



Technologische verkenning RWZI 's-Hertogenbosch

Waterschap Aa en Maas

26 september 2013

Definitief rapport

9V7870-100

Documenttitel Technologische verkenning RWZI
's-Hertogenbosch

Verkorte documenttitel Alternatievenstudie

Status Definitief rapport

Datum 26 september 2013

Projectnaam Renovatie en Uitbreiding van RWZI
's-Hertogenbosch

Projectnummer 9V7870-100

Opdrachtgever Waterschap Aa en Maas

Referentie 9V7870-100/R002/423190/Nijm

Auteur(s) Wim Wiegant

Collegiale toets Martijn van Leusden

Datum/paraaf 26 september 2013

Vrijgegeven door Guus Ijpelaar

Datum/paraaf 26 september 2013

INHOUDSOPGAVE

| | | Blz. |
|---|--|------|
| 1 | INLEIDING | 1 |
| | 1.1 Achtergrond | 1 |
| | 1.2 Doelstelling | 1 |
| | 1.3 Leeswijzer | 1 |
| 2 | UITGANGSPUNTEN | 2 |
| | 2.1 Werkwijze | 2 |
| | 2.2 Algemeen | 2 |
| | 2.3 Karakteristieken van het influent | 2 |
| | 2.4 Temperatuur | 3 |
| | 2.5 Effluenteisen | 4 |
| | 2.6 Aanvoer van extern slib | 4 |
| 3 | VARIANTEN | 6 |
| | 3.1 Huidige situatie | 6 |
| | 3.2 Varianten voor de waterlijn | 7 |
| | 3.3 Varianten voor de sliblijn | 8 |
| 4 | BEREKENINGSMODEL | 12 |
| | 4.1 Concept | 12 |
| | 4.2 Uitgangspunten voor de technologische berekeningen | 14 |
| | 4.2.1 Algemeen | 14 |
| | 4.2.2 Energiebalans | 14 |
| | 4.2.3 Karakteristieken van de interne stroom | 14 |
| | 4.2.4 Karakteristieken van de voorbehandeling | 16 |
| | 4.2.5 Biologische behandeling | 17 |
| | 4.2.6 Indikking | 17 |
| | 4.2.7 Slibvoorbehandeling en slibgisting | 18 |
| | 4.3 Chemicaliën | 19 |
| | 4.4 Validatie | 19 |
| | 4.5 Kostenberekeningen | 22 |
| 5 | RESULTAAT VAN DE TECHNOLOGISCHE VERKENNING | 23 |
| | 5.1 Inleiding | 23 |
| | 5.2 Beoordelingscriteria | 24 |
| | 5.2.1 Kosten | 24 |
| | 5.2.2 Energie | 24 |
| | 5.3 Uitkomsten | 24 |
| | 5.3.1 Inleiding | 24 |
| | 5.3.2 Netto energieverbruik en kosten | 24 |
| | 5.3.3 Facetten van de sliblijn: gistingsruimte, methaanproductie, gebruikte warmte | 26 |
| | 5.4 Discussie | 28 |
| | 5.4.1 Ambities | 28 |
| | 5.4.2 Keuze | 29 |
| | 5.4.3 Conclusie: uit te werken variant voor het referentieontwerp | 30 |

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond

Waterschap Aa en Maas is voornemens om de RWZI 's-Hertogenbosch grootschalig, en in twee fasen, te gaan renoveren. Tevens wordt de RWZI een centrale locatie voor de slibverwerking van de RWZI's Dinther, Vinkel, Aarle-Rixtel en Asten. Bovenstaande aanpassingen aan de RWZI bestaan uit een deel renovatie en een deel nieuwbouw. Voor het werk wordt een aanbesteding volgens de UAV-gc voorzien, waarbij de uitvraag middels een vraagspecificatie en grotendeels oplossingsvrij op de markt gezet zal gaan worden.

In de nota van uitgangspunten staan de randvoorwaarden en de bestuurlijke ambities verwoord, waarbinnen het project uitgevoerd dient te worden. Om in de contractstukken, specifiek de vraagspecificatie en de bonus/malus paragraaf, realistische eisen op te nemen, is het noodzakelijk om inzicht te krijgen in de oplossingsrichtingen voor de RWZI 's-Hertogenbosch. Mogelijke procesconfiguraties en de daarbij horende karakteristieken op het gebied van energiehuishouding en de investeringen en exploitatiekosten worden in deze technologische verkenningen uiteengezet.

1.2 Doelstelling

Doelstelling van dit rapport is om de ambities van het Waterschap (exclusief de landschappelijke inpassing) te toetsen op de randvoorwaarden zoals verwoord in de Nota van Uitgangspunten. Deze technologische verkenningen resulteren in een concept dat zal worden uitgewerkt in het referentieontwerp. Tevens vormen deze verkenningen de basis voor de te stellen prestatie-eisen in de vraagspecificatie en de bijbehorende bonus/malus regelingen in de Basisovereenkomst.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten toegelicht. De verschillende varianten worden toegelicht in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 wordt een toelichting gegeven op de berekeningen, waarna in hoofdstuk 5 de verschillende kwantitatieve en kwalitatieve beoordelingscriteria passeren. Het laatste hoofdstuk van het rapport beschrijft variant die nader uitgewerkt gaat worden in het referentieontwerp.

2 UITGANGSPUNTEN

2.1 Werkwijze

Alle in dit rapport beschreven maatregelen en aannames zijn gemaakt met als doel het selecteren van een geschikte variant voor het referentieontwerp. De te onderzoeken procesconfiguraties zijn bepaald in een gezamenlijk technologisch overleg tussen Royal HaskoningDHV en Waterschap Aa en Maas. In hoofdstuk 3 worden de in beschouwing genomen opties weergegeven. De randvoorwaarden en uitgangspunten voor de berekeningen worden hieronder samengevat. Ze zijn betrokken uit de Nota van Uitgangspunten en, daar waar meer detail gewenst is, aangevuld.

2.2 Algemeen

Voor de technologische verkenning gelden onderstaande uitgangspunten.

- Afvalwater van de firma Heineken blijft aangekoppeld en wijzigt niet in temperatuur en samenstelling.
- Er wordt uitgegaan van de vergisting van het slib van de RWZI's Dinther (inclusief Vinkel) en Aarle-Rixtel (inclusief uitgegist slib van RWZI Asten). Dit slib wordt in ontwaterde vorm aangevoerd.
- Het zeven van influent zal worden meegenomen in de technologische verkenning. Afhankelijk van de uitkomst zal worden bepaald of deze technologie ingezet mag gaan worden, vanwege de beperkte ervaring met deze technologie in Nederland.
- Aerobe korrelslibtechnologie wordt meegenomen in de verkenning, maar alleen voor de uitbreiding van de zuivering. Aangezien de civiele constructie van de actiefslibreactoren hergebruikt mag worden, ligt toepassing van een volledige korrelslibreactor niet voor de hand.
- Thermische drukhydrolyse wordt als slibvoorbehandeling in beschouwing genomen, omdat de afbreekbaarheid toeneemt en vanwege de capaciteitstoename van de gisting. Enzymadditie en ultrasone desintegratie worden buiten beschouwing gelaten.
- Fosfaatterugwinning wordt in de verkenning meegenomen in de vorm van een struvietreactor op het rejectiewater, omdat er momenteel veel scalingproblemen zijn in de sliblijn. Het type fosfaatterugwinning kan in het referentieontwerp verder onderzocht worden.
- Er wordt geen nabehandelingstechniek voor het effluent toegepast. Er dient in het referentieontwerp wel fysieke ruimte op het terrein te worden vrijgehouden;
- Voor de verkenning wordt tevens rekening gehouden met het klimaatakkoord (uitstoot van CO₂ en CH₄).

2.3 Karakteristieken van het influent

In tabel 1 staan de influentkarakteristieken die gebruikt worden voor de technologische verkenning. Deze cijfers geven de aanvoer van afvalwater vanuit de (gemeentelijke) riolering. De karakteristiek van de interne stroom op de RWZI is mede afhankelijk van de aanvoer van extern slib en de wijze van slib- en rejectiewaterbehandeling. Deze wordt in de berekeningen bij het influent opgeteld om de belasting van de biologie te bepalen (zie verder § 4.2.3).

In een rapport betreffende de uitgangspunten¹ is het RWA debiet voor RWZI 's-Hertogenbosch beschreven. In een ander rapport² is de wijze waarop deze afvalwaterkarakteristieken tot stand zijn gekomen in detail beschreven.

Tabel 1. Afvalwaterkarakteristieken.

| Parameter | eenheid | waarde |
|------------------------------|-------------------|--------|
| Debieten | | |
| DWA max* | m ³ /h | 2 760 |
| RWA | m ³ /h | 13 800 |
| gemiddelde aanvoer** | m ³ /d | 56 211 |
| Vrachten | | |
| CZV | kg/d | 36 427 |
| BZV | kg/d | 13 526 |
| TKN, totaal Kjehdal-stikstof | kg/d | 3 129 |
| NO ₃ -N | kg/d | 0 |
| TP, totaal fosfor | kg/d | 544 |
| zwevende stof | kg/d | 17 448 |

* maximale aanvoer op een 'DWA-dag' wordt gebruikt voor berekeningen aan biologische P verwijdering, voor de RWZI 's-Hertogenbosch wordt hiervoor de gemiddelde DWA (2.300 m³/h) maal een piefactor van 1,2 aangehouden.

** Op basis van het totaal behandelde afvalwater in 2010.

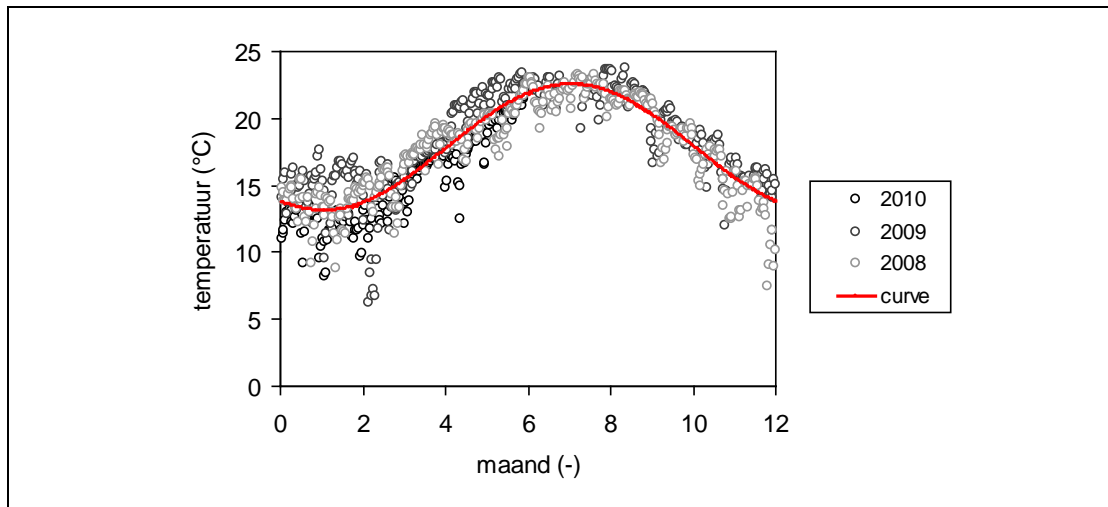
Bovenstaande afvalwaterkarakteristiek komt (afgerond op 100 i.e.) overeen met een ontwerpcapaciteit van afgerond 340.000 i.e. à 150 g TZV.

