i>Door schuifkracht verbeterde membraanfiltratie</i>	-zouten	-beperkt aantal referenties uit literatuur -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-waterterugwinning -afvalwater: minder pekelvolume in vergelijking met membraanfiltratie -geen kwantitatieve info	-geen info
Membrane distillation (MD) <i>Membraandestillatie</i>	-(vluchtige) opgeloste componenten -ionen	-algemeen: techniek in opkomst -techniek vermeld tijdens interviews	-waterterugwinning -afvalwater -energie: warmterecuperatie mogelijk; lagere	-alg info uit literatuur ¹⁹ : energieconsumptie: 39-67 kWh/m ³ -verouderde algemene productiekosten uit WASS ²⁰ :

¹⁶ Panagopoulos A. & Haralambous K.J., 2020¹⁸ Panagopoulos A. & Haralambous K.J., 2020¹⁹ Panagopoulos A. & Haralambous K.J., 2020²⁰ [WASS-membraandestillatie](#):

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
	-zouten -macromoleculen -colloïdale deeltjes -kleurstoffen (textiel)	-geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	werkingstemperatuur en -druk in vergelijking met destillatie en OO; hoger energieverbruik t.o.v. omgekeerde osmose maar minder dan bij traditionele verdampings- en kristallisatietechnieken; hergebruik van restwarmte mogelijk -geen kwantitatieve info	case MD: 0,55 €/m ³ (tov OO: 0,89 €/m ³); case drinkwater industrie: 0,27 – 0,70 €/m
(Membrane)electrolysis (<i>Membraan</i>)elektrolyse	-zouten	-algemeen: techniek in opkomst -in Vlaanderen: proof of concept (labo en piloot) ²¹	-waterterugwinning -afvalwater: RO brijn wordt omgezet tot membraanspoelvoelstof -geen kwantitatieve info	-geen info uit Vlaamse case; -verouderde algemene productiekosten uit WASS ²² : elektrische stroom: 0,75 € per kg/Pd investeringskosten: 93 € per anode en 13 € per kathode investeringskost voor de cel met elektroden: 3000 €

Door het gebruik van zeer lage drukken, die een goedkopere installatie (dunnere piping, etc.) toelaten en minder operationele problemen met zich meebrengen, zijn de investerings- en onderhoudskosten van MD beduidend lager dan die van drukgedreven membraanprocessen zoals ultrafiltratie en OO. In de veronderstelling van volledig ontwikkelde MD technologie, wordt de totale productiekost van een hypothetische direct contact MD ontzoutingsplant met 30% interne warmterecuperatie voor de productie van zuiver water aan 3800 m³/u geschat op 0,55 €/m³, wat duidelijk lager is dan de kost van een OO installatie met dezelfde capaciteit (0,89 €/m³).

De verwachte kost voor drinkwaterproductie in een grootschalige MD ontzoutingsplant wordt geschat op 0,27 - 0,70 €/m³ (afhankelijk van het al dan niet gebruik van restwarmte), waarbij verdere kostenreducties in de lijn van de verwachtingen liggen. De kostenefficiëntie van MD hangt sterk samen met het gebruik van restwarmtestromen en/of alternatieve energiebronnen.

²¹ input Q & interviews, 2022; [VLAKWA-Electrodis](#)

²² [WASS-elektrolyse](#)

De kosten voor een elektrolyse-installatie zijn sterk afhankelijk van het type elektroden die gebruikt worden. Voorbeeld: kleine installatie voor de terugwinning van palladium uit spaarspoelbaden waarbij 26 g/u Pd wordt gewonnen. De kosten voor de nodige elektrische stroom bedragen 0,75 € per kg/Pd. De investeringskosten bedragen 93 € per anode en 13 € per kathode waarbij per elektrolysecel 8 anoden en 7 kathoden nodig zijn. De anode is een Ti/RuO₂ elektrode en de kathode een driedimensionale elektrode. De investeringskost voor de cel met elektroden is 3000 € en een gelijkrichter voor de spanning bedraagt ongeveer 1000 €. (

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
				gelijkrichter: +/-1000 €
Elektrodialysis (ED) <i>Elektrodialyse</i>	-recalcitrante CZV -zouten -nitraat -eenwaardige en tweewaardige ionen -zware metalen	-algemeen: techniek in opkomst ²³ : uitdaging: duurzame oplossing vinden (als bodemverbeteraar) voor het regeneraat dat in de betreffende case wordt geïnfiltreerd -techniek vermeld tijdens interviews -in Vlaanderen geen concrete cases gekend	-waterterugwinning -afvalwater -geen kwantitatieve info	-alg info uit literatuur ²⁴ : elektriciteitsverbruik: 7-8 kWh/m ³ geconcentreerde pekkel uit OO; - energieconsumptie: 7-15 kWh/m ³ -verouderde algemene productiekosten uit WASS ²⁵ : investeringskost: 200 000 €; operationele kost: 50 000 €/jaar
Membrane capacitive deionisation (MCDI) – Capacitive deionisation (CDI) <i>Membraan capacitieve deïonisatie – Capacitieve deïonisatie</i>	-zouten -kationen & anionen -nutriënten -zware metalen	-algemeen: techniek in opkomst -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-waterterugwinning: tot 90% -afvalwater: 86% zoutverwijdering -energie ²⁶ : minder verbruik in vgl met drukgedreven membranen	-geen info

²³ Pilootschaal ; Subramani & Jacangelo, 2014; <https://www.kwrwater.nl/projecten/nomixed/>

²⁴ Panagopoulos A. & Haralambous K.J., 2020

²⁵ [WASS - elektrodialyse](#)

Belangrijke kostenelementen bij ED zijn de membranen en de elektrische energie kost. De limiterende stroomdichtheid bepaalt de prijs van het ED proces : het is dus niet mogelijk om algemene indicatieve prijzen te geven voor ED vermits de toepassing volledig de ED design bepaalt vanwege de concentratie specificaties. Als ruwe vuistregel wordt in de praktijk een limiet van 3000 ppm opgeloste stoffen beschouwd als grens tussen een kosten effectieve behandeling via omgekeerde osmose en ED : beneden 3000 ppm dus ED en boven 3000 ppm omgekeerde osmose. Een ander argument ten gunste van ED kan de eis van een hoge recovery van de voeding zijn. Voor een ED-installatie die 10 m³ afvalwater per dag behandeld afkomstig uit de oppervlaktebehandeling van metalen rekent men op een investeringskost van 200 000 € en een operationele kost van 50 000 €/jaar. Afhankelijk van de aard van het afvalwater kunnen de kostprijzen sterk afwijken

²⁶ minder energieverbruik in vergelijking met drukgedreven membranen alsook omwille van de relatief lage vereiste spanning (<1,8 V), bv. in vergelijking met EDR met maar twee elektroden waartussen een kationische membraan (CM) en anionische membraan (AM) elkaar afwisselen

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
Donnan Dialyses (DD) <i>Donnan dialyse</i>	-zouten -nutriënten -metalen	-algemeen: techniek in opkomst ²⁷ -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-afvalwater: 83% verwijdering van TAN (total ammonia nitrogen) ²⁸ -energie: minder energieverbruik in vergelijking met ED ²⁹	-geen info
Electrodeionisation (EDI) <i>Elektrodeïonisatie</i>	-zouten -geladen deeltjes	-algemeen: techniek in opkomst -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-terugwinning van ultrapuur water (0,0055-0,1 µS/cm) -zouten: 99,9% verwijdering -chemicaliën: geen	-geen info
Ion Exchange (IEX) <i>Ionenuitwisseling</i>	-zouten -nutriënten -kationen & anionen (80-99% rendementen) -zware metalen -sulfaten	-algemeen: toepasbaar -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-afvalwater: spoelwater en verzadigde regeneratievloeistof met soms schadelijke ionen	-geen kwalitatieve info (WASS ³⁰)
Mixed Bed Ion Exchange (IEX) / mixed bed polisher / mixed bed filter	-zouten -geladen deeltjes	-algemeen: techniek in opkomst -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-terugwinning van demi-water (0,1-10 µS/cm)	-geen kwantitatieve info ³¹

²⁷ laboschaal (total ammonia nitrogen)

²⁸ bij gebruik van DD in combinatie met ED en een transmembraan chemisorptie eenheid (Transmembrane Chemisorption - TMCS) – experimenteel stadium

²⁹ geen gebruik van elektrische stroom

³⁰ De investeringskost van een ionenuitwisselingsinstallatie is opgedeeld in kolomkosten en leidingwerk enerzijds en de harsen anderzijds. De werkingskosten zijn afhankelijk van de concentraties aan ionen in de te behandelen stroom. Hoe hoger de concentraties, hoe frequenter er dient geregenereerd te worden ([WASS - ionenuitwisseling](#)).

³¹ hogere CAPEX kost in vergelijking met IED (ionenuitwisseling)

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
<i>Gemengd bed ionenuitwisseling / polisher / filter</i>				
Electrodialysis with Bipolar Membranes (EDBM) <i>Elektrodialyse met bipolaire membranen</i>	-zouten	-algemeen: techniek in opkomst -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-waterterugwinning -afvalwater: tot 98,5% verwijderingsefficiëntie zouten	-geen kwantatieve info ³²
Electrodialysis Reversal (EDR) / Reverse Electrodialyse (RED) <i>Elektrodialyse Omkering / Omgekeerde Elektrodialyse</i>	-zouten -geladen deeltjes -metalen	-algemeen: techniek in opkomst -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-waterterugwinning: tot 94% -afvalwater: tot 95% verwijdering van totaal opgeloste zouten; terugwinning van metalen	-alg info uit literatuur ³³ : energieconsumptie: 7-15 kWh/m ³
Electrodialysis methathesis (EDM) <i>Elektrodialyse metathese</i>	-zouten	-algemeen: techniek in opkomst (pilootschaal) -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-waterterugwinning: tot 92% uit pekelstroom -afvalwater: hogere terugwinning van zouten in vgl met OO	-alg info uit literatuur ³⁴ : energieconsumptie: 0,6-5,1 kWh/m ³
Pertractie	-recalcitrante CZV	-algemeen: toepasbaar	-afvalwater -geen kwantitatieve info	-verouderde info uit WASS ³⁵ : 0,5 € per m ³ behandeld water

³² laag energieverbruik en lage onderhoudskosten in vergelijking met ED

³³ hoge investeringskost (in vergelijking met EDI?); matig energieverbruik, lagere onderhouds- en werkingskosten in vergelijking met OO (Panagopoulos A. & Haralambous K.J., 2020)

³⁴ energieverbruik stijgt ifv het totaal gehalte aan opgeloste zouten, extra energie vereist voor drogingsstap zouten (Panagopoulos A. & Haralambous K.J., 2020)

³⁵ [WASS - pertractie](#)

-kosten van pertractie zijn sterk afhankelijk van de hoeveelheid en de samenstelling van de te behandelen stroom en van de te bereiken eindconcentraties.

-voorbeeld: behandeling van afvalwater met trichlooretheenverontreiniging. De afvalstroom heeft een debiet van 10 m³/u en een concentratie organische stof van 10 mg/l. Voor een verwijdering van de verontreiniging tot 10 g/l bedragen de kosten ca 0,5 € per m³ behandeld water (prijs 2008). Dit maakt pertractie goedkoper dan luchtstrippen gevolgd door actief koolfiltratie (zie ook technische fiche 'PACT-systeem'), of alleen actief koolfiltratie over 2 filters in serie. Dit geldt ook voor debieten van 1.5 en 100 m³/u. Voor een biologisch afbreekbare stof als tolueen is de situatie duidelijk anders. Hier blijkt pertractie alleen voordeliger dan biologische zuivering of actief koolfiltratie, bij lage waterdebieten en hoge verwijderingspercentages.

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN <u>CONCENTRAATSTROMEN</u>	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
		-geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend		
Pervaporatie	-recalcitrante CZV	-algemeen: toepasbaar -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-afvalwater -geen kwantitatieve info	-geen info uit WASS ³⁶
Integrated permeate channel membranes (IPC) <i>Geïntegreerde permeaatkanaalmembranen</i>	-zouten	-beperkt aantal referenties uit literatuur -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-afvalwater -geen kwantitatieve info	-geen kwantitatieve info ³⁷

³⁶ [WASS - pervaporatie](#) bevat geen informatie over gerealiseerde full-scale installaties.

³⁷ hoge CAPEX en OPEX om geconcentreerde zoutstroom uit het ene bedrijf te integreren in een ander bedrijf (CAK-activiteit)

4.1.2 THERMISCH GEBASEERDE TECHNIEKEN

BESCHRIJVING

Bij thermisch gebaseerde technieken is temperatuur de drijvende kracht voor de scheidingsprocessen.

Voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen kunnen thermische technieken worden toegepast. Enerzijds kan het aanwezige water (deels) worden verdampt via verhitting. Anderzijds kan concentratie van water of bepaalde stoffen bekomen worden via kristalvorming.

Innovaties in het kader van concentraatstromen bestaan er bv. in dat gebruik gemaakt wordt van zonne-, wind- of recuperatie-energie ipv fossiele brandstoffen, of het combineren van technieken zoals verdamping/indamping en kristallisatie.

TECHNISCHE TOEPASBAARHEID

Het aantal geavanceerde thermisch gebaseerde technieken die anno 2022 effectief in Vlaanderen (of daarbuiten) worden toegepast voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen zijn eerder beperkt (zie Tabel 7). In bijlage 3 worden een aantal praktijkcases besproken die effectief worden toegepast en/of potentieel hebben in Vlaanderen.

Een technische fiche van verdamping/indamping is terug te vinden in PRAKTIJKCASE 2. Concreet gaat het om 3 Vlaamse cases:

- opconcentratie van Li-houdend brijn via OO en vacuumverdamping, na fysicochemische zuivering in een bedrijf gespecialiseerd in materiaaltechnologie en recyclage
- verdere concentratie van OO-concentraat via indamper in een groenteverwerkend diepvriesbedrijf
- samenwerkingsverband tussen de chemische industrie en veevoederproducent, waarbij een specifieke processtroom apart wordt opgevangen en ingedampt (zonder energierecuperatie) met het oog op valorisatie als product voor bijmenging in voeder.

Daarnaast is er nog 1 buitenlandse case kort toegelicht.

Een technische fiche van kristallisatie is terug te vinden als PRAKTIJKCASE 3. Anno 2022 zijn er volgens de geïnterviewden (nog) geen concrete cases geïmplementeerd in Vlaanderen in het kader van de behandeling en valorisatie van concentraatstromen. De hoge energiekost van deze bijkomende zuiveringsstap is een mogelijke reden. Er werden ook geen buitenlandse cases in kaart gebracht.

Thermisch gebaseerde technieken kunnen ingezet worden voor de behandeling en valorisatie van concentratie. Het type (of combinatie van) techniek dient gekozen te worden ifv het te behandelen afvalwater en de parameters die opgeconcentreerd en /of teruggewonnen moeten worden en hangt af van de bedrijfsspecifieke situatie.

Voor de verwijdering van gevaarlijke stoffen (bv. textielverdelingsproducten) kan verbranding toegepast worden. Verbranding van brijn zou geen optie zijn omwille van de afwezigheid van organische fractie.

Voornamelijk in het kader van het opconcentreren van bv. recalcitrante CZV of zouten of de terugwinning van bv. zware metalen of nutriënten (valoriseren van concentraatstromen) zijn thermisch gebaseerde technieken aangewezen.

MILIEU-IMPACT

Thermisch gebaseerde technieken kunnen ingezet worden voor het verwijderen/opconcentreren van o.a. recalcitrante CZV, stikstof, ammoniak, PO₄-P, zware metalen, calcië (CaCO₃), sulfides, zware metalen, AOX/EOX, fenolen, oliën en zouten.

Thermisch gebaseerde technieken vereisen (veel) energie. Het energieverbruik kan geoptimaliseerd worden door gebruik te maken van hernieuwbare energiebronnen of het aanwenden van gerecupereerde energie.

Bij verdamping ontstaat er geen waterige afvalstroom (in vergelijking met bv. membraan gebaseerde processen). Niet-valoriseerbare reststromen (bv. assen) zijn te beschouwen als afval.

Bij het inzetten van (gezuiverd) afvalwater in het productieproces kan bespaard worden op het waterverbruik.

FINANCIËLE ASPECTEN

Voor een aantal thermisch gebaseerde technieken werden kostprijzen verzameld (zie Tabel 7 en PRAKTIJKCASES 2&3). Deze dienen echter met de nodige omzichtigheid geïnterpreteerd te worden. De investeringskosten zijn immers zeer bedrijfs- en locatieafhankelijk.

De kostprijs wordt o.a. bepaald door het type, de uitvoeringsvorm (al dan niet in combinatie met andere technieken), de procesvoering (bv. energierecuperatie of gebruik van alternatieve energiebronnen), het te behandelen volume, de gewenste zuivering, de valorisatie-, afzet- of afvoeropties, enz.

Andere factoren die een invloed hebben op de kostprijs zijn: de schaalgrootte, transportkosten (bv. afvoer van afval) en evt. (externe) verwerking van afval.

TABEL – THERMISCH GEBASEERDE TECHNIEKEN

Tabel 7 bevat voor elk van de geïnventariseerde thermisch gebaseerde technieken (zie excel, H3) een beschrijving van de technische toepasbaarheid, de milieu-impact en de financiële aspecten.

Tabel 5: Beschrijving van de thermisch gebaseerde technieken

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR <u>BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN</u>	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
Distillation/rectification <i>Destillatie/rectificatie</i>	-recalcitrante CZV -stikstof -ammoniak -AOX/EOX -zouten	-techniek in opkomst ³⁸ -VCM maakt melding van 1 concrete case in Vlaanderen: full-scale installatie voor stripping/scrubbing ³⁹	-waterterugwinning ⁴⁰ -afvalwater -energie: zeer energie intensief, interessant in combinatie met bv. zonne- of restenergie -geen kwantitatieve info	-alg info uit literatuur ⁴¹ : energieconsumptie: multi-effect destillatie: 7,7-21 kWh/m ³ , multistage flash destillatie: 12,5-24 kWh/m ³ -geen info uit praktijkcase

³⁸ Stripping/scrubbing (ammoniumsulfaat of -nitraat als kunstmestvervanger, N-verarmde dunne mest voor afzet op Vlaamse bodem) als techniek in opkomst weerhouden voor de behandeling van de dunne mestfractie in het addendum bij de BBT-studie mestverwerking (2020) – techniek anno 2022 verder in onderzoek/ontwikkeling in tal van projecten en doctoraatsonderzoeken (evt. in combinatie met overige technieken)

³⁹ VCM, input BC nav draft 3, 2023; [IVACO](#) | [Detricon](#)

Installatie (capaciteit tot 20 m³/dag) is ontwikkeld ikv het DIGESMART-project voor de verwerking van de vloeibare fractie van varkensmest en digestaat tot een ammoniumnitraatoplossing.

⁴⁰ combinatie van verdamping en condensatie

⁴¹ Panagopoulos A. & Haralambous K.J., 2020

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
Evaporation <i>Verdamping / indamping</i>	-zouten -stikstof -AOX/EOX -nutriënten	-algemeen: toepasbaar -in Vlaanderen: zou toepasbaar en haalbaar zijn bij warmterecuperatie <i>-zie ook bijlage 3 – praktijkcase 2</i>	-waterterugwinning: igv condenseren van verdampt water -energie: vacuumverdamping: energie-intensief -chemicaliën: herwonnen -geen kwantitatieve info	-info uit praktijkcase ⁴² : CAPEX evaporatoren: 6000 k€ OPEX evaporatie/kristallisatie >500 000 €/j -alg info uit literatuur ⁴³ : sproeidroger: energieconsumptie: 52-64 kWh/m ³ -verouderde info uit WASS ⁴⁴ : energieverbruik: 0,25 kWh per liter verdampt water – 0,45 kWh per liter stroperige of geconcentreerde vloeistoffen; investeringskosten: 50 000 – 245 000 €

⁴² geschatte kostprijzen CAPEX RO: 1600 k€, evaporatoren: 6000 k€ (op een totaal van 10 500 k€, incl. gebouw, piping, pompen, engineering), als uitbreiding van biologie met het oog op waterrecuperatie (+/- 1 500 000 m³/d); OPEX evaporatie/kristallisatie >500 000 €/j (op een totaal van >5000000 €/j); indamper op zuiveringsslib voor aanmaak proceswater: grootteorde 2000 k€ voor 15 m³/u (enkel indamper en randapparatuur, incl. valorisatie restwarmte); recuperatie van water uit effluent via UF/RO: grootteorde 500 k€ voor 15 m³/u (enkel UF/RO en randapparatuur)

⁴³ Panagopoulos A. & Haralambous K.J., 2020

⁴⁴ [WASS-indampen](#)

-De investeringskost voor een MDR installatie is hoog. De rendabiliteit is vaak afhankelijk van volgende parameters: energiekost; mogelijkheid om lozingsheffing en wateropname te verminderen door waterhergebruik; kostprijs voor afvoer van het condensaat (of opbrengst).

-Vacuumindamping - Een typisch verbruik is 0,25 kWh per liter verdampt water. Voor stroperige of geconcentreerde vloeistoffen is dit hoger, tot 0,45 kWh/l. De investeringskost voor een vacuumindampinstallatie met warmtepomp uit roestvrij staal bedraagt ca 50 000 € voor een installatie van 70 l/u; ca. 155 000 € voor een installatie van 300 l/u. Uitvoeringsvormen in speciale staalsoorten of in titaan kosten grootteorde de helft meer. Bijvoorbeeld een installatie uit inox 316 voor een debiet van 300 l/u heeft een investeringskost van 245 000 €. Naast de energiekosten moeten ook onderhoudskosten gerekend worden (regelmatig schoonmaken van warmtewisselaars, wisselstukken, ...). Deze variëren sterk van geval tot geval.

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR <u>BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN</u>	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
Crystallization <i>Kristallisatie</i>	-zouten -nutriënten -zware metalen -calciet (CaCO ₃)	-algemeen: toepasbaar -in Vlaanderen: zou toepasbaar en haalbaar zijn bij warmterecuperatie -techniek vermeld tijdens interviews met oog op verdere behandeling van concentraatstromen in de toekomst <i>-zie ook bijlage 3 – praktijkcase 3</i>	-waterterugwinning: MDC: tot 90% -afvalwater -energie	-geen info uit praktijkcase -alg info uit literatuur ⁴⁵ : energieconsumptie MCr: 39-73 kWh/m ³ ; EFC: 43,8-68,5 kWh/m ³ -verouderde info uit WASS ⁴⁶ : investeringskost: 500 000 € energieverbruik: 220 kWh
Waste water incineration <i>Afvalwaterverbranding</i>	-recalcitrante CZV -AOX/EOX -stikstof -zware metalen -fenolen -oliën	-algemeen: toepasbaar -in Vlaanderen: afvoer voor verbranding van concentraatstroom via externe verwerker (gemengd met andere afvalstromen); verbranding van brijn zou geen optie zijn omwille van de afwezigheid van organische fractie	-energie: intensief -afval: reststroom -geen kwantitatieve info	-geen info

⁴⁵ Panagopoulos A. & Haralambous K.J., 2020

⁴⁶ Case studie voor toepassing van een korrelreactor voor fluorideverwijdering uit een stroom met een debiet van ~10 m³/uur ([WASS - pelletkristallisator - korrelreactor](#)).

4.1.3 GEAVANCEERDE OXIDATIETECHNIEKEN

BESCHRIJVING

Door het oxideren van stoffen in afvalwater worden deze omgezet naar andere parameters die beter afgebroken kunnen worden (bv. laagmoleculaire biologisch afbreekbare stoffen). Bij dit type van technieken is zuurstof (uit de lucht of in zuivere vorm) de drijvende kracht voor de behandeling van waterige stromen.

Voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen kunnen geavanceerde oxidatietechnieken worden toegepast. Geavanceerde oxidatietechnieken zijn variaties op de klassieke chemische oxidatie, waarbij bv. gewerkt wordt bij hoge druk of bij lagere of subkritische procesomstandigheden, al dan niet mbv chemicaliën of katalysatoren, trillingen of in combinatie met technieken zoals biologische of UV-behandeling.

TECHNISCHE TOEPASBAARHEID

Het aantal geavanceerde oxidatietechnieken die anno 2022 effectief in Vlaanderen (of daarbuiten) worden toegepast voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen zijn eerder beperkt. In bijlage 3 is een technische fiche van AOP terug te vinden in PRAKTIJKCASE 4. Op basis van de beschikbare informatie zou de techniek in Vlaanderen nog niet toegepast worden voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen. Er zijn wel enkele voorbeelden terug te vinden in Azië maar details ontbreken om een uitspraak te doen over het potentieel van deze techniek in het kader van concentraatstromen in Vlaanderen.

AOP kunnen ingezet worden voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen met toxische of moeilijk biologisch afbreekbare componenten, in combinatie (als voorbehandeling) met andere waterzuiveringstechnieken, bv. biologische zuivering of UV-behandeling. Het type (of combinatie van) techniek dient gekozen te worden ifv het te behandelen afvalwater en de parameters die afgebroken moeten worden (zie Tabel 8) en hangt af van de bedrijfsspecifieke situatie.

Voornamelijk in het kader van het beter afbreekbaar maken van componenten in concentraatstromen bv. biologisch moeilijk afbreekbare stoffen, zijn AOP aangewezen.

MILIEU-IMPACT

Geavanceerde oxidatietechnieken kunnen ingezet worden voor de verwijdering van recalcitrante CZV, nutriënten, organische componenten en micropolluenten, zwavelcomponenten, organische chlorides en toxische componenten.

Geavanceerde oxidatietechnieken vereisen energie bv. bij hoge temperatuurvariaties. Afhankelijk van de uitvoeringsvorm worden chemicaliën toegevoegd. Uitgewerkte katalysatoren komen vrij als een (slibachtige) afvalstromen.

FINANCIËLE ASPECTEN

Voor een aantal AOP werden kostprijzen verzameld (zie Tabel 8 en PRAKTIJKCASE 4). Deze dienen echter met de nodige omzichtigheid geïnterpreteerd te worden. De investeringskosten zijn immers zeer bedrijfs- en locatieafhankelijk.

De kostprijs wordt o.a. bepaald door het type, de uitvoeringsvorm (al dan niet in combinatie met andere technieken), de procesvoering, het te behandelen volume, de gewenste zuivering, de valorisatie-, afzet- of afvoeropties, enz.

Andere factoren die een invloed hebben op de kostprijs zijn: de schaalgrootte, transportkosten (bv. afvoer van afval) en evt. (externe) verwerking van afval.

Installaties (bv. pompen, leidingen uit hoogwaardige materialen) die bestand zijn tegen hoge drukken zijn vermoedelijk ook duurder in aankoop.

TABEL – GEAVANCEERDE OXIDATIETECHNIEKEN

Tabel 8 bevat voor elk van de geïnventariseerde geavanceerde oxidatietechnieken (zie excel, H3) een beschrijving van de technische toepasbaarheid, de milieu-impact en de financiële aspecten.

Tabel 6: Beschrijving van de geavanceerde oxidatietechnieken

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
Chemische oxidatie bij hoge temperatuur en druk	-recalcitrante CZV -nutriënten -organische componenten -micropolluenten	-techniek 1x vermeld tijdens interview -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend (klassieke chemische oxidatie: bewezen techniek)	-afvalwater: CZV-verwijdering: 70-99% -energie	-geen kwantatieve informatie uit cases ⁴⁷ -verouderde info uit WASS ⁴⁸ : Systeem met ozon: energieverbruik voor productie O ₃ vertrekkende van zuivere zuurstof: 6 à 15 kWh/kg O ₃ , uit lucht: 17 à 30 kWh/kg O ₃ ; kostprijs energie: 0,06 €/kWh; geproduceerde ozonconcentratie: 8 - 10% (10 à 12 kg O ₂ / kg O ₃); kostprijs zuurstof: 140 €/ton. OPEX (energie en zuurstof): 1-2 €/m ³ . CAPEX ozongenerator (capa 1,5 kg ozon/u): 100 000 €. De dosering van vloeibare oxidatie zoals H ₂ O ₂ : lage investeringskost. Bij activatie met UV: investeringskosten beduidend hoger, bv. 65 000 € ⁴⁹

⁴⁷ Werken bij hoge druk brengt wellicht extra kosten met zich mee.

⁴⁸ [WASS - chemische oxidatie](#)

-kosten afhankelijk van debiet afvalwater, aard en concentratie van pollutant, aanwezigheid storende componenten, gewenst rendement, enz.;
-contacttank en leidingwerk dienen bestendig te zijn tegen de oxiderende condities.

⁴⁹ Voor de oxidatie van een afvalwaterstroom van 1 m³/u en 5 000 mg CZV/l bedraagt de investeringskost voor de UV-lampen ongeveer 65 000 €.

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
Wet air oxidation (WAO) <i>Natte lucht oxidatie</i>	-organische stoffen (weinig selectief): 95-99,9% verwijdering -CZV	-algemeen: techniek in opkomst, bv. toepassing van AOP in combinatie met biologie – pilotschaal (ozonisatie, UV, Fenton en testen op elektrochemische uitvoeringsvorm) -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-afvalwater: opgeloste stoffen in effluent -energie: terugwinning mogelijk via warmtewisselaars -geen kwantitatieve info	-algemene informatie uit literatuur: hoge investerings- en werkingskosten in vergelijking met chemische oxidatie (bv. mbv UV) -BREF CWW ⁵⁰ : wet oxidation with H ₂ O ₂ : CAPEX: 300.000 – 900.000€ OPEX: 1-1,5 €/kg CZV verwijderd of 3-30 €/m ³ behandeld WAO: 2-12 mio€ (10-40 €/m ³) OPEX: 40-80 €/m ³ -verouderde info uit WASS ⁵¹ : OPEX: 10-60 €/ton
Super critical water oxidation (SCWO) <i>Superkritische wateroxidatie</i>	-zie WAO	-zie WAO	-zie WAO	-verouderde info uit WASS ⁵² : OPEX: 30-100 €/ton
Catalytic Wet Air Oxidation (CWAO) <i>Katalytische natte lucht oxidatie</i>	-toxische CZV-componenten -organische stikstof -ammoniak -zwavelcomponenten -organische chlorides	-techniek in opkomst -techniek toegelicht tijdens interview -geen concrete cases in Vlaanderen gekend, wel in Azië -zie ook bijlage 3 – praktijkcase 4	-zie WAO	-info uit case ⁵³ : CAPEX: 2 – 6 miljoen €
Photocatalytic water purification technology <i>Fotokatalytische waterzuiveringstechnologie</i>	-toxische componenten	-geen concrete cases gekend -fotokatalytische oxidatie zou in Vlaanderen niet worden uitgevoerd	-afvalwater -geen kwantitatieve info	-geen info

⁵⁰ BREF CWW: tabel 3.56 (wet oxidation with H₂O₂) en tabel 3.63 (WAO)

⁵¹ [WASS - WAO en SCWO](#)

De behandelingskosten hangen in sterke mate af van de schaalgrootte, de benodigde behandelingscondities en -tijd, en de materiaalvereisten die gesteld worden aan de reactor (bv. om corrosie te vermijden). De werkingskosten worden vooral bepaald door de energiekosten gerelateerd aan het verpompen van het influent en het comprimeren van de lucht of zuurstof. Daarnaast dragen ook personeelskosten t.g.v. onderhoud bij. Prijsindicaties is info tot 1994.

⁵² [WASS - WAO en SCWO](#): Prijsindicaties is info 2001.

⁵³ CAPEX: afhankelijk van de grootte van de installatie; installatie loopt mogelijks onder drukken tot 80 bar en temperaturen tot 280°C; excl. prijs van de katalysator

OPEX: relatief laag; Indien de CZV-concentratie voldoende hoog is (>10 000 ppm) zodat de installatie energie-zelfvoorzienend systeem is, is de werkingskost vergelijkbaar met de werkingskost voor een aerobe zuiveringsinstallatie. De werkingskost voor een CWAO bestaat uitsluitend uit hulpstoffen (katalysator) en energie (elektriciteit).

4.1.4 BIOLOGISCHE TECHNIEKEN

BESCHRIJVING

Biologische processen worden courant ingezet voor het zuiveren van afvalwater. In een klassieke afvalwaterzuiveringstrein zijn deze biologische processen de hoofdzuiveringsstap, voorafgegaan door een voorzuivering (bv. zeven, filters, DAF) en een nazuivering (bv. fysico-chemische P-verwijdering).

Geavanceerde biologische processen kunnen ook ingezet worden als nabehandeling en/of polishing stap, voor de verwijdering van specifieke componenten (bv. zouten en metalen).

Innovaties in het kader van concentraatstromen bestaan er bv. in dat gebruik gemaakt wordt van zouttolerante bacteriën, al dan niet gefixeerd op plantenwortels of het toevoegen van actieve kool of chemicaliën thv de biologische zuivering.

TECHNISCHE TOEPASBAARHEID

Biologische zuivering is een courant toegepaste waterzuiveringstechniek met het oog op het verwijderen van o.a. organische stoffen en nutriënten zoals stikstof en fosfor. In veel gevallen wordt een biologische zuiveringsstap in een klassieke zuiveringstrein voorafgegaan door een primaire zuivering (zeven, filters, DAF, fysico-chemie) voor het verwijderen van bv. grove deeltjes, vetten/oliën.

Ook voor het verder behandelen van afvalwater en het verwijderen van specifieke componenten zijn biologische technieken aangewezen, veelal als nazuivering. Deze biologische processen met het oog op het verwijderen van specifieke componenten zoals zouten, metalen, enz. vergen een goede opvolging en bijsturing. Een aantal uitvoeringsvormen (bv. rietveld, wilgenveld, PACT) worden toegepast in Vlaanderen.

MILIEU-IMPACT

Door het afvalwater biologisch te zuiveren, wordt de hoeveelheid onzuiverheden die in het milieu terecht komt beperkt, bv. organische stoffen en nutriënten in oppervlaktewater. Bij het inzetten van (gezuiverd) afvalwater in het productieproces kan bespaard worden op het waterverbruik. Het zuiveren van afvalwater vereist mogelijk hulpstoffen (bv. actieve kool bij PACT), chemicaliën (bv. bij SulfateqTM) en energie. Uitgewerkte actiefkooldeeltjes worden mee afgescheiden via het slib thv de biologie.

Volgens Rietland (persoonlijke communicatie, 2022) worden zouten in een rietveld nauwelijks verwijderd, met uitzondering eventueel van nitraat bij een geschikt type van rietveld. De meeste van deze systemen zijn aangelegd voor de behandeling van afvalwater en op zouten wordt er maar sporadisch gemonitord en zeker niet specifiek na een periode van droogstand. Concrete meetgegevens konden niet beschikbaar gesteld worden die aantonen dat er een flush van zouten zou zijn na een periode van droogte (nullozing).

FINANCIËLE ASPECTEN

Voor een aantal geavanceerde biologische processen: zie Tabel 9 en PRAKTIJKCASE 4. Deze dienen echter met de nodige omzichtigheid geïnterpreteerd te worden. De investeringskosten zijn immers zeer bedrijfs- en locatieafhankelijk.

De kostprijs wordt o.a. bepaald door het type, de uitvoeringsvorm (al dan niet in combinatie met andere technieken), de procesvoering, het te behandelen volume, de gewenste zuivering, de valorisatie-, afzet- of afvoeropties, enz. Andere factoren die een invloed hebben op de kostprijs zijn: de schaalgrootte, transportkosten (bv. afvoer van afval) en evt. (externe) verwerking van afval.

TABEL – DIVERSE TECHNIEKEN

Tabel 9 bevat en voor elk van de geïnventariseerde biologische technieken (zie excel, H3) een beschrijving van de technische toepasbaarheid, de milieu-impact en de financiële aspecten.

