

# VERKENNING VAN HET WINNEN VAN HUMUS- EN FULVINEZUREN OP RWZI'S



RAPPORT

2017  
48

VERKENNING VAN HET WINNEN VAN  
HUMUS- EN FULVINEZUREN OP RWZI'S

RAPPORT

2017

48

ISBN 978.90.5773.775.6



[stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl) [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

## PROJECTUITVOERING

Johan Blom (Tauw)  
Joost van den Bulk (Tauw)  
Harry Brouwer (Opure/Triqua)  
Arnaud Duine (Opure/Triqua)

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Arjan Budding (Waterschap Vallei en Veluwe)  
Martijn Bovee (Energie- en grondstoffenfabriek)  
Sybren Gerbens (Wetterskip Fryslân)  
Wobke Gerritse (Waterschap Rivierenland)  
Otto Kluiving (Waterschap Hunze en Aas)  
Olaf Van Der Kolk (Aquaminerals)  
Ad de Man (Waterschapsbedrijf Limburg)  
Cora Uijterlinde (STOWA)  
Jan Evert van Veldhoven (Waterschap de Dommel)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau  
STOWA STOWA 2017-48  
ISBN 978.90.5773.775.6

**COPYRIGHT** Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

**DISCLAIMER** Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

# TEN GELEIDE

**Na een eerste verkenning lijkt de winning van humuszuren uit afvalwater kansrijk voor de productie van grondstoffen en procesoptimalisatie op rwzi's.**

De Nederlandse waterschappen ontwikkelen de rwzi als grondstoffenfabriek. Een potentiële grondstof waar nog weinig aandacht naar is uitgegaan, zijn humuszuren. In de STOWA-rapportage uit 2013 “Verkenning mogelijkheden Grondstof rwzi” (2013–31) wordt gesteld dat onderzoek nodig is voor de grondstof humuszuren.

Maar wat zijn humuszuren precies? Humuszuren zijn lange koolstofketens die ontstaan bij de afbraak van organisch materiaal. Humuszuren komen dus van nature voor en geven het effluent of het oppervlaktewater een typische gelige kleur. In geconcentreerde vorm worden ze toegepast als bodemverbeteraar. Ze binden ijzer en calcium in de bodem en houden meer fosfaat vrij beschikbaar voor de plant waardoor er minder kunstmest gedoseerd hoeft te worden. Op dit moment worden de in Europa gebruikte humuszuren vooral via een chemisch proces gewonnen uit bruinkool. Veel producten worden geïmporteerd uit de Verenigde Staten of Australië. Een proces dat niet alleen slecht voor het milieu is, maar ook nog eens kostbaar vanwege de transportkosten. Het lokaal winnen van deze humuszuren uit afvalwater is in potentie een veel duurzamere route, mits de kwaliteit voldoende is en het uiteindelijk energiegebruik acceptabel is.

Deze studie betreft een verkenning naar de winning van humuszuren uit afvalwater met aandacht voor de kwaliteit van de humuszuren, de technologie om humuszuren te produceren en de verschillende stromen voor terugwinning. Aan de hand van analyses is de hoeveelheid humuszuren in de deelstromen van verschillende rwzi's verkend. Van alle deelstromen is rejectiewater van de slibontontwatering het rijkste aan humuszuren, en dan vooral in combinatie met een slibgisting en thermische druk hydrolyse. Middels membraanfiltratie is het rejectiewater ingedikt tot een concentraat wat rijk is aan humuszuren.

Hoe nu verder? Om de kwaliteit van het humuszurenconcentraat te verbeteren wordt in een vervolgonderzoek het rejectiewater biologisch voorbehandeld alvorens het op te werken tot concentraat. Dit zal naar verwachting resulteren in een biologisch stabiel product wat beter te concentreren is. De effecten van het concentraat op de plantengroei en het gehalte aan zware metalen/medicijnresten in het concentraat zijn hierbij belangrijke aandachtspunten.