2.4 Temperatuur

Voor de technologische berekeningen is een temperatuurcurve 'gefit' op de gemeten watertemperaturen van 2008, 2009 en 2010. Elke temperatuurmeting is even zwaar meegerekend. De gemeten waardes en de curve zijn weergegeven in figuur 1.

1 Rapport: Nota van uitgangspunten, renovatie RWZI 's-Hertogenbosch, d.d. april/mei 2013, Waterschap Aa en Maas

2 Influentprognose en ontwerpcapaciteit van de RWZI 's Hertogenbosch, 9V7870.A0, R052, concept 2^e versie, dd. 12 mei 2011



Figuur 1. Temperatuurcurve die is gebruikt voor de technologische berekeningen

Voor de berekeningen zal gebruik worden gemaakt van de sinus die deze curve het beste beschrijft, verlaagd met 0,5°C.

2.5 Effluenteisen

De berekeningen zijn gebaseerd op een jaargemiddelde eis voor totaal stikstof van 7 mg/l en voor totaal fosfor van 0,8 mg/l³. De P-eis geldt als gemiddelde van tien opeenvolgende debietproportionele dagmonsters. Voor de configuratiekeuze is het van belang dat een toekomstige aanscherping van de effluenteisen technisch gerealiseerd kan worden tegen onderling vergelijkbare kosten. Hiervoor wordt bij alle varianten vooralsnog een nageschakelde techniek voorzien indien een aanscherping van de lozingseisen plaatsvindt.

2.6 Aanvoer van extern slib

Uit een uitgebreide slibstrategiestudie is berekend en besloten dat het gunstig is het ontwaterde slib van de RWZI Dinther, RWZI Aarle-Rixtel en tevens van de RWZI Asten en RWZI Vinkel op de RWZI 's-Hertogenbosch te verwerken. De externe slibaanvoer is gebaseerd op de gemiddelde aanvoer in 2008 en 2009³.

³ Rapport: Nota van uitgangspunten, renovatie RWZI 's-Hertogenbosch; d.d. april/mei 2013, Waterschap Aa en Maas

Tabel 2. Hoeveelheden extern slib die verwerkt zullen worden op RWZI 's-Hertogenbosch.

| RWZI | Type slib | Hoeveelheid [ton d.s./j]* | Asgehalte [%] |
|--------------|---------------------|----------------------------------|----------------------|
| Dinther | secundair | 5.927 | 23,5 |
| Dinther ** | chemisch | 320 | 66 |
| Aarle-Rixtel | secundair | 5.456 | 24,5 |
| Asten | uitgegist secundair | 1.184 | 25 |
| Vinkel | secundair | 808 | 22 |

* de hoeveelheden zijn gemeten voor de indikers, en vervolgens gecorrigeerd voor het rendement van indikers, gisting en ontwatering;

** afkomstig uit de fosfaatstrippertank, waar fosfaat in verhoogde concentraties wordt neergeslagen met Al-zout.

3 VARIANTEN

Voor de technologische verkenning voor de renovatie van RWZI 's-Hertogenbosch is een aantal varianten van te voren gedefinieerd. Voor de kalibratie van het model is de huidige situatie gebruikt.

3.1 Huidige situatie

De capaciteiten en andere karakteristieken van de belangrijkste elementen van RWZI 's-Hertogenbosch zijn samengevat in tabel 3.

Tabel 3. Karakteristieken van de huidige procesonderdelen.

| Onderdeel | Eenheid | Waarde |
|--|--|--------|
| Ontvangwerk | | |
| Capaciteit – hydraulisch | m ³ /h | 18.000 |
| Capaciteit volgens DO | m ³ /h | 15.045 |
| Afvoer naar VBT – maximaal volgens DO | m ³ /h | 9.000 |
| Afvoer naar bufferbezinktank – maximaal volgens DO | m ³ /h | 6.045 |
| Bufferbezinktank | | |
| aantal | - | 1 |
| diameter | m | 60 |
| kantdiepte | m | 2,5 |
| capaciteit slibpomp | m ³ /h | 100 |
| capaciteit retourpomp | m ³ /h | 800 |
| Roostergoedverwijdering | | |
| DWA rooster | | |
| aantal | - | 2 |
| capaciteit per stuk | m ³ /h | 4.500 |
| spleetwijdte | mm | 6 |
| RWA rooster | | |
| aantal | - | 2 |
| capaciteit per stuk | m ³ /h | 4.500 |
| Zandvanger | | |
| type | - | Dorr |
| capaciteit | m ³ /h | 9.000 |
| oppervlaktebelasting | m ³ ·m ⁻² ·h ⁻¹ | 45 |
| oppervlakte | m ² | 200 |
| Voorbezinktanks | | |
| aantal | - | 2 |
| oppervlaktebelasting | m ³ ·m ⁻² ·h ⁻¹ | 2,5 |
| diameter | m | 48 |
| kantdiepte | m | 2 |
| Actief slibreactoren | | |
| aantal | - | 4 |
| volume per tank | m ³ | 4.000 |
| volume selector / anaërobe tank | m ³ | 540 |
| volume denitrificatietank | m ³ | 865 |
| volume aëratietank | m ³ | 2.595 |
| recirculatie debiet aëratie → denitrificatie | m ³ /h | 1.600 |
| ontwerp slibgehalte | kg/m ³ | 4 |
| aantal blowers | - | 3 (+1) |
| blowercapaciteit – totaal | Nm ³ /h | 33.600 |

| Onderdeel | Eenheid | Waarde |
|-------------------------------|---------------------------------|------------|
| Nabezinktanks | | |
| aantal | - | 8 |
| oppervlaktebelasting | $m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ | 1,04 |
| diameter | m | 48 |
| kanddiepte | m | 2 |
| Retourslibgemaal | | |
| aantal vijzels | - | 4 |
| aantal pompen | - | 4 |
| capaciteit – totaal | m^3/h | 5.800 |
| Slibindikker (primair slib) | | |
| type | - | gravitair |
| aantal | - | 2 |
| diameter | m | 20 |
| Slibindikker (secundair slib) | | |
| type | - | flotatie |
| aantal | - | 2 |
| oppervlakte per stuk | m^2 | 10 |
| Slibgisting | | |
| aantal | - | 2 |
| volume – totaal | m^3 | 8.000 |
| Gashouder | | |
| aantal | - | 1 |
| volume | m^3 | 500 |
| Slibbuffertank | | |
| aantal | - | 1 |
| volume | m^3 | 1.000 |
| diameter | m | 20 |
| Slibcentrifuge | | |
| aantal | - | 1 |
| capaciteit minimaal | m^3/h | 45 |
| Slibopslag | | |
| type | - | containers |
| Deelstroombehandeling | | |
| type | - | Babe |
| aantal | - | 1 |

3.2 Varianten voor de waterlijn

Voor de technologische verkenning van de zuiveringsconfiguratie voor RWZI 's-Hertogenbosch zijn de volgende mogelijke zuiveringsstappen voor de waterlijn opgenomen:

Voorbehandeling

- voorbezinking met en zonder poly-electrolyt (PE) dosering;
- A-trap in een tweetraps-actiefslibstelsysteem;
- zeven van influent.

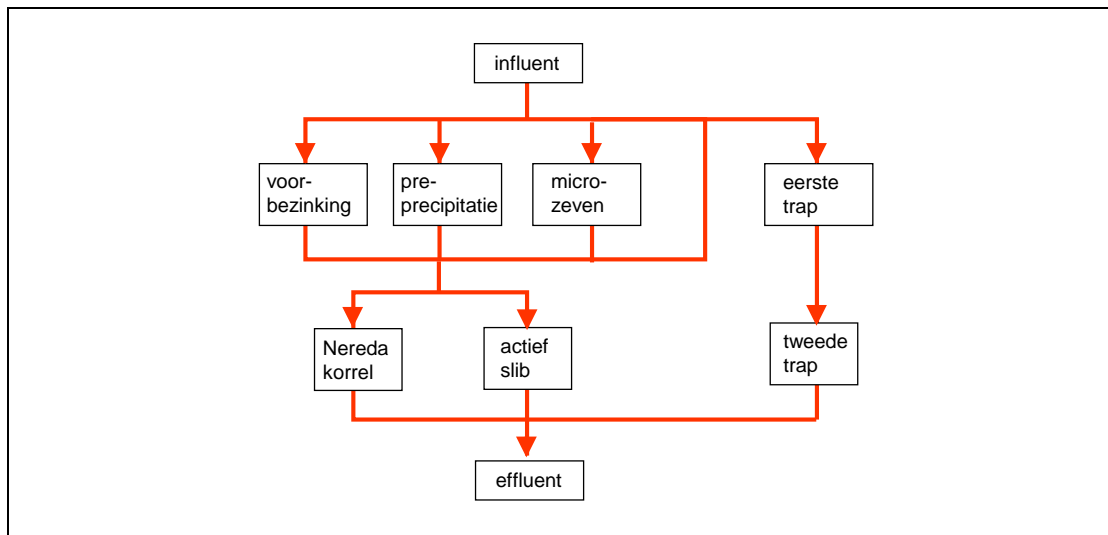
Hoofdbehandeling

- conventionele techniek (mUCT);
- aerob korrelslib in Nereda[®]-reactoren, alleen voor de uitbreiding;
- tweede trap met effluentrecirculatie (B-trap).

Nabehandeling

- geen toepassing van nabehandeling.

In figuur 2 is een schematische weergave gegeven van de mogelijke opties voor de waterlijn van RWZI 's-Hertogenbosch.



Figuur 2. Schematische weergave van de mogelijke zuiveringstechnieken in de waterlijn voor de technologische verkenning van de configuratie voor RWZI 's-Hertogenbosch. Nieuw opgenomen technieken zijn geel weergegeven. De eerste en tweede trap zijn de twee actiefslibprocessen die horen bij een A/B-proces.

3.3 Varianten voor de sliblijn

Voor de technologische verkenning van de zuiveringsconfiguratie voor RWZI 's-Hertogenbosch zijn, naast de referentie, de volgende mogelijke zuiveringsstappen voor de sliblijn opgenomen:

Slibindikking

Voor de slibindikking wordt per gistingvariant (zie slibreductie) bekeken wat de meest voor de hand liggende wijze van indikking is. Voorbeeld: bij mesofiele gisting met TDH wordt de slibindikking indien mogelijk geoptimaliseerd zodanig dat er geen gistingcapaciteit hoeft te worden bijgebouwd. Dit houdt in dat beperkte wijzigingen op de uitgangspunten worden toegestaan om bijbouwen van gistingcapaciteit te voorkomen. De volgende mogelijkheden worden beschouwd:

- aparte dan wel gezamenlijke gravitaire indikking van primair en secundair slib;
- aparte dan wel gezamenlijke mechanische voorindikking van primair en secundair slib (bandindikker) wanneer thermische druk hydrolyse wordt toegepast.

In de variant met influentzeven, wordt het zeefgoed vergist in de gistinginstallatie. Dit is gedaan omdat het nog onvoldoende duidelijk is of hier opbrengst voor kan worden berekend. In de STOWA slibketenstudie II⁴ en het onderzoek naar influent fijnzeven⁵ is

4 STOWA 2010. Influent fijnzeven in RWZI's. STOWA, Utrecht, rapport 2010-19.

5 STOWA 2010. Slibketenstudie II – Nieuwe technieken in de slibketen. STOWA, Utrecht, rapport 2010-33.

namelijk aangetoond dat de opbrengst boven de 30 à 40 € per ton moet liggen alvorens extern afvoeren gunstiger wordt dan het meevergisten.

