



Systeemkeuze toekomstbestendige nieuwbouw rwzi Baarle-Nassau

Rapportage variantenuitwerking rwzi Baarle-Nassau

Waterschap Brabantse Delta

2 december 2024

Waterschap Brabantse Delta
VERTROUWELIJK

Project Opdrachtgever Systeemkeuze toekomstbestendige nieuwbouw rwzi Baarle-Nassau
Waterschap Brabantse Delta

Document Rapportage variantenuitwerking rwzi Baarle-Nassau
Status Definitief
Datum 2 december 2024
Referentie 142182/24-017.704

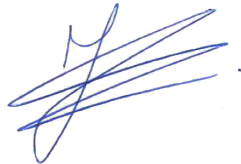
Projectcode 142182
Projectleider J. Dan MSc
Projectdirecteur Dr. ir. A.F. van Nieuwenhuijzen

Auteur(s) V.W. Helsloot MSc, R. den Breems MSc, S.A. van den Berg MSc,
prof. ir. dr. D.P.L. Rousseau (Universiteit Gent)

Gecontroleerd door J. Dan MSc

Goedgekeurd door J. Dan MSc

Paraaf



Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Blaak 16
Postbus 2397
3000 CJ Rotterdam
+31 (0)10 244 28 00
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INLEIDING | 6 |
| 1.1 | Aanleiding | 6 |
| 1.2 | Doelstelling | 6 |
| 1.3 | Samenwerking met Universiteit Gent | 6 |
| 1.4 | Leeswijzer | 7 |
| 2 | TOTSTANDKOMING VOORKEURSVARIANTEN | 8 |
| 2.1 | Voorkeursvarianten | 8 |
| 3 | ONTWERPUITGANGSPUNTEN | 11 |
| 3.1 | Influentgegevens | 11 |
| 3.2 | Effluenteisen | 11 |
| 3.3 | Beschikbaar terrein | 13 |
| 3.4 | Ontwerpuitgangspunten technologische hoofdzuivering | 14 |
| 3.5 | Uitgangspunten ecologische nazuivering | 15 |
| 4 | GLOBAAL ONTWERP VOORKEURSVARIANTEN | 18 |
| 4.1 | Dimensionering technische hoofdzuivering | 18 |
| 4.1.1 | Dimensionering technische hoofdzuivering | 18 |
| 4.1.2 | Ecologische nazuivering variant 1 - Fully intensified constructed wetland | 21 |
| 4.1.3 | Ecologische nazuivering variant 2 - Free water surface | 24 |
| 4.1.4 | Ecologische nazuivering variant 3 - Fully intensified constructed wetland | 25 |
| 4.1.5 | Ecologische nazuivering variant 4 - Free water surface | 26 |
| 4.1.6 | Haalbare effluentkwaliteit | 27 |
| 4.2 | Vlekkenplan | 27 |
| 4.3 | Energie- en hulpstoffenverbruik | 28 |
| 4.4 | Reststromen | 30 |
| 5 | ONDERHOUDBAARHEID EN RESERVESTELLING | 32 |
| 5.1 | Storingskans en TRL | 32 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.1.1 | Variant 1: Nereda-FICW | 32 |
| 5.1.2 | Variant 2: Nereda-DF-FWS | 33 |
| 5.1.3 | Variant 3: mUCT-FICW | 33 |
| 5.1.4 | Variant 4: mUCT-DF-FWS | 33 |
| 5.2 | Onderhoudbaarheid en redundantie | 33 |
| 5.2.1 | Technische hoofdzuivering | 33 |
| 5.2.2 | Ecologische nazuivering | 34 |
| 5.3 | Transportbewegingen | 35 |
| 6 | CO₂-FOOTPRINT GEBRUIKSFASE | 37 |
| 6.1 | Methodiek | 37 |
| 6.1.1 | Scope | 37 |
| 6.1.2 | Uitgangspunten | 38 |
| 6.2 | CO ₂ -footprint gebruiksfase | 39 |
| 6.2.1 | Impact van elektriciteit bij een groene mix | 40 |
| 6.2.2 | Procesemissies van de ecologische nazuivering | 41 |
| 6.2.3 | Overige toevoegingen tijdens de zuivering | 41 |
| 7 | KOSTEN | 42 |
| 7.1 | Uitgangspunten | 42 |
| 7.2 | Operationele kosten | 43 |
| 7.3 | Investeringskosten | 44 |
| 7.4 | Jaarlijkse lasten | 45 |
| 7.5 | Financiële samenvatting | 45 |
| 8 | PRESTATIE- EN RISICOBEOORDELING | 47 |
| 8.1 | Methodiek | 47 |
| 8.2 | Resultaten vergelijking criteria ambitieweb | 48 |
| 8.2.1 | Resultaten Ambitieweb | 52 |
| 8.2.2 | Beoordeling variant 1 Nereda + FICW | 53 |
| 8.2.3 | Beoordeling variant 2: Nereda + DF + FWS | 54 |
| 8.2.4 | Beoordeling variant 3: mUCT + FICW | 54 |
| 8.2.5 | Beoordeling variant 4: mUCT + DF + FWS | 55 |
| 9 | CONCLUSIE | 56 |
| 9.1 | Totstandkoming varianten | 56 |
| 9.2 | Voorkeursvariant: mUCT + FICW | 57 |
| 10 | REFERENTIES | 58 |

Bijlage(n)**Aantal pagina's**

| | | |
|------|---|----|
| I | Variantenafweging technologieën | 12 |
| II | Procesbeschrijving | 10 |
| III | Ontwerpparameters | 6 |
| IV | Vlekkenplannen | 1 |
| V | Eenheidsprijzen en afschrijvingstermijnen | 1 |
| VI | Investeringskosten | 1 |
| VII | Jaarlijkse lasten | 4 |
| VIII | Thema's ambitieweb | 4 |

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

De rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) Baarle-Nassau is landelijk gesitueerd op de hoge zandgronden in het zuiden van Brabant. In de omgeving van Baarle-Nassau is droogteproblematiek urgent [1]. Dat geeft een kans voor rwzi Baarle-Nassau om bij te dragen aan droogtebestrijding via inzet van het effluent. Deze kans wordt nu niet benut: het gezuiverde effluent wordt geloosd in de Bremer die het water snel afvoert naar de Boven Mark. De Boven Mark is een waterlichaam met een acute KRW-opgave om de waterkwaliteit te verbeteren; onder andere voor stikstof (N) en fosfor (P). Een substantieel deel van de N en P-belasting van de Boven Mark is afkomstig van rwzi Baarle-Nassau. Tegelijkertijd zijn de installaties en bouwwerken van de rwzi Baarle-Nassau einde levensduur. Daarom heeft het bestuur van waterschap Brabantse Delta (WSBD) de keuze voorgelegd gekregen om de rwzi te renoveren ('opknappen') of vernieuwen ('toekomstbestendig').

WSBD heeft besloten om rwzi Baarle-Nassau te vernieuwen door nieuwbouw van een robuust, modern actief-slibstelsysteem met een nageschakelde ecologische zuivering [2]. De vernieuwing heeft als doelstelling om een nieuwe rwzi te bouwen die een goede effluentkwaliteit levert ten behoeve van een goede waterkwaliteit van het ontvangende bekensysteem en een gezonde (water-)natuur. De nieuwe rwzi moet toekomstbestendig zijn door aan alle wettelijke eisen voor N en P te kunnen voldoen, zoals toegelicht in hoofdstuk 3.2. Daarnaast is rwzi Baarle-Nassau een onbemande zuivering en is het de wens om dit zo te behouden. Bovendien sluit de technologiekeuze voor de nazuivering aan bij 'natuurlijke oplossingen waar het kan en technisch waar het moet' uit het Waterbeheerprogramma van WSBD.

1.2 Doelstelling

Het doel van deze studie is om de haalbaarheid en aantrekkelijkheid van verschillende zuiveringstechnologieën voor de nieuwbouw van rwzi Baarle-Nassau te beoordelen. Daarnaast gebruikt WSBD dit project als blauwdruk en informatiebron voor toekomstige projecten. In de studie zijn verschillende zuiveringstechnologieën afgewogen en voorkeursvarianten geselecteerd. Voor de voorkeursvarianten zijn energie-, grond- en hulpstoffenverbruik, transportbewegingen en ruimtegebruik uitgewerkt. Het rapport vormt hiermee een systeemkeuzestudie voor het ontwerp van de nieuwbouw rwzi Baarle-Nassau en draagt daarmee bij aan het doel van WSBD van een goede waterkwaliteit van het ontvangende bekensysteem en een gezonde (water-)natuur.

1.3 Samenwerking met Universiteit Gent

In de projectuitvoering werken Witteveen+Bos en de heer prof. dr. ir. D.P.L. Rousseau (Diederik) van de Universiteit Gent, expert op het gebied van ecologische nazuiveringen, samen aan de systeemkeuze voor het ontwerp van de nieuwe rwzi in Baarle-Nassau. De gedeelde werkzaamheden bestaan uit de gezamenlijke uitvoering en review van de sterkte-zwakteanalyse van de ecologische nazuivering, de dimensionering en review van het schetsontwerp van de ecologische nazuivering en participatie in, en voorbereiding op, werksessies.

De bijdrage van de heer prof. dr. ir. D.P.L. Rousseau (Diederik) aan het rapport omvat:

- hoofdstuk 3.5;
- hoofdstuk 4.1.2 tot en met 4.1.5;
- hoofdstuk 1.3;
- de onderdelen van bijlage II die de ecologische nazuivering beschrijven.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de totstandkoming van de voorkeursvarianten toegelicht en worden de voorkeursvarianten geïntroduceerd. Hoofdstuk 3 presenteert de uitgangspunten voor de dimensionering, die in hoofdstuk 4 is beschreven. In hoofdstuk 5 is de onderhoudbaarheid en reservestelling van de varianten beschouwd.

Hoofdstuk 6 en 7 presenteren respectievelijk de CO₂-footprint van de gebruiksfase en de kosten van de voorkeursvarianten. De resultaten van de voorgaande hoofdstukken zijn in hoofdstuk 8 samengevat in een ambitieweb per variant. Hierna volgen de conclusies in hoofdstuk 9.

2

TOTSTANDKOMING VOORKEURSVARIANTEN

Om de voorkeursvarianten voor de nieuwbouw van rwzi Baarle-Nassau te definiëren zijn verschillende technologieën vergeleken in een variantenafweging. Deze variantenafweging is opgedeeld in twee delen van de zuivering: de 'technische' hoofdzuivering met het actief-slibstelsysteem en de 'natuurlijke' nazuivering ofwel de ecologische zuivering. De technologieën zijn vervolgens beoordeeld met een sterkte-zwakteanalyse op basis van expert judgement en referentieprojecten.

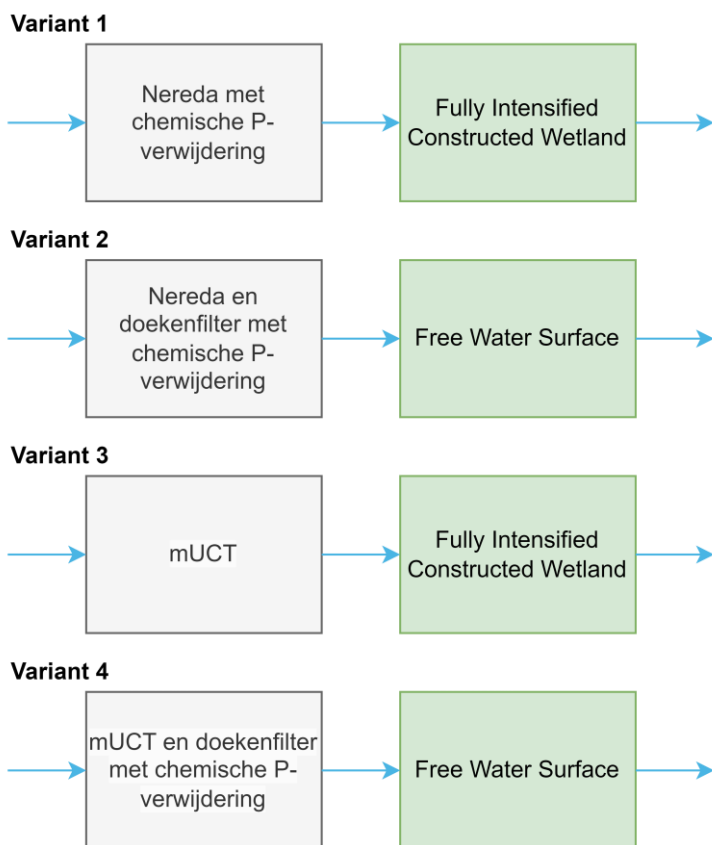
De methodiek en resultaten van de sterkte-zwakteanalyse zijn te vinden in bijlage I. Daar staat ook een overzicht en omschrijving van de overwogen technologieën. De resultaten van de sterkte-zwakteanalyse zijn besproken in een werksessie op 7 juni 2024 (referentienummer 142182/24-008.540) en daarna per e-mail, waarin de meest kansrijke technologieën zijn gecombineerd om tot vier geschikte voorkeursvarianten voor rwzi Baarle-Nassau te komen, welke hieronder zijn toegelicht.

2.1 Voorkeursvarianten

De membraanbioreactor (MBR) is een kansrijke technologie voor de hoofdzuivering, aangezien het de hoogste score haalt op waterkwaliteit, aansluiting op de nazuivering en ruimtegebruik. Het energieverbruik van een membraanbioreactor is echter een aandachtspunt. De huidige netaansluiting van rwzi Baarle-Nassau bedraagt een capaciteit van 126 kW, waarvan nog 26 kW beschikbaar is. Het energieverbruik van een MBR voor zuivering van communaal afvalwater ligt rond de 1-1,25 kWh/m³ inclusief beluchting [3]. Het zuiveren van 250 m³/uur vraagt een gelijktijdig vermogen van 126 kWh, waarmee de volledige capaciteit benut wordt met enkel de MBR. Een maximale capaciteit van 250 m³/uur komt overeen met 85 % van de uurdebieten. Door dit capaciteitsgebrek wordt de nazuivering op piekmomenten overbelast met onopgeloste bestanddelen. De variant met een membraanbioreactor is daarom op basis van het gelijktijdig piekvermogen uitgesloten en niet verder meegenomen in de systeemkeuze.

Korrelslib komt beter uit de sterkte-zwakteanalyse dan het modified University of Cape Town (mUCT)-proces, maar het effluent van dit systeem kan hogere pieken van zwevende stof en fosfaat bevatten wat leidt tot een risico op verstopping van de Fully Intensified Constructed Wetlands (FICW) en een grote hoeveelheid benodigde ijzerzand. Daarom is voor de hoofdzuivering besloten om zowel aerobisch korrelslib als mUCT te beschouwen. Bij de nazuivering is gekozen voor de uitvoeringsvorm FICW of Free Water Surface (FWS). In beide varianten wordt fosfaat onvoldoende biologisch verwijderd en moet fosfaat gedeeltelijk chemisch verwijderd worden om de strenge effluenteis te halen. Omdat de FWS dat onvoldoende doet, is aanvullend een defosfaterend doekenfilter nodig in de aanvoer naar de FWS toe. De FICW verwijdert het rest-fosfor met een ijzerzand, dat fosfaat absorbeert. Afbeelding 2.1 geeft de vier voorkeursvarianten weer. In Bijlage II is voor elke variant een procesbeschrijving te vinden.

Afbeelding 2.1 Voorkeursvarianten voor technologische hoofdzuivering (grijs) en ecologische nazuivering (groen)



Variant 1: aerobisch korrelslib-reactor met fully intensified constructed wetland

De technische hoofdzuivering bestaat uit aerobisch korrelslib-reactoren, uitgevoerd als Nereda, met precisiedosering van metaalzout. Het FICW wordt ontworpen op maximale verwijdering van fosfaat en stikstof in de nazuivering. Dit is enkel mogelijk door af te wijken van volledig passieve systemen, en de werking te optimaliseren door beluchting en een fosfaat-adsorberende filter. Aan de FICW kunnen biochar en C-dosering worden toegevoegd voor verbeterde verwijdering van microverontreinigingen en stikstof, maar voor deze systeemkeuzestudie is gekozen om deze opties niet mee te nemen, omdat de stikstof-eis al wordt gehaald in deze variant.

Variant 2: aerobisch korrelslib-reactor met doekfilter en free water surface constructed wetland

De technische hoofdzuivering bestaat uit aerobisch korrelslib-reactoren, uitgevoerd als Nereda, en een nageschakeld doekfilter met metaalzoutdosering. Deze doekfilter is toegevoegd aan de variant om voldoende fosfaat te verwijderen. Een aandachtspunt van de aerobisch korrelslib-reactor is het risico op uitspoeling van onopgeloste bestanddelen. Dit wordt gemitigeerd door het plaatsen van het doekfilter na de effluentbuffer. Aangezien de technische zuivering al grotendeels aan de gestelde eisen kan voldoen, wordt als ecologische nazuivering enkel een FWS gebruikt.

Variant 3: conventioneel actief slibstelsysteem met fully intensified constructed wetland

De technische hoofdzuivering bestaat uit een conventioneel actief slibstelsysteem, uitgevoerd als mUCT, met metaalzoutdosering in de afloop naar de nabezinking. Ook in deze variant wordt het FICW ontworpen op maximale verwijdering van fosfaat en stikstof in de nazuivering. Dit is enkel mogelijk door af te wijken van volledig passieve systemen, en de werking te optimaliseren door beluchting en een fosfaat-adsorberende filter. Aan de FICW kunnen biochar en C-dosering worden toegevoegd voor verbeterde verwijdering van microverontreinigingen en stikstof, maar voor deze systeemkeuzestudie is gekozen om deze opties niet mee te nemen omdat deze niet nodig zijn om de effluenteisen te halen. In een latere fase van het ontwerp dienen deze opties wel meegenomen te worden.

Variant 4: conventioneel actief slibstelsysteem met free water surface constructed wetland

De technische hoofdzuivering bestaat uit een conventioneel actief slibstelsysteem, uitgevoerd als mUCT en een nageschakeld doekenfilter met metaalzoutdosering. Deze doekenfilter is toegevoegd aan de variant om voldoende fosfaat te verwijderen. Daarnaast reduceert het doekenfilter de hoeveelheid onopgeloste bestanddelen in het effluent. Aangezien de technische zuivering al grotendeels aan de gestelde eisen kan voldoen, wordt als ecologische nazuivering enkel een FWS gebruikt.

Meetlocatie effluentkwaliteit

De effluentkwaliteit wordt gemeten op de afloop van de rwzi. Openwater systemen als een *free water surface constructed wetland*/waterharmonica mogen juridisch niet als onderdeel van de rwzi worden beschouwd, omdat het water in direct contact staat met oppervlakte- en grondwater. In dit geval moet het effluent vóór de ecologische zuivering bemeaten worden, waardoor de technische hoofdzuivering verdergaand moet zuiveren. In België wordt standaard een ondoorlaatbare folie aangebracht om deze situatie te voorkomen. In Nederland is dit ook toegestaan, maar nog niet toegepast.

3

ONTWERPUITGANGSPUNTEN

In dit hoofdstuk staan de ontwerpuitgangspunten van de technische en ecologische zuivering weergegeven. Dit omvat de uitgangspunten voor binnenkomend influent (paragraaf 3.1), effluentkwaliteitseisen (paragraaf 3.2), beschikbare ruimte (paragraaf 3.3) en dimensioneringsgrondslagen van de technologische hoofdzuivering (paragraaf 3.4).

3.1 Influentgegevens

Tabel 3.1 geeft de uitgangspunten voor het influent weer zoals aangeleverd door WSBD. Deze gegevens zijn, met uitzondering van de vuilvracht en opgeloste organische fosfor (DOP), gebaseerd op de gemiddelden van 2015 tot en met 2023.

Tabel 3.1 Uitgangspunten influentsamenstelling op basis van gemiddelde aanvoergegevens 2015-2023

| Parameter | Eenheid | Waarde |
|-------------------------------|-------------------|--------|
| vuilvracht (2019-2023) | i.e. (150 g TZV) | 20.000 |
| DWA | m ³ /d | 2.617 |
| DWA | uur/dag | 16 |
| DWA | m ³ /h | 164 |
| RWA | m ³ /h | 500 |
| verhouding RWA:DWA | - | 3,1 |
| CZV | mg/l | 887 |
| Ntot | mg/l | 74 |
| Ptot | mg/l | 11 |
| DOP (2021-2023) | mg/l | 0,06 |
| onopgeloste bestanddelen (OB) | mg/l | 297 |

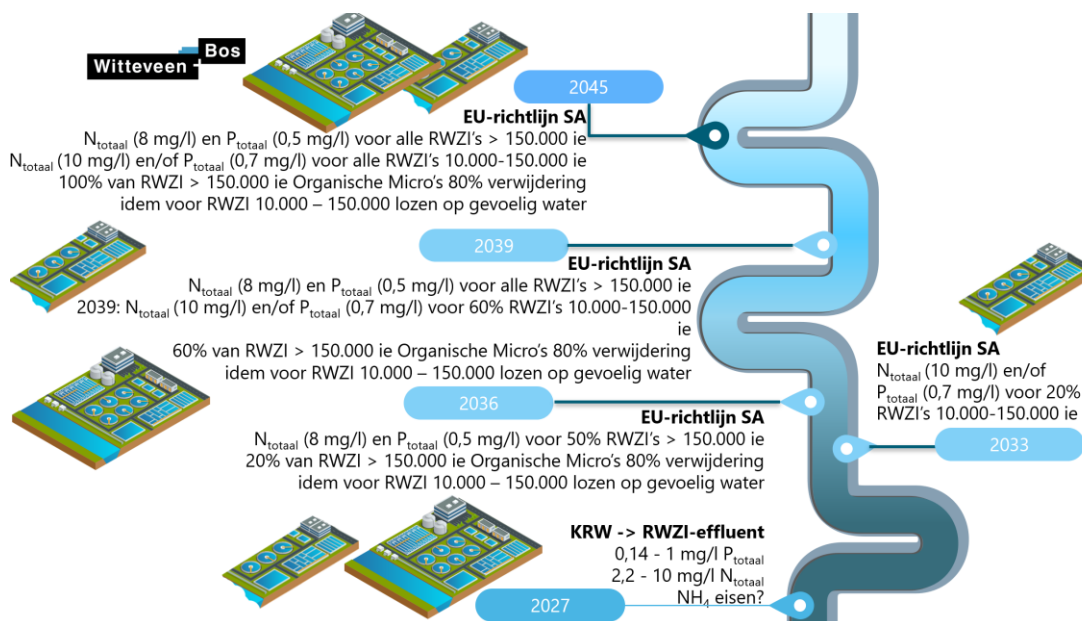
3.2 Effluenteisen

De effluentkwaliteit moet voldoen aan de eisen in de toekomstige herziene Europese Stedelijke Richtlijn Afvalwater (ESRA) en effluentlozing emissie-/immissietoets (E/I-toets). Aanvullend is het streven om te voldoen aan de KRW-doelen met een effluentkwaliteit op basis van Goed Ecologisch Potentieel (GEP) voor de Boven Mark. De effluenteisen gelden voor de afloop van de ecologische nazuivering, maar het streven is om het water in de technische hoofdzuivering al zo ver mogelijk te zuiveren, zodat de ecologische nazuivering optimaal presteert. Daarnaast staat nog niet vast of de nazuivering juridisch beschouwd mag worden als onderdeel van de rwzi (zie kader paragraaf 2.1).

ESRA

Bij nieuwbouw wordt uitgegaan van de toekomstige effluenteisen uit de ESRA, zoals weergegeven in afbeelding 3.1. Vanaf 2045 moet een rioolwaterzuivering met een capaciteit kleiner dan 150.000 i.e. een effluentkwaliteit halen van 10 mg N/l en 0,7 mg P/l. Aanvullend op de eisen voor stikstof en fosfor, moeten rwzi's van 10.000 tot 200.000 i.e. die lozen op gevoelig oppervlaktewater vanaf 2040 een verwijderingsrendement van 80 % behalen op organische microverontreinigingen (OMV's) zoals medicijnresten en microplastics.

Afbeelding 3.1 Tijdlijn veranderende effluenteisen voor rwzi effluent [4]



Emissie-immissietoets

Het gezuiverde effluent van rwzi Baarle-Nassau wordt via de Bremer afgevoerd naar de Boven Mark. De effluenteis om geen klasse-achteruitgang te krijgen is gebaseerd op de E/I-toets. De effluentkwaliteit moet voldoen aan 6,1 mg N/l in de zomer en 0,28 mg P/l jaarrond. De concentratie stikstof in het effluent moet jaarrond onder de 10 mg/l zitten, zoals benoemd in de ESRA.

KRW-doel Boven Mark

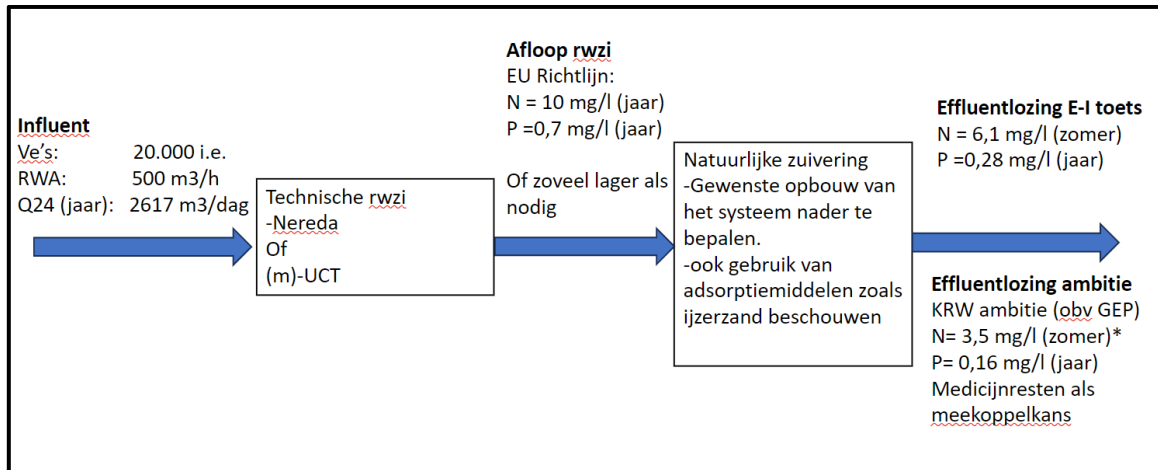
De Boven Mark is een KRW-waterlichaam en het waterschap heeft de ambitie een zo goed mogelijke effluentkwaliteit te leveren aan de omgeving. Deze ambities zijn vastgesteld op 3,5 mg N/l in de zomer en 0,16 mg P/l jaarrond op basis van de GEP-waardes voor de Boven Mark.

Samen met de eisen uit de ESRA en E/I-toets resulteert dit in de effluentkwaliteit zoals weergegeven in tabel 3.2. De uitgangspunten staan tevens samengevat in afbeelding 3.2. Voor het globaal ontwerp van de varianten is gedimensioneerd op de eis, niet de ambitie.

Tabel 3.2 Effluenteisen en -ambities voor de afloop van de ecologische nazuivering van rwzi Baarle-Nassau. De eisen en ambities betreffen jaargemiddelden, tenzij anders aangegeven (enkel stikstof)

| Parameter | Eenheid | Eis | Ambitie |
|------------------------------|---------|-------------------|-------------|
| stikstof | mg N/l | 10 6,1 (zomer) | 3,5 (zomer) |
| fosfor | mg P/l | 0,28 | 0,16 |
| verwijderingsrendement OMV's | % | n.v.t. | 80 |

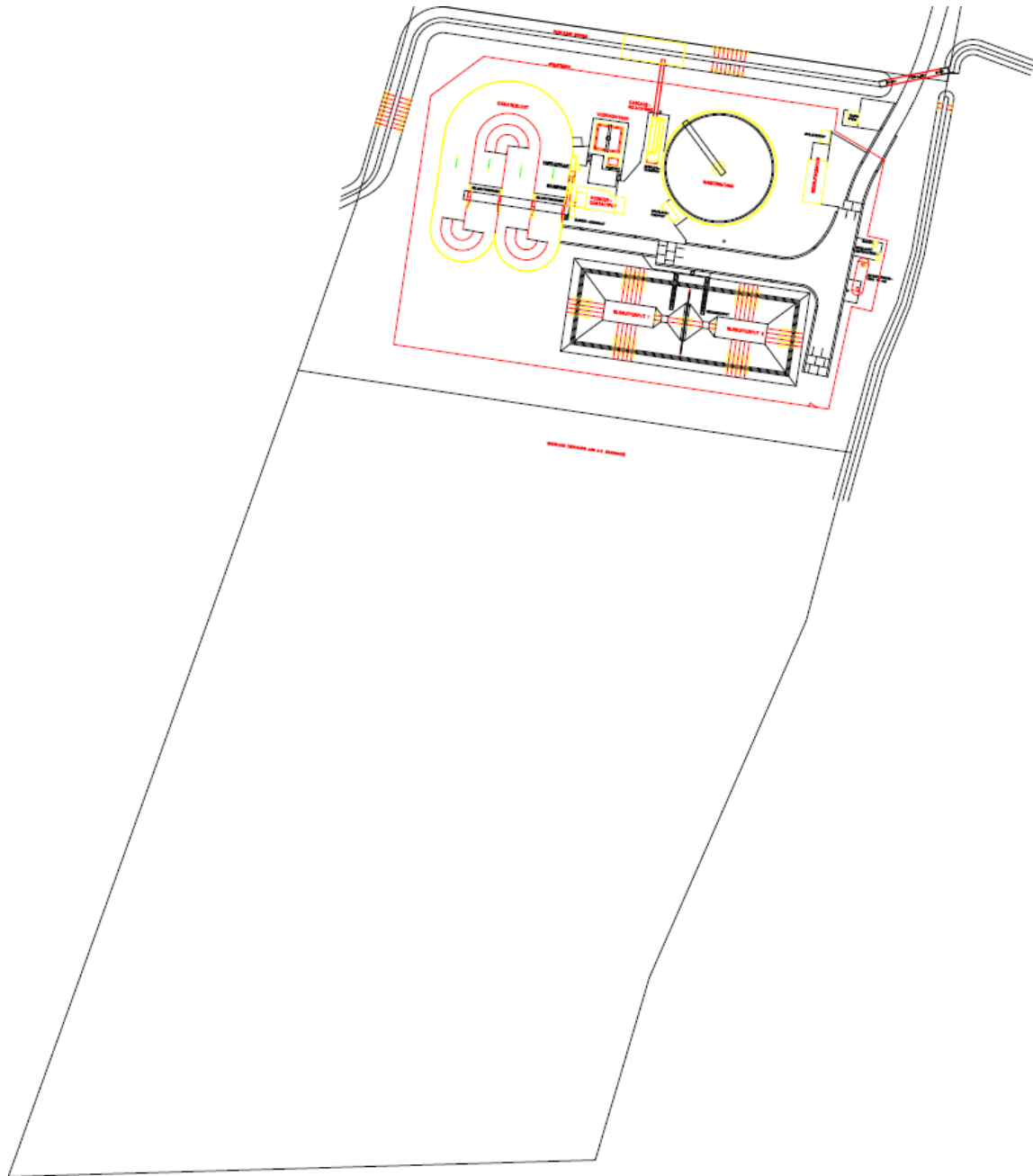
Afbeelding 3.2 Uitgangspunten waterkwaliteit



3.3 Beschikbaar terrein

In verband met het vigerende bestemmingsplan, vergunningen en vastgoed, is het van belang dat bij de uitwerking en inpassing van het ontwerp ook rekening gehouden wordt met de maatvoering en regelgeving. Het beschikbare perceel is iets meer dan 32.500 m² groot, waarvan de huidige rwzi circa 9.100 m² in beslag neemt. De huidige rwzi ligt op het meest noordelijke deel van het rechthoekige perceel (afbeelding 3.3). Het bestemmingsplan merkt enkel het bovenste deel (~70 %) van het terrein aan als bouwvlak. Het overige (onderste) deel kan dus binnen de huidige vergunningen niet gebruikt worden voor de technische hoofdzuivering, maar het kan naar verwachting wel benut worden voor de ecologische nazuivering. Daardoor kan toch het gehele perceel gebruikt worden voor de zuivering. Daarnaast mag het bestemmingsvlak voor maximaal 15 % worden bebouwd met een maximale bouwhoogte van 5 m voor bouwwerken geen gebouw zijnde. Ook dient de afstand van een gebouw tot de zijdelingse en achterste bestemmingsgrens minimaal 5 m te bedragen.

Afbeelding 3.3 Perceel van rwzi Baarle-Nassau



3.4 Ontwerputgangspunten technologische hoofdzuivering

De ontwerputgangspunten van de technologische hoofdzuivering zijn afgestemd in overleg met WSBD of verzameld uit projectreferenties en literatuur. Enkele belangrijke ontwerpparameters zijn weergegeven in tabel 3.3. Bijlage III geeft een overzicht van alle ontwerpparameters.

Tabel 3.3 Ontwerpparameters van de technologische hoofdzuivering

| Parameter | Eenheid | Waarde | Toelichting |
|--------------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------------------|
| voorbehandeling | | | |
| dimensioneringsgrondslag | x RWA | 1,1 | RWA + 10 % veiligheidsmarge |
| porie-/spleetgrootte grofvuilrooster | mm | 6 | Leverancierseis RHDHV |
| roostergoedproductie | ton/y | 11 | jaarrapport Baarle-Nassau |
| Nereda | | | |
| maximale verversingsgraad reactor | % reactorvolume | 65 | hydraulisch maatgevend bij RWA |
| maximale slibgehalte reactor | kg/m ³ | 8 | biologisch maatgevend bij DWA |
| maximale opstroomsnelheid reactor | m/h | 5 | voorkoming uitspoeling slib |
| batchduur | h | 6 (DWA) / 2,2 (RWA) | |
| mUCT | | | |
| waterdiepte actiefslibtank | m | 5,0 | |
| slibgehalte | g/l | 4,5 | |
| opvoerhoogte recirculatie | m | 2,5 | |
| opvoerhoogte retourslib | m | 3 | |
| doekenfilter | | | |
| dimensioneringsgrondslag | x DWA | 1,7 | behandeling 90 % van totaal |
| sliblijn | | | |
| minimale verblijftijd slibbuffer | d | 3,75 | 3 dg (lang weekend)+ 25 % marge |
| drogestofgehalte ingedikt slib | % | 3 | o.b.v. rwzi Terwolde en Utrecht |
| constructies | | | |
| maximale bouwhoogte | m | 5,0 | |

Het biologisch benodigde reactorvolume van de Nereda is gedimensioneerd met behulp van het HSA-model. Dit model is niet specifiek ontwikkeld voor aerob korrelslib en geeft hiermee slechts een indicatie van het benodigde reactorvolume. Een Nereda is daarnaast ook hydraulisch gedimensioneerd op basis van het maximale opstroomvolume ter voorkoming van uitspoeling slib.

3.5 Uitgangspunten ecologische nazuivering

Het is belangrijk om reeds in deze fase van het proces een idee te hebben van wat er (on)mogelijk is met een ecologische nazuivering. Het beschikbare perceel is iets meer dan 32.500 m² groot, waarvan de huidige RWZI circa 9.100 m² in beslag neemt. Ervan uitgaande dat de nieuwe technische zuivering een gelijkaardig grondbeslag zal hebben, blijft er dus een 23.500 m² over voor de ecologische nazuivering. Een niet onaanzienlijk deel van deze oppervlakte is nodig voor bermen tussen de verschillende cellen, toegangswegen voor onderhoud en maaien, enz. Uitgaande van een **verhouding bruto/netto-oppervlakte** van 1,2 – 1,5, betekent dat dat er 15.700 - 19.600 m² beschikbaar is voor de helofytenfilters zelf (beplante oppervlakte).

Bij klassieke helofytenfilters is een hydraulische verblijftijd van minstens 1-2 dagen nodig om een minimale verwijdering te krijgen, maar in veel gevallen, en zeker bij nazuivering, is de hydraulische verblijftijd (HRT) veel groter dan dat.

Uitgaande van die minimum verblijftijd, van het opgegeven DWA debiet (2.617 m³/dag) en rekening houdende met typische dieptes en porositeiten, betekent dit:

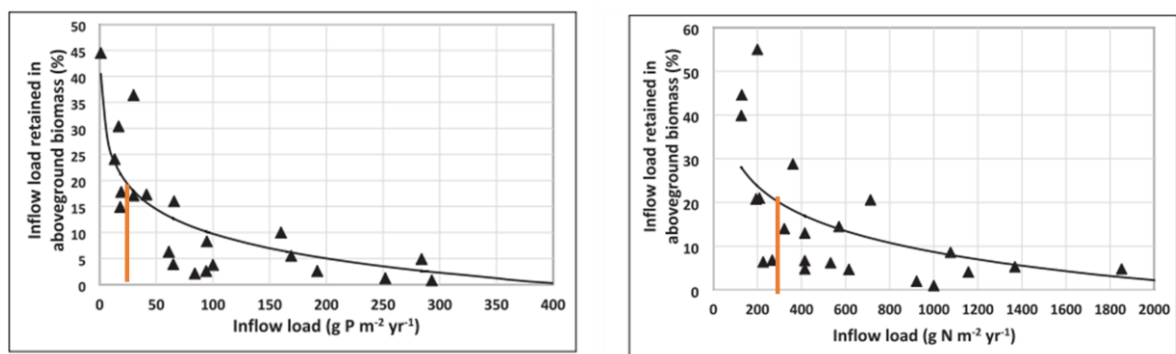
- FWS CW @ 90 % porositeit en 60 cm diepte → ± 4.850 m² - 9.700 m²;
- HSSF CW @ 40 % porositeit en 60 cm diepte → ± 11.000 m² - 22.000 m²;
- ACW @ 40 % porositeit en 100 cm diepte → ± 6.500 m² - 13.000 m².

Dit toont aan dat op het beschikbare perceel een minimale HRT haalbaar is (bij DWA!) maar ook niet zoveel meer dan dat.

Zoals hoger beschreven is voor meerdere varianten verstopping een belangrijk aandachtspunt. Om dit probleem te vermijden wordt er een maximale belasting aan zwevende deeltjes (TSS of OB) gehanteerd: max. 10 g TSS/(m².d) maar liefst < 5 g TSS/(m².d). Uitgaande van 10 mg/L TSS in het effluent van de technische zuivering, betekent dit – bij DWA – een minimaal benodigde oppervlakte van 2.620 m² (< 10) of 5.230 m² (< 5). Dus dit is perfect mogelijk op de beschikbare oppervlakte.

Onderstaande figuren komen uit een review paper over de rol van planten in HSSF CW [5]. Het toont het % N en P dat opgenomen wordt in de bovengrondse plantenbiomassa (en dus via maaien definitief verwijderd kan worden) versus de influent belasting aan N en P. Uitgaande van de cijfers in de opdracht (Q_{DWA} = 2.617 m³/d en effluent technische zuivering ordegrrootte 7 mg N/L en 0,7 mg P/L), en uitgaande van de maximaal beschikbare oppervlakte van 23.500 m² voor de wetland, geeft dit een N-belasting van 285 kgN/m²/jaar en een P-belasting van 28,5 kgP/m²/jaar. Uit de grafiek valt af te leiden dat max. 20 % van N en P verwijderd wordt via opname in de planten. Voor P zijn er weinig andere verwijderingsprocessen, dus 20 % is de ordegrrootte van te verwachten P-verwijdering. Voor N zijn er wel nog andere processen (met name nitrificatie-denitrificatie) dus daar valt potentieel wel meer dan 20 % verwijdering te verwachten.

Afbeelding 3.4 Opgenomen fosfor en stikstof in bovengrondse biomassa in een HSSF CW stikstof [5]



Onderstaande tabellen (afbeelding 3.5) komen uit een review paper van [Land et al \(2016\)](#) over nutriëntenverwijdering in constructed wetlands [6]. 80 % van de besproken CW zijn van het FWS type, waaronder ook Nederlandse Waterharmonica's. Op basis van de eerste lijn in elke tabel (Quality category 2+3) bekomt men een gemiddelde N-verwijdering van 181 gN/m²/jaar en 39 %, en een gemiddelde P-verwijdering van 13 g/m²/jaar en 41 %.

Wat betekent dit nu?

- hoeveel N komt er binnen bij DWA? 7 g N/m³ x 2.617 m³/dag x 365 dagen/jaar = 6.686 kg N/jaar;
- 181 gN/m²/jaar x 23.500 m² potentieel beschikbare oppervlakte = 4.254 kg N/jaar verwijderd, met andere woorden 64 % wordt (mathematisch) verwijderd;
- houden we even geen rekening met neerslag en evapotranspiratie (met andere woorden Q_{in} = Q_{out}), dan betekent dit dat de N-concentratie daalt van 7 mg/L naar 2,5 mg/L. Dit is een gemiddelde over een jaar, tijdens de zomer wellicht hogere en tijdens de winter wellicht lagere verwijdering;
- voor P analoog: er komt 667 kg P/jaar binnen, er kan 306 kg/jaar verwijderd worden, dus 46 % (of van 0,7 naar 0,38 mgP/L).