Tabel 7: Samenvatting biologische technieken

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
Biologische behandeling: - met halofiele bacteriën - behandeling in rietveld of wilgenveld Biosorptie – fyto-extractie door halofytenfilter of zoutminnende planten	- organische stoffen - nutriënten (tikstof en fosfor) - zouten - metalen	- algemeen: toegepast voor verdere nabehandeling concentraat met oog op bijkomende stikstof- en fosforcaptatie voorafgaand aan de lozing van dit concentraat - wilgenveld: in Vlaanderen: full scale toepassing voor verdere zuivering van RWZI-effluent	- waterterugwinning - afvalwater: 30% van de nutriënten verwijderd, alsook een deel van de zware metalen (bv. 20% Zn) en de organische belasting (10-15%) ⁵⁴ . - chemicaliën: hulpstoffen - afval: slib	- geen info uit case - info uit literatuur ⁵⁵ : CAPEX: 345 000 euro; OPEX: (onderhoud en oogst wilgen): 10 000 euro
Sulfateq (biologische sulfaatverwijdering)	- sulfaat - nutriënten - metalen	- beperkt aantal referenties uit literatuur - geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	- waterterugwinning - afvalwater - chemicaliën: hulpstoffen - afval: slib - geen kwantitatieve info	- geen info

⁵⁴ Proefproject (VMM, 2022)⁵⁵ De kostprijs van een biologische zuivering varieert sterk naargelang o.a. het type, de uitvoeringsvorm en de grootte van het systeem alsook de te behandelen debieten en afvalwaterstromen.

Derden A. et al, 2022 beschrijft een aantal voorbeelden van biologische zuiveringssystemen toegepast ter voorkoming van afstromen van erfsappen, o.a. Case 2 – wilgenveld ingezet voor de behandeling van RO-concentraat met een debiet van 250-500 l/u.

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR <u>BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN</u>	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
Powdered Activated Carbon Treatment (PACT) <i>Behandeling met actieve kool in poedervorm</i>	-toxische of moeilijk biodegradeerbare stoffen -CZV	-algemeen: toepasbaar -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	- waterterugwinning -afvalwater -chemicaliën: hulpstoffen -afval: slib -geen kwantitatieve info	-verouderde info uit WASS ⁵⁶ : CAPEX: 150.000 €; OPEX: 2 €/kg

⁵⁶ [WASS - PACT](#)

-investeringskosten voor een automatisch doseersysteem met big-bags; manuele dosering is ook mogelijk voor kleine installaties of noodinterventies en vergt geen investering;
-ingeschatte werkingskost voor poeder actieve kool.

4.1.5 DIVERSE TECHNIEKEN

BESCHRIJVING

Voor de selectieve verwijdering van afvalwatercomponenten zijn er, naast de eerder beschreven technieken, nog andere technieken beschikbaar, zoals bv. adsorptie, coagulatie/precipitatie, electrocoagulatie en extractie en fosfaat leaching. Deze technieken kunnen ingebouwd worden in een afvalwaterzuiveringstrein met het oog op het afscheiden van specifieke componenten, zoals (an)organische stoffen, recalcitrante CZV, P-houdende componenten of metalen.

TECHNISCHE TOEPASBAARHEID

Adsorptie, coagulatie/precipitatie, electrocoagulatie en extractie zijn te beschouwen als algemeen toepasbare waterzuiveringstechnieken. Echter het inzetten van deze technieken, met het oog op het verwijderen van specifieke componenten vergt mogelijk bijkomend onderzoek (bv. fosfaat uitloging/fosforprecipitatie uit dikke mestfractie).

Voornamelijk in het kader van het verder behandelen van afvalwater en het verwijderen van specifieke componenten zoals bv. metalen, organische componenten, recalcitrante CZV, fosfaathoudende componenten, AOX/EOX, nutriënten, sulfaten, metalen, fenolen en micropolluenten zijn diverse technieken aangewezen, veelal als nazuivering.

MILIEU-IMPACT

Door het afvalwater te zuiveren, wordt de hoeveelheid onzuiverheden die in het milieu terecht komt beperkt, bv. organische stoffen en nutriënten in oppervlaktewater. Bij het inzetten van (gezuiverd) afvalwater in het productieproces kan bespaard worden op het waterverbruik.

Zoals ook het geval bij de biologische zuiveringssystemen wordt er in bepaalde uitvoeringsvormen (bv. actief kooladsorptie) gebruik gemaakt van chemicaliën en/of hulpstoffen. Deze kunnen vloeibaar (bv. extractievloeistoffen) of vast (bv. actieve kool, ijzerpellets) zijn. Er ontstaan afvalstromen (vloeibaar of slibvormig) bij toepassen van bepaalde technieken.

In specifieke toepassingen, bv. fosfaat uitloging / fosforprecipitatie kunnen de gevormde producten (o.a. struviet, calcium- of magnesiumfosfaat) inzet worden als kunstmestvervanger.

FINANCIËLE ASPECTEN

De kostprijs van waterzuiveringstechnieken wordt o.a. bepaald door het type, de uitvoeringsvorm (al dan niet in combinatie met andere technieken), de procesvoering, het te behandelen volume, de gewenste zuivering, de valorisatie-, afzet- of afvoeropties, enz.

Andere factoren die een invloed hebben op de kostprijs zijn: de schaalgrootte, transportkosten (bv. afvoer van afval) en evt. (externe) verwerking van afval.

TABEL – DIVERSE TECHNIEKEN

Tabel 10 bevat voor elk van de geïnventariseerde diverse technieken (zie excel, H3) een beschrijving van de technische toepasbaarheid, de milieu-impact en de financiële aspecten.

Tabel 8: Beschrijving van de diverse technieken

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR <u>BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN</u>	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
Actieve kool adsorptie	-recalcitrante CZV -AOX/EOX -stikstof -zware metalen -fenolen; -organische componenten - micropolluenten	-algemeen: toepasbaar -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-afvalwater -chemicaliën: hulpstoffen -afval: slib -geen kwantitatieve info	-verouderde info uit WASS ⁵⁷ OPEX: actieve kool: 1,28 – 2,06 €/kg; Afvoer afval: 0,1 €/kg bij storten; 0,5 €/kg bij afvoer als chemisch afval; gemiddelde totale kosten: 0,05-4 €/m ³ behandeld water
Ijzerpellet adsorptie	- fosfaathoudende componenten -arseen	-techniek in opkomst -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-afvalwater -afval: slib -geen kwantitatieve info	-geen info

⁵⁷ [WASS-adsorptietechnieken](#)

De kostprijzen variëren sterk en zijn afhankelijk van opgelegde lozingsnormen, beladingsgraad en debieten. De prijs van actief kool: bruinkool-geregenereerde actief kool. De techniek is duurder als de influentconcentraties hoog zijn of als de beladingsgraad van de actieve kool laag is.

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
Coagulatie/precipitatie	-recalcitrante CZV -PO ₄ -P -zware metalen (>60%) -sulfaten -organische en anorganische componenten	-algemeen: toepasbaar -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-afvalwater -afval: slib -geen kwantitatieve info	-verouderde info uit WASS ⁵⁸ : CAPEX: 75.000-105.000 €; OPEX: chemicaliën: 0,15 tot 5 €/kg; afvoerkosten slib: ~ 500 €/ton droge stof

⁵⁸ [WASS - coagulatie en flocculatie](#):

CAPEX: reactietanken en buffervaten, polymeeraanmaakinstallatie, lamellenseparator of bezinkingsbekken, slibopslagtank en eventueel filterpers, leidingen, elektriciteit en automatisatie.

OPEX: hoofdzakelijk chemicaliënverbruik (afhankelijk van dosering en kostprijs per kilogram product), energiekosten, onderhouds- en personeelskosten.

Case studie (2007) debiet 70 m³/uur, DAF installatie met pijpflocculator, poly elektrolyt aanmaakunit en doseerpomp en slibpomp: 105 000 € investeringskost.

Case studie (2008) debiet 30 m³/dag, DAF installatie met doseerpompen, meet- en regelapparatuur, slibtank en sturing, 75 000 € investeringskost.

TECHNIEK	VERWIJDERBARE COMPONENTEN (NIET-LIMITATIEVE LIJST)	FASE VAN ONTWIKKELING VOOR BEHANDELING VAN CONCENTRAATSTROMEN	MILIEU-IMPACT (FOCUSPARAMETERS VAN DEZE STUDIE)	VOORBEELDEN VAN KOSTPRIJZEN
Electrocoagulatie	-CZV (organische verbindingen) -nutriënten (fosfaten) -zware metalen (ovv oxiden of onoplosbare Fe- of Al-precipitaten) -anorganische zouten (bv. CN ⁻)	-algemeen: toepasbaar -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-afvalwater: uitgevlokte vervuiling -afval: slib -geen kwantitatieve info	-verouderde info uit WASS ⁵⁹ : >0,15 €/m ³
Extractie	-recalcitrante CZV -AOX/EOX -fenolen	-algemeen: toepasbaar -geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend	-afvalwater: extractievloeistof en vervuiling	-geen kwalitatieve info uit WASS ⁶⁰
Fosfaat leaching	-fosforzouten	-techniek in opkomst -case verwerking dunne mest(fractie) ⁶¹	-fosforzouten als kunstmestvervanger -N-rijke mineralenconcentraat als kunstmestvervanger -K-rijke dunne mest voor afzet op Vlaamse bodem	-geen info

⁵⁹ [WASS-electrocoagulatatie](#)

De gemiddelde kosten ten opzichte van vergelijkbare technieken (bv. coagulatatie, flocculatie) liggen gelijk of hoger. Geschatte minimale kost is voor grote installaties. Deze kost bestaat in hoofdzaak uit het elektriciteitsverbruik, in mindere mate het vervangen van de elektroden.

⁶⁰ [WASS - extractie](#)

-kostprijs in sterke mate afhankelijk van de specifiek case, afh van de efficiëntie van het beoogde proces, de beoogde verwijderingsefficiëntie; de benodigde installatie voor de opzuivering van de extractievloeistof; het type installatie dat ingezet kan worden en schaalgrootte. De kosten voor extractie liggen hoog in vergelijking tot meer klassieke zuiveringstechnieken. De techniek wordt dan ook in specifieke cases toegepast waarbij zowel de geëxtraheerde stoffen als de extractievloeistof zelf gerecupereerd worden.

⁶¹ Als techniek (fosforzouten als kunstmestvervanger, N-rijke mineralenconcentraat als kunstmestvervanger en K-rijke dunne mest voor afzet op Vlaamse bodem) in opkomst weerhouden voor de behandeling van de dunne mestfractie in het addendum bij de BBT-studie mestverwerking (2020).

4.2 VALORISATIEOPTIES VAN HERWONNEN STOFFEN EN WATER

In onderstaande paragrafen worden een aantal opties voor toepassing van herwonnen stoffen en water toegelicht. Deze informatie is grotendeels gebaseerd op literatuuronderzoek en waar mogelijk aangevuld aan de hand van concrete cases (Input Q & interviews, 2022). De toepasbaarheid ervan voor Vlaamse bedrijven dient case-by-case onderzocht te worden, in overleg met de vergunningverlenende overheden.

ZOUTEN

Teruggewonnen zouten kunnen in theorie ingezet worden als strooizout. In de praktijk wordt dit gezien als een laagwaardige toepassing. In veel gevallen gaat het om beperkte hoeveelheden met variaties in samenstelling. Door de aanwezige verontreinigingen is mogelijk niet voldaan aan o.a. de EU-specificaties (EN 973) inzake samenstelling en zuiverheid om toegepast te mogen worden als strooizout.

METALEN

Teruggewonnen metalen kunnen terug ingezet worden in het eigen productieproces (bv. Ag en Li in de metallurgie) of op de markt gebracht worden door externe verwerkers van (concentraat)stromen, voor zover voldaan kan worden aan de kwaliteitsvereisten voor toepassing.

NUTRIËNTEN

Teruggewonnen nutriënten kunnen ingezet worden als bodemverbeterend middel, mits voldaan aan de geldende regelgeving (zie Tabel 11).

Tabel 9: Toepassing van herwonnen nutriënten uit concentraatstromen

VOORBEELDEN VAN TOEPASSING	SPECIFICATIES	REFERENTIE(S)
Hergebruik als bodemverbeterend middel	- Door toepassing selectieve terugwinningstechnieken op concentraatstromen - Bv. ammoniumzouten, mineralenconcentraten - Grondstofverklaring OVAM	- Arola et al., 2019 - Balendonck et al., 2010 - Derden et al., 2012 - Derden et al., 2015 - Derden et al., 2020 - Manuresource 2021/2022 - Van den Abeele et al., 2015 - Input Q & interviews, 2022

Bij behandeling van concentraatstromen afkomstig van de bewerking van de dunne mestfractie (bv. strippen/scrubben) blijft het product het label van dierlijke mest behouden.

- Wettelijk EU-kader: zie [SAFEMANURE](#) rapport.
- In afwachting van de vertaling van de RENURE-criteria in Europees en Vlaams beleid, heeft het Vlaams Coördinatiecentrum Mestverwerking een informatiedocument over Vlaamse RENURE-producten bezorgd aan DG ENVI, incl. een olijsting van de Vlaamse RENURE-producten ammoniumzouten, mineralenconcentraten en dunne fractie digestaat na doorgedreven scheiding ([VCM - SAFEMANURE](#)).

CHEMICALIËN

Teruggewonnen ionen kunnen ingezet worden voor de productie van chemicaliën (bv. loog, NaOH, HCl of NaSO₄) die ingezet kunnen worden in het eigen productieproces, voor zover voldaan wordt aan de kwaliteitseisen. Enkele voorbeelden zijn opgenomen in Tabel 12.

Tabel 10: Voorbeelden van toepassingen van herwonnen chemicaliën uit concentraatstromen

TOEPASSING	SPECIFICATIES	REFERENTIE(S)
pH-sturing OO	• zwavelzuur	• Input Q & interviews, 2022
Membraanspoelvloeistof bij toepassing van membraanelektrolyse	• chlooroplossing (javelwater)	• Input Q & interviews, 2022 • VLAKWA-Electrodis
Regeneratiewater voor harsen	• Harsen van waterbehandelingsinstallatie	• Derden et al., 2015 • Van den Abeele L. et al., 2015 • Input Q & interviews, 2022
Hergebruik in eigen productieproces	• Rechtstreeks hergebruik, bv. productie van chloor uit brijnstroom via elektrochemische behandeling	• Derden et al., 2010 • EC-JRC, 2016 • Input leden BC, 2021/2022 • De Schepper & Vanoppen, 2015 • Input Q & interviews, 2022 • Vlakwa_membraantechnologie zonder chemicaliëninput
Hergebruik in andere industriële processen (industriële symbiose)	• Mits aanpassing/selectieve verwijdering in concentraatstroom	• EC-JRC, 2016 • Morillo et al., 2014 • Track, 2016 • Input Q & interviews, 2022

WATER

Het teruggewonnen water bij de behandeling van concentraatstromen kan ingezet worden als proceswater, voor zover voldaan wordt aan de kwaliteitseisen. Enkele voorbeelden zijn terug te vinden in Tabel 13.

Tabel 11: Voorbeelden van toepassingen van herwonnen water uit concentraatstromen

TOEPASSING	SPECIFICATIES	REFERENTIE(S)
Hergebruik als gietwater (fyto-ontzilt)	• Voor dezelfde of zouttolerante teelten • Na verwijdering van NaCl en groeiremmers • In glastuinbouw of grondteelten	• Balendonck et al., 2010 • Jurgens et al., 2011 • Morillo et al., 2014 • Input Q & interviews, 2022
Hergebruik in aquacultuur	• Kweek van algen en schelp- en weekdieren • Na verwijdering gewasbeschermingsmiddelen en zware metalen	• Balendonck et al., 2010 • Jurgens et al., 2011 • Input VMM nav draft 2, 2022
Hergebruik als huishoudwater	• Niet voor consumptie • Doorspoelen, kuisen, wassen & sproeien	• Hofman-Caris et al., 2019

4.3 LOZEN, INJECTIE OF AFVOER VAN BEHANDELD AFVALWATER, GELINKT AAN CONCENTRAATSTROMEN

In onderstaande paragrafen worden een aantal opties voor lozing, injectie of afvoer van behandeld afvalwater gelinkt met concentraatstromen toegelicht. Deze informatie is grotendeels gebaseerd op literatuuronderzoek en waar mogelijk aangevuld aan de hand van concrete cases (Input Q & interviews, 2022). De toepasbaarheid ervan voor Vlaamse bedrijven dient case-by-case onderzocht te worden, in overleg met de vergunningverlenende overheden.

TERUGSTUREN NAAR DE BIOLOGIE

(Deels) behandelde concentraatstromen kunnen teruggestuurd worden naar een biologische afvalwaterzuiveringsinstallatie, op voorwaarde dat de goede werking van het biologisch systeem niet in het gedrang komen. Zo kunnen hoge zoutgehaltes de werking van de aanwezige bacteriën in klassieke biologische afvalwaterzuiveringsinstallaties negatief beïnvloeden of verhinderen. Halofiele bacteriën zijn wel zouttolerant(er).

Deze toepassing beoogt de uiteindelijke lozing van de waterige stroom (zie verder).

Bronnen: o.a. Huybrechts et al., 2002, Polders et al., 2021, [WASS-actiefslibstelsysteem](#), Input Q & interviews & 2022

LOZING OP OPPERVLAKTEWATER

Mits voldaan aan de geldende lozingsvoorwaarden voor lozing op oppervlaktewater kunnen (behandelde) concentraatstromen, al dan niet gemengd met ander bedrijfsafvalwater, geloosd worden op oppervlaktewater. Dit is een courant toegepaste praktijk in Vlaanderen. Indien lozing in bv. een kanaal, kan dat een invloed hebben op de samenstelling van het gecapteerde water stroomafwaarts.

Bronnen: o.a. Balendonck et al., 2010, De Waal, 2020, Heijnen, 2002, Hofman-Caris et al., 2019, Van Scheltinga et al., 2014 & Input Q & interviews, 2022

LOZING OP BRAK (ZOUT) WATER

Bij lozing van zouthoudend afvalwater dienen de condities van het ontvangende oppervlaktewater in rekening gebracht te worden. Dit vraagt veelal een case-by-case analyse. Lozing van dergelijke concentraatstromen in een zoute omgeving zoals brak (zout) water is hiervoor een optie, mits voldaan aan de geldende regelgeving. De zee en riviergedeelten dicht bij de monding in zee zijn voorbeelden van brak (zout) water.

Bronnen: o.a. Balendonck et al., 2010, De Waal, 2020, Jurgens et al., 2011 & Input Q & interviews, 2022

LOZING OP RIOOL

Mits voldaan aan de geldende lozingsvoorwaarden kunnen (behandelde) concentraatstromen, al dan niet gemengd met ander bedrijfsafvalwater, geloosd worden op riool. Verder behandeling gebeurt dan thv de RWZI.

De RWZI dient terdege uitgerust te zijn voor de behandeling van de ingenomen waterstromen. Door het mengen van afvalwaterstromen van verschillende bedrijven/activiteiten kan echter verdunning optreden.

Bronnen: o.a. Balendonck et al., 2010, De Waal, 2020, Heijnen, 2002, Hofman-Caris et al., 2019, Horemans & Huybrechts, 2021, Van den Abeele et al., 2011 & Input Q & interviews, 2022

VERDAMPINGSVIJVERS

In de literatuur is ook de optie verdampingsvijvers terug te vinden als valorisatieopties van zoute stromen. Deze techniek is vergelijkbaar met de zoutwinning uit zeewater via zoutpannen. Het is een

techniek die inzetbaar is in gebieden met een warm klimaat, bv. in Frankrijk (Vendee). In Vlaanderen is het klimaat hiervoor niet geschikt.

Bronnen: o.a. Input leden BC (2021/2022).

INJECTIE IN DE DIEPE ONDERGROND (BODEMINJECTIE/OPVULLEN VAN BODEMHOLTES)

In de literatuur is ook de optie injectie in de diepe ondergrond (vanaf 500 m) van concentraten terug te vinden. Injectie in de bodem (op grote diepte, onder de drinkwaterlagen) is technisch uitvoerbaar en is een optie voor (zoute) concentraatstromen in bodems waarin van nature zoutafzetting voorkomt (bv. Nederland). Dit zou echter niet het geval zijn in Vlaamse bodems. Deze optie wordt anno 2022 niet toegepast in Vlaanderen.

Ook holtes in de bodem agv ontginning (bv. steenkool of olie/gasontginning) zouden in theorie opgevuld kunnen worden met concentraatstromen, zoals ook het geval voor overige industriële afvalstromen of de berging van radioactief afval.

In Nederland wordt injectie van proceswater wel toegepast, bv. van water dat vrijkomt bij de productie of verwerking van olie of gas. Meer informatie over de van toepassing zijn wetgeving en enkele concrete projecten is terug te vinden via het Nederlandse Olie- en Gasportaal ([Wetgeving | NLOG](#), [Injectie proceswater | NLOG](#), [Andijk \(zoutwaterinjectie\) | NLOG](#)).

Balendonck et al. (2010) geeft aan dat het lozen van brijn in de bodem (infiltratie) in Nederland enkel onder zeer strikte voorwaarden mogelijk is (situatie 2013) en dat het storten van o.a. vloeibaar afval in oude lege zout cavernes in Nederland niet is toegestaan.

Jurgens et al. (2011) geeft aan dat glastuinbouwbedrijven brijn infiltreren in de diepere bodem (situatie 2011) maar dit nadelige effecten kon hebben op de kwaliteit van het grondwater (in beginsel dan ook verboden). Lozingen van brijn in Nederland vallen onder het lozingsbesluit Bodembescherming, waarbij het in principe verboden is om stoffen in de bodem te lozen. Onder bepaalde voorwaarden kan een ontheffing worden verleend (door provincie of gemeente) waarbij onderzocht moet worden of er voldaan is aan de streefwaarden uit de Wet Bodembescherming, alsook dat aangetoond kan worden dat de lozing/injectie geen negatieve invloed heeft op de bodem- en milieukwaliteit en het bodemleven.

Toepasbaarheid van deze optie is dus specifieke situatie (grondwaterkwaliteit, bodemgesteldheid, enz.)

Ook in de USA zouden injectieputten toegepast worden voor o.a. het injecteren van brijn. Meer informatie over de van toepassing zijn wetgeving en controles, definities en richtlijnen, en maatregelen ter bescherming van drinkwaterbronnen is terug te vinden via [General Information About Injection Wells | US EPA](#) (Underground Injection Control, UIC).

Mogelijke knelpunten bij injectie van concentraatstromen in de bodem is de verspreiding van geïnjecteerd water in ondiepe grondwaterlagen (actieve stroming), het optreden van chemische processen (bv. oplossen van kalksteen) of het verder verdichten van gesteente, of grondverzakkingen. Ter controle van de interactie (met gesteente/grondwater) en de stabiliteit van de ondergrond dienen analyses uitgevoerd te worden. Dit houdt ondermeer in (1) het checken van het geologisch model Vlaanderen, (2) het uitvoeren van geofysische metingen (seismograaf) aan het oppervlak, (3) het uitvoeren van trilling analyses en (4) het uitvoeren van controleboringen. De kostprijs wordt geschat op enkele duizenden euro's per boring ifv diepte. Boringen op 1000-1500 m zijn echter niet aangewezen omwille van de strategische reserves in Vlaanderen van drinkwater of water van goede kwaliteit voor andere toepassingen.

Verder dient voor deze toepassing voldaan te worden aan de geldende regelgeving (o.a. VLAREM, bodemdecreet en VLAREBO, Decreet diepe ondergrond).

De stand van zaken (anno 2022) mbt deze techniek werd nagevraagd bij de bevoegde Vlaamse overheidsinstanties:

- er zijn geen aanvragen in het kader van vergunningverlening voor de toepassing van deze technieken in Vlaanderen;
- er zijn voor zover gekend geen specifieke studies uitgevoerd inzake de toepasbaarheid en risico's bij toepassing van deze techniek maar er is een parallel met de techniek 'infiltreren in de bodem';
- vanuit een bodem- en grondwaterbescherming (voorzorgsbeginsel) wordt deze techniek niet aanvaardbaar geacht:
 - er is vrees voor verspreiding van vervuiling in de ondergrond;
 - niet-lokale vervuiling is moeilijk saneerbaar;
 - metingen en sanering zijn erg kostelijk.

Bronnen: o.a. Balendonck et al., 2010, Heijnen, 2002, Jurgens et al., 2011, Input Q & interviews, 2022, Input leden BC 2021/222; <https://www.epa.gov/uic/general-information-about-injection-wells>, <https://www.nlog.nl/index.php/injectie-proceswater>, <https://www.nlog.nl/andijk-zoutwaterinjectie> <https://www.nlog.nl/wetgeving>

INJECTIE IN BRINE WELLS OP GROTE DIEPTE

Ook de optie injectie van concentraten in brine wells op grote diepte is terug te vinden in de literatuur. Door de hoge zoutconcentratie in de diepe grondwaterlagen (brine wells) zijn deze theoretisch gezien tolerant voor aanvullende zout waterstromen.

Deze optie wordt anno 2022 niet toegepast in Vlaanderen.

De mogelijke knelpunten, randvoorwaarden en standpunten van deze optie zijn gelijkaardig aan deze beschreven in bovenstaande paragraaf (injectie in de diepe ondergrond)

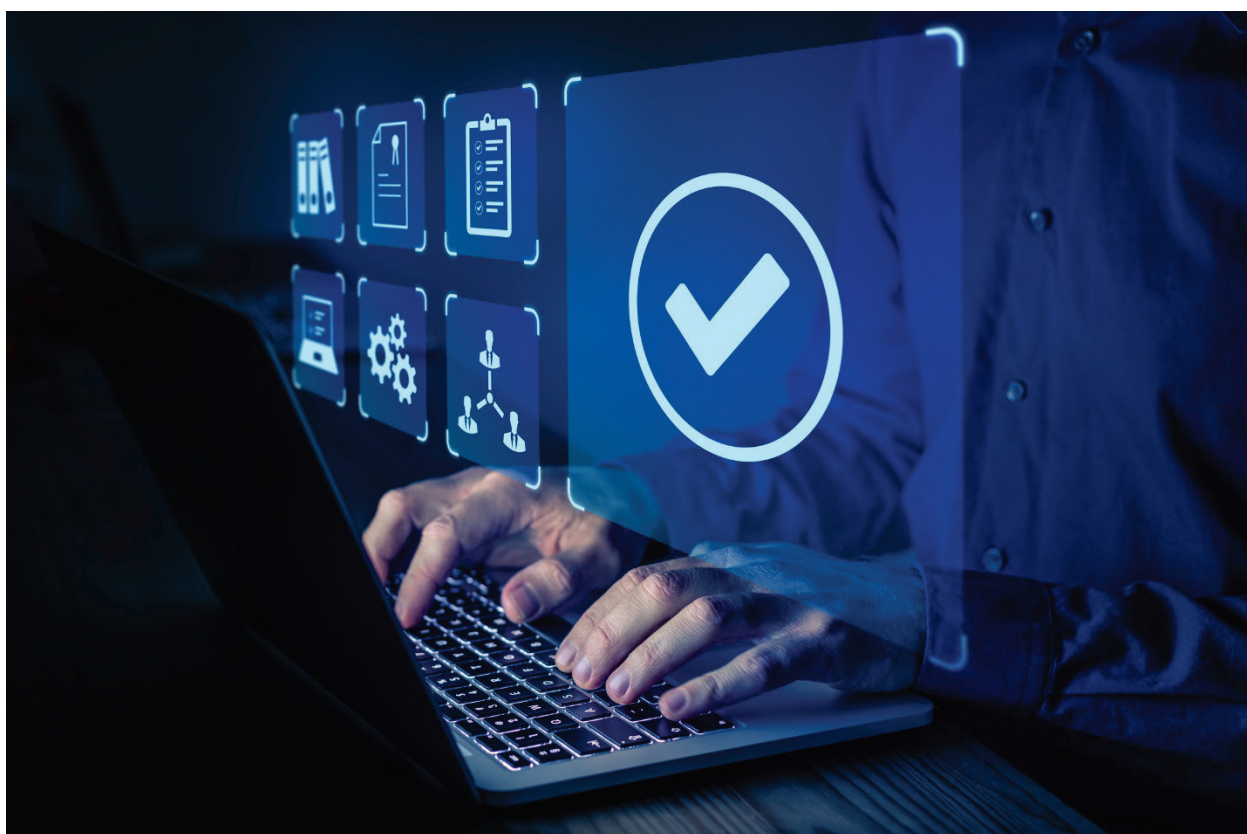
Bronnen: o.a. Balendonck et al., 2010, Heijnen, 2002, Jurgens et al., 2011, Input Q & interviews, 2022, <https://www.epa.gov/uic/general-information-about-injection-wells>, <https://www.nlog.nl/index.php/injectie-proceswater>, <https://www.nlog.nl/andijk-zoutwaterinjectie>, <https://www.nlog.nl/wetgeving>

AFVOER NAAR EEN EXTERNE VERWERKER

Concentraatstromen, al dan niet (deels) behandeld kunnen ook afgevoerd worden naar een externe verwerker. Deze stromen, veelal gemengd met andere (waterige) (afval)stromen kunnen door de externe verwerker verder behandeld worden met het oog op valorisatie van bv. metalen of lozing mits voldaan aan de geldende voorwaarden, vernietigd worden door verbranding (zie thermisch gebaseerde techniek "Waste water incineration / Afvalwaterverbranding") of gestort.

Bronnen: o.a. Custers et al., 2021, Derden et al., 2010, De Schepper & Vanoppen, 2015, Input Q & interviews, 2022, Huybrechts et al., 2002, Polders et al., 2013, Polders et al., 2021, Van den Abeele et al., 2009, Van den Abeele et al., 2011 & Input Q & interviews, 2022

HOOFDSTUK 5: EVALUATIE VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN EN TECHNIEKEN IN OPKOMST



HOOFDSTUK 5: EVALUATIE VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN EN TECHNIEKEN IN OPKOMST

In dit hoofdstuk worden de milieuvriendelijke technieken uit hoofdstuk 4 geëvalueerd naar hun technische haalbaarheid, milieu-impact en economische haalbaarheid, en wordt aangegeven of de aangehaalde milieuvriendelijke technieken al dan niet voldoen aan de BBT-criteria of als technieken in opkomst aanzien kunnen worden.

De evaluatie op basis van de BBT-criteria in dit hoofdstuk mag niet als een losstaand gegeven gebruikt worden, maar moet in het globale kader van de studie gezien worden. Dit betekent dat men ook rekening dient te houden met de beschrijving van de milieuvriendelijke technieken per techniekgroep (zie hoofdstuk 4).

Welke (combinaties van) technieken effectief inzetbaar zijn voor de behandeling en valorisatie van specifieke concentraatstromen in de praktijk dient case-by-case onderzocht te worden.

Een meer gedetailleerde analyse inzake de toepassing van de geïnventariseerde technieken voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen in specifieke sectoren en productieprocessen kan onderdeel uitmaken van toekomstige (herzieningen van) BBT-studies.

5.1 EVALUATIE VAN DE BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN

In Tabel 12 worden de beschikbare milieuvriendelijke technieken uit hoofdstuk 4 getoetst aan de BBT-criteria. Bij deze evaluatie wordt louter gekeken naar de toepassing voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen. Er worden bijgevolg geen uitspraken gedaan over de toepasbaarheid en het al dan niet BBT zijn van deze technieken voor andere toepassingen dan de behandeling en valorisatie van concentraatstromen.

Deze multi-criteria analyse laat toe te oordelen of een techniek al dan niet aan de Beste Beschikbare Techniek (BBT)-criteria voldoet. De criteria hebben niet alleen betrekking op de milieucompartimenten (water, afvalwater, afval, energie, chemicaliën), maar ook de technische haalbaarheid en de economische haalbaarheid worden beschouwd. Dit maakt het mogelijk een integrale evaluatie te maken, conform de definitie van BBT (cf. Hoofdstuk 1).

Opmerkingen

- o Er wordt vertrokken vanuit het principe dat de installaties uitgebaat worden cfr. de huidige VLAREM-voorwaarden, dus inclusief o.a. de vereiste lucht- en bodembeschermende maatregelen. Deze milieu-aspecten zijn niet specifiek gescreend en worden in Tabel 12 niet voor elk van de geëvalueerde technieken opgenomen in afzonderlijke kolommen.
- o Er wordt vanuit gegaan dat aan de vereisten inzake veiligheid en kwaliteit zijn voldaan bij uitbating van de installaties. Deze elementen zijn niet specifiek gescreend en worden in Tabel 12 niet voor elk van de geëvalueerde technieken opgenomen in afzonderlijke kolommen.
- o Door concentraatstromen te behandelen en te valoriseren kan er een effect in de keten verwacht worden, bv. beperkt verbruik vers water bij verhoogde water recovery of recyclage van teruggewonnen stoffen (bv. zouten, nutriënten, metalen, chemicaliën). De toepassing van het herwonnen water of recycleerbare producten kan elders liggen en niet per se binnen de sector waar de concentraatstromen ontstaan. Dit ketenaspect geldt globaal en wordt in Tabel 12 niet voor elk van de geëvalueerde technieken opgenomen in een afzonderlijke kolom.
- o Voor de afweging tussen (conflicterende) milieuaspecten wordt gesteund op Vlaamse beleidsprioriteiten zoals geëxpliciteerd door vertegenwoordigers van de betrokken administratie in het begeleidingscomité. Indien voor de energieopwekking duurzame bronnen

of restwarmte worden gebruikt weegt energiegebruik minder zwaar door in de globale milieuevaluatie.

Toelichting bij de inhoud van de criteria in Tabel 12:

TECHNISCHE HAALBAARHEID

- **bewezen:** geeft aan of de techniek zijn nut bewezen heeft in de industriële praktijk voor het behandelen en valoriseren van concentraatstromen
 “-”: niet bewezen;
 “+”: wel bewezen.
- **algemeen toepasbaar:** geeft aan of de techniek zonder technische beperkingen algemeen toepasbaar is in een gemiddeld bedrijf
 “-”: niet algemeen toepasbaar;
 “+”: wel algemeen toepasbaar.
- **globaal:** schat de globale technische haalbaarheid van de techniek in
 “+”: als voorgaande alle “+” of “0”;
 “-/” : als bewezen “-” en algemeen toepasbaar “-/” of “+”;
 “-”: als bewezen “-” en algemeen toepasbaar “-”.

MILIEUVOORDEEL

- **waterverbruik:** hergebruik van afvalwater en beperking van het totale waterverbruik;
- **afvalwater:** inbreng van verontreinigde stoffen in het water tengevolge van de exploitatie van de inrichting;
- **afval:** het voorkomen en beheersen van afvalstromen;
- **energie:** energiebesparingen, inschakelen van milieuvriendelijke energiebronnen en hergebruik van energie;
- **chemicaliën:** invloed op de gebruikte chemicaliën en de hoeveelheid;
- **globaal:** ingeschatte invloed op het gehele milieu.

Per techniek wordt voor elk van bovenstaande criteria een kwalitatieve beoordeling gegeven, waarbij:

- “- -”: zeer negatief effect;
- “-”: negatief effect;
- “0”: geen/verwaarloosbare impact;
- “+”: positief effect.