Slibreductie

Er zijn verschillende mogelijkheden voor de voorbehandeling van het slib om de vergistbaarheid en de ontwaterbaarheid te verbeteren. De volgende methoden werden onderzocht:

- mesofiele slibgisting;
- thermofiele slibgisting;
- thermische drukhydrolyse – Type A (10% ds van het ingaande slib);
- thermische drukhydrolyse – Type B (12% ds van het ingaande slib);
- thermische drukhydrolyse – Type C (12% ds van het ingaande slib);
- thermische drukhydrolyse – Type D (6 % ds van het ingaande slib);
- uitbreiding tot tweetrapsgisting met een propstroomreactor.

In § 4.2.7 wordt ingegaan op wijziging door de voorbehandeling van de parameters voor de beschrijving van de afbraak van organische stof tijdens de slibgisting.

Slibontwatering

- slibontwatering van het uitgegiste slib vindt plaats met een centrifuge. In het ontwerp kunnen andere uitvoeringsvormen (bijvoorbeeld zeefbandpers) nog worden afgewogen.

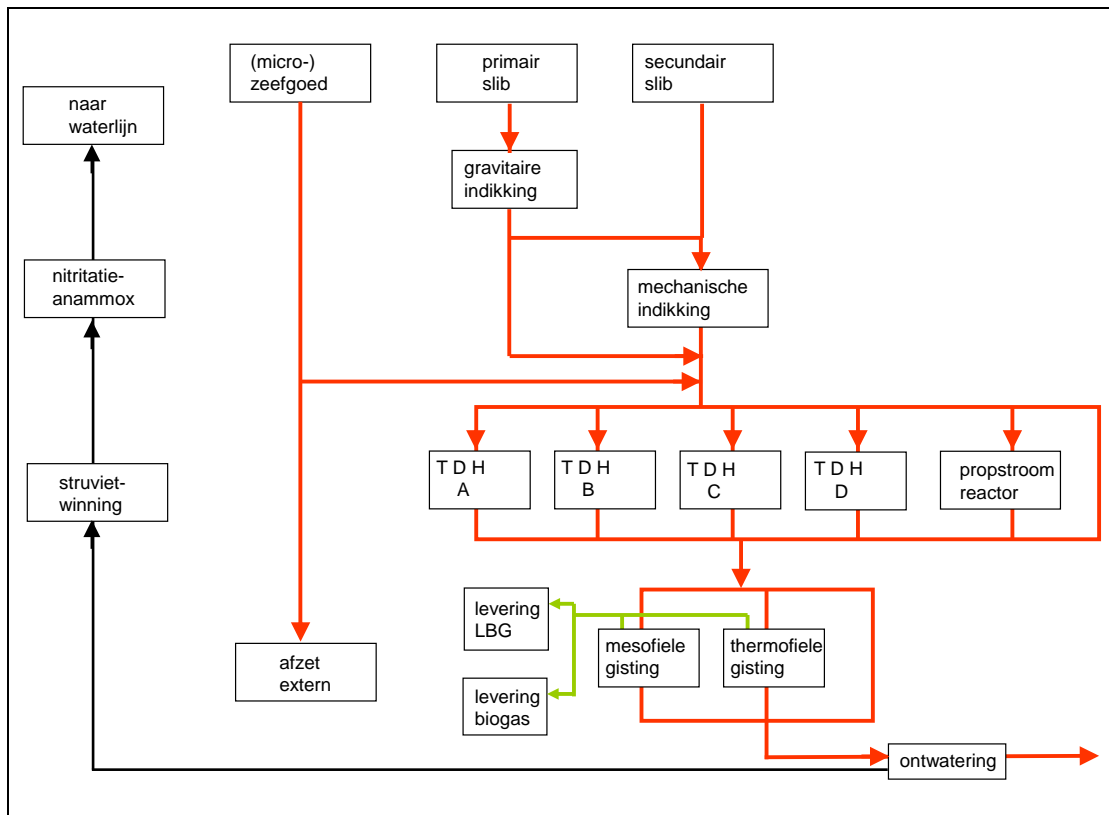
Deelstroombehandeling

- de deelstroombehandeling bestaat uit een struvietreactor en een 1-traps nitritatie-anammox reactor.

Biogasverwerking

- allereerst wordt biogas met een maximum van 3.250 Nm³/d (1.417 ton groen gas per jaar) geleverd voor de opwerking naar transportbrandstof. Al het biogas dat resteert, wordt extern geleverd (Heineken).

In figuur 3 is een schematische weergave gegeven van de mogelijke opties voor de sliblijn van RWZI 's-Hertogenbosch.



Figuur 3. Schematische weergave van de mogelijke zuiveringstechnieken in de sliblijn voor de technologische verkenning van de configuratie voor RWZI 's-Hertogenbosch.

Zoals ook al uit figuur 3 blijkt bevatten alle varianten eenzelfde slibontwatering, struvietreactor en deelstroombehandeling middels een 1-traps nitritatie-anammox reactor. De huidige WKKs komen te vervallen.

Er zijn in totaal 77 redelijke varianten – elf voor de waterlijn en zeven voor de sliblijn, die allemaal gecombineerd kunnen worden. Voor de waterlijn:

- geen voorbezinking, met en zonder biologische P-verwijdering;
- voorbezinking, met en zonder biologische P-verwijdering;
- voorbezinking met pre-precipitatie;
- microzeven;
- AB-proces.

Deze processen kunnen allemaal –met uitzondering van een AB-proces– worden uitgevoerd met aerob korrelslib in plaats van een conventionele actiefslibinstallatie als vervolgstap. Dit levert 11 redelijke varianten op. De varianten zijn samengevat in tabel 4.

Tabel 4. Energiebalansen van de onderzochte varianten.

| Variant | voorbehandeling | biologische P | hoofdstroom |
|----------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | geen | chemisch | actief slib |
| 2 | voorbezinking | chemisch | actief slib |
| 3 | voorbezinking + PE-dosering | chemisch | actief slib |
| 4 | A-trap van AB-proces | chemisch | actief slib |
| 5 | microzeef | chemisch | actief slib |
| 6 | geen | bio-P | actief slib |
| 7 | voorbezinking | bio-P | actief slib |
| 8 | geen | bio-P (inherent)* | aeroob korrelslib |
| 9 | voorbezinking | bio-P (inherent) | aeroob korrelslib |
| 10 | voorbezinking + PE-dosering | bio-P (inherent) | aeroob korrelslib |
| 11 | microzeef | bio-P (inherent) | aeroob korrelslib |

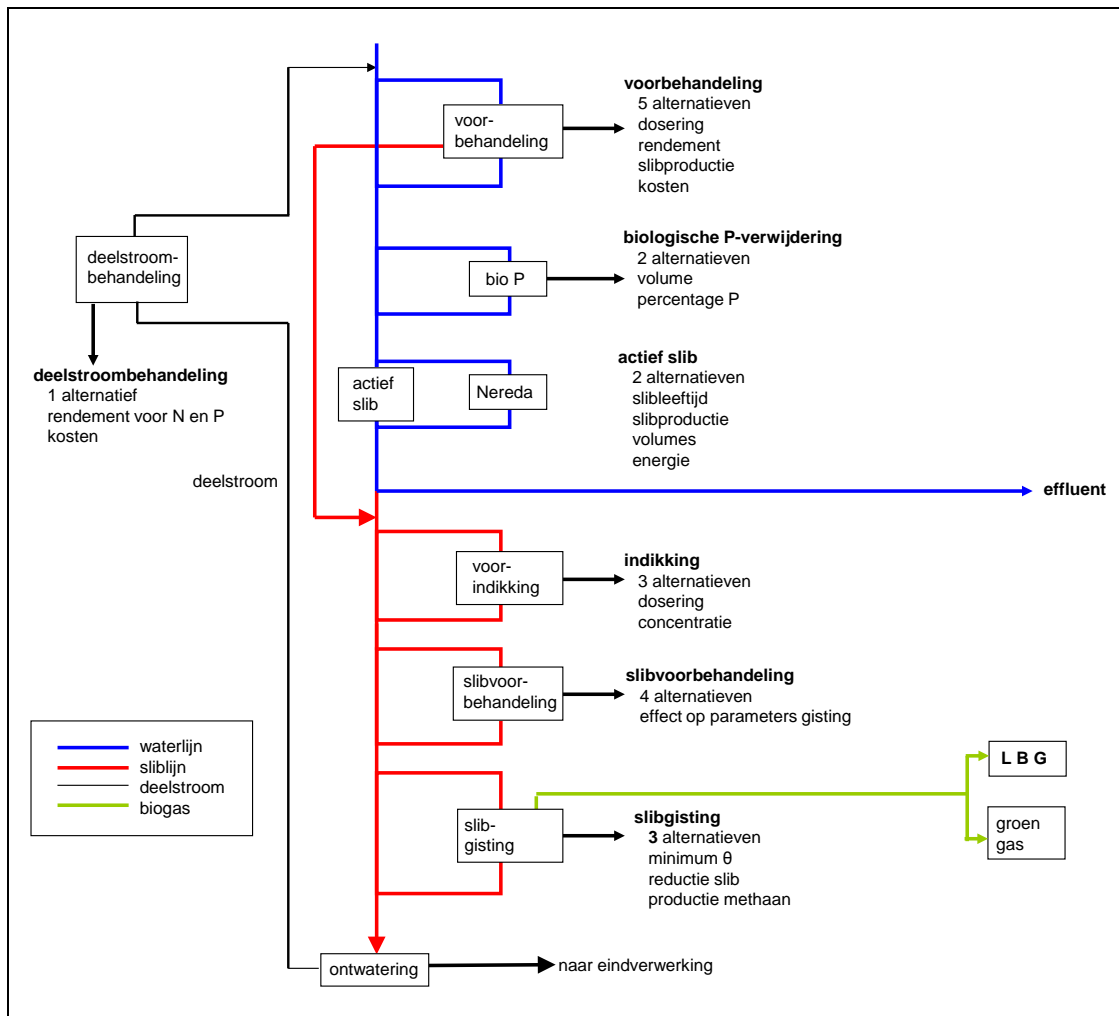
*: biologische P-verwijdering treedt automatisch op in aeroob korrelslib

De sliblijn kan worden uitgevoerd met mesofiele of thermofiele gisting, en met mesofiele gisting waarbij het slib een voorbehandeling ondergaat, die kan bestaan uit vier typen thermische voorbehandeling, of een propstroomreactor. Dit levert zeven varianten op. Om het geheel niet al te ingewikkeld te maken, zijn er geen verdere varianten voor indikking of deelstroombehandeling bestudeerd. Er is van uitgegaan dat deze bij alle varianten hetzelfde kan zijn.

4 BEREKENINGSMODEL

4.1 Concept

Een generiek schema van de processen die van belang zijn voor de technologische berekeningen en de dimensionering van RWZI 's-Hertogenbosch is te zien in figuur 4.



Figuur 4. Schematische weergave van de elementaire technieken en de belangrijkste parameters die een rol spelen bij de dimensionering van RWZI 's-Hertogenbosch.

Op het moment is er in Nederland grote belangstelling voor het toepassen van technieken die afvalwaterbehandeling energiezuiniger of goedkoper, en bij voorkeur allebei, kunnen maken –vanzelfsprekend onder de randvoorwaarde van het voldoen aan de geldende of voorgeschreven effluenteisen. Er zijn veel technieken beschikbaar en denkbaar die dit kunnen verwezenlijken, en een indrukwekkend aantal hiervan zijn recentelijk in verschillende studies onderzocht^{6,7}.