Een eventuele vervolgstap is het verifiëren van de in dit rapport beschreven potentiële positieve effecten van humuszurenwinning op de water- en sliblijn van een rwzi: reduceren van het gebruik van metaalzouten, voorkomen van inhibitie bij deelstroombehandeling en struvietwinning en efficiëntere verwijdering medicijnresten en andere microverontreinigingen. Deze hypothesen dienen in de toekomst aan de hand van een praktijkproef getoetst te worden.

Ir. J.J. Buntsma  
Directeur STOWA

# SAMENVATTING

De rwzi als grondstoffenfabriek is volop in ontwikkeling. Mogelijke grondstoffen die op de rwzi zijn humus- en fulvinezuren. Dit zijn de eindproducten van een natuurlijk afbraakproces van organische stof en ze zijn biologisch niet of nauwelijks meer afbreekbaar. Humus- en fulvinezuren zijn oplosbaar en zijn van nature aanwezig in oppervlaktewater en grondwater en ook in communaal afvalwater. Er is een bestaande markt voor (geïmporteerde) humus- en fulvinezuren. Deze worden voor uiteenlopende toepassingen gebruikt in de land- en tuinbouw, bij zaadveredeling en zelfs als supplement in de diervoeding en in de humane voeding. In dit onderzoek worden de mogelijkheden voor het oogsten en benutten van humus- en fulvinezuren op de rwzi verkend.

In de eerste voorbereidende fase zijn de eerste analyses op humus- en fulvinezuren uitgevoerd, en zijn de meest kansrijke stromen op de rwzi geïdentificeerd. In de daaropvolgende testfase is de technische haalbaarheid van winning van humuszuren verkend door middel van een aantal testen. In de derde en laatste fase is een verkennende business case opgesteld. Hierbij zijn de resultaten van de testen fase vertaald naar praktijkschaal waarbij de effecten op de water- en sliblijn inzichtelijk zijn gemaakt en gekeken is naar de kwaliteit en hoeveelheid winbaar product. Dit is gebruikt als basis voor verkenning van de financiële haalbaarheid van het concept te verkennen. Deze verkenning heeft laten zien dat concentraat van humus- en fulvinezuren uit centraat gewonnen kan worden met een niet bijzonder ingewikkelde winningsinstallatie met overzichtelijke capex en opex. De test-installatie heeft humus- en fulvinezuren uit centraat na voorfiltratie met behulp van nanofiltratie-membranen geconcentreerd. Het bereikte gehalte humus- en fulvinezuren was lager dan bij commercieel verkrijgbare producten. Het concentraat wat bij deze verkenning is gewonnen, bevat naast humus- en fulvinezuren ook nog korte koolstofketens waardoor het biologisch nog niet stabiel is. Het bevat iets meer zware metalen dan gewenst en het bevat zeer waarschijnlijk verhoogde concentraties hormoon- en geneesmiddelenresten.

Het winningsconcept kan worden aangepast waardoor een geconcentreerder en beter toepasbaar product zou moeten ontstaan. Een voor de hand liggende technologische mogelijkheid is voorbehandeling een membraanbioreactor. Een volgende logische stap zou het opschalen naar een prototype kunnen zijn.

Humus- en fulvinezuren die op de rwzi worden gewonnen zouden bijvoorbeeld geschikt kunnen zijn om te gebruiken als biostimulant (bodemverbeteraar). De wetgeving voor biostimulanten wordt op dit moment gereviseerd. Dit brengt onzekerheden met zich mee.