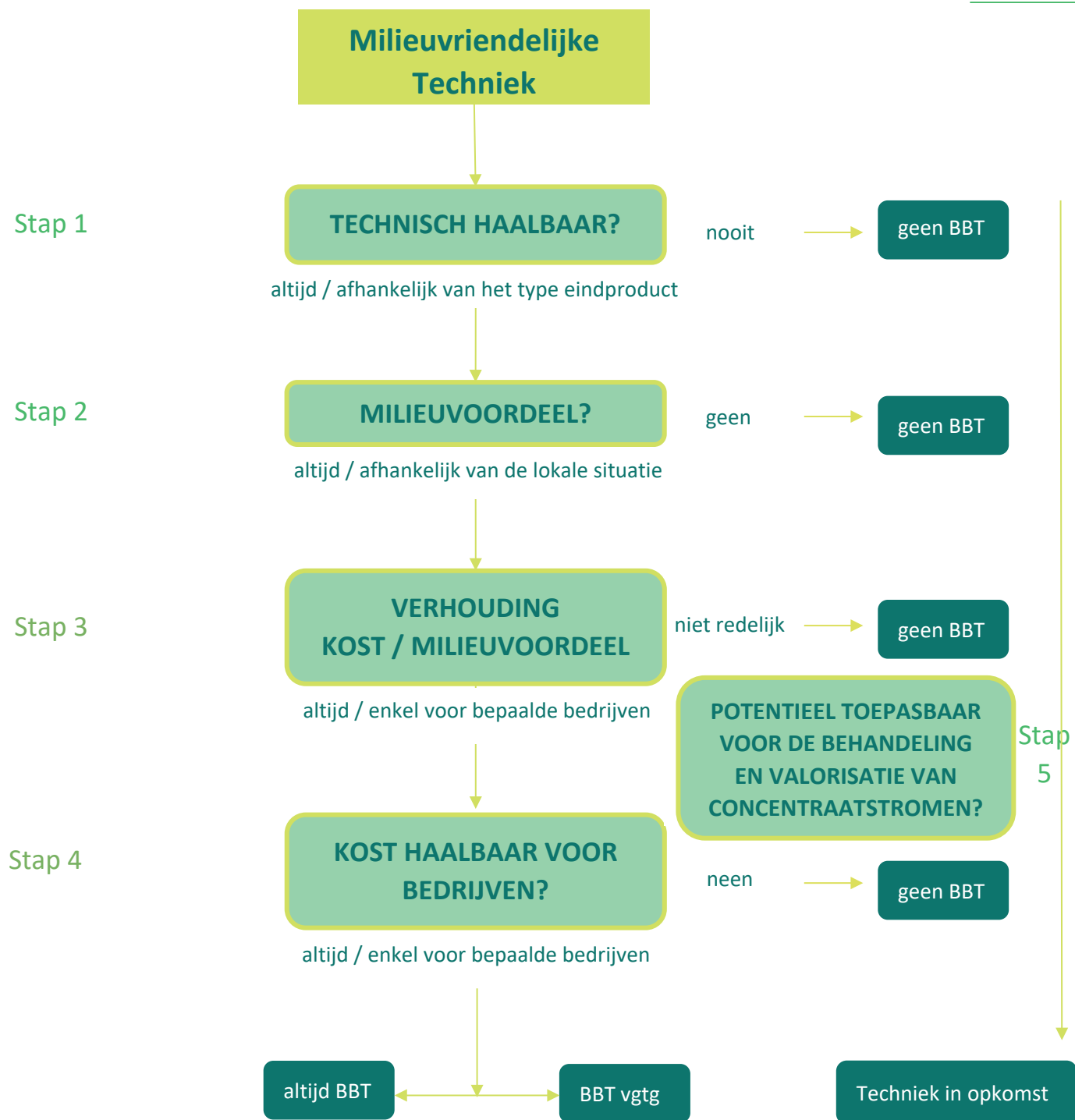
ECONOMISCHE HAALBAARHEID

- “+”: de techniek werkt kostenbesparend;
- “0”: de techniek heeft een verwaarloosbare invloed op de kosten;
- “-”: de techniek leidt tot een verhoging van de kosten, de bijkomende kosten worden draagbaar geacht en staan in een redelijke verhouding ten opzichte van de gerealiseerde milieuwinst;
- “--”: de techniek leidt tot een verhoging van de kosten, de bijkomende kosten worden niet draagbaar geacht of staan niet in een redelijke verhouding ten opzichte van de gerealiseerde milieuwinst.

Uiteindelijk wordt in de laatste kolom telkens beoordeeld of de beschouwde techniek voldoet aan de criteria van Beste Beschikbare Techniek (ja/nee) of beschouwd kan worden als een techniek in opkomst. Waar dit sterk afhankelijk is van de beschouwde instelling en/of lokale omstandigheden wordt BBT: vgtg (van geval tot geval) als beoordeling gegeven.

Het proces dat gevolgd wordt bij de BBT-evaluatie, is schematisch voorgesteld in Figuur 1.

- Eerst wordt nagegaan of de techniek (de zogenaamde “kandidaat-BBT”) technisch haalbaar is (stap 1).
- Wanneer de techniek technisch haalbaar is, wordt nagegaan wat het effect is op de verschillende milieucompartimenten (stap 2). Door een afweging van de effecten op de verschillende milieucompartimenten te doen, kan een globaal milieuoordeel geveld worden. Om dit laatste te bepalen worden de volgende elementen in rekening gebracht:
- Zijn één of meerdere milieuscores positief en géén negatief, dan is het globaal effect steeds positief;
- Zijn er zowel positieve als negatieve scores dan is het globaal milieu-effect afhankelijk van de volgende elementen:
 - de verschuiving van een minder controleerbaar naar een meer controleerbaar compartiment (bijvoorbeeld van lucht naar afval);
 - relatief grotere reductie in het ene compartiment ten opzichte van toename in het andere compartiment;
 - de wenselijkheid van reductie gesteld vanuit het beleid; onder andere afgeleid uit de milieukwaliteitsdoelstellingen voor water, lucht, ... (bijvoorbeeld “distance-to-target” benadering).
- Wanneer het globaal milieu-effect positief is, wordt nagegaan of de techniek bijkomende kosten met zich meebrengt, of deze kosten in een redelijke verhouding staan tot de bereikte milieuwinst, en draagbaar zijn voor een gemiddeld bedrijf uit de sector (stap 3).
- Kandidaat BBT die onderling niet combineerbaar zijn (omdat combinatie niet mogelijk of niet zinvol is) worden onderling met elkaar vergeleken, en enkel de beste wordt als kandidaat BBT weerhouden (stap 4).
- Uiteindelijk wordt beoordeeld of de beschouwde techniek als Beste Beschikbare Techniek (BBT) kan geselecteerd worden (stap 5). Een techniek is BBT indien hij technisch haalbaar is, een verbetering brengt voor het milieu (globaal gezien), economisch haalbaar is (beoordeling “-“ of hoger), en indien er geen “betere” kandidaat BBT bestaan. Waar dit sterk afhankelijk is van de beschouwde instelling en/of lokale omstandigheden kunnen aan de BBT-evaluatie randvoorwaarden gekoppeld worden.
- Voor technieken die “+/-” scoren op het BBT-criterium “technische haalbaarheid” wordt vervolgens nagegaan of zij beschouwd kunnen worden als technieken in opkomst voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen.



Figuur 1: Evaluatie van BBT en technieken in opkomst op basis van scores voor verschillende criteria

Belangrijke opmerkingen bij het gebruik van Tabel 14:

- Bij het gebruik van onderstaande tabel mag men volgende aandachtspunten niet uit het oog verliezen:
- De beoordeling van de diverse criteria is onder meer gebaseerd op:
 - ervaring van exploitanten met deze techniek;
 - BBT-evaluatie uitgevoerd in andere (buitenlandse) vergelijkbare studies;
 - adviezen gegeven door het begeleidingscomité;
 - inschattingen door de auteurs.
- Waar nodig, wordt in een voetnoot bijkomende toelichting verschaft. Voor de betekenis van de criteria en de scores wordt verwezen naar de beschrijvingen in het begin van dit hoofdstuk.
- De beoordeling van de criteria is als indicatief te beschouwen, en is niet noodzakelijk in elk individueel geval van toepassing. De beoordeling ontslaat een exploitant dus geenszins van de verantwoordelijkheid om bv. te onderzoeken of de techniek in zijn/haar specifieke situatie technisch haalbaar is, de veiligheid niet in gevaar brengt, geen onacceptabele milieuhinder veroorzaakt of overmatig hoge kosten met zich meebrengt. Tevens is bij de beoordeling van een techniek aangenomen dat steeds de gepaste veiligheids/milieubeschermdende maatregelen getroffen worden.
- De tabel mag niet als een losstaand gegeven gebruikt worden, maar moet in het globale kader van de studie gezien worden. Dit betekent dat men zowel rekening dient te houden met de beschrijving van de milieuvriendelijke technieken in hoofdstuk 4 als met de vertaling van de tabel naar aanbevelingen in hoofdstuk 6.
- De tabel geeft een algemeen oordeel of de aangehaalde milieuvriendelijke technieken voldoen aan de BBT-criteria, of als technieken in opkomst aanzien kunnen worden. Dit wil niet zeggen dat elk bedrijf ook zonder meer elke aangegeven techniek kan toepassen. De bedrijfsspecifieke omstandigheden moeten steeds in acht genomen worden.

Tabel 12: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en technieken in opkomst, specifiek in het kader van het behandelen en valoriseren van concentraatstromen

TECHNIEK	TECHNISCHE HAALBAARHEID			MILIEUVOORDEEL						ECONOMISCHE HAALBAARHEID	Voldoet aan de BBT-criteria	Techniek in opkomst
	Bewezen	Algemeen toepasbaar	Globaal	Waternut	Afvalwater	Afval	Energie	Chemicaliën	Globaal			
Membraan gebaseerde technieken												
Closed Circuit Reverse Osmosis (CCRO) High Recovery Reverse Osmosis (HRRO) <i>Omgekeerde osmose (OO) met gesloten circuit</i> <i>Hoge recovery OO</i>	+	+	+ ⁶²	+	+	0	+	0	+	-	ja	
Sea water reverse osmosis (SWRO) <i>Zeewater omgekeerde osmose / Brakwater omgekeerde osmose</i>	geen inschatting omwille van ontbrekende informatie ⁶³											
Counterflow Reverse Osmosis (CFRO) <i>Tegenstroom omgekeerde osmose</i>	geen inschatting omwille van ontbrekende informatie ⁶⁴											
Flow Reversal Reverse Osmosis (FRRO) <i>Stroomomkering omgekeerde osmose</i>	geen inschatting omwille van ontbrekende informatie ⁶⁵											

⁶² in Vlaanderen: 1 full-scale, 1 in opstart, 1 piloot en 1 in testfase; elders: meerdere cases (waarvan sommige in ontwerpfase); zie bijlage 3 – praktijkcase 1⁶³ 1 referentie uit literatuur; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend⁶⁴ techniek 1x vermeld tijdens interview; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend⁶⁵ beperkt aantal referenties uit literatuur; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

TECHNIEK	TECHNISCHE HAALBAARHEID			MILIEUVOORDEEL						ECONOMISCHE HAALBAARHEID	Voldoet aan de BBT-criteria	Techniek in opkomst
	Bewezen	Algemeen toepasbaar	Globaal	Waterverbruik	Afvalwater	Afval	Energie	Chemicaliën	Globaal			
Forward osmosis (FO) <i>Voorwaartse osmose</i>	-	-/+	-/+ ⁶⁶	+	+	0	0	0	+	-	nee	ja
Pressure assisted Osmosis (PAO) <i>Drukondersteunde osmose</i>	geen inschatting omwille van ontbrekende informatie ⁶⁷											
Aquaporin Inside™ technology <i>Eiwitten ingebouwd in membranen</i>	-	-/+	-/+ ⁶⁸	+	+	0	0	0	+	-	nee	ja
High Recovery inter-stage Precipitation Reverse Osmosis (HiPRO) <i>Hoge herwinning inter-stage precipitatie omgekeerde osmose</i>	geen inschatting omwille van ontbrekende informatie ⁶⁹											
Pressure Retarded Osmosis (PRO) <i>Drukvertraagde osmose</i>	-	-/+	-/+ ⁷⁰	+	+	0	+	0	+	-	nee	ja
High Pressure Reverse Osmosis (HPRO) <i>Hoge druk omgekeerde osmose</i>	-	-/+	-/+ ⁷¹	+	+	0	+	0	+	-	nee	ja

⁶⁶ algemeen: techniek in opkomst (pilootschaal); aandachtspunt: stabiliteit van de membranen; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁶⁷ beperkt aantal referenties uit literatuur; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁶⁸ algemeen: techniek in opkomst, in OO membranen; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁶⁹ beperkt aantal referenties uit literatuur; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁷⁰ algemeen: techniek in opkomst; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁷¹ algemeen: techniek in opkomst; techniek 1x vermeld tijdens interview; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

TECHNIEK	TECHNISCHE HAALBAARHEID			MILIEUVOORDEEL						ECONOMISCHE HAALBAARHEID	Voldoet aan de BBT-criteria	Techniek in opkomst
	Bewezen	Algemeen toepasbaar	Globaal	Waternut	Afvalwater	Afval	Energie	Chemicaliën	Globaal			
Ultra High Pressure RO (UHPRO) <i>Ultrahoge druk omgekeerde osmose</i>	-	-/+	-/+ ⁷²	+	+	0	+	0	+	-	nee	ja
Osmotically assisted RO (OARO) <i>Osmotisch ondersteunde omgekeerde osmose</i>	-	-/+	-/+ ⁷³	+	+	0	0	0	+	-	nee	ja
Diafiltration (dilution + filtration) <i>Diafiltratie (verduunning + filtratie)</i>	geen inschatting omwille van ontbrekende informatie ⁷⁴											
Shear enhanced membrane filtration <i>Door schuifkracht verbeterde membraanfiltratie</i>	geen inschatting omwille van ontbrekende informatie ⁷⁵											
Membrane distillation (MD) <i>Membraandestillatie</i>	-	-/+	-/+ ⁷⁶	+	+	0	+	0	+	-	nee	ja
(Membrane)electrolysis <i>(Membraan)elektrolyse</i>	-	-/+	-/+ ⁷⁷	+	+	0	+	+	+	-	nee	ja

⁷² algemeen: techniek in opkomst; techniek 1x vermeld tijdens interview; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁷³ algemeen: techniek in opkomst; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁷⁴ beperkt aantal referenties uit literatuur; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁷⁵ beperkt aantal referenties uit literatuur; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁷⁶ algemeen: techniek in opkomst; techniek vermeld tijdens interview; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁷⁷ algemeen: techniek in opkomst; in Vlaanderen: proof of concept (labo en piloot)

TECHNIEK	TECHNISCHE HAALBAARHEID			MILIEUVOORDEEL						ECONOMISCHE HAALBAARHEID	Voldoet aan de BBT-criteria	Techniek in opkomst
	Bewezen	Algemeen toepasbaar	Globaal	Waternut	Afvalwater	Afval	Energie	Chemicaliën	Globaal			
Elektrodialyse (ED) <i>Elektrodialyse</i>	-	-/+	-/+ ⁷⁸	+	+	0	0	0	+	-	nee	ja
Membrane capacitive deionisation (MCDI) – Capacitive deionisation (CDI) <i>Membraan capacatieve deionisatie – Capacatieve deionisatie</i>	-	-/+	-/+ ⁷⁹	+	+	0	+	0	+	-	nee	ja
Donnan Dialyses (DD) <i>Donnan dialyse</i>	-	-/+	-/+ ⁸⁰	+	+	0	0	0	+	-	nee	ja
Electrodeionisation (EDI) <i>Elektrodeionisatie</i>	-	-/+	-/+ ⁸¹	+	+	0	0	0	+	-	nee	ja
Ion Exchange (IEX) <i>Ionenuitwisseling</i>	-	+	-/+ ⁸²	+	+	0	0	0	+	-	nee	ja

⁷⁸ algemeen: techniek in opkomst; techniek vermeld tijdens interviews; in Vlaanderen geen concrete cases gekend

⁷⁹ algemeen: techniek in opkomst; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁸⁰ algemeen: techniek in opkomst; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁸¹ algemeen: techniek in opkomst; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁸² algemeen: toepasbaar; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

TECHNIEK	TECHNISCHE HAALBAARHEID			MILIEUVOORDEEL						ECONOMISCHE HAALBAARHEID	Voldoet aan de BBT-criteria	Techniek in opkomst
	Bewezen	Algemeen toepasbaar	Globaal	Waternut	Afvalwater	Afval	Energie	Chemicaliën	Globaal			
Mixed Bed Ion Exchange (IEX) / mixed bed polisher / mixed bed filter <i>Gemengd bed ionenuitwisseling / polisher / filter</i>	-	-/+	-/+ ⁸³	+	+	0	0	0	+	-	nee	ja
Electrodialysis with Bipolar Membranes (EDBM) <i>Elektrodialyse met bipolaire membranen</i>	-	-/+	-/+ ⁸⁴	+	+	0	0	0	+	-	nee	ja
Electrodialysis Reversal (EDR) / Reverse Electrodialyse (RED) <i>Elektrodialyse Omkering / Omgekeerde Elektrodialyse</i>	-	-/+	-/+ ⁸⁵	+	+	0	0	0	+	-	nee	ja
Electrodialysis methathesis (EDM) <i>Elektrodialyse metathese</i>	-	-/+	-/+ ⁸⁶	+	+	0	0	0	+	-	nee	ja
Pertraction <i>Pertractie</i>	-	+	-/+ ⁸⁷	+	+	0	0	0	+	-	nee	ja

⁸³ algemeen: techniek in opkomst; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁸⁴ algemeen: techniek in opkomst; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁸⁵ algemeen: techniek in opkomst; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁸⁶ algemeen: techniek in opkomst (pilotaschaal); geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁸⁷ algemeen: toepasbaar; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

TECHNIEK	TECHNISCHE HAALBAARHEID			MILIEUVOORDEEL						ECONOMISCHE HAALBAARHEID	Voldoet aan de BBT-criteria	Techniek in opkomst
	Bewezen	Algemeen toepasbaar	Globaal	Waterverbruik	Afvalwater	Afval	Energie	Chemicaliën	Globaal			
Pervaporation <i>Pervaporatie</i>	-	+	-/+ ⁸⁸	+	+	0	0	0	+	-	nee	ja
Integrated permeate channel membranes (IPC) <i>Geïntegreerde permeaatkanaalmembranen</i>	geen inschatting omwille van ontbrekende informatie ⁸⁹											
Thermisch gebaseerde technieken												
Distillation/rectification <i>Destillatie/rectificatie</i>	-	-/+	-/+ ⁹⁰	+	+	0	-/-- ⁹¹	0	+	-	nee	vgtg ⁹²
Evaporation <i>Verdamping / indamping</i>	+	+	+ ⁹³	+	+	0	-/-- ⁹⁴	+	+	-	vgtg ⁹⁵	

⁸⁸ algemeen: toepasbaar; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁸⁹ beperkt aantal referenties uit literatuur; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

⁹⁰ algemeen: techniek in opkomst; VCM maakt melding van 1 concrete case in Vlaanderen: full-scale installatie voor stripping/scrubbing van vloeibare varkensmest en digestaat

⁹¹ (zeer) energie intensief, interessant igv warmte/energie terugwinning

⁹² techniek in opkomst mits warmte/energie terugwinning

⁹³ algemeen: toepasbaar; in Vlaanderen: zou toepasbaar en haalbaar zijn bij warmterecuperatie; zie ook bijlage 3 – praktijkcase 2

⁹⁴ (zeer) energie intensief, interessant igv warmteterugwinning

⁹⁵ voldoet aan de BBT-criteria mits warmte/energie terugwinning

TECHNIEK	TECHNISCHE HAALBAARHEID			MILIEUVOORDEEL						ECONOMISCHE HAALBAARHEID	Voldoet aan de BBT-criteria	Techniek in opkomst
	Bewezen	Algemeen toepasbaar	Globaal	Waternut	Afvalwater	Afval	Energie	Chemicaliën	Globaal			
Crystallization <i>Kristallisatie</i>	+	+	+ ⁹⁶	0	+	0	-/-- ⁹⁷	0	+	-	vgtg ⁹⁸	
Waste water incineration <i>Afvalwaterverbranding</i>	-	+	-/+ ⁹⁹	0	+	-	--	0	-		nee ¹⁰⁰	
Geavanceerde oxidatieprocessen												
Chemische oxidatie bij hoge temperatuur en druk	-	+	-/+ ¹⁰¹	0	+	0	-	0	+	-	nee	ja
Wet air oxidation (WAO) <i>Natte lucht oxidatie</i>	-	-/+	-/+ ¹⁰²	0	+	0	+	0	+	-	nee	ja

⁹⁶ algemeen: toepasbaar; in Vlaanderen: zou toepasbaar en haalbaar zijn bij warmterecuperatie; techniek vermeld tijdens interviews met oog op verdere behandeling van concentraatstromen, na indampen/verdampen; zie ook bijlage 3 – praktijkcase 3

⁹⁷ (zeer) energie intensief, interessant igv warmteterugwinning

⁹⁸ voldoet aan de BBT-criteria mits warmte/energie terugwinning

⁹⁹ algemeen: toepasbaar; in Vlaanderen: afvoer voor verbranding van concentraatstroom via een externe verwerker (gemengd met andere afvalstromen); verbranding van brijn zou geen optie zijn omwille van de afwezigheid van organische fractie

¹⁰⁰ geen globaal milieuvoordeel maar kan een optie zijn voor de afvoer van concentraatstromen via een externe verwerker (gemengd met andere afvalstromen).

¹⁰¹ algemeen: toepasbaar (chemische oxidatie); techniek 1x vermeld tijdens interview; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

¹⁰² algemeen: techniek in opkomst, bv. toepassing van AOP in combinatie met biologie – pilotschaal (ozonisatie, UV, Fenton en testen op elektrochemische uitvoeringsvorm); geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

TECHNIEK	TECHNISCHE HAALBAARHEID			MILIEUVOORDEEL						ECONOMISCHE HAALBAARHEID	Voldoet aan de BBT-criteria	Techniek in opkomst
	Bewezen	Algemeen toepasbaar	Globaal	Waternut	Afvalwater	Afval	Energie	Chemicaliën	Globaal			
Super critical water oxidation (SCWO) <i>Superkritische wateroxidatie</i>	-	-/+	-/+ ¹⁰³	0	+	0	+	0	+	-	nee	ja
Catalytic Wet Air Oxidation (CWAO) <i>Katalytische natte lucht oxidatie</i>	-	+	-/+ ¹⁰⁴	0	+	0	+	0	+	-	nee	ja
Photocatalytic water purification technology <i>Fotokatalytische waterzuiveringstechnologie</i>	geen inschatting omwille van ontbrekende informatie ¹⁰⁵											
Biologische technieken												
Biologische behandeling: - met halofiele bacteriën - behandeling in rietveld of wilgenveld Biosorptie – fyto-extractie door halofytenfilter of zoutminnende planten	+	+	+ ¹⁰⁶	0	+	-/0	0	-/0	+	-	ja	

¹⁰³ algemeen: techniek in opkomst; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

¹⁰⁴ techniek in opkomst; techniek toegelicht tijdens interview; geen concrete cases in Vlaanderen gekend, wel in Azië; zie ook bijlage 3 – praktijkcase 4

¹⁰⁵ geen concrete cases gekend; fotokatalytische oxidatie zou in Vlaanderen niet worden uitgevoerd

¹⁰⁶ algemeen: toepasbaar (hoge zoutgehaltes kunnen de werking van de aanwezige bacteriën in klassieke biologische afvalwaterzuiveringsinstallaties negatief beïnvloeden of verhinderen); wilgenveld: in Vlaanderen: full scale toepassing voor verdere zuivering van RWZI-effluent tot drinkwater

TECHNIEK	TECHNISCHE HAALBAARHEID			MILIEUVOORDEEL						ECONOMISCHE HAALBAARHEID	Voldoet aan de BBT-criteria	Techniek in opkomst
	Bewezen	Algemeen toepasbaar	Globaal	Waternut	Afvalwater	Afval	Energie	Chemicaliën	Globaal			
Sulfateq (biologische sulfaatverwijdering)	geen inschatting omwille van ontbrekende informatie ¹⁰⁷											
Powdered Activated Carbon Treatment (PACT) <i>Behandeling met actieve kool in poedervorm</i>	-	+	-/+ ¹⁰⁸	0	+	-	0	-	+	-	nee	ja
Diverse technieken												
Actieve kool adsorptie	-	+	-/+ ¹⁰⁹	+	+	-	0	-	+	-	nee	ja
Ijzerpellet adsorptie	-	-/+	-/+ ¹¹⁰	+	+	-	0	-	+	-	nee	ja
Coagulatie/precipitatie	-	+	-/+ ¹¹¹	+	+	-	0	-	+	-	nee	ja

¹⁰⁷ beperkt aantal referenties uit literatuur; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

¹⁰⁸ algemeen: toepasbaar; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

¹⁰⁹ algemeen: toepasbaar; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

¹¹⁰ algemeen: techniek in opkomst; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

¹¹¹ algemeen: toepasbaar; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

TECHNIEK	TECHNISCHE HAALBAARHEID			MILIEUVOORDEEL						ECONOMISCHE HAALBAARHEID	Voldoet aan de BBT-criteria	Techniek in opkomst
	Bewezen	Algemeen toepasbaar	Globaal	Waternut	Afvalwater	Afval	Energie	Chemicaliën	Globaal			
Electrocoagulatie	-	+	-/+ ¹¹²	+	+	-	-	-	+	-	nee	ja
Extractie	-	+	-/+ ¹¹³	+	+	0	0	-	+	-	nee	ja
Fosfaat leaching	-/+	-/+	-/+ ¹¹⁴	+	+	+	0	+	+	-	nee	ja

¹¹² algemeen: toepasbaar; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

¹¹³ algemeen: toepasbaar; geen concrete cases in Vlaanderen of elders gekend

¹¹⁴ algemeen: techniek in opkomst voor de verwerking van dunne mest(fractie)

5.2 CONCLUSIES

Onderstaande conclusies kunnen geformuleerd worden inzake technieken die potentieel hebben voor het behandelen en valoriseren van concentraatstromen.

Hierbij dienen de volgende zaken in acht genomen te worden:

- Het aantal praktijkcases waarin de verzamelde informatie (o.a. uit literatuur) getoetst kon worden is zeer beperkt. Veel van de beschreven technieken, al dan niet in combinatie met andere waterzuiveringstechnieken, zijn anno 2022 nog in volle ontwikkeling.
- De concrete invulling en toepasbaarheid van onderstaande technieken op een concrete concentraatstroom dient case-by-case verder onderzocht te worden. Elementen die (mee) bepalen of een techniek technisch/economisch toepasbaar is, zijn o.a. ingenomen waterbron(nen), bedrijfssituatie (proces/activiteit), lozingssituatie (ontvangend oppervlaktewater), seizoensvariaties (bv. groenteverwerkende bedrijven), waterschaarste, waterbevoorrading en samenwerkingsverbanden tussen bedrijven (clustering).
- Van een aantal technieken ontbreekt momenteel de nodige informatie om een uitspraak te kunnen doen in welke mate zij aangewezen zijn voor het behandelen of valoriseren van concentraatstromen. Deze technieken zijn terug te vinden in paragraaf 6.1 (aanbevelingen voor verder onderzoek).
- De vermelde technieken zijn in de praktijk mogelijk ook inzetbaar voor de verwijdering van andere/meerdere componenten, veelal afhankelijk van de toegepaste zuiveringstrein. In onderstaande paragrafen gaat de focus naar die parameters die door de leden BC als focusparameters gedefinieerd werden (o.a. recalcitrante CZV, zouten, metalen en nutriënten).
- De resultaten van deze evaluatie en conclusies kunnen beschouwd worden als een algemeen kader van technieken die ingezet kunnen worden voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen.

Verder gelden er een aantal randvoorwaarden (beperkingen/ aandachtspunten) voor de verschillende types van technieken zoals hieronder vermeld.

- Bij membraangebaseerde technieken is voorbehandeling (bv. filtratie) aangewezen voor het afscheiden van zwevende deeltje om verstopping van de membranen tegen te gaan. Chemicaliën worden ingezet voor het reinigen van de membranen. Globaal genomen kan worden aangenomen dat de energiekost en installatiekosten stijgen naargelang gewerkt wordt bij hogere druk en/of temperatuur.
- Thermische gebaseerde technieken zijn in het algemeen energie intensief. Globaal genomen kan worden aangenomen dat warmte/energierecuperatie de toepasbaarheid van deze technieken gunstig kan beïnvloeden in de praktijk.
- Geavanceerde oxidatietechnieken worden voornamelijk ingezet voor het beter afbreekbaar maken van componenten in afvalwater bv. biologisch moeilijk afbreekbare stoffen.
- Biologische technieken worden courant toegepast voor het zuiveren van afvalwater maar kunnen ook ingezet worden als verregaande zuiveringsstap op (deels) gezuiverd afvalwater. Er wordt in de evaluatie van deze technieken vanuit gegaan dat het gebruik van hulpstoffen (chemicaliën, energie) en de productie van afval (slib) min of meer vergelijkbaar zijn met de klassieke biologische hoofdzuivering.
- De beschreven diverse technieken hebben zich in de meeste gevallen bewezen voor de klassieke behandeling van afvalwater. Echter zijn er geen concrete cases gekend in Vlaanderen of elders mbt concentraatstromen.

5.2.1 TERUGWINNING VAN SPECIFIEKE STOFFEN EN HERWINNING VAN WATER

OPCONCENTREREN VAN ZOUTEN

Met het oog op het opconcentreren van zouten uit concentraatstromen en herwinning van water voldoen de volgende **technieken** aan de **BBT-criteria** om ingezet te worden, al dan niet in combinatie met andere zuiveringstechnieken en mits evt. **randvoorwaarden**:

- Membraan gebaseerde technieken:
 - Closed Circuit Reverse Osmosis (CCRO) - High Recovery Reverse Osmosis (HRRO) / Omgekeerde osmose (OO) met gesloten circuit - Hoge recovery OO
 - Ionenuitwisseling
- Thermisch gebaseerde technieken:
 - Verdamping / indamping, mits warmte/energie terugwinning
- Biologische technieken:
 - Biologische behandeling:
 - met halofiele bacteriën
 - behandeling in rietveld of wilgenveld
 - Biosorptie - fyto-extractie door halofytenfilter of zoutminnende planten

Onderstaande technieken hebben eveneens potentieel en kunnen beschouwd worden als **technieken in opkomst**, mits evt. specifieke **randvoorwaarden**.

- Membraan gebaseerde technieken:
 - Forward osmosis (FO) / Voorwaartse osmose, mits een goede stabiliteit van de membranen
 - Aquaporin Inside™ technology / Eiwitten ingebouwd in membranen (in OO-membranen)
 - Pressure Retarded Osmosis (PRO) / Drukvertraagde osmose
 - High Pressure Reverse Osmosis (HPRO) / Hoge druk omgekeerde osmose
 - Ultra High Pressure RO (UHPRO) / Ultrahoge druk omgekeerde osmose
 - Osmotically assisted RO (OARO) / Osmotisch ondersteunde omgekeerde osmose
 - Membrane distillation (MD) / Membraandestillatie
 - (Membrane)electrolysis / (Membraan)elektrolyse
 - Elektrodialysis (ED) / Elektrodialyse
 - Membrane capacitive deionisation (MCDI) - Capacitive deionisation (CDI) / Membraan capacitieve deïonisatie - Capacitieve deïonisatie
 - Donnan Dialyses (DD) / Donnan dialyse
 - Electrodeionisation (EDI) / Elektrodeïonisatie
 - Ion Exchange (IEX) / ionenuitwisseling
 - Mixed Bed Ion Exchange (IEX) / Mixed bed polisher / mixed bed filter / Gemengd bed ionenuitwisseling / polisher / filter
 - Electrodialysis with Bipolar Membranes (EDBM) / Elektrodialyse met bipolaire membranen
 - Electrodialysis Reversal (EDR) / Reverse Electrodialyse (RED) / Elektrodialyse Omkering / Omgekeerde Elektrodialyse
 - Electrodialysis methathesis (EDM) / Elektrodialyse metathese
 - Pertractie
 - Pervaporatie
- Thermisch gebaseerde technieken:
 - Distillation/rectification / Destillatie/rectificatie, mits warmte/energie terugwinning

TERUGWINNEN VAN METALEN

Met het oog op het terugwinnen van metalen uit concentraatstromen en herwinning van water voldoen de volgende **technieken** aan de **BBT-criteria** om ingezet te worden, al dan niet in combinatie met andere zuiveringstechnieken en mits evt. **randvoorwaarden**:

- Membraan gebaseerde technieken:

- Closed Circuit Reverse Osmosis (CCRO) - High Recovery Reverse Osmosis (HRRO) / Omgekeerde osmose (OO) met gesloten circuit - Hoge recovery OO
- Ionenuitwisseling
- Thermisch gebaseerde technieken:
 - Crystallization / Kristallisatie, mits warmte/energie terugwinning
- Biologische technieken:
 - Biologische behandeling:
 - met halofiele bacteriën
 - behandeling in rietveld of wilgenveld
 - Biosorptie - fyto-extractie door halofytenfilter of zoutminnende planten

Onderstaande technieken hebben eveneens potentieel en kunnen beschouwd worden als **technieken in opkomst**.

- Membraan gebaseerde technieken:
 - Forward osmosis (FO) / Voorwaartse osmose
 - Aquaporin Inside™ technology / Eiwitten ingebouwd in membranen (in OO-membranen)
 - Membrane distillation (MD) / Membraandestillatie
 - Membrane capacitive deionisation (MCDI) - Capacitive deionisation (CDI) / Membraan capacitieve deïonisatie - Capacitieve deïonisatie
 - Donnan Dialyses (DD) / Donnan dialyse
- Biologische technieken:
 - Powdered Activated Carbon Treatment (PACT) /Behandeling met actieve kool in poedervorm
- Diverse technieken:
 - Actieve kool adsorptie
 - Ijzerpellet adsorptie
 - Coagulatie / precipitatie
 - Electrocoagulatie
 - Extractie

TERUGWINNEN VAN NUTRIËNTEN

Met het oog op het terugwinnen van nutriënten uit concentraatstromen en evt. herwinning van water voldoen de volgende **technieken** aan de **BBT-criteria** om ingezet te worden, al dan niet in combinatie met andere zuiveringstechnieken en mits evt. **randvoorwaarden**:

- Thermisch gebaseerde technieken:
 - Evaporation / Verdamping / indamping, mits warmte/energie terugwinning
 - Crystallization / Kristallisatie, mits warmte/energie terugwinning
- Biologische technieken:
 - Biologische behandeling:
 - met halofiele bacteriën
 - behandeling in rietveld of wilgenveld
 - Biosorptie - fyto-extractie door halofytenfilter of zoutminnende planten
- Diverse technieken
 - Coagulatie/precipitatie

Onderstaande technieken hebben eveneens potentieel en kunnen beschouwd worden als **technieken in opkomst**, mits evt. **randvoorwaarden**.

- Membraan gebaseerde technieken:
 - Elektrodialysis (ED) / Elektrodialyse
- Thermisch gebaseerde technieken:
 - Distillation/rectification / Destillatie/rectificatie, mits warmte/energie terugwinning
- Diverse technieken
 - Fosfaat leaching / fosforprecipitatie voor de verwerking van dunne mest(fractie)

TERUGWINNEN VAN CHEMICALIËN

Met het oog op de selectieve verwijdering van ionen uit concentraatstromen, het terugwinnen van chemicaliën en herwinning van water voldoen de volgende **technieken** aan de **BBT-criteria** om ingezet te worden, al dan niet in combinatie met andere zuiveringstechnieken en mits evt. **randvoorwaarden**:

- Membraan gebaseerde technieken:
 - Closed Circuit Reverse Osmosis (CCRO) - High Recovery Reverse Osmosis (HRRO) / Omgekeerde osmose (OO) met gesloten circuit – Hoge recovery OO
 - Ionenuitwisseling
- Thermisch gebaseerde technieken:
 - Evaporation / Verdamping / indamping, mits warmte/energie terugwinning
 - Crystallization / Kristallisatie, mits warmte/energie terugwinning

Onderstaande technieken hebben eveneens potentieel en kunnen beschouwd worden als **technieken in opkomst**, mits evt. **randvoorwaarden**.