6 Unie van Waterschappen 2009. Werkrapport 'De Energiefabriek'. www.energiefabriek.com

7 Wiegant W, W Koopmans, D Dknezevic & C Uijterlinde 2011. Nieuwe technieken in de water- en slibketen. H2O: 2011 (4): 36-39.

Het wezenlijke proces van de biologische zuivering van afvalwater in het actiefslibproces blijft bij toepassing van de meeste nieuwe technieken ongewijzigd. Dit geldt natuurlijk niet voor de toepassing van aerobisch korrelslib in het Nereda[®]-proces.

Eerst wordt door een voorbehandelingstechniek een deel van de in het afvalwater aanwezige verontreiniging verwijderd. In de navolgende biologische behandeling wordt de resterende organische verontreiniging omgezet en stikstof via nitrificatie en denitrificatie verwijderd. Fosfaat wordt in meer of mindere mate opgenomen in het slib en de rest wordt door chemische precipitatie verwijderd. Het bij de behandeling gevormde slib kan worden vergist, en door eventuele voorbehandelingstechnieken kan de mate en de snelheid van de vergisting worden verbeterd.

Er zijn ook enige radicale technieken die het bovenbeschreven proces min of meer wezenlijk veranderen, vooral toepassing van eenstaps nitritatie-anammox in de waterlijn en biologische slibreductie vereisen een andere aanpak van de dimensionering van het proces. De nitritatie-anammox techniek in de waterlijn staat nog ver van een *full-scale* toepassing en biologische slibreductie heeft –afgezien van de onvoorspelbaarheid van het proces– als nadeel dat de focus niet ligt op het produceren van energie waardoor in deze technologische verkenning voor RWZI 's-Hertogenbosch hier geen nadere uitwerking van wordt gedaan.

De verschillende bestudeerde technieken kunnen worden ingedeeld in de volgende klassen:

- *Voorbehandeling*
Voorbezinking met of zonder pre-precipitatie met PE, microzeven of een eerste trap van het tweetrapsproces;
- *Hoofdbehandeling*
Conventionele actiefslibinstallatie of een tweede trap van het tweetrapsproces (in wezen niet veel anders dan een actiefslibinstallatie), of een Nereda[®]-proces dat is de toepassing van aerobisch korrelslib in een *Sequencing Batch Reactor* configuratie.
- *Slibvoorbehandeling*
Geen voorbehandeling van slib of thermische slibvoorbehandeling in vier verschillende technieken en een andere voorbehandelingstechniek, de propstroomreactor, die bestaat uit een mesofiele of thermofiele voorgeschakelde reactor met een verblijftijd van 3-6 dagen), voordat het slib wordt vergist.
- *Voor de deelstroombehandeling*
1-step Anammox[®]/Demon[®].

Modelmatige berekening van de kosten, verbruiken van energie en chemicaliën, van de slibproducties en van de slibreductie en biogasproductie tijdens vergistingsprocessen is aan de hand van modelberekeningen goed mogelijk. Het hier gebruikte model is een aanpassing van het model dat werd gebruikt voor het onderzoek naar de toepassing van nieuwe technieken in de slibketen⁸.

8 STOWA 2010. Slibketen II - Nieuwe technieken in de slibketen. STOWA, Amersfoort, rapport 2010-33.

4.2 Uitgangspunten voor de technologische berekeningen

4.2.1 Algemeen

Voor de algemene uitgangspunten die voor de technologische verkenning zijn gebruikt wordt verwezen naar de nota van uitgangspunten van Waterschap Aa en Maas⁹. De belangrijkste algemene uitgangspunten uit deze nota zijn:

- hydraulische capaciteit;
- biologische capaciteit;
- aanvoer van extern slib;
- effluenteisen;
- financiële gegevens (rente, afschrijvingstermijnen etc.);
- kosten voor chemicaliën;
- energiekosten.

4.2.2 Energiebalans

De energiebalans heeft als systeemgrens het terrein van de RWZI. Het verbruik bestaat uit de hoeveelheid ingekochte elektriciteit samen met het naar energieverbruik omgerekende chemicaliënverbruik. De productie van energie bestaat uit:

- de levering van biogas voor externe levering aan Heineken;
- de levering van biogas voor transportbrandstof aan de Afvalstoffendienst.

Er wordt voor de energiebalans uitgegaan van:

- warmte-inname (netto thermische energie van aangevoerd warm water).

Er wordt voor de energiebalans niet uitgegaan van:

- energie van de afzet van (uitgegist) slib;
- energie benodigd voor het produceren van transportbrandstof uit biogas.

4.2.3 Karakteristieken van de interne stroom

Voor de interne stroom –de vuilvrachten die terugkomen naar het influent via de terreinriolering, eventueel na passage van een deelstroombehandeling, zijn de volgende aannames gebruikt:

CZV, BZV en ZS

Voor de vuilvrachten vanuit de terreinriolering van CZV, BZV en zwevende stof is uitgegaan van 2% van de influentvracht.

⁹ Rapport: Nota van uitgangspunten, renovatie RWZI 's-Hertogenbosch; d.d. april/mei 2013, Waterschap Aa en Maas

Stikstof

Voor de geretourneerde hoeveelheid stikstof is uitgegaan van de volgende berekening.

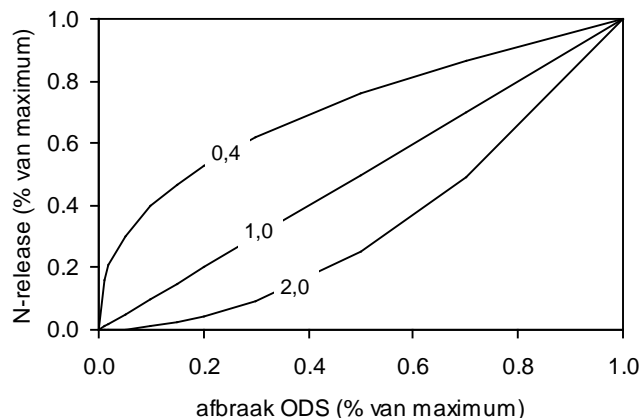
$$N_{\text{RETOUR}} = (1 - X_{\text{DN}} * E_{\text{DN}}) * \left(N_{\text{P}} * E_{\text{P}}^{\text{A}} + N_{\text{S}} * E_{\text{S}}^{\text{A}} \right) * \left(1 - \frac{\text{DS}_{\text{IN}}}{\text{DS}_{\text{ONT}}} \right) + [N_{\text{W}}] * Q_{\text{R}}$$

met:

| | |
|------------------------------|---|
| N_{RETOUR} | is de geretourneerde N-vracht (kg/d); |
| X_{DN} | is de aanwezigheid van deelstroombehandeling (0 of 1); |
| E_{DN} | is het rendement van de deelstroombehandeling voor N; |
| $N_{\text{P}}, N_{\text{S}}$ | is de fractie stikstof in respectievelijk primair en secundair slib (kg N/kg ds); |
| $E_{\text{P}}, E_{\text{S}}$ | is de afbraak van respectievelijk primair en secundair slib (-); |
| A | is de afbraaksnelheidscoëfficiënt (-); |
| DS_{IN} | is het drogestofgehalte van de ingaande stroom; |
| DS_{ONT} | is het drogestofgehalte van het ontwaterde slib; |
| $[N_{\text{W}}]$ | is de opgesloten stikstof in het rejectiewater (mg/l); |
| Q_{R} | is de rejectiewaterstroom (m ³ /d). |

in woorden: de geretourneerde hoeveelheid stikstof is afhankelijk van het rendement van de deelstroombehandeling E_{DN} , van de hoeveelheid vrijgekomen stikstof (de eerste term tussen haakjes), de hoeveelheid daarvan die in het rejectiewater terecht komt (de tweede term tussen haakjes, afhankelijk van de drogestofgehaltes voor de slibgisting en na ontwatering) en de hoeveelheid stikstof die er al in het water zat. Deze laatste kan gevoeglijk worden verwaarloosd.

De berekening van de rendementen E_{P} en E_{S} is gegeven in § 4.2.7. De coëfficiënt A betreft de snelheid van vrijkomen van N. Het is onduidelijk of de stikstof net zo snel vrijkomt als dat de organische stof wordt afgebroken. Hiervoor is een coëfficiënt geïntroduceerd, die beide processen aan elkaar relateert. Als de coëfficiënt 1 is, dan verlopen de afbraak van organische stof en het vrijkomen van stikstof even snel, bij een waarde lager dan 1 verloopt het vrijkomen van stikstof sneller, bij een waarde hoger dan 1 langzamer (zie figuur 5).



Figuur 5. Hoeveelheid vrijgekomen stikstof als functie van de hoeveelheid afgebroken organische stof

In de huidige berekening is een factor 0,4 aangehouden.

Fosfor

Voor fosfor kan een analoge berekening als voor stikstof worden opgezet. Nadat het P echter is vrijgekomen, slaat het voor een groot deel weer neer gedurende de slibgisting. Hierbij is het van belang of er slib wordt vergist dat betrokken is geweest bij chemische of biologische P-verwijdering (of geen P-verwijdering). Bij vergisting van slib van installaties waar chemische P-verwijdering wordt toegepast, komt weinig P vrij¹⁰, afhankelijk van de Me/P verhouding bij de dosering¹¹. Als biologische P-verwijdering wordt toegepast kan juist veel P vrijkomen, 20 tot 50% van het totale P-gehalte van het slib¹². Het opgeslagen P wordt gehydrolyseerd en komt vervolgens in oplossing, waar het voor het grootste deel wordt neergeslagen als struviet. De concentratie P is in de gistende massa echter veel hoger dan de concentratie magnesium, zodat slechts een beperkt deel als struviet kan neerslaan. De concentratie magnesium in afvalwater bedraagt naar schatting 5 - 25 mg/l, en dus slaat slechts aan P maximaal 7 tot 33 mg/l als struviet neer. De bacteriën die P opslaan, bevatten relatief veel magnesium, omdat ze het samen met kalium als tegen ion voor het opgeslagen P gebruiken¹³. Bij de hydrolyse van polyfosfaat komt dus magnesium vrij, dat tijdens de slibgisting meteen weer als struviet neerslaat. Bovendien worden vaak ijzerzouten tijdens de slibgisting gedoseerd om de concentratie H₂S in het biogas te verlagen.

Een en ander betekent dat het bijna onmogelijk is om te schatten hoeveel van het vrijgekomen P werkelijk in het rejectiewater terecht komt. De volgende –intuïtief vastgestelde– waarden worden gesuggereerd, op basis van concentraties P in het rejectiewater in de literatuur, voor het neerslaan van P:

- 70% van het P dat zich in niet-bio-P slib bevindt;
- 50% van het P dat zich in bio-P slib bevindt.

4.2.4 Karakteristieken van de voorbehandeling

De karakteristieken van de voorbehandeling zijn samengevat in tabel 5.

10 Carliell-Marquet C M & A D Wheatley 1997. Metal and phosphate speciation during anaerobic digestion of phosphorus rich sludge. *Water Science & Technology* 36 (6 -7): 191-200.

11 Jardin N & H. J Pöpel 1994. Phosphate release of sludges from enhanced biological p-removal during digestion. *Water Science and Technology* Vol 30 No 6 pp 281–292 © IWA Publishing 1994

12 Pitman A.R 1999. Management of biological nutrient removal plant sludges – change the paradigms? *Water Research.*, **33**, 1141-1146.

13 Wu Q, P L Bishop & T C Keener 2006. Biological Phosphate Uptake and Release: Effect of pH and Magnesium Ions. *Water Environment Research*, 78 (2) 196-201.