Dergelijke berekening is zeer indicatief:

- noteer de zeer hoge standaardafwijkingen en dus onzekerheid op de getallen in de tabel!
- verwijderingsefficiënties hangen sterk af van de belading, maar daar wordt bij bovenstaande berekening geen rekening mee gehouden. Hypothetisch bijvoorbeeld zou bij een CW met oppervlakte 37.000 m² de N-belasting gelijk zijn aan $(7 \text{ g N/m}^3 \times 2.617 \text{ m}^3/\text{dag} \times 365 \text{ d/j}) / 37.000 \text{ m}^2 = 181 \text{ g N/m}^2/\text{jaar}$ waardoor er volgens bovenstaande berekening 100 % N-verwijdering zou zijn. Dit is uiteraard niet realistisch.

Afbeelding 3.5 N en P verwijdering in constructed wetlands [6]

Table 11 Summary statistics for TN

| Quality category | n ^a | TN loading rate (g m ⁻² year ⁻¹) | | TN removal rate (g m ⁻² year ⁻¹) | | TN removal Efficiency (%) | |
|------------------|----------------|---|-----|---|------|---------------------------|------|
| | | Av. ± 1SE (range) | Med | Av. ± 1SE (range) | Med. | Av. ± 1SE (range) | Med. |
| 2 and 3 | 112 | 505 ± 579 (2.12–2486) | 255 | 181 ± 251 (–0.3–1270) | 93 | 39 ± 21 (–12.8–93) | 38 |
| 2 | 88 | 578 ± 608 (2.12–2486) | 378 | 207 ± 269 (–0.3–1270) | 120 | 39 ± 23 (–12.8–93) | 38 |
| 3 | 24 | 237 ± 353 (12.3–1424) | 113 | 85 ± 128 (1.7–584) | 43 | 39 ± 16 (14.8–87) | 36 |

n number of wetlands, Av. arithmetic mean, SE standard error, Med median

^a Some articles have reported results for more than one wetland

Table 12 Summary statistics for TP

| Quality category | n ^a | TP loading rate (g m ⁻² year ⁻¹) | | TP removal rate (g m ⁻² year ⁻¹) | | TP removal efficiency (%) | |
|------------------|----------------|---|--------|---|--------|---------------------------|--------|
| | | Av. ± 1SE (range) | Median | Av. ± 1SE (range) | Median | Av. ± 1SE (range) | Median |
| 2 and 3 | 146 | 36 ± 73 (0.03–373) | 3.2 | 13 ± 38 (–16.8–240) | 1.2 | 41 ± 52 (–422–99) | 50 |
| 2 | 85 | 54 ± 83 (0.08–373) | 14 | 19 ± 46 (–16.8–240) | 2.9 | 39 ± 60 (–422–98) | 51 |
| 3 | 61 | 10 ± 43 (0.03–307) | 1.4 | 4 ± 18 (–7.3–133) | 0.63 | 44 ± 38 (–104–99) | 49 |

n number of wetlands, Av. arithmetic mean, SE standard error, Med median

^a Some articles have reported results for more than one wetland

4

GLBAAAL ONTWERP VORKEURSARIANTEN

In dit hoofdstuk staat het globale ontwerp van de vier voorkeursvarianten op schetsontwerpniveau gepresenteerd. Dit bestaat uit de dimensionering en haalbare effluentkwaliteit (hoofdstuk 4.1), vlekkenplan (hoofdstuk 4.2), het energie- en hulpstoffenverbruik (hoofdstuk 4.3) en de geproduceerde reststromen (hoofdstuk 4.4) voor de vier varianten.

4.1 Dimensionering technische hoofdzuivering

Hier wordt beknopt een overzicht gegeven van de belangrijkste resultaten van de dimensionering van de nieuwbouw van rwzi Baarle-Nassau.

4.1.1 Dimensionering technische hoofdzuivering

De technische hoofdzuivering dient ten alle tijden water te zuiveren tot een kwaliteit die volstaat voor de nazuivering. Daarom is een van de uitgangspunten voor het ontwerp van rwzi Baarle-Nassau om een bypass naar de ecologische nazuivering te voorkomen. Tabel 4.1 geeft de dimensionering weer van de technische hoofdzuivering.

Tabel 4.1 Dimensionering van de procesonderdelen. Alle parameters zijn weergegeven per installatie. Indien meerdere installaties nodig zijn, staat dat vermeld achter de waarde (bijvoorbeeld met "x 2")

| Onderdeel | Parameter | Eenheid | Nereda + FICW | Nereda + DF + FWS | mUCT + FICW | mUCT + DF + FWS |
|-------------------|-------------------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------|-----------------|
| influentgemaal | hydraulische capaciteit | m ³ /h | 550 | 550 | 550 | 550 |
| perforatierooster | hydraulische capaciteit | m ³ /h | 550 x 2 | 550 x 2 | 550 | 550 |
| zandvang | hydraulische capaciteit | m ³ /h | 550 | 550 | 550 | 550 |
| zandwasser | hydraulische capaciteit | m ³ /h | 28 | 28 | 28 | 28 |
| influentbuffer | watervolume | m ³ | 970 | 970 | - | - |
| nereda | watervolume | m ³ | 1.860 x 2 | 1.860 x 2 | - | - |
| effluentbuffer | watervolume | m ³ | 270 | 270 | - | - |
| anaerobe tank | watervolume | m ³ | - | - | 490 | 490 |
| anoxische zone | watervolume | m ³ | - | - | 630 | 630 |
| aerobe zone | watervolume | m ³ | - | - | 2.430 | 2.430 |
| nabezinking | diameter | m | - | - | 30 | 30 |
| flocculatietank | hydraulische capaciteit | m ³ /h | - | 300 | - | 300 |
| doekenfilter | doekoppervlak | m ² | - | 50 | - | 50 |

| Onderdeel | Parameter | Eenheid | Nereda + FICW | Nereda + DF + FWS | mUCT + FICW | mUCT + DF + FWS |
|--------------------------|-------------|----------------|---------------|-------------------|-------------|-----------------|
| gemengd korrelslibbuffer | watervolume | m ³ | 45 | 45 | - | - |
| gravitaire indikker | watervolume | m ³ | 110 | 110 | 95 | 95 |
| afgedekte slibbuffer | watervolume | m ³ | 130 | 130 | 120 | 120 |

Om ook de grootste pieken op te vangen is gedimensioneerd op 110 % van het RWA-debiet. Omdat dus al overgedimensioneerd is, is besloten om geen rekening te houden met de extra capaciteit die benodigd is voor de retourstromen vanaf de slibindikker en het doekenfilter. Deze retourstromen vallen met 17 m³/h (varianten 1 en 2) of 2 m³/h (varianten 3 en 4) vanaf de slibindikker en 9 m³/h vanaf het doekenfilter binnen deze overcapaciteit.

De verschillen tussen de varianten zitten niet zo zeer in de dimensionering van elke individuele processtap, maar voornamelijk in aan- of afwezigheid van de processtap. De verschillen die wel uit de dimensionering voortkomen zijn te vinden in het grofvuilrooster en de sliblijn: varianten 1 en 2 vereisen dubbele redundantie van het grofvuilrooster ter bescherming van de interne onderdelen van de Nereda en de sliblijn van deze varianten dient iets groter te zijn door de grotere slibproductie van de Nereda.

Overwegingen Nereda-dimensionering

Een Nereda-reactor wordt biologisch en hydraulisch gedimensioneerd, waarbij het grootste reactorvolume maatgevend is. De dimensionering wordt gelimiteerd door de maximale opstroomsnelheid van 5 m per uur en de minimale bouwhoogte van 6 m.

Zonder voorbezinktank is de biologische dimensionering maatgevend. Het is zonder voorbezinktank echter niet mogelijk om voldoende biologische capaciteit te behouden, omdat dan hydraulische beperkingen ontstaan door een te lage opstroomsnelheid bij DWA. Indien één van de reactoren uit bedrijf is, kan de andere reactor RWA wel nog behandelen, maar de effluentkwaliteit is lager. Het is niet mogelijk om accuraat te bepalen welke kwaliteit dan wel gehaald wordt, maar de verwachting is dat de kwaliteit voldoende blijft voor de ecologische nazuivering, mits de duur van de werkzaamheden beperkt blijft. Met voorbezinktank is het wel mogelijk om altijd voldoende biologische capaciteit te houden, maar dan is wel een derde reactor nodig. Deze reactoren zijn wel kleiner (1.270 m³) dan de twee (1.860 m³) die nodig zouden zijn zonder voorbezinktank.

Het is aan WSBD om te beslissen of het acceptabel is dat de waterkwaliteit slechter is tijdens onderhoud, wat naar verwachting elke tien jaar ongeveer een week in de winter zal zijn, maar ook ongepland kan voorkomen indien de beluchting kapotgaat. Voor nu is, in overeenstemming met WSBD, in de berekeningen uitgegaan van de optie zonder voorbezinktank (hydraulisch maatgevend).

Waterkwaliteit na technische hoofdzuivering

Tabel 4.2 geeft de verwachte waterkwaliteit van het effluent van de technische hoofdzuivering en daarmee het influent van de ecologische nazuivering.

Tabel 4.2 Verwachte waterkwaliteit na afloop van de technische hoofdzuivering. Indien niet nader aangegeven zijn jaargemiddelden genoemd. IJzerdosering vindt plaats op de influentbuffer en Neredatank in variant 1 (Nereda + FICW). In de varianten met doekenfilter wordt ijzer gedoseerd op het filter. In variant 3 (mUCT + FICW) is geen ijzerdosering benodigd

| Parameter | Eenheid | Nereda + FICW | Nereda + DF + FWS | mUCT + FICW | mUCT + DF + FWS |
|------------------------|---------|---|---|-------------------------|--|
| Na Nereda/mUCT | | | | | |
| N _{tot} | mg N/l | jaar: < 6 zomer: < 5 | jaar: < 6 zomer: < 5 | jaar: < 6 zomer: < 5 | jaar: < 6 zomer: < 5 |
| P _{tot} | mg P/l | met FeCl ₃ : 0,7 zonder FeCl ₃ : 1,1 | 1,1 | 0,6 | 0,6 |
| ZS | mg/l | 13 | 13 | 7,5 | 7,5 |
| Na doekenfilter | | | | | |
| N _{tot} | mg N/l | jaar: < 6 zomer: < 5 | jaar: < 5,5 zomer: < 4,5 | jaar: < 6 zomer: < 5 | jaar: < 5,8 zomer: < 4,8 |
| P _{tot} | mg P/l | met FeCl ₃ : 0,7 zonder FeCl ₃ : 1,1 | met FeCl ₃ : 0,3 zonder FeCl ₃ : 0,8 | 0,6 | met FeCl ₃ : 0,3 zonder FeCl ₃ : 0,45 |
| ZS | mg/l | 13 | 3 | 7,5 | 3 |

Het effluent van de technische hoofdzuivering voldoet in alle varianten ruim aan de stikstofeisen (10 mg N/l jaarrond en 6,1 mg N/l in de zomer), maar ligt nog ver boven de ambitiewaarde van 3,5 mg N/l in de zomer. Voor fosfor geldt dat de eis van 0,28 mg P/l niet gehaald wordt door enkel de technische hoofdzuivering. Voor de berekeningen aan de biologie is het HSA-model gebruikt. Dit model is echter niet ontworpen op zuiveringen met zeer lage N. Op basis van het HSA-model is tot 7,5 mg N/l haalbaar in het effluent van de biologie zonder te hoge recirculatiefactor (> 10). Echter zien we in de praktijk dat lagere N wel haalbaar is [7]. Zo is onder andere denitrificatie in de nabezinking niet opgenomen in het HSA-model, terwijl dit tussen de 1 mg N/l in de winter en ruim 2 mg N/l in de zomer bedraagt [8]. Daarom is de verwachting dat het effluent van de Nereda dan wel mUCT jaargemiddeld minder dan 6 mg N/l en minder dan 5 mg N/l in de zomer bevat. Dit is naar verwachting ongeveer gelijk voor Nereda en mUCT.

De biologische fosfaatverwijdering verloopt meestal beter in een mUCT dan in een Nereda. Daardoor behaalt variant 3 zelfs zonder ijzerchloridedosering een lagere fosforconcentratie dan variant 1. Ook bestaat bij een Nereda een grotere kans op uitspoeling van zwevende stoffen door de piekstromen die ontstaan bij een batchproces.

Het doekenfilter van varianten 2 en 4 verwijdert de meerderheid van de zwevende stof. Aan deze zwevende stof zitten ook stikstof en fosfaat gebonden. Doordat het effluent van een Nereda meer zwevende stof bevat, is ook het effect van het doekenfilter groter indien het na een Nereda geschakeld is. Naar verwachting doet het doekenfilter de stikstofconcentratie afnemen met ca. 0,6 mg N/l na een Nereda en 0,25 mg N/l na een mUCT. De fosforconcentratie in het effluent neemt in beide varianten af tot 0,3 mg P/l.

Optie: doekenfilter zonder ijzerchloridedosering

Defosfaterende doekenfilters verwijderen fosfor op twee verschillende manieren:

- gedoseerd metaalzout bindt aan opgelost fosfaat en vormt vlokken die in de doeken achterblijven;
- reeds aanwezige zwevende stof met daaraan gebonden fosfor wordt afgevangen.

Dit betekent dat een doekenfilter zelfs zonder dosering kan worden uitgevoerd. Dit zou de effluentconcentratie na een Nereda reduceren met 0,3 mg P/l, van 1,1 mg P/l tot 0,8 mg P/l indien geen metaalzout is gedoseerd in de Nereda. Na een mUCT zou dit een afname van 0,15 mg P/l betekenen, van 0,6 mg P/l naar 0,45 mg P/l. Het is niet doorgerekend welk effect dit zou hebben op de ecologische nazuivering.

4.1.2 Ecologische nazuivering variant 1 - Fully intensified constructed wetland

Tabel 4.3 geeft influent gegevens voor de ecologische nazuivering (= effluent technische zuivering) van variant 1 weer. Voor stikstof wordt voldaan aan de effluentkwaliteit volgens de E/I-toets van 6,1 mg/l in de zomer, maar nog niet aan het ambitieniveau van 3,5 mg/l in de zomer. Hiervoor is gemiddeld nog 30 % extra verwijdering van stikstof nodig. Fosfaat voldoet nog niet aan de effluentkwaliteit volgens de E/I-toets van 0,28 mg/l noch aan het ambitieniveau van 0,16 mg/l. Er is respectievelijk 60 % en 77 % extra fosfaatverwijdering nodig. De concentratie onopgeloste bestanddelen varieert tussen 13-20 mg/l.

Tabel 4.3 Jaargemiddelde effluentkwaliteit afloop technische hoofdzuivering en influent ecologische nazuivering in variant 1. De waarden voor RWA zijn een schatting op basis van expert judgement van Witteveen+Bos

| Parameter | Eenheid | Gemiddeld | RWA |
|--------------------------|-------------------|--------------|--------|
| debiet | m ³ /d | 2.614 | 12.000 |
| onopgeloste bestanddelen | mg/l | 13 | 30 |
| stikstof | mg/l | 6 (zomer: 5) | 10 |
| fosfaat | mg/l | 0,7 | 1,5 |
| BZV | mg/l | 3 | 10 |
| opgelost zuurstof | mg/l | 3 | 5 |

Vertical flow belucht rietveld

De berekeningen zijn vooral gebaseerd op eigen ervaringen van Universiteit Gent (belucht rietveld op onze campus in Kortrijk, DOW/Evides project in Terneuzen, camping 't Hof Bellewaerde). Netto (beplant) oppervlak is begroot op 4.500 m². Daarnaast is ruimte nodig voor de bermen, toegangswegen rondom voor maaien en onderhoud, enz., waardoor de bruto oppervlakte begroot wordt op 5.985 m² (factor 1,33). Een waterlaag van 1 m is standaard bij ACW en zorgt voor een goede zuurstofoverdracht. Daarbovenop komt nog 10 cm onverzadigd filtermateriaal, dus de totale diepte wordt 1,1 m. Dit levert bij DWA een HRT van ongeveer 0,65 dagen, wat ruim voldoende is.

Bij RWA treden er een aantal problemen op: het debiet wordt nogal groot om door het poreus materiaal te krijgen (dit moet nog berekend worden in het uiteindelijke ontwerp, want hangt af van afmetingen cellen en inpassing op het terrein), de verblijftijd wordt nogal kort, maar belangrijker is dat de *solids loading rate* (OB) te groot wordt, met reëel risico op verstopping. Het RWA debiet wordt daarom afgetopt op 5.850 m³/dag ('Qmax') door de ACW, de rest wordt gebypast en gaat rechtstreeks naar stap 2 (FWS). Op basis van historische gegevens zou hiermee toch > 90 % van de debieten door het ACW kunnen worden behandeld. Als het probleem inderdaad de OB zijn, en minder het debiet, is er eventueel nog de optie om de flow naar het ACW te sturen/optimaliseren op basis van een turbiditeitssensor.

Ervan uitgaande dat 30 % van de stikstof in het effluent van de technische zuivering nog uit Kjeldahl stikstof bestaat, en rekening houdende met de nog aanwezige BOD en DO, zou er maximum 2.278 Nm³ lucht/dag nodig zijn bij DWA, en 9.426 Nm³ lucht/dag bij Qmax voor volledige oxidatie/nitrificatie. Dit vertaalt zich naar grootteorde 38 kWh/dag bij DWA, en 156 kWh/dag bij Qmax energievraag voor de blowers. Wellicht kan het systeem gravitair gevoed worden vanuit de technische zuivering, waardoor er geen verdere energievraag is. Uitgaande van 5 planten per m² is een aanplant van 22.500 planten nodig. Als jaarlijks de helft van de oppervlakte gemaaid wordt, komt dit neer op zo'n 4,5 ton droge stof wat vervolgens bijvoorbeeld samen met het reguliere maaisel van het waterschap verwerkt kan worden.

Free water surface constructed wetland

De berekeningen zijn vooral gebaseerd op Kadlec R.H. (2020). Treatment Marshes for Runoff and Polishing. CRC Press [9]. Netto (beplant) oppervlak is begroot op 9.000 m². Daarnaast is ruimte nodig voor de bermen, toegangswegen rondom voor maaien en onderhoud, enz., waardoor de bruto oppervlakte begroot wordt op

13.500 m² (factor 1,5 hier omdat een FWS hellende taluds vergt in tegenstelling tot een ACW waar met rechte taluds gewerkt kan worden waardoor de factor slechts 1,33 is). Voor een efficiënte werking zijn meerdere cellen in serie nodig. Dit wordt in het finale ontwerp verder uitgewerkt, afhankelijk van vorm en topografie van het terrein.

We gaan uit van een gemiddelde waterdiepte van 0,6m, maar zoals hoger beschreven wordt de diepte gevarieerd doorheen het systeem. Voor een goede beworteling van de planten is minstens 30 cm substraat nodig, dus de totale (gemiddelde) diepte van de bekkens wordt 90cm. Hiermee wordt bij DWA de hydraulische verblijftijd 1,86 dagen en de hydraulische belasting 0,29 m/dag, wat respectievelijk aan de lage en hoge kant is, maar het maximaal haalbare op het beschikbare terrein. Bij RWA wordt dit respectievelijk 0,41 dagen 1,33 m/dag, waardoor weinig meer dan fysische processen (bezinking/filtratie van partikels) te verwachten valt. Deze fysische processen zijn desalniettemin zeker nodig om de daaropvolgende P-filter te beschermen tegen verstopping.

Op basis van het gangbare P-k-C* model met mediane of gemiddelde waarden voor de te hanteren parameters is er tijdens het zomerhalfjaar een verwijdering van 21 % N te verwachten tot gemiddeld 3,9 mg/L. Rekening houdende met wat extra denitrificatie in het ACW komen we hiermee toch dicht in de buurt van het ambitieniveau. Vandaar nogmaals het voorstel om nog even af te wachten met koolstofdosering. Dit levert bij DWA een massaverwijdering op van 112 g N/(m².jaar), wat goed aansluit bij literatuurwaarden (± 100 g N/(m².jaar)). Aangezien N-verwijdering temperatuurgevoelig is, is er in het winterhalfjaar slechts 10 % N-verwijdering te verwachten, tot 6,3 mg N/L. Het ambitieniveau van 3,5 mg N/L is enkel voor het zomerhalfjaar, maar mocht dit later nog veranderen, dan kan ook hier nog gedacht worden aan C-dosering. De overblijvende stikstof bestaat voornamelijk uit nitraat door de oxidatie van ammonium in de voorgaande ACW.

Voor een eventuele C-dosering gaan we uit van een CZV/N-verhouding van 4, en een CZV-concentratie van de C-bron van 650 g/L. Hieruit resulteert bij optimale dosering en menging voor het zomerhalfjaar een C-dosering van afgerond 7 liter koolstofbron per dag.

Analoog voorspelt het P-k-C* model een jaargemiddelde 11,3 % P-verwijdering tot 0,6 mgP/L, wat neerkomt op 8,3 gP/(m².jaar). Ook dit sluit goed aan bij literatuurwaarden (± 10 gP/(m².jaar)). Een extra P-verwijderend proces is dus zeker noodzakelijk, zowel om het E-I niveau te halen, als het ambitieniveau.

Wellicht kan het systeem gravitair gevoed worden vanuit de technische zuivering, waardoor er geen verdere energievraag is. Uitgaande van 5 planten per m² is een aanplant van 45.000 planten nodig. Als jaarlijks de helft van de oppervlakte gemaaid wordt, komt dit neer op zo'n 9 ton droge stof. Samen met de ACW komt deze variant dus uit op een jaarlijks totaal van 13,5 ton droge stof aan maaisel.

Passieve fosfaatverwijdering via adsorptie

We gaan eerst uit van een ijzerzandfilter, zoals bij de Grote Meer. De berekeningen zijn vooral gebaseerd op rapporten van Arcadis en SWECO. Bij een verblijftijd van 0,3 dagen mag hier 90 % P-verwijdering verwacht worden. Als (bij DWA) 2130 m³ door de ijzerzandfilter gaat, en de resterende 487 m³ gebypasst wordt, wordt na menging een finale effluentconcentratie bereikt van 0,16 mg P/L (ambitieniveau). Bij RWA zou er meer dan 11.000 m³/dag door de ijzerzandfilter moeten, wat in onmogelijke afmetingen zou resulteren. Het maximaal haalbare lijkt zuivering van het DWA debiet.

Uitgaande van een porositeit van 30 %, een verzadigde hydraulische conductiviteit van 40 m/dag, en een hydraulisch verval van 1 m (lijkt het maximaal haalbare volgens de topografie van het terrein, zonder extra verpompen), dan zou op basis van de Wet van Darcy voor stroming in poreuze media maximaal een lengte van 6,3 m mogelijk zijn, wat resulteert in een noodzakelijke breedte van 338 m! Dit is moeilijk haalbaar op het terrein. Mogelijke oplossingen zijn:

- een groter hydraulisch verval, maar dit kan enkel mits pompen;
- een grotere porositeit/hydraulische conductiviteit door het ijzerzand af te zeven en enkel grotere korrels te weerhouden. Dit moet met de leverancier van ijzerzand bekeken worden. Merk wel dat grotere korrels door de band minder adsorptiecapaciteit hebben;

- een grotere porositeit/hydraulische conductiviteit door ander materiaal te gebruiken, zoals bijvoorbeeld tobermoriet, zie verder;
- een doekenfilter, zie kader.

Rekening houdende met de adsorberende eigenschappen van ijzerzand, zou saturatie van de 2132 m³ ijzerzand bereikt worden na een 4-tal jaar. Uit een recente paper blijkt dat nog optimalisatie mogelijk is, door regelmatig perioden van droogstand te voorzien. Hierdoor krijgt fosfaat de kans om vanaf het oppervlak van het ijzerzand te migreren naar de interne poriën, waardoor er weer adsorptieplaatsen beschikbaar komen. Dit valt te realiseren door met twee parallelle filters te werken. Hierdoor is een vervanging van het materiaal wellicht nog met 1 à 2 jaar uit te stellen. Metingen uit de Groote Meer tonen aan dat het ijzerzand pH-verhogend verwerkt, en ook Ca uitlooft. Bij hoge pH kan ammonium in de beek toxisch worden. Dit dient nader bekeken te worden in functie van de ontvangende waterloop.

De hier behaalde effluentconcentratie ligt lager dan de behaalde concentratie van de varianten zonder P-filter. Om een gelijkwaardige vergelijking te maken tussen de varianten is op verzoek van WSB D besloten om het P-filter kleiner te dimensioneren en de bypass te vergroten. Door dit te doen worden de effluentconcentraties van de varianten gelijkgesteld op 0,25 mg P/l. Dit resulteert in een te zuiveren debiet van 1.700 m³/d bij DWA, een breedte van 269 m en een totaal aan 1696 m³ ijzerzand dat nog steeds elke vier jaar vervangen moet worden.

Een eventueel alternatief is een tobermorietfilter. Cijfers zijn gebaseerd op eigen ervaring en een artikel van Renman & Renman (2012), Sustainable use of crushed autoclaved aerated concrete (CAAC) as a filter medium in wastewater purification, WASCON conference proceedings [10]:

- het alternatief tobermoriet (gehydrateerd calciumsilicaat) heeft een hogere porositeit en hydraulische conductiviteit, maar een iets lagere efficiëntie. Als het volledige DWA debiet door de tobermorietfilter zou gaan, is een P-verwijdering van 73 % nodig om tot het ambitieniveau van 0,16 mgP/L te komen, wat zeker haalbaar moet zijn;
- tobermoriet is net als ijzerzand een reststroom, in dit geval van de bouwsector, waar het ook wel crushed autoclaved concrete wordt genoemd en wordt gebruikt als in de vorm van ytongblokken. Er zijn wel nog geen ervaringen mee op de schaal van RWZI Baarle-Nassau. Net als ijzerzand heeft het een pH verhogend effect en looft het Ca uit;
- uitgaande van een porositeit van 50 % en een hydraulische conductiviteit van 1.250 m/dag, volstaat een filter van 1 m diep, 35 m lang, en 75 m breed, of 58 m breed indien wordt gezuiverd tot 0,25 mg P/l;
- literatuur en eigen ervaring geeft een P-adsorptiecapaciteit van 30-40 g P/kg tobermoriet, echter bij veel hogere influent P concentraties. Gaan we conservatief uit van 5 g P/kg tobermoriet ($\approx 1.500 \text{ g P/m}^3$ tobermoriet) bij lagere P-concentraties, dan zou vervanging van het tobermoriet pas nodig zijn na 9 jaar, dus dit lijkt toch een heel valabele piste. De daadwerkelijke prestatie van het filter zou ik een pilot nader bepaald kunnen worden;
- merk op dat de tobermorietfilter net iets groter uitvalt dan de ijzerzandfilter, maar er is dus meer flexibiliteit qua afmetingen, en het materiaal zou minder vaak vervangen dienen te worden. Ook is de kans op verstopping van het P-filter lager door het grovere materiaal.

Tabel 4.4 Bruto oppervlakte per onderdeel ecologische nazuivering

| Onderdeel | Bruto oppervlak tot 0,16 mg P/l | | Bruto oppervlak tot 0,25 mg P/l | | |
|-----------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| ACW | 5.990 m ² | | 5.990 m ² | | |
| FWS | 13.500 m ² | | 13.500 m ² | | |
| ijzerzandfilter | tobermorietfilter | 2.560 m ² | 3.137 m ² | 1.700 m ² | 2.035 m ² |
| totaal | | 22.050 m² | 22.620 m² | 21.190 m² | 21.525 m² |
| | | (ijzerzand) | (tobermoriet) | (ijzerzand) | (tobermoriet) |

Optie: Nereda - DF - FICW

Deze variant vereist geen doekenfilter om de ambities voor fosfor te behalen, maar een doekenfilter kan desalniettemin bijdragen. Door zwevende stof af te vangen neemt de kans op verstopping van de ACW sterk af. Bijkomend voordeel is dat tevens een kleine hoeveelheid stikstof (ca. 0,5 mg N/l) wordt afgevangen, waardoor de zomerambitie al met 1 liter C-dosering per dag wordt bereikt. De grootste impact is echter op het P-filter: Door de extra verwijdering van fosfaat in het doekenfilter vraagt het P-filter in deze optie maar ongeveer de helft van het oppervlak. Uitgaande van 0,3 mg P/l in het effluent van de technische hoofdzuivering, 11 % P-verwijdering in het FWS en een P-verwijderingsrendement van 90 % in het P-filter, is de nodige oppervlakte maar 1.185 m² bij zuivering tot 0,16 mg P/l of 215 m² bij zuivering tot 0,25 mg P/l. De vervangingstijd van de 1.185 of 215 m³ ijzerzand komt hiermee ook op 9 jaar te liggen. Voor tobermoriet met een verwijderingsrendement van 75 % zou 1.422 of 260 m² volstaan met een vervangingstijd van ca. 37 jaar. Hierbij is uitgegaan van ijzerchloridedosering op het doekenfilter in plaats van op de Nereda.

4.1.3 Ecologische nazuivering variant 2 - Free water surface

Tabel 4.5 geeft influent gegevens voor de ecologische nazuivering (= effluent technische zuivering) van variant 2 weer. Voor stikstof wordt voldaan aan de effluentkwaliteit volgens de E/I-toets van 6,1 mg/l in de zomer, maar nog niet aan het ambitieniveau van 3,5 mg/l in de zomer. Hiervoor is nog 28,5 % extra verwijdering van stikstof nodig. Fosfaat voldoet nog net niet aan de effluentkwaliteit volgens de E/I-toets van 0,28 mg/l noch aan het ambitieniveau van 0,16 mg/l. Er is respectievelijk 7 % en 47 % extra fosfaatverwijdering nodig.

Als influent van de ecologische nazuivering (= effluent technische zuivering) worden volgende parameters aangenomen:

Tabel 4.5 Jaargemiddelde effluentkwaliteit afloop technische hoofdzuivering en influent ecologische nazuivering in variant 2. De waarden voor RWA zijn een schatting op basis van expert judgement van Witteveen+Bos

| Parameter | Eenheid | Gemiddeld | RWA |
|-----------|-------------------|------------------|--------|
| debiet | m ³ /d | 2.614 | 12.000 |
| stikstof | mg/l | 5,5 (zomer: 4,5) | 10 |
| fosfaat | mg/l | 0,3 | 0,8 |

Merk op dat in tegenstelling tot variant 1 de concentraties aan OB, BOD en DO minder relevant zijn aangezien we hier niet met poreus materiaal noch belichting werken, daarom zijn ze hier weggelaten.

Free water surface constructed wetland

Het netto (beplant) oppervlak is begroot op 14.666 m². Daarnaast is ruimte nodig voor de bermen, toegangswegen rondom voor maaien en onderhoud, enz., waardoor de bruto oppervlakte begroot wordt op 22.000 m² (factor 1,5), wat de maximaal beschikbare oppervlakte is. Voor een efficiënte werking zijn meerdere cellen in serie nodig. Dit wordt in het finale ontwerp verder uitgewerkt, afhankelijk van vorm en topografie van het terrein.

We gaan uit van een gemiddelde waterdiepte van 0,6m, maar zoals hoger beschreven wordt de diepte gevarieerd doorheen het systeem. Voor een goeie beworteling van de planten is minstens 30 cm substraat nodig, dus de totale (gemiddelde) diepte van de bekkens wordt 90cm. Hiermee wordt bij DWA de hydraulische verblijftijd 3 dagen en de hydraulische belasting 0,18 m/dag, wat nog steeds aan de lage en hoge kant is respectievelijk, maar toch wel dicht bij internationale normen. Bij RWA wordt dit respectievelijk 1 dag en 0,82 m/dag, waardoor weinig meer dan fysische processen (bezinking/filtratie van

partikels) te verwachten valt. OB bezinken vooral in de inlaatzone, waardoor van tijd tot tijd slib geruimd zal moeten worden. De frequentie is moeilijk in te schatten, maar zal ordegrrootte enkele jaren zijn (2-5 jaar). Op basis van het gangbare P-k-C* model met mediane of gemiddelde waarden voor de te hanteren parameters is er tijdens het zomerhalfjaar een verwijdering van 18 % N te verwachten tot gemiddeld 3,7 mg/L. Dit levert een massaverwijdering op van 54 gN/(m².jaar), wat redelijk conservatief is ten opzichte van literatuurwaarden (± 100 gN/(m².jaar)), dus wellicht valt nog iets meer te verwachten. Aangezien N-verwijdering temperatuurgevoelig is, is er in het winterhalfjaar slechts 11 % N-verwijdering te verwachten, tot 5,8 mg N/L. Het ambitieniveau van 3,5 mgN/L is enkel voor het zomerhalfjaar, maar mocht dit later nog veranderen, dan kan ook hier nog gedacht worden aan C-dosering. Noteer dat de verwachte N-verwijdering (t.o.v. variant 1) zeer gelijkaardig is (18 % versus 21 %), ondanks de grotere oppervlakte. Dit komt omdat het P-k-C* model uitgaat van een lagere efficiëntie voor TN-verwijdering (incl. een deel Kjeldahl stikstof) ten opzichte van nitraatverwijdering (wat in variant 1 geproduceerd wordt door het ACW).

Voor een eventuele C-dosering gaan we uit van een COD/N verhouding van 4, en een COD-concentratie van de C-bron van 650 g/L. Hieruit resulteert bij optimale dosering en menging voor het zomerhalfjaar een C-dosering van afgerond 3 liter koolstofbron per dag.

Analoog voorspelt het P-k-C* model een jaargemiddelde 17,4 % P-verwijdering, waardoor de effluentconcentratie afneemt van 0,30 tot 0,25 mgP/L, wat neerkomt op 3,4 gP/(m².jaar) verwijdering. Dit is aan de lage kant t.o.v. literatuurwaarden (± 10 gP/(m².jaar)), dus waarschijnlijk is een iets hoger verwijderingspercentage mogelijk. Het E-I niveau wordt hiermee (vrij nipt) gehaald, het ambitieniveau is nog ver buiten bereik.

Wellicht kan het systeem gravitair gevoed worden vanuit de technische zuivering, waardoor er geen verdere energievraag is. Uitgaande van 5 planten per m² is een aanplant van 73.330 planten nodig. Als jaarlijks de helft van de oppervlakte gemaaid wordt, komt dit neer op zo'n 14,7 ton droge stof ten opzichte van 13,5 ton droge stof bij gebruik van een FICW.

Tabel 4.6 Bruto oppervlakte per onderdeel ecologische nazuivering

| Onderdeel | Bruto oppervlak |
|--------------------------|-----------------------|
| FWS met variabele diepte | 22.000 m ² |

4.1.4 Ecologische nazuivering variant 3 - Fully intensified constructed wetland

Tabel 4.7 geeft influent gegevens voor de ecologische nazuivering (= effluent technische zuivering) van variant 3 weer. Voor stikstof wordt voldaan aan de effluentkwaliteit volgens de E/I-toets van 6,1 mg/l in de zomer, maar nog niet aan het ambitieniveau van 3,5 mg/l in de zomer. Hiervoor is nog 30 % extra verwijdering van stikstof nodig. Fosfaat voldoet nog niet aan de effluentkwaliteit volgens de E/I-toets van 0,28 mg/l noch aan het ambitieniveau van 0,16 mg/l. Er is respectievelijk 53 % en 73 % extra fosfaatverwijdering nodig. De concentratie onopgeloste bestanddelen ligt rond de 7,5 mg/l.

Tabel 4.7 Jaargemiddelde effluentkwaliteit afloop technische hoofdzuivering en influent ecologische nazuivering in variant 3. De waarden voor RWA zijn een schatting op basis van expert judgement van Witteveen+Bos

| Parameter | Eenheid | Gemiddeld | RWA |
|--------------------------|-------------------|--------------|--------|
| debiet | m ³ /d | 2.614 | 12.000 |
| onopgeloste bestanddelen | mg/l | 7,5 | 30 |
| stikstof | mg/l | 6 (zomer: 5) | 10 |
| fosfaat | mg/l | 0,6 | 1,5 |

| Parameter | Eenheid | Gemiddeld | RWA |
|-------------------|---------|-----------|-----|
| BZV | mg/l | 3 | 10 |
| opgelost zuurstof | mg/l | 3 | 5 |

De N-berekeningen en daarmee de dimensionering van de ACW en FWS zijn gelijk aan variant 1. Wel is het zwevendestofgehalte lager dan in variant 1, wat de kans op verstopping van het ACW verkleint.

Het P-k-C* model voorspelt een jaargemiddelde 11,2 % P-verwijdering tot 0,5 mgP/L, wat neerkomt op 7,1 gP/(m².jaar). Ook dit sluit redelijk goed aan bij literatuurwaarden (± 10 gP/(m².jaar)). Een extra P-verwijderend proces is dus zeker noodzakelijk, zowel om het E-I niveau te halen, als het ambitieniveau.

Indien tot het ambitieniveau van 0,16 mg P/l wordt gezuiverd, wordt de netto-oppervlakte van een ijzerzandfilter hier 1977 m² met een geschatte vervangtijd van 5 jaar. De netto oppervlakte van een tobermoriemfilter wordt hier niet veel kleiner, omdat zowat het volledige debiet erdoorheen zou moeten (2373 m²) met een geschatte vervangtijd van 12 jaar. Stel dat we voor variant 3 ook 0,25 mg P/L zouden nastreven, dan krijgen we 1454 m² ijzerzand of 1745 m² tobermoriem met een onveranderde vervangingstijd.

Tabel 4.8 Bruto oppervlakte per onderdeel ecologische nazuivering

| Onderdeel | Bruto oppervlak tot 0,16 mg P/l | | Bruto oppervlak tot 0,25 mg P/l | | |
|-----------------|---------------------------------|--|--|--|--|
| ACW | 5.990 m ² | | 5.990 m ² | | |
| FWS | 13.500 m ² | | 13.500 m ² | | |
| ijzerzandfilter | tobermoriemfilter | 1.980 m ² | 2.370 m ² | 1.450 m ² | 1.750 m ² |
| totaal | | 21.470 m² (ijzerzand) | 21.860 m² (tobermoriem) | 20.940 m² (ijzerzand) | 21.240 m² (tobermoriem) |

4.1.5 Ecologische nazuivering variant 4 - Free water surface

Tabel 4.8 geeft influent gegevens voor de ecologische nazuivering (= effluent technische zuivering) van variant 4 weer. Voor stikstof wordt voldaan aan de effluentkwaliteit volgens de E/I-toets van 6,1 mg/l in de zomer, maar nog niet aan het ambitieniveau van 3,5 mg/l in de zomer. Hiervoor is nog 27 % extra verwijdering van stikstof nodig. Fosfaat voldoet nog net niet aan de effluentkwaliteit volgens de E/I-toets van 0,28 mg/l noch aan het ambitieniveau van 0,16 mg/l. Er is respectievelijk 7 % en 47 % extra fosfaatverwijdering nodig.

Als influent van de ecologische nazuivering (= effluent technische zuivering) worden volgende parameters aangenomen:

Tabel 4.9 Jaargemiddelde effluentkwaliteit afloop technische hoofdzuivering en influent ecologische nazuivering in variant 4. De waarden voor RWA zijn een schatting op basis van expert judgement van Witteveen+Bos

| Parameter | Eenheid | Gemiddeld | RWA |
|-----------|-------------------|------------------|--------|
| debiet | m ³ /d | 2.614 | 12.000 |
| stikstof | mg/l | 5,8 (zomer: 4,8) | 10 |
| fosfaat | mg/l | 0,3 | 0,8 |

Vergeleken met variant 2 zit enkel een klein verschil in de stikstofconcentratie. Aangezien wordt uitgegaan van een maximale inname van het beschikbaar oppervlak verandert het oppervlak van de FWS niet. De binnenkomende fosfaatconcentratie blijft gelijk, waardoor ook de fosfaatverwijdering niet verandert.

Op basis van het gangbare P-k-C* model met mediane of gemiddelde waarden voor de te hanteren parameters is er tijdens het zomerhalfjaar een verwijdering van 19 % N te verwachten tot 3,9 mg/L. Dit levert een massaverwijdering op van 59 gN/(m².jaar), wat redelijk conservatief is ten opzichte van literatuurwaarden (± 100 gN/(m².jaar)), dus wellicht valt nog iets meer te verwachten. Aangezien N-verwijdering temperatuurgevoelig is, is er in het winterhalfjaar slechts 11 % N-verwijdering te verwachten, tot 6,1 mg N/L. Het ambitieniveau van 3,5 mgN/L is enkel voor het zomerhalfjaar, maar mocht dit later nog veranderen, dan kan ook hier nog gedacht worden aan C-dosering. Noteer dat de verwachte N-verwijdering (t.o.v. variant 1) zeer gelijkaardig is (19 % versus 21 %), ondanks de grotere oppervlakte. Dit komt omdat het P-k-C* model uitgaat van een lagere efficiëntie voor TN-verwijdering (incl. een deel Kjeldahl stikstof) ten opzichte van nitraatverwijdering (wat in variant 1 geproduceerd wordt door het ACW). Voor een eventuele C-dosering gaan we uit van een COD/N verhouding van 4, en een COD-concentratie van de C-bron van 650 g/L. Hieruit resulteert bij optimale dosering en menging voor het zomerhalfjaar een C-dosering van afgerond 6,5 liter koolstofbron per dag.