- Membraan gebaseerde technieken:
 - Forward osmosis (FO) / Voorwaartse osmose, mits een goede stabiliteit van de membranen
 - Aquaporin Inside™ technology / Eiwitten ingebouwd in membranen (in OO-membranen)
 - Membrane distillation (MD) / Membraandestillatie
 - Elektrodialysis (ED) / Elektrodialyse
 - Membrane capacitive deionisation (MCDI) - Capacitive deionisation (CDI) / Membraan capacitieve deïonisatie - Capacitieve deïonisatie
 - Electrodeionisation (EDI) / Elektrodeïonisatie
 - Mixed Bed Ion Exchange (IEX) - mixed bed polisher - mixed bed filter / Gemengd bed ionenuitwisseling - polisher – filter
 - Electrodialysis Reversal (EDR) - Reverse Electrodialyse (RED) / Elektrodialyse Omkering - Omgekeerde Elektrodialyse
 - Electrodialysis methathesis (EDM) / Elektrodialyse metathese

5.2.2 BEHANDELEN EN AFVOEREN VAN (SPECIFIEKE) AFVALWATER(FRACTIES)

RECALCITRANTE CZV EN ANDERE MOEILIK DEGRADEBARE ORGANISCHE STOFFEN

Met het oog op het verwijderen van recalcitrante CZV en andere moeilijk degradeerbare organische stoffen uit concentraatstromen voldoen de volgende **technieken** aan de **BBT-criteria** om ingezet te worden, al dan niet in combinatie met andere zuiveringstechnieken:

- Membraan gebaseerde technieken:
 - Closed Circuit Reverse Osmosis (CCRO) / High Recovery Reverse Osmosis (HRRO) / Omgekeerde osmose (OO) met gesloten circuit - Hoge recovery OO
 - Ionenuitwisseling

Onderstaande technieken hebben eveneens potentieel en kunnen beschouwd worden als **technieken in opkomst**, mits evt. **randvoorwaarden**.

- Membraan gebaseerde technieken:
 - Elektrodialysis (ED) / Elektrodialyse
 - Pertractie
 - Pervaporatie
- Thermisch gebaseerde technieken:
 - Distillation/rectification / Destillatie/rectificatie, mits warmte/energie terugwinning
- Geavanceerde oxidatietechnieken
 - Chemische oxidatie bij hoge temperatuur en druk

- Wet air oxidation (WAO) / Natte lucht oxidatie
- Super critical water oxidation (SCWO) / Superkritische wateroxidatie
- Catalytic Wet Air Oxidation (CWAO) / Katalytische natte lucht oxidatie
- Biologische technieken:
 - Powdered Activated Carbon Treatment (PACT) / Behandeling met actieve kool in poedervorm
- Diverse technieken
 - Actieve kool adsorptie
 - Coagulatie/precipitatie
 - Extractie

5.2.3 BESLUIT

Kennis is tijdelijk. Dit geldt in het bijzonder voor een evaluatie van technieken op basis van de BBT-criteria. De analyse in deze studie maakte gebruik van de voor het BBT-kenniscentrum in 2021-2022 beschikbare informatie- en kennisbronnen. In bijzonder is er weinig informatie beschikbaar van concrete praktijkcases waarbij concentraatstromen behandeld worden, al dan niet met het oog op valorisatie.

Het BBT-kenniscentrum stimuleert andere onderzoekers, bedrijven en overheden om de analyses in deze studie door middel van metingen en bijkomende data kritisch te toetsen. Deze kunnen input vormen voor toekomstige actualisaties van de BBT-studies.

HOOFDSTUK 6: AANBEVELINGEN OP BASIS VAN DE GEËVALUEERDE TECHNIEKEN



HOOFDSTUK 6: AANBEVELINGEN OP BASIS VAN DE GEËVALUEERDE TECHNIEKEN

In dit hoofdstuk wordt op basis van de evaluatie van de technieken op basis van de BBT-criteria een aantal concrete aanbevelingen en suggesties geformuleerd. Hierbij worden 3 sporen gevolgd:

- aanbevelingen voor verder onderzoek: er wordt nagegaan welke knelpunten weggewerkt moeten worden om bepaalde (combinaties van) technieken ingang te doen vinden in de praktijk;
- aanbevelingen voor de milieusubsidieregeling: er wordt nagegaan welke milieuvriendelijke technieken (technieken in opkomst) voor de xxx in aanmerking kunnen genomen worden voor ecologiepremie;
- aandachtspunten voor omkadering en begeleiding van projecten in bedrijven om maximaal in te zetten op het behandelen en valoriseren van concentraatstromen.

6.1 AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK

In hoofdstuk 5 worden technieken opgelijst die toegepast kunnen worden of potentieel hebben voor het behandelen en valoriseren van concentraatstromen. Van een aantal technieken ontbreekt momenteel de nodige informatie om een uitspraak te kunnen doen in welke mate zij aangewezen zijn voor het behandelen of valoriseren van concentraatstromen. Concreet gaat het om:

- Membraan gebaseerde technieken:
 - Sea water reverse osmosis (SWRO) / Zeewater omgekeerde osmose / Brakwater omgekeerde osmose
 - Counterflow Reverse Osmosis (CFRO) / Tegenstroom omgekeerde osmose
 - Flow Reversal Reverse Osmosis (FRRO) / Stroomomkering omgekeerde osmose
 - Pressure assisted Osmosis (PAO) / Drukondersteunde osmose
 - High Recovery inter-stage Precipitation Reverse Osmosis (HiPRO) / Hoge herwinning inter-stage precipitatie omgekeerde osmose
 - Diafiltration (dilution + filtration) / Diafiltratie (verduunning + filtratie)
 - Shear enhanced membrane filtration / Door schuifkracht verbeterde membraanfiltratie
 - Integrated permeate channel membranes (IPC) / Geïntegreerde permeaatkanaalmembranen
- Biologische technieken:
 - Sulfateq (biologische sulfaatverwijdering)

Aanbeveling 1: Stimuleren van verder onderzoek en initiatieven (case-by-case) in het kader van de concrete invulling en toepasbaarheid van deze technieken op een concentraatstroom en in specifiek sectoren of processen.

Anno 2022 zijn het aantal praktijkvoorbeelden van het behandelen en valoriseren van concentraatstromen erg beperkt. Dat maakt dat de informatie die verzameld werd uit de literatuur in veel gevallen niet getoetst kon worden aan de Vlaamse praktijksituaties. Het gaat dan bv om:

- meetgegevens van de te behandelen en behandelde stromen;
- samenstelling van brijn/concentraten;
- cijfermateriaal dat aantoont dat de theoretisch ingeschatte recovery's (% gerecupereerd water) effectief behaald kunnen worden in de praktijk. Deze theoretische recovery's liggen in grootte-orde van
 - 75-80%: gangbare praktijken;
 - 65%-75%: lage recovery;
 - 90%-98%: hoge recovery.

- kostprijsgegevens.

Aanbeveling 2: verder onderzoek en initiatieven om praktijkkennis op te doen en meetgegevens met de nodige achtergrondinformatie in kaart te brengen.

- **Conclusie:**

Het wordt aanbevolen om technieken voor het behandelen en valoriseren van concentraatstromen verder te onderzoeken inzake hun toepasbaarheid in de praktijk alsook richtwaarden van kostprijzen. Sectorspecifieke cases (o.a. technische en economische haalbaarheid) kunnen dan in detail geëvalueerd worden in toekomstige (herzieningen van) BBT-studies.

6.2 AANBEVELINGEN VOOR ECOLOGIEPREMIE

INLEIDING

Ecologiepremie Plus is een financiële tegemoetkoming aan ondernemingen die ecologie-investeringen zullen realiseren in het Vlaamse Gewest. Onder ecologie-investeringen worden milieu-investeringen en investeringen in energie efficiëntie en hernieuwbare energie verstaan. Met de ecologiepremie wil de Vlaamse overheid ondernemingen stimuleren om hun productieproces milieuvriendelijk en energiezuinig te organiseren. De overheid neemt daarbij een gedeelte van de extra investeringskosten die een dergelijke investering met zich meebrengt, voor haar rekening. De maatregel kadert in het economische beleid van de Vlaamse regering en speelt een belangrijke rol in de toepassing van duurzame bedrijfsprocessen.

In deze paragraaf worden aanbevelingen gegeven om één of meerdere van de besproken milieuvriendelijke technologieën in aanmerking te laten komen voor deze investeringssteun.

Alle relevante en meest actuele informatie over de ecologiepremie is te consulteren via de website van het Agentschap Innoveren en Ondernemen:

<https://www.vlaio.be/nl/subsidies-financiering/ecologiepremie>.

Ecologiepremie Plus is een steunregeling voor gestandaardiseerde ecologie-investeringen. De steunregeling maakt gebruik van een limitatieve technologieënlijst (LTL) met een beperkt aantal technologieën die in aanmerking komen voor steun. De meest recente lijst is geldig vanaf 05/09/2022.

De ecologiepremie wordt toegekend in de vorm van een subsidie. Het bedrag van de ecologiepremie wordt bepaald door:

- de aard van de investering (milieu/energie-efficiëntie/hernieuwbare energie);
- de ecklasse waartoe een technologie behoort op basis van zijn ecologiegetal met corresponderende subsidiepercentages;
- de grootte van de onderneming (kmo/GO).

Subsidie (ecologiepremie) blijkt obv de interviews een belangrijke stimulans geweest te zijn voor cases die anno 2022 effectief toegepast worden in de praktijk. Er was in de periode 2021/2022 een extra stimulans in het kader van de Blue Deal.

TOETSING VAN MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN AAN CRITERIA VOOR ECOLOGIEPREMIE

Het BBT-kenniscentrum van VITO verleent ondersteuning aan het Agentschap Innoveren en Ondernemen bij het opstellen van de limitatieve technologieënlijst. De technologieën op deze lijst worden getoetst aan de basisvoorwaarden zoals gesteld in de Europese milieukaderregeling en zijn ecologie-investeringen gericht op:

- het overtreffen van bestaande Europese normen (voor zover er geen strengere Vlaamse normen van toepassing zijn); Voor de aanschaf van nieuwe vervoersmiddelen moeten enkel de Europese normen worden overtroffen die in werking zijn getreden;
- het behalen van milieudoelstellingen waarbij geen Europese normen gelden.

Daarnaast gelden ook bijkomende voorwaarden:

- de ecologie-investeringen moeten technisch en economisch haalbaar zijn zoals blijkt uit de haalbaarheidsstudie;
- de ecologie-investeringen moet de stand van de techniek, die in de sector van toepassing is, overtreffen;
- er gaat een betekenisvolle investeringskost mee gepaard;
- de technologie heeft een terugverdientijd van meer dan 3 jaar.

Indien aan al deze voorwaarden is voldaan wordt de performantie van de technologie bepaald op basis van een LCIA methode. Enkel de meest performante technologieën komen in aanmerking voor ecologiesteun.

De minister bevoegd voor de economie stelt op voordracht van VITO de limitatieve technologieënlijst vast en kan die lijst aanpassen. De limitatieve technologieënlijst wordt doorgaans twee tot drie maal per jaar geactualiseerd.

STAND VAN ZAKEN LTL

Hieronder zijn de technologieën weergegeven, relevant zijn in het kader van het behandelen en valoriseren van concentraatstromen, die opgenomen zijn op de LTL op het moment van het schrijven van deze studie.

Waterzuivering/waterbehandeling van afvalwater of laagwaardig water (201082)

Beschrijving:

Deze technologie omvat de waterzuivering/waterbehandeling van afvalwater of laagwaardig water (zoals vermeld vooraan deze lijst bij de aandachtspunten) door omgekeerde osmose, nanofiltratie of (membraan)elektrodialyse. Het gezuiverde water wordt ingezet als proceswater of voor sanitaire doeleinden. Waterzuivering/waterbehandeling voor het louter behalen van de lozingsnormen is een end-of-pipe techniek die niet in aanmerking komt.

Naast de zuiveringseenheid komen volgende componenten, indien relevant, eveneens in aanmerking voor steun:

- Buffer/opvangbekken
- Leidingen tot aan de koppeling op het verdeelnet (inclusief retourleiding)
- Installatie voor behandeling van het concentraat

Voorzuivering en eventuele doseringsinstallaties voor desinfectiemiddelen komen niet in aanmerking.

Subsidiepercentage:

- Netto subsidie kmo: 50%
- Netto subsidie go: 40%

Waterzuivering/waterbehandeling van afvalwater of laagwaardig water door middel van de combinatie van ultrafiltratie en omgekeerde osmose of membraanbioreactor en omgekeerde osmose (201088)

Beschrijving:

Deze technologie omvat de waterzuivering/waterbehandeling van afvalwater of laagwaardig water (zoals vermeld vooraan deze lijst bij de aandachtspunten) door middel van de combinatie van

ultrafiltratie en omgekeerde osmose of membraanbioreactor en omgekeerde osmose. Het gezuiverde water wordt ingezet als proceswater of voor sanitaire doeleinden.

Waterzuivering/waterbehandeling voor het louter behalen van de lozingsnormen is een end-of-pipe techniek die niet in aanmerking komt. Ultrafiltratie of een membraanbioreactor zonder omgekeerde osmose komt eveneens niet in aanmerking.

Naast de zuiveringseenheid komen volgende componenten, indien relevant, eveneens in aanmerking voor steun:

- Buffer/opvangbekken
- Leidingen tot aan de koppeling op het verdeelnet (inclusief retourleiding)
- Installatie voor behandeling van het concentraat

Voorzuivering en eventuele doseringsinstallaties voor desinfectiemiddelen komen niet in aanmerking.

Subsidiepercentage:

- Netto subsidie kmo: 37,5%
- Netto subsidie go: 30%

Installatie voor hergebruik van proces-, spoel-, reinigings- en afvalwater door middel van elektrocoagulatie (201070)

Beschrijving:

Het hergebruik van proces-, spoel-, reinigings- en afvalwater in het productieproces of voor sanitaire doeleinden door middel van elektrocoagulatie. Het vrijkomen van coagulant wordt bereikt door het elektrolytisch oplossen van een elektrode (anode, gewoonlijk Fe of Al). Bij het oplossen van de elektrode komt gas (O₂, H₂) vrij, hetgeen zorgt voor een floterende werking.

Waterzuivering/waterbehandeling voor het louter behalen van de lozingsnormen is een end-of-pipe techniek die niet in aanmerking komt.

Voorzuivering en eventuele doseringsinstallaties voor desinfectiemiddelen komen niet in aanmerking.

Essentiële componenten:

- buffer (indien van toepassing)
- cleaning systeem (om scaling en fouling tegen te gaan)
- leidingnetwerk (inclusief retourleiding indien van toepassing)
- module(s) (cellen), inclusief pompen, motoren, buizen, kleppen, sensoren (flow, pH, temp en conductiviteit), en instrumentatie, controle en automatisatie
- zoutvat

Subsidiepercentage:

- Netto subsidie kmo: 30%
- Netto subsidie go: 24%

AANBEVELINGEN VOOR LTL

NIEUWE TECHNOLOGIEËN VOOR LTL

Op basis van deze studie wordt voorgesteld om onderstaande techniek bijkomend op te nemen in de LTL.

Behandeling en valorisatie van concentraatstromen, met het oog op verhoogde waterrecovery, en terugwinning en recyclage van zouten, metalen, nutriënten en/of chemicaliën.

Beschrijving:

Het behandelen van concentraatstromen met het oog op verhoogde waterrecovery dmv:

- membraangebaseerde technieken
- thermisch gebaseerde technieken
- geavanceerde oxidatietechnieken

- biologische technieken.

Voorbehandelingsstappen die deel uitmaken van de klassieke afvalwaterzuiveringstrein (met het oog op het behalen van de normen) komen niet in aanmerking.

Meerkost: 100 %

Milieuvoordeel:

Er wordt specifiek ingezet op een hogere waterrecovery en een (hogere) terugwinning en recyclage van zouten, metalen, nutriënten en/of chemicaliën.

Essentiële componenten:

De elementen die specifiek onderdeel uitmaken van de techniek (exclusief de opslag)

- cleaning systeem (om scaling en fouling tegen te gaan);
- leidingnetwerk (inclusief retourleiding indien van toepassing);
- module(s) (cellen), inclusief pompen, motoren, buizen, kleppen, sensoren (flow, pH, temp en conductiviteit), en instrumentatie, controle en automatisatie.

Elementen voor de opslag van water of concentraten (bv. buffer) komen niet in aanmerking.

Einddatum: /

AANPASSING VAN TECHNOLOGIEËN OP LTL

Op basis van deze studie worden er geen voorstellen gedaan voor aanpassing van de bestaande relevante technieken in de LTL.

6.3 AANDACHTSPUNTEN INZAKE OMKADERING EN BEGELEIDING

Tijdens de interviews met techniekleveranciers, bedrijven, kenniscentra, drinkwatermaatschappijen en experts werden een aantal noden opgetekend en suggesties gedaan die een stimulerend effect kunnen hebben op de implementatie van technieken voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen in Vlaamse bedrijven. Deze aandachtspunten zijn in bijlage 2 (vragenlijst en terugkoppeling interviews) ter informatie opgelijst. Voor een aantal zaken lopen er momenteel al initiatieven met de betrokken actoren. Het kan aangewezen zijn om de omkadering en begeleiding van initiatieven uit te werken of verder te stroomlijnen met het oog op een stimulerende werking voor de implementatie van technieken voor het behandelen en valoriseren van concentraatstromen.

LITERATUURLIJST

Geraadpleegde rapporten/papers/literatuur

Ahmad A & Hofman-Caris R. (2016). Mogelijkheden voor arseenverwijdering uit drinkwater: state of the art (KWR Watercycle Research Institute). H2O-Online / 19 april 2016.

[H2O-Online 1604-05 Arseenverwijdering - Ahmad Hofman.pdf \(h2owaternetwerk.nl\)](#)

Alkhudhiri A., Darwish N. & Hilal H (2012). Membrane distillation: A comprehensive review. Desalination 287 (2012) 2 - 18

[Membrane distillation: A comprehensive review - ScienceDirect](#)

Appelman W., Creusen R., Jurgens R., Medevoort J., van Zijlstra M. & van Os E. (2012). Glastuinbouw, Waterproof, Substraatteelt – WP5, Fase 3: Pilotonderzoek membraandestillatie. TNO rapport: TNO-060-UT-2012-01534

[Eindrapport WP5 fase 3 pilot membraandestillatie - 13970.pdf \(glastuinbouwnederland.nl\)](#)

Arola, K., Van der Bruggen, B., Mänttari, M., & Kallioinen, M. (2019). Treatment options for nanofiltration and reverse osmosis concentrates from municipal wastewater treatment: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 49, 2049-2116. DOI: 10.1080/10643389.2019.1594519

[Treatment options for nanofiltration and reverse osmosis concentrates from municipal wastewater treatment: A review: Critical Reviews in Environmental Science and Technology: Vol 49, No 22 \(tandfonline.com\)](#)

Azimibavil S. en Jafarian A. (2021). Heat transfer evaluation and economic characteristics of falling film brine concentrator in zero liquid discharge processes. Journal of Cleaner Production, Volume 285.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620349362>

Balendonck J., Feenstra L. & Kuipers N. (2010). Glastuinbouw Waterproof: Haalbaarheidsstudie valorisatie van concentraatstromen (WP6) - Fase 1 - Desktop studie "Scenario's"

[GTB-1203.indd \(wur.nl\)](#)

Bello A.S., Zouari N., Da'ana D.A., Hahladakis N & Al-Ghouti M.A. (2021). An overview of brine management: Emerging desalination technologies, life cycle assessment, and metal recovery methodologies

Journal of Environmental Management 288 (2021) 112358

Berendonck E. (2017). Behandeling van reststromen met Eutectic Freeze Crystallisation - Marktpotentie en samenvatting pilot onderzoek. KWR 2017.067

[Microsoft Word - KWR 2017-067 Samenvattend TKI EFC rapport FINAL.docx \(wur.nl\)](#)

Cipolletta G., Lancioni N., Akyol ç, Eusebi A.L. & Fatone F. (2021) Brine treatment technologies towards minimum/zero liquid discharge and resource recovery: State of the art and techno-economic assessment Journal of Environmental Management 300 (2021) 113681

Chung H.W., Swaminathan J. & Lienhard, J.H. (2020). Multistage pressure-retarded osmosis configurations: A unifying framework and thermodynamic analysis. Desalination 476 (2020) 114230

Custers K., Marynissen P. & Huybrechts D. (2020). Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor waterstof tankstations. VITO.

<https://emis.vito.be/nl/node/71673>

De Schepper, W., & Vanoppen, M. (2015). Recuperatie van water uit gezuiverd afvalwater -Tankcleaners en afvalwaterverwerkers. VITO & UGENT. IWT.

De Waal L. (2020). Huidige en toekomstige praktijk van NF/RO concentraat management. BTO-rapport 2020.019

[BTO-2020.019-Huidige-en-toekomstige-praktijk-van-NF-RO-concentraat-management.pdf](https://www.kwrwater.nl/BTO-2020.019-Huidige-en-toekomstige-praktijk-van-NF-RO-concentraat-management.pdf)
(kwrwater.nl)

Demoware (2017). Final Publishable Summary Report. Geraadpleegd op 23/08/2021.

[Final Publishable Summary — Home \(ctm.com.es\)](https://www.ctm.com.es/Final-Publishable-Summary-Home)

Derden A., Goelen T. & Janssens G. (2022). Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor het voorkomen van afstromen van erfsappen. VITO.

<https://emis.vito.be/nl/node/78258>

Derden A., & Dijkmans R. (2020). Addendum bij de studie “Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor mestverwerking - derde uitgave”. VITO.

<https://emis.vito.be/nl/node/71646>

Derden A., Vander Aa S., Hooyberghs E., Vanassche S., & Huybrechts D. (2015) Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor de vlees- en visverwerkende industrie. VITO.

<https://emis.vito.be/nl/node/71658>

Derden A., Vanassche S. & Huybrechts D. (2012). Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor (mest)covergistingsinstallaties. VITO.

<https://emis.vito.be/nl/node/71642>

Derden A., Vanassche S. & Huybrechts D. (2010). Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor textiel – micropolluenten - afvalwater. VITO.

<https://emis.vito.be/nl/node/71644>

Du X., Li Z., Xiao M., Mo Z., Wang Z., Li X. en Yang Y. (2021). An electro-oxidation reactor for treatment of nanofiltration concentrate towards zero liquid discharge. Science of The Total Environment, Volume 783.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972102060X>

EC-JRC, BREF for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016

[Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector | Eippcb \(europa.eu\)](https://eippcb.europa.eu/Common_Waste_Water_and_Waste_Gas_Treatment_Management_Systems_in_the_Chemical_Sector)

Feenstra L., Nijhuis M., Bisselink R., Kuipers N. & Jurgens R. (2012). Valorisatie van concentraatstromen Fase 2 – Laboratoriumonderzoek - Werkpakket 6: Valorisatie reststromen. TNO-060-UT-2012-01396

[293984 \(wur.nl\)](https://www.wur.nl/293984)

Garg M.C. (2019). Renewable Energy-Powered Membrane Technology: Cost Analysis and Energy Consumption. Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes

[Multi-Stage Flash Distillation - an overview | ScienceDirect Topics](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/multi-stage-flash-distillation)

Giwa A., Dufour V., Al Marzooqi F., Al Kaabi M. & Hasan S.W. (2017). Brine management methods: Recent innovations and current status. *Desalination* 407, 1-23

[Brine management methods: Recent innovations and current status - ScienceDirect](#)

Ghyselbrecht K., Van Houtte E., Pinoy L., Verbauwheide J., Van der Bruggen B. en Meesschaert B. (2012). Treatment of RO concentrate by means of a combination of a willow field and electrodialysis. *Resources, Conservation and Recycling* 65 (2012) 116-123.

Heijnen G. (2002). Water voor het Westland. Een haalbaarheidsstudie naar de toepassing van camillaire nanofiltratie voor de behandeling van oppervlaktewater in de glastuinbouw.

[citg_2002_heijnen.pdf](#)

Hofman-Caris R., Cirkel D.G., Huiting H. & de Waal L. (2019). Stand-alone decentrale zuivering voor afgelegen gebieden. BTO 2018.099.

[BTO-2018.099-Stand-alone-decentrale-zuivering-voor-afgelegen-gebieden.pdf \(kwrwater.nl\)](#)

Hofman-Caris R., Siegers W., de Graaff M., van der Kolk O. & Hofman J. (2014) Pellets van ijzerslib uit drinkwaterproductie verwijderen fosfaat. H2O-Online / 4 november 2014

[1411-01 \(h2owaternetwerk.nl\)](#)

Hofs B. (2014). High recovery reverse osmosis; samenvatting van vijf jaar onderzoek. BTO 2014.035

[368660 \(wur.nl\)](#)

Hofs B., Cornelissen E.R., Vries D., Huiting H., Nederlof M.M. & Post J.W. (2012). Geconcentreerde zoute reststromen. BTO 2012.014.

<https://edepot.wur.nl/347978>

Horemans B. & Huybrechts D. (2020). BBT-voorstudie zwembaden. VITO.

Huybrechts D., De Beare P., Van Espen L., Wellens B. & Dijkmans R. (2002). Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor car- en truckwash. VITO.

<https://emis.vito.be/nl/node/71624>

Huybrechts D., Vercaemst P. & Dijkmans R. (2002). Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor tank- en vatenreiniging. VITO.

<https://emis.vito.be/nl/node/71670>

IMPROVED, Report Mobile Research Infrastructure Experiments, case study at BASF Antwerp N.V. 2018 (IEX, RO, MD/stripping, ED)

[f593b3_42e7b35f513049499f18651a6eb4a340.pdf \(wixstatic.com\)](#)

Input leden BC (2021/2022)

Informatie ontvangen van de leden BC in navolging van BC1 (19/11/2021), als respons op kritisch nazicht van tussentijdse werkdocumenten (december 2021) en in navolging van BC2 (24/06/2022)

Ji X., Curcio E., Al Obaidani S., Di Profio G., Fontananova E. & Drioli E. (2010). Membrane distillation-crystallization of seawater reverse osmosis brines. *Separation and Purification Technology* 71 (2010) 76–82.

[Membrane distillation-crystallization of seawater reverse osmosis brines - ScienceDirect](#)

Jones E., Qadir M., van Vliet M.T.H., Smakhtin V. & Kang, S.M. (2019). The state of desalination and brine production: a global outlook. *Sci. Total Environ.* 657, 1343-1356.

[The state of desalination and brine production: A global outlook - ScienceDirect](#)

Jurgens R., Feenstra L., Appelman W. & Creusen R. (2011). Opwerking en hergebruik van brijnen in de glastuinbouw, TNO-060-UT-2011-01079

[Opwerking en hergebruik van brijnen: Glastuinbouw Waterproof](#)

Lee S., Choi, J., Park Y.-G., Shon H., Ahn C.H. & Kim, S.-H. (2019). Hybrid desalination processes for beneficial use of reverse osmosis brine: current status and future prospects. *Desalination* 454, 104-111.

[Hybrid desalination processes for beneficial use of reverse osmosis brine: Current status and future prospects - ScienceDirect](#)

Lemmens B., Ceulemans J., Elslander H., Vanassche S. Brauns E. & Vrancken K. (2007). Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor mestverwerking. VITO.

Loh W.H., Cai Q.Q., Li R., Jothinathan L., Lee B.C.Y., Ng O.H., Guo J., Ong S.L. en Hu J.Y. (2021). Reverse osmosis concentrate treatment by microbubble ozonation-biological activated carbon process: Organics removal performance and environmental impact assessment. *Science of The Total Environment*, Volume 798.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972104362X>

Lutchmiah K., Harmsen D.J.H., Wols B.A., Rietveld L.C., Qin J. & Cornelissen E.R. (2015). Continuous and discontinuous pressure assisted osmosis (PAO). *Journal of Membrane Science*, Volume 476, 15 February 2015, Pages 182-193

[Continuous and discontinuous pressure assisted osmosis \(PAO\) - ScienceDirect](#)

Mangalgiri K., Cheng Z., Cervantes S., Spencer S., Liu H. (2021). UV-based Advanced Oxidation of Dissolved Organic Matter in Reverse Osmosis Concentrate from a Potable Water Reuse Facility: A Parallel-Factor (PARAFAC) Analysis Approach. *Water Research*, 117585,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135421007806>

Micari M., Moser M., Cipollina A., Tamburini A., Micale G. en Bertsch V. (2020). Towards the implementation of circular economy in the water softening industry: A technical, economic and environmental analysis. *Journal of Cleaner Production*, Volume 255.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620303383>

Morillo, J., Usero, J., Rosado, D., El Bakouri, H., Riaza, A., & Bernaola, F. (2014). Comparative study of brine management technologies for desalination plants. *Desalination*, 336, 32-49. DOI: 10.1016/j.desal.2013.12.038

Pan S_Y, Haddad A.Z., Kumar A. & Wang S_W (2020). Brackish water desalination using reverse osmosis and capacitive deionization at the water-energy nexus. *Water =research*, 183 (2020) 116064

Peters C.D. & Hankins N.P. (2019). Osmotically assisted reverse osmosis (OARO): Five approaches to dewatering saline brines using pressure-driven membrane processes. *Desalination* - Volume 458, 15 May 2019, Pages 1-13.

[Osmotically assisted reverse osmosis \(OARO\): Five approaches to dewatering saline brines using pressure-driven membrane processes - ScienceDirect](#)

- Panagopoulos A. & Haralambous K.J (2020). Environmental impacts of desalination and brine treatment - Challenges and mitigation measures
Marine Pollution Bulletin 161 (2020) 111773
- Panagopoulos A., Haralambous K.J & Loizidou M. (2019). Desalination brine disposal methods and treatment technologies -A review
Science of the Total Environment 693 (2019) 133545
- Polders C., Huybrechts D., Custers K. & Brusselaers J. (2021). Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor het inwendig reinigen van recipiënten (draft 4, juli 2021)
- Polders C., Vanassche S. & Huybrechts D. (2013). Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor verwerking van externe bedrijfsafvalwaters & vloeibare/ slibachtige bedrijfsafvalstromen. VITO.
<https://emis.vito.be/nl/node/71652>
- Shu-Yuan Pan, Andrew Z. Haddad, Arkadeep Kumar, Sheng-Wei Wang (2020). Brackish water desalination using reverse osmosis and capacitive deionization at the water-energy nexus. Water Research 183, 116064.
[Brackish water desalination using reverse osmosis and capacitive deionization at the water-energy nexus - ScienceDirect](#)
- Sperlich A., Warschke D., Wegmann C., Ernst M. & Jekel M. (2010). Treatment of membrane concentrates: Phosphate removal and reduction of scaling potential. Water Science & Technology 61(2):301-6
[\(PDF\) Treatment of membrane concentrates: Phosphate removal and reduction of scaling potential \(researchgate.net\)](#)
- Rodrigues M., Paradkar A., Sleutels T., ter Heijne A., Buisman C.J.N., Hamelers H.V.M. & Kuntke P. (2021). Donnan Dialysis for scaling mitigation during electrochemical ammonium recovery from complex wastewater. Water Research 201 (2021) 117260
- Saltworks (2019) Applying Ultra-High Pressure Reverse Osmosis in Brine Management
<https://cdn.saltworkstech.com/wp-content/uploads/2019/03/Applying-Ultra-High-Pressure-Reverse-Osmosis-in-Brine-Management.pdf>
- Spärgberg M.C., Chergaoui S, Sang Sefidi V & Luis P. (2021). Crystallization control via membrane distillation-crystallization: A review
[Crystallization control via membrane distillation-crystallization: A review - ScienceDirect](#)
- Subramani A. & Jacangelo J.G. (2014). Treatment technologies for reverse osmosis concentrate volume minimization: A review. Separation and Purification Technology 122 (2014) 472-489
[Treatment technologies for reverse osmosis concentrate volume minimization: A review - ScienceDirect](#)
- Tedesco M., Brauns E., Cipollina A., Micale G., Modica P., Russo G. & Helsen J. Reverse Electrodialysis with saline waters and concentrated brines: a laboratory investigation towards technology scale-up (2015)
[Manuscript \(reapower.eu\)](#) (Post-print of the article published on Journal of Membrane Science 492 (2015) 9–20)

Terwisscha van Scheltinga S., de Vet W., Wouters H. & van der Berg R. (2014). RO-concentraatbehandeling met continue zandfilters
[RO-concentraatbehandeling met continue zandfilters \(h2owaternetwerk.nl\)](https://h2owaternetwerk.nl)

Track T. (2016). Economically and Ecologically Efficient Water Management in the European Chemical Industry (E4Water)

Van den Abeele L., Vanassche S., Weltens R. en Huybrechts D. (2015) Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor aardappel-, groente- en fruitverwerkende nijverheid (AGF). VITO.
<https://emis.vito.be/nl/node/70002>

Van den Abeele L., Meynaerts E. & Huybrechts D. (2011) Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor de sector zwembaden. VITO.
<https://emis.vito.be/nl/node/71664>

Van den Abeele L., Vanassche S., Hooyberghs S. & Huybrechts D. (2009) Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor Wasserijen en Linnenverhuurders. VITO.
<https://emis.vito.be/nl/node/71659>

Van Houtte E. (2015). Combining treatment of reverse osmosis concentrate and biomass production at the Torreele reuse facility. Conference Proceedings, 5th International Symposium "RE-WATER Braunschweig" 02-03/11/2015

Van Houtte E., Berquin S., Pinoy L. & Verbawhede J. (2012). Experiment with willows to treat RO concentrate at Torreele's water re-use facility in Flanders, Belgium. Proceedings AMTA/AWWA Membrane Technology Conference 2012 Glendale, Arizona. Geraadpleegd op 06/05/2021.
 [\(3\) \(PDF\) Experiment with willows to treat RO concentrate at Torreele's water re-use facility in Flanders, Belgium \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/312511113)

Van Os E., Jurgens R., Appelman W., Enthoven N., Bruins M., Creusen R., Feenstra L., Santos Cardoso D., Meeuwse B. & Beerling E. (2012). Technische en economische mogelijkheden voor het zuiveren van spuiwater. Wageningen UR Rapport GTB-1205
[GTB-1205.indd \(core.ac.uk\)](https://core.ac.uk/doi/pdf/10.13140/RG.2.2.24811.1)

Vanoppen M., Verliefde A., Pinoy L & Cauwenberg P. (2016). Technologiegids - VIS-traject "De Blauwe Cirkel" Duurzaam hergebruik van water en valorisatie van reststromen.
[WP4-Technologiegids-versie-2017.pdf \(watercircle.be\)](https://watercircle.be/wp-content/uploads/2017/04/WP4-Technologiegids-versie-2017.pdf)

VCM (2020). Flemish biobased fertilizers recovered from manure complying to the RENURE-criteria
[Note \(digisecure.be\)](https://digisecure.be/nl/renure)

Verjans V., Mertens M. & Feyaerts M. (2020). Waterhandboek Watercircle.be in kader van VLAIO-project KO-Water.
[Waterhandboek-KO-Water.pdf \(watercircle.be\)](https://watercircle.be/wp-content/uploads/2020/06/Waterhandboek-KO-Water.pdf)

WASS – Waterzuiverinsselectiesysteem. Geraadpleegd op 20/08/2021.
<https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/selectiesystemen/wass/technieken>

Willow Systems, Willow Wastewater Cleaning Facility with zero discharge (2010). Geraadpleegd op 06/05/2021.
[Center for Recirkulering \(pillerensning.dk\)](https://pillerensning.dk)

Bezochte websites

www.lenntech.com (Lenntech 2022)

- [Processes \(lenntech.com\)](#) (21/04/2022)
- [Brine-Zreo-Liquid-Discharge-ZLD-Fundamentals-and-Design-Lenntech](#) (21/04/2022)
- [Brine Treatment \(lenntech.nl\)](#) (21/04/2022)
- [Ultrapure Water - Lenntech](#) (21/04/2022)
- [Recovery of metals by Donnan dialysis with ion exchange textiles \(lenntech.com\)](#) (21/04/2022)

Aquafit4use – EU-project – sectoren: chemie, papier, textiel en voeding

[Final Report Summary - AQUAFIT4USE \(Water in industry, fit-for-use sustainable water use in chemical, paper, textile and food industry\) | FP7 | CORDIS | European Commission \(europa.eu\)](#) (16/12/2021)

Blauwe Cirkel - VLAIO ([Blauwe Cirkel: Organisatie – Watercircle](#)) 16/12/2021

[WP4-Brochure-De-Blauwe-Cirkel.pdf \(watercircle.be\)](#) 19/05/2022

[Commercial outcomes - Water 2 Return](#) (04/10/2021)

E4water – EU-project – sectoren

[Final Report Summary - E4WATER \(Economically and Ecologically Efficient Water Management in the European Chemical Industry\) | FP7 | CORDIS | European Commission \(europa.eu\)](#)

[final1-e4water-final-report-final.pdf \(europa.eu\)](#)

(16/12/2021)

Reapower - EU ([Home - REAPower](#)) (16/12/2021)

<https://www.vmm.be/water/afvalwater/impactbeoordeling-bedrijfsafvalwater> (02/12/2021)

[Inopsys reference cases](#) (16/12/2021)

SweetH₂O - Vlaio/De Blauwe cluster (1 april 2019 – 31 januari 2020)

[Haalbaarheidsstudie naar ontzilting afgerond | De Blauwe Cluster](#)

(16/12/2021)

[Proeftuinen droogte — Vlaamse Milieumaatschappij \(vmm.be\)](#) (16/12/2021)

[SULFATEQ™ - PAQUES](#) (Paques, 2022) (21/04/2022)

[Verdampers & kristallisatoren | GEA verdamping en kristallisatie](#)

www.watercircle.be (07/12/2021)

- [Projecten: Sucr'eau – Watercircle](#) → effectieve scheidingstechnologie om zetmeel en suikers terug te winnen uit blancheerwater bij verwerking van aardappelen tot friet
- [Projecten: Smart WaterUse – Watercircle](#) → Ontwikkelen Waterbarometer (water- en droogterisico's & maatregelen/actiepunten)
- [Projecten: Waterketen – Watercircle](#) → "afoetsingsmatrix" voor (her)gebruik van effluent van AWZI's als irrigatie- of fertigatie water (behoud van nutriënten) in de landbouw
- [Projecten: Over KO-Water – Watercircle](#) (01/10/18 - 31/12/20) → kosten-efficiënt opwaarderen van waterbronnen in de procesindustrie
- [Projecten: Intelsens – Watercircle](#) (10/2016 - 10/2018) → adviesverlening over procesintegratie en intelligent gebruik van online metingen bij waterzuivering

- [Blauwe Cirkel: Organisatie – Watercircle](#) (01/07/2012 - 30/06/2016) → hergebruik van water en zoutstromen in de industrie.