Tabel 5. Karakteristieken van de voorbehandeling.

| Parameter | Eenheid | VBT | PreP | A-trap | microzeef |
|-----------------|---------|-----|------|--------|-----------|
| rendement: | | | | | |
| CZV | % | 30 | 45 | 60 | 40 |
| BZV | % | 30 | 45 | 60 | 10 |
| Nkj | % | 10 | 25 | 35 | 5 |
| PO4 | % | 57 | 25 | 70 | 5 |
| ZS | % | 54 | 80 * | 90 | 55 |
| slibgehalte uit | % | 1.0 | 1.0 | 0.8 | 30.0 |
| CZV van ODS | g/g | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.3 |

*: Deze waarde is een schatting, bij gebrek aan praktijkgegevens. De waarde is mogelijk te hoog.

Het rendement van de voorbehandeling met een voorbezinktank is in lijn gebracht met de huidige situatie. Hierbij valt het hoge rendement van fosfaat op, veroorzaakt door de ijzerdosering in de huidige situatie. In de voorbehandeling met precipitatie (PreP) wordt geen ijzer gedoseerd maar polyelectrolyt (PE), dit resulteert in een relatief lage rendement voor fosfaat maar een relatief hoog rendement voor zwevende stof (ZS) van de voorbehandeling.

4.2.5 Biologische behandeling

De biologische fosforverwijdering is berekend aan de hand van het model van Scheer^{14,15}. De biologische stikstofverwijdering is berekend aan de hand van het HSA-model^{16,17}. Hierin wordt de stikstofverwijdering berekend aan de hand van het aandeel denitrificatie dat is benodigd, als functie van de BZV/N-verhouding van het water dat wordt behandeld in de biologische ruimte.

Voor een aerobisch korrelslibproces volgens het Nereda[®]-proces wordt uitgegaan van richtlijnen die worden aangegeven in een STOWA-rapportage die daar betrekking op heeft¹⁸.

4.2.6 Indikking

Wanneer het aangevoerde externe slib wordt gemengd met het secundaire ingedikte slib van RWZI 's-Hertogenbosch ontstaat een mengsel met een droge stof percentage van 15,4%. Dit is ruim voldoende om direct in een thermische drukhydrolyse te behandelen of direct te vergisten. Wanneer het primaire slib van Den Bosch na de gravitaire indikking hier nog aan wordt toegevoegd, ontstaat een mengsel met een drogestofpercentage van 9,3%.

14 Scheer H 1994. Belebungsverfahren mit biologischer Phosphatelimination: Bemessungsansätze und Kostenabschätzung. Korrespondenz Abwasser 41: 426-441.

15 STOWA 2001. Handboek biologische fosfaatverwijdering. STOWA, Utrecht, rapport 2001-15.

16 Böncke B 1989. Bemessung der Stickstoffelimination in der Abwasserreinigung - Ergebnisse eines Erfahrungsaustausches der Hochschulen. Korrespondenz Abwasser 36: 1046-1061.

17 STOWA 1995. Evaluatie van het HSA-model voor toepassing in Nederland. STOWA, Utrecht, 1995, rapport 95-19.

18 STOWA 2011. Duurzame toepassing van de Nereda[®] technologie voor de Nederlandse waterbeheerder. STOWA, Amersfoort, rapport 2011-W-08.

Om te zorgen dat het bestaande gistingvolume zo goed mogelijk wordt benut, is er in deze verkenning van uitgegaan dat het primaire slib ook wordt ingedikt tot 6%. Het totale droge stof gehalte wordt daarmee 11,1%

4.2.7 Slibvoorbehandeling en slibgisting

De afbraak van organische stof en de biogasproductie die daar het gevolg van is werden berekend aan de hand van het model van Chen & Hashimoto¹⁹. De afbraak van het slib kan aan de hand van dit model beschreven worden als:

$$E = \frac{\Theta - 1}{\Theta - 1 + K}$$

met E is het relatieve rendement (ten opzichte van de maximale afbraak), Θ is de relatieve slibleeftijd (dat is de slibleeftijd gedeeld door de minimale slibleeftijd, en K een constante voor de afbraaksnelheid van het slib.

Voor het vaststellen van de uitgangspunten voor de diverse slibvoorbehandelings-technieken is gebruik gemaakt van:

- laboratoriumexperimenten, waarin TDH en propstroomreactor onder vergelijkbare omstandigheden zijn getest;
- pilottesten die op Amersfoort (Sustec) en Hengelo (Cambi) zijn uitgevoerd in het kader van een STOWA onderzoek²⁰;

De op deze manier vastgestelde uitgangspunten zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6. Overzicht uitgangspunten voor de diverse slibvoorbehandelingstechnieken. M is maximale afbraak (% van organische stof), K is afbraak constante (-).

| | M | K | Max DS | T | Ontwateringsresultaat na gisting | min SRT | max T |
|------------|-----|------|--------|----|----------------------------------|------------------|-------|
| | (%) | (-) | (%) | °C | (%) | d | °C |
| mesofiel | 40 | 1,50 | 7,0 | 37 | huidig ¹⁾ | 20 | 37 |
| thermofiel | 40 | 1,10 | 7,0 | 55 | idem als mesofiel ²⁾ | 15 | 55 |
| TDH A | 53 | 0,80 | 10,0 | 37 | huidig + 4% | 15 | 140 |
| TDH B | 53 | 0,80 | 12,0 | 37 | huidig + 4% | 15 | 140 |
| TDH C | 53 | 0,80 | 8,0 | 37 | huidig + 4% | 15 | 140 |
| TDH D | 53 | 0,80 | 6,0 | 37 | huidig + 4% | 15 | 140 |
| propstroom | 51 | 0,80 | 7,0 | 37 | huidig +3% | 14 ³⁾ | 37 |

- 1) Huidige gegevens: er wordt uitgegaan van een ontwateringsresultaat van 25%
- 2) STOWA, 2012 Business case thermofiele gisting, rapportnummer 2012 – W15
- 3) Is minimum als bij mesofiele gisting minus 6 dagen verblijftijd in propstroomreactor

Voor thermofiele gisting daalt de minimale theoretische verblijftijd van 3,0 d bij 30°C tot 1,3 d bij 55°C.

19 Chen Y R & A G Hashimoto 1980. Substrate utilization model for biological treatment systems. Biotechnology & Bioengineering **22**: 2081-2095.

20 STOWA, 2012, Thermische slibontsluiting; Pilot-onderzoek naar de mogelijkheden en randvoorwaarden, rapportnummer 2012 – 25

4.3 Chemicaliën

Het chemicaliënverbruik is in de technologische verkenning niet alleen als een kostenpost, maar ook als een energiepost opgenomen. Dit laatste is gedaan door met een conversiefactor de energie uit te rekenen. Voor het omrekenen van de verbruikte hoeveelheden chemicaliën zijn de volgende kengetallen gehanteerd²¹:

- Metaalzouten: : 0,017 GJ/kg metaal (Fe, Al);
- PE : 0,017 GJ/kg PE;
- Methanol : 0,020 GJ/kg;
- Magnesiumoxide (MgO) : 0,007 GJ/kg MgO.

4.4 Validatie

Een van de belangrijkste beoordelingscriteria die bij de selectie van de meeste gunstige variant zal worden gebruikt (zie volgende hoofdstuk) is het energieverbruik. Daarom heeft het zin te toetsen of de modelmatige berekende energieverbruiken redelijk te vergelijken zijn met de energieverbruiken die werkelijk op de RWZI zijn gerealiseerd. De modelmatige berekening van slibproductie en energieverbruik en -productie is allereerst vergeleken met de werkelijke gemeten producties en verbruiken.

Een vergelijking is gegeven in tabel 7. De vergelijking is gebaseerd op gegeven zoals gepubliceerd in het *Jaarverslag rwzi's 2009*, van april 2010.

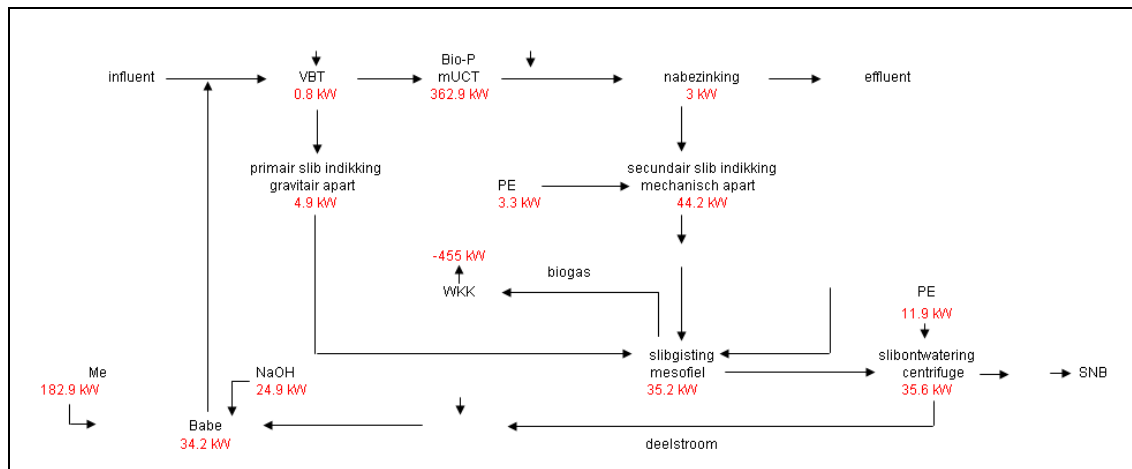
21 Zie bijvoorbeeld: STOWA 2010. Slibketen II - Nieuwe technieken in de slibketen. STOWA, Amersfoort, rapport 2010-33.

Tabel 7 **Vergelijking van gemeten en berekende slibproducties en andere karakteristieken van RWZI 's-Hertogenbosch met uit de influentkarakteristieken over 2009 en nadat vergelijking van dezelfde waarden na aanpassing van het gehalte zwevende stof in het influent en het rendement van de voorbezinking**

| parameter | eenheid | gemeten | voor aanpassing | | na aanpassing | | commentaar |
|--------------------------|---------|---------|-----------------|-------------|---------------|-------------|-------------------------------|
| | | | berekend | vergelijk | berekend | vergelijk | |
| aanpassingen | | | | b / g x 100 | | b / g x 100 | |
| correctie ZS in | kg ds/d | 9 389 | 9 389 | 100 | 14 349 | 153 | correctie is zeer groot ! |
| rendement VBT | % | 65 | 65 | 100 | 54 | 83 | correctie is zeer groot ! |
| slib | | | | | | | |
| ZS naar beluchting | kg ds/d | 3 199 | 3 352 | 105 | 6 697 | 209 | afwijking is onbegrijpelijk ! |
| productie primair slib | kg ds/d | 9 863 | 6 937 | 70 | 8 651 | 88 | |
| waarvan chemisch | kg ds/d | 712 | 712 | 100 | 712 | 100 | doelfunctie |
| productie secundair slib | kg ds/d | 7 348 | 3 751 | 51 | 6 442 | 88 | |
| verhouding prim. / sec. | - | 1.34 | | | 1.34 | 100 | |
| totale slibproductie | kg ds/d | 17 211 | 10 688 | 62 | 15 093 | 88 | |
| slibproductie na gisting | kg ds/d | 11 192 | 6 496 | 58 | 9 561 | 85 | |
| ontwaterd slib | kg ds/d | 9 526 | 6 496 | 68 | 9 561 | 100 | doelfunctie |
| effluent | | | | | | | |
| TKN | mg/l | 5.5 | 3.5 | 64 | 5.5 | 100 | |
| TON | mg/l | 5.5 | 5.5 | 100 | 8.7 | 158 | |
| N totaal | mg/l | 11 | 8.8 | 80 | 14.2 | 129 | |
| energieverbruik | | | | | | | |
| RWZI | kW | 608 | | | | | |
| zuivering afvalwater | kW | 595 | 770 | 129 | 520 | 87 | |
| biologie | kW | 308 | 785 | 255 | 303 | 99 | |
| flotatie 1 + 2 | kW | 43 | 22 | 50 | 40 | 93 | |
| slibgisting | | | | | | | |
| biogasproductie | m3/d | 5 768 | 3 737 | 65 | 5 179 | 90 | doelfunctie |
| biogas spui | m3/d | 781 | 0 | 0 | 0 | nvt | |
| spui | % | 12 | 0 | 0 | 0 | nvt | |
| WKK | | | | | | | |
| biogasverbruik | m3 | 4 987 | | | | | |
| e-productie | kW | 386 | 289 | 67 | 400 | 93 | |
| slibverwerking | kW | 24 | 29 | 121 | 42 | 178 | |

Met correcties voor zwevende stof en verwijderingrendement tijdens voorbezinking komt het gekalibreerde model beter overeen met de realiteit. De correcties zijn al toegepast in de in § 2.3 gegeven afvalwaterkarakteristieken.