Aanbevolen wordt om de winning van humus- en fulvinezuren op de rwzi verder uit te werken. Technische uitdagingen ten aanzien van de winning van humus- en fulvinezuren betreffen de mogelijkheden voor biologische stabilisatie, verder concentreren en verwijdering van zware metalen en medicijnresten en hormonen. Dit kan worden uitgevoerd met nader onderzoek op laboratoriumschaal. Een volgende fase kan een stap naar een praktijk-pilot zijn om de effecten op het zuiveringsproces vast te stellen. De toe te passen winningstechnologie en de openstaande onderzoeksvragen lenen zich hiertoe: de toegepaste membraantechnologie is –voor andere toepassingen- uitontwikkeld en ook een eventueel noodzakelijke voorbehandeling met een MBR hoeft niet vanaf nul ontwikkeld te worden, maar is een toepassing

van bestaande technologie. Concreet wordt aanbevolen om zowel de technische en financiële aspecten verder uit te werken evenals de toepasbaarheid van het gewonnen concentraat. Aanbevolen wordt om vast te stellen welke waarden humus- en fulvineproducten als opbrengstverbeteraar kunnen hebben. Verder wordt aanbevolen om de toepassingsmogelijkheden, afzetmarkt en eventuele waarde van het geproduceerde concentraat nader te onderzoeken.

# AFKORTINGENLIJST

AOP	Advanced Oxidation Process
DAF	Dissolved Air Flotation
DOC	Dissolved Organic Carbon
DOP	Dissolved Organic Phosphorus
HA	Humic Acid (humuszuren)
FA	Fulvic Acid (fulvinezuren)
IHSS	International Humic Substances Society
LC-OCD	Liquid Chromatography - Organic Carbon Detection
PAK	Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen
TDH	Thermische Druk Hydrolyse

# DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

*Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.*





# VERKENNING VAN HET WINNEN VAN HUMUS- EN FULVINEZUREN OP RWZI'S

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	AFKORTINGENLIJST	
	DE STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ACHTERGROND</b>	<b>3</b>
	2.1 Wat zijn humusbestanddelen?	3
	2.2 Markt voor humuszuren	4
	2.3 Winning van humuszuren	5
<b>3</b>	<b>VOORBEREIDING TESTFASE</b>	<b>7</b>
	3.1 Inleiding	7
	3.2 Werkwijze	7
	3.3 Analysemethodieken humuszuren in afvalwater	7
	3.4 Kwantificeren van humus- en fulvinezuren op verschillende rwzi's	8
	3.4.1 Literatuurverkenning humus- en fulvinezuren op de rwzi	8
	3.4.2 Identificatie meest geschikte stroom voor winning	8
	3.4.3 Eerste analyses	8
	3.4.4 Massastroom humus- en fulvinezuren in het centraat en effluent van de rwzi	11
	3.4.5 Relatie humuszuren en DOP	11
	3.5 Constateringen voorbereiding	11

<b>4</b>	<b>ONDERZOEK NAAR WINNING HUMUSZUREN</b>	<b>13</b>
<b>4.1</b>	Inleiding	13
<b>4.2</b>	Keuze winningstechnologie	13
<b>4.3</b>	Kortdurende test centraat rwzi Amersfoort	14
4.3.1	Aandachtspunten	15
4.3.2	Opzet kortdurende test	15
4.3.3	Resultaten	16
4.3.4	Conclusies kortdurende test	18
<b>4.4</b>	Pilot testen	18
4.4.1	Geselecteerde rwzi's	18
4.4.2	Resultaten	19
4.4.3	Analyse van resultaten	22
<b>4.5</b>	Humus- en fulvinezuren, N en P in concentraten	25
<b>4.6</b>	Zware metalen, PAK's en medicijnresten	25
4.6.1	Zware metalen	25
4.6.2	PAK	26
4.6.3	Medicijnresten en hormonen	27
<b>4.7</b>	Constateringen	28
<b>5</b>	<b>VERKENNENDE BUSINESSCASE</b>	<b>30</b>
<b>5.1</b>	Inleiding	30
<b>5.2</b>	Uit te werken rwzi's	30
<b>5.3</b>	Uitgangspunten	30
5.3.1	Algemene uitgangspunten	30
5.3.2	Waarde humus- en fulvinezurenconcentraat	31
5.3.3	Investeringskosten winningsinstallatie humuszuren	32
5.3.4	Effecten op de rwzi	33
<b>5.4</b>	Financiële aspecten	34
<b>5.5</b>	Gevoeligheidsanalyse	35
5.5.1	Waarde van humuszuren, nutriënten en mineralen	36
5.5.2	Verwijdering van hormoon- en geneesmiddelresten uit effluent	36
<b>5.6</b>	Canvas	37
<b>5.7</b>	Kantttekeningen	39
<b>6</b>	<b>DISCUSSIE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>40</b>
<b>6.1</b>	Discussie	40
<b>6.2</b>	Resumerend	41
<b>6.3</b>	Conclusie	42
<b>6.4</b>	Aanbevelingen	42
BIJLAGE 1	Resultaten pilot testen	45
BIJLAGE 2	Uitleg canvasmodel	55