4.1.6 Haalbare effluentkwaliteit

Tabel 4.10 geeft de effluentkwaliteit op de afloop van de ecologische nazuivering weer voor de vier varianten. De effluenteis voor stikstof van 6,1 mg/l in de zomer wordt naar verwachting gehaald in alle varianten. De vanuit het KRW-doel afgeleide effluentconcentratie van 3,5 mg/l N_{tot} wordt in geen enkele variant met zekerheid gehaald zonder koolstofbrondosering. Ook voor fosfaat wordt de effluenteis van 0,28 mg/l jaarrond naar verwachting gehaald in beide varianten. De ambitie van 0,16 mg/l wordt gehaald door het FICW van varianten 1 en 3. In de FWS van variant 2 wordt de ambitie voor fosfaat in het effluent niet gehaald. Om de variantenvergelijking op gelijke grond te laten gebeuren, is besloten om in het ontwerp uit te gaan van een verkleinde P-filter voor varianten 1 en 3, waardoor de effluentkwaliteit voor alle vier de varianten om en nabij gelijk is.

Tabel 4.10 Effluentkwaliteit op afloop ecologische nazuivering

| Parameter | Eenheid | Nereda + FICW | Nereda + DF + FWS | mUCT + FICW | mUCT + DF + FWS |
|-----------------------------|---------|---------------|-------------------|--------------|-----------------|
| N _{tot} (jaarrond) | mg N/l | 5,1 | 4,7 | 5,1 | 5,0 |
| N _{tot} (zomer) | mg N/l | 3,9 | 3,7 | 3,9 | 3,9 |
| P _{tot} (jaarrond) | mg P/l | 0,16 of 0,25 | 0,25 | 0,16 of 0,25 | 0,25 |

Voor alle varianten en voor met name de ecologische nazuivering geldt dat verwijderingsrendementen conservatief zijn ingeschat. Daardoor kan de uiteindelijke zuivering mogelijk een hoger rendement behalen dan hierboven weergegeven. Daarnaast draagt de ecologische nazuivering bij aan de verwijdering van OMV's zoals medicijnresten. Aangezien biochar of actief kool kan worden toegevoegd aan de ACW, zal de FICW van varianten 1 en 3 naar verwachting een grote bijdrage leveren.

4.2 Vlekkenplan

Tabel 4.11 geeft de oppervlaktes van de verschillende onderdelen weer per variant. Op basis van deze oppervlaktes zijn vlekkenplannen gemaakt met als doel om te controleren of de variant op het perceel van rwzi Baarle-Nassau past. Het doel is nadrukkelijk niet om al een indeling te maken van het perceel. Dit gebeurt pas in een latere ontwerpfase. Deze vlekkenplannen zijn bijgevoegd in bijlage IV.

Tabel 4.11 Oppervlakte per onderdeel en per variant. De weergegeven oppervlaktes zijn allen in m². Voor de technische hoofdzuivering zijn dit enkel de gebouwoppervlaktes, exclusief benodigde ruimte rondom

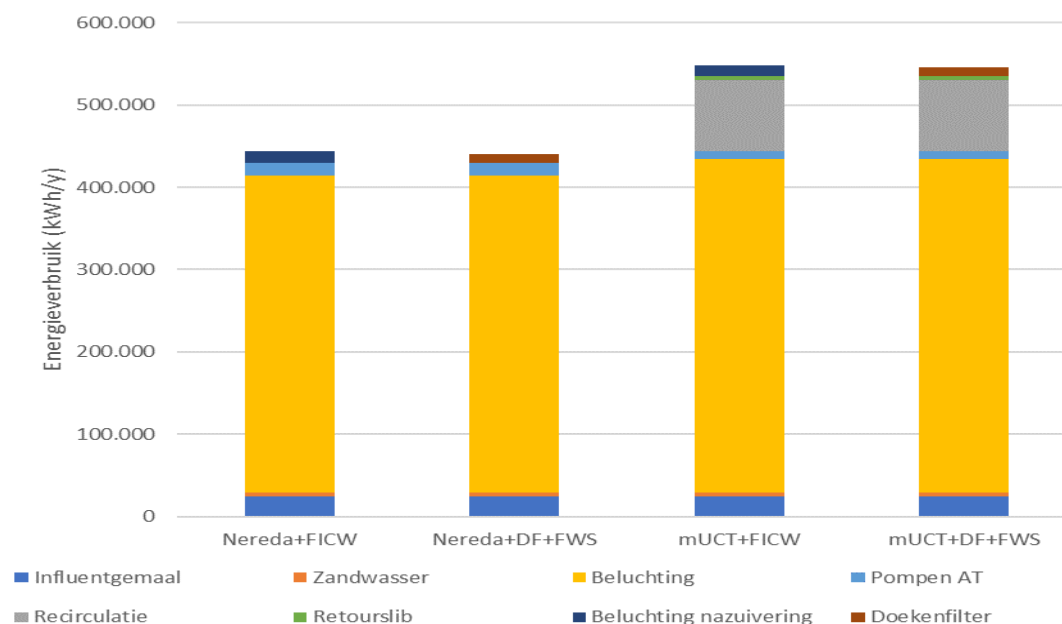
| Onderdeel | Nereda + FICW | Nereda + DF + FWS | mUCT + FICW | mUCT + DF + FWS |
|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-----------------|
| bedrijfsgebouw | 220 | 220 | 220 | 220 |
| pomp- en compressorgebouw | 180 | 180 | 180 | 180 |
| zandvang en -wasser | 33 | 33 | 33 | 33 |
| influentbuffer | 215 | 215 | - | - |
| Nereda | 286 (x2) | 286 (x2) | - | - |
| effluentbuffer | 60 | 60 | - | - |
| mUCT | - | - | 711 | 711 |
| nabezinking | - | - | 725 | 725 |
| doekenfilter en flocculatietank | - | 8,2 | - | 8,2 |
| gemengde korrelslibbuffer | 10 | 10 | - | - |
| gravitaire indikker | 37 | 37 | 32 | 32 |
| afgedekte slibbuffer | 29 | 29 | 26 | 26 |
| ACW | 5.985 | - | 5.985 | - |
| FWS | 13.500 | 22.000 | 13.500 | 22.000 |
| P-filter | ijzerzand: 1.700 tobermorië: 2.035 | - | ijzerzand: 1.450 tobermorië: 1.750 | - |

Uit de vlekkenplannen blijkt dat alle varianten binnen het perceel van rwzi Baarle-Nassau passen. Ook past de technische hoofdzuivering binnen het deel van het perceel dat door het bestemmingsplan is aangemerkt als bouwgrond. Wel is bij elke variant het deel van het perceel dat geen bouwgrond is benodigd voor de ecologische nazuivering, terwijl nog onzeker is of dit is toegestaan.

4.3 Energie- en hulpstoffenverbruik

Het energieverbruik is berekend op basis van het gemiddelde debiet (afbeelding 4.8). De berekening is gebaseerd op kengetallen, drukverlies, opvoerhoogtes, recirculatie debieten en gegevens van referentieprojecten en STOWA.

Afbeelding 4.1 Energieverbruik



De beluchting van de aerobe tank (AT) vormt de bulk van het energieverbruik. Dit energieverbruik is voor de Nereda-varianten iets lager doordat de Nereda een grotere waterdiepte heeft dan een mUCT, zodat de zuurstofinbreng efficiënter is. Het grootste, en enige significante, verschil in het energieverbruik tussen de varianten zit in de recirculatie die benodigd is bij een mUCT. Daardoor komen varianten 3 en 4 op 550 MWh/y en varianten 1 en 2 op een energieverbruik van 440 MWh/y.

Op piekmomenten vereist de beluchting van de mUCT een berekend vermogen van 64 kW. Om in het ontwerp voldoende beluchting te garanderen wordt uitgegaan van een op te stellen vermogen van 79 kW voor de beluchting van de mUCT. Dit is aanzienlijk lager dan het huidige aansluitvermogen van de zuivering (126 kW).

Berekening beluchtingsenergie

Het model dat is gebruikt om de beluchtingsvraag te berekenen maakt gebruik van empirische waarden van bestaande zuiveringen. Deze empirische gegevens zijn echter meerdere decennia oud. Moderne zuiveringen worden tegenwoordig ontworpen met veel lagere slibbelastingen in vergelijking met de oudere installaties waarop de gebruikte gegevens zijn gebaseerd. Hierdoor overschat het gebruikte model de zuurstofvraag voor endogene ademhaling sterk. Als gevolg hiervan ligt het werkelijke energieverbruik voor beluchting waarschijnlijk aanzienlijk lager dan wat het model aangeeft en hierboven is weergegeven.

Ook het hulpstoffenverbruik is berekend op basis van het gemiddelde debiet (tabel 4.11). De berekening is gebaseerd op kengetallen, het HSA-model en gegevens van STOWA en referentieprojecten. De dosering van methanol als C-bron in de ecologische nazuivering is optioneel en niet standaard meegerekend.

Tabel 4.12 Hulpstoffenverbruik. Voor ijzerzand en tobermoriëet geldt dat één van de twee wordt gebruikt en dat het gemiddelde jaarlijkse verbruik is weergegeven: de totale gebruikshoeveelheid gedeeld door de levensduur

| Hulpstof | Eenheid | Nereda + FICW | Nereda + DF + FWS | mUCT + FICW | mUCT + DF + FWS |
|-----------------------|---------|---------------|-------------------|-------------|-----------------|
| ijzerchloride (100 %) | ton/y | 7,3 | 19 | - | 5,6 |
| ijzerzand | ton/y | 815 | - | 583 | - |
| tobermoriëet | ton/y | 65 | - | 43 | - |
| methanol (optioneel) | ton/y | 0,6 | - | 0,6 | - |

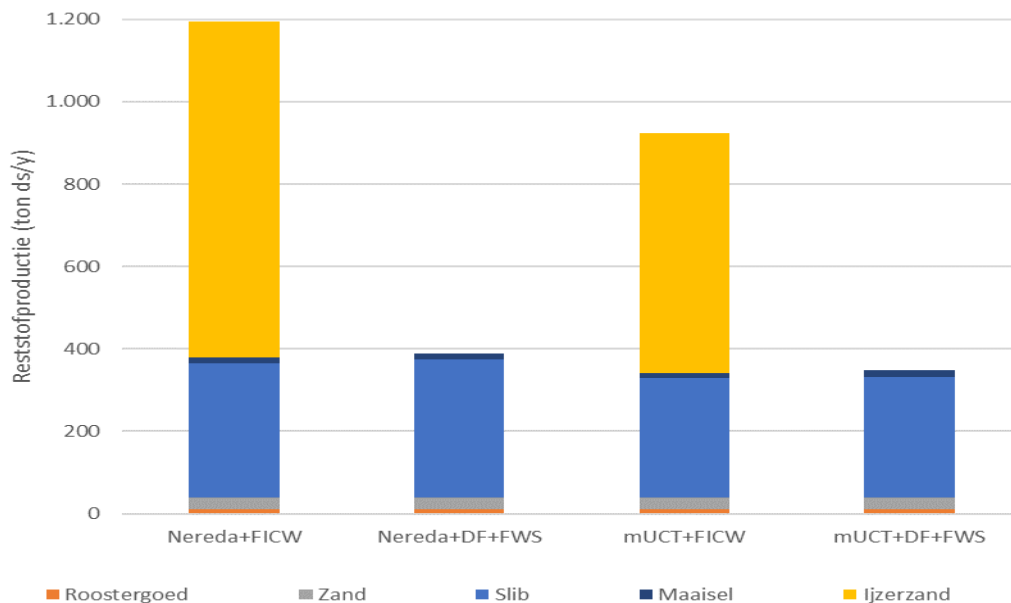
Aan chemicaliën worden enkel ijzerchloride en *potentieel* een kleine hoeveelheid methanol gebruikt. De hoeveelheid ijzerchloride verschilt sterk per variant. Variant 2 verbruikt het meeste doordat in het doekenfilter een grote hoeveelheid fosfaat verwijderd dient te worden. Na de Nereda bevat het water nog ruim 1,1 mg P/l, waarvan 0,7 mg P-ortho/l. Met behulp van de maximale doseerverhouding van 7 mol Fe/mol vrij-te-precipiteren P die in een doekenfilter gehanteerd kan worden, neemt dit af naar 0,14 mg P-ortho/l. Deze maximaal haalbare afname is nog steeds onvoldoende om het ambitieniveau te behalen en resulteert in een relatief hoog ijzerchlorideverbruik. Dankzij de betere biologische P-verwijdering van de mUCT is een stuk minder ijzerchloride nodig voor variant 4 en kan variant 3 zelfs geheel chemicaliënvrij uitgevoerd worden en toch een effluentconcentratie van 0,6 mg P/l behalen.

Dankzij de langere standtijd van het P-filter van variant 3 is gemiddeld per jaar een stuk minder filtermateriaal nodig dan in variant 1. Tobermoriet heeft nog een langere standtijd en daardoor is significant minder materiaal nodig. Let hierbij wel op dat tabel 4.11 het filtermateriaal in ton/y uitdrukt en tobermoriet een significant lagere dichtheid heeft dan ijzerzand (respectievelijk 300 kg/m³ en 1.950 kg/m³), waardoor het verschil in m³ een stuk lager uitvalt.

4.4 Reststromen

Ook de reststroomproductie is berekend op basis van het gemiddelde debiet (afbeelding 4.9). De berekening is gebaseerd op kengetallen, het HSA-model en gegevens van WSBD, STOWA en referentieprojecten.

Afbeelding 4.2 Jaarlijkse reststroomproductie. Voor ijzerzand geldt dat het gemiddelde jaarlijkse verbruik is weergegeven: de totale gebruikshoeveelheid gedeeld door de levensduur



Slibproductie en verzadigd ijzerzand vormen de bulk van de reststromen. Bovenstaande figuur geeft de stromen in droge stof weer, wat betekent dat de figuur niet gebruikt kan worden om bijvoorbeeld transportbewegingen in te schatten. Met name slib, dat na slibindikking een drogestofgehalte van 2,5 % bereikt, zal een volumineuze reststroom zijn. De slibproductie van Nereda ligt ca. 10 % hoger dan van mUCT. Ook het ijzerchloridegebruik draagt bij door de vorming van chemisch slib.

Ook moet eens per aantal jaren het verzadigde P-filter van varianten 1 en 3 afgegraven, afgevoerd en aangevuld worden. Door de langere levensduur neemt de gemiddelde reststroomproductie gespreid over de

jaren af bij gebruik van tobermoriet tot 65 ton/y en 43 ton/y voor respectievelijk variant 1 en variant 3. Ook hier dient men er rekening mee te houden dat dit is uitgedrukt in ton/y en tobermoriet een significant lagere dichtheid heeft dan ijzerzand (respectievelijk 300 kg/m³ en 1.950 kg/m³), waardoor het verschil in m³ een stuk lager uitvalt.

5

ONDERHOUDBAARHEID EN RESERVESTELLING

In dit hoofdstuk is de onderhoudbaarheid en reservestelling van de verschillende varianten van de nieuwbouw rwzi Baarle-Nassau besproken. Een goede onderhoudbaarheid en de juiste mate van redundantie zijn cruciaal voor een onbemande zuivering zoals RWZI Baarle-Nassau.

In hoofdstuk 5.1 zijn de storingskans en Technology Readiness Level (TRL) beschouwd en in hoofdstuk 5.2 de onderhoudbaarheid en redundantie. Het aantal jaarlijkse transportbewegingen is gekwantificeerd in hoofdstuk 5.3.

5.1 Storingskans en TRL

De storingskans en TRL van de verschillende technologieën geven een indicatie van de betrouwbaarheid en de gereedheid voor implementatie op een onbemande zuivering. De TRL is een beoordelingssysteem dat wordt gebruikt om de maturiteit van een bepaalde technologie te bepalen, bestaande uit negen niveaus, waarbij elk niveau een stap in de ontwikkeling van de technologie weergeeft, van concept tot commercieel gebruik. Bij TRL 7 is een bijna volledig operationeel prototype getest in de operationele omgeving. Bij TRL 8 is het systeem compleet en getest, klaar voor pre-commerciële gebruik. Bij TRL 9 is de technologie volledig operationeel en commercieel toegepast.

5.1.1 Variant 1: Nereda-FICW

Voor een Nereda is de storingskans laag. De technologie is in Nederland beproefd als goed functionerend en de ervaring leert dat de storingskans laag is. Wel is er een risico op uitspoeling van onopgeloste stoffen. Ook kunnen de vele interne onderdelen van de Nereda beschadigd raken door grove delen. Daarom is van belang dat het grofvuilrooster ten alle tijden functioneert (volgens leveranciersopgaaf). Nereda is een bewezen technologie die wijdverspreid wordt toegepast in een vergelijkbare context en heeft daarom de maximale TRL van 9. Hetzelfde geldt voor de voorbehandeling en sliblijn.

De kans op verstopping van de ACW aan het begin van de FICW is aanwezig. Verstopping moet te allen tijde vermeden worden, door een deugdelijk ontwerp (OB belasting) maar vooral ook door een goede bedrijfsvoering (bypass RWA waar nodig). Daarom is het aanbevolen om een troebelheidsmeter op het effluent van de technische hoofdzuivering te zetten, zodat de bypass naar de FWS tijdig kan worden ingezet. Aangezien bij Nereda een risico bestaat op uitspoeling van onopgeloste stoffen, is het een mogelijkheid dat de ACW verstopt raakt bij piekbelastingen en een te kleine bypass. De ACW is uitgevoerd met vertical flow, waarbij het influent over het volledige oppervlak verdeeld wordt, wat gunstig is om verstopping te voorkomen. Bovendien zijn er aanwijzingen dat de beluchting zelf ook helpt om verstopping te voorkomen. Bij een eventuele verstopping kan het deels vervangen van vulmateriaal nodig zijn. Daarnaast is de storingskans van een FICW iets hoger doordat de beluchting kan uitvallen. Het stilvallen van de beluchting heeft een korte-termijn effect op de zuiveringsefficiëntie, maar geen verdere lange-termijn effecten. Een FICW is buiten Nederland in vergelijkbare context bewezen, maar binnen Nederland is de ervaring beperkt. Daarom heeft de FICW een TRL van 7.

5.1.2 Variant 2: Nereda-DF-FWS

In variant 2 wordt het gezuiverde afvalwater van de Nereda-reactoren via de effluentbuffer naar een flocculatietank en doekenfilter gebracht. Dit doekenfilter vangt eventuele uitgespoelde deeltjes af. Om verstopping van het doekenfilter te voorkomen wordt deze periodiek teruggespoeld. De impact van een doekenfilter op het onbemande functioneren van de zuivering is naar verwachting kleiner dan de impact van alternatieven zoals een nageschakeld zandfilter. In Nederland is geen doekenfilter echt langdurig operationeel. Er zijn wel diverse pilots gedaan [11]. Daarnaast zijn doekenfilters dé standaard in het Verenigd Koninkrijk voor kleine tot middelgrote zuiveringen, van het merk Mecana (in Nederland door Eliquo geleverd). De TRL van doekenfilters in deze context is nu nog 7, maar tegen de tijd dat rwzi Baarle-Nassau wordt gerealiseerd zal dit waarschijnlijk 8 zijn door de ontwikkelingen bij waterschap Vechtstromen.

Bij een FWS systeem kan er weinig tot niks fout lopen. Een FWS verstopt niet, heeft geen beluchting en kan zeer sterk fluctuerende stromen verwerken. Potentieel moet er op langere termijn eens slib geruimd worden uit de inlaatzone, maar dat komt niet als storing in aanmerking en is naar verwachting infrequent door de verwijdering van zwevende stof door het doekenfilter. De FWS wordt ook in Nederland regelmatig toegepast en heeft daarom een TRL van 9.

5.1.3 Variant 3: mUCT-FICW

mUCT wordt in Nederland en bij WSBD al decennia toegepast en de ervaring leert dat de storingskans laag is. Ook is in vergelijking met een Nereda het risico op uitspoeling van onopgeloste stoffen laag. mUCT is een bewezen technologie die wijdverspreid wordt toegepast in een vergelijkbare context en heeft daarom de maximale TRL van 9. Hetzelfde geldt voor de voorbehandeling en sliblijn.

De kans op verstopping van de ACW aan het begin van de FICW is in deze variant een stuk kleiner, doordat de kans op uitspoeling bij een mUCT een stuk kleiner is dan bij een Nereda: het verwachte zwevende stofgehalte in het influent van de ACW ligt op iets meer dan de helft van het verwachte gehalte in variant 1.

5.1.4 Variant 4: mUCT-DF-FWS

Variant 4 is een combinatie van drie bewezen en betrouwbare technieken, zoals hierboven toegelicht. Enkel het doekenfilter is relatief nieuw binnen de Nederlandse afvalwatersector.

5.2 Onderhoudbaarheid en redundantie

Een goede onderhoudbaarheid en voldoende redundantie zijn cruciaal voor de continuïteit van de zuivering en het duurzaam functioneren van de ecologische nazuivering. Deze paragraaf beschouwt de onderhoudbaarheid en redundantie eerst van de technische hoofdzuivering en vervolgens van de ecologische nazuivering.

5.2.1 Technische hoofdzuivering

Zoals hierboven benoemd vereist de Nereda van varianten 1 en 2 ten alle tijden een goed functionerend grofvuilrooster ter bescherming van de interne onderdelen van de Nereda. Daarom is in deze twee varianten het perforatierooster 100 % redundant uitgevoerd. Dit voorkomt dat de gehele zuivering buiten bedrijf raakt indien onderhoud wordt gepleegd aan het rooster.

Voor de Nereda zelf is uitgegaan van twee identieke reactoren zonder voorbezinktank. Zonder voorbezinktank is het niet mogelijk om altijd voldoende biologische capaciteit te behouden, omdat dan hydraulische beperkingen ontstaan door een te lage opstroomsnelheid bij DWA. Dat betekent dat indien

één van de twee reactoren uit bedrijf is, de andere reactor RWA kan behandelen, maar de effluentconcentraties van N en P hoger zijn. Het is niet mogelijk om accuraat te bepalen welke kwaliteit dan wel gehaald wordt, maar de verwachting is dat de kwaliteit voldoende blijft voor de ecologische nazuivering, mits de duur van de werkzaamheden beperkt blijft. De kans op slibuitspoeling neemt hierbij niet significant toe. Met voorbezinktank is het wel mogelijk om altijd voldoende biologische capaciteit te houden, maar dan is wel een derde reactor nodig (plus een voorbezinktank). Deze reactoren zijn wel kleiner dan de twee die nodig zouden zijn zonder voorbezinktank. Het is aan WSBD om te beslissen of het acceptabel is dat de waterkwaliteit slechter is tijdens onderhoud, wat naar verwachting elke tien jaar ongeveer een week in de winter zal zijn, maar ook ongepland kan voorkomen indien de beluchting kapotgaat. Bij een Nereda kan geen noodbeluchting gebruikt worden. Bij onderhoud aan de beluchting moet de tank dus uit bedrijf. De beluchting van een Nereda is wel ophaalbaar uitvoerbaar maar kost meer geld. Bij ophaalbare beluchting kan dit onderhoud sneller uitgevoerd worden dan bij gemonteerde beluchting.

In principe is het mogelijk om Nereda modulair uit te voeren door bijvoorbeeld met het Verdygo-principe een tank toe te voegen. Echter levert dit in de praktijk problemen op. Zo wordt de modulaire opzet grotendeels teniet gedaan indien de tanks ingegraven moeten worden. Op rwzi Baarle-Nassau is het noodzakelijk om de tanks in te graven om onder de maximale bouwhoogte te blijven. Ook is een modulaire opzet vaak energetisch ongunstig door het hoge energieverbruik om de benodigde opvoerhoogte te behalen indien de procesonderdelen niet zijn ingegraven.

Voor de mUCT van varianten 3 en 4 is uitgegaan van één straat. Bij zuiveringen van dit formaat is het gebruikelijk om één straat te hanteren. Wel kunnen bijvoorbeeld werktuigbouwkundige onderdelen zoals pompen redundant uitgevoerd worden om de continuïteit te waarborgen. De mUCT is een robuust proces, waardoor dubbele redundantie van het grofvuilrooster en de zandvang niet nodig is in deze varianten. Bij een mUCT is het wel mogelijk om noodbeluchting toe te passen, ook bij een waterdiepte van 5 m. Voor onderhoud is het tevens mogelijk om ophaalbare beluchting toe te passen, waarbij de pakketten één voor één opgehaald en vervangen worden, terwijl de zuivering in bedrijf blijft. De kosten voor een ophaalbare beluchting zijn niet inbegrepen.

De doekenfilters worden niet redundant uitgevoerd. Indien een doekenfilter buiten bedrijf gesteld is, zal dit enkel resulteren in een lagere kwaliteit dat naar de ecologische nazuivering stroomt en vervolgens ook in een lagere effluentkwaliteit. De FWS is niet gevoelig voor verstopping of schommelingen in de waterkwaliteit en kan dus goed omgaan met deze lagere waterkwaliteit (zie paragraaf 5.2.2).

5.2.2 Ecologische nazuivering

Zoals hierboven vermeld is een ACW gevoelig voor verstopping. Bij een eventuele verstopping kan het deels vervangen van vulmateriaal nodig zijn. Dit kan ook heel wat transportbewegingen opleveren. Een goed ontwerp en degelijke bedrijfsvoering zijn essentieel om verstopping te vermijden. Onderhoud aan de beluchting is relatief makkelijker dankzij de beperkte diepte van 1 m.

Zowel de ACW als de FWS dienen gemaaid te worden. Om te veel verstoring tegen te gaan wordt er best jaarlijks (op de overgang winter-lente) 50 % van de oppervlakte gemaaid. Voor de FICW betreft het jaarlijks te maaien oppervlakte 13.500 m² en voor de FWS van varianten 2 en 4 betreft dit 14.666 m²/y.

Voor de FWS van varianten 2 en 4 geldt dat de zwevende stof voornamelijk bezinkt in de inlaatzone, waardoor van tijd tot tijd slib geruimd zal moeten worden. De frequentie is moeilijk in te schatten, maar zal grootte-orde enkele jaren zijn (2-5 jaar).

Ook moet eens per aantal jaren het verzadigde P-filter van varianten 1 en 3 afgegraven, afgevoerd en aangevuld worden. De afvoerroute en -kosten zijn nog niet bekend, maar het materiaal kan vervolgens bijvoorbeeld hergebruikt worden in de wegenbouw. De afvoerroute zal nog onderzocht moeten worden. De frequentie en hoeveelheid is weergegeven in tabel 5.1

Tabel 5.1 Vervangingsfrequentie en -hoeveelheid P-filtermateriaal

| | Nereda + FICW (IJzerzand) | Nereda + FICW (Tobermoriet) | mUCT + FICW (IJzerzand) | mUCT + FICW (Tobermoriet) |
|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| vervangingsfrequentie | 4 jaar | 9 jaar | 5 jaar | 12 jaar |
| hoeveelheid m ³ | 1.700 m ³ | 2.040 m ³ | 1.450 m ³ | 1.750 m ³ |

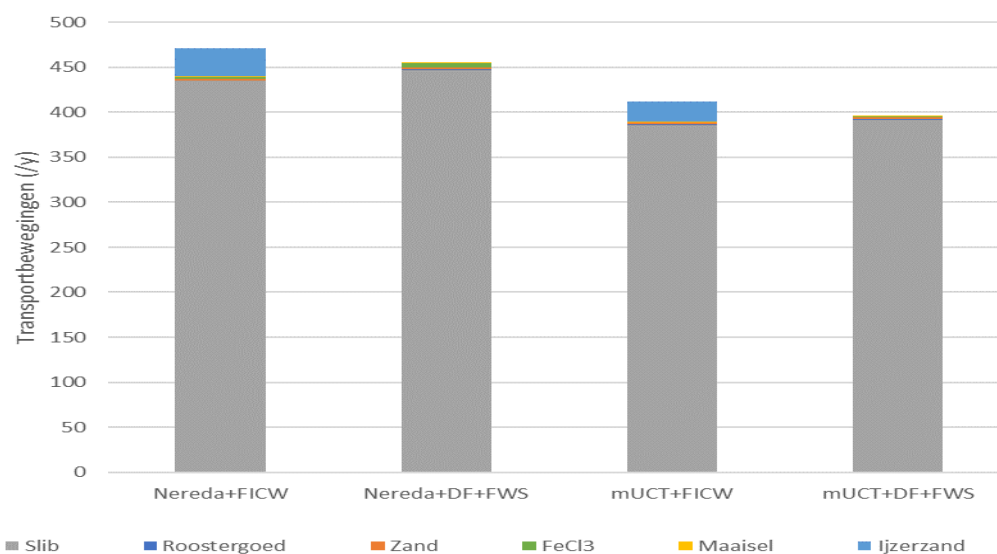
De ecologische nazuivering mag niet in direct contact staan met oppervlakte- of grondwater. Hiervoor kan een ondoorlaatbare folie gebruikt worden. Deze folie dient beschermt te worden tegen wortels van struiken en bomen door dit soort houtige planten tijdig te verwijderen. Problemen met dieren die de folie beschadigen zijn in de praktijk vrijwel niet bekend, buiten een éénmalig geval waar overlast was van beverratten. Die gingen echter ook niet door de folie heen en zorgden enkel voor ondertunneling van de bermen. Een enkel aandachtspunt is dat dieren die per ongeluk in het water terecht komen soms de folie openklauwen terwijl ze proberen te ontsnappen. Daarom is het geadviseerd om uitloopconstructies te voorzien. Een ander belangrijk gegeven rond de levensduur is eventuele blootstelling aan UV, maar bij onder-afdichting van rietvelden, is hier eigenlijk geen sprake van. Bij FWS zijn wel mogelijk taluds waar de bovenkant kan blootstaan aan zonlicht, maar dat kan dan weer opvangen worden door de folie af te dekken met bijvoorbeeld een geotextiel. PE en PP die niet aan zonlicht blootstaan, hebben al snel een levensduur van 50 jaar of langer.

Ecologische zuiveringen vergen een groot oppervlak. Redundantie is daardoor niet haalbaar voor de ecologische nazuivering van rwzi Baarle-Nassau.

5.3 Transportbewegingen

Afbeelding 5.1 geeft het jaarlijkse aantal transportbewegingen per zuiveringsvariant. Hierbij is ijzerzand dubbel meegerekend, doordat dit zowel aan- als afgevoerd moet worden. Het aantal transportbewegingen voor ijzerzand kan dus gehalveerd worden indien aan- en afvoer gecombineerd wordt.

Afbeelding 5.1 Gemiddelde jaarlijkse aantal transportbewegingen per zuiveringsvariant



Voor alle varianten geldt dat meer dan 90 % van de transportbewegingen wordt veroorzaakt door slibafvoer. Dit komt door het geringe droge stofgehalte van ingedikt slib van 3,0 %. Een bandindikker behaalt tot 6,0 % droge stof. Het implementeren van een bandindikker zou daardoor resulteren in 46 - 49 % minder transportbewegingen. Daar staat wel tegenover dat een bandindikker complexer is en dus meer onderhoud en een grotere investering vergt.

6

CO₂-FOOTPRINT GEBRUIKSFASE

Dit hoofdstuk presenteert de CO₂-footprint van de gebruiksfase van de zuiveringsvarianten voor de nieuwbouw van rwzi Baarle-Nassau. De berekening van de CO₂-equivalenten (CO₂-eq) geeft inzicht in de verschillen tussen de varianten en ligt toe waar de zwaartepunten liggen per variant.

Paragraaf 6.1 licht de methodiek van de CO₂-berekening toe. In paragraaf 6.2 worden resultaten van de CO₂-berekening toegelicht.

6.1 Methodiek

Voor het opstellen van de CO₂-impact van de varianten zijn de volgende stappen doorlopen:

- 1 vaststellen van de gebruikshoeveelheden;
- 2 opstellen van de CO₂-berekening;
- 3 analyse en interpretatie van resultaten.

De gebruikshoeveelheden zijn bepaald in hoofdstukken 4.3 en 4.4. Het opstellen van de CO₂-berekening is gedaan doormiddel van het combineren van de gebruikshoeveelheden aan kengetallen uit de Ecoinvent 3.9. database. De berekening is vervolgens uitgevoerd conform de EN 15804 + A2 Method V1.04 / EF 3.0 normalization and weighting set met behulp van Simapro versie 9.6.0.1.

6.1.1 Scope

Voor deze analyse zijn de emissies gedurende de gebruiksfase van de zuivering relevant. De emissies van de grondstoffen die tijdens deze fase worden gebruikt, zijn gemodelleerd voor de productie, het transport en het gebruik. Voor de reststoffen is het transport naar de afvalverwerking doorgerekend. In de rwzi vinden daarnaast ook procesemissies plaats. De procesemissies van de technische hoofdzuivering zijn eveneens gemodelleerd. Voor de emissies is gekeken naar de CO₂-eq, welke bestaan uit CO₂, methaan en lachgas.

De volgende onderdelen vallen binnen de scope:

- elektriciteitsverbruik;
- ijzerchloride 100 % (FeCl₃);
- zand;
- ijzerzand;
- slib;
- roostergoed;
- maaisel;
- transport;
- procesemissies van de technische hoofdzuivering.

De CO₂-impact van tobermoriet en de procesemissies van de ecologische nazuivering zijn onbekend en daarom niet meegenomen. Ook de CO₂-impact van de bouwfase en verwerkingsfase van de bouwwerken is niet meegenomen, omdat deze in het niet valt bij de impact van de gebruiksfase van een installatie over

30 jaar, zoals blijkt uit voorgaande projecten. Daarom zijn de emissies van de bouwmaterialen niet inbegrepen. De externe verwerking van reststoffen valt ook buiten de scope, omdat dit valt onder de CO₂-impact van de verwerkende partij/zuivering.

6.1.2 Uitgangspunten

Verschillende uitgangspunten zijn gehanteerd in het berekenen van de CO₂-impact per variant. Voor het bepalen van de emissies is een periode van 1 jaar aangehouden. Voor grondstoffen en hulpstoffen die niet elk jaar worden gebruikt is het gemiddelde genomen als de hoeveelheid per jaar. Daarnaast is het belangrijk te noemen dat de berekening is opgesteld op basis van de reeds beschikbare informatie. De nauwkeurigheid van de berekening sluit daarmee aan op de nauwkeurigheid van het globale ontwerp. De gebruikte hoeveelheden van het hulpstoffenverbruik zijn gebaseerd op informatie uit hoofdstuk 4.3 en 4.4.

Toelichting gekozen producten en uitgangspunten

Een deel van de onderdelen kon direct gemodelleerd worden doormiddel van Ecoinvent-producten. In Tabel 5.1 staan de gekozen Ecoinvent-producten weergegeven. Voor deze producten is er gekozen om, waar mogelijk, aan te sluiten bij de Nederlandse markt. Indien dit niet mogelijk was, is er gebruik gemaakt van Europese marktgetallen en anders van wereldgemiddeldes.

Tabel 6.1 gekozen Ecoinvent producten per onderdeel

| Product | Ecoinvent-product |
|---|--|
| elektriciteitsverbruik groengrijs mix | 1kWh Electricity, low voltage {NL} market for electricity, low voltage Cut-off, U |
| ijzerchloride (FeCl ₃ 100 %) | 1 kg Iron(III) chloride, without water, in 14 % iron solution state {GLO} market for iron(III) chloride, without water, in 14 % iron solution state Cut-off, U (van project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit) |
| zand | 1 kg Silica sand {DE} silica sand production Cut-off, U (van project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit) |
| maaisel | 1 ha Mowing, by rotary mower {CH} mowing, by rotary mower Cut-off, U (van project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit) |
| transport | 1 tkm Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 Cut-off, U (van project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit) |
| elektriciteitsverbruik groen | 1kWh Electricity, high voltage {NL} electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore Cut-off, U |
| methanol | 1 kg Methanol {GLO} market for methanol Cut-off, U (van project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit) |

Toelichting elektriciteitsverbruik

Het directe elektriciteitsverbruik van de zuiveringsinstallatie is gemodelleerd met behulp van een Ecoinvent-product, gebaseerd op het Nederlandse marktgemiddelde. Dit gemiddelde omvat een gebruikelijke mix van groene en grijze stroom en is toegepast om het verbruik van de zuivering te modelleren.

Ook het indirecte verbruik, eerder in de keten, maakt deel uit van het energieverbruik van de zuivering. Dit verbruik kan echter niet afzonderlijk worden gemodelleerd, aangezien het al is opgenomen in de Ecoinvent-producten. Hierdoor wordt vaak een marktgemiddelde gebruikt dat is gerelateerd aan de locatie van het product, wat niet altijd overeenkomt met het Nederlandse marktgemiddelde. Er wordt verwacht dat het indirecte energieverbruik slechts een beperkte invloed heeft op het totale energieverbruik van de zuivering, waardoor het grootste deel van het totale verbruik alsnog met het Nederlandse marktgemiddelde wordt gemodelleerd.

Toelichting grond-, hulp- en reststoffen

Voor de grondstoffen zijn de productie, het transport naar de zuivering en het gebruik meegenomen in de berekening. Dit geldt alleen voor ijzerchloride. Als hulpstof is ijzerzand gebruikt, een restproduct van de drinkwaterindustrie. Omdat het een restproduct betreft, is de impact van de productie niet meegerekend. Voor deze stroom is alleen het transport naar en van de zuivering gemodelleerd. Voor de reststoffen is uitsluitend het transport weg van de zuivering gemodelleerd.

Toelichting maaisel

Voor het maaisel is de handeling van het maaien gemodelleerd. Dit houdt in dat het gebruikte materieel en de benodigde brandstof zijn gebruikt om de impact te berekenen. Daarnaast is de jaarlijkse massa meegerekend in het transport naar de afvalverwerking.

Toelichting transport

Het transport is berekend op basis van het gewicht van verschillende stoffen en de benodigde transportafstand. Het gebruikte kengetal voor ijzerchloride omvat al transport en is niet meegerekend in de totale transportbewegingen. Voor de stromen die onderdeel zijn van de slibverwerking, en dus een restproduct zijn, is een transportafstand van 33 km gehanteerd. Dit betreft de stromen slib, zand en ijzerzand. Voor ijzerzand is ook het transport naar de zuivering meegerekend, aangezien dit een reststof is van de drinkwaterindustrie. De overige stromen zijn doorgerekend met een transportafstand van 50 km.

Toelichting procesemissies

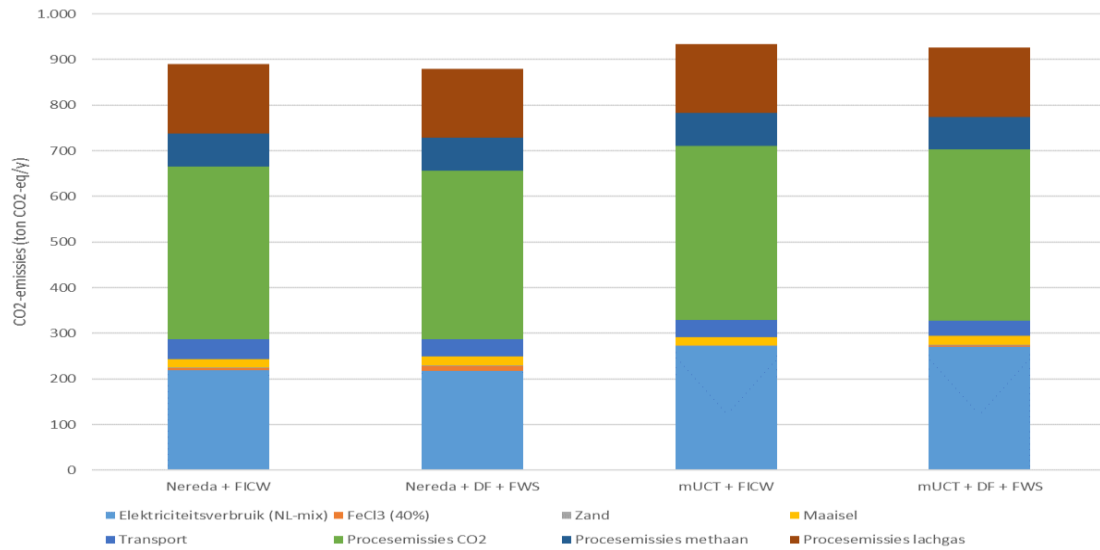
Om de impact van het slib te berekenen zijn de procesemissies berekend door middel van een risico-inschatting voor de emissie van CO₂, CH₄ en N₂O, opgenomen in STOWA onderzoek:

- CO₂-emissie in de waterlijn is bepaald door de afbraak van CZV in de waterlijn, waarbij uitgegaan is van 1,2 kg CO₂ gevormd per kg CZV verwijderd [12];
- N₂O-emissie in de waterlijn is bepaald door de aanwezigheid van ammonium en nitriet in het effluent. Hiervoor is uitgegaan van het effluent voordat deze in de ecologische nazuivering terecht komt omdat het kengetal geen inschatting geeft voor ecologische nazuiveringen [13];
- CH₄-emissie in de waterlijn is bepaald door CZV-verwijdering in de waterlijn naar de sliblijn, waarvoor de methode is bepaald in STOWA 2014-09 met een latere aanvulling vanuit het IPCC. Het kengetal hiervoor is 0,0075 kg CH₄/kg CZV geëmitteerd [12].