In onderstaande figuur is het berekende energieverbruik van de huidige zuiveringsinstallatie na validatie gegeven. Voor de berekeningen is het influent van 2009 gebruikt, zoals weergegeven in het technologisch overzicht over 2009.



Figuur 6. Schematische weergave van de belangrijkste energieverbruikers op de RWZI

De berekende en gemeten waarden komen niet helemaal overeen, zoals is te zien in de vergelijking in tabel 8.

Tabel 8. Vergelijking van gemeten en berekende parameters van het energieverbruik en -productie. Gemeten waarden zijn ontleend aan het technologisch jaarverslag over 2009. Voor de berekeningen is het influent van dat jaar gebruikt, zoals weergegeven in hetzelfde jaaroverzicht.

| Parameter | eenheid | gemeten | berekend |
|-----------------------------|-------------------|---------|----------|
| RWZI | kW | 608 | |
| zuivering afvalwater | kW | 595 | 520 |
| flotatie 1 + 2 | kW | 43 | |
| slibproductie | | | |
| primair slib | kg/d | 9 863 | 9 863 |
| secundair slib | kg/d | 7 348 | 8 119 |
| totale productie na gisting | kg/d | 11 192 | 11 230 |
| slibgisting | | | |
| biogasproductie | m ³ /d | 5 768 | 5 179 |
| biogas spui | m ³ | 781 | |
| WKK | | | |
| biogasverbruik | m ³ | 4 987 | |
| e-productie | kW | 386 | 400 |
| slibverwerking | kW | 24 | 42 |
| E van leverancier | kW | 228 | |
| E naar leverancier | kW | 6 | |

De vergeleken waarden zijn niet alle even goed te duiden. De gemeten biogasproductie is hoger dan is berekend; de berekende energieproductie komt goed overeen.

Uit de vergelijking kan worden geconcludeerd dat –na aanpassing van de influentwaarden voor zwevende stof– het model goed gebruikt kan worden voor de berekening van de energieverbruiken en -producties (of het equivalent van de energieproductie, in biogas) in de verschillende varianten.

4.5 Kostenberekeningen

Voor de uitbreiding van RWZI 's-Hertogenbosch zijn civiele en werktuigbouwkundige inspecties van de verschillende onderdelen van de water- en sliblijn uitgevoerd. In bijlage 1 wordt de zuiveringsinstallatie schematisch weergegeven. Per onderdeel is hier de technische staat van de verschillende onderdelen beschreven. Door de inspecties is inzichtelijk geworden welke onderdelen beschikbaar zijn voor de nieuwe configuratie en welke in zijn geheel moeten worden vernieuwd. In de kostenberekeningen is hier rekening mee gehouden. Het komt in grote lijnen neer op de volgende items:

- hergebruik van vrijwel alle civiele werken van de water- en sliblijn, behalve het ontvangwerk, roostergoed en zandvanger, deze worden nieuw gebouwd;
- vervanging van alle mechanische onderdelen;
- vervanging van alle elektrotechnische onderdelen;
- uitbreiding van het aeratievolume;
- in de variant met een tweekraps systeem wordt de eerste trap nieuw gebouwd;
- nieuwbouw van twee nabezinktanks (als dat relevant is).

5 RESULTAAT VAN DE TECHNOLOGISCHE VERKENNING

5.1 Inleiding

Er zijn in totaal 77 redelijke varianten – elf voor de waterlijn en zeven voor de sliblijn, die allemaal gecombineerd kunnen worden. Tabel 9 is een herhaling (voor de overzichtelijkheid) van tabel 4.

Tabel 9. Energiebalansen van de onderzochte varianten.

| Variant | voorbehandeling | biologische P | hoofdstroom |
|---------|-----------------------------|------------------|-------------------|
| 1 | geen | chemisch | actief slib |
| 2 | voorbezinking | chemisch | actief slib |
| 3 | voorbezinking + PE-dosering | chemisch | actief slib |
| 4 | A-trap van AB-proces | chemisch | actief slib |
| 5 | microzeef | chemisch | actief slib |
| 6 | geen | bio-P | actief slib |
| 7 | voorbezinking | bio-P | actief slib |
| 8 | geen | bio-P (inherent) | aeroob korrelslib |
| 9 | voorbezinking | bio-P (inherent) | aeroob korrelslib |
| 10 | voorbezinking + PE-dosering | bio-P (inherent) | aeroob korrelslib |
| 11 | microzeef | bio-P (inherent) | aeroob korrelslib |

De sliblijn kan worden uitgevoerd met mesofiele of thermofiele gisting, en met mesofiele gisting waarbij het slib een voorbehandeling ondergaat, die kan bestaan uit vier typen thermische voorbehandeling, of een propstroomreactor. Dit levert zeven varianten op. Om het geheel niet al te ingewikkeld te maken, zijn er geen verdere varianten voor indikking of deelstroombehandeling bestudeerd. Er is ervan uitgegaan dat deze bij alle varianten hetzelfde kan zijn. In tabel 10 zijn de verschillende mogelijkheden voor de reductie van slib samengevat. Het is een gedeeltelijke herhaling van tabel 6.

Tabel 10. Overzicht uitgangspunten voor de diverse slibvoorbehandelingstechnieken. M is maximale afbraak (% van organische stof, K is afbraak constante (-).

| Variant | Type slibverwerking | M | K | Max DS | T |
|---------|--------------------------------------|-----|------|--------|----|
| | | (%) | (-) | (%) | °C |
| 0 | mesofiele gisting | 40 | 1,50 | 7,0 | 37 |
| 1 | thermofiele gisting | 40 | 1,10 | 7,0 | 55 |
| 2 | thermisch drukhydrolyse A: Sustec | 53 | 0,80 | 10,0 | 37 |
| 3 | thermisch drukhydrolyse B: Cambi | 53 | 0,80 | 12,0 | 37 |
| 4 | thermisch drukhydrolyse C: Biothelys | 53 | 0,80 | 8,0 | 37 |
| 5 | thermisch drukhydrolyse D: Lysotherm | 53 | 0,80 | 6,0 | 37 |
| 6 | propstroomreactor | 51 | 0,80 | 7,0 | 37 |

5.2 Beoordelingscriteria

5.2.1 Kosten

De investerings- en exploitatiekosten vormen vanzelfsprekend het belangrijkste element in de beoordeling van de verschillende varianten. Hiernaast is ook gekeken naar de energiehuishouding van de toekomstige installatie.

5.2.2 Energie

In deze technologische verkenning is ook het elektriciteitsverbruik van de hele zuiveringsinstallatie onderzocht. Alle verbruikers van water- en sliblijn en inclusief het chemicaliënverbruik zijn bij elkaar opgeteld. De levering van energie is in mindering gebracht. Zo kan het energieverbruik dus negatief worden, als meer energie wordt geleverd in de vorm van biogas dan er aan elektriciteit, warm water en chemicaliën wordt verbruikt. De energievraag van de opwerking van het biogas tot LBG en de gasreiniging voor de biogaslevering zijn in deze berekeningen buiten beschouwing gelaten.

Naast de balans voor de gehele rwzi, is tevens de fictieve energiebalans voor alleen de zuivering en slibverwerking van het in 's-Hertogenbosch aangevoerde afvalwater opgesteld. Dit om te toetsen of de rwzi een Energiefabriek genoemd mag worden.

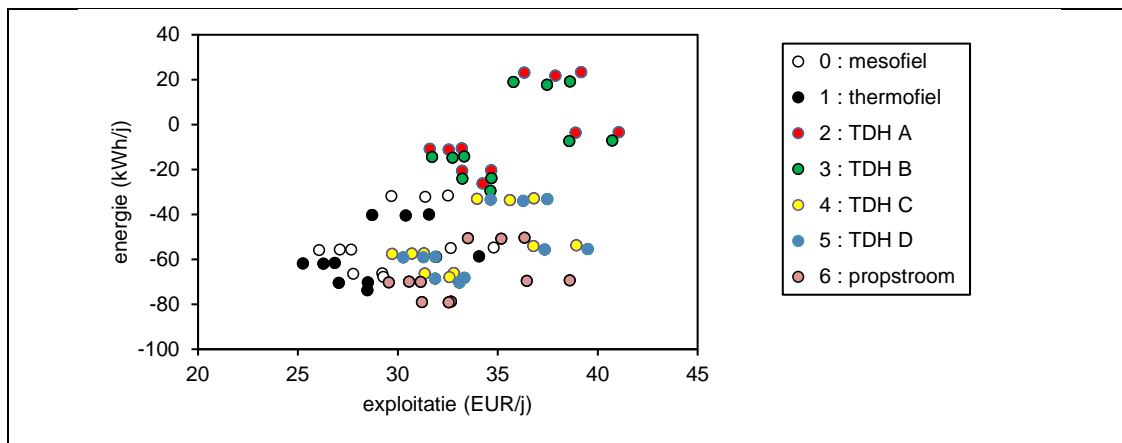
5.3 Uitkomsten

5.3.1 Inleiding

In het navolgende worden eerst een aantal aspecten in figuren samengevat. Daarna wordt een samenvatting gegeven, die leidt tot de conclusies ten aanzien van de variant voor het referentieontwerp.

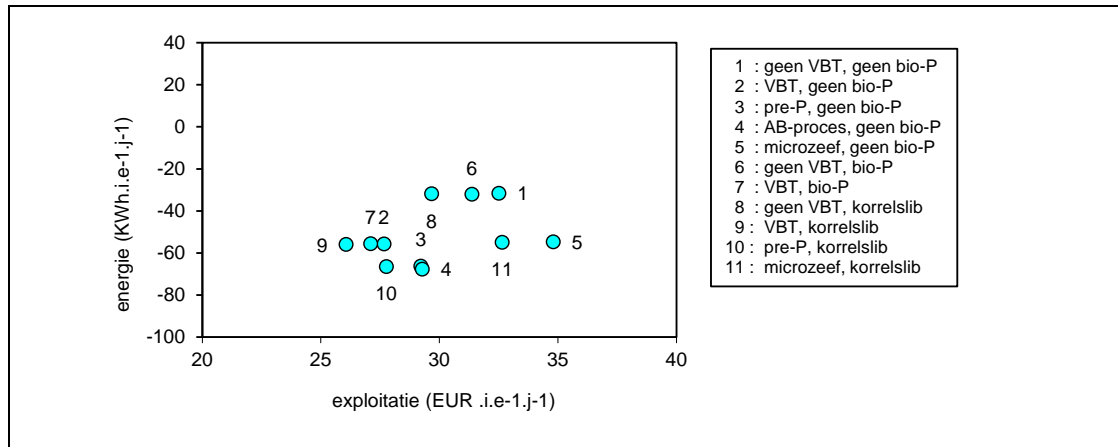
5.3.2 Netto energieverbruik en kosten

In figuur 7 is het netto energieverbruik van de 77 onderzochte varianten uitgezet tegen de exploitatiekosten van de varianten.