# 1

## INLEIDING

De rwzi als grondstoffenfabriek is volop in ontwikkeling. Bij het winnen van een aantal grondstoffen, zoals struviet en cellulose, is al veel vooruitgang geboekt. De winning van veel andere grondstoffen staat nog in de kinderschoenen. Eén van deze andere grondstoffen zijn humus- en fulvinezuren of humusbestanddelen. Deze zijn aanwezig in communaal afvalwater en er is een bestaande markt voor humus- en fulvinezuren. Er is echter weinig bekend over de hoeveelheid en de kwaliteit van de humus- en fulvinezuren die op de rwzi aanwezig zijn en er is geen ervaring met de wijze waarop ze eventueel kunnen worden gewonnen. Dit is de aanleiding voor dit onderzoek: het verkennen van de mogelijkheden voor van het oogsten en benutten van humus- en fulvinezuren. Met het terugwinnen van humus- en fulvinezuren op een rwzi kan de grondstoffenfabriek een nieuw product aan het palet toevoegen.

Humus- en fulvinezuren zijn de eindproducten van een natuurlijk afbraakproces van organische stof en ze zijn biologisch niet of nauwelijks afbreekbaar. Humus- en fulvinezuren zijn oplosbaar en zijn van nature aanwezig in oppervlaktewater en grondwater. Het is de verwachting dat bij vergaande afbraak van organische stoffen op de rwzi humusbestanddelen worden gevormd. Het is mogelijk dat de rest-CZV in effluent voor een significant deel bestaat uit humus- en fulvinezuren.

In de markt zijn poedervormige en geconcentreerde oplossingen met humus- en fulvinezuren verkrijgbaar. Deze worden voor uiteenlopende toepassingen gebruikt in de land- en tuinbouw, bij zaadveredeling en zelfs als supplement in de diervoeding en in de humane voeding. Verder wordt er geclaimd dat humus- en fulvinezuren plantgroei bevorderen (met name van fosfaat-behoefte gewassen en op schrale grond). Claims met betrekking tot humane voeding lopen sterk uiteen. Genoemd worden een verbeterde opname van mineralen en een chelerend effect waardoor (zware) metalen sneller het lichaam verlaten.

Dit rapport beschrijft de resultaten van het verkennende onderzoek wat uitgevoerd is naar het winnen van humus- en fulvinezuren uit afvalwater. Bij aanvang van het onderzoek bestond er geen inzicht in de daadwerkelijke potentie van het winnen van humus- en fulvinezuren op rwzi's en de bruikbaarheid van het verkregen product. Het onderzoek heeft daarom een verkennend en praktisch karakter waarbij gestart is met basale vragen zoals:

- Wat is het gehalte aan humus- en fulvinezuren in afvalwater?
- Hoe kunnen we humus- en fulvinezuren het beste uit afvalwater winnen?