6.2 CO₂-footprint gebruiksfase

In deze paragraaf zijn de resultaten van de CO₂-analyse gepresenteerd. De varianten zijn vergeleken op basis van de totale hoeveelheid CO₂-eq en de impact van de verschillende onderdelen van de variant. Hiermee zijn de zwaartepunten en de verschillen tussen de varianten in kaart gebracht. In afbeelding 5.1 staan de resultaten van de verschillende varianten per onderdeel weergegeven.

Afbeelding 6.1 CO₂-impact per variant per onderdeel



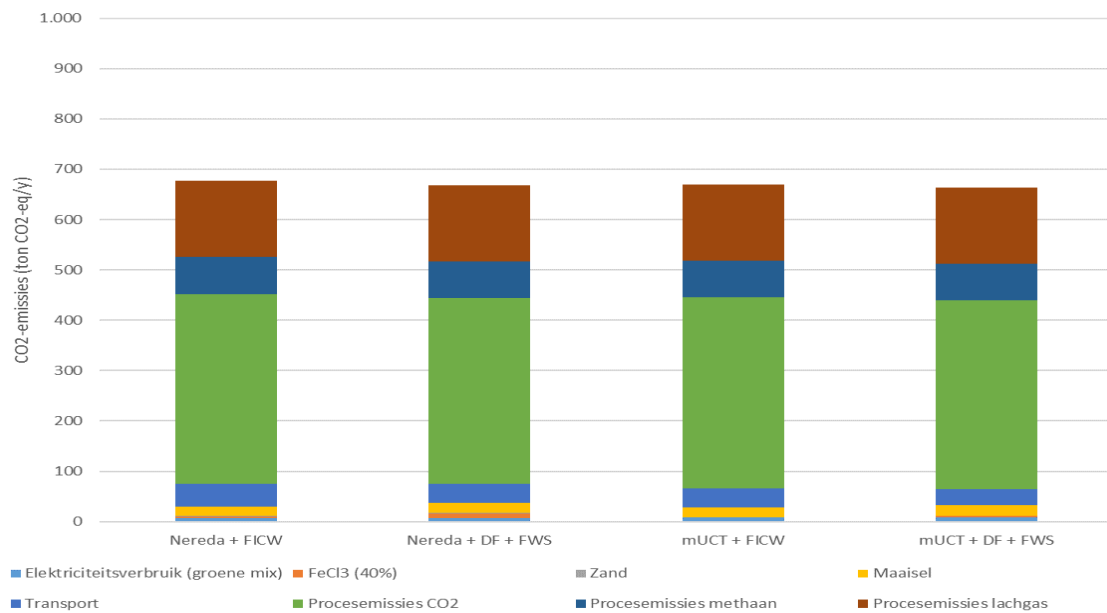
De resultaten laten zien dat alle varianten rond de 900 ton CO₂-eq emissies tot gevolg hebben en onderling niet veel verschil vertonen. De laagst scorende variant is variant 2, met een totale emissie van 879 ton CO₂-eq. De variant met de hoogste emissies, 934 ton CO₂-eq, is variant 3. Dit verschil zit voornamelijk in het elektriciteitsverbruik, namelijk 53 ton CO₂-eq. Verder zitten er kleine verschillen in de impact van ijzerchloride, het transport en de procesemissies van CO₂. In de huidige ontwerpfase zijn deze verschillen zeer beperkt. De procesemissies vormen verreweg de grootste bron van CO₂-eq.

Uit de bovenstaande resultaten komt naar voren dat variant 2 de minst impactvolle variant is, echter is dit een klein verschil met de andere varianten. Er zijn verschillende onzekerheden die van invloed kunnen zijn op deze bevinding. In de onderstaande paragrafen worden deze onzekerheden verder toegelicht.

6.2.1 Impact van elektriciteit bij een groene mix

In de huidige analyse is uitgegaan van een marktconforme energiemix om de impact van het elektriciteitsverbruik te kwantificeren. De verwachting is echter dat deze energiemix in de loop van de tijd zal verschuiven naar een groter aandeel groene energie. In afbeelding 6.2 zijn de emissies weergegeven met een 100 % groene energiemix als uitgangspunt voor het elektriciteitsverbruik per variant. Wanneer wordt uitgegaan van een volledig groene energiemix, scoren alle varianten nagenoeg gelijk. Dit laat ook zien dat de totale emissies met bijna 25 % afnemen indien wordt overgeschakeld op een volledig groene energiemix.

Afbeelding 6.2 Totaaloverzicht per variant met uitgangspunt van een 100 % groene mix



6.2.2 Procesemissies van de ecologische nazuivering

In de huidige analyse zijn de procesemissies berekend aan de hand van de waarden binnen de technische hoofdzuivering. De gebruikte kengetallen om dit te berekenen sluiten namelijk alleen aan bij de processen die binnen de zuivering plaatsvinden. Voor de ecologische nazuivering is het niet bekend wat er precies plaatsvindt met de koolstof- en stikstofstromen. Dit maakt dat de variantenafweging minder accuraat is en dus minder betrouwbaar. Echter behalen alle vier de varianten een vergelijkbaar zuiveringsrendement op koolstof en stikstof in de nazuivering en is daarom de verwachting dat er geen grote verschillen zijn tussen de varianten.

6.2.3 Overige toevoegingen tijdens de zuivering

Het eventuele gebruik van methanol als C-bron in de FICW is buiten de scope van deze analyse gelaten. Indien methanol toegepast gaat worden, zal dit echter wel invloed hebben op de totale impact van de varianten. Bij het geschatte gebruik van 0,6 ton per jaar zou dit een toename van 0,5 ton CO₂-eq tot gevolg hebben. Dit laat zien dat het eventuele gebruik van methanol geen significante impact heeft op de CO₂-impact van de zuivering.

7

KOSTEN

Dit hoofdstuk presenteert de resultaten van de kostenramingen van de verscheidene zuiveringsvarianten voor de nieuwbouw van rwzi Baarle-Nassau. Hoofdstuk 7.1 behandelt de uitgangspunten. Paragrafen 7.2, 7.3 en 7.4 behandelen respectievelijk de operationele kosten, investeringskosten en jaarlijkse lasten. Paragraaf 7.5 geeft een samenvatting van de resultaten. De volledige uitwerking van de kostenramingen is te vinden in bijlages V tot en met VII.

7.1 Uitgangspunten

Voor de kostenraming is een sterk versimpelde Standaardsystematiek voor Kostenramingen (SSK-methodiek) gehanteerd om van benoemde directe bouwkosten tot investeringskosten te komen. De SSK-methodiek is een systematiek voor het maken van kostenramingen in de bouw en biedt een handreiking voor kostenmanagement. Het is een gezamenlijk product van partijen in de grond-, wegen- en waterbouw en wordt breed toegepast in de sector.

De nauwkeurigheid van de kostenraming is $\pm 50\%$ en het prijspeil is april 2024. De benoemde directe bouwkosten zijn per processtap geraamd op basis van referentieprojecten van andere vergelijkbare rwzi's of in het geval van de ecologische nazuivering op basis van gegevens van STOWA [14]. Deze referenties zijn geschaald op basis van de capaciteit, het volume of het effectieve (filter)oppervlak en de schalingsfactoren (tabel 5.1). Deze schalingsfactoren zijn zo toegepast dat voor elke verdubbeling van de installatiegrootte, de benoemde directe bouwkosten zijn vermenigvuldigd met de schalingsfactoren. Het civiele deel van een twee keer zo grote installatie zal dus 1,85 x zo veel kosten. Het onderscheid tussen civiel, werktuigbouw en elektrotechniek en procesautomatisering (E&PA) is gedaan op basis van expert judgement en gecontroleerd aan de hand van bestaande kostenramingen.

Tabel 7.1 Schalingsfactoren van de directe bouwkosten

| | Civiel | Werktuigbouw | E&PA |
|-------------------|--------|--------------|------|
| schalingsfactoren | 1,85 | 1,55 | 1,65 |

Bovenop de benoemde directe bouwkosten komt een onvolledigheidsfactor van maximaal 20 % om tot de directe bouwkosten te komen en 46 % aan indirecte bouwkosten om de voorziene bouwkosten te bereiken. Deze laatstgenoemde opslagfactor is hoger dan bij kostenramingen in het verleden, doordat de afgelopen jaren de uitvoeringskosten sterk zijn gestegen bij een gebrek aan concurrentie tussen aannemers. Bij de voorziene bouwkosten is 30 % aan risicoreservering opgeteld om tot de totale bouwkosten te komen. De totale bouwkosten zijn omgerekend tot investeringskosten met een opslagfactor van 57 %, bestaande uit engineeringkosten, overige bijkomende kosten en objectoverstijgende risico's. Ten slotte is daarboven 21 % omzetbelasting gerekend.

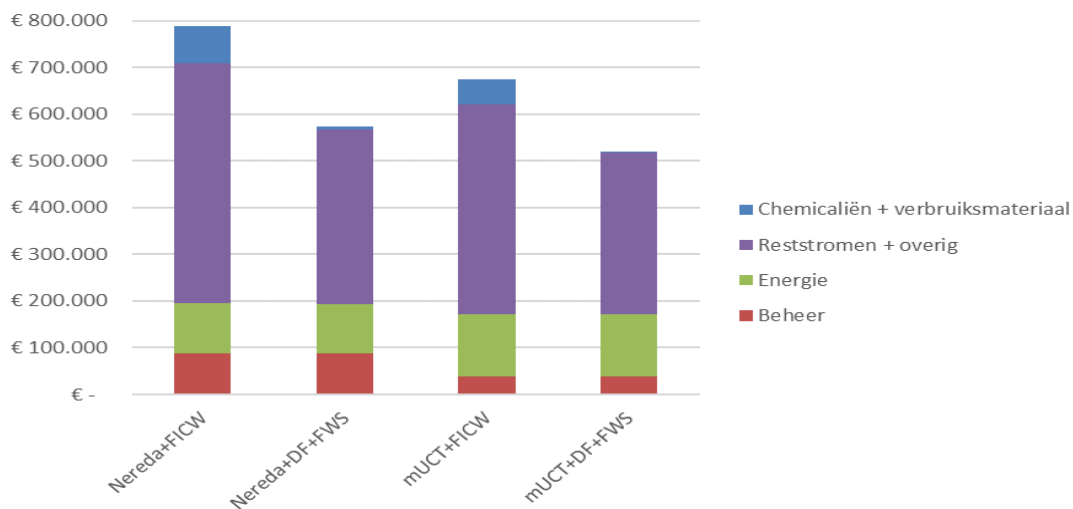
De operationele lasten zijn berekend met door WSBD gecontroleerde eenheidsprijzen van interne projectreferenties en gegevens van STOWA en leveranciers (bijlage V). De jaarlijkse lasten zijn berekend op basis van de onderhoudskosten en afschrijvingstermijn per discipline. Deze kostenbepaling heeft als doel

een vergelijking te maken tussen de varianten; niet om investeringsbedragen te bepalen. Alle bedragen zijn inclusief omzetbelasting.

7.2 Operationele kosten

De samenstelling van de operationele kosten voor de nieuwbouw van rwzi Baarle-Nassau is samengevat in afbeelding 7.1. De volledige uitwerking is te vinden als onderdeel van de kostenraming van de jaarlijkse lasten, zoals behandeld in paragraaf 7.4. De categorie 'Reststromen + overig' bestaat uit kosten voor afvoer van slib, roostergoed, zand, ijzerzand en maaisel, verwerking van spoelwater op de rwzi en en CO₂-emissierechten.

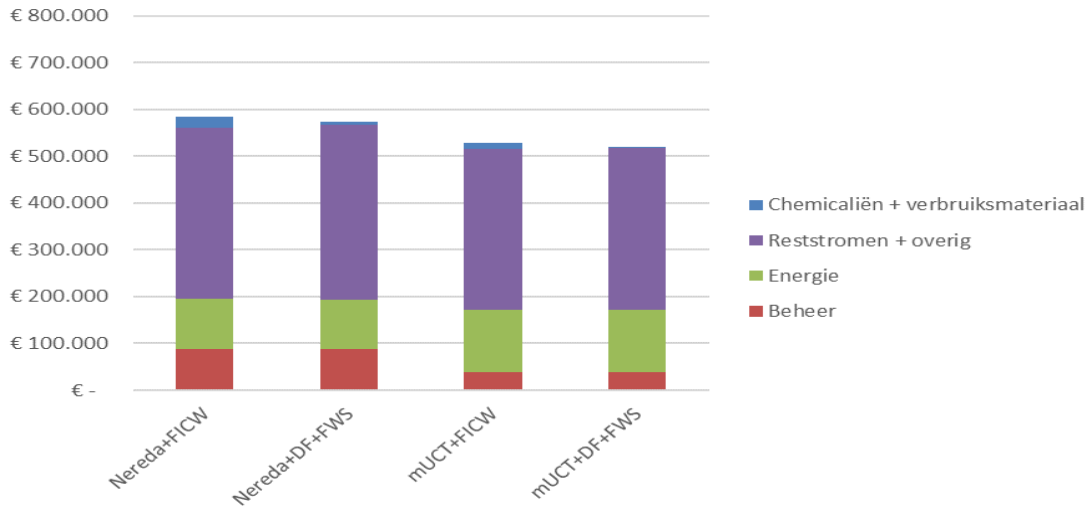
Afbeelding 7.1 Jaarlijkse operationele kosten met ijzerzand als filtermateriaal inclusief omzetbelasting



De operationele kosten zijn het laagst voor de varianten met doekenfilter en FWS. Dit verschil komt vrijwel volledig door de kosten van de aan- en afvoer van ijzerzand. Enkel de posten elektriciteit, slibverwerking, aan- en afvoer van ijzerzand en CO₂-emissies bedragen meer dan EUR 50.000,- per jaar.

Dankzij de lage dichtheid en lange standtijd van tobermorië, zou het gebruik van een tobermoriëfilter in plaats van ijzerzand een jaarlijkse besparing opleveren van naar schatting EUR 191.000,- of EUR 138.000,-. De operationele kosten komen dan voor alle varianten ongeveer gelijk uit (afbeelding 7.2). Bij deze berekening moet de kanttekening geplaatst worden dat de kostprijs van tobermorië onzeker is door het beperkte gebruik van het materiaal in de watersector.

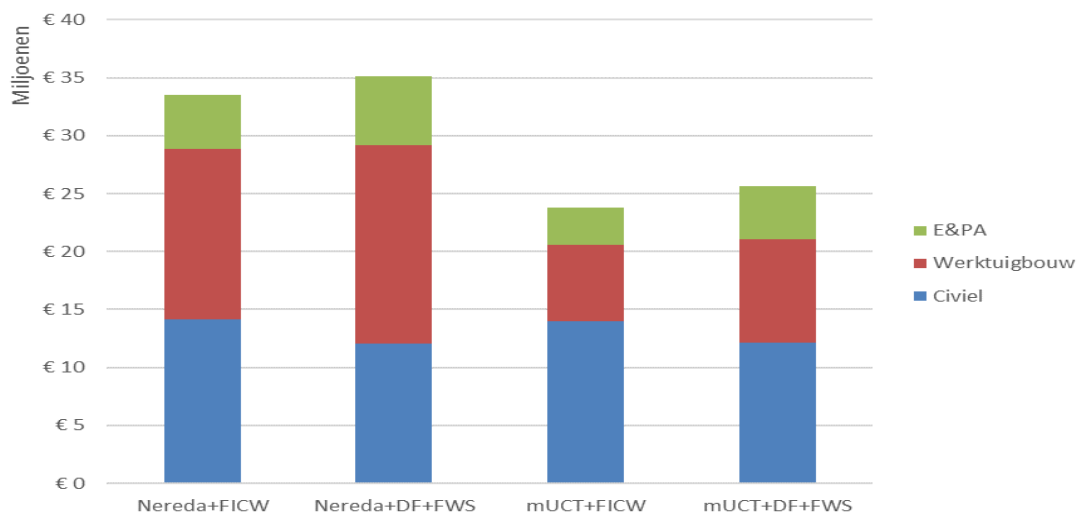
Afbeelding 7.2 Jaarlijkse operationele kosten met tobermorië als filtermateriaal inclusief omzetbelasting



7.3 Investeringskosten

De samenstelling van de investeringskosten is samengevat in afbeelding 7.3. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de drie disciplines. De volledige uitwerking is te vinden in bijlage VI.

Afbeelding 7.3 Investeringskosten inclusief omzetbelasting

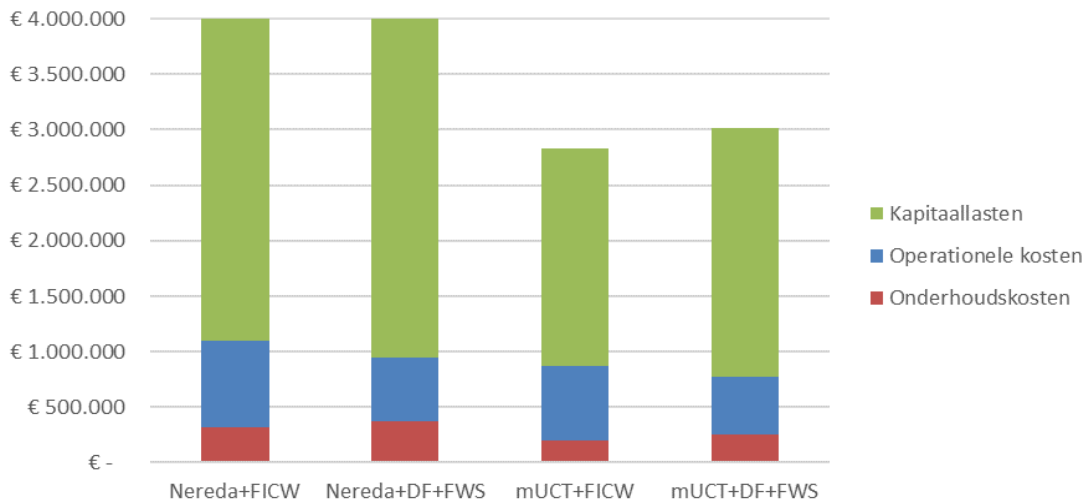


De investeringskosten van de nieuwbouw van rwzi Baarle-Nassau zijn geraamd op EUR 23,8 miljoen tot EUR 35,1 miljoen, afhankelijk van de variant. Voor alle varianten komt er nog een bandbreedte van $\pm 50\%$ bij. De meerderheid van deze kosten zit voor varianten 1 en 2 in de werktuigbouw en voor varianten 3 en 4 in de civiele onderdelen. Variant 3 is met deze berekening als voordeligste variant geschat, op de voet gevolgd door variant 4. De verschillen tussen de varianten zijn beperkt, vergeleken met de schaal en de huidige onzekerheid. Daarom is niet vast te stellen welke variant duurder of goedkoper uitpakt dan de andere varianten. Wel laat deze berekening duidelijk zien dat de mUCT-varianten een reële kans hebben om goedkoper uit te pakken. Indien de waterlijn van de technische hoofdzuivering van variant 3 in twee straten uitgevoerd wordt, nemen de investeringskosten met 55% toe tot EUR 37 miljoen door de grote overcapaciteit. Daardoor zouden de mUCT-varianten waarschijnlijk duurder uitpakken dan de Nereda-varianten. De bouwkosten van een tobermoriëfilter is vergelijkbaar met een ijzerzandfilter.

7.4 Jaarlijkse lasten

Afbeelding 7.4 geeft de jaarlijkse kosten weer. De figuur maakt onderscheid in kapitaallasten, operationele kosten en onderhoudskosten. Door de hoge investeringskosten dicteren de kapitaallasten de jaarlijkse lasten. De volledige uitwerking van de jaarlijkse lasten is te vinden in bijlage VII.

Afbeelding 7.4 Jaarlijkse lasten inclusief omzetbelasting



Variante 3 is met EUR 2,8 miljoen/y de goedkoopste variant, dankzij de laagste kapitaallasten en onderhoudskosten. De jaarlasten kunnen nog verder gereduceerd worden door tobermoriet toe te passen (paragraaf 7.2). Variante 2 is met een verwachte EUR 4,1 miljoen/j bijna 1,5 keer duurder.

7.5 Financiële samenvatting

De operationele kosten, investeringskosten en jaarlijkse lasten zijn samengevat in tabel 7.2.

Tabel 7.2 Samenvatting van operationele kosten, investeringskosten en jaarlijkse lasten, uitgaande van ijzerzand als filtermateriaal en inclusief omzetbelasting

| | Eenheid | Nereda+FICW | Nereda+DF+FWS | mUCT+FICW | mUCT+DF+FWS |
|----------------------------------|----------|-------------|---------------|-----------|-------------|
| totale voorziene bouwkosten | MEUR | 16,4 | 17,2 | 11,7 | 12,6 |
| totale investeringskosten | MEUR | 33,5 | 35,1 | 23,8 | 25,7 |
| bandbreedte min/max (50 %) | MEUR | 16,7-50,2 | 17,5-52,6 | 11,9-35,7 | 12,8-38,5 |
| energie | EUR/jaar | 107.300 | 106.600 | 132.700 | 132.000 |
| chemicaliën + verbruiksmateriaal | EUR/jaar | 78.500 | 6.900 | 54.200 | 2.100 |
| beheer | EUR/jaar | 87.100 | 87.100 | 38.700 | 38.700 |
| reststromen + overig | EUR/jaar | 514.700 | 373.700 | 449.800 | 347.500 |

| | Eenheid | Nereda+FICW | Nereda+DF+FWS | mUCT+FICW | mUCT+DF+FWS |
|---------------------|----------|-------------|---------------|-----------|-------------|
| operationele kosten | EUR/jaar | 787.700 | 574.300 | 675.400 | 520.300 |
| onderhoudskosten | EUR/jaar | 314.000 | 370.900 | 194.600 | 252.200 |
| kapitaallasten | EUR/jaar | 2.936.900 | 3.199.700 | 1.965.400 | 2.244.800 |
| totale jaarlasten | EUR/jaar | 4.038.600 | 4.144.900 | 2.835.400 | 3.017.300 |
| kosten per i.e. | EUR/i.e. | 202 | 207 | 142 | 151 |



PRESTATIE- EN RISICOBEOORDELING

De varianten zijn volgens de assetmanagement-driehoek van kosten, prestaties en risico's beoordeeld op prestaties/maatschappelijke (meer-)waarde. De waarde bestaat uit drie onderdelen. De eerste is vanzelfsprekend en randvoorwaardelijk dat er moet worden voldaan worden aan wet- en regelgeving, dus de effluentkwaliteit moet voldoen aan de (huidige) vergunningseisen. Daarnaast wordt meerwaarde behaald als er in de toekomst wordt bijgedragen aan ambities voor de waterkwaliteit in het ontvangende oppervlaktewater en als wordt bijgedragen aan ambities op de thema's duurzaamheid en circulariteit. In dit hoofdstuk wordt de mate waarin de prestaties bijdragen aan die ambities gescoord in ambitiewebben. Hierbij wordt gekeken naar de gehele levensduur in plaats van voor enkel het bouwproject.

De risico's van verschillende varianten zijn geïnventariseerd en kwalitatief beschreven, zodat binnen het waterschap aan de hand hiervan een risico-inschatting kan worden gemaakt op basis van de bedrijfswaarden-ricicomatrix. De best scorende variant in het ambitieweb is de voorkeursvariant van rwzi Baarle-Nassau.

8.1 Methodiek

Ter beoordeling van de varianten wordt een combinatie van de bedrijfswaarden van WSBD (afbeelding 8.1) voor beoordeling van de risico's en het recent opgestelde Ambitieweb op basis van de duurzaam GWW2.0-aanpak voor de beoordeling van de prestaties gebruikt [15]. De varianten dienen een zo groot mogelijk ambitieweb te vormen om met de prestaties zo veel mogelijk bij te dragen aan de ambities van het waterschap.

Afbeelding 8.1 Ricicomatrix Bedrijfswaarden WSBD 2022 samengevat

| Compliance | Financiële gezondheid | Continuïteit | Imago | Duurzaam | Omgevingsgericht |
|--|---|---|---|---|--|
| Voldoen aan afspraken en wettelijke verplichtingen | Op orde hebben en houden van de financiën en de maatschappelijke kosten | Op orde hebben en houden van de bedrijfszekerheid | Een positief beeld hebben en houden bij belanghebbenden | Een (positieve) impact op klimaat, milieu en biodiversiteit | De (leef)omgeving staat centraal |
| Waterkwaliteit en emissies | Leven Cyclus Kosten | Robuustheid en beschikbaarheid | | CO2 en MKI bouw en operatie | Emissies, visueel, geluid, belevingswaarde, waterkwaliteit/schoon water levering |

Het Ambitieweb duurzaam Grond/Weg/Waterbouw (dGWW) geeft de ambitie/doelstelling van WSBD weer voor waterketen, watersystemen en waterveiligheid, waarbij geldt dat niveau 1 behoud van de bestaande gang van zaken weergeeft. Alles boven 1 betekent dat er ambities zijn om te verbeteren. Dus hoe groter het web, hoe groter de ambities en de drive om kansen te pakken en te veranderen.

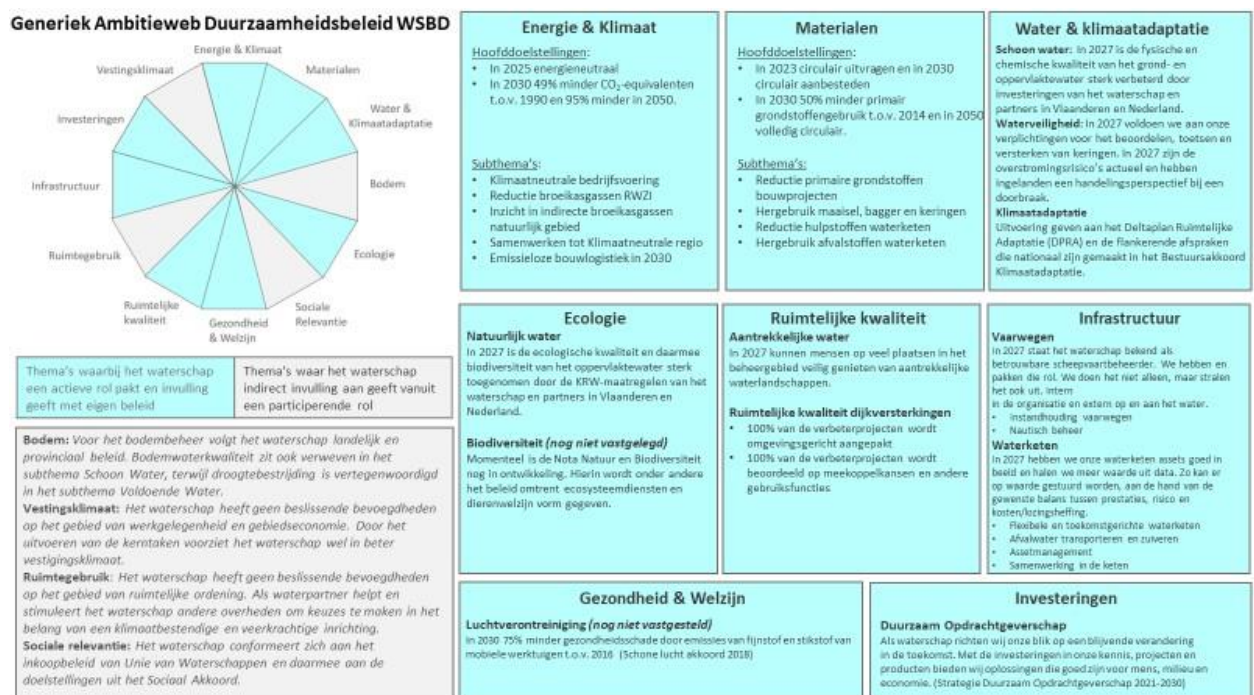
Duurzaamheid wordt op de acht criteria ondervangen in het Ambitieweb door te werken met vier scores, welke zijn toegelicht in tabel 8.1.

Tabel 8.1 Toelichting scores Ambitieweb

| Score | Toelichting |
|-------|---|
| 0 | verslechtering (niet voldoen aan huidige norm) |
| 1 | inzicht en geen verslechtering (voldoen aan huidige norm) |
| 2 | significante verbetering |
| 3 | maximale inzet voor grote verbetering |

Dit web is ontwikkeld vanuit een koppeling van een generiek ambitieweb met het duurzaamheidsbeleid van WSBD (afbeelding 8.2). In deze studie is de methode, die ontwikkeld is voor projecten, toegepast op de gehele levensduur de varianten. De thema's in het ambitieweb zijn toegelicht in bijlage VIII.

Afbeelding 8.2 Duurzaamheidsweb WSBD (in ontwikkeling eind 2022)



8.2 Resultaten vergelijking criteria ambitieweb

In deze paragraaf zijn de verschillende varianten gescoord op basis van de criteria van het ambitieweb met bijbehorende indicatoren. Onderstaand worden de scores verder toegelicht en uiteindelijk vertaald naar de score voor het opstellen van de ambitiewebben per variant. De score voor het ambitieweb is het gemiddelde van deelscores binnen hetzelfde criterium indien toepasselijk.

Energie en Klimaat

Tabel 8.2 geeft de totaalscores voor energie en klimaat weer, die zijn gebaseerd op deelscores voor energieverbruik en klimaat, uitgedrukt in kWh/jaar en CO₂-eq. De onderliggende berekeningen zijn omschreven in hoofdstukken 4.1 en 6.

Tabel 8.2 Deelscores van Energie en Klimaat per variant op ambitieweb

| Ambitie = 3 | Energieverbruik (kWh/j) | Deel-score | Klimaat (ton CO ₂ -eq/j) | Deel-score | Totaalscore |
|----------------------------|-------------------------|------------|-------------------------------------|------------|-------------|
| variant 1: Nereda + FICW | 444.000 | 2 | 677 | 2 | 2 |
| variant 2: Nereda+DF+FWS | 441.000 | 2 | 668 | 2 | 2 |
| variant 3: mUCT + FICW | 549.000 | 1 | 670 | 2 | 1,5 |
| variant 4: mUCT + DF + FWS | 546.000 | 1 | 664 | 2 | 1,5 |

Voor de Ambitiewebscore is voor energieverbruik het berekende energieverbruik voor de varianten in hoofdstuk 4.1 gebruikt om de score te bepalen. De berekende energieverbruiken liggen hoger dan het energieverbruik van de huidige zuivering (382.000 kWh in 2023). Dit komt door de overschatting van de beluchtingsenergie, zoals toegelicht in hoofdstuk 4.1. De verwachting is dat varianten 3 en 4 door het gebruik van een mUCT een vergelijkbaar energieverbruik zullen hebben als de huidige conventionele zuivering. Daarom is er bij deze varianten met 1 gescoord en bij een lager energieverbruik is er een score van 2 gegeven.

Klimaat (CO₂-eq emissie met groene energie) is de waarde van de operationele CO₂-impact per jaar, zie afbeelding 6.2. Voor alle varianten geldt dat de onvermijdelijke procesemissies de bulk van de uitstoot veroorzaken. De uitstoot is echter nog niet maximaal beperkt voor zover haalbaar: na procesemissies draagt transport het meeste bij aan de uitstoot, wat bijvoorbeeld nog beperkt kan worden door slib verder in te dikken. Daarom krijgt elke variant een score van 2.

Materialen

Materialen bestaat uit de som van de CO₂-impact van het verbruik van hulpstoffen, over de gehele levensduur, zie tabel 8.3. Bouwmaterialen zijn, net zoals in hoofdstuk 6, niet meegenomen.

Tabel 8.3 Scores van Materialen per variant op ambitieweb

| Ambitie = 3 | Hulpstoffen (ton CO ₂ -eq/levensduur) | Score |
|------------------------------|--|-------|
| variant 1: Nereda + FICW | 118 | 2 |
| variant 2: Nereda + DF + FWS | 306 | 1 |
| variant 3: mUCT + FICW | 0 | 3 |
| variant 4: mUCT + DF + FWS | 90 | 2 |

De enige hulpstoffen die de varianten gebruiken zijn ijzerchloride en ijzerzand. Ijzerzand is echter een restproduct van de drinkwaterindustrie en heeft daardoor geen CO₂-impact. Daarmee is de score van deze categorie direct te relateren aan het ijzerchlorideverbruik. Variant 3 kan chemicaliënvrij uitgevoerd worden en behaalt daarmee de maximaal haalbare score.

CO₂-impact als indicator voor materiaalgebruik

We hebben gekozen om CO₂-impact als indicator te gebruiken voor materialen en niet de hoeveelheid toegepast materiaal, omdat de CO₂-impact beter inzicht geeft in de klimaatimpact van de productie van het materiaal, de gebruiksfase en de CO₂-impact of CO₂-compensatie bij einde levensduur. Doordat ijzerchloride het enige materiaal met CO₂-impact is, scoort in dit geval alsnog direct de variant het 'slechts' met het meeste materiaalgebruik.

Ecologie

Scoring van ecologie staat weergegeven in tabel 8.4. De aanpak van microverontreinigingen, waaronder bijvoorbeeld zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) en medicijnresten, is beoordeeld in alle varianten, waarbij door de inzet van de ACW met eventuele biochartoevoeging in varianten 1 en 3 meer microverontreinigingen worden verwijderd. Alle varianten behalen door de aanwezigheid van de ecologische nazuivering een hoger verwijderingsrendement dan een conventionele zuivering en krijgen daardoor een score van 2 of 3. De verwijdering van ZZS vermindert ook de toxische druk op het ontvangende oppervlaktewater, net als de omzetting van ammonium tot nitraat in de ACW van varianten 1 en 3.

Tabel 8.4 Deelscores van Ecologie per variant op ambitieweb

| Ambitie = 1 | Aanpak ZZS en microver. | Deel-score | Biodiversiteit | Deel-score | Totaalscore |
|-----------------------------|-------------------------|------------|--|------------|-------------|
| variant 1: Nereda + FICW | ACW met biochar en FWS | 3 | 19.500 m ² waarvan 6.000 m ² belucht | 2,5 | 2,8 |
| variant 2: Nereda +DF + FWS | FWS | 2 | 22.000 m ² | 3 | 2,5 |
| variant 3: mUCT + FICW | ACW met biochar en FWS | 3 | 19.500 m ² waarvan 6.000 m ² belucht | 2,5 | 2,8 |
| variant 4: mUCT + DF + FWS | FWS | 2 | 22.000 m ² | 3 | 2,5 |

De FICW heeft een kleinere oppervlakte dan de FWS van varianten 2 en 4. Daarnaast bevat de FICW een beluchttingsinstallatie, wat kan drukken op de biodiversiteit in de ecologische nazuivering. Desalniettemin scoren alle varianten hoog op biodiversiteit door de toevoeging van de ecologische nazuivering.

Water en klimaatadaptatie

Water en klimaatadaptatie omvat oppervlaktewaterkwaliteit en zoetwaterbeschikbaarheid (tabel 8.5). Indien de waterkwaliteit voldoet aan de toekomstbestendige effluenteisen is een score van 2 toegekend. Indien ook de ambitiewaarde wordt behaald, is een score van 3 toegekend. Alle varianten behalen de effluenteisen, maar geen van alle varianten behaalt de ambities voor stikstof. Variant 1 en 3 zijn wel in staat om de ambities voor fosfor te halen.

Tabel 8.5 Deelscores van Water en klimaatadaptatie per variant op ambitieweb

| Ambitie = 3 | Waterkwaliteit | Deel-score | Zoetwater beschikbaarheid | Deel-score | Totaalscore |
|--------------------------|---|------------|--|------------|-------------|
| variant 1: Nereda + FICW | voldoet aan eisen voldoet niet aan ambitie voor N, kan wel voldoen aan P-ambitie | 2,5 | bruikbaar voor natuur en ondiep grondwater | 2 | 2,3 |
| variant 2: Nereda+DF+FWS | voldoet aan eisen voldoet niet aan ambities voor N en P | 2 | bruikbaar voor natuur en ondiep grondwater | 2 | 2 |
| variant 3: mUCT + FICW | voldoet aan eisen voldoet niet aan ambitie voor N, kan wel voldoen aan P-ambitie | 2,5 | bruikbaar voor natuur en ondiep grondwater | 2 | 2,3 |

| Ambitie = 3 | Waterkwaliteit | Deel-score | Zoetwater beschikbaarheid | Deel-score | Totaalscore |
|----------------------------|--|------------|--|------------|-------------|
| variant 4: mUCT + DF + FWS | voldoet aan eisen voldoet niet aan ambities voor N en P | 2 | bruikbaar voor natuur en ondiep grondwater | 2 | 2 |

Zoetwaterbeschikbaarheid geeft de mate waarin effluent herbruikbaar is aan. Door de ecologische nazuivering is de kwaliteit beter dan van de standaard rwzi, en dus beter (her-)bruikbaar voor natuur en landbouw. Dit betekent dat een score van 2 is toegekend aan alle varianten

Gezondheid en Welzijn

Het thema Gezondheid en Welzijn bestaat uit de bacteriologische kwaliteit en transportbewegingen (tabel 8.7). De transportbewegingen geven een indicatie aan de mogelijke overlast voor de omgeving, uitstoot van NOx en fijnstof. De transportbewegingen zijn bepaald voor zowel de aanvoer van chemicaliën en hulpstoffen als de afvoer van reststromen. Variant 3 en 4 vereisen minder transportbewegingen, maar vergen desalniettemin meer dan één transport per dag, net als de andere varianten. Daarom hebben alle varianten een score van 1 ontvangen.

Tabel 8.6 Deelscores van Gezondheid en welzijn per variant op ambitieweb

| Ambitie = 1 | Transportbeweging (aantal /j) | Deel-score | Bacteriologische kwaliteit (kve/100 ml) | Deel-score | Totaalscore |
|------------------------------|-------------------------------|------------|---|------------|-------------|
| variant 1: Nereda + FICW | 470 | 1 | zeer laag | 3 | 2 |
| variant 2: Nereda + DF + FWS | 460 | 1 | laag | 2 | 1,5 |
| variant 3: mUCT + FICW | 410 | 1 | zeer laag | 3 | 2 |
| variant 4: mUCT + DF + FWS | 400 | 1 | laag | 2 | 1,5 |

De score voor bacteriologische kwaliteit is kwalitatief bepaald aan de hand van de hoeveelheid kolonievormende eenheden (kve's) per 100 ml effluent. De afname van E-coli en intestinale entro-coccon is door het gebruik van de FWS al groot, waardoor voor variant 2 en 4 een score van 2 is toegekend. Varianten 1 en 3 bevatten tevens een ACW die zorgt voor een nog hogere verwijdering van bacteriologische kolonies, waardoor hiervoor een score van 3 is toegekend.

Ruimtelijke kwaliteit

De score voor ruimtelijke kwaliteit (tabel 8.7) wordt bepaald door de aanwezigheid van een technische installatie + een ecologische nazuivering op het terrein. In alle varianten is voldoende ruimte aanwezig op het perceel van rwzi Baarle-Nassau. Doordat de inrichting van het terrein groener, en minder 'technisch' wordt, leidt dit tot de score van 2 (verwijderen van alle technische installaties zou leiden tot de score van 3).

Tabel 8.7 Scores van Ruimtelijke kwaliteit per variant op ambitieweb

| Ambitie = 0 | Ruimtelijke kwaliteit | Score |
|------------------------------|--------------------------------|-------|
| variant 1: Nereda + FICW | rwzi + ecologische nazuivering | 2 |
| variant 2: Nereda + DF + FWS | rwzi + ecologische nazuivering | 2 |
| variant 3: mUCT + FICW | rwzi + ecologische nazuivering | 2 |
| variant 4: mUCT + DF + FWS | rwzi + ecologische nazuivering | 2 |

Infrastructuur

Infrastructuur zien we in relatie tot handelingen die verricht moeten worden om doelmatige instandhouding en verbetering van de varianten te waarborgen. Infrastructuur is in tabel 8.8 gescoord op combinatiescores voor betrouwbaarheid (onderverdeeld zijn in risico op uitval en TRL, zoals behandeld in hoofdstuk 5.1) en flexibiliteit (onderverdeeld in modulariteit en adaptiviteit).

Tabel 8.8 Combinatiescores van Infrastructuur per variant op ambitieweb

| Ambitie = 3 | Betrouwbaarheid | Deel-score | Flexibel | Deel-score | Totaalscore |
|------------------------------|---|------------|--------------------------------|------------|-------------|
| variant 1: Nereda + FICW | hoge kans op verstoring TRL van 9 en 7 | 0 | niet modulair, wel adaptief | 1 | 0,5 |
| variant 2: Nereda + DF + FWS | gemiddeld kans op verstoring TRL van 9, 7 en 9 | 1 | niet modulair, wel adaptief | 1 | 1 |
| variant 3: mUCT + FICW | weinig kans op verstoring TRL van 9 en 7 | 2 | niet modulair, wel adaptief | 1 | 1,5 |
| variant 4: mUCT + DF + FWS | weinig kans op verstoring TRL van 9, 7 en 9 | 2 | niet modulair, wel adaptief | 1 | 1,5 |

Variant 1 scoort beduidend lager op betrouwbaarheid door de kans op verstopping van de ACW door slibuitspoeling van de Nereda. Ondanks dat het in principe mogelijk is om Nereda modulair uit te voeren door bijvoorbeeld met het Verdygo-principe een tank toe te voegen, levert het in de praktijk problemen op. Een modulaire opzet wordt teniet gedaan doordat de tanks ingegraven moeten worden om onder de maximale bouwhoogte te blijven en om hydraulisch verval te bewerkstelligen. Alle varianten zijn tot op zekere hoogte adaptief omdat de procesonderdelen goed gestuurd kunnen worden, de zuiveringsprestaties kunnen worden verbeterd door chemicaliëndoseringen toe te voegen en omdat voldoende ruimte overblijft voor de fysieke inpassing van een eventueel in de toekomst toe te voegen procesonderdeel.