[watertool.inagro.be/interface/Toepassingsgebied.aspx](#) (16/12/2021)

Eurydice (Institute for Sustainable Process Technology - ISPT) - [From wasting valuable resources to a 'zero discharge' closed waste water cycle - ISPT](#) (16/12/2021)

[Chapter 7 Donnan Dialysis – ScienceDirect](#) (17/01/22)

[HTFF Evaporator | Veolia \(entropie.com\)](#) (20/01/2022)

[Multiple Effect Distillation \(MED\) | Veolia \(entropie.com\)](#) (20/01/2022)

[Multiple Effect Distillation - MED TVC | Veolia \(entropie.com\)](#) (20/01/2022)

[Multiple Effect Distillation - MED-MVC | Veolia \(entropie.com\)](#) (20/01/2022)

[Nyrstar Zinkfabriek - PAQUES](#) (20/01/2022)

[IJzerpellets – AquaMinerals BV](#) (20/01/2022)

[Pressure Retarded Osmosis - an overview | ScienceDirect Topics](#) (20/01/2022)

[Pressure-Retarded Osmosis | Lienhard Research Group \(mit.edu\)](#) (20/01/2022)

[Applying Ultra-High Pressure Reverse Osmosis in Brine Management \(saltworkstech.com\)](#) (20/01/2022)

[What is Osmotically Assisted Reverse Osmosis \(OARO\)? - Hyrec](#) (01/03/2022)

[Brine Concentration - Osmotic Engineering \(osmotic-engineering.com\)](#) (Osmotic Engineering, 2022) (01/03/2022)

[Beheersen van concentraatstromen - KWR \(kwrwater.nl\)](#) (03/03/2022)

[Micro- en ultrafiltratie in de oppervlaktewaterbehandeling - KWR \(kwrwater.nl\)](#) (03/03/2022)

[Polishing pellets - KWR \(kwrwater.nl\)](#) (03/03/2022)

[Elektrochemische zuiveringsprocessen - KWR \(kwrwater.nl\)](#) (03/03/2022)

[Geavanceerde oxidatie voor drinkwaterbehandeling - KWR \(kwrwater.nl\)](#) (03/03/2022)

[NOMixed - KWR \(kwrwater.nl\)](#) (03/03/2022)

[Eawag - Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology - Eawag](#) (03/03/2022)

[Pressure-retarded osmosis - Fraunhofer IGB](#) (Fraunhofer, 2022) (21/04/2022)

[Ultrafiltration aus der Membrantechnik für klares Wasser \(inaqua.de\)](#) (technische fiches en cases) (Inaqua, 2022) (21/04/2022)

CCRO-case De Ganzepoot (Waterleau ism De Watergroep, Farys en Aquaduin)

[Drinkbaar zoet, brak en Noordzeewater tegen 2025 | Nieuws | Aquaduin / IWVA ov](#)
(28/04/22)

H2O Engineering ([Closed-Circuit Reverse Osmosis \(CCRO\) | H2O Engineering](#))
(28/04/22)

CCRO-case Dupont: [Desalitech CCRO \(dupont.com\)](#)
(28/04/22)

Projectpagina: [IMPROVED \(improvedwater.eu\)](#)

Slides eindcongres: [PowerPoint-presentatie \(improvedwater.eu\)](#)

Piloten databank: [Database waterpilots \(vlakwa.be\)](#) → VLAKEWA-Database waterpilots: EDR, IEX, AOX, MD
(06/05/22)

[Projecten \(tkiwatertechnologie.nl\)](#)
[Polishing pellets \(tkiwatertechnologie.nl\)](#)
(06/05/22)

[Op weg naar een duurzame aanpak van concentraatbehandeling - KWR \(kwrwater.nl\)](#)
[Collectief onderzoek Water in de Circulaire Economie \(WiCE\) - KWR \(kwrwater.nl\)](#)
(06/05/22)

[Zout en humuszuren terugwinnen bij drinkwaterproductie - KWR \(kwrwater.nl\)](#)
IEX, ED, NF, FO, diafiltratie
(06/05/2022)

[Masterplan De Blankaart | De Watergroep](#)
IEX
(06/05/22)

[The experts in low temperature crystallization \(coolseparations.nl\)](#)
EFC, FC en CC
(06/05/2022)

[The experts in low temperature crystallization \(coolseparations.nl\)](#)
[Eutectic Freeze Crystallization | Cool Separations](#)
[Freeze Concentration Technology | Cool Separations](#)
[Cooling Crystallization Technology | Cool Separations](#)
(06/05/2022)

[Technology - NX Filtration](#)
[Case studies - NX Filtration](#)
(06/05/22)

[Membraantechnologie zonder chemicaliëninput | Vlakwa - Vlaams Kenniscentrum Water](#)
(06/05/2022)

[Counterflow Reverse Osmosis – Gradient Corporation](#)
(10/05/2022)

[Precious metals finishing: the evaporation applied to water reuse and metals recovery - EVALLED®](#)
[Evaporators for Wastewater Treatment - Evaporation Technologies | Veolia Group](#)

[Mechanical Wastewater Treatment - EVALED® | Veolia Group](#)
[HPD® Evaporation & Crystallization | Veolia Water Technologies](#)
 (10/05/2022)

[RENURE | Inagro](#)
[VCM informatiedocument over Vlaamse RENURE-producten - VCM vzw \(\[vcm-mestverwerking.be\]\(http://vcm-mestverwerking.be\)\)](#)
 (17/05/2022)

[Homepage | Vlaams Instituut voor de Zee \(\[vliz.be\]\(http://vliz.be\)\)](#)
 (26/08/2022)

Nederlandse Olie- en Gasportaal
[Wetgeving | NLOG, Injectie proceswater | NLOG, Andijk \(zoutwaterinjectie\) | NLOG](#)
 (30/08/2022)

[Watercircle - alternatieven bereiding proceswater - zoutvermindering](#)
 (08/09/2022)

[Eco-Vision - Waterbehandeling](#)
[ionenwisselaars](#)
[verdampers](#)
 (22/09/2022)

[Lozen van brijn - Kenniscentrum InfoMil](#)
 (22/09/2022)

[IVACO | Detricon](#)
 (23/01/2023)

Tools

[AquaPriori - KWR \(\[kwrwater.nl\]\(http://kwrwater.nl\)\)](#)

- Wat: applicatie waarin de kennis van zuiveringsmechanismen vertaald is naar procesmodellen van zuiveringstechnieken.
- Doel: tool om directe, kwantitatieve indicatie te krijgen van het zuiveringsrendement voor opkomende stoffen, zonder dat deze gegevens bekend hoeven te zijn; hierdoor kunnen experimentele studies voorkomen worden met alle bijhorende kosten.
- Gebruiker(s): drinkwaterbedrijven en -laboratoria (licentie aan te vragen, incl. deelname aan gebruikersgroep)

De Waterbarometer

- Wat: tool, ontwikkeld in het kader van het project [Smart WaterUse - Flanders' FOOD \(\[flandersfood.com\]\(http://flandersfood.com\)\)](#) Doel: in kaart brengen en aanpakken van de waterrisico's en slim omgaan met water binnen de sectoren van (zee-)voeding, aquacultuur, textiel en toerisme
- Gebruiker(s): bedrijven (zowel Kmo's als grote ondernemingen) (login aan te vragen)

[Online Brine Platform | ZERO BRINE](#)

Doel: producenten en gebruikers van concentraten (brijnstromen) met elkaar in contact te brengen en matches te zoeken (na registratie).

BEGRIPPENLIJST

Opmerking

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de definities/omschrijving van de termen en technieken vermeld in deze studie. De bronvermeldingen zijn terug te vinden in Tabel 1, Tabel 2 en de afzonderlijke excel (concentraatstromen inventaris H3).

TERM / TECHNIEK	DEFINITIE / OMSCHRIJVING
actieve kool adsorptie	Selectieve verwijdering van niet-polaire organische stoffen door aanhechting aan een oppervlak van een vaste stof.
afvalwater	Het verontreinigde water waarvan men zich ontdoet, zich moet ontdoen of de intentie heeft zich van te ontdoen, met uitzondering van hemelwater dat niet in aanraking is geweest met verontreinigende stoffen.
afvalwaterverbranding	Exotherme chemische reactie in aanwezigheid van zuurstof.
bedrijfsafvalwater	Alle afvalwater dat niet voldoet aan de bepalingen van huishoudelijk afvalwater of koelwater.
behandeling met actieve kool in poedervorm	Techniek waarbij door toevoeging van actieve kool in poedervorm in een biologische zuiveringsinstallaties, toxische of moeilijk biodegradeerbare stoffen worden verwijderd.
biologische behandeling in rietveld of wilgenveld	Biologische zuivering door fixatie van o.a. organische stoffen, nutriënten en metalen in biomassa (wortels van riet/wilgen/korte omloop hout).
biologische behandeling met halofiele bacteriën	Biologische zuivering door middel van zouttolerante bacteriën.
biosorptie - fyto-extractie door halofytenfilter of zoutminnende planten	Biologische zuivering door fixatie van zouten en metalen in biomassa (wortels) van zoutminnende planten.
bodemwater	Het water aanwezig in de onverzadigde zone tussen het aardoppervlak en de grondwatertafel.
brak water	De wateren waarvan het chloridegehalte op natuurlijke wijze 600 mg Cl/l kan overschrijden.
brak water	Het watergebied dat tussen zoetwater en zoutwater in zit en komt veel voor in kust gebieden.
brijn	Zout concentraat dat ontstaat bv. bij het behandelen/ontzouten van brak water dmv omgekeerde osmose. Hooggeconcentreerde oplossing van zout (meestal NaCl) in water, met bv. een zoutoplossingen van ca. 3,5% (een typische concentratie van zeewater).
chemische oxidatie bij hoge temperatuur en druk	Variant van chemische oxidatie waarbij organische vervuiling in water geoxideerd worden door een oxidans (zuurstofhoudend gas, bv. lucht of O ₂) bij hoge temperatuur en druk.
coagulatie/precipitatie	Techniek voor het destabiliseren van een colloïdale oplossing, zodat vervuilende stoffen kunnen samenklonteren tot vlokken en vervolgens neerslaan.
concentraatstroom	Een geconcentreerde, waterhoudende stroom die resulteert uit één of meerdere (afval)waterbehandelingstechnieken en die een verhoogde of omgevingsvreemde concentratie bevat aan moleculen, zoals zouten, nutriënten, metalen en/of (an)organische componenten.

TERM / TECHNIEK	DEFINITIE / OMSCHRIJVING
destillatie/rectificatie	Een thermisch proces waarbij concentratie optreedt door verdamping en condensatie van een oplosmiddel door verhoging van de temperatuur/zonne-energie (bv. voor de verwijdering van vluchtige organische stoffen uit water).
diafiltratie (verdunding + filtratie)	Variant van ultrafiltratie waarbij componenten met hoog moleculair gewicht worden opgeconcentreerd en componenten met laag moleculair gewicht worden verdund.
donnan dialyse	Membraanproces dat gebruik maakt van één soort ion-uitwisselingsmembranen (ofwel kation- ofwel anionuitwisselend) om ionen met eenzelfde lading uit te wisselen tegenover elkaar vanuit twee oplossingen waarbij er een selectief transport is van mono- of multivalente ionen tegen de concentratiegradiënt in.
door schuifkracht verbeterde membraanfiltratie	Variant van membraanfiltratie (dynamische of door afschuiving versterkte filtratie) waarbij afschuiving op het membraan wordt gecreëerd door het membraan of een onderdeel nabij het membraanoppervlak te roteren (roterende schijf of rotor of draaiend membraan) of te trillen (vibrerend membraan).
drukondersteunde osmose	Variant van voorwaartse osmose, met verbeterde prestaties door hydraulische druk (0,1-0,8 bar) toe te voegen aan de invoerzijde.
drukvertraagde osmose	Variant van omgekeerde osmose waarbij water door een semipermeabel membraan dringt van een voedingsstroom met een lage zoutconcentratie naar een hoge zoutconcentratie (gedeeltelijk stijgt de druk in de pekel). De oplossing kan dan via een turbine drukloos worden gemaakt, waardoor elektrische energie wordt opgewekt.
eiwitten ingebouwd in membranen (Aquaporin Inside™ technology)	Variant van omgekeerde of voorwaartse osmose, waarbij eiwitten zijn ingebouwd in de membranen, waardoor specifiek watertransport mogelijk gemaakt wordt met het oog op <i>Minimal Liquid Discharge</i> of <i>Zero Liquid Discharge</i> .
electrocoagulatie	Techniek met als doel het vormen van precipitaten en van bindingen tussen colloïden zodat deze stoffen gemakkelijk afgescheiden kunnen worden. Het vrijkomen van coagulant wordt bereikt door het elektrolytisch oplossen van een elektrode (anode, gewoonlijk Fe of Al). Bij het oplossen van de elektrode komt gas (O_2 , H_2) vrij hetgeen zorgt voor een floterende werking. Indien noodzakelijk kan doseren van een (hulp)vlokmiddel het rendement van floteren verbeteren.
elektrodeïonisatie	Membraanproces vergelijkbaar met elektrodialyse waarbij ionuitwisselingshars tussen de membranen wordt aangebracht zodat de elektrische weerstand verlaagt, waarbij de overgebleven ionen in het diluaat terug vrij kunnen bewegen in het water, richting de kathode en anode.
elektrodialyse	Membraanproces voor selectieve verwijdering van ionen (door scheiding van mono- en multivalente ionen) uit een oplossing. Bij deze elektrochemische scheidingstechniek worden ionen (en niet water zoals bij omgekeerde osmose) d.m.v. een spanningsverschil (en niet door druk) doorheen kation- en anion selectieve membranen gestuurd.
elektrodialyse met bipolaire membranen	Combinatie van elektrodialyse (waarbij zout splitst in zijn zure (X^-) en base (M^+) ionen in het diluaatcompartiment) en elektrolyse (splitting van water in H^+ en OH^-) met vorming van zuren (HX) en basen (MOH) in het concentraat.

TERM / TECHNIEK	DEFINITIE / OMSCHRIJVING
elektrodialyse metathese	Variant van elektrodialyse waarbij kationen en anionen opgevangen worden in aparte concentraten en waar met Na ⁺ of Cl ⁻ als tegenionen goed oplosbare zouten gevormd worden.
extractie	Scheidingsproces waarbij scheiding optreedt obv chemische eigenschappen door een voedingsstroom met vervuiling in contact te brengen met een extractievloeistof.
fotokatalytische waterzuiveringstechnologie	Techniek waarbij met behulp van fotokatalysatoren en ultraviolet (afkomstige van zonlicht) toxische componenten uit water verwijderd worden.
fosfaat uitloging / fosforprecipitatie	Proces waarbij mineralen (o.a. fosfaat) uit een vaste substantie worden onttrokken door middel van oplossing in een vloeistof.
fyto-ontzilting	Ontzouting met behulp van planten.
geïntegreerde permeaatkanaalmembranen (in membraanbioreactor)	Membraanproces waarbij geïntegreerde permeaatkanaalmembranen (eendelige membraanomhulling met twee membraanlagen ertussen, met een hoge interne porositeit (≥95%) in combinatie met wassing aan de achterzijde, met fluxsnelheden die hoger zijn dan de typische in membraanbioreactor-toepassingen.
gemengd bed ionenuitwisseling / polisher / filter	Alternatief voor elektrodeïonisatie op basis van ionenuitwisseling waarbij de kation- en anionharsen gemengd zijn in één kolom.
gewone oppervlaktewateren	Alle oppervlaktewateren met uitzondering van de kunstmatige afvoerwegen voor hemelwater en de openluchtgreppels, behorend tot de openbare riolering.
grondwater	Al het water dat zich onder het bodemoppervlak in de verzadigde zone bevindt en dat in direct contact met bodem of ondergrond staat.
hemelwater	Verzamelnaam voor regen, sneeuw en hagel, met inbegrip van dooiwater.
hoge druk omgekeerde osmose	Variant van omgekeerde osmose, waarbij gebruik gemaakt wordt van spiraalgewonden membranen die bestand zijn tegen hoge druk (120 bar).
hoge herwinning inter-stage precipitatie omgekeerde osmose	Variant van omgekeerde osmose, met multivalente ionen verwijdering door inter-stage toepassing van pH-wijziging, bezinking en ultrafiltratie.
huishoudelijk afvalwater	afvalwater dat alleen bestaat uit het water dat afkomstig is van: 1° normale huishoudelijke activiteiten; 2° sanitaire installaties; 3° keukens; 4° het reinigen van gebouwen, zoals woningen, kantoren, plaatsen waar groot- of kleinhandel wordt gedreven, zalen voor vertoningen, kazernen, kampeerterreinen, gevangenissen, onderwijsinrichtingen met of zonder internaat, zwembaden, hotels, restaurants, drankgelegenheden, kapsalons; 5° wassalons, waar de toestellen uitsluitend door het cliënteel zelf worden bediend.
ijzerpellet adsorptie	Selectieve verwijdering (na verzadiging en thermisch of chemisch fractioneren) van individuele componenten door aanhechting aan een oppervlak van een vaste stof (binding van fosfonaat-gebaseerde antiscalant).
ionenuitwisseling	Selectieve uitwisseling van verschillende kationen of anionen in een ionenwisselaar (behuizing gevuld met kunsthars) met mogelijkheid tot het terugwinnen van waardevolle ionen.

TERM / TECHNIEK	DEFINITIE / OMSCHRIJVING
katalytische natte lucht oxidatie	Proces waarbij een exotherme oxidatiereactie optreedt van (voorverwarmd, zuurstofrijk) water dat stroomt doorheen een kolom met een vaste, korrelvormige katalysator.
koelwater	Het water dat in de nijverheid voor afkoeling gebruikt wordt en dat niet in aanraking is gekomen met af te koelen stoffen of met andere verontreinigende stoffen.
kristallisatie	Een thermisch proces waarbij concentratie optreedt door vorming van ijskristallen, zoutkristalvorming en scheiding op basis van dichtheid.
lozing van afvalwater	De emissie van afvalwater door daartoe bestemde afvoerkanalen.
(membraan) capacitieve deïonisatie	Ontzoutingstechniek met behulp van membranen waarbij het voedingswater langs twee elektrodes wordt geleid, waardoor onder invloed van het aangelegd elektrisch veld de aanwezige ionen migreren naar de elektrodes met het oog op scheiding van geladen en ongeladen deeltjes door immobilisatie van geladen deeltjes.
membraandestillatie	Thermisch gedreven membraanproces waarbij dmv een microporeus hydrofoob membraan twee waterige oplossingen op verschillende temperatuur van elkaar gescheiden worden (scheiding op basis van de mate van vluchtigheid van opgeloste componenten).
(membraan)elektrolyse	Proces waarbij onder invloed van een elektrische stroom een doelgerichte elektronenoverdracht plaatsvindt in een elektrolyt. Hierbij wordt een vloeistof onder een elektrische gelijkspanning gezet met behulp van inerte elektroden en een spanningsbron. De efficiëntie van de techniek kan verhoogd worden door de kathode- en anoderuimte te scheiden met behulp van een membraan. Het membraan is opgebouwd uit polymeer met hoge ladingsdichtheid. Door de lading van het membraan te wijzigen kan het anion- of kation selectief gemaakt worden.
nanofiltratie	Een membraanproces met voorkeur voor verwijdering van multivalente ionen. De selectiviteit is echter niet volledig zodat ook monovalente ionen tot een bepaalde graad (lager dan multivalente ionen) tegengehouden worden (ca. 40-60%). Zouten die tegengehouden worden komen in het concentraat terecht en worden aldus opgeconcentreerd. Zouten die niet tegengehouden worden, komen in het permeaat terecht.
natte lucht oxidatie	Voorbehandelingstechniek waarbij organische stoffen bij lagere of subkritische procesomstandigheden worden omgezet tot laagmoleculaire, biologisch afbreekbare stoffen.
omgekeerde elektrodialyse / elektrodialyse omkering	Continue en zelf reinigende elektrodialyse, waarbij iedere 30 - 60 minuten het elektrische veld wordt omgedraaid voor 30 seconden met het oog op het vermijden van fouling of aanslag van geladen deeltjes op het membraan.
omgekeerde osmose	Een membraanproces dat zowel de mono- als divalente zouten verwijdert en dus kan gebruikt worden om zoute stromen verder op te concentreren. Het permeaat bevat minder zouten dan bij nanofiltratie.
omgekeerde osmose met gesloten circuit	Variant van omgekeerde osmose, waarbij concentraat continu in de tijd wordt gerecirculeerd met het oog op een hogere terugwinning.
openbare riolering	Het geheel van openbare leidingen en openluchtgreppels bestemd voor het opvangen en transporteren van afvalwater.
oppervlaktewater	Het stilstaande of stromende zoet, brak of zout water dat permanent of op geregelde tijdstippen op natuurlijke of kunstmatige wijze een

TERM / TECHNIEK	DEFINITIE / OMSCHRIJVING
	deel van het aardoppervlak inneemt en dat deel uitmaakt van een waterhuishoudkundig systeem. Het stilstaande water dat permanent of op geregelde tijdstippen op natuurlijke wijze een deel van het aardoppervlak inneemt, dat niet in verbinding staat met het waterhuishoudkundig systeem maar wordt gevoed door hemelwater.
osmotisch ondersteunde omgekeerde osmose	Variant van omgekeerde osmose in combinatie met voorwaartse osmose, waarbij een fractie van het concentraat van de laatste scheidingsfase terug naar de permeatzijde wordt geleid.
permeaat	De verdunde, waterhoudende stroom die resulteert uit waterbesparende technieken zoals ultrafiltratie, nanofiltratie, omgekeerde osmose en analoge (membraan gebaseerde) technieken.
pertractie	Membraanproces waarbij organische verbindingen (vluchtige en niet-vluchtige) geëxtraheerd worden uit vloeistoffen (o.a. water) met behulp van membranen.
pervaporatie	Membraanproces (variant van destillatie) waarbij permeatie en verdamping gecombineerd worden met het oog op het scheiden van vloeistofmengsels.
stedelijk afvalwater	Huishoudelijk afvalwater of het mengsel van huishoudelijk afvalwater en/of bedrijfsafvalwater en/of afvloeiend hemelwater.
stroomomkering omgekeerde osmose	Variant van omgekeerde osmose, waarbij door een periodieke afwisseling van de doorstroomrichting van het concentraat een hogere terugwinning kan bekomen worden.
superkritische wateroxidatie	Proces uitgevoerd onder subkritische omstandigheden waarbij zonder katalyse een volledige oxidatie optreedt met het oog op een complete neerslag van opgeloste stoffen uit superkritische waterfase.
sulfateq TM	Biologische verwijdering van sulfaat via omzetting in hydrofiel (niet-klonterend) elementair zwavel.
tegenstroom omgekeerde osmose	Variant van omgekeerde osmose, waarbij een verdunde zoutoplossing wordt ingebracht aan de productzijde van het membraan om de osmotische drukbarrière te verminderen en daardoor de vereiste voedingsdruk te verminderen.
ultrahoge druk omgekeerde osmose	Variant van omgekeerde osmose, waarbij gebruik gemaakt wordt van spiraalgewonden membranen die bestand zijn tegen hoge druk (tot 160 bar).
ultrafiltratie	Een membraanproces dat op basis van een aangelegd drukverschil of concentratiegradiënt over een semipermeabel membraan component kan scheiden. Het concentraat bevat zwevende stoffen en componenten met een hoge molecuulmassa. Componenten met een lage molecuulmasse waaronder ook eenwaardige en tweewaardige ionen kunnen doorheen het membraan bewegen en komen in het permeaat terecht.
verdamping/indamping	Drogingstechniek waarbij vluchtige stoffen verdampt worden, toegepast op concentraatstromen met het oog op het concentreren van opgeloste vervuiling en het destilleren van gezuiverd water.
verontreinigende stoffen	Iedere stof die tot verontreiniging kan leiden, als vermeld in bijlage 2A van VLAREM II.
verontreiniging	Het direct of indirect door de mens lozen van stoffen of energie in het aquatisch milieu, ten gevolge waarvan de gezondheid van de mens in gevaar kan worden gebracht, het leven en de ecosystemen in het

TERM / TECHNIEK	DEFINITIE / OMSCHRIJVING
	water kunnen worden geschaad, of enig rechtmatig gebruik van het water kan worden gehinderd.
voorwaartse osmose	Variant van omgekeerde osmose, waarbij concentratie van verdunde waterstroom gedreven wordt door osmotisch drukverschil.
zeewater/brakwater omgekeerde osmose	Variant van omgekeerde osmose, uitgevoerd met membranen die geschikt zijn voor waterextractie uit waterstromen met een hoog zoutgehalte.
zoet water	De oppervlaktewateren in het binnenland tot de plaats waar bij hoog tij en in een periode met gering zoetwaterdebiet, het zoutgehalte stijgt ten gevolge van de aanwezigheid van zeewater.

BIJLAGE 1: MEDEWERKERS VAN DE BBT-STUDIE

KENNISCENTRUM VOOR BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN

- An Derden
- Tim Goelen
- Greet Janssens

BBT-kenniscentrum
p/a VITO
Boeretang 200
2400 MOL
E-mail: bbt@vito.be

LEDEN BEGELEIDINGSCOMITÉ

- Linus Laisnez - VMM
- Tania Verhoeve - VMM
- Lut Hoebeke - VMM
- Annelies Baert - GOP
- Veerle Depuydt - VITO/VLAKWA
- Johan Ceulemans - VITO
- Matthias Mertens - Nutricycle - Watercircle.be
- Astrid D'Haene - VCM - Vlaams coördinatiecentrum mestverwerking

Bovenstaande personen namen effectief deel aan de vergaderingen in het kader van deze studie. Watercircle.be (Matthias Mertens) trad op als vertegenwoordiger en eerste aanspreekpunt van zijn leden die interesse toonden in deze studie (techniekleveranciers, studiebureaus en drinkwatermaatschappijen) en coördineerde ook de contacten en informatie-uitwisseling met de sector.

CONTACTEN AANGELEVERDE VRAGENLIJST (Q)

- Hach - Sjoerd Vanderknoop
- Pidpa - Koen Huysman & Kristien Keppens
- Pantarein - Sander Vervloet
- Nippon Shokubai (nseurope) - Franky Dewilde
- Bosaq - Joachim Desloover

CONTACTEN IN HET KADER VAN BEVRAGING EN (VERVOLG)INTERVIEWS

- Watercircle.be - Matthias Mertens
- Nippon Shokubai - Franky De Wilde
- Bosaq - Jochim Desloover
- De Watergroep - Vincent Dunon
- UGent - Emile Cornelissen
- Veolia - Michel Danau
- UAntwerpen - Jan Dries
- Ekopak - Joost Van der Spurt
- Dupont - Korneel Caron
- Trevi - Bram Eggermont
- Hydrohm - Jolien De Paepe
- Sweco Belgium - Steven Raes & Valerie Verjans
- Aaqua - Rob Vandenbroeck
- EPAS consultancy - Dries De Cock

- Waterleau - Hannah Vandewiele
- Witteveen+Bos - Kristof Van Acker
- Green Service - Jeroen Dolfen
- Pantarein - Piet De Langhe

OVERIGE CONTACTEN IN HET KADER VAN INFORMATIE-UITWISSELING

- Delphine Derde - United Experts
- Sara Salvador Cob, Wim De Schepper & Ben Laenen - VITO
- Johan Ceenaeme - OVAM

BIJLAGE 2: VRAGENLIJST EN TERUGKOPPELING INTERVIEWS

Om informatie te verzamelen bij techniekleveranciers, kennisinstellingen, drinkwatermaatschappijen, enz. werd een specifieke vragenlijst opgesteld. Naast een algemeen informatieblad (incl. overzicht van technieken) konden extra informatiebladen gegenereerd worden voor elk van de aangevinkte techniek.

Vragenlijst i.k.v. Studie Concentraatstromen	
Deze bevraging is onderdeel van de studie over het behandelen en valoriseren van concentraatstromen die het BBT-kenniscentrum van VITO uitvoert. Het doel van de bevraging is om een goed zicht te krijgen op: (1) het ontstaan van concentraatstromen; (2) de technieken die momenteel in Vlaanderen (of elders, bv. NL, DL) worden toegepast voor de behandeling/valorisatie van concentraatstromen en; (3) de fase van ontwikkeling, de doelmatigheid en de kostprijs van deze technieken. De door u gerapporteerde informatie zal geanalyseerd worden door het BBT-kenniscentrum van VITO en geanonimiseerd verwerkt worden in de studie, bv. inschatting marktrijpheid, ranges van verwijderingsefficiënties, vorken van kostprijzen.	
Contactgegevens	
Contactpersoon:	
Bedrijf:	
Functie:	
E-mail:	
Telefoon/GSM:	
Website:	
Bedrijfsactiviteiten	
Binnen welke sectoren is uw bedrijf actief? ☐ Voeding ☐ Landbouw ☐ Glastuinbouw ☐ Energie ☐ Chemie ☐ Drinkwaterproductie ☐ Metalen ☐ Andere	
Indien andere, specificeer de andere sectoren:	
Geef een korte beschrijving van de verschillende activiteiten waarbij concentraatstromen ontstaan:	

Lijst met technieken

Selecteer hieronder alle technieken die worden toegepast om concentratstromen te behandelen en/of te valoriseren. Voor elke techniek is een techniekblad beschikbaar met de naam of de afkorting van die techniek. Voor elke aangevinkte techniek kan u het bijhorende tabblad zoeken en hierin kan u de bijkomende informatie over de betreffende techniek aanvullen.

Er kunnen meerdere technieken geselecteerd worden.

Membraan gebaseerde technieken

- | | | |
|---|--|--|
| ☐ Classical Cross Reverse Osmosis (CCRO)
Omgekeerde osmose (CO) met gesloten circuit | ☐ Ultra High Pressure RO (UHPRO)
Ultrahoge druk omgekeerde osmose | ☐ Dorman Dialysis (DO)
Dorman dialyse |
| ☐ Flow Reversal Reverse Osmosis (FRRO)
Stroomomkering omgekeerde osmose | ☐ Osmotically assisted reverse osmosis
Osmotisch ondersteunde omgekeerde | ☐ Mixed Bed Ion Exchange (IX) / mixed bed polisher / mixed bed filter
Gemengd bed ionenuitwisseling / polisher / filter |
| ☐ Forward osmosis (FO)
Voortwaartse osmose | ☐ Distillation (distil + filtration)
Distillatie (verdamping + filtratie) | ☐ Electrodialysis with Bipolar Membranes (EBBM)
Electrodialyse met bipolaire membranen |
| ☐ Acoustic holds™ technology
Echoten ingekouwd in membranen | ☐ Shear enhanced membrane filtration
Door schuifkracht versterkte membraanfiltratie | ☐ Electrodialysis Reversal (EDR) / Reversal Electrodialysis (RED)
Electrodialyse Omkering / Omgekeerde Electrodialyse |
| ☐ High Recovery Inter-stage Precipitation Reverse Osmosis (HPRCO) Huge
herwinning inter-stage precipitatie omgekeerde osmose | ☐ Membrane distillation (MD)
Membraandestillatie | ☐ Pertraction
Pertractie |
| ☐ Pressure Retarded Osmosis (PRO)
Drukretardante osmose | ☐ Electrodialysis (ED)
Electrodialyse | ☐ Permeation
Permeatie |
| ☐ High Pressure Reverse Osmosis (HPRO)
Hoge druk omgekeerde osmose | ☐ Membrane capacitive deionisation (MCDI) -
Capacitive deionisation (CDI) | ☐ Integrated permeate channel membranes (IPC)
Geïntegreerde permeaatkanaalmembranen |

☐ **Electrodeionisation (EDI) Electrodeionisatie**

Thermisch gebaseerde technieken

Destillatie/rectificatie

- | | | |
|---|--|---|
| ☐ Multistage flash distillation (MSF)
Multistage flash destillatie | ☐ Multiple-effect distillation (MED)
Meertraps effect destillatie | ☐ Solar still distillation (SD)
Destillatie o.a. zonne-energie |
|---|--|---|

Verdamping/indamping

- | | | |
|--|--|---|
| ☐ Natuurlijke verdamping en zonnecollector | ☐ Spray dryer
Spraydroger | ☐ Ohmic evaporator
Ohmse verdampster |
| ☐ Verdampingspijpers door zonnecollector ondersteund door windenergie
Wind aided intensified evaporation (WAVI) | ☐ Mechanical vapour recompression (MVR)
Mechanische dampcompressie | ☐ Supercritical water desalination (SCWD)
Superkritische waterontzouting |
| ☐ Thin film evaporator
Dunne filmdampster | ☐ Brine evaporative cooler/concentrator (EC)
Pekendampingskoeler/concentrator | ☐ Evapoconcentration
Evapoconcentratie |
| ☐ Multi-effect evaporator
Multi-effect verdampster | | |

Kristallisatie

- | | | |
|---|--|---|
| ☐ Fluidised bed crystallisation/pellet crystallisation <i>Wervelbed kristallisatie/pelletkristallisatie/korrekristallisatie</i> | ☐ Membrane distillation crystallisation (MDC)
Membraan destillatie kristallisatie | ☐ Fractional crystallisation/selective salt recovery (CSR)
Fractionele kristallisatie/selectieve zoutwinning |
| ☐ Evaporative crystallisation
Evaporatieve kristallisatie | ☐ Membrane crystallisation (MC)
Membraankristallisatie | ☐ Eutectic freeze crystallisation (EFC) <i>Eutectische vrieskristallisatie</i> |
| ☐ Brine crystalliser (freeze crystallisation)
Vrieskristallisatie | | |

Afvalwaterverbranding

- ☐ **Waste water incineration**
Afvalwaterverbranding

Geavanceerde oxidatieprocessen (AOP)

- | | |
|---|---|
| ☐ Wet air oxidation (WAO)
Natte lucht oxidatie | ☐ Super critical water oxidation (SCWO)
Superkritische wateroxidatie |
|---|---|

Biologische behandeling

- | | | |
|---|--|--|
| ☐ Biologische behandeling met halofiele bacteriën | ☐ Biosorptie - bio-extractie door hefyestoffen | ☐ Solidex (biologische sulfideoxydation) |
| ☐ Biologische behandeling in walgeweld | ☐ Composting of vergisting | ☐ Powdered Activated Carbon Treatment (PACT)
Behandeling met actieve kool in poedervorm |

Diverse technieken

- | | | |
|---|---|---|
| ☐ Active bed adsorption | ☐ Ionenuitwisseling | ☐ Photocatalytic water purification technology <i>Fotokatalytische waterzuiveringstechnologie</i> |
| ☐ Geopellet adsorption | ☐ Extractie | ☐ Phosphate leaching
Fosfaat uittreking |
| ☐ Coagulation/precipitation | | |

Andere technieken

Indien u andere, bijkomende technieken wilt toevoegen zijn hiervoor 5 "Andere Tech #" tabbladen beschikbaar (zie laatste tabbladen).