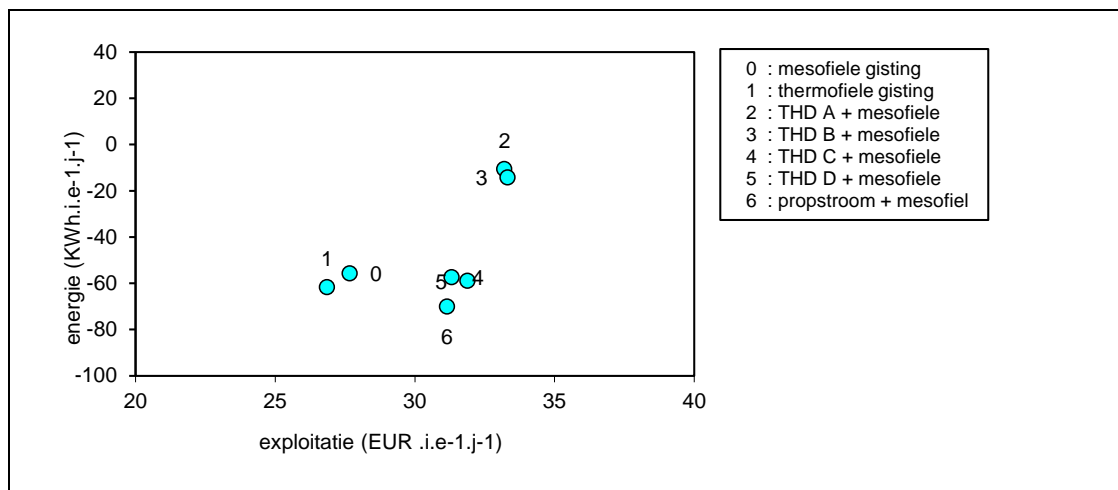
Figuur 7. Energieverbruik per i.e. van de verschillende varianten van de water- en sliblijn uitgezet tegen de berekende exploitatiekosten.

Uit figuur 7 wordt na enige studie duidelijk dat de waterlijn en sliblijn weliswaar enige interactie vertonen maar niet al teveel. Dit wordt duidelijk na bestudering van figuur 8, waarin de verschillende opties voor de sliblijn bij één optie voor de waterlijn is te zien. Het patroon (als een 'sterrenbeeld') in figuur 8 is duidelijk terug te vinden in de verschillende configuraties voor de sliblijn (de verschillende symbolen) in figuur 7.



Figuur 8. Energieverbruik, uitgezet tegen exploitatiekosten, voor de elf opties (1 tot en met 11, zie tabel 9) voor de waterlijn, bij één configuratie van de sliblijn.

In figuur 9 zijn de verschillende configuraties voor de sliblijn, zoals samengevat in tabel 10, weergegeven voor één configuratie van de waterlijn.



Figuur 9. Energieverbruik, uitgezet tegen exploitatiekosten, voor de zeven opties (0 tot en met 6, zie tabel 10) voor de sliblijn, bij één configuratie van de waterlijn.

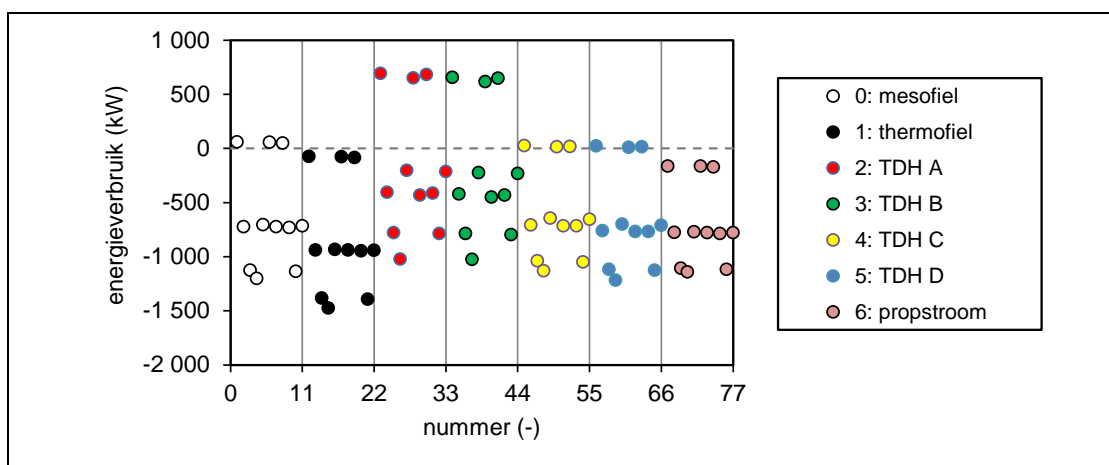
Allereerst dient opgemerkt te worden dat de exploitatiekosten uitgedrukt per i.e. aan de hoge kant zijn. Dat wordt—in ieder geval gedeeltelijk—veroorzaakt doordat op rwzi Den Bosch (338.000 i.e.) ook het slib van nog eens circa 710.000 i.e. van andere rwzi's wordt verwerkt. De kosten van de eindverwerking van het slib drukken zwaar op de totale kosten.

De wens is natuurlijk om een variant te kiezen die zowel energiezuinig is (onder in de figuren 7-9) als economisch gunstig (onderin figuur 7-9). De varianten linksonder zijn dus interessant.

De volgende conclusies kunnen worden getrokken na bestudering van figuren 7, 8 en 9:

- voor de waterlijn is toepassing van aeroboom korrelslib zowel vanuit kostenooipunt als energetisch gunstig;
- toepassing van voorbezinking is gunstig;
- varianten met het AB-proces zijn energetisch weliswaar gunstig, maar economisch niet;
- varianten met pre-precipitatie zijn energetisch ongunstig;
- voor de sliblijn is de toepassing van thermofiele gisting financieel gunstig; dat komt door het scheppen van capaciteit door het toelaten van een lagere verblijftijd;
- toepassing van thermische drukhydrolyse levert energetisch gunstige varianten, die ook financieel competitief zijn, met uitzondering van de Lysotherm[®] vanwege het lage ingaande drogestofgehalte.

Voor de volledigheid is ook het energieverbruik berekend voor de situatie dat er geen extern slib wordt vergist op de rwzi 's-Hertogenbosch, deze staan weergegeven in figuur 10.

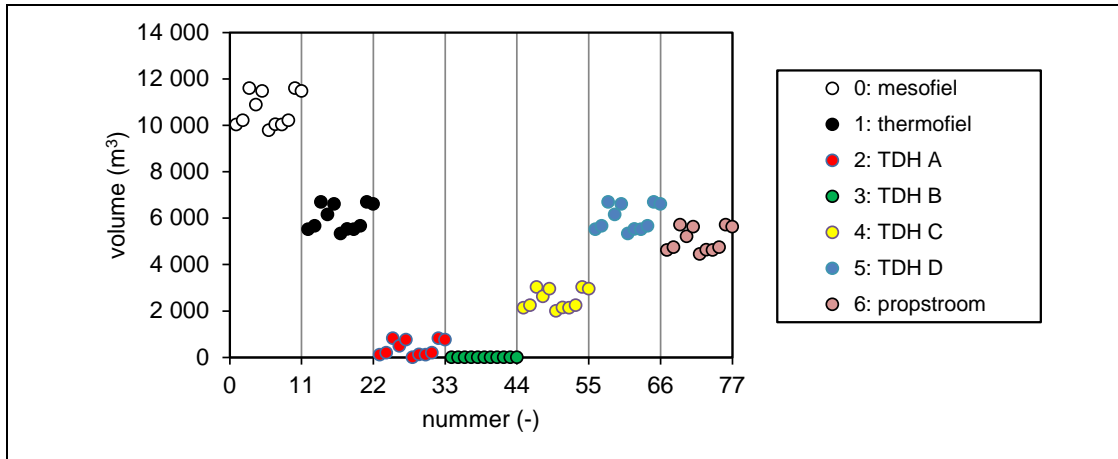


Figuur 10. Energieverbruik van de verschillende varianten, waarbij het externe slib (theoretisch) niet wordt meegenomen in de berekeningen.

Uit figuur 10 wordt duidelijk dat er ook zonder de verwerking van extern slib voor een groot aantal varianten sprake is van een negatieve energiebalans (in de zin van dat er netto energie wordt geproduceerd). Het 'sterrenbeeld' dat telkens wordt herhaald zijn de varianten in de waterlijn. De hoog gelegen punten (1, 6, 8) zijn varianten zonder voorbezinking, de laagst gelegen punten zijn de varianten met het AB-proces (4).

5.3.3 Facetten van de sliblijn: gistingsruimte, methaanproductie, gebruikte warmte

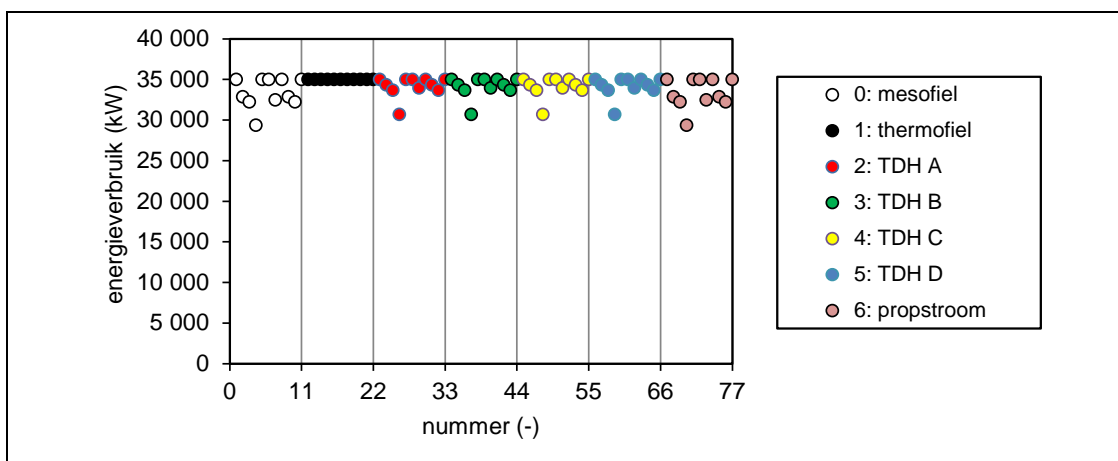
In figuur 11 is de voor iedere variant bij te bouwen hoeveelheid gistingsvolume weergegeven. Deze hoeveelheid wordt bepaald door de gewenste verblijftijd en door het maximum toegestane slibgehalte.



Figuur 11. Hoeveelheid bij te bouwen gistingsruimte voor de verschillende varianten voor slib- en waterlijn. De groepering in 7 x 11 varianten wordt veroorzaakt door de 7 variante voor de sliblijn en 11 voor de waterlijn.