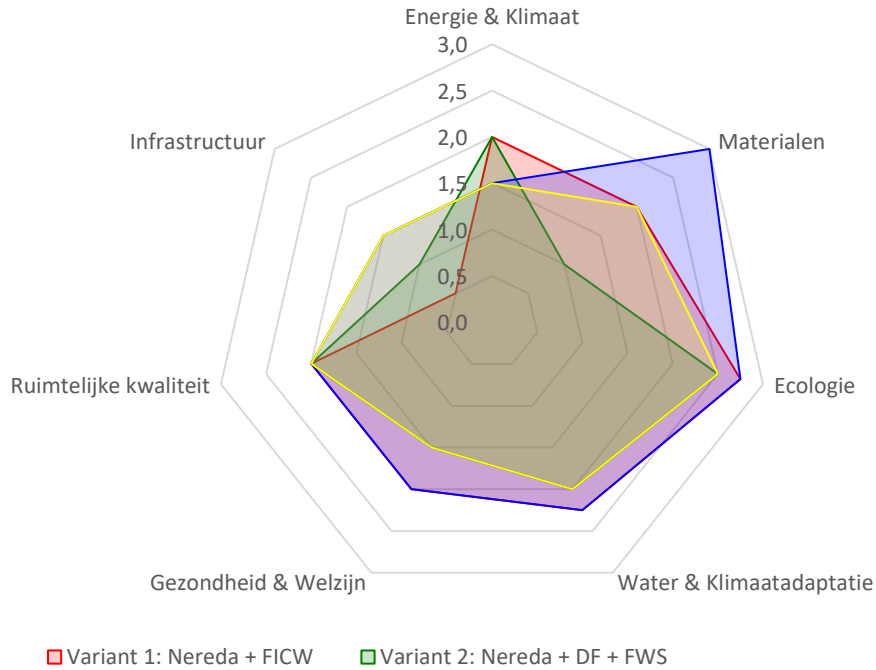
8.2.1 Resultaten Ambitieweb

De uitvoeringsvorm van het Ambitieweb zoals in bovenstaande uitwerking omvat meer (sub)thema's dan het officiële Ambitieweb, daarom zijn een aantal thema's met de bijbehorende scores samengevoegd. In tabel 8.9 is het resultaat te zien van de ambitieweb scores, in het format volgens het officiële Ambitieweb. In de ambitiewebanalyse is de voorkeursvariant vastgesteld aan de hand van de beste totaalscore of het grootste web, zoals weergegeven in afbeelding 8.3.

Tabel 8.9 Matrix met gecombineerde scores voor ambitieweb rwzi Baarle-Nassau

| | Energie & Klimaat | Materialen | Ecologie | Water & Klimaatadaptatie | Gezondheid & Welzijn | Ruimtelijke kwaliteit | Infrastructuur | Som |
|------------------------------|-------------------|------------|----------|--------------------------|----------------------|-----------------------|----------------|------|
| Variant 1: Nereda + FICW | 2,0 | 2,0 | 2,8 | 2,3 | 2,0 | 2,0 | 0,5 | 13,5 |
| Variant 2: Nereda + DF + FWS | 2,0 | 1,0 | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 2,0 | 1,0 | 12,0 |
| Variant 3: mUCT + FICW | 1,5 | 3,0 | 2,8 | 2,3 | 2,0 | 2,0 | 1,5 | 15,0 |
| Variant 4: mUCT + DF + FWS | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 2,0 | 1,5 | 13,0 |

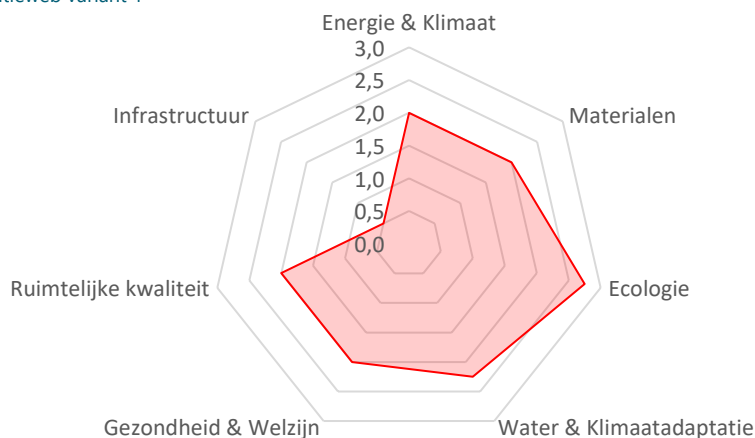
Afbeelding 8.3 Ambitiewebben gecombineerd



8.2.2 Beoordeling variant 1 Nereda + FICW

Variante 1, zoals weergegeven in afbeelding 8.4, scoort op de meeste thema's redelijk hoog. De variant scoort op elk thema minimaal 2, met uitzondering van thema infrastructuur. Op dit laatstgenoemde thema scoort variant 1 slechts 0,5, wat een achteruitgang weerspiegelt. Dit komt door de relatief hoge kans op storing door uitspoeling van de Nereda en de daaropvolgende verstopping van de ACW. Indien dit risico gemitigeerd kan worden, scoort deze variant zeer gunstig.

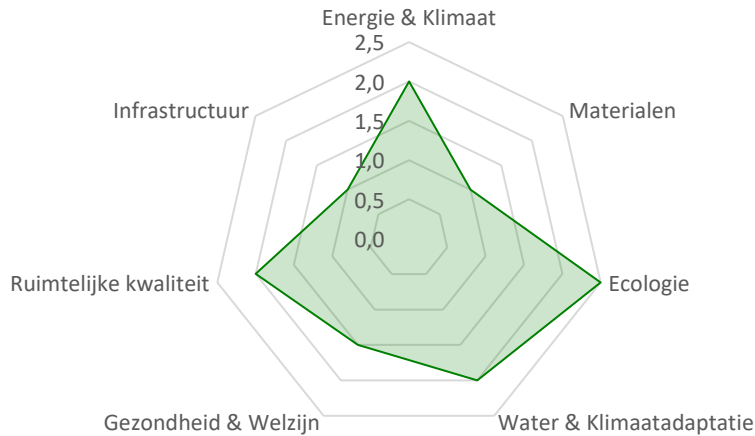
Afbeelding 8.4 Ambitieweb variant 1



8.2.3 Beoordeling variant 2: Nereda + DF + FWS

Zoals weergegeven in afbeelding 8.5 heeft variant 2 een kleiner web dan variant 1. De variant scoort voornamelijk lager op het thema materialen door het grotere gebruik van ijzerchloride. Variant 2 scoort wel iets beter op het thema infrastructuur dan variant 1, maar behaalt desalniettemin geen vooruitgang op de huidige situatie.

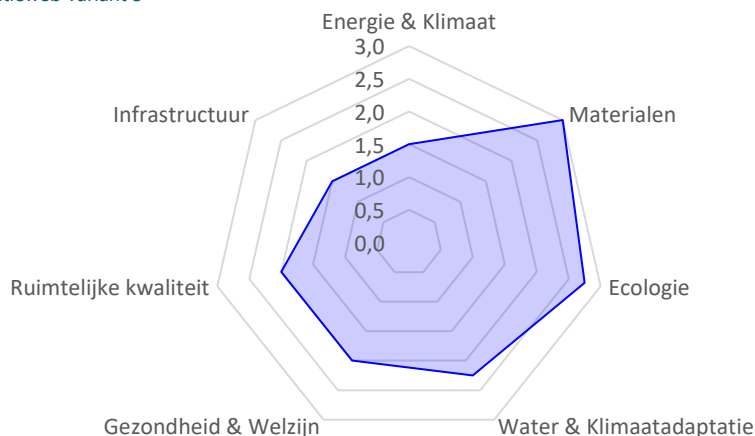
Afbeelding 8.5 Ambitieweb variant 2



8.2.4 Beoordeling variant 3: mUCT + FICW

Zoals weergegeven in afbeelding 8.6 scoort variant 3 op alle thema's minimaal 1,5 punt. Daarmee vormt het de meest allround goed-presterende variant. Op het gebied van materialen en ecologie scoort variant 3 (bijna) maximaal en ook op de meeste andere thema's scoort de variant minimaal 2. De variant heeft op elk thema de (gedeelde) hoogste score van alle varianten, met uitzondering van het thema energie en klimaat. De som van de scores is dan ook het hoogste met 15 ten opzichte van 13,5 voor variant 1, de tweede beste.

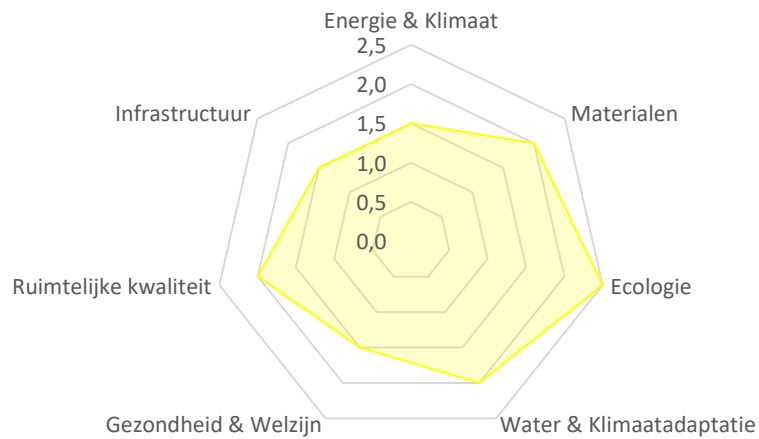
Afbeelding 8.6 Ambitieweb variant 3



8.2.5 Beoordeling variant 4: mUCT + DF + FWS

Zoals weergegeven in afbeelding 8.7 scoort variant 4 zeer vergelijkbaar met variant 3. Variant 4 scoort echter op vier thema's lager dan variant 3 en op slechts één thema hoger. Daarom is op basis van het ambitieweb geen reden om variant 4 te verkiezen boven variant 3. Deze lagere score komt voort uit het gebruik van ijzerchloride en de simpelere uitvoering van de ecologische nazuivering.

Afbeelding 8.7 Ambitieweb variant 4



9

CONCLUSIE

De rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) Baarle-Nassau, gelegen op de hoge zandgronden in Brabant, staat voor een belangrijke vernieuwing. Door de urgente droogteproblematiek biedt de rwzi Baarle-Nassau een kans om bij te dragen aan droogtebestrijding door het gebruik van effluent, wat momenteel niet gebeurt doordat het gezuiverde water snel wordt afgevoerd naar de Boven Mark. Deze rivier heeft een dringende opgave om de waterkwaliteit te verbeteren, vooral wat betreft stikstof (N) en fosfor (P), waarvan een aanzienlijk deel afkomstig is van de rwzi Baarle-Nassau. Met de verouderde installaties heeft WSBD besloten om de rwzi te vernieuwen met een robuust, modern actief-slibstelsysteem en nageschakelde ecologische zuivering. Het doel van deze vernieuwing is een toekomstbestendige rwzi die voldoet aan alle wettelijke eisen voor N en P, een goede effluentkwaliteit levert voor gezonde (water)natuur en onbemand blijft. De gekozen technologie sluit aan bij het principe van 'natuurlijke oplossingen waar het kan en technisch waar het moet' uit het Waterbeheerprogramma van WSBD.

Deze systeemkeuzestudie heeft de haalbaarheid en aantrekkelijkheid van verschillende zuiveringstechnologieën onderzocht en één voorkeursvariant geselecteerd op basis van prestaties en kosten. De risico's van de voorkeursvariant worden in een volgend traject uitgewerkt. Pas na het vaststellen en bijrijzen van de risico's kan de voorkeursvariant definitief worden gekozen.

9.1 Totstandkoming varianten

Om de voorkeursvarianten voor de nieuwbouw van rwzi Baarle-Nassau te bepalen, zijn verschillende technologieën vergeleken in een uitgebreide variantenafweging. De membraanbioreactor (MBR) bleek een zeer kansrijke technologie voor de hoofdzuivering vanwege de hoge score op waterkwaliteit, aansluiting op de nazuivering en ruimtegebruik. Het hoge energieverbruik van de MBR is echter een probleem, aangezien de huidige netaansluiting van rwzi Baarle-Nassau niet voldoende capaciteit biedt om de MBR te ondersteunen bij piekbelasting. Hierdoor is de MBR-variant uitgesloten en niet meegenomen in de studie.

De varianten-afweging is opgedeeld in twee delen: de 'technische' hoofdzuivering met het actief-slibstelsysteem en de 'natuurlijke' nazuivering of ecologische zuivering. De technologieën zijn beoordeeld met een sterkte-zwakteanalyse, gebaseerd op expert judgement en referentieprojecten. De meest kansrijke technologieën zijn gecombineerd om tot vier geschikte voorkeursvarianten voor rwzi Baarle-Nassau te komen.

Variant 1: aerob korrelslib-reactor met fully intensified constructed wetland.

Variant 2: aerob korrelslib-reactor met doekfilter en free water surface constructed wetland.

Variant 3: conventioneel actief slibstelsysteem met fully intensified constructed wetland.

Variant 4: conventioneel actief slibstelsysteem met free water surface constructed wetland.

Korrelslib scoorde onder andere door het kleinere ruimtegebruik beter dan het modified University of Cape Town (mUCT)-proces, maar het effluent van dit systeem kan hogere pieken van zwevende stof en fosfaat bevatten, wat het risico op verstopping van de Fully Intensified Constructed Wetlands (FICW) verhoogt en het P-totaalgehalte lager is. Daarom is besloten om zowel aerob korrelslib als mUCT te beschouwen voor de hoofdzuivering. Voor de nazuivering is gekozen voor de uitvoeringsvormen FICW en Free Water Surface (FWS). Beide varianten moeten fosfaat gedeeltelijk chemisch verwijderen om aan de strenge effluenteis te

voldoen. Omdat de FWS dit onvoldoende doet, is een defosfaterend doekenfilter nodig in de aanvoer naar de FWS. De FICW verwijdert het resterende fosfaat met ijzerzand.

9.2 Voorkeursvariant: mUCT + FICW

Uit de ambitiewebben van de verschillende varianten blijkt dat variant 3, bestaande uit mUCT en FICW, de hoogste totaalscore behaalt. Deze variant toont op elk thema een verbetering ten opzichte van de huidige situatie (score > 1). Op zes van de zeven thema's behaalt deze variant de (gedeelde) hoogste score. Ook op het laagst gescoorde thema, energie en klimaat, scoort variant 3 slechts 0,5 punt lager dan de hoogstscorende zuiveringsvariant. De som van alle scores van variant 3 is 15,0 ten opzichte van een score van 13,5 van variant 1, de tweede beste variant, bestaande uit Nereda en FICW. De hoge score van variant 3 is te verklaren door de chemicaliënvrije uitvoering, de bewezen betrouwbare technologieën en de uitgebreide ecologische nazuivering.

Andere voordelen van variant 3, die niet zijn meegenomen in het ambitieweb, zijn:

- de mogelijkheid om het P-filter uit te breiden om tot een lager fosfaatgehalte te zuiveren;
- de mogelijkheid om een C-bron te doseren op de ACW om tot een lager stikstofgehalte te zuiveren;
- de mogelijkheid om actief kool of biochar toe te voegen aan de nazuivering om ZZS te zuiveren;
- naar verwachting de laagste jaarlijkse kosten door de relatief lage investeringskosten.

Potentie variant 1: Nereda + FICW

Variant 1 behaalt ook hoge scores op veel thema's. Echter, de score voor infrastructuur is laag door de hoge kans op uitspoeling van zwevende stof en de daaropvolgende verstopping van de ACW. Het is mogelijk om de uitspoeling van zwevende stof te beperken, bijvoorbeeld door een doekenfilter toe te passen aan het effluent van de technische hoofdzuivering. Dit beperkt de kans op verstoringen en zorgt voor een hogere score op infrastructuur. Daardoor kan variant 1 op een vergelijkbaar niveau komen als variant 3.

10

REFERENTIES

- [1] Water- en Klimaatkring De Baronie, „Baarle-Nassau,” 8 8 2024. [Online]. Available: <https://www.klimaatportaalbaronie.nl/gemeente/baarle-nassau/>.
- [2] Waterschap Brabantse Delta, „Adviesnota 'Keuze in toekomstbestendige vernieuwing van RWZI Baarle Nassau' kenmerk 685815,” Breda, 2023.
- [3] STOWA, „Ervaringen met Hybride MBR Heenvliet,” STOWA 2009-35, 2009.
- [4] Council of the EU, „Urban wastewater: Council and Parliament reach a deal on new rules for more efficient treatment and monitoring,” European Council, 1 3 2024. [Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/01/29/urban-wastewater-council-and-parliament-reach-a-deal-on-new-rules-for-more-efficient-treatment-and-monitoring/>.
- [5] K. Okada en J. Vymazal, „The effect of aboveground biomass harvesting on nutrients removal in a constructed wetland treating municipal sewage,” *Ecological Engineering*, vol. 190, nr. 106918, 2023.
- [6] M. Land, W. Granéli, A. Grimvall, C. C. Hoffmann, W. J. Mitsch, K. S. Tonderski en J. T. Verhoeven, „How effective are created or restored freshwater wetlands for nitrogen and phosphorus removal? A systematic review,” *Environmental Evidence*, vol. 5, nr. 9, 2016.
- [7] A. v. Nieuwenhuijzen, A. v. Bentem, B. Reitsma en A. Bruunen, „Mogelijkheden en grenzen van het actiefslibproces,” *H2O*, pp. 33-36, 2008.
- [8] STOWA, „Handboek stikstof- en fosfaatverwijdering uit communaal afvalwater op rwzi's,” STOWA 2017-46, 2017.
- [9] R. H. Kadlec, *Treatment marshes for runoff and polishing*, CRC Press, 2019.
- [10] G. Renman en A. Renman, „Sustainable use of crushed autoclaved aerated concrete (CAAC) as a filter medium in wastewater purification,” in *8th International conference on sustainable management of waste and recycled materials in construction*, Gothenburg, Sweden, 2012.
- [11] STOWA, „Pilot PAK + doekfiltratie,” STOWA 2022-45, 2022.
- [12] STOWA, „Luchtgerelateerde emissies vanuit rwzi's in het kader van de i-Prtr,” STOWA 2014-09, 2014.
- [13] STOWA, „Ervaringen vanuit de Community of Practice (CoP) Emissies van lachgas vanuit rwzi's,” STOWA 2023-33, 2023.
- [14] STOWA, „Verkenning natuurlijke zuiveringssystemen voor verwijdering van organische microverontreinigingen,” STOWA 2022-42, 2022.
- [15] CROW, „Ambitiweb,” CROW, [Online]. Available: <https://www.duurzaamgww.nl/content/47-ambitiweb>). [Geopend 2024].
- [16] Metcalf & Eddy, Inc., *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- [17] N. Fonder en T. Headley, „Systematic classification, nomenclature and reporting for constructed treatment wetlands,” in *Water and nutrient management in natural and constructed wetlands*, 2011, pp. 191-219.
- [18] G. Dotro, G. Langergraber, P. Molle, J. Nivala, J. Puigagut, O. Stein en M. von Sperling, *Treatment Wetlands*, IWA Publishing, 2017.
- [19] Global Wetland Technology, „Jesi Municipal WWTP Tertiary Treatment,” Global Wetland Technology, [Online]. Available: <https://www.globalwettech.com/cn/component/k2/item/14-jesi-municipal-wwtp-tertiary-treatment.html>. [Geopend 2024].

- [20] W. K. Kirui, S. Wu, S. Kizito, P. N. Carvalho en R. Dong, „Pathways of nitrobenzene degradation in horizontal subsurface flow constructed wetlands: Effect of intermittent aeration and glucose addition,“ *Journal of Environmental Management*, vol. 166, pp. 38-44, 2016.
- [21] TECHRAS Miljø ApS, „Mecana filterløsninger,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.techras.dk/mecana-filterloesninger/>. [Geopend 25 10 2024].

BIJLAGE: VARIANTENAFWEGING TECHNOLOGIEËN

De voorkeursvarianten voor de nieuwbouw van rwzi Baarle-Nassau zijn gedefinieerd in deze bijlage. De variantenafweging is opgedeeld in twee delen van de zuivering: de 'technische' hoofdzuivering met het actief-slibstelsysteem en de 'natuurlijke' nazuivering ofwel de ecologische zuivering. Het uitgangspunt is dat de technische hoofdzuivering het water zo ver mogelijk zuivert als haalbaar, zodat de ecologische nazuivering zo effectief mogelijk werkt en niet overbelast wordt. De toekomstige effluentnormen voor rwzi Baarle-Nassau zijn leidend in het ontwerp, aangezien WSBD de ambitie heeft om een zo goed mogelijke effluentkwaliteit te leveren aan de omgeving.

De zuiveringstechnologieën zijn beoordeeld met een sterkte-zwakteanalyse, waarvan de methodiek staat omschreven in hoofdstuk I.1. De toelichting op de technieken en resultaten van de analyse zijn gesplitst in de technische hoofdzuivering (hoofdstuk I.2) en ecologische nazuivering (hoofdstuk I.5). De resulterende voorkeursvarianten zijn beschreven in hoofdstuk 2.1.

I.1 Methodiek

De variantenafweging is uitgevoerd met een sterkte-zwakteanalyse per technologie. Hiervoor is gekeken naar de sterktes, zwaktes, bedreigingen en kansen. De sterktes en zwaktes zijn eigenschappen van de technologieën en zijn beoordeeld aan de hand van beoordelingscriteria. Deze beoordelingscriteria zijn gebaseerd op de beoordelingscriteria van het Ambitiweb uit het voortraject, welke geïnspireerd zijn op de 'duurzaam GWW'-methodiek met een levensduur van 20 jaar. Bedreigingen en kansen worden beïnvloed door externe factoren (als leveranciers en mogelijkheden tot doorontwikkeling).

De technologieën zijn onderling vergeleken met een 5-puntsscore van --, -, 0, + en ++. De hoogste score (++) is voor de onderscheidend beste technologie. Dit wordt gevolgd door een score beter dan gemiddeld (+), niet onderscheidend (0) of minder dan gemiddeld (-). De laagste score (--) wordt gegeven aan de onderscheidend slechtste technologie. Deze scores zijn toebedeeld op basis van expert judgement en referentieprojecten.

I.2 Technologische hoofdzuivering

In deze analyse zijn enkel technologieën opgenomen die bewezen, robuust, onderhoudbaar, modern, energiezuinig en chemie-arm zijn. Het uitgangspunt is dat de technische hoofdzuivering het water zo ver als mogelijk zuivert, aangezien het actief slib-proces beter beheersbaar en jaarrond effectiever is dan de ecologische zuivering. Actief slib is een bewezen technologie met minimale storingskans en hoge robuustheid, wat passend is voor een onbemande locatie als rwzi Baarle-Nassau. De afweging voor een technische hoofdzuivering wordt gemaakt tussen de volgende actief-slibsystemen:

- conventioneel actief slib, uitgevoerd als modified University of Cape Town (mUCT);
- sequencing batch reactor (SBR), bijvoorbeeld als Intermittent Cycle Extended Aeration System Sequencing Batch Reactor (ICEAS advanced SBR);
- aerobisch korrelslib (AKS, zoals bijvoorbeeld Nereda);
- membraanbioreactor (MBR).

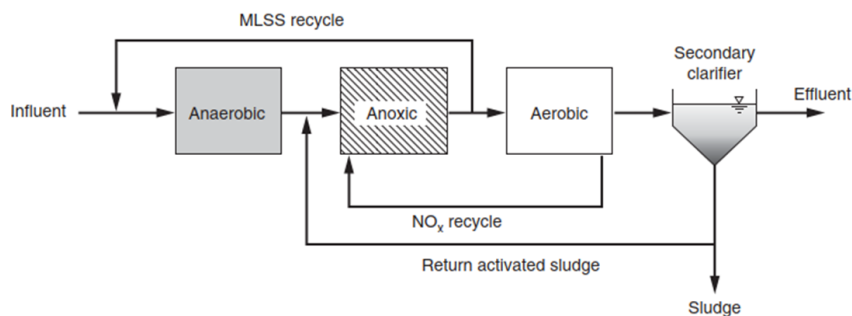
Toelichting technologieën

De onderzochte actief-slibsystemen zijn hieronder per paragraaf toegelicht.

Conventioneel Actief Slib

Afbeelding I.1 geeft een conventioneel actief slib-proces weer, uitgevoerd als mUCT. Influent wordt continu gevoed, waarna het afwisselende zones passeert (anaeroob, anoxisch en aeroob) met recirculatiestromen ten behoeve van biologische fosfaatverwijdering, stikstofverwijdering en goede slibbezinkenschappen. Het actief slib en water worden gescheiden in een nabezinktank. Het effluent wordt afgevoerd naar de nazuivering, het bezonken actief slib wordt teruggevoerd naar de hoofdzuivering en het spuislib wordt afgevoerd naar de sliblijn.

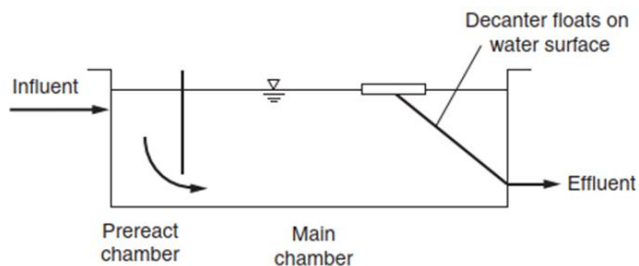
Afbeelding I.1 Biologische hoofdzuivering - modified University of Capetown [16]



Sequencing Batch Reactor

Afbeelding I.2 geeft het SBR-proces uitgevoerd als een ICEAS weer. Influent wordt continu gevoed in de pre-reactiekamer en stroomt onderlangs naar de hoofdkamer. Het zuiveringsproces in de hoofdkamer vindt plaats door verschillende fasen van een cyclus te doorlopen: beluchten, bezinken en decanteren. Door de toevoer naar de hoofdkamer onderlangs te laten stromen, wordt de bezinking niet verstoord en kunnen de fasen in dezelfde reactor plaatsvinden. Door het batchgewijs bedrijf is geen extra nabezinktank nodig voor de scheiding van actief slib en water. Wel is een effluentbuffer nodig om de aflaatpieken van het decanteren op te vangen en te egaliseren.

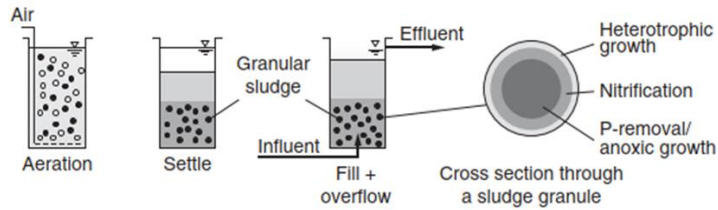
Afbeelding I.2 Biologische hoofdzuivering - Intermittent cycle extended aeration system [16]



Aeroob korrelslib

Afbeelding I.3 geeft een aeroob korrelslib-reactor weer. Het afvalwater wordt batchgewijs gevoed en doorloopt een cyclus met vullen en aflaten, beluchten en bezinken. Door in een gecombineerd proces de reactor vanaf de onderkant te vullen en aan de bovenkant het water af te laten wordt geselecteerd voor slibkorrels met goede bezinkenschappen. Dankzij deze korrelvorm is het tevens mogelijk een hoger actiefslibgehalte te gebruiken. Een influentbuffer is nodig om het water op te vangen tijdens de beluchtungs- en bezinkingsfases en een effluentbuffer is nodig om de pieken van het aflaten op te vangen.

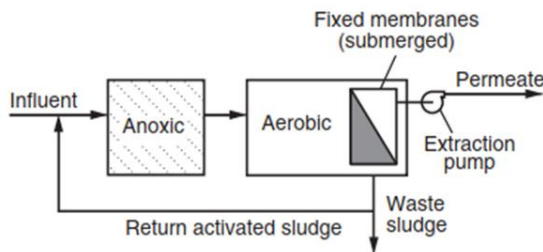
Afbeelding I.3 Biologische hoofdzuivering - aerob korrelslib [16]



Membraanbioreactor

Afbeelding I.4 geeft een ondergedompelde membraanbioreactor weer. De MBR combineert het actief slib-proces met membraanfiltratie. Doordat het slib wordt gescheiden door het membraan, is een nabezinktank niet nodig en kan een hoger actief slibgehalte worden gehandhaafd. De membraanfiltratie resulteert ook in een lage hoeveelheid zwevende stof in het effluent en gedeeltelijke desinfectie.

Afbeelding I.4 Biologische hoofdzuivering - membraan bioreactor [16]



Uitkomst sterkte-zwakteanalyse

Afbeelding I.5 geeft de resultaten van de sterkte-zwakteanalyse van de technische zuiveringstechnologieën weer. Hierin zijn de eigenschappen van de verschillende technologieën kwalitatief tegen elkaar uitgezet om tot een voorkeursvariant te komen. De scores zijn onder de afbeelding per paragraaf toegelicht.

Afbeelding I.5 Resultaten sterkte-zwakteanalyse technische zuiveringstechnologieën

| | Conventioneel actiefslib | Korrelslib | ICEAS SBR | Membraanbioreactor |
|--|--------------------------|---|--|---|
| Energieverbruik | + | + | + | -- |
| Procesemissies | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Grondstoffen en bouwmaterialen | -- | - | - | + |
| Hulpstoffen en chemicaliën | + | + | - | - |
| Medicijnrestverwijdering | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Biodiversiteit | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Waterkwaliteit i.r.t. normstelling | + | + | + | ++ |
| Aansluiting op ecologische nazuivering | 0 | - | 0 | ++ |
| Bacteriologische kwaliteit | 0 | 0 | 0 | + |
| Transportbewegingen (obv slib) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Inpassing in omgeving | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ruimtegebruik | -- | + | - | ++ |
| Betrouwbaarheid (storingskans en TRL) | ++ | ++ | + | + |
| Flexibiliteit (modulair en adaptief) | -- | + | + | + |
| Kansen | Grootschalig toegepast | Grootschalig toegepast Kaamera-productie | | Effluentkwaliteit geschikt voor opwaarderen tot gietwater |
| Bedreigingen | - | Gepatenteerde technologie | Niet grootschalig toegepast in Nederland | Eén MBR op rwzi, rest toegepast in industrie |

In de onderlinge vergelijking komen de korrelslibreactor en membraanbioreactor het best naar voren. De mUCT en ICEAS scoren minder goed in de vergelijking. De ICEAS scoort op geen enkel criterium als onderscheidend het best of slechtst. De onderstaande alinea's lichten de beoordeling per criterium toe. Eerst zijn de onderscheidende criteria toegelicht, daarna de niet-onderscheidende criteria.

Energieverbruik

De membraanbioreactor scoort aanzienlijk lager op energieverbruik dan de andere drie technologieën. Het hoge energiegebruik wordt veroorzaakt door de membraandruk, de benodigde beluchting voor de reiniging van de membranen en de circulatiepompen om het water langs de membranen te voeren.

Grondstoffen en bouwmaterialen

Het conventioneel actief slibstelsysteem scoort het laagst op het gebruik van grondstoffen en bouwmaterialen. De hoeveelheid benodigde bouwmaterialen is groter door de noodzakelijke nabezinking. De ICEAS en korrelslibreactor scoren vergelijkbaar op bouwmaterialen, doordat de ICEAS iets groter uitgevoerd wordt, maar minder internals bevat dan de korrelslibreactor. De membraanbioreactor scoort onderscheidend beter door de compacte uitvoering.

Hulpstoffen en chemicaliën

De ICEAS en membraanbioreactor scoren lager dan het conventioneel actief slibstelsysteem en de korrelslibreactor. De biologische fosfaatverwijdering in een ICEAS functioneert doorgaans minder goed dan bij de andere technologieën, waardoor meer ijzerchloride gedoseerd moet worden om tot de gewenste fosfaatconcentratie te komen. Het conventioneel actief slibstelsysteem en de korrelslibreactor hebben een doorgaans goed functionerende biologische fosfaatverwijdering, waardoor minder dosering van ijzerchloride nodig is. De membranen van de membraanbioreactor moeten periodiek schoongemaakt worden met behulp van chemicaliën.

Waterkwaliteit in relatie tot normstelling

Alle zuiveringstechnologieën kunnen de gewenste effluentkwaliteit behalen. De membraanbioreactor verwijdert onopgeloste bestanddelen onderscheidend beter, waardoor deze technologie een lager fosfaatgehalte in het effluent behaalt.

Aansluiting op ecologische nazuivering

Het criterium Aansluiting op ecologische nazuivering toetst of de zuiveringstechnologie geschikt is als voorstadium voor de ecologisch nazuivering. De ecologische nazuivering is vooral gevoelig voor een hoge vracht aan onopgeloste bestanddelen.

De membraanbioreactor scoort het best door de onderscheidend beste verwijdering van onopgeloste bestanddelen. De korrelslibreactor heeft een hoger risico op uitspoeling van slib met een piek in onopgeloste bestanddelen ten gevolg.

Bacteriologische kwaliteit

De bacteriologische kwaliteit is gelinkt aan de uitstroom van onopgeloste bestanddelen. Het effluent van de technische hoofdzuivering wordt behandeld door de ecologische nazuivering, waardoor dit criterium slechts van beperkt belang is voor de hoofdzuivering. De MBR heeft echter een dusdanig desinfecterend effect, dat dit kan doorwerken tot aan het einde van de ecologische nazuivering.

Ruimtegebruik

De membraanbioreactor scoort onderscheidend het best op ruimtegebruik door de compacte uitvoering. Dit komt voort uit een kleinere beluchtingstank door het hoge slibgehalte en geen benodigde nabezinktank door de membraanfiltratie.

Het korrelslib bezinkt snel, waardoor geen nabezinktank nodig is bij een korrelslibreactor. Het conventioneel actief slibstelsysteem scoort onderscheidend lager op ruimtegebruik door de noodzakelijke nabezinking. De ICEAS combineert de beluchting en nabezinking in één tank, waardoor het minder oppervlak nodig heeft dan een conventioneel actief slibstelsysteem.

Betrouwbaarheid

Het conventioneel actief slibstelsysteem en de korrelslibreactor scoren beiden het hoogst op betrouwbaarheid. Beide technologieën zijn in Nederland beproefd als goed functionerend en met een lage storingskans.

De ICEAS is ook betrouwbaar, maar scoort lager doordat het enkel op rwzi Weesp wordt toegepast voor zuivering van communaal afvalwater. De betrouwbaarheid van een MBR is vergelijkbaar met een ICEAS ingeschat.

Flexibiliteit

De flexibiliteit is beoordeeld als modulariteit (schaalbaarheid op basis van losse onderdelen) en adaptiviteit (aanpasbaarheid in procesvoering). Alle technologieën zijn nauwkeurig en met vergelijkbare mate te sturen in de procesvoering.

Het conventioneel actief slibstelsysteem scoort het laagst doordat zowel een nieuwe beluchtingstank als nabezinktank nodig zijn bij uitbreiding van de capaciteit. De korrelslibreactor, ICEAS en membraanbioreactor kunnen uitgevoerd worden in één tank, waardoor de capaciteit beter te schalen is.

Kansen en bedreigingen

Het conventioneel actief-slibstelsysteem en de korrelslibreactor zijn beiden op grote schaal toegepast, waardoor de benodigde expertise beschikbaar is. Bovendien is WSB al bekend met conventioneel actiefslibsystemen. De ICEAS wordt niet veelvuldig op grote schaal toegepast in Nederland, maar wel internationaal. De membraanbioreactor wordt veelvuldig op alle schaalgroottes toegepast in de industrie en internationaal, Europees gezien met name in Scandinavië, voor communale en industriële installaties. De praktijkervaring in de communale afvalwaterzuivering in Nederland beperkt zich tot rwzi Ootmarsum (buiten bedrijf vanwege aanpassing lozingsisen en energie), rwzi Heenvliet (buiten bedrijf vanwege energie en aanpassing zwemwatereisen ontvangend oppervlaktewater) en rwzi Terneuzen (nog steeds in bedrijf).

De goede verwijdering van onopgeloste bestanddelen door de membraanbioreactor biedt de mogelijkheid om het water verder op te werken tot gietwaterkwaliteit. Een kans voor de korrelslibreactor is dat er onderzoek wordt gedaan naar het extraheren van de biobased grondstof Kaumera® uit het korrelslib. Een bedreiging voor de korrelslibreactor is dat het een gepatenteerde technologie betreft.

Niet-onderscheidende criteria

De verschillende zuiveringstechnologieën zijn niet onderscheidend van elkaar op het gebied van procesemissies, medicijnrestverwijdering, biodiversiteit, bacteriologische kwaliteit, transportbewegingen en inpassing in de omgeving.

De procesemissies worden bepaald op basis van afbraak van organisch materiaal en risico op lachgas, wat in deze fase niet onderscheidend is. Ook heeft geen van de technologieën een aantoonbaar betere medicijnrestverwijdering.

De impact op biodiversiteit (buiten de grenzen van de rwzi) wordt in mindere mate beïnvloed door de technische hoofdzuivering, maar hoofdzakelijk door het aantal riooloverstorten en de effluentkwaliteit van de nazuivering.

In alle varianten moet een vrijwel gelijke hoeveelheid slib afgevoerd worden, waardoor het aantal transportbewegingen niet als onderscheidend wordt gezien. Een eventuele toename van transportbewegingen door de productie van chemisch slib en de aanvoer van chemicaliën is niet significant vergeleken met de transportbewegingen voor de afvoer van biologisch slib.

De inpassing in de omgeving wordt niet als onderscheidend beoordeeld, doordat alle varianten bestaan uit meerdere betonnen constructies met een maximale bouwhoogte van 4 meter hoog. Wel moeten de aerob korrelslib-reactoren ingegraven worden om de benodigde waterhoogte te behalen.

1.3 Ecologische nazuivering

De nageschakelde ecologische zuivering verwijdert in de zomermaanden extra nutriënten, en voor zover mogelijk ook microverontreinigingen en pathogenen, op energie- en chemicaliënarme wijze, en biedt ook kansen qua biodiversiteit. Het huidige perceel dat in eigendom is van het waterschap biedt naar verwachting genoeg ruimte voor een ecologische zuivering.

Er zijn veel uitvoeringsvormen van een ecologische nazuivering mogelijk. Om tot een selectie te komen, voeren we eveneens een sterkte-zwakteanalyse uit voor de ecologische nazuivering. Voor de sterkte-zwakteanalyse gaan we uit van een voedingswaterkwaliteit naar de ecologische nazuivering van N = 10 mg/l en P = 0,7 mg/l; het ontwerp gaat van scherpere effluentwaarden uit. In de analyse nemen we vastbedsystemen mee die verticaal en/of horizontaal worden doorstroomd [14]. Openwater systemen werden in eerste instantie niet geschikt geacht omdat deze juridisch niet als onderdeel van de rwzi worden beschouwd. Dan moet het effluent vóór de ecologische zuivering bemeten worden, wat niet de bedoeling is. Echter werd na verder overleg tijdens de werksessie op 7 juni 2024 (referentienummer 142182/24-008.540) toch een dergelijke variant opgenomen, in de duidelijke veronderstelling dat het systeem geïsoleerd wordt van de omgeving/grondwater door middel van een ondoorlaatbare folie.

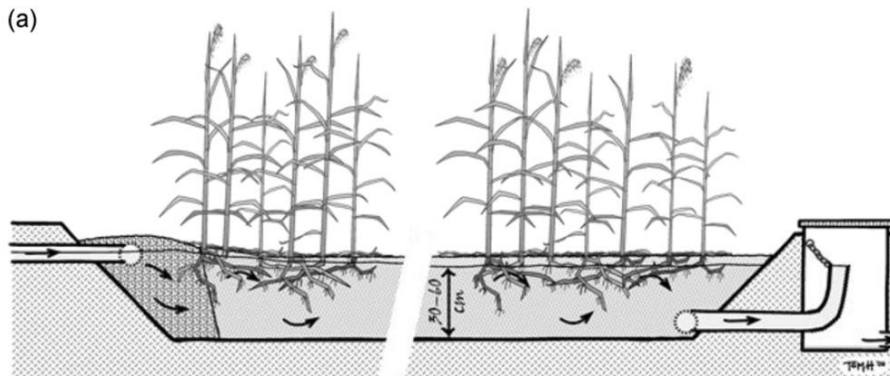
Toelichting technologieën

Horizontal subsurface flow constructed wetlands (HSSF CW)

HSSF CW worden in het Nederlands aangeduid als horizontaal doorstroomde helofytenfilters of vastbedsystemen, soms ook als wortelzonierietvelden. Ze bestaan typisch uit een ondiep (30-60 cm) bekken, afgesloten met een plastic folie om uitwisseling met het grondwater te voorkomen (Afbeelding 1.6). Dit bekken wordt gevuld met een poreus materiaal zoals grind of lava, en beplant met helofyten (typisch riet en/of lisdodde). Het water stroomt ondergronds tussen de wortels van de planten door, en wordt gezuiverd door een combinatie van fysische (filtratie, adsorptie), chemische (precipitatie) en biologische (microbiële omzettingen en opname door planten) processen. Het waterniveau wordt ingesteld via een flexibele elleboog aangesloten op de drainagebuis, en wordt een 5 à 10 cm onder het grindoppervlak gehouden. Aangezien het poreuze materiaal verstoppingsgevoelig is, is het essentieel om de toevoer aan zwevende

stoffen te beperken. Gezien de ondergrondse stroming is er beperkte zuurstoftransfer, wat resulteert in een anaerobe omgeving, wat gunstig is voor denitrificatie.