Extra informatie bij de vragenlijst

Kunnen we u contacteren voor een vervolginterview (online, max 1 u)?

- ☐ Ja ☐ Nee

Heeft u nog bijkomende opmerkingen/aanvullingen bij de vragenlijst?

Informatie over de Studie Concentraatstromen

Wenst u op de hoogte te blijven van de studie concentraatstromen?

- ☐ Ja ☐ Nee

Naam van de techniek:	
Techniek	
Is deze techniek gekend onder een andere naam (synoniem, merknaam, uitvoeringsvorm)?	
Sector(en) waarin deze techniek wordt toegepast:	
Type stromen waarop deze techniek wordt toegepast: <i>Bvb: Concentraat OO, UF, NF, drainwater glastuinbouw, dunne mestfractie, ontziltingsconcentraat ...</i>	

Beschrijving	
Geef een korte beschrijving van de techniek in de specifieke bedrijfssituatie:	
Wat is het doel van deze techniek? <i>Meerdere opties zijn mogelijk</i>	☐ ☐ ☐ ☐ ☐
Welke componenten worden met deze techniek verwijderd en welke zijn de verwijderingsrendementen?	
Wat is het teruggewinningspercentage van water in deze techniek?	
Indien beschikbaar, voeg hier een schema toe van hoe de techniek (eventueel in combinatie met andere technieken) geïmplementeerd is:	
Gelieve enkel één PDF-bestand op te laden Upload PDF Bestand verwijderen	
Uitvoeringsvormen/varianten van de techniek (evt. in combinatie met overige technieken):	
Capaciteit:	m³/u behandeld
Draaitijd:	u/jaar
Welke output(stromen) resulteren uit deze techniek: <i>Bvb. Afvalwater, afval, ...</i>	
Randvoorwaarden voor goede toepassing van de techniek:	
Specifieke voor- en nadelen (incl. complexiteit, automatiseringsgraad):	
Welke hulpstoffen zijn nodig bij deze techniek (inclusief hoeveelheden)?	
Marktrijpheid/ontwikkelingsfase/TRL:	

Milieu-aspecten

Vul hieronder de verschillende milieu-aspecten aan waarop deze techniek een invloed heeft.

Afvalwater

Hoeveelheid resterend afvalwater en samenstelling:

Afval

Hoeveelheid per type afval en afvoermijde:

Energieverbruik

Hoeveelheid verbruik:

kWh/m³

Type energie:

Bvb. Aardgas, elektriciteit, ...

Toepassing:

Bvb. In thermische processen, verwarming, aandrijven pompen, ...

Overige milieu-aspecten

waarop de techniek een impact heeft:

Kostprijzen**Totale investeringskosten:**

euro

*Indien de investeringskosten per component gekend zijn vul deze hieronder aan:***Apparatuur:**

euro

Installatie:

euro

Grondwerken:

euro

Leidingen:

euro

Overige componenten:*specificeer welke en de kostprijs***Totale werkingskosten:**euro/m³ behandeld*Indien de werkingskosten per component gekend zijn vul deze hieronder aan:***Arbeid:**euro/m³ behandeld**Hulpstoffen:**euro/m³ behandeld**Energie:**euro/m³ behandeld**WATERVERBRUIK:**euro/m³ behandeld**Regeneratie:**euro/m³ behandeld**Afvalverwerking:**euro/m³ behandeld**Overige componenten:***specificeer welke en de kostprijs*

Bijkomende referenties

Kan u ons bijkomende informatie aanreiken die beschikbaar is over (de toepassing van) deze techniek?

Literatuurbronnen:

Projecten:

**Te bezoeken bedrijven en
contactgegevens:**

Tijdens de interviews met techniekleveranciers, bedrijven, kenniscentra, drinkwatermaatschappijen en experts werden een aantal noden opgetekend en suggesties gedaan die een stimulerend effect kunnen hebben op de implementatie van technieken voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen in Vlaamse bedrijven. Deze worden hieronder ter informatie opgelijst. Voor een aantal zaken lopen er momenteel al initiatieven met de betrokken actoren.

- Afvalwaterzuiveringsinstallaties worden anno 2022 veelal afgesteld ifv van de geldende lozingsnormen, voor wat betreft de maximale terugwinning en hergebruik van water zodat het risico op overschrijding van de opgelegde lozingsnormen beperkt wordt. Bedrijven die lozen op oppervlaktewater vermelden de volgende parameters met een reëel risico op overschrijding: chloriden en sulfaten, maar soms ook voor stikstof, fosfor, zware metalen en BZV. De problematiek is vaak bedrijfs- en locatiespecifiek (kwaliteit ingenomen water en ontvangend oppervlaktewater). Vanuit de sector is er vraag naar een globaal kader (bv. uniform voor alle bedrijven en zoveel mogelijk geautomatiseerd via linken met databanken) voor het verlenen van vrachtnormen aan bedrijven die verregaande waterbesparingsmaatregelen toepassen. Een globale aanpak zou hier een oplossing kunnen bieden en meer bedrijfszekerheid kunnen creëren voor de bedrijven. Het Vlaamse beleid stimuleert bedrijven, waarvoor water een belangrijke hulpbron is, om het gebruik van (grond)water te minimaliseren en die beschikken over een complexe afvalwaterzuiveringsinstallatie die zich richt op gedeeltelijk hergebruik van afvalwater. De output van deze afvalwaterzuiveringsinstallaties bestaat uit 2 stromen: (1) teruggewonnen proceswater voor hergebruik en (2) een stroom geconcentreerd afvalwater. Afhankelijk van de hoeveelheid waterhergebruik (50-70%) zullen de verwachte emissieconcentraties in de overgebleven afvalwaterstroom stijgen (2-3,33 x), zonder een hogere totale emissievracht. De huidige VLAREM-regelgeving bevat specifieke bepalingen en een kader om hergebruik van water te reguleren en zo nodig hogere ELV's in de vergunning toe te staan. Momenteel is er voor individuele bedrijven de mogelijkheid (op basis van VLAREM II art. 5.3.2.4.§3) voor uitzondering / aanpassing / aanvulling van de lozingsnormen met bv. vrachtnormen (evt. via overgangsmaatregelen en proefvergunningen). Deze aanpak is gebaseerd op case-by-case analyses en gebeurt in overleg met vergunningsverlenende overheden.
Samenvatting: Een aangepast normenkader kan in een aantal gevallen aangewezen zijn. Hiervoor dienen de betreffende bedrijven en overheden in onderling overleg te gaan. Echter, een uniform globaal normenkader is moeilijk te verzoenen met de specifieke bedrijfsprocessen en de locatie van bedrijven.
- Bedrijven geven aan nood te hebben aan meer bedrijfszekerheid in het kader van concentraatnormen in het bijzonder en meer algemeen mbt het ruimere milieuvraagstuk via bv.:
 - geïntegreerde aanpak (waterrecuperatie versus lozingssituatie; concentraties versus vrachtnormen);
 - langlopende visie omtrent het watervraagstuk;
 - samenwerkingsmogelijkheden met andere bedrijven (alternatieve waterbronnen en energierecuperatie);
 - gezamenlijk behandeling van concentraatstromen (opschaling / centrale verwerking):
 - naar het voorbeeld van centrale mestverwerkingsinstallaties;
 - cluster van gelijkaardige bedrijven die samen bv. ontharden, behandelen concentraatstromen;
 - nadeel is wel transport (aanvoer concentraatstromen, afvoer van producten), tenzij dit gebeurt via een leidingnetwerk (bv. uitbreiding gescheiden rioleringsstelsel of afvoerbuis).

De kwaliteit van het ingenomen water speelt ook een belangrijke rol inzake de behandeling en valorisatie van concentraatstromen. Het lozen van stromen met een hoog gehalte aan chloriden, kan stroomafwaarts problemen geven indien water gecapteerd wordt. Verhoogde Cl-concentraties in het ingenomen water kunnen immers lokaal een impact hebben op de zuivering/zuiverbaarheid ervan met het oog op proceswater of -drinkwaterproductie. In bepaalde regio's (bv. kust, polders)

bemoeilijken variaties in Cl-gehalte van het ingenomen water de optimale werking van een standaardtrein aan behandelingstechnieken.

Samenvatting: Het verder stroomlijnen van de initiatieven in het kader van de ruimere waterproblematiek kan aangewezen zijn.

- De sector geeft aan dat er nood is omtrent kennisuitwisseling over de beschikbaarheid van concentraatstromen/valorisatieproducten.

Samenvatting: Het opzetten en/of kenbaar maken van systemen (bv. databank) via dewelke bedrijven hun beschikbaarheid van concentraatstromen/valorisatieproducten kunnen aangeven, kan aangewezen zijn.

- Verregaande (afval)waterzuiveringstechnieken zijn vaak erg/te duur voor de behandeling van (relatief) beperkte debieten volgens de sector. Het inzetten op polishing stappen waarbij een deel van een waterige stroom verregaand gezuiverd wordt, is wel een optie. Hier kan de focus liggen op ofwel zouten valoriseren (bv. indampen – kristallisatie) ofwel op het wijzigen van de samenstelling van de stromen (bv. nanofiltratie – eutectische vrieskristallisatie).

Belangrijkste aandachtspunt bij thermische processen is de hoge energiekost. Ook bij membraanprocessen die werken bij hogere drukken is er een meerkost omwille van de materiaalvereisten (bv. hoogwaardigere materialen, bestand tegen hogere drukken).

Afvoer van de gevormde afvalstromen brengt extra kosten met zich mee. Bij de behandeling van concentraatstromen wordt in veel gevallen een afvalstroom gevormd die moet worden afgevoerd via een erkend verwerker. Dit brengt naast extra kosten (bv. 250 €/ton vast materiaal) ook een verschuiving van het milieuprobleem met zich mee.

Samenvatting: Het opzetten van een samenwerkingsverband / clustering van bedrijven voor het behandelen en valoriseren van de (fracties van) concentraatstromen met inzet van gezamenlijke hulpstoffen en gedeelde kosten (opschaling) kan aangewezen zijn. Bv.

- decentrale behandeling van concentraatstromen (bv. CCRO en andere variaties op OO, indampen/verdampen, kristallisatie en/of geavanceerde oxidatietechnieken), kan zinvol zijn (economisch haalbaar?) voor kleine volumes (bv. max 20 m³/dag)
 - inzetten van restwarmte
 - afzetmarkt voor de gevormde producten.
- Het kader waaraan voldaan moet worden om te kunnen genieten van subsidies mbt verregaande waterbesparende technieken is strikt bepaald.

Samenvatting: Het kan aangewezen zijn om een subsidiekader te ontwikkelen (of huidig kader aan te vullen / aan te passen) zodat ook integrale projecten in aanmerking komen. Bv.

- projecten in het kader van WAAS (Water as a service);
- techniektrainen (en niet enkel gericht op individuele technieken).

BIJLAGE 3: TECHNISCHE FICHES/CASES

In deze bijlage worden technieken beschreven obv cases die anno 2022 in de praktijk in Vlaanderen geïmplementeerd/gepland/theoretisch uitgewerkt zijn.

1 – CCRO en andere variaties op OO

2 - Indampen/verdampen

3 - Kristallisatie

4 - Geavanceerde oxidatietechnieken (AOP)

In de technische fiches wordt volgende informatie weergegeven:

- Inleiding
- Korte beschrijving van de case
- Schematisch voorstelling
- Uitvoeringsvormen
- Sector(en) waarin deze techniek wordt toegepast
- Type stromen waarop deze techniek wordt toegepast
- Componenten die worden verwijderd
- Terugwinningspercentage
- Capaciteit
- Outputstromen
- Randvoorwaarden voor goede toepassing van de techniek / nadelen
- Voordelen
- Nadelen / knelpunt om de techniek te implementeren in concrete bedrijven
- Technische toepasbaarheid
- Milieu-aspecten
- Financiële aspecten
- Cases
- Aandachtspunten
- Referenties

Indien voor bepaalde punten geen informatie beschikbaar is, bijvoorbeeld voor de overige aspecten of aanvullende informatie, dan zijn deze weggelaten.

PRAKTIJKCASE 1

CCRO – CLOSED CIRCUIT REVERSE OSMOSIS

OMGEKEERDE OSMOSE MET GESLOTEN CIRCUIT

EN ANDERE VARIATIES OP OO

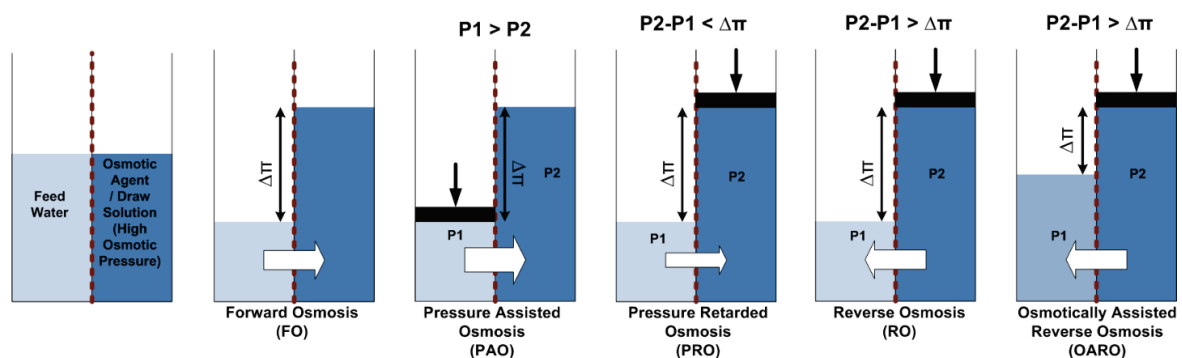
INLEIDING

Voor een beschrijving van de techniek omgekeerde osmose wordt verwezen naar bestaande technische fiches:

[WASS-omgekeerde osmose](#)

[Watercircle-omgekeerde osmose](#)

Zoals geïnterviewd in hoofdstuk 3 zijn er heel wat variaties van de klassieke OO beschreven in de literatuur. Figuur 2 geeft een schematisch overzicht van de overeenkomsten en verschillen tussen osmotische processen.



Figuur 2: Schematische weergave van osmotische processen

Bron: *Osmotic Engineering*, 2022

In deze technische fiche wordt verder ingegaan op de OO-variaties die tijdens de interviews aan bod kwamen en die voor zover gekend toegepast worden in Vlaanderen.

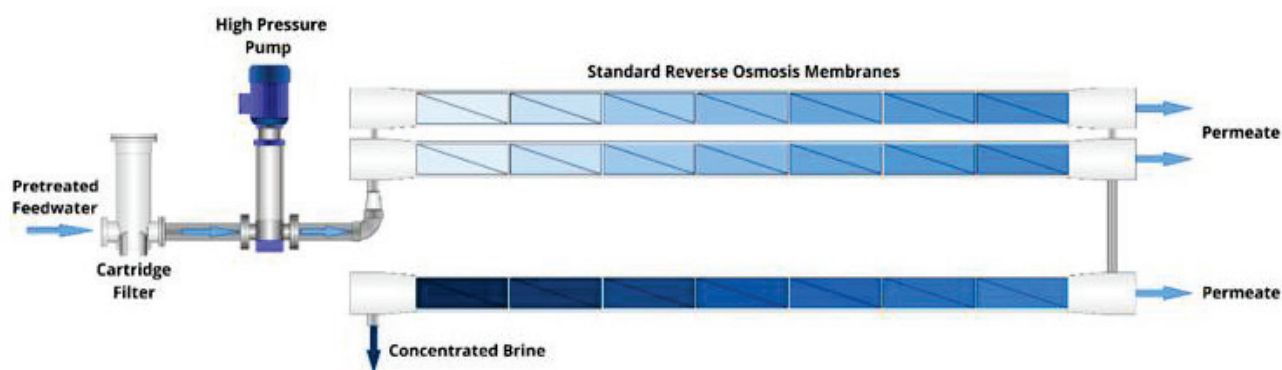
KORTE BESCHRIJVING VAN DE CASE CCRO

CCRO is een gepatenteerde techniek (Dupont) en is een geoptimaliseerde vorm van een OO-installatie waarbij gewerkt bij hogere drukken (bv. 28 bar). De optimalisatie bestaat erin de behandelde waterstromen een aantal keren terug te sturen (in cycli van enkele minuten tot 1 uur) en waarbij ifv de geleidbaarheid een geconcentreerde stroom (bv. 2% spui) geflushed wordt (bv. gedurende 1,5 minuut). Hierdoor kan in vergelijking met OO een hogere recovery van water (bv. 98% bekomen worden).

Werking: sturing obv 1 parameter (geleidbaarheid) om de concentraat klep van “gesloten” naar “open” stand te verzetten en het concentraat te flushen.

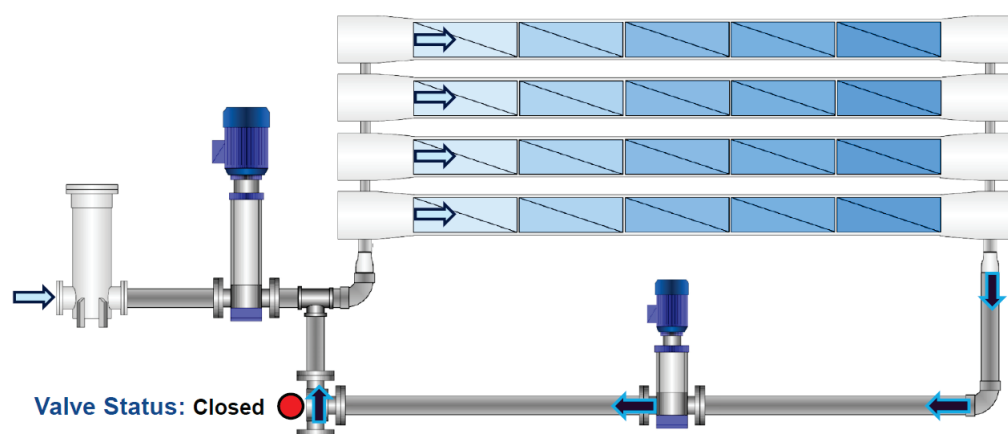
Synoniem: High Recovery Reverse Osmosis (HHRO)

SCHEMATISCH VOORSTELLING



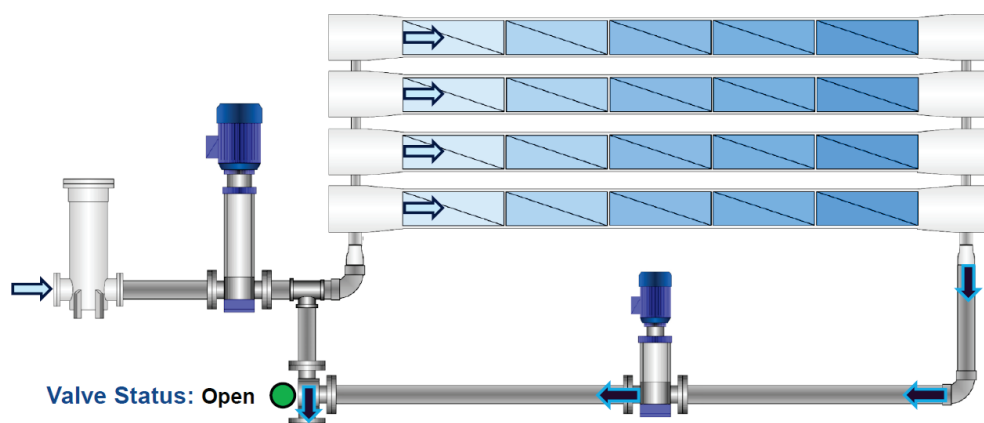
Figuur 3: Traditionele OO

Bron: Waterleau, persoonlijke communicatie, 2022



Figuur 4: CCRO – stap 1 – gesloten circuit – duur 6-60 min

Bron: Dupont, persoonlijke communicatie, 2022



Figuur 5: CCRO – stap 1 – flush fase concentraatstroom – duur: 1,5 min – 2% van de totale hoeveelheid

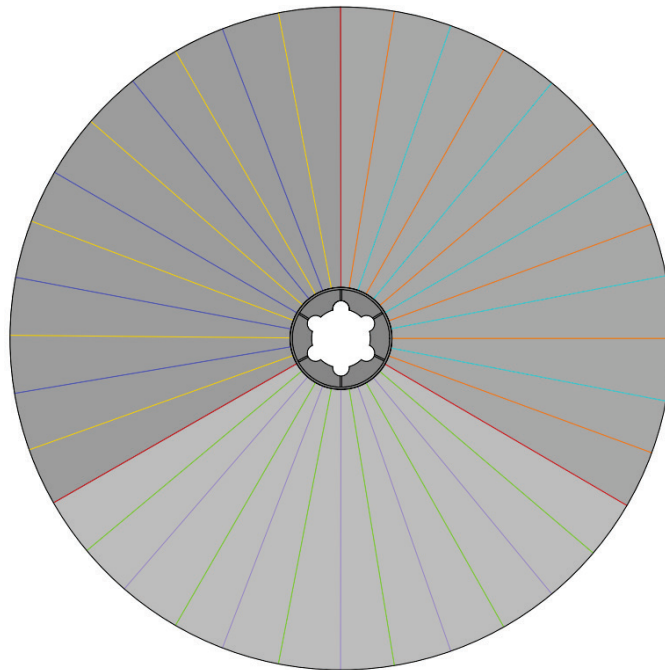
Bron: Dupont, persoonlijke communicatie, 2022

UITVOERINGSVORMEN – ANDERE VARIATIES OP OO

In de praktijk wordt OO veelvuldig toegepast. Deze techniek wordt in de praktijk geoptimaliseerd met het oog op een hogere recovery (% gerecupereerd water) en de vorming van een kleinere hoeveelheid concentraat door bv. te werken bij hogere druk, het terugsturen van een (deel van) de output van de

OO-installatie naar de inputzijde (bv. x%), meerdere omgekeerde osmosesystemen te combineren, of omgekeerde osmose te combineren met voorgaande zuiveringstechnieken of andere nageschakelde waterzuiveringstechnieken (bv. biologische zuivering, ionenuitwisseling, evaporatie / kristallisatie).

Ook het combineren van verschillende membranen in 1 module (ipv meerdere modules in 1 drukbuis) is een geoptimaliseerde uitvoeringsvorm van OO. De gepatenteerde vloeistofdynamica en constructie van het open kanaal in de modules zorgen ervoor dat gesuspendeerd materiaal in het voedingswater zich niet zal afzetten of neerslaan op de binnenkant van de membraanmodule.



Figuur 6: Schematische weergave van Triple S/TS module met verschillende membranen in 1 module
Bron: [Rochem Triple S/TS Module \(rts-rochem.de\)](https://rts-rochem.de) & Green Service, Persoonlijke communicatie, 2022

SECTOR(EN) WAARIN DEZE TECHNIEK WORDT TOEGEPAST

CCRO wordt toegepast bij de productie van proceswater (uit oppervlaktewater) en de behandeling van mixen van rivier- en zeewater met het oog op drinkwaterproductie.

De variatie van OO met verschillende modules (alleenstaand of als onderdeel van een afvalwaterzuiveringstrein) wordt wereldwijd toegepast in de mariene wereld (vliegdekschepen, cruiseschepen) en voor de behandeling van percolaten op afvalstortplaatsen. In Vlaanderen wordt de techniek toegepast voor de behandeling van effluent op een mestverwerkingsinstallatie.

TYPE STROMEN WAAROP DEZE TECHNIEK WORDT TOEGEPAST

Oppervlaktewater met een sterk variërend zoutgehalte (al dan niet vermengd met deels behandeld water) voor de aanmaak van proceswater.

Stromen met een hogere vervuilingsgraad (o.a. zwevende stoffen, CZV, geleidbaarheid).

COMPONENTEN DIE WORDEN VERWIJDERD

Zouten, N, P, micro-organismen

TERUGWINNINGSPERCENTAGE

Waterrecovery:

- CCRO met voorbehandeling 93%-95%
- CCRO zonder voorbehandeling
- ter vergelijking: UF: 50-60%; OO: 75%

CAPACITEIT

Algemeen bij toepassing op concentraatstromen: debieten: 10-20 m³/u

In een concrete case: behandeld debiet: 8 m³/u

OUTPUTSTROMEN

Concentraatstroom die geloosd wordt (bv. RIO).

De toepassing van CCRO als voorbehandelingsstap waarbij het concentraat zou worden aangewend voor de regeneratie van de ontharder (ipv of als aanvulling van pekkel) werd onderzocht, maar tot op heden niet geïmplementeerd.

RANDVOORWAARDEN VOOR GOEDE TOEPASSING VAN DE TECHNIEK

- voldoende ruimte en buffercapaciteit voor opslag van concentraatstromen
- ifv zoutgehalte van het ontvangend oppervlaktewater (= locatiespecifieke situatie) is verdere behandeling van het concentraat aangewezen

VOORDELEN

- flexibele werking (in het kader van variaties zoutgehalte inputstroom)
- inzetbaar voor de behandeling lage debieten (10-20 m³/u)
- inpasbare unit, ook mogelijkheid om meerdere OO-stromen gezamenlijk te behandelen
- hoge recovery (tot 93%)
- continue werking van het systeem
- slechts 1 parameter te screenen (geleidbaarheid), dus eenvoudiger te controleren in vgl met RO
- geen intensieve opvolging vereist
- geen chemicaliën nodig (bv. antiscalant met kans op P-probleem omwille van aanwezigheid van fosfonaten of zuren voor chemische reiniging van membranen) indien gecombineerd met de ontharder
- minder pekkel nodig voor het regenereren van de ontharder

NADELEN / KNELPUNT OM DE TECHNIEK TE IMPLEMENTEREN IN CONCRETE BEDRIJVEN

- duurder
 - CAPEX: 150.000 – 200.000 €
 - maar lagere opex in vlg met OO in serie
- nog geen succesvolle voorbeelden beschikbaar in Vlaanderen (techniek heeft zich nog niet bewezen in Vlaamse bedrijven)
- behandeling van concentraatstromen is (nog) geen issue in het buitenland
- geen incentive voor bedrijven (stand der techniek / huidig wetgevend kader = lozen)
- concentraat wordt niet verder behandeld omwille van noodzaak aan bijkomende technieken (trein) en de extra kosten die dat met zich meebrengt
- mogelijke impact op het ontvangend oppervlaktewater (ecotox)

TECHNISCHE TOEPASBAARHEID

In Vlaanderen: aantal concrete full-scale cases zijn beperkt (zie referenties). Volgens Dupont (persoonlijke communicatie, 2022) wordt CCRO wereldwijd toegepast in een 350-tal installaties, veelal in Amerika (300), in Europa (15-tal) en verder in Latijns Amerika, het Midden-Oosten en Australië.

Pilootschaal (aanmaak proceswater): anno 2022 in opstart met een opstartvergunning en gunstige impactbeoordeling (in het kader van Wezer-arrest).

Techniek is flexibel (batch) en inpasbaar (container) in bestaande (afval)waterzuiveringsinstallatie.

MILIEU-ASPECTEN

Te lozen afvalwaterstroom: bij voorkeur op oppervlaktewater (owv kostprijs) of evt. op riool, mits voldaan aan de geldende lozingsnormen (o.a. N, P, zouten).

Oorzaken P-belasting o.a. reiniging en antiscalant membranen → gaat mee in concentraat
Oorzaken Cl-belasting: pekkel gebruikt voor regeneratie ontharder.

Doordat er gewerkt wordt bij hogere druk is het praktisch onmogelijk voor bacteriën om te overleven op de membranen. Er is minder fouling en aldus min chemicaliën nodig voor het reinigen van de membranen. Verder is er omwille van de hogere druk ook minder kans op kristalgroei van silica en scaling. Dit maakt dat de membranen minder frequent geregenereerd moeten worden en dat de levensduur van de membranen kan verlengd worden (gaan 5j mee tov 3j bij een klassieke OO-installatie). Immers de levensduur van membranen is sterk gelinkt aan aantal keren dat er gereinigd moeten worden.

FINANCIËLE ASPECTEN

Gezien er bij CCRO gewerkt wordt met hogere drukken (28 bar ipv 7 bar) dient de installatie uitgevoerd te worden met aangepaste membranen, materialen, componenten, enz. Dit verhoogt de kostprijs met 15-30% tov een traditionele OO-installatie.

150.000 - 200.000 (debiet 8 m³/u) → ongeveer 50.000 euro duurder in vgl met membraansystemen, omgekeerde osmose.

CASES

In Vlaanderen

HHRO - Colruyt Halle: Dupont/Waterleau

Focus: slim omgaan met 3 afvalwaterstromen (sanitair afvalwater, reinigingswater van bakkenwasinstallatie & regenwater) en een maximale recovery (90%) halen om zoveel mogelijk aan hergebruik te doen (als alternatief voor stadswater als proceswater voor bakkenwasinstallatie en drinkbaar water voor intern gebruik).

Procestrein:

- zandvang
- aerobe behandeling met membraan bioreactor ultrafiltratie (MBR)
- filtraat buffertank
- actief kool filter
- High Recovery Omgekeerde Osmose
- UV-AOP behandeling voor desinfectie en resterende TOC verwijdering
- Desinfectie (chlorinatie)
- remineralisatie voor drinkwater toepassing

Waterleau, Persoonlijke communicatie, 2022

Dupont, Persoonlijke communicatie, 2022

CCRO - Project Ganzepoot: Waterleau ism De Watergroep, Farys en Aquaduin

Piloot, in opstart (na zomer 2022)

Doel: nieuwe drinkwaterproductiecentrum tegen 2025

[Drinkbaar zoet, brak en Noordzeewater tegen 2025 | Nieuws | Aquaduin / IWVA ov](#)

Dupont, Persoonlijke communicatie, 2022

Waterleau, Persoonlijke communicatie, 2022

Masterplan De Blankaart: Waterleau ism De Watergroep

Piloot in opstart (juni 2022)

<https://www.dewatergroep.be/nl-be/over-de-watergroep/infrastructuur/de-blankaart/masterplan-de-blankaart>

Veolia, Persoonlijke communicatie, 2022

Waterleau, Persoonlijke communicatie, 2022

Geoptimaliseerde OO-installatie – behandeling van captatiewater

In testfase: Productie van proceswater uit captatiewater (Albertkanaal)

Bosaq, Persoonlijke communicatie, 2022

Dupont, Persoonlijke communicatie, 2022

Geoptimaliseerde OO-installatie – behandeling van effluent van mestverwerkingsinstallatie

Toegepast in Vlaamse case (mestverwerking)

Green Service, Persoonlijke communicatie, 2022

Algemeen:

- modulaair systeem, uitbreidbaar ifv het te verwerken debiet
- membraanmodules zijn verticaal opgesteld en nemen een beperkte ruimte in
- er is toegang tot elk van de membraanmodules waardoor elk membraan apart kan worden getest op eventuele doorslag
- ingebouwd CIP systeem zorgt ervoor dat de membraanleeftijd niet wordt beperkt door de vervuiling in het voedingswater; een membraanleeftijd van 5 jaar of meer is realistisch; ifv de organische vervuiling gebeurt CIP alle 50 tot 200 uren.
- waterrecovery is sterk afhankelijk van de te behandelen waterstroom; grosso modo worden recovery's gehaald tussen 40 en 80% (ifv geleidbaarheid van inkomende stroom).
- elektriciteitsverbruik: 4 - 7 kWh/m³
- eventuele dosering van zuur (pH-correctie) en antisclerant is mogelijk en in sommige toepassingen nodig. Ideaal pH-bereik, in functie van toepassing: tussen 6 en 7,2.
- met de installatie kunnen tot drukken van 90 bar op continu wijze (met interne recirculatie) gehaald worden. De techniek kan ook op batchgewijze manier gebruikt worden (tot 190 bar).