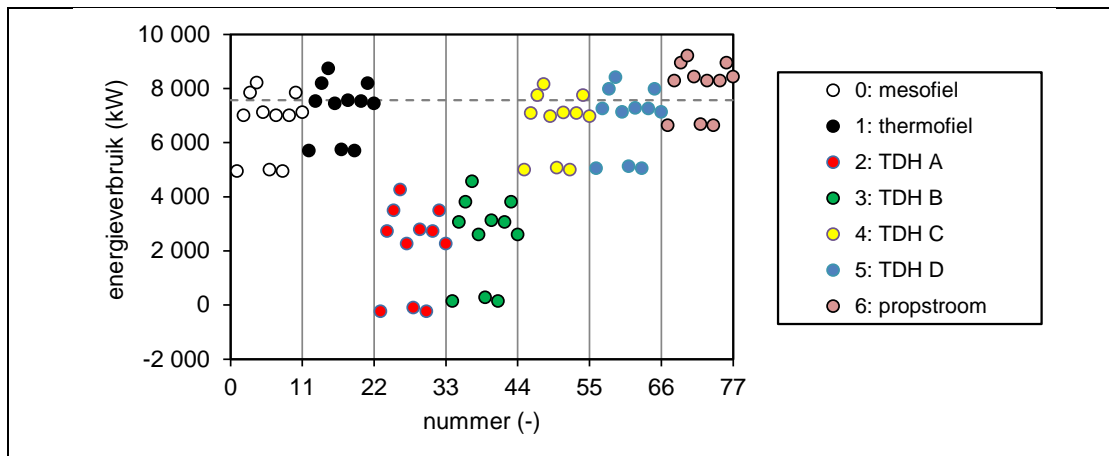
Uit figuur 11 wordt duidelijk dat mesofiele gisting (de huidige situatie) zeer ongunstig is, door de combinatie van hoge verblijftijd en relatief laag drogestofgehalte. Alle andere varianten scoren beter. Alleen bij TDH B hoeft geen gistingsruimte te worden bijgebouwd, omdat daarbij een hoog ingaand drogestofgehalte is toegestaan.

In figuur 12 is de hoeveelheid warmte weergegeven die van de reststoffendienst per variant wordt onttrokken. Daaraan is een maximum, dat in een groot aantal gevallen wordt bereikt (het 'plafond' in figuur 12). TDH A en C scoren relatief weinig afgenomen warmte, want daar is de behoefte aan warmte in de vorm van stoom zo hoog, dat de behoefte aan laagwaardige warmte weer geringer is. Voor de verschillende varianten kan dus worden geconcludeerd dat in de meeste gevallen de aangeboden warmte van 30.000 GJ/j ook werkelijk zal worden benut en dat de benodigde energie deels ook uit biogas gewonnen zal gaan worden.



Figuur 12. Warmte-inname voor de verschillende varianten voor slib- en waterlijn.

In figuur 13 is de netto methaanproductie te zien. De grens van een gewenste minimale levering van 7.568 Nm^3 methaan per dag (die overeenkomt met een gewenste hoeveelheid van $4.250.000 \text{ Nm}^3/\text{j}$ aan biogas) is met een stippellijn aangegeven.



Figuur 13. Netto methaanproductie in de verschillende varianten. De gewenste levering van $4.250.000 \text{ Nm}^3/\text{j}$ biogas à 65% CH_4 (= $7.568 \text{ Nm}^3/\text{d}$ 100% CH_4) is weergegeven met een stippellijn.

Uit figuur 13 kan worden geconcludeerd dat lang niet alle varianten even veel biogas opleveren. De bandbreedte van de netto methaanproductie is aanzienlijk: de waarden kunnen gemakkelijk $\pm 10\%$ variëren: bij lage temperaturen is meer gas nodig voor de verwarming, maar bij lage temperaturen wordt ook circa 15% meer gas geproduceerd door een hogere slibaanvoer. Door de verschillende figuren goed te bestuderen kan ook worden geconcludeerd dat varianten met een grote levering aan methaan niet noodzakelijkerwijs ook economisch gunstig zijn.

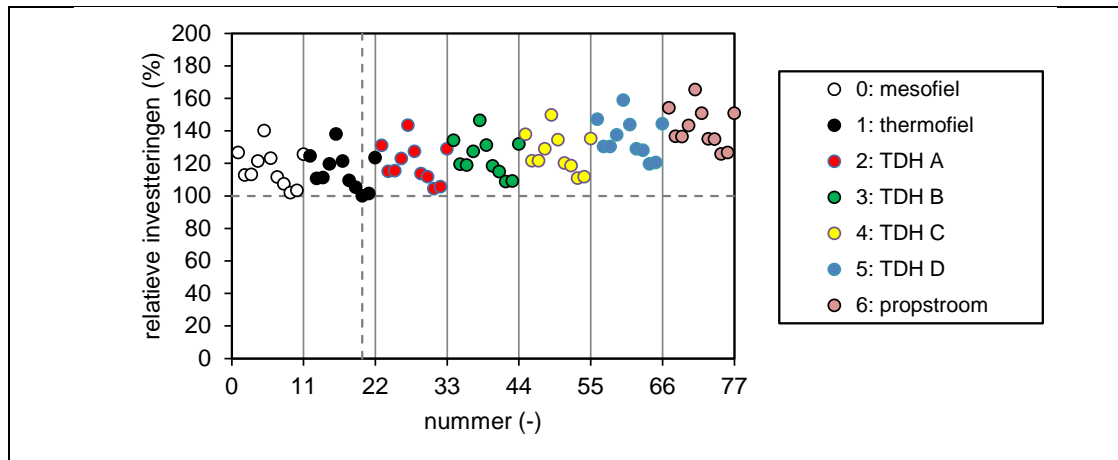
5.4 Discussie

5.4.1 Ambities

Uit het vorenstaande is duidelijk geworden dat een veelheid aan varianten voor de waterlijn en voor de sliblijn geschikt is voor de toekomst van rwzi 's-Hertogenbosch. Als gekeken wordt naar de ambities van het Waterschap, dan komen we tot de conclusie dat er geen sprake is van een variant die de beste invulling geeft aan alle ambities.

Total Costs of Ownership

Op het vlak van laagst mogelijke TCO scoort de variant met voorbezinking, korrelslibreactor en thermofiele gisting het beste. Dit is tevens de variant met de laagste investeringen. De toets of de investering past binnen het plafondbedrag vindt plaats in het referentieontwerp. In figuur 14 zijn de geschatte investeringen voor de verschillende varianten gegeven, waarin de variant met laagste TCO als maat dient en op 100% is gesteld. In het referentieontwerp wordt voor de gekozen variant een investeringsraming opgesteld.



Figuur 14. Relatieve geschatte investeringskosten van de verschillende varianten. Variant 18 en 100% zijn met een stippellijn aangegeven.

Energieneutraal

Er zijn voldoende varianten die minimaal energieneutraal scoren. De ambitie om de rwzi 's-Hertogenbosch een Energiefabriek te noemen is dus haalbaar.

5.4.2 Keuze

Waterlijn

Uit de in de vorige paragrafen berekende en gepresenteerde gegevens kan het volgende worden afgeleid voor de waterlijn:

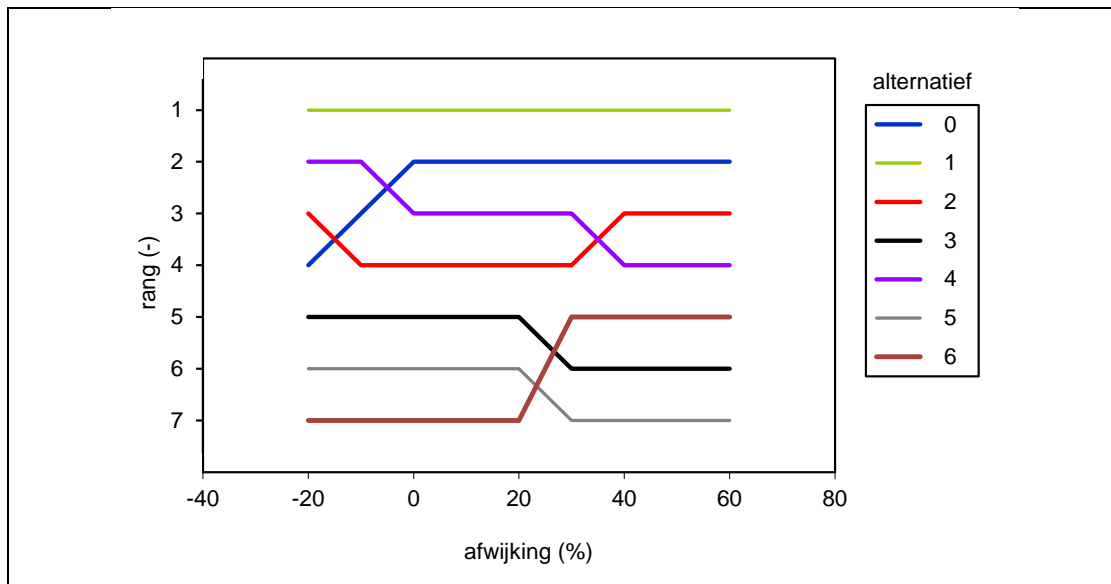
- voorbezinking verdient de voorkeur boven het niet toepassen van voorbezinking;
- voorbezinking met preprecipitatie levert weliswaar veel energie op, maar kost aan de andere kant energie door de gebruikte chemicaliën;
- een AB-proces kan als te kostbaar worden aangemerkt, nog afgezien van het feit dat alle rwzi's met een AB-proces configuratie in Nederland grote moeilijkheden hebben om aan hun effluenteisen te voldoen;
- varianten met aerob korrelslib (Nereda[®]) verbruiken minder energie in de waterlijn en zijn economisch gunstiger dan de vergelijkbare 'klassieke' varianten.

Sliblijn

Op basis van de huidige inzichten zou thermische voorbehandeling van het slib het gunstigste zijn, doordat deze een lagere verblijftijd in de slibgisting mogelijk maakt, en de hoeveelheid slib aanzienlijk vermindert. Hierdoor hoeft relatief weinig extra slibgistingsruimte te worden gerealiseerd, is de energiewinst hoog en worden de slibafzetkosten geminimaliseerd.

Recentelijk is er enige ongerustheid over de kosten en het energieverbruik van de verschillende technieken voor de thermische hydrolyse. De kosten zouden (aanzienlijk) hoger zijn dan eerder werd aangenomen en ook zou het energieverbruik hoger zijn. Dit geldt met name voor technieken die uitgaan van een drogestofgehalte dat hoger is dan 6%.

In figuur 15 is het effect van toegenomen investeringen voor de thermische slibhydrolyse weergegeven. Er is te zien dat bij een toename van de investeringen, de thermische drukhydrolyse economisch duidelijk minder interessant worden. Bij een stijging van de investeringen voeren variant 0 en 1 (mesofiele en thermofiele slibgisting) het veld aan.



Figuur 15. Rangvolgorde in de exploitatiekosten van verschillende varianten van de sliblijn (in variant 2 van de waterlijn), bij afwijking in de geraamde investeringskosten in de thermische drukhydrolyse.

5.4.3 Conclusie: uit te werken variant voor het referentieontwerp

Op basis van de bovenbeschreven discussie wordt geadviseerd om de variant met voorbezinking, biologische P-verwijdering, gesuspenseerd actief slib met in de uitbreiding een aerob korrelslibstelsysteem en met in de sliblijn een thermofiele gisting uit te werken in het referentieontwerp.