Afbeelding I.6 Typische uitvoeringsvorm HSSF CW [17]

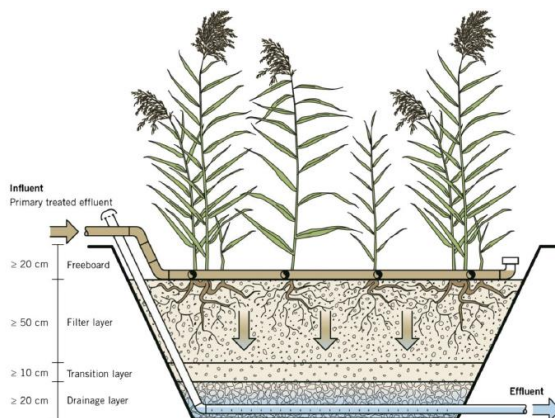


Vertical flow constructed wetlands (VF CW)

VF CW worden in het Nederlands aangeduid als verticaal doorstroomde vastbedsystemen of helofytenfilters, soms ook als infiltratierietvelden. Ze worden typisch uitgevoerd als een waterdicht bekken van een meter diep, gevuld met lagen zand en grind van verschillende korrelgrootte, en beplant met helofyten zoals riet, lisdodde, enz. (afbeelding i.7). Het afvalwater wordt bovenop opgebracht, infiltreert, en wordt onderaan via een drainagebuis afgevoerd. De processen zijn gelijkaardig als bij HSSF CW (filtratie, adsorptie, plantenopname, microbiële omzettingen). Bij deze uitvoering zijn twee zaken van essentieel belang:

- 1 Ook hier is verstopping een wezenlijk probleem, en dus moet de OB toevoer laag gehouden worden. Omdat er in de meeste gevallen toch onvermijdelijk een sliblaag ontstaat boven op de zandlagen, worden VF CW altijd met meerdere parallelle bekkens gebouwd, waarbij één bekken altijd in 'rustfase' is, t.t.z. geen afvalwater ontvangt. Hierdoor droogt de sliblaag bovenop uit en krijgt de kans om te mineraliseren, wat een voldoende infiltratiecapaciteit garandeert op langere termijn;
- 2 VF CW worden in principe intermitterend gevoed (een snel opgepompt volume afvalwater, en daarna een paar uur geen voeding). Dit zorgt voor sterk aerobe condities, waardoor VF CW zeer geschikt zijn voor BOD verwijdering en nitrificatie. Door een kleine elleboog op de drainagebuis te plaatsen, kan onderaan het filter een verzadigde (anoxische) waterlaag gecreëerd worden, waarin enige denitrificatie mogelijk is.

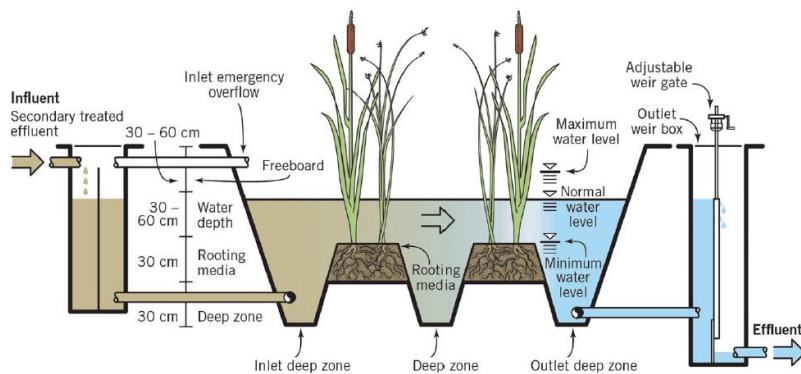
Afbeelding I.7 Typische uitvoeringsvorm VF CW [18]



Free water surface constructed wetlands (FWS CW)

Deze systemen worden in het Nederlands vloeirietvelden genoemd, en zijn *in se* het hart van de in Nederland bekende Waterharmonica systemen. Typisch worden deze uitgevoerd als lange S-vormige sloten van een 60-90 cm diep, wat een betere hydraulische efficiëntie oplevert. Naargelang de case worden de bekken ook geïsoleerd met een waterdichte folie, of wordt infiltratie naar het grondwater toegestaan. FWS CW worden ook beplant met helofyten. De meeste helofyten verdragen geen grotere waterdieptes; soms wordt dit toch bewust gedaan, zoals in afbeelding i.8, bijvoorbeeld om extra volume te voorzien om slib te bergen, om extra zonlicht in het water te krijgen (UV-desinfectie en foto-oxidatie) of simpelweg om wat meer habitat variëteit in het systeem te krijgen. Ook hier speelt een combinatie van fysische (filtratie en sedimentatie), chemische (precipitatie) en biologische (microbiële omzetting en plantenopname) processen. Dicht bij het wateroppervlak zijn de omstandigheden aerob, terwijl dicht bij de bodem de omstandigheden eerder anaerob zijn, wat een brede range aan microbiële omzettingen mogelijk maakt. Dit soort systemen wordt wereldwijd ingezet voor tertiaire zuivering, omdat er door de voorafgaande zuiveringsstappen geen risico meer is op geuroverlast.

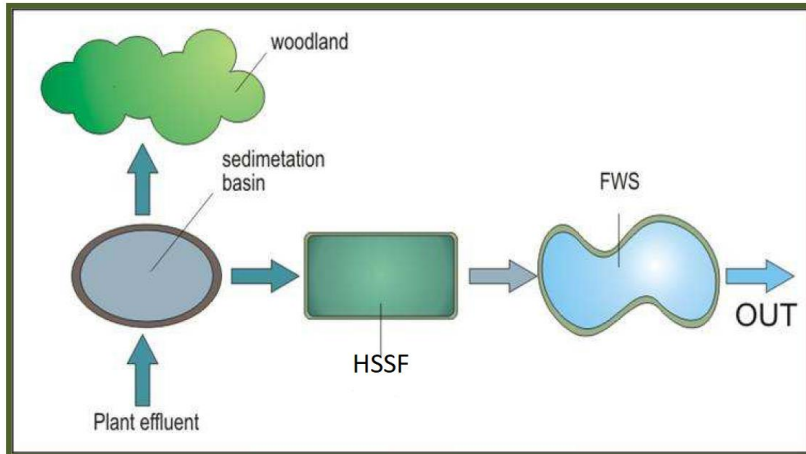
Afbeelding I.8 FWS CW in de 'marsh-pond-marsh' uitvoering [18]



Hybride systeem bestaande uit een combinatie van HSSF-CW en FWS-CW

In de praktijk worden de voorgaande drie systemen vaak gecombineerd tot 'hybride CW', wat toelaat om de mindere punten van één bepaald type te compenseren door een ander type bij te schakelen. Er zijn verschillende mogelijke combinaties, maar hier is uitgegaan van de combinatie HSSF-FWS CW, gebaseerd op een praktijkcase uit Italië [19]. Het HSSF CW is een uitstekende filter en houdt uitspoelend actief slib tegen, en zowel HSSF CW als FWS CW hebben een goede denitrificatie capaciteit en dragen aldus bij aan N-verwijdering. Het sedimentatiebekken uit afbeelding i.9 is niet meegenomen in de sterkte-zwakteanalyse, maar zoals hoger beschreven is de toevoer aan zwevende stoffen een aandachtspunt voor het ontwerp.

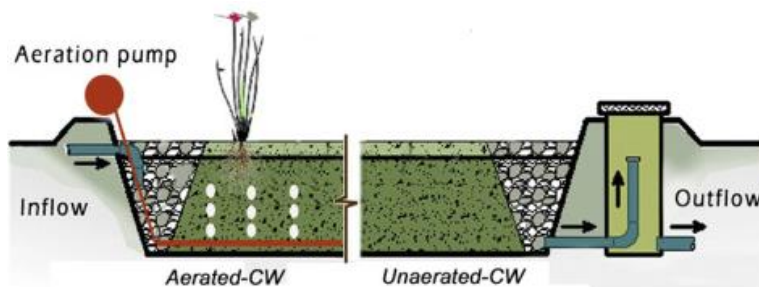
Afbeelding I.9 Hybride CW, case uit Jesi, Italië [19]



Aerated constructed wetland (ACW)

Beluchte helofytenfilters (Afbeelding I.10) hebben in het afgelopen decennium een zeer sterke groei gekend. Klassiek bestaan deze uit een HSSF CW waar op de bodem op regelmatige afstanden beluchtingsbuizen toegevoegd worden. Door de beluchting gaan de microbiële omzettingen sneller en efficiënter, en daalt ook het risico op verstopping. Hierdoor kunnen ACW veel compacter uitgevoerd worden, met een oppervlaktevraag die 3-4x lager ligt dan klassieke VF CW of HSSF CW. Door met intermitterende (aan/uit) beluchting te werken of slechts een deel van de filter te beluchten, kan naast nitrificatie ook (gedeeltelijke) denitrificatie bekomen worden, en kan ook de verwijdering aan medicijnresten vaak verbeterd worden. Gezien de geringe waterdiepte (typisch 1 m) verbruikt de beluchting relatief weinig energie.

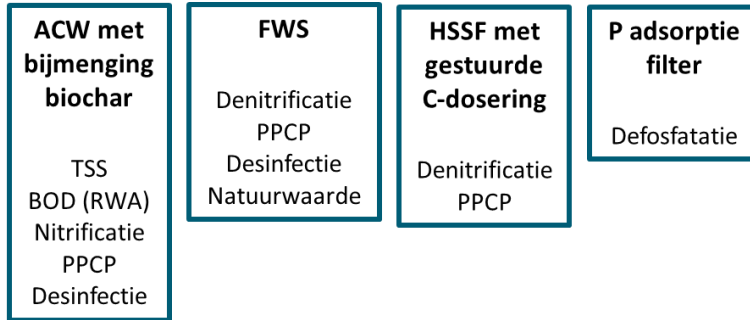
Afbeelding I.10 ACW met beluchte en onbeluchte zone [20]



Fully intensified CW (FICW)

Naast artificiële beluchting zijn er nog andere manieren om de werking van een helofytenfilter te verbeteren. Net zoals bij conventionele systemen kan er bij ongunstige COD/N verhoudingen bijv. een koolstofbron gedoseerd worden. Verder wordt er heel vaak gebruik gemaakt van alternatieve filtermaterialen (naast grind etc.) met een sterke adsorptiecapaciteit voor fosfaten en/of micropolluenten. Voor RWZI Baarle-Nassau kan volgende ecologische nazuiveringstrein interessant zijn (Afbeelding I.11).

Afbeelding I.11 Principeschema fully intensified constructed wetland



- 1 ACW met bijmenging van biochar: zoals beschreven in de alinea van Aerated Constructed Wetland kan een belucht rietveld beter overweg met eventuele uitspoelende deeltjes (OB of TSS), en kan via een minimale verblijftijd door de artificiële beluchting oxidatie van restfracties BOD en Kjeldahl-stikstof bekomen worden. Nitraat is in principe makkelijker te verwijderen in de volgende stap (FWS) dan TN (totale stikstof). Beluchting heeft ook een gunstig effect op desinfectie en voor de verwijdering van de meeste micropolluenten. Biochar of biokoolstof is een koolstofrijk product dat wordt geproduceerd uit organische reststromen (gewasresten, snoeihout, zuiveringsslib, ...) via pyrolyse. Deze pyrolyse verloopt energieneutraal tot energiepositief, wat van biochar een interessant, circulair product maakt. Biochar kan nog verder geactiveerd worden (chemisch of met stoom), waardoor een soort actief kool ontstaat. 'Gewone' biochar is dus niet geactiveerd, maar heeft niettemin al een aantal eigenschappen gemeen met actief kool, waaronder de sorptie van bepaalde micropolluenten. Door de micropolluenten te adsorberen en los te koppelen van de waterstroom (hydraulische verblijftijd) krijgen de aanwezige micro-organismen en planten meer tijd voor opname en afbraak. Hier is reeds ervaring mee (op pilotschaal) in Nederland (WUR) en omliggende landen (Duitsland, Luxemburg);
- 2 FWS CW: analoog als I.8. Het idee is om in deze stap nitraat zoveel mogelijk te denitrificeren met behulp van detritus (dode plantenbiomassa) als C-bron;
- 3 HSSF CW met C-dosering: gezien de beschikbare oppervlakte te weinig is voor volledige denitrificatie (zie verder à kentallen) is een extra stap aangewezen. De beperkende factor voor denitrificatie is meestal biologisch afbreekbare C, dus C-dosering kan hieraan verhelpen. Met dit principe is er o.a. reeds ervaring opgebouwd in België (Microflor, Rietland), Nederland (DOW/Evides project) en Frankrijk;
- 4 Om tot de vereiste zeer lage effluent concentraties aan P te geraken, is een extra adsorptiestap nodig, bijvoorbeeld een ijzerzandfilter zoals in De Groote Meer.

Uitkomst sterkte-zwakteanalyse

De sterkte-zwakte ecologische van de ecologische nazuivering wordt weergegeven in Afbeelding I.12. De scores worden vervolgens tekstueel nader toegelicht.

Afbeelding I.12 Sterkte-zwakteanalyse varianten ecologische nazuivering

| | FWS | HSSF | VF | ACW | HSSF-FWS | FICW |
|---------------------------------------|-----|------|----|-----|----------|------|
| Energieverbruik | ++ | ++ | 0 | 0 | ++ | 0 |
| Procesemissies | 0 | 0 | - | - | 0 | - |
| Grondstoffen en bouwmaterialen | ++ | -- | -- | - | - | -- |
| Hulpstoffen en chemicaliën | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | -- |
| Medicijnrestverwijdering | 0 | - | 0 | 0 | 0 | ++ |
| Biodiversiteit | ++ | 0 | 0 | - | + | 0 |
| Waterkwaliteit i.r.t. normstelling | -- | -- | -- | - | - | ++ |
| Zoetwaterbeschikbaarheid (o.b.v. ETP) | - | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| Bacteriologische kwaliteit | + | + | ++ | ++ | + | ++ |
| Transportbewegingen (O&M) | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | - |
| Inpassing in omgeving | ++ | + | + | + | ++ | + |
| Ruimtegebruik | - | 0 | 0 | 0 | - | - |
| Betrouwbaarheid (kans op storing) | ++ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Flexibiliteit (adaptief) | -- | -- | 0 | 0 | -- | ++ |

Energieverbruik

In principe kunnen de opties FWS, HSSF, ACW, HSSF-FWS en FICW – als de terreintopografie het toelaat – volledig gravitair werken waardoor er geen pompenergie nodig is. Een VF CW heeft wel een pomp nodig vanwege de intermitterende belasting. ACW en FICW verbruiken daarnaast energie voor de beluchting. Vandaar dat VF, ACW en FICW (waarin een ACW onderdeel zit) lager gescoord werden. Noteer echter dat deze energievraag minimaal is ten opzichte van de technische hoofdzuivering, dus in principe is de energievraag niet echt een onderscheidend criterium.

Procesemissies

Heel wat studies hebben aangetoond dat CW broeikasgassen uitstoten, zowel CO₂, CH₄ als N₂O. Een deel van deze uitstoot wordt gecompenseerd door de sequestratie van CO₂ in de plantenbiomassa. Alhoewel de cijfers in de literatuur sterk variëren, zijn er toch indicaties dat VF en ACW relatief gezien meer N₂O uitstoten. Aangezien N₂O veruit het grootste *Global Warming Potential* heeft, werden VF, ACW en FICW (waarin een ACW onderdeel zit) iets lager gescoord. Opnieuw: gezien de lage ingangconcentraties aan COD en TN is de uitstoot van broeikasgassen relatief ten opzichte van de technische hoofdzuivering wellicht ook verwaarloosbaar, en daarom niet echt een onderscheidend criterium.

Grondstoffen en bouwmaterialen

Alle varianten hebben minstens een ondoorlatende folie nodig om te vermijden dat afvalwater de bodem indringt. Dat is meteen het enige substantiële bouw materiaal dat nodig is voor een FWS, vandaar de hoogste score voor FWS. Alle andere varianten hebben vulmateriaal nodig (zand of grind of gelijkaardig), wat gezien de oppervlakte waarover we spreken snel over honderden vrachtwagens gaat. Vandaar de sterk contrasterende negatieve scores ten opzichte van FWS. ACW en HSSF-FWS werden iets minder negatief gescoord omdat een ACW compacter is (minder oppervlakte dus minder vulmateriaal) en de HSSF-FWS vanwege de FWS component ook minder vulmateriaal vraagt. Hoewel de FICW optie wellicht ook iets compacter kan uitvallen, zijn daar extra materialen nodig (bijv. ijzerzand voor fosfaatadsorptie, en biochar), daarom ook een sterk negatieve score.

Hulpstoffen en chemicaliën

Alle opties, op één uitzondering na, werden sterk positief gescoord. De kracht van een ecologische zuivering is net dat er geen extra hulpstoffen of chemicaliën nodig zijn. De enige uitzondering is de FICW, waar mogelijk een C-bron nodig is, en waar het adsorptiemateriaal (bijvoorbeeld ijzerzand) wellicht om de paar jaar vervangen zal moeten worden wegens verzadiging.

Medicijnrestverwijdering

Beschikbaar cijfermateriaal varieert heel sterk en dit criterium werd daarom als niet-onderscheidend gescoord, op twee uitzondering na. De meeste metingen tonen aan dat HSSF (anaerobe omgeving) minder goed medicijnresten verwijderen, daarom een lagere score. Anderzijds is de verwachting dat een FICW door

de variatie aan systemen, door de toevoeging van biochar en door de beluchting wel een significante bijdrage kan leveren aan het verwijderen van micropolluenten, vandaar de positieve score.

Biodiversiteit

FWS werd hier het meest positief gescoord, aangezien (i) dit systeem het meest op een natuurlijk moerasgebied lijkt, en (2) er makkelijkst met vorm en diepte (habitat types) te variëren valt om tot een zo natuurlijk en biodivers mogelijk geheel te komen. Dit is (veel) minder het geval bij andere types helofytenfilters. HSSF en VF werden neutraal gescoord omdat de begroeiing hier wel enige diversiteit toelaat, maar door het werken met vulmaterialen zijn er minder (biodiversiteits)mogelijkheden dan bij een FWS. De HSSF-FWS combinatie werd logischerwijze intermediair gescoord. ACW werd licht negatief gescoord aangezien (i) deze optie de minste oppervlakte vraagt maar dus ook de minste groene oppervlakte oplevert, (ii) de plantengroei vaak wat geremd door de beluchting wat tot een minder groen uitzicht leidt, (iii) het geluid van de beluchting potentieel afschrikkend werkt. Het FICW combineert de nadelen van een ACW met de voordelen van een FWS-CW en werd daarom ook neutraal gescoord.

Waterkwaliteit in relatie tot normstelling

Met referentie naar het cijfermateriaal en de randvoorwaarden beschreven onder 3.5, is het duidelijk dat de gestelde normen zeer ambitieus zijn, en zeer moeilijk te halen met een volledig natuurlijk systeem, tenzij een veel grotere oppervlakte beschikbaar zou zijn. Op het beschikbare perceel kunnen de normen alleen gehaald worden met het FICW, enkel deze wordt daarom positief gescoord. Met alle andere varianten blijven we naar verwachting boven deze normen, vandaar de negatieve scores. ACW en HSSF-FWS zijn iets efficiënter en scoren daarom minder negatief, maar zijn ook niet in staat om de normen te behalen.

Zoetwaterbeschikbaarheid

Zoetwaterbeschikbaarheid is hier opgevat als de hoeveelheid water die potentieel verloren kan gaan in zomerse omstandigheden door evaporatie (verdamping) en transpiratie door de planten. Op zeer warme dagen kan makkelijk 1-2 cm (1-2 L/(m².dag)) water verloren gaan. Uitgaande van 2 ha helofytenfilter (min of meer de beschikbare oppervlakte) en een DWA debiet van 2.617 m³/dag:

- hydraulische loading rate = 2.617 m³/dag / 20.000 m² = 0,13 m/dag = 13 cm/dag;
- bij een ETP van 1 cm/dag gaat er dus 1/13 ≈ 7 % water verloren.

Door het verlies aan water wordt de hydraulische verblijftijd verlengd, wat een positief effect heeft; maar anderzijds zorgt dit ook voor een indamping van het effluent, wat een negatief effect heeft. Beide processen compenseren elkaar dus grotendeels. Dit waterverlies komt bij alle varianten voor, maar is dus sterk afhankelijk van de oppervlakte. FWS en HSSF-FWS vereisen meest oppervlak, en werden daarom iets negatiever gescoord dan de andere varianten, maar relatief gezien zullen de verschillen niet zo groot zijn.

Bacteriologische kwaliteit

Elke variant zal in zekere mate pathogene micro-organismen verwijderen (voor alle varianten naar verwachting 1-3 log eenheden). Uit de literatuur komt naar voor dat VF en ACW net iets efficiënter zijn, vandaar dat VF en ACW en FICW (waarin een ACW component zit) iets gunstiger gescoord werden.

Transportbewegingen (O en M)

Bij alle varianten zijn er transportbewegingen nodig om gemaaide planten af te voeren. Typische (bovengrondse) biomassa-opbrengst bij nazuivering ligt rond de 2 kg **droge stof** per m² en per jaar. Om te veel verstoring tegen te gaan wordt er best jaarlijks (op de overgang winter-lente) 50 % van de oppervlakte gemaaid. Verder is er in principe geen transport vereist, aangezien er geen chemicaliën of afvalstoffen zijn. Vandaar dat alle varianten sterk positief gescoord worden (ten opzichte van conventionele waterzuivering). De FICW variant is de uitzondering hierop, aangezien naar verwachting het P-adsorberend materiaal na een aantal jaar vervangen zal dienen te worden. Gezien de grote volumes zorgt dit voor een aanzienlijk transport, vandaar de negatieve score.

Opmerking: bij een eventuele verstopping van de varianten met vulmateriaal (VF, HSSF, ACW, FICW) kan het deels vervangen van vulmateriaal nodig zijn. Ook dit kan heel wat transportbewegingen opleveren. Een goed ontwerp en degelijke bedrijfsvoering zijn essentieel om verstopping te vermijden. Bij de varianten met een

FWS kan er eventueel slibophoping ontstaan in de inlaatzone, waardoor (om de paar jaar) slibuiming nodig kan zijn.

Inpassing in de omgeving

Alle varianten zijn goed in te passen in de omgeving, maar omwille van de hoger aangehaalde redenen bij Biodiversiteit worden de varianten met FWS nog net iets positiever gescoord.

Ruimtegebruik

Bij alle varianten zal sowieso alle beschikbare oppervlakte (~23.000 m²) ingenomen dienen te worden. Daarom werd deze indicator hier opgevat als de hoeveelheid ruimte nodig om tot de norm te komen. FWS helofytenfilters vergen globaal genomen de meeste ruimte, vandaar dat alle varianten met een FWS component iets negatiever gescoord werden.

Betrouwbaarheid (kans op storing en TRL)

Bij een FWS systeem kan er weinig tot niks fout lopen. Een FWS verstopt niet, kan zeer sterk fluctuerende stromen verwerken. Potentieel moet er op langere termijn eens slib geruimd worden uit de inlaatzone, maar dat komt niet als storing in aanmerking. Alle andere varianten werden neutraal gescoord vanwege de mogelijke kans op verstopping van het vulmateriaal en/of een mogelijk defect aan de beluchting (ACW en FICW). Het stilvallen van de beluchting heeft een korte-termijn effect op de zuiveringsefficiëntie, maar geen verdere lange-termijn effecten. Verstopping moet te allen tijde vermeden worden, door een deugdelijk ontwerp (OB belasting) maar vooral ook door een goede bedrijfsvoering (bypass RWA waar nodig).

Flexibiliteit (modulair en adaptief)

Adaptief werd hier opgevat als mogelijkheden om de werking bij te sturen. FWS en HSSF hebben een volledig passieve werking, en hebben daarom nauwelijks handvaten tot bijsturing. Enkel het ingaande debiet, en eventueel het waterniveau (door middel van uitlaatregeling) kan aangepast worden. Vandaar de negatieve scores. VF en ACW werden neutraal gescoord, aangezien hier beperkte mogelijkheden zijn tot bijsturing: bij VF door controle van batchfrequentie- en volume, bij ACW door controle van de beluchting (debiet, aan/uit sturing, sturing op concentratie). Deze mogelijkheden zijn er ook bij het FICW, maar daarnaast is hier ook een C-dosering of bypass van influent voorzien (als C-bron), vandaar nog net iets flexibeler.



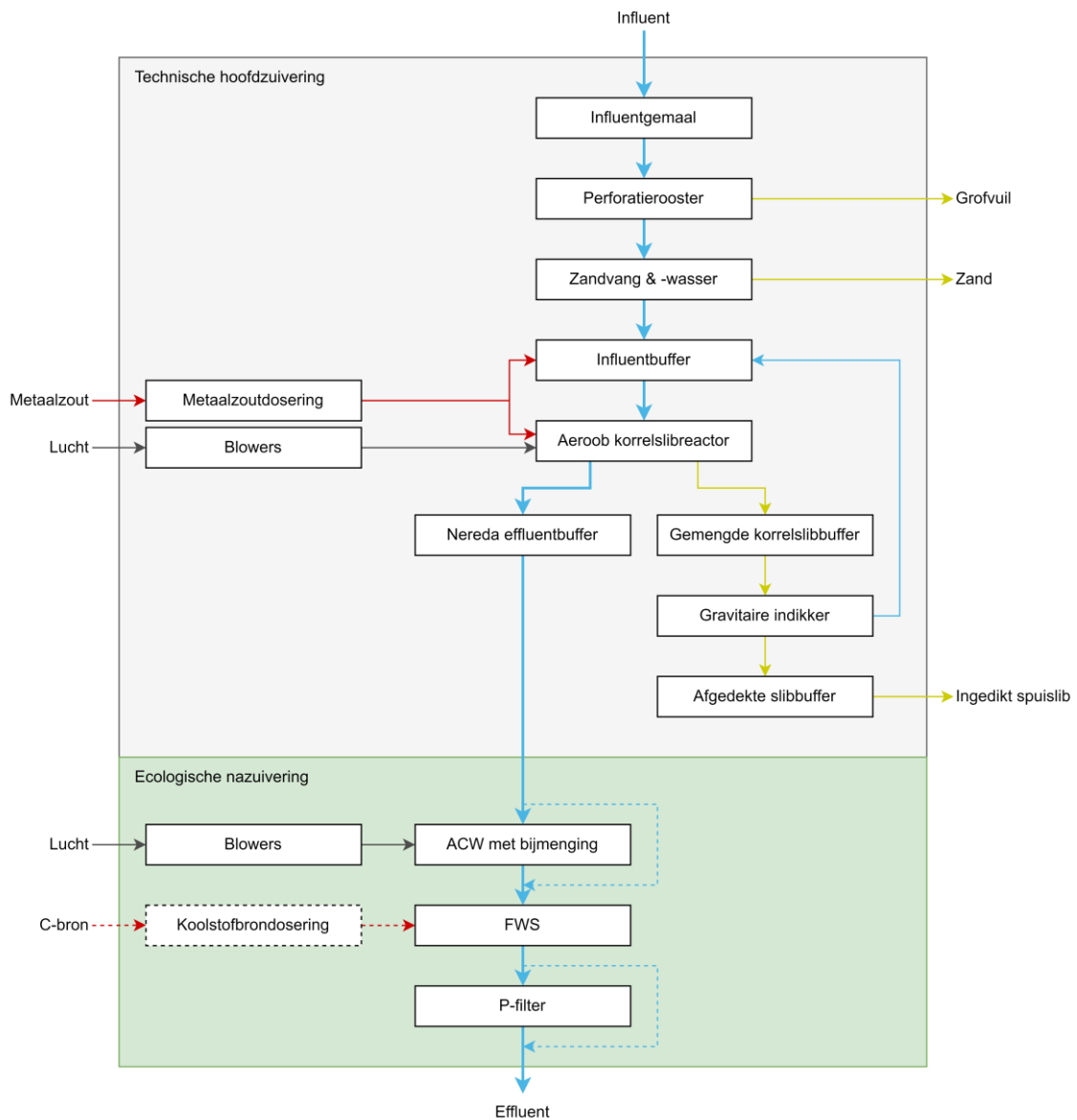
BIJLAGE: PROCESBESCHRIJVINGEN

Bijlage I heeft al van elke overwogen technologie een korte beschrijving gegeven. In deze bijlage wordt dieper ingegaan op de werking van de geselecteerde technologieën. Ook wordt breder gekeken naar de omliggende processtappen, zoals in de voor- en nabehandeling en sliblijn.

II.1 Variant 1 - Nereda met fully intensified constructed wetland

Afbeelding II.1 geeft het blokkenschema weer van variant 1, bestaande uit een technische hoofdzuivering met Nereda en metaalzoutdosering, en een ecologische nazuivering uitgevoerd als fully intensified constructed wetland.

Afbeelding II.1 Processchema variant 1 - Nereda met fully intensified constructed wetland. Blauwe stippellijnen geven bypasses weer. De koolstofbrondosering is optioneel



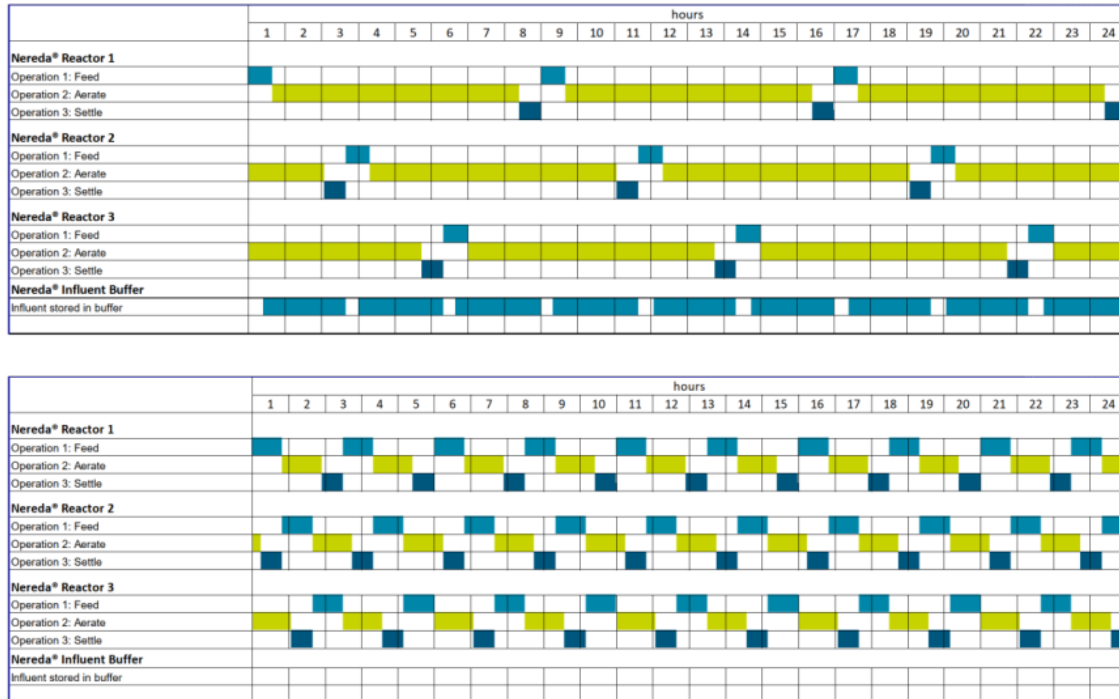
Technische hoofdzuivering - Voorbehandeling influent

De technische hoofdzuivering begint met een influentgemaal dat het binnenkomende water oppompt. Het water stroomt vervolgens door een grofvuilrooster. Dit grofvuilrooster is een essentiële stap ter bescherming van de Nereda-reactor en voor het afvangen van organisch materiaal. Nereda-reactoren zijn gevoelig voor vervuiling, omdat de reactoren meer onderdelen bevatten waar dit vuil aan kan blijven hangen dan conventionele systemen. Het grofvuilrooster heeft een maaswijdte van 6 mm en een capaciteit van 550 m³/h, zodat al het influent behandeld kan worden. Volgens RoyalHaskoningDHV, de ontwikkelaar van Nereda, gaat de voorkeur uit naar een perforatierooster, maar uit de ervaringen van WBL blijkt dat een staafrooster ook een mogelijkheid is. In deze studie is uitgegaan van een perforatierooster, maar dit kan mogelijk geoptimaliseerd worden in het VO. Vanwege de noodzakelijkheid van het grofvuilrooster wordt deze redundant uitgevoerd. Een fijnzeef is niet noodzakelijk.

Het afvalwater passeert vervolgens een zandvang. Het verzamelde zand wordt vervolgens gespoeld in een zandwasser en afgevoerd. Het spoelwater stroomt terug naar de zandvang.

Daarna wordt het afvalwater opgeslagen in een influentbuffer om de Nereda-reactoren te voeden. De Nereda-reactoren wisselen elkaar af met het legen van de influentbuffer (Afbeelding II.2). De influentbuffer is gedimensioneerd om RWA te op te vangen gedurende de maximale periode tussen twee vulfasen. De influentbuffer en Nereda-reactoren zijn dusdanig gedimensioneerd dat zelfs geen bypass nodig is tijdens RWA op momenten dat één Nereda-reactor uit bedrijf is. Dit is essentieel voor het beperken van de vracht van onopgeloste bestanddelen naar de ecologische nazuivering.

Afbeelding II.2 Voorbeeld van de Nereda-cyclus tijdens DWA en RWA bij een ontwerp met drie reactoren



Technische hoofdzuivering - Zuivering Nereda-reactoren

De Nereda-reactoren onttrekken het voorbehandelde afvalwater uit de influentbuffer. De aerob korrelslib-reactoren doorlopen een cyclus bestaande uit 3 fasen:

- 1 vulfase: de Nereda-reactor wordt vanaf de onderkant gevuld met gezeefd afvalwater, waardoor een propstroom ontstaat en het gezuiverde afvalwater aan de bovenkant wordt afgelaten. Spuislib wordt van de bovenkant van de sliblaag onderin de reactor onttrokken om tot de gewenste slibconcentratie te komen en te selecteren voor slib met goede bezinkeigenschappen. De vulfase is onbelucht en doet daarmee tevens dienst als anaerobe fase ten behoeve van de selectie op fosfaat-accumulerende bacteriën, die gedurende de anaerobe vultijd het makkelijk afbreekbare deel van het BZV omzetten in polyhydroxyalkanoaten (PHA) en fosfaat ophopen in het korrelslib;
- 2 beluchte fase: het korrelslib wordt belucht om nutriënten uit het afvalwater te zuiveren. Een zuurstofconcentratie van 1-3 mg/l leidt tot een zuurstofgradiënt in de korrel, waardoor zowel denitrificatie (anaerob) als nitrificatie (aerobe) processen plaats kunnen vinden. Fosfaat wordt opgenomen door de groei van het korrelslib. De beluchte fase kan uitgebreid worden met een anoxische fase, waarin de beluchting wordt geminimaliseerd om denitrificatie te stimuleren;
- 3 bezinkfase: na de reactiefase wordt de beluchting uitgezet, waardoor het korrelslib bezinkt. Na de bezinkfase begint de cyclus opnieuw bij de vulfase.

In de vulfase wordt ook geledigd: het gezuiverde effluent wordt afgevoerd naar de effluentbuffer. Deze buffer vangt het effluent uit de Nereda-reactoren op, waarmee het de piekaanvoer van het batchproces dempt. Hierdoor is het effluentdebiet in geen geval hoger dan het influentdebiet. De dimensionering is gebaseerd op de maximale hoeveelheid onttrokken effluent bij een RWA-cyclus wanneer één Nereda-reactor buiten bedrijf is.

In de Nereda-reactoren wordt onvoldoende fosfaat biologisch verwijderd om te voldoen aan de strenge effluenteisen. Hierdoor is aanvullende fosfaatverwijdering nodig. Dit wordt gedaan door gerichte dosering van ijzerchloride. Het gevormde chemische slib wordt met het spuislib afgevoerd en verwerkt.

Locatie van de metaalzoutdosering

In voorgaande Nereda-ontwerpen is het doseerpunt in de reactor geplaatst. Recentelijk heeft zich een nieuwe ontwikkeling ingezet om metaalzout al in de turbulente zone achter het invoerpunt van de influentbuffer te doseren. Dit heeft als voordeel dat de doseercapaciteit lager kan en de contacttijd langer wordt. De menging wordt dan gegenereerd door een mixer. Het allernieuwste inzicht is om op beide locaties te doseren: in de influentbuffer om het meeste fosfaat te verwijderen en in de beluchte fase van het Nereda-proces voor polishing.

Technische hoofdzuivering - Slibindikking

Het spuislib wordt tijdens de vulfase afgetapt uit de Nereda-reactor en afgevoerd naar de korrelslibbuffer. Vervolgens gaat het slib naar de gravitaire indikker - zoals in bedrijf op RWZI Riel -, waar het meer tijd heeft om beter te bezinken tot een drogestofgehalte van ca. 2,5 %. Het overtollige water stroomt terug naar de influentbuffer. Het ingedikt slib wordt opgeslagen in de afgedekte slibbuffer tot het afgevoerd wordt naar de slibgistinginstallatie van rwzi Nieuwveer.

Uitgesloten optie: Voorindikker

Een andere optie in de sliblijn is om een voorindikker te plaatsen in plaats van de korrelslibbuffer, waardoor de gravitaire indikker hoger belast en dus kleiner wordt. Deze optie is echter duurder en complexer. Daarnaast geeft dit ook een langere totale verblijftijd, waardoor sneller fosfaat wordt teruggeleverd. Het is echter onzeker of de extra teruglevering significant is.