Case effluent mestverwerkingsinstallatie:

- inkomende waterstroom: 35-37 mS/cm; pH = 8,33
- verbruik zwavelzuur (50%): 2 l/m³
- recovery: 50%
- CIP: iedere week
- te verwerken debiet: 2,5 m³/uur
- voorfiltratie: zakkenfilter van 10 µm en kaarsenfilter van 5 µm
- operationele kost: 3-4 €/m³ permeaat

Elders

Egypte - Madinaty Water Treatment Plant (ontwerpfase)

Waterleau, Persoonlijke communicatie, 2022

- 14.200 m³/dag opname en voorbehandeling met Zandfiltratie
- 10.000 m³/d permeaat uit zout grondwater met AQUALITY® BWRO
- 3.150 m³/d permeaat uit pekelerugwinning met AQUALITY® HRRO
- Inname van brakwater uit diepe grondwaterboringen
- Voorbehandeling: zandfiltratie
- Hoofbehandeling: Tweetraps omgekeerde osmose: permeaat (70%) en pekkel (30)
- Nabehandeling: pekelerugwinning omgekeerde osmose: extra permeaat (40%) en concentraat (60%)
- Verwachte recovery: 82%
- Concentraatafvoer in boorputten

Productie van zeer puur water – industriële toepassing – productie van babydoekjes

Waterleau, Persoonlijke communicatie, 2022

Productie van water via tweetraps OO-installatie waarvan tweede een HRRO (max 19 bar) is.
recovery 95%

1,3 µS/cm halen in permeaat

Denemarken, Carlsberg Frederica

Pantarein, Persoonlijke communicatie, 2022

[Carlsberg Fredericia brewery to cut water waste | Aquatech \(aquatechtrade.com\)](https://www.aquatechtrade.com/news/carlsberg-fredericia-brewery-to-cut-water-waste/)

[ZERO Water Waste \(carlsberggroup.com\)](https://www.carlsberggroup.com/zero-water-waste/)

- CCRO toegepast op effluent van een tweetraps anaerobe-aerobe zuivering
- druk: tot 10 bar
- concentraat wordt geloosd op een riolering; na verdere zuivering in de RWZI wordt geloosd in nabijheid van de zee
- capaciteit van 100 m³/u
- grootteorde totale kostprijs (geen verdere details gekend): 1,2 mio €

Overige

- HRRO - max 11 bar:
combinatie regenwater/ sanitair afvalwater/ industrieel afvalwater
tot 90% recovery voor optimaal waterhergebruik: draait nu aan 70%
- HRRO max - max 80 bar (nog niet opgestart)
brine concentrator op zout water (grondwater redelijk zout hier)
65% -max 70 % recovery
- HRRO - max 24 bar
brine concentrator van bestaande RO op putwater om recovery te verhogen tot 70%
- HRRO - max 14 bar
bio effluent na ultrafiltratie
80% recovery
veel fosfaat en silica in het water
- HRRO - max 14 bar (nog niet opgestart)
recovery 90%
- HRRO max - max 75 bar
recovery 50%- 85%: afhankelijk of brak of zoutwater binnenkomt

De kostprijzen van deze technieken zijn erg afhankelijk van de specifieke situatie. Het energieverbruik van HRRO in de vermelde cases (overige) varieert als volgt:

Lage druksystemen - bio effluent/ oppervlakte water: 0,48 – 0,53 kW/m³ permeaat geproduceerd

AANDACHTSPUNTEN

- Geleidbaarheid neemt toe doorheen de tijd → flush concentraatstroom nodig.
- Afweging tussen hoge recovery (water) en minimale hoeveelheid concentraat (voor inmenging concentraatstroom met overig afvalwater, alvorens te lozen).
- Huidige wettelijk kader: geen drive voor behandelen en valoriseren van concentraatstromen.
- Voorlopig zijn er geen cases gekend waarbij de concentraatstroom gevaloriseerd wordt. Evaporatie zou in theorie wel toegepast kunnen worden als bijkomende behandelingsstap maar dit is volgens de sector erg energie- en kostenintensief.

REFERENTIES

- [Dupont Desalitech-CCRO](#)
- [Kansaswatertech-CCRO](#)
- [Lenntech-CCRO](#)
- [Waterleau-HHRO](#)
- [Rochem Triple S/TS Module \(rts-rochem.de\)](#)
- Input Q & interviews, 2022

PRAKTIJKCASE 2 INDAMPEN / VERDAMPEN

INLEIDING

Voor een beschrijving van de techniek wordt verwezen naar bestaande technische fiches:

[Watercircle-indampen](#)

[WASS-indampen](#)

Zoals geïnterviewd in Tabel 8 is indampen/verdampen een thermisch gebaseerde techniek. In deze technische fiche wordt verder ingegaan op cases die tijdens de interviews aan bod kwamen en die voor zover gekend toegepast worden in Vlaanderen.

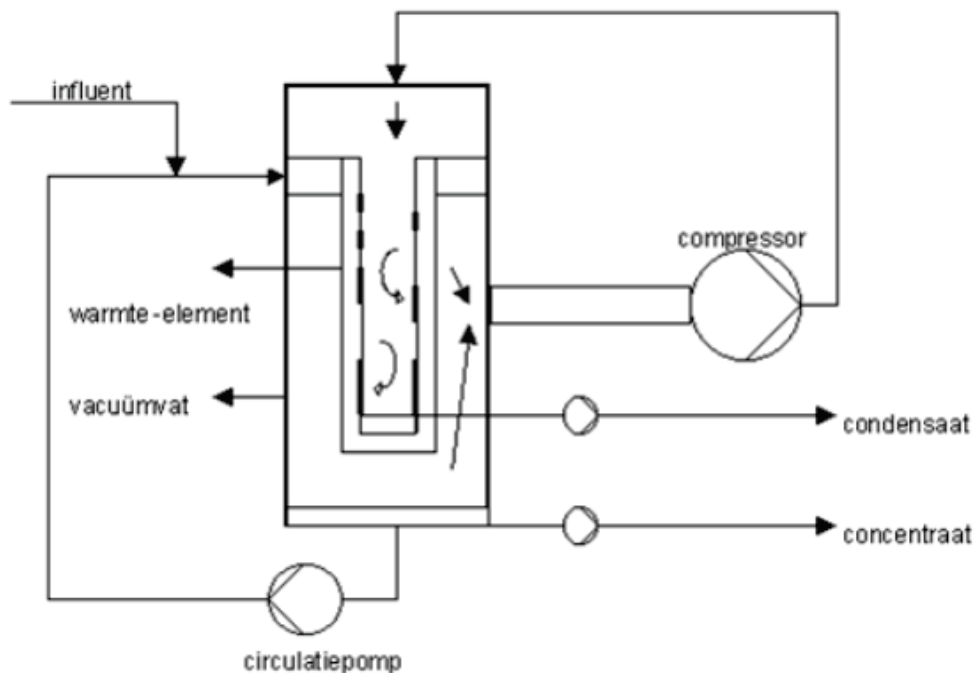
KORTE BESCHRIJVING

Indampen kan ingezet worden voor het concentreren van opgeloste vervuiling en het destilleren van gezuiverd water uit afvalwaterstromen, met een volumereductie tot gevolg.

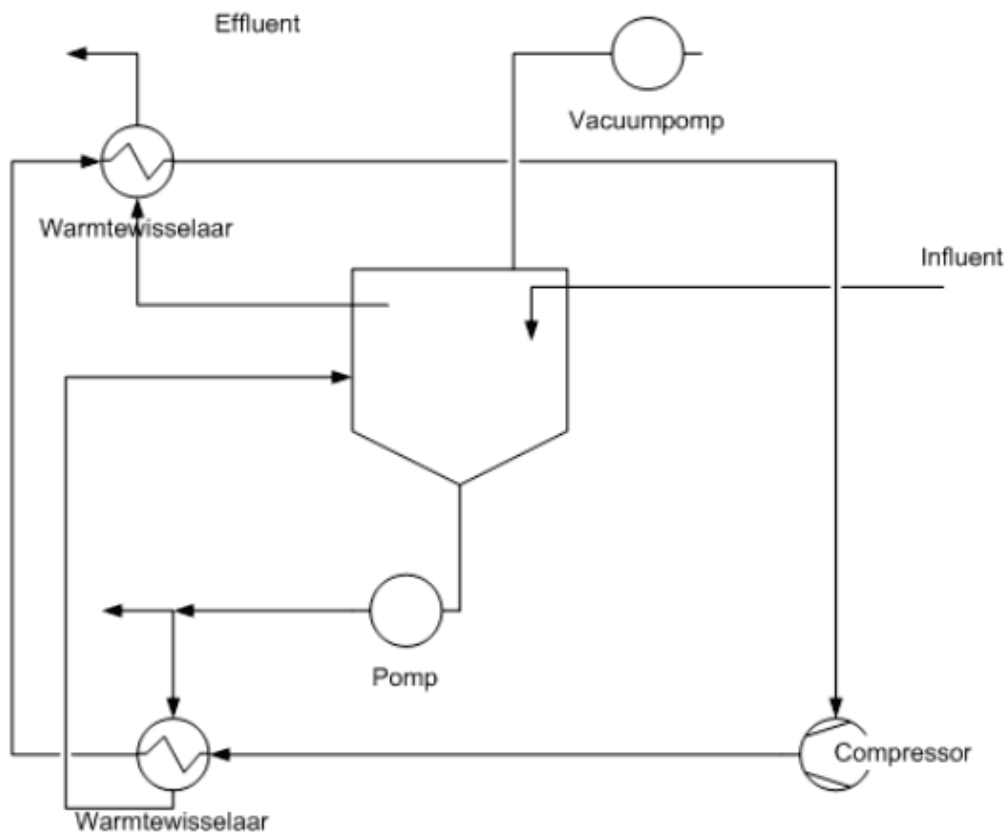
UITVOERINGSVORMEN

Een mogelijke uitvoeringsvorm is mechanische damp recompressie eventueel gecombineerd met vallende-filmverdamping. Vacuümindampen is een andere uitvoeringsvorm, waarbij gewerkt wordt met een vacuümverdampster met warmtepomp. Deze laatste uitvoeringsvorm is geschikt voor de behandeling afvalwater met eerder lage debieten en hoge concentraties.

SCHEMATISCH VOORSTELLING



Figuur 7: Schematische weergave van mechanische damprecompressie (WASS-indampen)



Figuur 8: Schematische weergave van vacuumverdamping (WASS-indampen)

Zie ook Figuur 11 en Figuur 21 voor toepassing van indampen als onderdeel van een afvalwaterzuiveringstrein.

SECTOR(EN) WAARIN DEZE TECHNIEK WORDT TOEGEPAST

Verdamping wordt in diverse industriële productieprocessen toegepast. Bij de behandeling concentraatstromen wordt verdamping ingezet met als doel een verdere volumereductie en terugwinning van nuttige stoffen alsook een beperking van de transportkosten igv af te voeren vloeibare reststromen.

TYPE STROMEN WAAROP DEZE TECHNIEK WORDT TOEGEPAST

Vacuümindamping kan toegepast worden voor stromen met een beperkt debiet en een hoge concentratie.

Mogelijk interessant in het kader van valorisatie van zoutstromen als nabehandelingsstap na bv. CCRO. Dergelijke toepassing werden vermeld tijdens één van de interviews maar concrete cases konden niet in kaart gebracht worden.

COMPONENTEN DIE WORDEN VERWIJDERD

zouten, stikstof, AOX/EOX, PO₄-P

TERUGWINNINGSPERCENTAGE

Geen informatie beschikbaar adhv concrete cases in het kader van concentraatstromen.

CAPACITEIT

Geen informatie beschikbaar adhv concrete cases in het kader van concentraatstromen.

OUTPUTSTROMEN

Gezuiverd water en herwonnen componenten.

RANDVOORWAARDEN VOOR GOEDE TOEPASSING VAN DE TECHNIEK

Eventueel kunnen meerdere verdamper parallel geschakeld worden voor een grotere capaciteit. Het is van belang dat corrosieve en vluchtige verbindingen zoals ammoniak uit het afvalwater verwijderd zijn.

VOORDELEN

Het gezuiverde water is van hoge kwaliteit en kan binnen het proces worden hergebruikt of geloosd in het oppervlaktewater.

NADELEN / KNELPUNT OM DE TECHNIEK TE IMPLEMENTEREN IN CONCRETE BEDRIJVEN

- De achterblijvende reststroom is sterk aangerijkt met zouten en niet vluchtige verbindingen. Vaak kan deze stroom niet geloosd worden en moet de stroom verder behandeld (bv. verder indikken en drogen) of extern verwerkt worden.
- Door het opconcentreren van zouten kan corrosie een probleem zijn.
- Dure, energie-intensieve techniek. Vanuit de sector zijn er signalen dat er volop gezocht wordt naar manieren om deze techniek energetisch interessanter te maken, bv. mbv hernieuwbare energiebronnen/warmterecuperatie of door de techniek op zich energiezuiniger te ontwerpen.
- Gezien de hoge investeringskost, is deze techniek enkel rendabel bij een minimale capaciteit.

TECHNISCHE TOEPASBAARHEID

In Vlaanderen: beperkt aantal cases (zie referenties).

Er kan worden aangenomen dat de techniek inzetbaar is, als onderdeel van een afvalwaterzuiveringstrein, voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen.

MILIEU-ASPECTEN

Te lozen afvalwaterstroom: op oppervlaktewater of evt. op riool, mits voldaan aan de geldende lozingsnormen (o.a. N, P, zouten).

FINANCIËLE ASPECTEN

Geen informatie beschikbaar in het kader van de Vlaamse cases. In [WASS-indampen](#) is een voorbeeld vermeld met inschatting van de kostprijs (zie Tabel 8).

Op basis van 4 concrete dossiers (2022) werden volgende ranges van kostprijzen van vacuümverdamper in kaart gebracht:

Investerings: 88 – 2300 k€

Jaarlijkse werking: 5,5 – 1400 k€

Deze prijzen zijn erg situatiespecifiek (in bepaalde gevallen uitbreiding van bestaande AWZI of combinatie van meerdere technieken). Het betreft zeer uiteenlopende cases waar een vacuümverdampert wordt ingezet bv. voor de behandeling van proceswater (al dan niet met het oog op een nullozersstatuut) of voor de behandeling van dunne mest (incl. ammoniakstripping). Het gevormde concentraat wordt in twee van de cases afgevoerd naar externe verwerking (kostprijs vermeld in 1 case: 280 €/m³).

CASES**In Vlaanderen**

Vlaamse case: opconcentratie van Li-houdend brijn via OO en vacuumverdamper, na fysicochemische zuivering in een bedrijf gespecialiseerd in materiaaltechnologie en recyclage

Trevi, persoonlijke communicatie, 2022

Vlaamse case bij groenteverwerkend diepvriesbedrijf
Verdere concentratie van OO-concentraat via indamper
Hydrohm, Persoonlijke communicatie, 2022

Vlaamse case - samenwerking chemische industrie en veevoederproducent.
Specifieke processtroom apart opgevangen en ingedampt (zonder energierecuperatie) met het oog op valorisatie als product voor bijmenging in voeder
Witteveen + Bos, Persoonlijke communicatie, 2022

Vlaamse case – aquacultuur – conceptfase
Verder opconcentreren van concentraat dat vrijkomt ter hoogte van de nanofiltratie-installatie, waarbij het concentraat:

- over een warmtewisselaar (met destillaat) wordt gestuurd;
- wordt ontgast;
- wordt gerecirculeerd doorheen een buizenpakket en gedeeltelijk verdampt (met behulp van stoom aan de buitenzijde van de buizen).

Het opgeconcentreerd concentraat wordt afgevoerd naar een afvalverwerker (onder de vorm van een zouten slurry). Het herwonnen water wordt terug ingezet in het productieproces.

VMM, input nav draft 2, 2022

Elders

Buitenlandse case: metaalhoudend afvalwater behandeld via OO, opconcentratie via indampers (geen beschikbaarheid van restwarmte).

Er zou in theorie ook nog kristallisatie kunnen worden toegepast als bijkomende behandelingsstap (niet gerealiseerd).

Trevi, persoonlijke communicatie, 2022

AANDACHTSPUNTEN

- Deze techniek kan gevolgd worden door kristallisatie voor verder valoriseren van de concentraatstromen.
- Verdere optimalisatie in het kader van recuperatie van energie is mogelijk, bv. via vergisting van zuiveringsslib.

REFERENTIES

- Input Q & interviews, 2022
- [WASS-indampen](#)
- [Watercircle-indampen](#)
- [Rochem Triple S/TS Module \(rts-rochem.de\)](#)
- [Veolia HTFF Evaporator](#)
- [Lenntech-evaporatie](#)
- [PCA Water-Evaporator](#)
- [Evaled-evaporation](#)
- [Veolia-Evaporation & Crystallization](#)

Daarnaast wordt de techniek verdampen/indampen ook regelmatig vermeld in de literatuur in het kader van afvalwaterzuivering (zie Tabel 6): o.a. Bello et al., 2021; Du et al., 2021; de Waal, 2020; Micari et al., 2020; Panagopoulos A. & Haralambous K.J., 2020; EC-JRC, 2016; Vanoppen M. et al, 2016; Hofs, 2014; Morillo et al., 2014; Subramani & Jacangelo, 2014; Jurgens et al., 2011

PRAKTIJKCASE 3

KRISTALLISATIE

INLEIDING

Voor een beschrijving van de techniek wordt verwezen naar bestaande technische fiches:

[WASS-Pelletkristallisatie/Korrelreactor](#)

[Watercircle-Kristallisor](#)

Kristallisatie een thermisch gebaseerde techniek. In deze technische fiche wordt verder ingegaan op informatie die tijdens de interviews werd medegedeeld. Echter, concrete cases konden niet in kaart gebracht worden op basis van deze interviews.

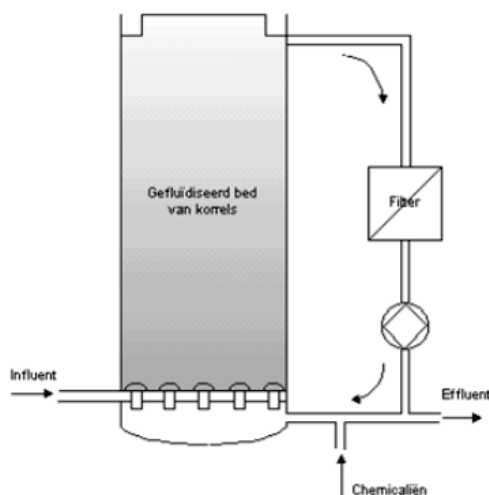
KORTE BESCHRIJVING

Bij kristallisatie worden in water opgeloste anorganische componenten (ionen) verwijderd door de vorming van een neerslag op een geschikt dragermateriaal (bv. zandkorrels). Men voegt hiervoor een reagens toe dat een onoplosbaar zout vormt met het te verwijderen ion.

UITVOERINGSVORMEN

- Korrelreactor
- Membraan destillatie kristallisatie (MDC)
- Membraan kristallisatie (MCR)
- Eutectische vrieskristallisatie (EFC)

SCHEMATISCH VOORSTELLING



Figuur 9: Schematische weergave van vacuumverdamping [WASS-Pelletkristallisatie/Korrelreactor](#)

Zie ook Figuur 11, Figuur 13, Figuur 17, Figuur 21 en Figuur 22 voor toepassing van kristallisatie als onderdeel van een afvalwaterzuiveringstrein.

SECTOR(EN) WAARIN DEZE TECHNIEK WORDT TOEGEPAST

Bij de behandeling van concentraatstromen zou kristallisatie ingezet kunnen worden na verdamping, met als doel een verdere volumereductie en terugwinning van nuttige stoffen alsook een beperking van de transportkosten ipv af te voeren vloeibare reststromen.

TYPE STROMEN WAAROP DEZE TECHNIEK WORDT TOEGEPAST

Vacuümindamping kan toegepast worden voor stromen met in water opgeloste componenten.

COMPONENTEN DIE WORDEN VERWIJDERD

PO₄-P, zware metalen, Mg-verbindingen, Ca-verbindingen (bv. calcië, CaCO₃)

TERUGWINNINGSPERCENTAGE

Tot 90% water terugwinning (MDC).

CAPACITEIT

Geen informatie beschikbaar adhv concrete cases in het kader van concentraatstromen.

OUTPUTSTROMEN

Gezuiverd water en herwonnen componenten.

RANDVOORWAARDEN VOOR GOEDE TOEPASSING VAN DE TECHNIEK

Afvalwater met concentraties van 10 tot 100.000 mg/l kan worden behandeld.

Schommelingen in de ingangconcentratie kunnen opgevangen worden door de circulatieverhouding aan te passen.

VOORDELEN

Het gezuiverde water is van hoge kwaliteit en kan binnen het proces worden hergebruikt of geloosd in het oppervlaktewater.

NADELEN / KNELPUNT OM DE TECHNIEK TE IMPLEMENTEREN IN CONCRETE BEDRIJVEN

- De achterblijvende reststroom is sterk aangerijkt met zouten en niet vluchtige verbindingen. Vaak kan deze stroom niet geloosd worden en moet de stroom verder behandeld (bv. verder indikken en drogen) of extern verwerkt worden.
- Door het opconcentreren van zouten kan corrosie een probleem zijn.
- Dure, energie-intensieve techniek.
- Gezien de hoge investeringskost, is deze techniek enkel rendabel bij een minimale capaciteit.

TECHNISCHE TOEPASBAARHEID

In Vlaanderen: beperkt aantal cases (zie referenties).

Er kan worden aangenomen dat de techniek inzetbaar is, als onderdeel van een afvalwaterzuiveringstrein, voor de behandeling en valorisatie van concentraatstromen.

MILIEU-ASPECTEN

Te lozen afvalwaterstroom: op oppervlaktewater of evt. op riool, mits voldaan aan de geldende lozingsnormen (o.a. N, P, zouten).

FINANCIËLE ASPECTEN

Geen informatie beschikbaar in het kader van de Vlaamse cases. In [WASS-Pelletkristallisatie/Korrelreactor](#) is een voorbeeld vermeld met inschatting van de kostprijs (zie Tabel 7).

CASES

Techniek in zijn algemeenheid wordt vermeld tijdens enkele interviews als mogelijk interessante bijkomende valorisatiestap bij zoutstromen (na indampen). Anno 2022 zijn er volgens de geïnterviewden (nog) geen concrete cases geïmplementeerd in het kader van de behandeling en valorisatie van concentraatstromen. De hoge energiekost van deze bijkomende zuiveringsstap is een mogelijke reden.

AANDACHTSPUNTEN

- Reductie van energiekosten door bv. het aanwenden van alternatieve bronnen

REFERENTIES

- AQUAFIT4USE
- Input Q & interviews, 2022

PRAKTIJKCASE 4

GEAVANCEERDE OXIDATIE TECHNIEKEN

INLEIDING

Voor een beschrijving van de technieken *Wet Air Oxidation* (WAO) en *Supercritical Water Oxidation* (SCWO) wordt verwezen naar bestaande technische fiches:

[WASS-WAO en SCWO](#)

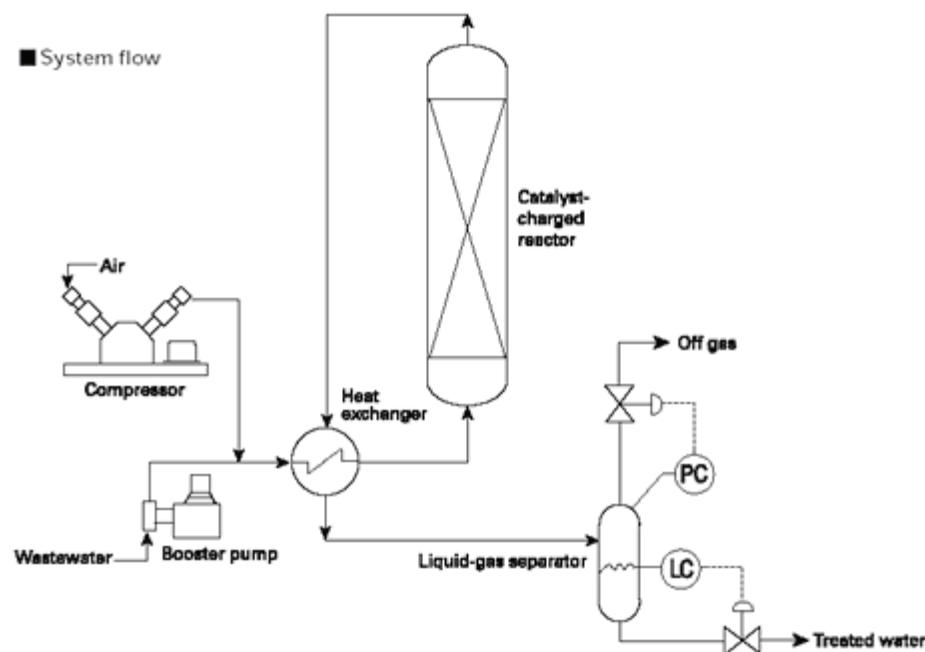
[Watercircle-Wet air oxidation en supercritical water oxidation](#)

Via een interview en ingevulde Q kon detailinformatie van Katalytische natte lucht oxidatie (*Catalytic Wet Air Oxidation* - CWAO) in kaart gebracht worden.

KORTE BESCHRIJVING VAN DE CASE

Afvalwater wordt met behulp van een pomp door een warmtewisselaar gestuurd om voor te verwarmen waarbij er continu lucht via compressor toegevoegd wordt. Dit voorverwarmde water dat rijk is aan zuurstof stroomt doorheen een kolom gevuld met een vaste, korrelvormige katalysator waar de exotherme oxidatiereactie plaatsvindt. Het behandelde water stroomt vervolgens door de warmtewisselaar waar dit het verse afvalwater voorverwarmt. Hierdoor is het proces zelfvoorzienend en dient er geen externe warmtebron aangewend te worden (met uitzondering van een korte opstartperiode). Afhankelijk van de situatie kan eventueel nog restwarmte gerecupereerd worden. Uiteindelijk stroomt het water doorheen een ontgassingstank waarna het behandelde water ofwel geloosd wordt, ofwel nog aangeboden wordt voor een finale biologische zuiveringsstap.

SCHEMATISCH VOORSTELLING



Figuur 10: Wet Air Oxidation - CWAO

Bron: Nippon Shokubai, persoonlijke communicatie, 2022

Draaitijd: 8766 u/j (continu).

UITVOERINGSVORMEN

Wet Air Oxidation (WAO)

Catalytic Wet Air Oxidation (CWAO)

SECTOR(EN) WAARIN DEZE TECHNIEK WORDT TOEGEPAST

(Petro)Chemie

TYPE STROMEN WAAROP DEZE TECHNIEK WORDT TOEGEPAST

Opconcentreren van afvalwaters dmv bijvoorbeeld omgekeerde osmose, ultra- of nanofiltratie waarbij het retentaat doorheen een CWAO verder gezuiverd wordt.

Geconcentreerde, soms moeilijk biologisch behandelbare afvalwaters van chemische processen, met een CZV-concentratie tussen 10000 en 100000 ppm COD (Cr).

COMPONENTEN DIE WORDEN VERWIJDERD

- toxische CZV-componenten (bv. formaldehyde, fenol, dioxaan, methyl metacrylaat, tereftaalzuur, mierenzuur, acrylzuur, ...)
- organische stikstof componenten (bvb isocyanaten, acrylonitril, ...)
- ammoniak
- zwavelcomponenten (bvb. natriumsulfide, natriumthiosulfaat, dimethylsulfoxide, ...)
- organische chlorides

TERUGWINNINGSPERCENTAGE

Het verwijderingsrendement is afhankelijk van de samenstelling van de afvalwaters. Er zijn referenties van toxische afvalwaters of afvalwaters met persistente moleculen die een conversie hebben tussen 80 en 95%, terwijl geconcentreerde, relatief makkelijk af te breken moleculen conversies halen van meer dan 99% gedurende meer dan 5 jaar.

CAPACITEIT

- 0,4 tot 30 m³/u
- bij meer dan 30m³/u kan met meerdere parallel geïnstalleerde units gewerkt worden

OUTPUTSTROMEN

- afvalwater: de voornaamste component in het behandeld afvalwater is azijnzuur. Dit maakt het effluent ideaal voor een nabehandeling door anaerobe vergisting
- in sommige gevallen mogelijkheid tot nuttig hergebruik van behandeld water
- afgassen: CO₂, N₂
- zwavelverbindingen worden omgezet tot SO₄²⁻
- organische chloorverbindingen worden omgezet tot Cl⁻

RANDVOORWAARDEN VOOR GOEDE TOEPASSING VAN DE TECHNIEK / NADELEN

- Geschikt voor consistente stromen met betrekking tot debieten, CZV-concentratie en samenstelling van de vuilvracht.
- Katalysator: de hoeveelheid is afhankelijk van de te behandelen afvalwaters.
- Voorbehandelingsstappen kunnen nodig zijn om een corrosief milieu te verhelpen of om het afzetten van componenten door 'scaling' te voorkomen.
- Ionen die kunnen zorgen voor neerslagvorming op de katalysator met verminderde werkzaamheid tot gevolg, kunnen eventueel nog eerst verwijderd worden over een ionenwisselaar.
- Het behandelde water kan nadien eventueel gezuiverd worden met behulp van omgekeerde osmose (of een andere techniek) om nadien nuttig hergebruikt te worden.

VOORDELEN

- simultane verwijdering van CZV-, N- en S-houdende componenten
- de techniek levert geen secundaire pollutanten zoals slib, assen of concentraatstromen

- de katalysator is bruikbaar in zowel zeer zure als zeer basisch omgevingen
- eventueel is warmterecuperatie mogelijk, afhankelijk van de CZV-concentratie van het inkomende afvalwater
- compacte plant/opstelling
- stabiele, continue en automatische werking; geen operatoren voor nodig

NADELEN / KNELPUNT OM DE TECHNIK TE IMPLEMENTEREN IN CONCRETE BEDRIJVEN

- niet geschikt voor afvalwaters die stoffen bevatten die vergiftiging (zoals zware metalen) of 'scaling' (Ca- of Si-ionen) veroorzaken van de katalysator.
- niet geschikt voor afvalwaters die zeer corrosieve stoffen (bv. hoge chloride-concentraties) bevatten waar de zuiveringsinstallatie niet tegen bestand is.

TECHNISCHE TOEPASBAARHEID

- techniek is al meerdere jaren commercieel beschikbaar in Azië
- geen concrete cases in Vlaanderen

MILIEU-ASPECTEN

- afval: er wordt geen afval gegenereerd
- energieverbruik: hangt af van de samenstelling van het afvalwater die de reactiecondities (druk, temperatuur, verblijftijd) bepaalt; doordat het afvalwater niet dient opgewarmd te worden door een externe energiebron is het energieverbruik (voor aandrijving pomp en luchtcompressor) relatief laag.
- Emissies: emissies van persistente en toxische chemicaliën in water en lucht worden voorkomen/gereduceerd

FINANCIËLE ASPECTEN

- CAPEX: relatief hoog
 - 2 tot 6 miljoen euro, afhankelijk van de grootte van de installatie
 - installatie loopt mogelijks onder drukken tot 80 bar en temperaturen tot 280°C
 - excl. prijs van de katalysator
- OPEX: relatief laag
 - Indien de CZV-concentratie voldoende hoog is (>10 000 ppm) zodat de installatie energie-zelfvoorzienend systeem is, is de werkingskost vergelijkbaar met de werkingskost voor een aerobe zuiveringsinstallatie. De werkingskost voor een CWAO bestaat uitsluitend uit hulpstoffen (katalysator) en energie (elektriciteit).

CASES

In Vlaanderen

/

Elders

Formosa Chemicals: CWAO-installaties in China en Taiwan voor phenol productie.

Nippon Shokubai: CWAO unit (Azië).

AANDACHTSPUNTEN

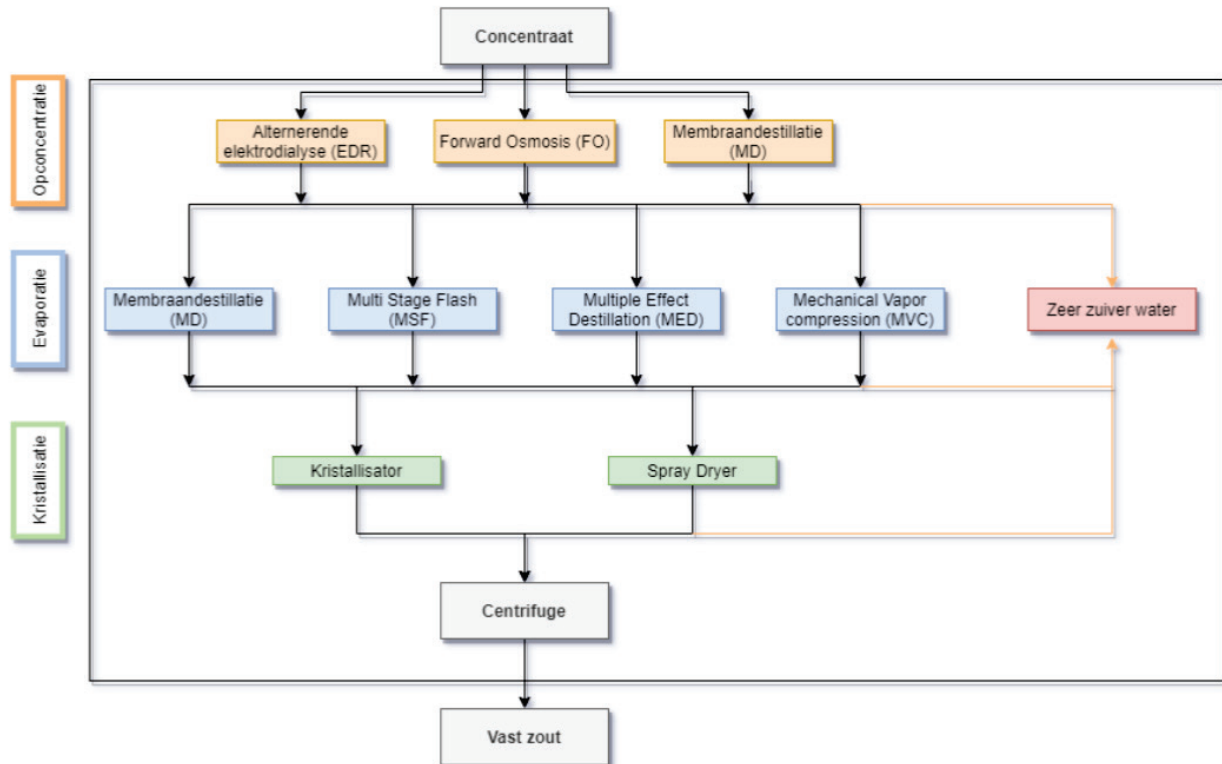
/

REFERENTIES

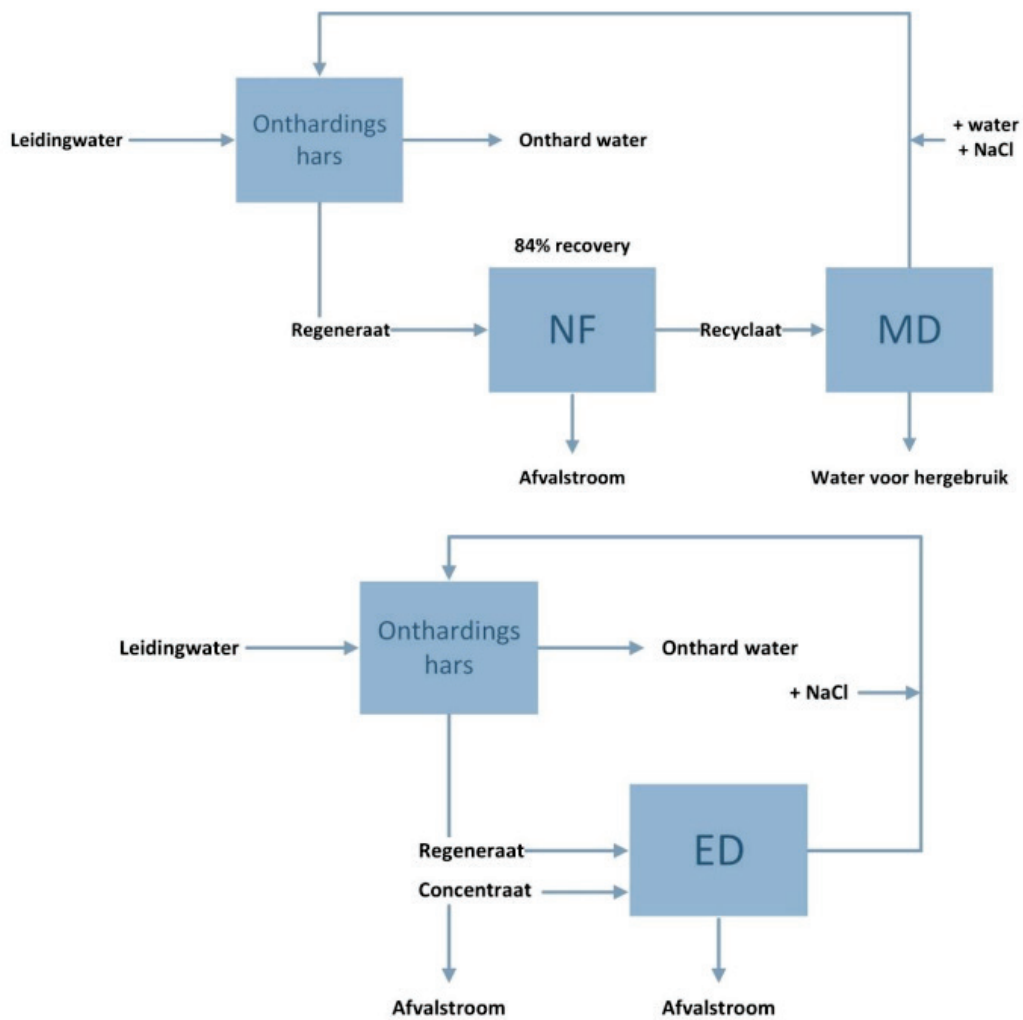
- [NIPPON SHOKUBAI](#)
- Nippon Shokubai, Persoonlijke communicatie, 2022
- Input Q & interviews, 2022

BIJLAGE 4: VOORBEELDEN VAN TECHNIKREINEN

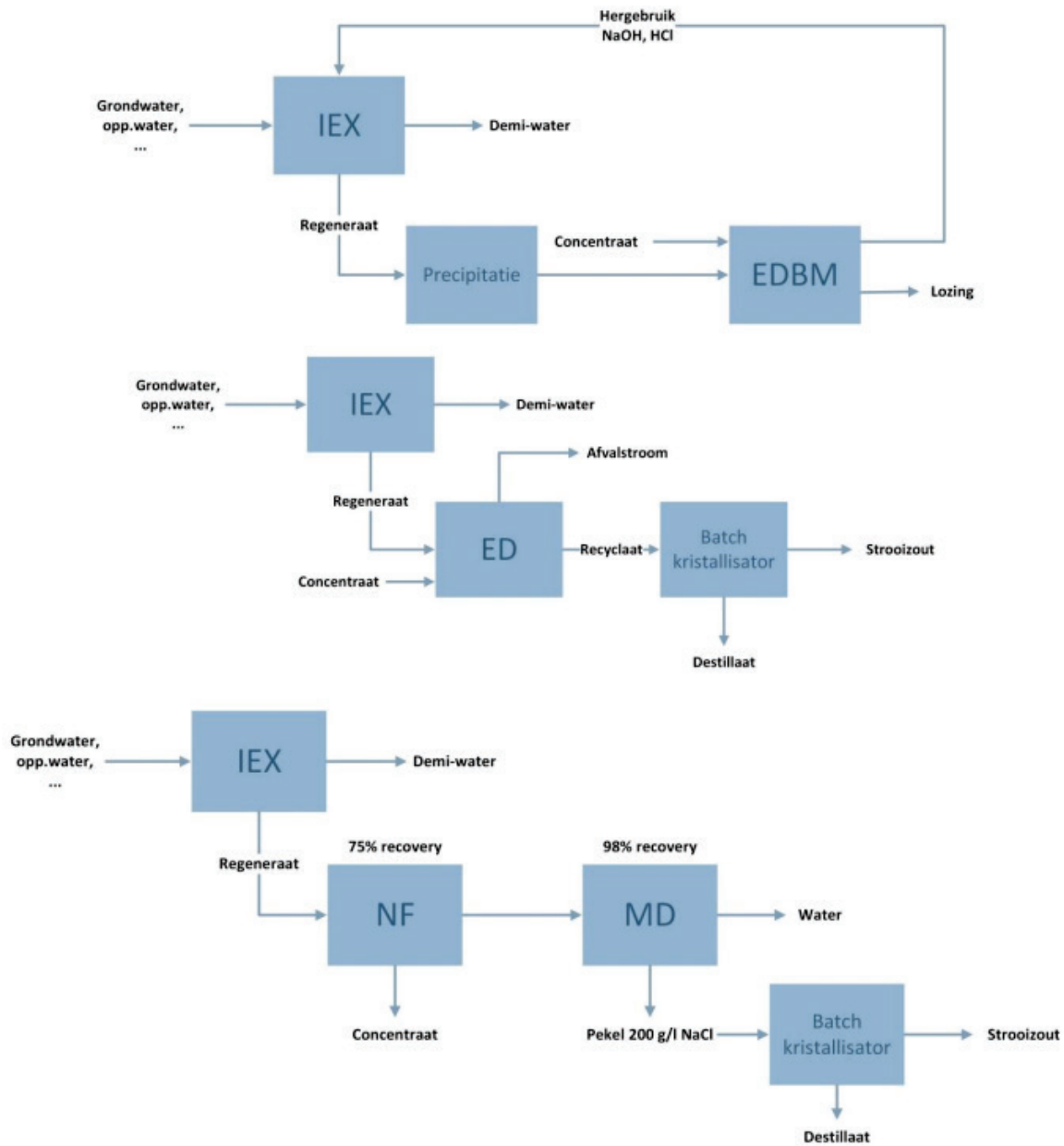
In deze bijlage zijn een aantal voorbeelden van toegepaste/inzetbare techniekreinen opgenomen die terug te vinden in de literatuur (Verjans et al., 2020 (zie Figuur 1), Vanoppen M. et al, 2016 (zie Figuur 2 t.e.m. Figuur 13), Lenntech (Figuur 14), Rodríguez M. et al., 2021 (Figuur 15)).