Ecologische nazuivering - Fully intensified constructed wetland

De beperkende factor is hier vooral de P-verwijdering, dit is op de beschikbare oppervlakte niet mogelijk met een standaard CW. Speciale vulmaterialen met extra P-adsorptiecapaciteit zijn hiervoor nodig. De ecologische nazuivering is daarom als volgt uitgewerkt:

- 1 een *vertical flow* belucht rietveld (ACW) met beperkte bijmenging van biochar of actief kool. Er is voor dit type gekozen omdat:
 - bij *vertical flow* het influent over het volledige oppervlak verdeeld wordt, wat gunstig is om verstopping te voorkomen. Bovendien zijn er aanwijzingen dat de beluchting zelf ook helpt om verstopping te voorkomen. Het is wel belangrijk om meteen mee te geven dat bij overmatige toevoer van OB het risico op verstopping te groot is, waardoor wellicht een deel van het debiet gebypast moet worden, rechtstreeks naar stap 2;
 - de beluchting perfect in staat is om restconcentraties BOD te oxideren en restconcentraties Kjeldhal stikstof te nitrificeren (ook bij RWA). Vooral dat laatste is de bedoeling, aangezien nitraat verderop in het systeem makkelijker te verwijderen is dan TN;
 - de beluchting weinig energie vraagt, en mits sturing op basis van debiet of nog beter op basis van een gemeten DO concentratie optimaal kan ingesteld worden. Door met aan/uit beluchting te werken, kunnen ook deels anoxische omstandigheden gecreëerd worden, wat reeds voor gedeeltelijke denitrificatie kan zorgen;
 - de biochar of actief kool organische micropolluenten zoals medicijnresten kan adsorberen, waardoor er meer tijd is voor (micro)biologische afbraak. Deze afbraak verloopt voor de meeste stoffen ook beter in aerobe omstandigheden. Uit onderzoek blijft dat veel medicijnresten > 80 % verwijderd worden, er is echter wel nog geen lange termijn ervaring met dit soort systemen;
 - initieel mag hier ook P-verwijdering verwacht worden, maar aangezien de materialen hier niet speciaal geselecteerd zijn voor fosfaatadsorptie, treedt er meestal vrij snel (1-3 jaar) verzadiging op, waardoor de P-verwijdering grotendeels stilvalt;
- 2 een *free water surface constructed wetland* (FWS). Dergelijk CW is goed in staat om nitraat te verwijderen, en zal ook deels P verwijderen via vastlegging in de biomassa en opstapeling in het sediment. Door met variabele diepte te werken doorheen het systeem, kan een diverse plantengroei verkregen worden. Enkele plaatsen met diepte > 1 m worden ook voorzien aangezien dit remmend

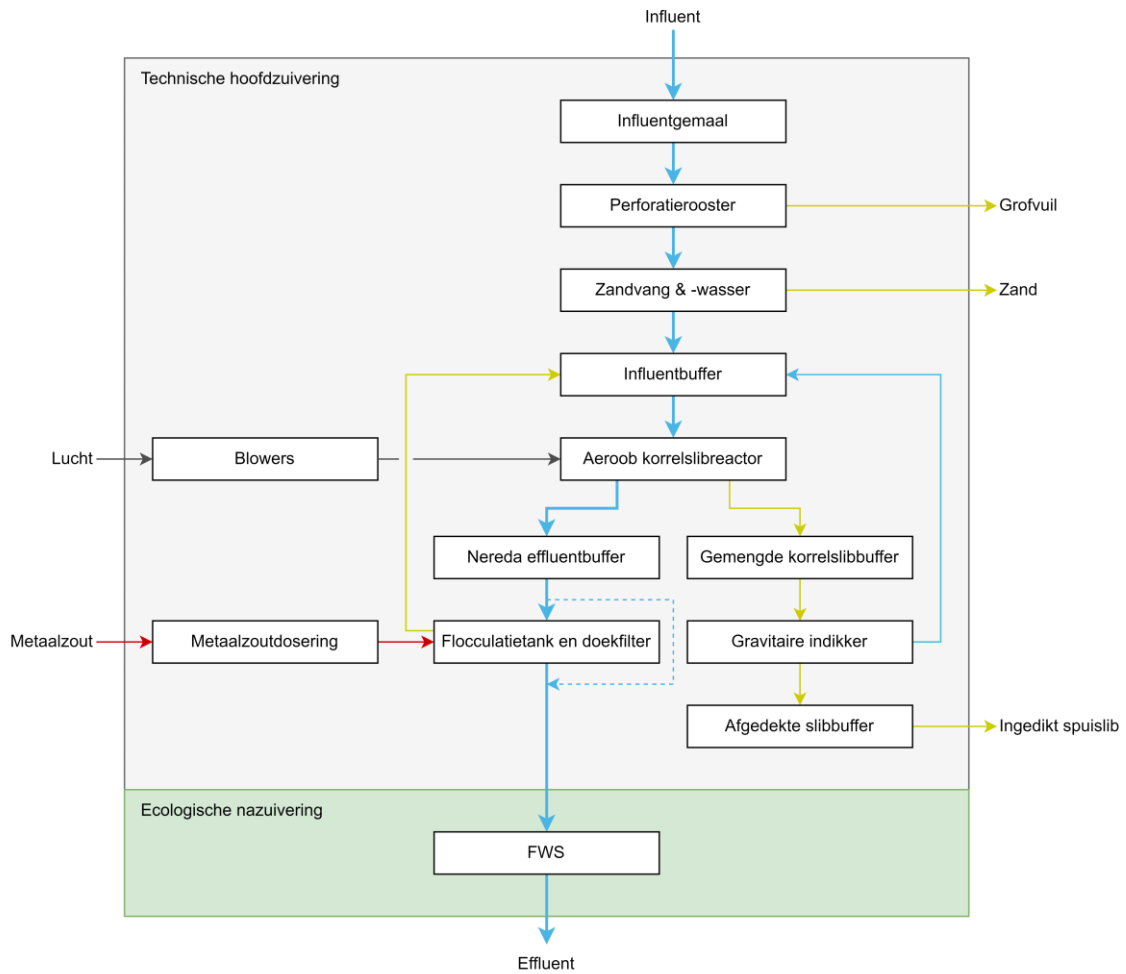
werkt op plantengroei. Open water zorgt voor extra desinfectie (UV-licht in zonnestraling) en foto-oxidatie van bepaalde organische micropolluenten. Stroom met hoge OB-concentraties die rond het ACW gebypast worden, kunnen zonder problemen naar deze FWS. Mocht dit frequent gebeuren, is de consequentie dat na een aantal jaar wellicht slib geruimd moet worden uit de inlaatzone. Twee zaken zijn hier nog van belang:

- aangezien de denitrificatie vooral gebruik maakt van dode plantenbiomassa als koolstofbron, duurt het typisch 2-3 jaar eer dergelijk FWS CW op volle capaciteit zit;
 - in de sterkte-zwakteanalyse werd initieel voorgesteld om een bijkomende koolstofdosering te voorzien. Gezien in de literatuur zeer variërende waarden van N-verwijdering gemeld worden en er dus een vrij groot onzekerheidsinterval zit op de te verwachten effluentconcentraties aan N, en aangezien de effluentconcentratie van de technische zuivering toch reeds aan het E-I niveau voldoet, is het plan om eerst een paar jaar te monitoren, en eventueel later dan nog C-dosering toe te passen indien nodig;
- 3 *passieve fosfaatverwijdering via adsorptie*. Als laatste stap is fosfaatadsorptie voorzien, gelijkaardig als wat in de Groote Meer gebeurt. Dit principe kent een aantal uitdagingen:
- hoe fijner het materiaal, hoe groter de adsorptiecapaciteit, maar hoe minder debiet er door de filter kan. Een beperkte hydraulische conductiviteit en een beperkt hydraulisch verval (wat op dit terrein het geval is zonder extra pompen) vergt een grote breedte en beperkte lengte, wat op het beschikbare terrein een uitdaging kan zijn;
 - fosfaatadsorptie werkt relatief beter bij hogere P-concentraties. Hier gaat het om lage concentraties, waardoor de adsorptiecapaciteit daalt;
 - na enkele jaren zal het materiaal verzadigd zijn en moet het vervangen worden. Dit gaat om vrij grote hoeveelheden, zoals gekwantificeerd en toegelicht in hoofdstuk 4 en 5.

II.2 Variant 2 - Nereda-reactor met doekenfilter en free water surface constructed wetland

Afbeelding II.3 geeft het blokkenschema weer van variant 2, bestaande uit een technische hoofdzuivering met Nereda en doekenfilter met metaalzoutdosering, en een ecologische nazuivering uitgevoerd als free water surface constructed wetland.

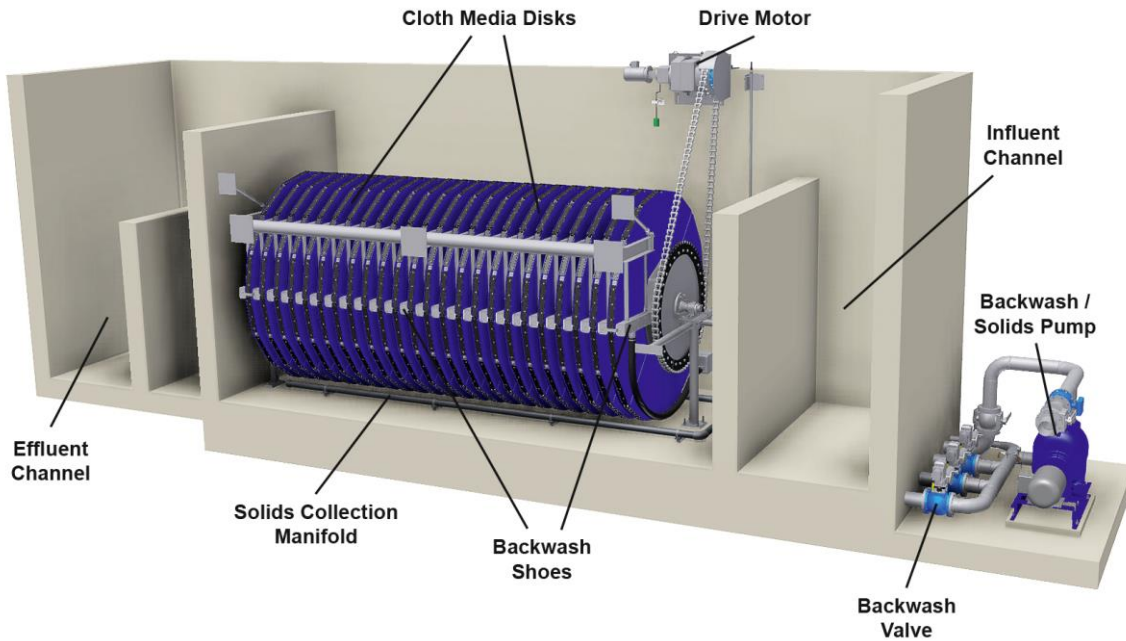
Afbeelding II.3 Processchema variant 2 - Nereda met doekenfilter en free water surface constructed wetland. De blauwe stippellijn geeft een bypass weer



Technische hoofdzuivering

De voorbehandeling, zuivering in Nereda-reactoren en slibindikking van de variant 2 is gelijk aan variant 1. Het verschil tussen de twee varianten zit in de chemische fosfaatverwijdering en nabehandeling. In variant 1 wordt ijzerchloride gedoseerd op de influentbuffer en Nereda-reactoren en stroomt het effluent van de Nereda-reactor via de effluentbuffer naar de ecologische nazuivering. In variant 2 wordt het gezuiverde afvalwater van de Nereda-reactoren via de effluentbuffer naar een flocculatietank en doekenfilter gebracht. Daartoe wordt aan het gezuiverde afvalwater ijzerchloride gedoseerd, waardoor het coaguleert met fosfaat en door het doekenfilter wordt afgevangen. Voor het doekenfilter kan een hogere dosering gehanteerd worden, omdat een hoger ijzerchloridegehalte hier geen bedreiging vormt voor de biologie. Daardoor kan met een doekenfilter meer fosfaat verwijderd worden dan bij reguliere ijzerchloridedosering. Daarbovenop verwijdert het doekenfilter zwevende stof. Deze zwevende stof bestaat voor een deel uit fosfor en stikstof, wat dus resulteert in een tweede methode om fosfor te verwijderen. Het doekenfilter wordt periodiek teruggespoeld en dit spoelwater stroomt terug naar de influentbuffer. Het gevormde chemische slib belandt vervolgens samen met het biologische slib in de sliblijn.

Afbeelding II.4 Doekenfilter zoals uitgevoerd door MECANA [21]



Keuze voor een doekenfilter

Het is ook mogelijk om een denitrificerend zandfilter of actief-koolfilter toe te passen voor aanvullende verwijdering van nitraat-stikstof. Hierop kan tevens ijzerchloride gedoseerd worden ten behoeve van fosfaatverwijdering. Bij recente projecten voor waterschap Vechtstromen zijn defosfaterende doekenfilters vergeleken met nageschakelde zandfilters voor de verwijdering van fosfor. Daar is de keuze voor de kleinere locaties gevallen op doekenfilters, omdat de kosten lager zijn en de fysieke footprint kleiner is. Ook is de impact van een doekenfilter op het onbemande functioneren van de zuivering naar verwachting kleiner.

In Nederland is geen doekenfilter langdurig operationeel. Er zijn wel diverse pilots gedaan [11]. Daarnaast zijn doekenfilters dé standaard in het Verenigd Koninkrijk voor kleine tot middelgrote zuiveringen, van het merk Mecana (in Nederland door Eliquo geleverd).

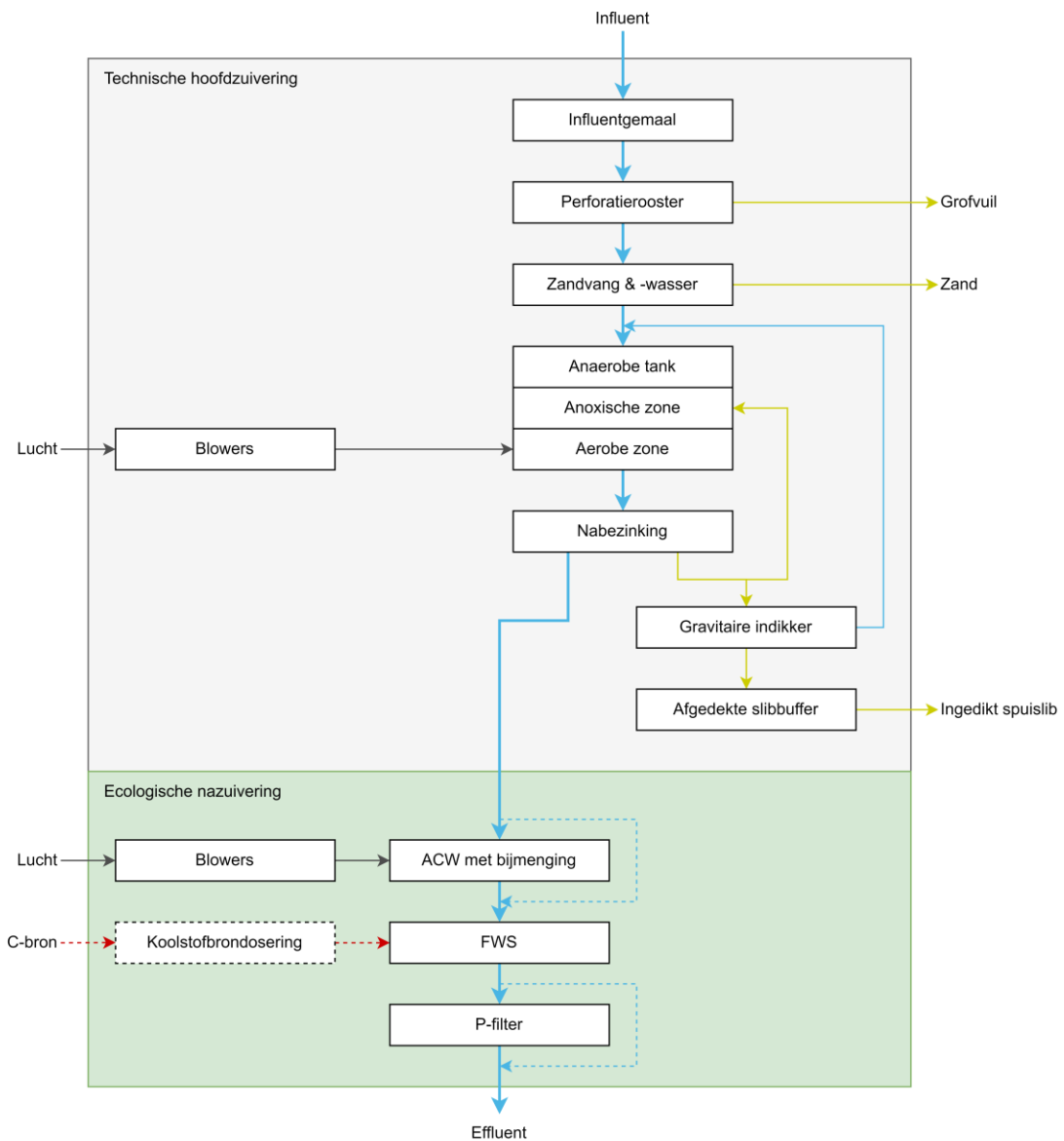
Free water surface constructed wetland

De ecologische nazuivering is hier uitgewerkt als enkel bestaande uit een free water surface constructed wetland. Voor een beschrijving zie stap 2 van variant 1. Merk op dat in tegenstelling tot variant 1 de concentraties aan OB, BOD en DO minder relevant zijn aangezien we hier niet met poreus materiaal noch beluchting werken.

II.3 Variant 3 - mUCT met fully intensified constructed wetland

Afbeelding II.5 geeft het blokkenschema weer van variant 3, bestaande uit een technische hoofdzuivering uitgevoerd als mUCT, en een ecologische nazuivering uitgevoerd als fully intensified constructed wetland.

Afbeelding II.5 Processchema variant 3 - mUCT met fully intensified constructed wetland. Blauwe stippellijnen geven bypasses weer. De koolstofbrondosering is optioneel



Technische hoofdzuivering

De voorbehandeling en slibindikking van variant 3 zijn wederom gelijk aan de voorgaande varianten, op één punt na: in tegenstelling tot de voorgaande varianten is slechts één grofvuilrooster benodigd, omdat de impact kleiner is op een mUCT dan op een Nereda indien het rooster buiten bedrijf is. Ook is geen voorbezinktank geadviseerd, omdat de hoge BZV/N-verhouding van het influent voordelig is voor N-verwijdering. Daarnaast is in variant 3 de Nereda dus vervangen voor een conventioneel actiefslibstelsysteem, uitgevoerd als mUCT. Doordat de mUCT continu gevoed wordt, zijn geen influent-, effluent- en korrelslibbuffers nodig. Het systeem bestaat uit verschillende zones die elk een specifieke rol spelen in het zuiveringsproces:

- 1 anaerobe tank: het water stroomt vanuit de zandvang naar de anaerobe zone. In deze zone zijn geen zuurstof en nitraat aanwezig, wat de groei van bacteriën belemmert door het ontbreken van een elektronenacceptor. Fosfaataccumulerende organismen (PAO's) nemen hier vluchtige vetzuren op en slaan deze op als polyhydroxyalkanoaten (PHA), welke zij als kunnen gebruiken als makkelijke en extra voeding zodra weer elektronenacceptoren beschikbaar zijn. Daardoor behalen PAO's een voordeel boven andere typen bacteriën en dat bevordert de biologische fosfaatverwijdering;

- 2 anoxische zone: vanuit de anaerobe zone stroomt het water naar de anoxische zone. Hier is geen zuurstof aanwezig, maar wel nitraat. Denitrificerende bacteriën gebruiken het nitraat als elektronenacceptor om BZV af te breken. Het nitraat wordt hierbij omgezet tot stikstofgas. Een deel van het water wordt vervolgens gecirculeerd naar de anaerobe tank om daar voldoende slib te krijgen;
- 3 aerobe zone: de rest van het water stroomt vervolgens naar de aerobe zone, waar zuurstof wordt toegevoegd. Hier vindt nitrificatie plaats, waarbij ammonium wordt omgezet in nitraat. Het nitraatrijke water wordt gedeeltelijk teruggevoerd naar de anoxische zone om daar nitraat beschikbaar te houden voor denitrificatie. De PAO's nemen in de aerobe zone fosfaat op uit het water en slaan dit op in hun cellen.

Het deel van het water dat niet terugstroomt naar de anoxische zone belandt in een nabezinktank waar het slib en water worden gescheiden door middel van bezinking. Het gescheiden slib wordt gedeeltelijk teruggevoerd naar de anoxische zone (retourslib), terwijl het overtollige slib wordt gespuid naar de sliblijn. Doordat de biologische fosfaatverwijdering beter verloopt in een mUCT dan in een Nereda, is de ortho-P concentratie na afloop van de mUCT dusdanig laag dat een hoge molverhouding nodig is voor metaalzoutdosering. Een te hoge molverhouding kan schadelijk kan zijn voor de biologie van de mUCT. Daarom bevat deze variant geen ijzerchloridedosering.

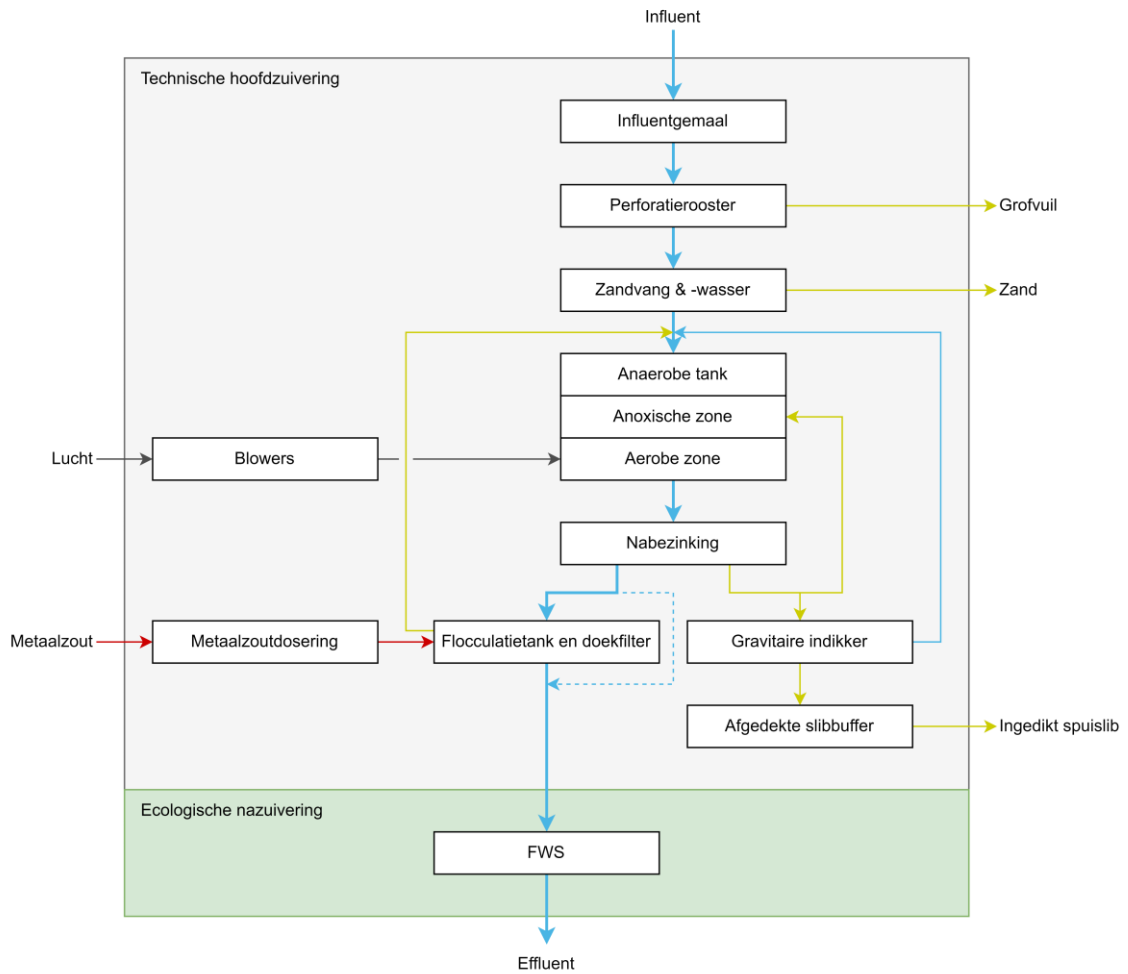
Ecologische nazuivering - Fully intensief constructed wetland

De ecologische nazuivering is hier identiek uitgewerkt als in variant 1. Verschil is dat het zwevendestofgehalte in het effluent van een mUCT ligt lager dan bij een Nereda, waardoor het risico op verstopping beperkt blijft. Wellicht is hierdoor een bypass om de ACW heen overbodig. Ook binnenkomende fosfaatconcentratie ligt lager, waardoor het fosfaatfilter langer mee zal gaan voor het vervangen moet worden, zoals gekwantificeerd en toegelicht in hoofdstuk 4.

II.4 Variant 4 - mUCT met doekenfilter en free water surface constructed wetland

Afbeelding II.6 geeft het blokkenschema weer van variant 4, bestaande uit een technische hoofdzuivering uitgevoerd als mUCT en doekenfilter met metaalzoutdosering, en een ecologische nazuivering uitgevoerd als free water surface constructed wetland.

Afbeelding II.6 Processchema variant 4 - mUCT met doekenfilter en free water surface constructed wetland. De blauwe stippellijn geeft een bypass weer



Deze variant is een combinatie van varianten 2 en 3. De voorbehandeling, zuivering in de mUCT en slibindikking is gelijk aan variant 3. Na de nabezinking bevat deze variant een flocculatietank en doekenfilter, net zoals variant 2. Vervolgens is ook de ecologische nazuivering gelijk aan die van variant 2.



BIJLAGE: ONTWERPPARAMETERS

| | | | |
|---------------------|---|-----------------|------------------------------------|
| Subject | Ontwerputgangs punten rwzi Baarle-Nassau Systeemkeuzestu die rwzi Baarle- Nassau | Date | 6-9-2024 |
| Project | Waterschap Brabants Delta | Revision | 5 |
| Client | Brabants Delta | Author | Robert den Breems; Victor Helsloot |
| Project code | 142182 | Reviewer | |

enkel bij
verschillen

| Technische hoofdzuivering | Eenheid | AKS | mUCT zomer | mUCT | Opmerkingen | Referentie |
|---------------------------------------|-------------------------|--------|---------------|--------|---|--|
| <u>Influent rwzi</u> | | | | | | |
| Biologische belasting | i.e. (150 g TZV) | 20.000 | | 20.000 | | |
| DWA | m3/h | 164 | | 164 | | Gemiddeld 2015-2023, obv 16 |
| DWA | m3/d | 2.617 | | 2.617 | aangehouden. Dat is afwijkend van influent in RWA-DWA overzicht (2537 m3/d vs 2617 m3/d) | Gemiddeld 2015-2023 |
| RWA | m3/h | 500 | | 500 | | Gemiddeld 2015-2023 |
| OB | mg/l | 297 | | 297 | | Gemiddeld 2015-2023 |
| Ntot | mg/l | 74 | | 74 | | Gemiddeld 2015-2023 |
| Ptot | mg/l | 11 | | 11 | | Gemiddeld 2015-2023 |
| DWA | uur/dag | 16 | | 16 | | |
| CZV | mg/l | 887 | | | | Gemiddeld 2015-2023 |
| BZV | mg/l | 434 | | 434 | | |
| | | | 5,9 | | | |
| OB | kg/d | 776 | | 776 | | |
| NKj | kg/d | 185 | | 185 | | |
| NO3-N | kg/d | 1,1 | | 1 | | |
| Ptot | kg/d | 29 | | 29 | | |
| CZV | kg/d | 2.322 | | 2.322 | | |
| BZV | kg/d | 1.135 | | 1.135 | | |
| <u>Veiligheidsmarge</u> | | | | | | |
| Dimensionering o.b.v. RWA | % | 110% | | 110% | 110% = 550 m3/uur. Hoogst gemeten RWA is 548 m3/uur, dus dit is een theoretische 100% verwerkingscapaciteit | |
| Afgedekt slibbuffer | % | 25% | | 25% | | |
| <u>Constructies</u> | | | | | | |
| Bouwhoogte | m | 5,0 | | 5,0 | | |
| Max. waterhoogte | m | 4,5 | | 4,5 | Dit geldt voor de influent-, effluent- en slibbuffers | |
| Ruimte rondom constructies | m | 5,0 | | 5,0 | | |
| <u>Grofvuilrooster</u> | | | | | | |
| Hydraulische capaciteit | RWA | 1 | | 1 | Dimensioneringsgrondslag | |
| <u>Influentbuffer</u> | | | | | | |
| Buffercapaciteit | uur RWA | 1,60 | | | Maximale periode tussen lediging influentbuffer waarin RWA opgeslagen moet worden | Zie rekensheet aerob korrelslib (laatste pagina's) |
| <u>Aerob korrelslib reactor</u> | | | | | | |
| Piekfactor voor maximale CZV aanvoer | % | 100% | | | | Ontwerpaanname, toegepast in DRZ en RAAZ |
| Slibbelasting | kg CZV/ kg ds * d | 0,08 | | | obv totale tijd ipv reactieve tijd | Referentie-berekening RHDHV (2023) |
| Maximale slijgehalte aerob korrelslib | kg/m3 | 8 | | | | Referentie-berekening RHDHV (2023) |
| Concentratie spuislib | kg/m3 | 2,0 | | | 0,2-0,3% ds bij rwzi Terwolde | |
| CZV removal efficiency | % | 92% | | | o.b.v. RHDHV (2023) | |
| Specifieke slijproductie | kg ds/kg CZV verwijderd | 0,41 | | | RHDHV(2023) | |
| Energieverbruik | kWh/m3 | | | | in volgende fase te bepalen | |
| | % van | | | | | |
| Bovengrens verversingsgraad | reactorvolume | 65 | | | | |
| Maximale opstroomsnelheid | m/uur | 5 | | | | |
| <u>Effluentbuffer</u> | | | | | | |

| | | | | | | |
|--|---------------------|------|-------|-------|---|---|
| Afvoersnelheid effluentbuffer | m3/uur | 550 | | | Gelijk aan RWA + veiligheidsmarge | |
| Duur aflatfase bij RWA | uur | 0,8 | | | Bepaald met maximale opstroomsnelheid van 5 m/uur in vulfase | |
| metaalzoutdosering | | | | | | |
| Molmassa fosfor | g/mol | 31 | | 31 | | HSA-model |
| Molmassa ijzer | g/mol | 56 | | 56 | | HSA-model |
| Dichtheid FeCl3 (40%-oplossing) | kg/L | 1,4 | | 1,4 | | HSA-model |
| Doseerverhouding Fe:P | mol Fe/mol P | 6,8 | | 3,7 | | |
| P-ortho | mg/l | 0,3 | | 0,3 | Ortho fosfaat, concentratie haalbaar bij goede metaalzoutdosering | Gesprek Bernard Bos (Witteveen+Bos) |
| Beluchtingscapaciteit | | | | | | |
| Energieverbruik | kWh/m3 | | | | in volgende fase te bepalen | |
| doekfilter | | | | | | |
| Oppervlakte belasting | m3/m2.h | 6,0 | | 6,0 | Op basis van referentie MECANA filters in project voor Waterschap Vechtstromen. Oppervlaktebelasting van circa 5-7 m3/m2 filter/u | |
| Filter oppervlak per doek/disc | m2 | 5 | | 5 | opgave leverancier, standaard filterdisc | |
| Terugspoeling | % van ontwerpdebiet | 5% | | 5% | op basis van ontwerpen diskfilters | |
| Energieverbruik | kWh/m3 | | | | Ede | |
| Energieverbruik | kWh/m3 | | | | in volgende fase te bepalen | |
| Fosfaat na metaalzoutdosering | | | | | | |
| P-ortho, uitgaand | mg/l | 0 | | | Ortho fosfaat, concentratie haalbaar bij goede metaalzoutdosering | Gesprek Bernard Bos (Witteveen+Bos) |
| DOP | mg/l | 0,06 | | 0,06 | Organisch opgelost, 0,15 mg/L bij Vechtstromen. Kan ook 0,1 zijn | Metingen WSBD |
| P-OB | % van biomassa | 3,0% | 3,5% | 3,5% | | |
| Gravitaire indikker | | | | | | |
| Drogestofbelasting | kg ds/m2/d | 25 | | 25 | | |
| Hydraulische belasting | m/uur | 0,50 | | 0,5 | | |
| Waterhoogte | m | 3,0 | | 3,0 | 3 tot 5 meter | gekozen voor 3 meter, zoals aangehouden op rwzi Terwolde |
| Concentratie ingedikt slib | kg/m3 | 25 | | 25 | 20-30 kg/m3 | 25 kg/m3 aangehouden zoals bij rwzi Terwolde en rwzi Utrecht |
| Bedrijfstijd | uur/dag | 24 | | 24 | | |
| Effluentconcentraties afloop biologie | | | | | | |
| OB | mg/l | 13 | | 7,5 | Tussen 13 en 20 mg/l | 15 mg/L bij Vergulde Hand, 5-20 in Metcalf&Eddy 2014(conventioneel systeem). Tussen 14-18 mg/l in artikel (https://edepot.wur.nl/157587) |
| CZV/ds | kg/kg | 0,92 | | 0,92 | | Bernard Bos |
| CZV in ds | mg/l | 12 | | 7 | | |
| CZV totaal | mg/l | 45 | | 40 | | Bernard Bos obv Goor en Glanerbrug |
| Ntot | mg/l | 5,0 | 6,1 | 7,5 | 5-6 mg/L jaarrond. 5-10 in Metcalf&Eddy 2014(conventioneel systeem) | Gesprek Bernard Bos (Witteveen+Bos) |
| Ptot | mg/l | 0,58 | 0,60 | 0,32 | | Berekend |
| Effluentconcentraties afloop doekfilter | | | | | | |
| OB | mg/l | 3 | | 3 | Zoals aangehouden in WVS doekfilter | |
| CZV | mg/l | 20 | | 20 | | Metcalf&Eddy 2014 2014 |
| Ntot | mg/l | 5 | | | | |
| Ptot | mg/l | 0,29 | | | | Berekend |
| mUCT | | | | | | |
| totale anaerobe verblijftijd | uur | | 1,5 | 1,5 | | |
| waterdiepte actie-slibtank | m | | 4,00 | 5,00 | | |
| SVI | ml/g | | 120 | 120 | | |
| ontwerptemperatuur | C | | 18,00 | 12,00 | | |
| maximale watertemperatuur | C | | 24,00 | 18,00 | | |
| slibgehalte | g/l | | 3,00 | 4,50 | | |

| | | | | |
|------------------|--|------|------|--|
| schwankungfactor | | 2,00 | 2,00 | |
|------------------|--|------|------|--|

IV

BIJLAGE: VLEKKENPLANNEN

Variant 1 - Aeroob korrelslib-reactor met fully intensief constructed wetland



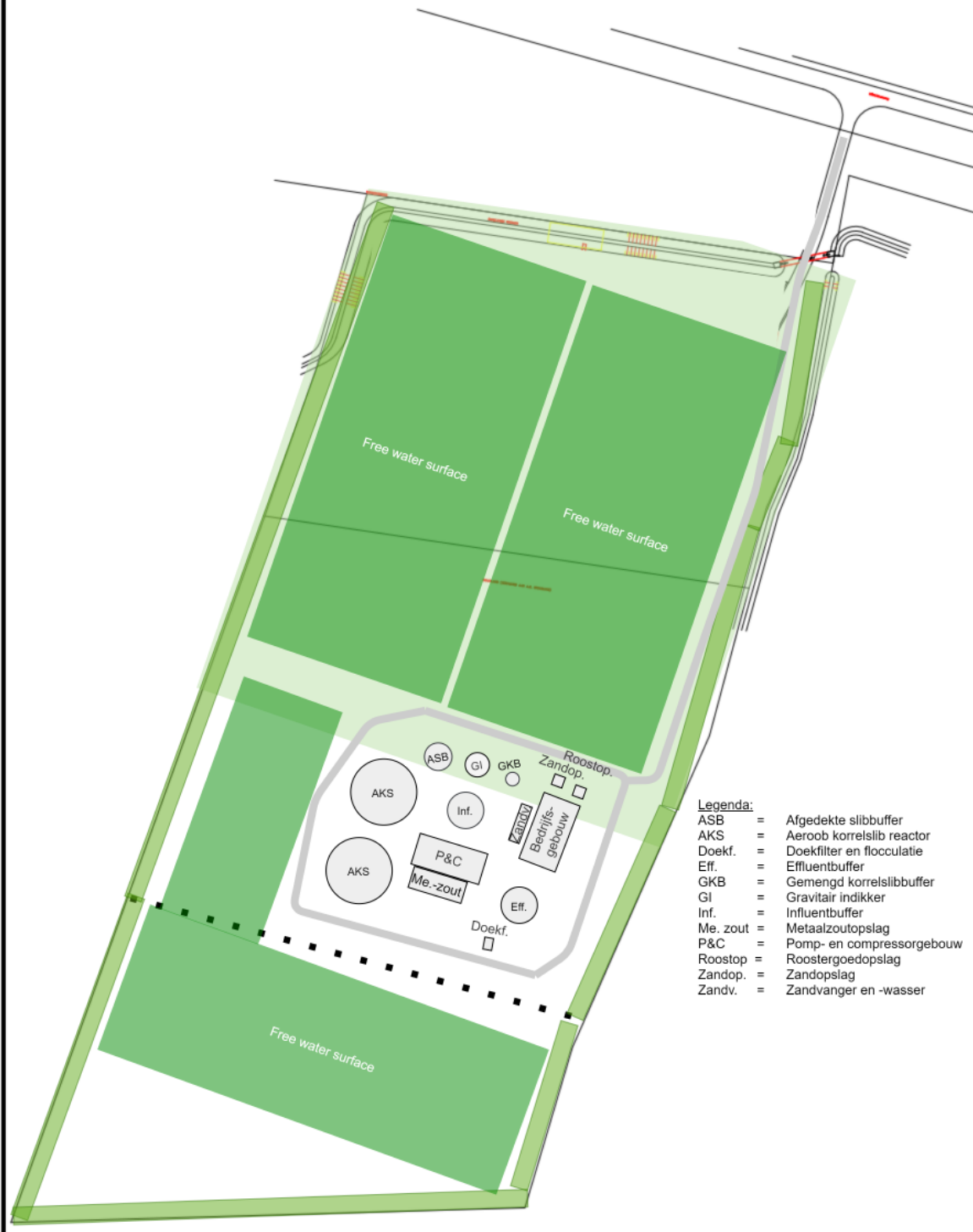
Variant 1 - Aeroob korreli-slib-reactor met fully intensiefied constructed wetland

Het technische deel van de rwzi is niet op het in het bestemmingsplan daarvoor aangegeven deel van het perceel geplott



Variant 2 - Aeroob korrelslib-reactor met free water surface

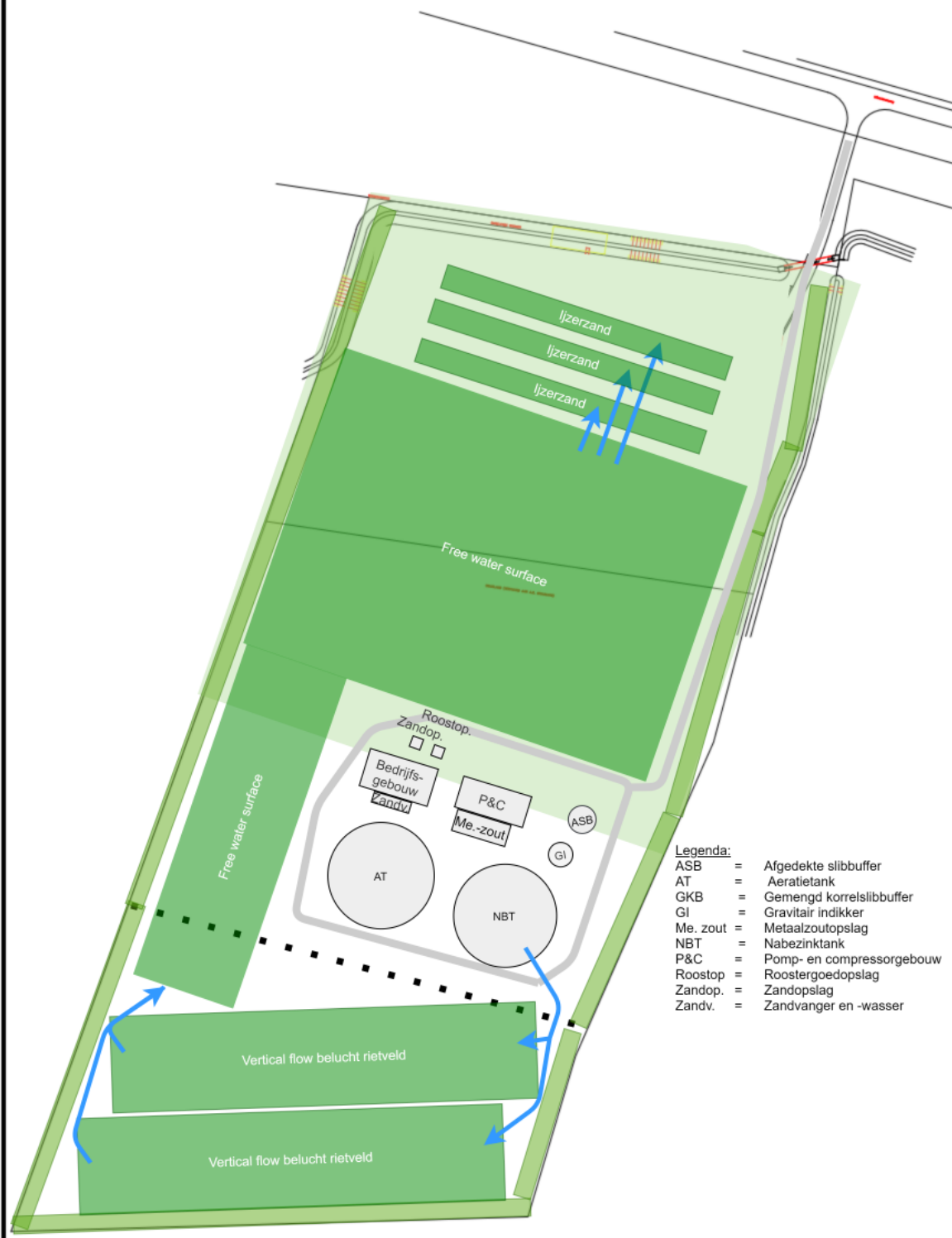
Het technische deel van de rwzi is niet op het in het bestemmingsplan daarvoor aangegeven deel van het perceel geplot



- Legenda:**
- ASB = Afgedekte sliibuffer
 - AKS = Aeroob korrelslib reactor
 - Doekf. = Doekfilter en flocculatie
 - Eff. = Effluentbuffer
 - GKB = Gemengd korrelslibbuffer
 - GI = Gravitair indikker
 - Inf. = Influentbuffer
 - Me. zout = Metaalzoutopslag
 - P&C = Pomp- en compressorgebouw
 - Roostop. = Roostergoedopslag
 - Zandop. = Zandopslag
 - Zandv. = Zandvanger en -wasser

Variant 3 - Conventioneel actief slibstelsysteem met fully intensified constructed wetland

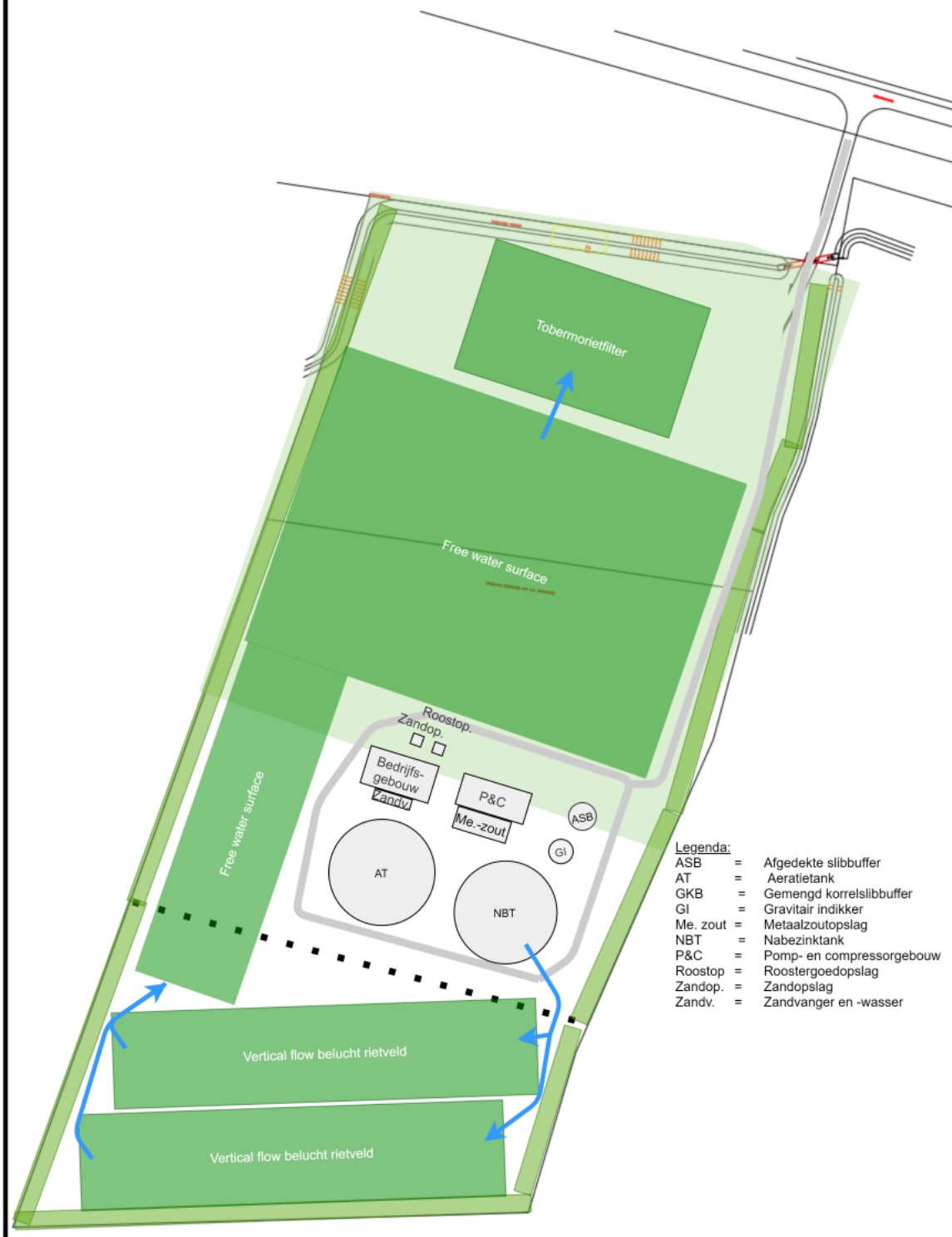
Het technische deel van de rwzi is niet op het in het bestemmingsplan daarvoor aangegeven deel van het perceel geplott



- Legenda:**
- ASB = Afdgedekte slibbuffer
 - AT = Aerietank
 - GKB = Gemengd korreislbuffer
 - GI = Gravitair indikker
 - Me. zout = Metaalzoutopslag
 - NBT = Nabezinktank
 - P&C = Pomp- en compressorgebouw
 - Roostop = Roostergoedopslag
 - Zandop. = Zandopslag
 - Zandv. = Zandvanger en -wasser

Variant 3 - Conventioneel actief slibstelsysteem met fully intensified constructed wetland

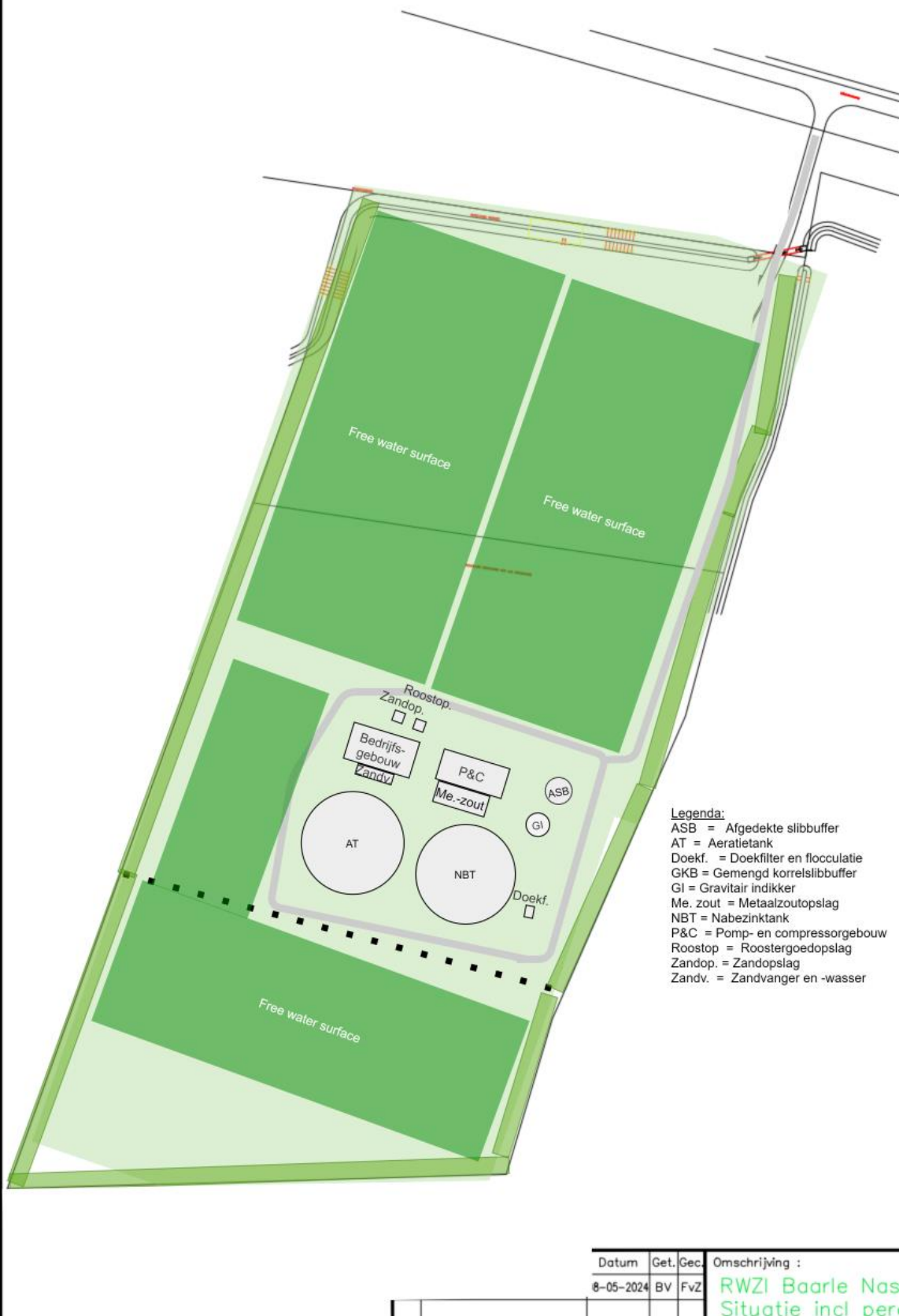
Het technische deel van de rwzi is niet op het in het bestemmingsplan daarvoor aangegeven deel van het perceel geplot



- Legenda:**
- ASB = Afgedekte slibbuffer
 - AT = Aerietank
 - GKB = Gemengd korrelslibbuffer
 - GI = Gravitair indikker
 - Me. zout = Metaalzoutopslag
 - NBT = Nabezinktank
 - P&C = Pomp- en compressorgebouw
 - Roostop = Roostergoedopslag
 - Zandop. = Zandopslag
 - Zandv. = Zandvanger en -wasser

Variante 4 - Conventioneel actief slibstelsysteem met free water surface

Het technische deel van de rwzi is niet op het in het bestemmingsplan daarvoor aangegeven deel van het perceel geplaatst



- Legenda:**
 ASB = Afgedekte slibbuffer
 AT = Aeratie tank
 Doekf. = Doekfilter en flocculatie
 GKB = Gemengd korrelslibbuffer
 GI = Gravitair indikker
 Me. zout = Metaalzoutopslag
 NBT = Nabezinktank
 P&C = Pomp- en compressorgebouw
 Roostop = Roostergoedopslag
 Zandop. = Zandopslag
 Zandv. = Zandvanger en -wasser

| Datum | Get. | Gec. | Omschrijving : |
|-----------|------|------|--------------------------------------|
| 0-05-2024 | BV | FvZ | RWZI Baarle Nas Situatie incl per |



BIJLAGE: EENHEIDSPRIJZEN EN AFSCHRIJVINGSTERMIJNEN

| Specifieke bedrijfskosten | Eenheid | Prijs excl BTW |
|--|-------------------------|-----------------------|
| Personele bezetting | EUR/FTE | 80000 |
| Licentiekosten software Nereda | EUR/jaar | 40000 |
| Energie | | |
| Energie | Eenheid | Prijs excl BTW |
| Elektriciteit (NL mix) | Eur/kWh | 0,2 |
| Chemicaliën & verbruiksmaterialen | | |
| Chemicaliën & verbruiksmaterialen | Eenheid | Prijs excl BTW |
| FeCl3 (40%) | Eur/ton | 300 |
| Ijzerzand | Eur/ton | 76,91 |
| Tobermoriet | Eur/ton | 262,01 |
| Reststoffen/afvoerkosten | | |
| Reststoffen/afvoerkosten | Eenheid | Prijs |
| Slib | Eur per ton ds | 600 |
| Roostergoed | Eur/ton | 150 |
| Zand | Eur/ton | 150 |
| Ijzerzand | Eur/ton | 150 |
| Tobermoriet | Eur/ton | 150 |
| Maaisel | Eur per ton ds | 600 |
| CO2 emissies | Eur/ton | 100 |
| Verwerking spoelwater op rwzi | Eur/m3 | 0,01 |
| Prijsspecificatie | | |
| Prijsspecificatie | Eenheid | |
| Netto Discontovoet | % | 5,00% |
| Jaar prijspeil | | 2024 |
| Instellingen Jaarlijkse kosten | | |
| Instellingen Jaarlijkse kosten | Eenheid | |
| Afschrijving Civiel | jaar | 30 |
| Afschrijving Werktuigbouw | jaar | 15 |
| Afschrijving E&PA | jaar | 10 |
| Onderhoudskosten Civiel | % van voorz. bouwkosten | 0,5% |
| Onderhoudskosten Werktuigbouw | % van voorz. bouwkosten | 2,0% |
| Onderhoudskosten E&PA | % van voorz. bouwkosten | 6,0% |

VI

BIJLAGE: INVESTERINGSKOSTEN

| Projectnummer 142182 | | Project Systeemkeuze toekomstbestendige nieuwbouw rwzi Baarle-Nassau | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--|---|---------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|
| | | Nereda+FICW | | | Nereda+DF+FWS | | | mUCT+FICW | | | mUCT+DF+FWS | | |
| Naam onderdeel | | Directe kosten Civiel (EUR) | Directe kosten Werktuigbouw (EUR) | Directe kosten E&PA (EUR) | Directe kosten Civiel (EUR) | Directe kosten Werktuigbouw (EUR) | Directe kosten E&PA (EUR) | Directe kosten Civiel (EUR) | Directe kosten Werktuigbouw (EUR) | Directe kosten E&PA (EUR) | Directe kosten Civiel (EUR) | Directe kosten Werktuigbouw (EUR) | Directe kosten E&PA (EUR) |
| Onderdelen met nader te detaileren directe bouwkosten van 20% | | | | | | | | | | | | | |
| Grofvuilrooster, zandvang en zandwasser | | € 217.000 | € 162.000 | € 100.000 | € 217.000 | € 162.000 | € 100.000 | € 217.000 | € 162.000 | € 100.000 | € 217.000 | € 162.000 | € 100.000 |
| Metaalzoutdosering | | € 16.000 | € 170.000 | € 156.000 | € 16.000 | € 170.000 | € 156.000 | € 16.000 | € 170.000 | € 156.000 | € 16.000 | € 170.000 | € 156.000 |
| Doekenfilter | | € - | € - | € - | € 66.000 | € 532.000 | € 300.000 | € - | € - | € - | € 66.000 | € 532.000 | € 300.000 |
| ACW met bijmenging | | € 324.000 | € 93.000 | € 46.000 | € - | € - | € - | € 324.000 | € 93.000 | € 46.000 | € - | € - | € - |
| FWS | | € 78.000 | € 4.000 | € 4.000 | € 126.000 | € 7.000 | € 7.000 | € 78.000 | € 4.000 | € 4.000 | € 126.000 | € 7.000 | € 7.000 |
| P-filter ijzerzand | | € 327.000 | € 19.000 | € 19.000 | € - | € - | € - | € 286.000 | € 17.000 | € 17.000 | € - | € - | € - |
| Bedrijfswaterinstallatie | | € 66.000 | € 94.000 | € 28.000 | € 66.000 | € 94.000 | € 28.000 | € 66.000 | € 94.000 | € 28.000 | € 66.000 | € 94.000 | € 28.000 |
| Terreinverharding | 5% | € 51.400 | € - | € - | € 24.550 | € - | € - | € 49.350 | € - | € - | € 24.550 | € - | € - |
| Terreinleidingwerk | 15% | € 154.200 | € - | € - | € 73.650 | € - | € - | € 148.050 | € - | € - | € 73.650 | € - | € - |
| Onderdelen met nader te detaileren directe bouwkosten van 0% | | | | | | | | | | | | | |
| Influentbuffer | | € 388.000 | € 350.000 | € 180.000 | € 388.000 | € 350.000 | € 180.000 | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| Nereda-reactor | | € 1.284.000 | € 2.900.000 | € 580.000 | € 1.284.000 | € 2.900.000 | € 580.000 | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| Effluentbuffer | | € 209.000 | € - | € - | € 209.000 | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| Gemengde korrelslibbuffer | | € 39.000 | € 35.000 | € 20.000 | € 39.000 | € 35.000 | € 20.000 | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| Gravitaire indikker | | € 35.000 | € 35.000 | € 20.000 | € 35.000 | € 35.000 | € 20.000 | € 32.000 | € 30.000 | € 20.000 | € 32.000 | € 30.000 | € 20.000 |
| Afgedekte slibbuffer | | € 75.000 | € 100.000 | € 50.000 | € 75.000 | € 100.000 | € 50.000 | € 70.000 | € 90.000 | € 50.000 | € 70.000 | € 90.000 | € 50.000 |
| Flocculatietank | | € - | € - | € - | € 159.000 | € 150.000 | € 80.000 | € - | € - | € - | € 159.000 | € 150.000 | € 80.000 |
| Anaerobe tank | | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € 234.000 | € 40.000 | € 40.000 | € 234.000 | € 40.000 | € 40.000 |
| Anoxische zone | | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € 284.000 | € 15.000 | € 15.000 | € 284.000 | € 15.000 | € 15.000 |
| Aerobe zone | | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € 786.000 | € 590.000 | € 300.000 | € 786.000 | € 590.000 | € 300.000 |
| Nabezinktank | | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € 640.000 | € 390.000 | € 60.000 | € 640.000 | € 390.000 | € 60.000 |
| Terreinverharding | 5% | € 101.500 | € - | € - | € 109.450 | € - | € - | € 102.300 | € - | € - | € 110.250 | € - | € - |
| Terreinleidingwerk | 15% | € 304.500 | € - | € - | € 328.350 | € - | € - | € 306.900 | € - | € - | € 330.750 | € - | € - |
| Benoemde directe bouwkosten | | € 3.669.600 | € 3.962.000 | € 1.203.000 | € 3.216.000 | € 4.535.000 | € 1.521.000 | € 3.639.600 | € 1.695.000 | € 836.000 | € 3.235.200 | € 2.270.000 | € 1.156.000 |
| Nader te detaileren directe bouwkosten | 20% | € 247.000 | € 108.000 | € 71.000 | € 118.000 | € 193.000 | € 118.000 | € 237.000 | € 108.000 | € 70.000 | € 118.000 | € 193.000 | € 118.000 |
| Directe bouwkosten | | € 3.916.600 | € 4.070.000 | € 1.274.000 | € 3.334.000 | € 4.728.000 | € 1.639.000 | € 3.876.600 | € 1.803.000 | € 906.000 | € 3.353.200 | € 2.463.000 | € 1.274.000 |
| Enmalige kosten | 1% | € 39.000 | € 41.000 | € 13.000 | € 33.000 | € 47.000 | € 16.000 | € 39.000 | € 18.000 | € 9.000 | € 34.000 | € 25.000 | € 13.000 |
| Algemene bouwplaatskosten | 3% | € 117.000 | € 122.000 | € 38.000 | € 100.000 | € 142.000 | € 49.000 | € 116.000 | € 54.000 | € 27.000 | € 101.000 | € 74.000 | € 38.000 |
| Uitvoeringskosten | 25% | € 979.000 | € 1.018.000 | € 319.000 | € 834.000 | € 1.182.000 | € 410.000 | € 969.000 | € 451.000 | € 227.000 | € 838.000 | € 616.000 | € 319.000 |
| Algemene kosten | 8% | € 404.000 | € 420.000 | € 132.000 | € 344.000 | € 488.000 | € 169.000 | € 400.000 | € 186.000 | € 94.000 | € 346.000 | € 254.000 | € 132.000 |
| Winst | 3% | € 136.000 | € 142.000 | € 44.000 | € 116.000 | € 165.000 | € 57.000 | € 135.000 | € 63.000 | € 32.000 | € 117.000 | € 86.000 | € 44.000 |
| Risico | 3% | € 136.000 | € 142.000 | € 44.000 | € 116.000 | € 165.000 | € 57.000 | € 135.000 | € 63.000 | € 32.000 | € 117.000 | € 86.000 | € 44.000 |
| Indirecte bouwkosten | 46% | € 1.811.000 | € 1.885.000 | € 590.000 | € 1.543.000 | € 2.189.000 | € 758.000 | € 1.794.000 | € 835.000 | € 421.000 | € 1.553.000 | € 1.141.000 | € 590.000 |
| Voorziene bouwkosten | | € 5.727.600 | € 5.955.000 | € 1.864.000 | € 4.877.000 | € 6.917.000 | € 2.397.000 | € 5.670.600 | € 2.638.000 | € 1.327.000 | € 4.906.200 | € 3.604.000 | € 1.864.000 |
| Risico's bouwkosten | 30% | € 1.718.000 | € 1.787.000 | € 559.000 | € 1.463.000 | € 2.075.000 | € 719.000 | € 1.701.000 | € 791.000 | € 398.000 | € 1.472.000 | € 1.081.000 | € 559.000 |
| Bouwkosten | | € 7.445.600 | € 7.742.000 | € 2.423.000 | € 6.340.000 | € 8.992.000 | € 3.116.000 | € 7.371.600 | € 3.429.000 | € 1.725.000 | € 6.378.200 | € 4.685.000 | € 2.423.000 |
| Engineeringskosten adviesbureau(s) | 10% | € 745.000 | € 774.000 | € 242.000 | € 634.000 | € 899.000 | € 312.000 | € 737.000 | € 343.000 | € 173.000 | € 638.000 | € 469.000 | € 242.000 |
| Engineeringskosten aannemer(s) | 0% | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| Engineeringskosten opdrachtgever | 8% | € 596.000 | € 619.000 | € 194.000 | € 507.000 | € 719.000 | € 249.000 | € 590.000 | € 274.000 | € 138.000 | € 510.000 | € 375.000 | € 194.000 |
| Risico's engineeringkosten | 0% | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| Engineeringskosten | 18% | € 1.341.000 | € 1.393.000 | € 436.000 | € 1.141.000 | € 1.618.000 | € 561.000 | € 1.327.000 | € 617.000 | € 311.000 | € 1.148.000 | € 844.000 | € 436.000 |
| Overige bijkomende kosten | 13% | € 968.000 | € 1.006.000 | € 315.000 | € 824.000 | € 1.169.000 | € 405.000 | € 958.000 | € 446.000 | € 224.000 | € 829.000 | € 609.000 | € 315.000 |
| Loon- en prijsstijging | 0% | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| Risico's overige bijkomende kosten | 0% | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| Overige bijkomende kosten | 13% | € 968.000 | € 1.006.000 | € 315.000 | € 824.000 | € 1.169.000 | € 405.000 | € 958.000 | € 446.000 | € 224.000 | € 829.000 | € 609.000 | € 315.000 |
| Objectoverstijgende risico's | 20% | € 1.951.000 | € 2.028.000 | € 635.000 | € 1.661.000 | € 2.356.000 | € 816.000 | € 1.931.000 | € 898.000 | € 452.000 | € 1.671.000 | € 1.228.000 | € 635.000 |
| Investeringskosten exclusief BTW | | € 11.706.000 | € 12.169.000 | € 3.809.000 | € 9.966.000 | € 14.135.000 | € 4.898.000 | € 11.588.000 | € 5.390.000 | € 2.712.000 | € 10.026.000 | € 7.366.000 | € 3.809.000 |
| Investeringskosten inclusief BTW | | € 14.164.000 | € 14.724.000 | € 4.609.000 | € 12.059.000 | € 17.103.000 | € 5.927.000 | € 14.021.000 | € 6.522.000 | € 3.282.000 | € 12.131.000 | € 8.913.000 | € 4.609.000 |
| Bandbreedte | 50,00% | | | | | | | | | | | | |
| Minimale investeringskosten exclusief BTW | | € 5.853.000,00 | € 6.084.500,00 | € 1.904.500,00 | € 4.983.000,00 | € 7.067.500,00 | € 2.449.000,00 | € 5.794.000,00 | € 2.695.000,00 | € 1.356.000,00 | € 5.013.000,00 | € 3.683.000,00 | € 1.904.500,00 |
| Maximale investeringskosten exclusief BTW | | € 17.559.000,00 | € 18.253.500,00 | € 5.713.500,00 | € 14.949.000,00 | € 21.202.500,00 | € 7.347.000,00 | € 17.382.000,00 | € 8.085.000,00 | € 4.068.000,00 | € 15.039.000,00 | € 11.049.000,00 | € 5.713.500,00 |

VII

BIJLAGE: JAARLIJKSE LASTEN

| Projectnummer 142182 | | Project Stroomkeuze toekomstbestendige nieuwbouw rwzi Baarle-Nassau | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|---|---------------|-------------------------|---------------|---------------|-------------------------|---------------|---------------|-------------------------|---------------|---------------|-------------------------|
| | | Nereda+FICW | | | Nereda+DF+FWS | | | mUCT+FICW | | | mUCT+DF+FWS | | |
| Jaarlijkse kosten | Eenheid | Eenheidsprijs | Aantal / jaar | Prijs totaal (EUR/jaar) | Eenheidsprijs | Aantal / jaar | Prijs totaal (EUR/jaar) | Eenheidsprijs | Aantal / jaar | Prijs totaal (EUR/jaar) | Eenheidsprijs | Aantal / jaar | Prijs totaal (EUR/jaar) |
| Personele bezetting | EUR/FTE | € 80.000,00 | 0,4 | € 32.000,00 | € 80.000,00 | 0,4 | € 32.000,00 | € 80.000,00 | 0,4 | € 32.000,00 | € 80.000,00 | 0,4 | € 32.000,00 |
| Licentiekosten software Nereda | EUR/jaar | € 40.000,00 | 1 | € 40.000,00 | € 40.000,00 | 1 | € 40.000,00 | € 40.000,00 | 0 | € 40.000,00 | € 40.000,00 | 0 | € 40.000,00 |
| Kosten beheer | | | | € 72.000,00 | | | € 72.000,00 | | | € 32.000,00 | | | € 32.000,00 |
| FeCl3 (40%) | Eur/ton | € 300,00 | 7,3 | € 2.200,00 | € 300,00 | 19 | € 5.700,00 | € 300,00 | 0 | € 300,00 | € 300,00 | 5,6 | € 1.700,00 |
| Ijzerzand | Eur/ton | € 76,91 | 815 | € 62.700,00 | € 76,91 | 0 | € 76,91 | € 76,91 | 583 | € 44.800,00 | € 76,91 | 0 | € 76,91 |
| Tobermoriet | Eur/ton | € 262,01 | | € 262,01 | € 262,01 | | € 262,01 | € 262,01 | | € 262,01 | € 262,01 | | € 262,01 |
| Kosten chemicaliën + verbruiksmaterialen | | | | € 64.900,00 | | | € 5.700,00 | | | € 44.800,00 | | | € 1.700,00 |
| Elektriciteit (NL mix) | Eur/kWh | € 0,20 | 443543 | € 88.700,00 | € 0,20 | 440501 | € 88.100,00 | € 0,20 | 548.689 | € 109.700,00 | € 0,20 | 545.647 | € 109.100,00 |
| Energiekosten | | | | € 88.700,00 | | | € 88.100,00 | | | € 109.700,00 | | | € 109.100,00 |
| Slib | Eur per ton ds | € 600,00 | 326 | € 195.700,00 | € 600,00 | 335 | € 201.200,00 | € 600,00 | 289 | € 173.600,00 | € 600,00 | 294 | € 176.200,00 |
| Roostergoed | Eur/ton | € 150,00 | 11 | € 1.700,00 | € 150,00 | 11 | € 1.700,00 | € 150,00 | 11 | € 1.700,00 | € 150,00 | 11 | € 1.700,00 |
| Zand | Eur/ton | € 150,00 | 47 | € 7.000,00 | € 150,00 | 47 | € 7.000,00 | € 150,00 | 47 | € 7.000,00 | € 150,00 | 47 | € 7.000,00 |
| Ijzerzand (afvoer) | Eur/ton | € 150,00 | 815 | € 122.300,00 | € 150,00 | 0 | € 150,00 | € 150,00 | 583 | € 87.400,00 | € 150,00 | 0 | € 150,00 |
| Tobermoriet (afvoer) | Eur/ton | € 150,00 | | € 150,00 | € 150,00 | | € 150,00 | € 150,00 | | € 150,00 | € 150,00 | | € 150,00 |
| Maaisel | Eur per ton ds | € 600,00 | 14 | € 8.100,00 | € 600,00 | 15 | € 8.800,00 | € 600,00 | 14 | € 8.100,00 | € 600,00 | 15 | € 8.800,00 |
| CO2 emissies | Eur/ton | € 100,00 | 891 | € 89.100,00 | € 100,00 | 879 | € 87.900,00 | € 100,00 | 937 | € 93.700,00 | € 100,00 | 926 | € 92.600,00 |
| Verwerking spoelwater op rwzi | Eur/m3 | € 0,01 | 147542 | € 1.500,00 | € 0,01 | 223004 | € 2.200,00 | € 0,01 | 17.357 | € 200,00 | € 0,01 | 92.820 | € 900,00 |
| Reststromen + overig | | | | € 425.400,00 | | | € 308.800,00 | | | € 371.700,00 | | | € 287.200,00 |
| Operationele kosten (excl BTW) | EUR/jaar | | | € 651.000,00 | | | € 474.600,00 | | | € 558.200,00 | | | € 430.000,00 |
| Kapitaallasten civiel | annuitair obv totale investering | | | € 761.500 | | | € 648.300 | | | € 753.800 | | | € 652.200 |
| Kapitaallasten werktuigbouw | annuitair obv totale investering | | | € 1.172.400 | | | € 1.361.800 | | | € 519.300 | | | € 709.700 |
| Kapitaallasten E&PA | annuitair obv totale investering | | | € 493.300 | | | € 634.300 | | | € 351.200 | | | € 493.300 |
| Kapitaallasten totaal (excl BTW) | EUR/jaar | | | € 2.427.200,00 | | | € 2.644.400,00 | | | € 1.624.300,00 | | | € 1.855.200,00 |
| Onderhoudskosten civiel | in % van voorziene bouwkosten | | | € 28.600,00 | | | € 24.400,00 | | | € 28.400,00 | | | € 24.500,00 |
| Onderhoudskosten werktuigbouw | in % van voorziene bouwkosten | | | € 119.100,00 | | | € 138.300,00 | | | € 52.800,00 | | | € 72.100,00 |
| Onderhoudskosten E&PA | in % van voorziene bouwkosten | | | € 111.800,00 | | | € 143.800,00 | | | € 79.600,00 | | | € 111.800,00 |
| Onderhoudskosten (excl BTW) | EUR/jaar | | | € 259.500,00 | | | € 306.500,00 | | | € 160.800,00 | | | € 208.400,00 |
| Jaarlijkse kosten totaal (excl BTW) | EUR/jaar | | | € 3.337.700 | | | € 3.425.500 | | | € 2.343.300 | | | € 2.493.600 |
| BTW (LET OP; BTW over volledig bedrag) | 21% | | | € 700.900 | | | € 719.400 | | | € 492.100 | | | € 523.700 |
| Jaarlijkse kosten totaal (incl BTW) | EUR/jaar | | | € 4.039.000 | | | € 4.145.000 | | | € 2.835.000 | | | € 3.017.000 |

Nauwkeurigheid raming + / - 50%

VIII

BIJLAGE: THEMA'S AMBITIEWEB

VIII.1 Energie en klimaat

Het thema energie en klimaat heeft betrekking op het energiegebruik in de verschillende levensfasen van een object of systeem, van aanleg tot en met sloop en op de CO₂-emissie die daarmee gepaard gaat. Om de internationale en nationale doelstellingen op het gebied van energie en klimaat te behalen en tot een fossielvrije energievoorziening te komen zijn drastische maatregelen noodzakelijk op dit thema. De Trias Energetica geeft aan hoe we onze energievraag en ons energieaanbod hierop kunnen aanpassen:

- 1 de energievraag te beperken;
- 2 zoveel mogelijk duurzaam opgewekte energie te gebruiken;
- 3 fossiele energiebronnen zo efficiënt mogelijk te benutten en/of vervangen door biobrandstoffen.

Doelstellingen in dit thema zijn:

- reduceren energiegebruik en CO₂-reductie in de gebruiksfase;
- reduceren energie voor aanleg en onderhoud (transport, bouwlogistiek);
- streven naar circulaire economie: aansluiten van verschillende energiestromen;
- gebruik van groene energie;
- opwekken van duurzame energie (bijvoorbeeld met behulp van zonnepanelen).

Voor het ambitieweb van deze systeemkeuzestudie zijn beschouwd:

- energieverbruik in kWh/y;
- klimaat in CO₂-eq emissie met groene energie.

VIII.2 Materialen

Het thema materialen gaat over het minimaliseren van materiaalgebruik en negatieve milieueffecten voortvloeiend uit het materiaalgebruik. De term 'circulaire economie' is een belangrijk thema op het gebied van duurzaam materiaalgebruik. Circulair materiaalgebruik draait om het sluiten van materiaalketens. Daarnaast speelt het voorkomen van de afwenteling door slechte arbeidsomstandigheden en milieuschade bij de productie en verwerking van materialen en grondstoffen ten behoeve van aanleg en onderhoud een belangrijke rol.

Doelstellingen zijn:

- duurzaam materiaalgebruik:
 - sluiten van de materiaalketens, toepassen hergebruikte en hoogwaardig her te gebruiken materialen;
 - spaarzaam materiaalgebruik en beperken van primair grondstofgebruik;
 - beperken van milieu-impact (uit te drukken in MKI, MilieuKostenIndicator) en van schadelijke emissies;
- duurzame aanleg en productie:
 - beperken CO₂-uitstoot bij productie en aanvoer van materialen;
 - gebiedseigen materialen toepassen (minder transport, zie ook Energie);
 - sociale voorwaarden aan de productie: wordt in de toekomst nader uitgewerkt (aspect sociaal/maatschappelijk verantwoord ondernemen).

Opgemerkt wordt dat verschillende aspecten van duurzaam materiaalgebruik tegenstrijdig kunnen zijn. Zo kunnen materialen met een lange levensduur slecht herbruikbaar zijn of kan modulair materiaalgebruik leiden tot een initiële toename van het volume benodigde materialen.

Voor het ambitieweb van deze systeemkeuzestudie zijn beschouwd:

- primair grondstoffenverbruik in CO₂-eq emissie van chemicaliën en hulpstoffen.

VIII.3 Ecologie

Ecologie en biodiversiteit hebben betrekking op de samenhang in de leefruimte van de aanwezige verschillende soorten planten en dieren. Het thema Ecologie is nauw gerelateerd aan het begrip Natuurlijk Kapitaal¹. Het verbinden van blauwe en groene structuren helpt in het stimuleren van de volledige ecologische voedselketen. Door afwisseling in het landschap te creëren, kan de diversiteit in bloemen- en diersoorten groeien, wat tot een stabiel ecosysteem leidt. Voor het behoud van onze leefomgeving is het van belang dat projecten vooral inzetten op het versterken van de (lokale) biodiversiteit zodat deze zoveel mogelijk wordt ondersteund.

Doelstellingen kunnen zijn:

- ecologische (water) kwaliteit voor flora en faunabeheer;
- biodiversiteit:
 - in stand houden (of vergroten) van de biodiversiteit;
 - beperken van overlast voor flora en fauna (licht, trillingen, hinder);
 - ondersteunen van leefgebied voor lokale biodiversiteit (voorkom bijvoorbeeld graswoestijnen);
 - ondersteunen van verspreiding en voortbestaan van soorten;
- ecologische structuren:
 - voorkomen van ontsnippering en aantasting van ecologische structuren (EHS);
 - zorgen voor aanpassingsvermogen van de (landschappelijke) inpassing van het systeem (hangt ook samen met Water en Bodem, waterkwantiteit);
 - beperken van (ruimtelijk) beslag op natuurgebied/natuurwaarden (zoals het kappen van bomen).

Voor het ambitieweb van deze systeemkeuzestudie zijn beschouwd:

- aanpak ZZS en microverontreinigingen (kwalitatief);
- biodiversiteit (kwalitatief).

VIII.4 Water en klimaat(adaptatie)

Het thema water en klimaatadaptatie gaat over het borgen van de waterkwaliteit en de waterkwantiteit (duurzaam waterbeheer). De verandering van het klimaat zal zorgen voor meer extremen in neerslag en droogte. Bij waterkwaliteit is te denken aan schoon water schoonhouden, scheiden van vuil en schoon water en schoonmaken wat verontreinigd is; het circulair maken van de waterketen. Waterkwantiteit heeft betrekking op de waterveiligheid van overstroombare gebieden en het voorkomen van zoetwatertekort en uitdroging. Om wateroverlast door piekbelasting te voorkomen dient het water zo lang mogelijk vastgehouden te worden. Om een tekort aan zoetwater zoveel mogelijk tegen te gaan, zijn verdringingsreeksen opgesteld die duidelijkheid geven over de waterverdeling in tijden van schaarste. Een project kan bijdragen de noodzaak daartoe uit te stellen.

¹ Natuurlijk kapitaal is de voorraad aan natuurlijke hulpbronnen die samen een stroom aan voordelen voor mensen opleveren, ook wel 'diensten' genoemd. De term is geïntroduceerd om wat de natuur levert op waarde te schatten. Een waarde groter dan de opbrengst uit winnen en bewerken van voorraden; het gaat ook om waarderen van de overige diensten en verdisconteren van schadelijk gebruik. Voorbeelden zijn levering van hout, vezels, voedsel (productiediensten), het filteren van drinkwater in een waterwingebied en bestuiving door bijen (regulerende diensten), recreatie en toerisme in natuurgebieden (culturele diensten).

Doelstellingen zijn bijvoorbeeld:

- waterkwaliteit:
 - het beperken van verontreiniging van oppervlakte- en grondwater;
 - wel of niet scheiden van waterafvoersystemen voor schoon en vuil water;
 - schoonmaken van verontreinigd water;
- waterkwantiteit, droogte/tekorten:
 - voorkomen van uitdroging; waterretentie, voorkomen toename verhard oppervlak;
 - waterkwantiteit, overstromingen/klimaatadaptatie;
 - borgen van voldoende opvangcapaciteit bij piekbelasting;
 - borgen van voldoende bescherming tegen.

Voor het ambitieweb van deze systeemkeuzestudie zijn beschouwd:

- waterkwaliteit in relatie tot normstelling en ambities (kwalitatief);
- zoetwaterbeschikbaarheid voor natuur.

VIII.5 Welzijn en gezondheid

Welzijn en gezondheid heeft betrekking op de fysieke en mentale gezondheid en veiligheid van alle gebruikers, omwonenden, bezoekers en werknemers van een systeem. Dit valt onder te verdelen in gezondheidsbescherming (o.a. water, lucht, geluid en licht), waarborgen van de veiligheid en het voorkomen van hinder, zowel tijdens de uitvoering van het project als in de eindsituatie. Bronaanpak is hierbij een belangrijk uitgangspunt. Door ruimte zo in te richten dat een positieve bijdrage geleverd kan worden aan het welzijn en de gezondheid van bewoners, gebruikers en bezoekers, ontwikkelen we een duurzame en veilige leefomgeving.

Doel hebben relatie tot:

- gezondheid:
 - beperken en voorkomen van:
 - water en luchtverontreiniging;
 - geluidsoverlast;
 - negatieve effecten voor gezondheid tijdens bedrijf, bouw, van zowel medewerkers (V&G) als omwonenden (schadelijke emissies, stof etc.);
- hinder:
 - beperken en voorkomen van:
 - trillingen;
 - lichthinder;
 - hinder door bouwverkeer;
 - geluidshinder (hangt ook samen met het subthema gezondheid);
 - voorkomen van visuele hinder en barrièrewerking;
 - creëren van belevingswaarde (hangt ook samen met Ruimtelijke Kwaliteit, landschappelijke inpassing);
- veiligheid:
 - realiseren van een veilig project (tijdens bouw/in de eindsituatie):
 - voldoende verkeersveilig ontwerp (hangt samen met thema Bereikbaarheid);
 - voldoende sociaal veilig (hangt ook samen met Ruimtelijke kwaliteit);
 - beperken externe veiligheidsrisico's;
 - en overige veiligheidsaspecten die van toepassing zijn.

Voor het ambitieweb van deze systeemkeuzestudie zijn beschouwd:

- transportbewegingen in ton.km per jaar voor slib en chemicaliën;
- bacteriologische kwaliteit (kwalitatief).

VIII.6 Ruimtelijke kwaliteit

Ruimtelijke kwaliteit heeft betrekking op de belevingswaarde, gebruikswaarde en toekomstwaarde vanuit het ruimtegebruik van onze infrastructuur. Het gaat daarbij zowel om zaken als inpassing en integraal ontwerp als de geplande functies in samenhang en de flexibiliteit om in de toekomst aan te kunnen blijven sluiten op veranderde eisen. Ruimtelijke kwaliteit draagt bij aan de mentale gezondheid van gebruikers, omwonenden.

Doelen binnen dit thema kunnen zijn:

- belevingswaarde:
 - nastreven het positief ervaren van het systeem en de omgeving door gebruikers. Voelen zij zich daar prettig, veilig?
- gebruikswaarde:
 - functionaliteit van het systeem; aansluiten op de behoefte;
 - kwaliteit aan functies die geboden worden, in grootte, type en variatie;
- toekomstwaarde:
 - flexibiliteit bieden voor toekomstige ontwikkelingen;
 - anticiperen op de aansluiting van het systeem op toekomstige veranderingen/ontwikkelingen.

Voor het ambitieweb van deze systeemkeuzestudie zijn beschouwd:

- inpassing in omgeving en ruimtegebruik.

VIII.7 Infrastructuur

Het thema infrastructuur (en ruimtegebruik) heeft betrekking op bestaande assets en de beslaglegging op onbebouwde ruimte vanuit een project. Omdat ruimte schaars is in Nederland, is het belangrijk dat we beschikbare ruimte zo efficiënt en multifunctioneel mogelijk inrichten. Uitbreiding van bebouwd gebied dient dan ook enkel te worden toegelaten als dat vanwege maatschappelijke en/of economische belangen noodzakelijk is. Doel is om de waterketen assets goed in beeld te hebben en meer waarde uit data te halen. Zo kan er op waarde gestuurd worden, aan de hand van de gewenste balans tussen prestaties, risico en kosten/lozingsheffing.

Doelen kunnen zijn:

- flexibele en toekomstgerichte waterketen;
- afvalwater transporteren en zuiveren;
- assetmanagement;
- samenwerking in de keten.

Voor het ambitieweb van deze systeemkeuzestudie zijn beschouwd:

- betrouwbaarheid zoals kans op storing en TRL (kwalitatief);
- flexibel zoals modulair en adaptief (kwalitatief).