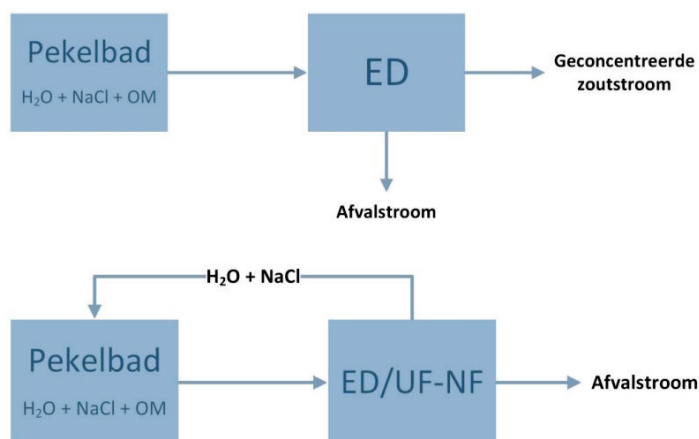
Figuur 11: Overzicht van behandelingstreinen voor concentraatstromen (Verjans et al., 2020)



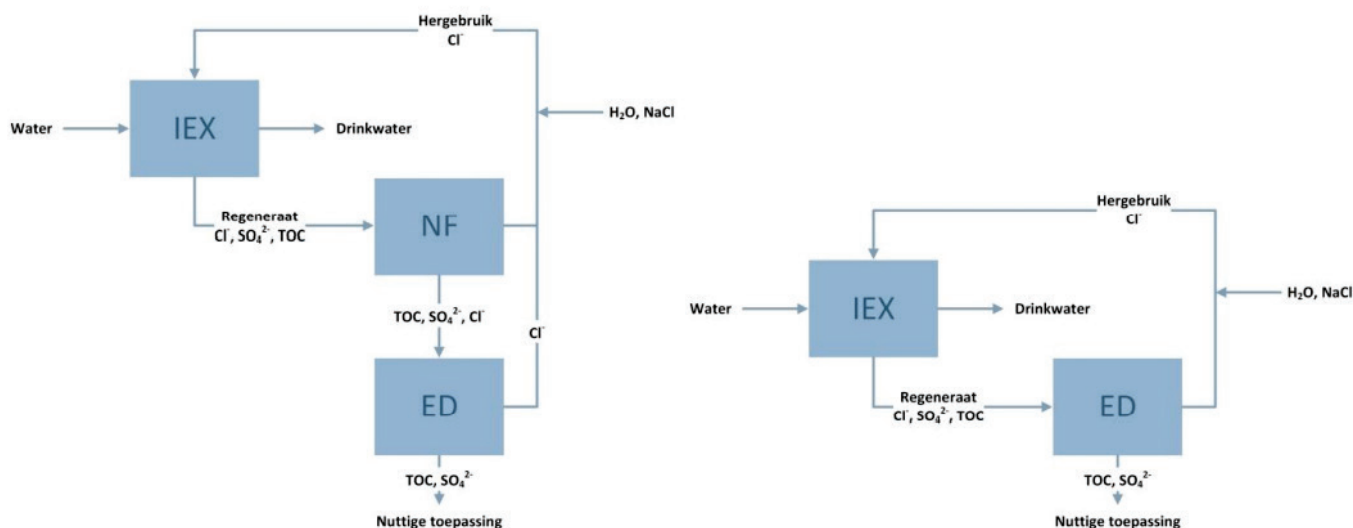
Figuur 12: Behandeling van regeneraat met NF/MD enerzijds en behandeling van het geconcentreerde gedeelte met ED anderzijds (Vanoppen M. et al, 2016).



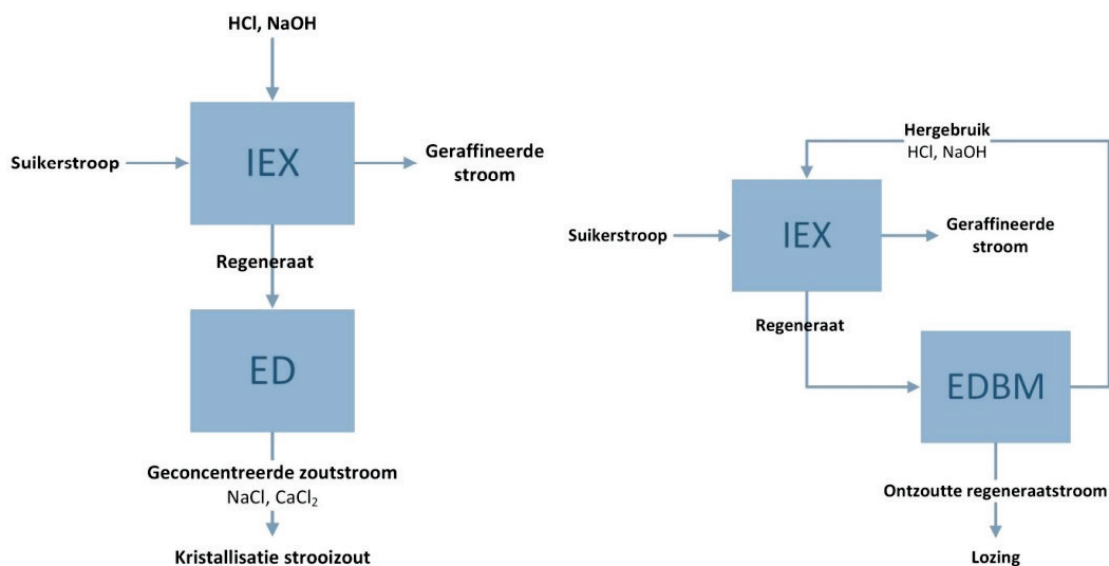
Figuur 13: Mogelijke behandelingsroutes voor het regeneraat van ionenwisselaars voor demi-water productie (Vanoppen M. et al, 2016)



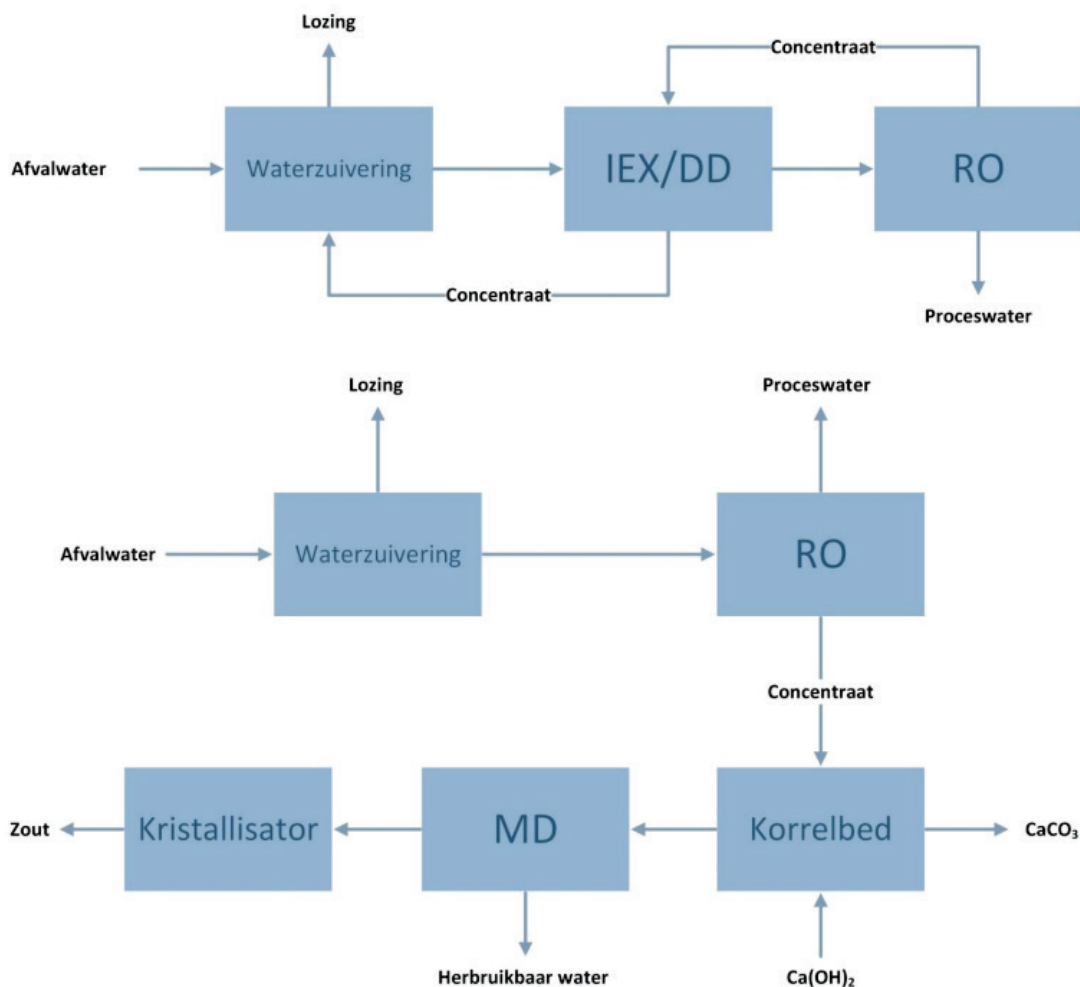
Figuur 14: Behandeling van het pekkelbad (voedingsindustrie) met ED voor het terugwinnen van een geconcentreerde zoutstroom of met ED of UF-NF voor recyclage van het zout (Vanoppen M. et al, 2016)



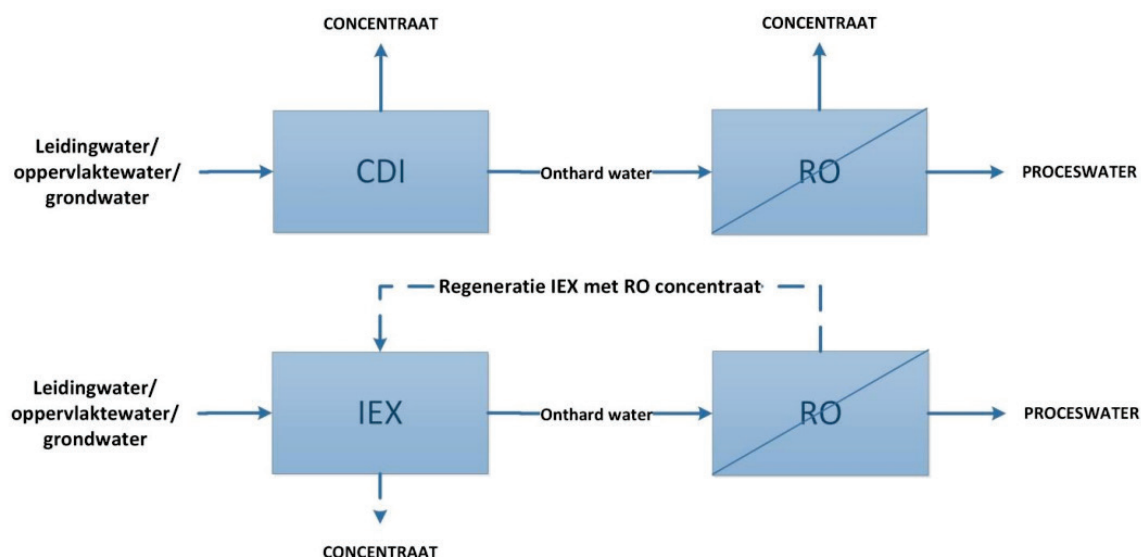
Figuur 15: Behandeling van IEX regeneraat (drinkwaterproductie) met combinatie van IEX/NF/ED enerzijds en IEX/ED anderzijds met het oog op de recyclage van chloriden en de productie van een herbruikbare stroom (Vanoppen M. et al, 2016)



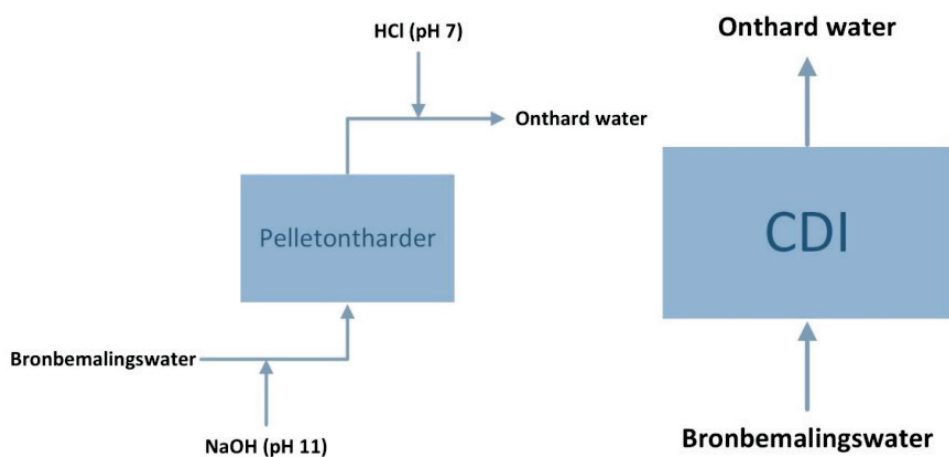
Figuur 16: Behandeling van het IEX regeneraat (raffinage van suikerstroom) met ED en EDBM (Vanoppen M. et al, 2016)



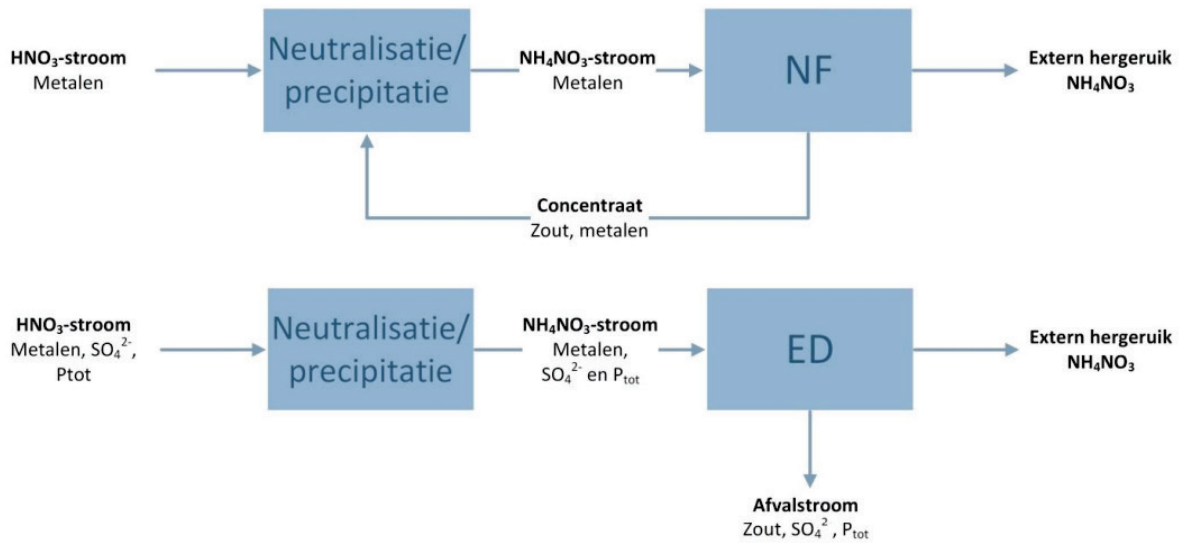
Figuur 17: Behandeling van gezuiverd afvalwater met IEX/DD in combinatie met RO (met recirculatie van het RO concentraat) enerzijds en combinatie van RO/korrelbed/MD en kristallisatie (en behandeling van het RO concentraat) anderzijds (Vanoppen M. et al, 2016)



Figuur 18: Proceswaterbehandeling (verwijdering van multivalente kation en verhogen RO wateropbrengst) door combinatie van CDI-RO enerzijds IEX-RO anderzijds (Vanoppen M. et al, 2016)

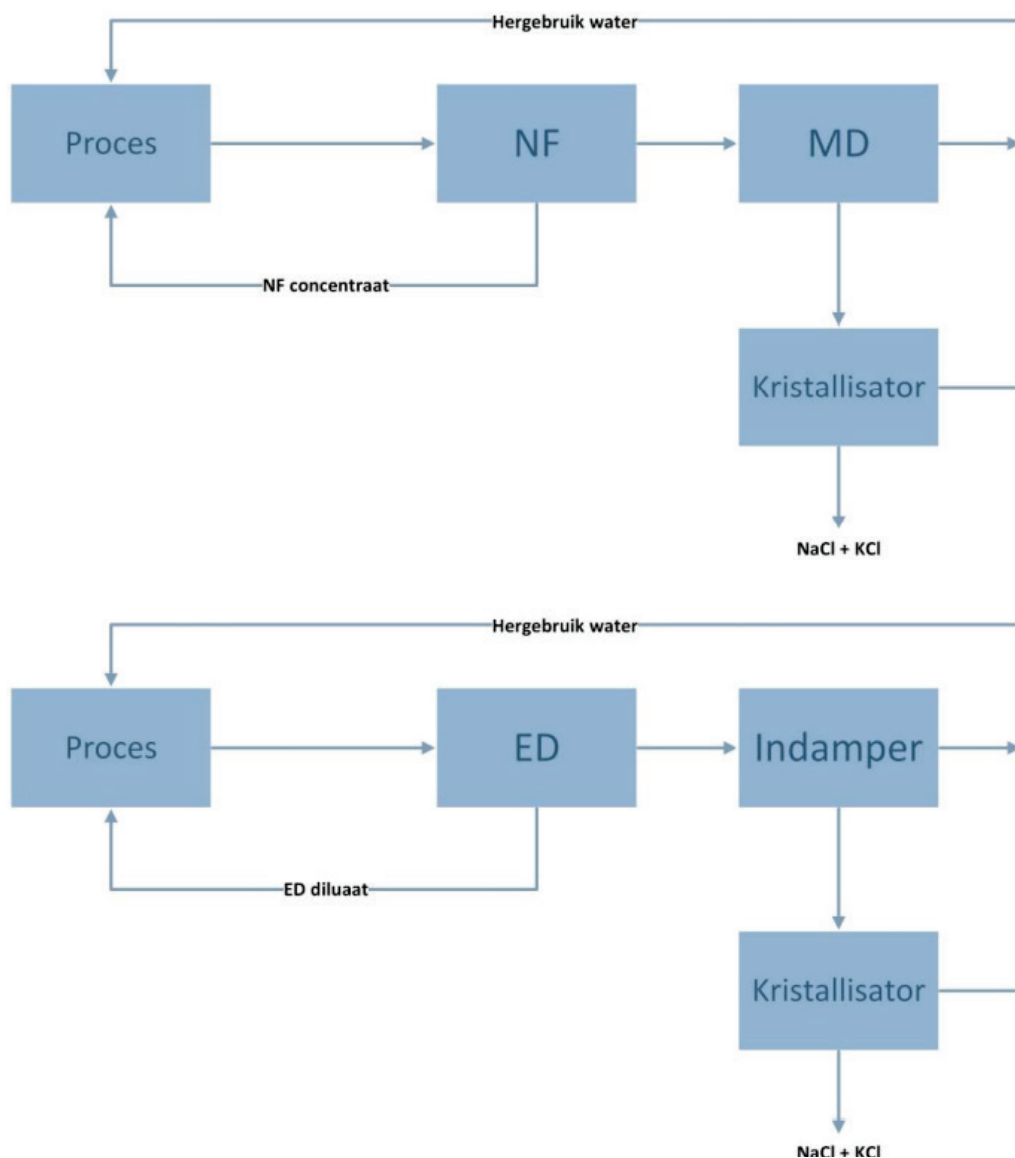


Figuur 19: Behandeling van bronbemaalingswater (als voedingswater voor koeltorens) met pelletontharder enerzijds en CDI anderzijds (Vanoppen M. et al, 2016)

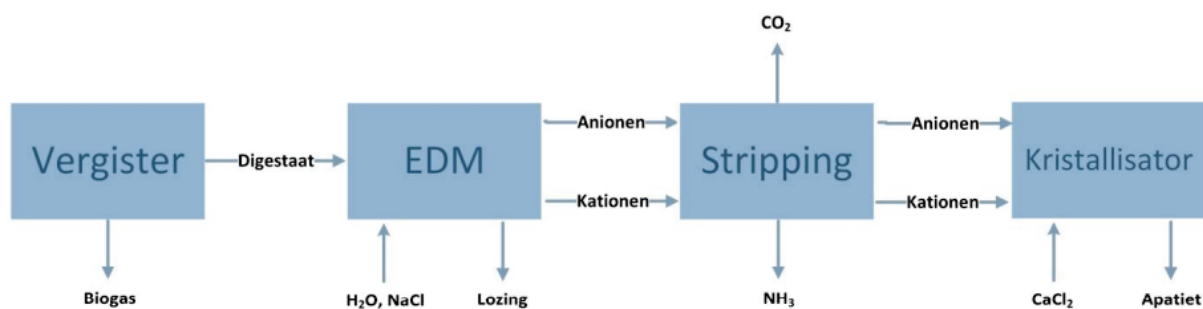


Figuur 20: Behandeling van de HNO₃-stroom met en zonder sulfaat en fosfaat met NF enerzijds en ED anderzijds (Vanoppen M. et al, 2016)

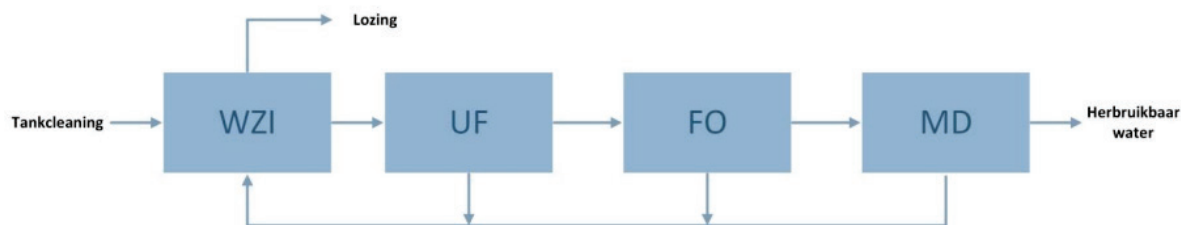
Technologiegids



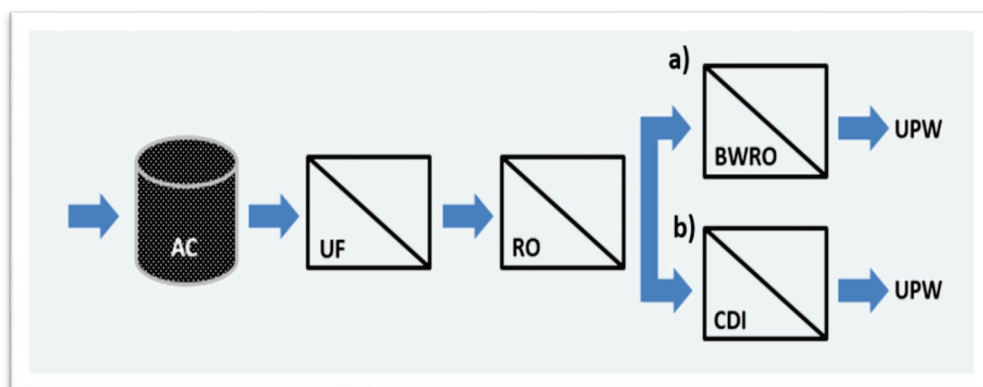
Figuur 21: Behandeling van zoutstromen met beperkte metaalverontreiniging met combinatie van NF, MD en kristallisatie enerzijds en ED, indamping en kristallisatie (anderzijds) (Vanoppen M. et al, 2016)



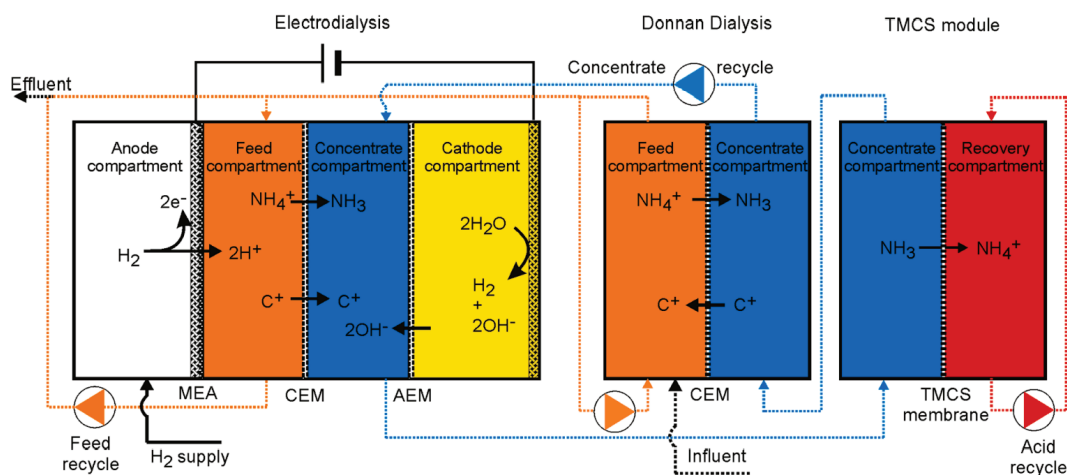
Figuur 22: Behandeling van digestaat (met vorming van apatiet) door combinatie van EDM, stripping en kristallisatie (Vanoppen M. et al, 2016)



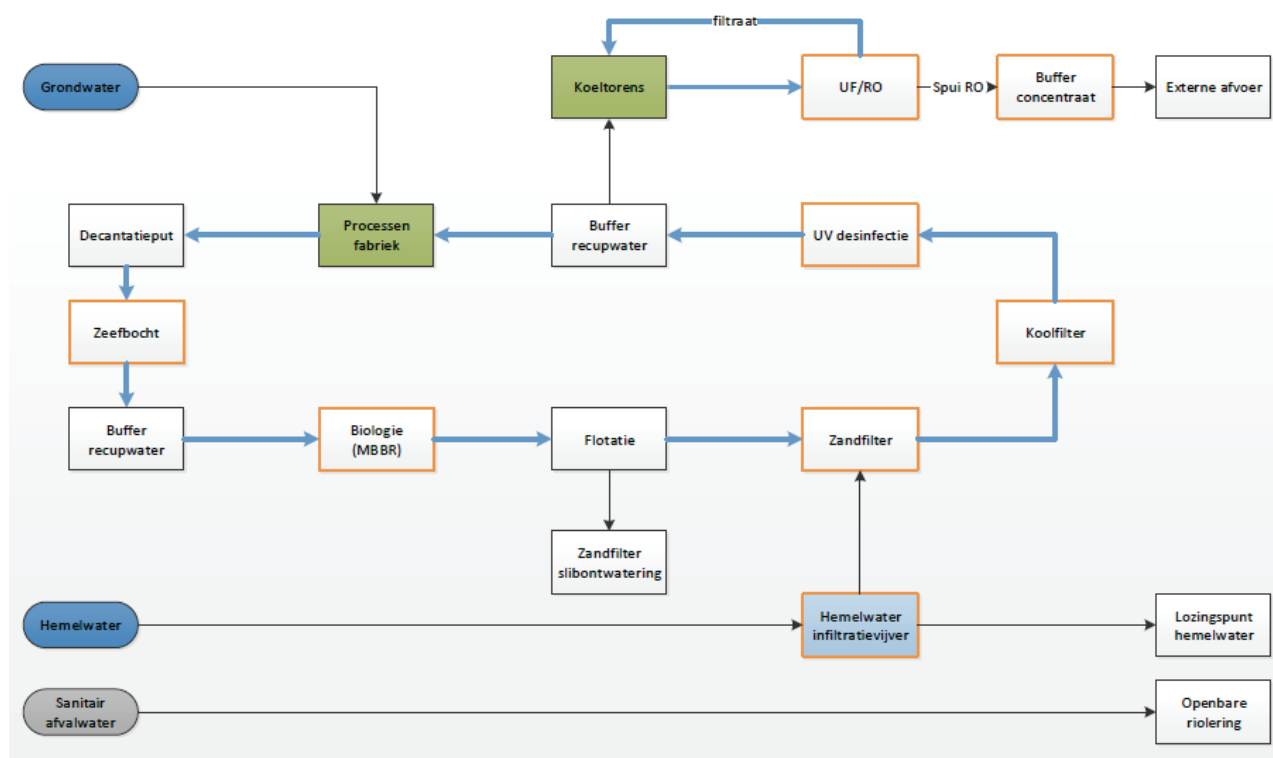
Figuur 23: Behandeling van bedrijfsafvalwater (tankcleaning) door combinatie van UF, FO en MD (Vanoppen M. et al, 2016)



Figuur 24: Combinatie van CDI en OO voor de productie van ultra puur water enerzijds en het maximaliseren van de waterterugwinning bij de behandeling van pekkel anderzijds ([Lennotech-CDI](#))



Figuur 25: Toepassing van DD in combinatie met ED en Transmembrane Chemisorption (TMCS) unit voor de verwijdering van TAN (Total Ammonia Nitrogen) uit UASB-effluent (laboschaal) (Rodríguez M. et al., 2021)



Figuur 26: Afvalwaterzuiveringstrein van een kunststoffenrecyclagebedrijf met ZLD (omloop 15 m³/u water)

Bron: Trevi, Persoonlijke communicatie, 2022 ([Activities](#) / [Ravago](#))

Verdere optimalisatie (2022):

- UV-desinfectie thv buffer recupwater;
- bandfilter tussen buffer recupwater en biologie (MBBR).

BIJLAGE 5: FINALE OPMERKINGEN

Dit rapport komt overeen met wat het BBT-kenniscentrum op dit moment beschouwt als technieken die voldoen aan de BBT-criteria en technieken in opkomst, en de daaraan gekoppelde aangewezen aanbevelingen. De conclusies van deze studie zijn mede het resultaat van overleg in het begeleidingscomité maar binden de leden van het begeleidingscomité niet.

Deze bijlage geeft de opmerkingen of afwijkende standpunten die leden van het begeleidingcomité en de stuurgroep namens hun organisatie formuleerden op het voorstel van eindrapport. Volgens de procedure die binnen het BBT-kenniscentrum van VITO gevolgd wordt voor het uitvoeren van BBT-studies, worden deze opmerkingen of afwijkende standpunten niet meer verwerkt in de tekst (tenzij het kleine tekstuele correcties betreft), maar opgenomen in deze bijlage. In de betrokken hoofdstukken wordt door middel van voetnoten verwezen naar deze bijlage.

Op de finale draftversie van deze studie werden er geen inhoudelijke opmerkingen ontvangen.

Vlaams BBT-kenniscentrum
VITO
Boeretang 200
B-2400 Mol
bbt@vito.be

emis.vito.be/bbt