Om antwoord te geven op deze vragen is in drie fases te werk gegaan:

1. Voorbereiding

Deze fase bestond uit de eerste analyses op humus- en fulvinezuren en het identificeren van de meest kansrijke stromen op de rwzi

2. Testen

In de tweede fase is met testen de technische haalbaarheid van humuszurenwinning onderzocht. In deze fase zijn humuszuren gewonnen uit centraat van verschillende rwzi's. Het uitvoerende onderzoek bestond uit de volgende stappen:

- Vaststellen technische haalbaarheid concept door middel van een korte test
- Duurtesten met centraat van verschillende rwzi's
- Analyseren van resultaten duurtest

3. Verkennende business case

De resultaten van de testen fase zijn tot slot vertaald naar praktijkschaal waarbij de effecten op de water- en sliblijn inzichtelijk zijn gemaakt en gekeken is naar de kwaliteit en hoeveelheid winbaar product. De resultaten zijn verwerkt in een verkennende business case om de financiële haalbaarheid van het concept te verkennen.

### LEESWIJZER

Hoofdstuk 2 bevat informatie over humuszuren in het algemeen. Wat zijn het precies en wat is de functie van humus- en fulvinezuren in de bodem? In hoofdstuk 3 volgen de resultaten van de voorbereiding van de testfase. Hoofdstuk 4 beschrijft de technische haalbaarheid van de winning van humus- en fulvinezuren en de resultaten van de verschillende testen. Op basis van de resultaten van de testen is in hoofdstuk 5 een verkennende business cases uitgewerkt voor humus- en fulvinezurenwinning op een rwzi. Hoofdstuk 6 bevat de discussie, conclusies en aanbevelingen.

# 2

## ACHTERGROND

### 2.1 WAT ZIJN HUMUSBESTANDELEN?

Humusbestanddelen is een verzamelnaam voor fulvinezuur, humuszuur en humine. Het onderscheid tussen deze verschillende componenten wordt gemaakt op basis van oplosbaarheid onder verschillende pH's en het molecuul gewicht. Fulvinezuur en humuszuur zijn 'oplosbare' fracties, humine is het onoplosbare residu.

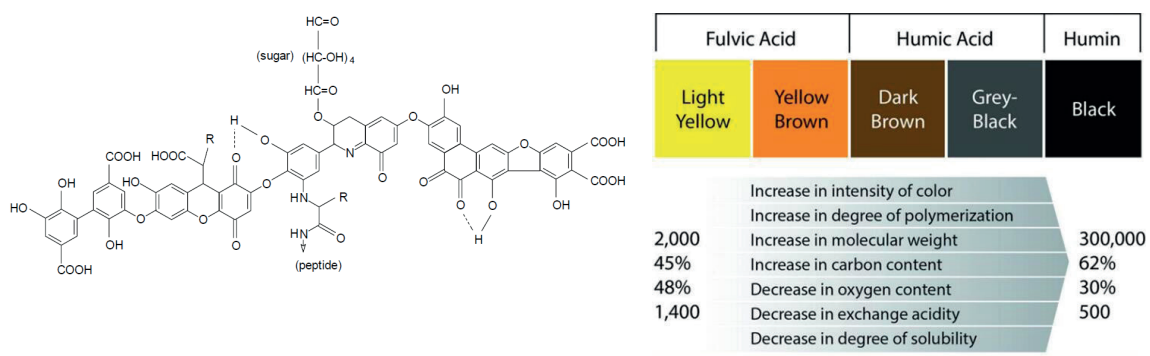
Fulvinezuren onderscheiden zich voornamelijk van humuszuren door de kleinere molecuulgrootte. Fulvinezuren zijn goed oplosbaar, geven water een gelige kleur en kunnen opgenomen worden door planten. Fulvinezuren hebben meerdere negatief geladen carboxylgroepen. Het molecuulgewicht is 500-2.000 Dalton (g/mol).

Humuszuren zijn donkerbruin tot zwart. Humuszuren zijn relatief grote moleculen die desondanks oplosbaar in water zijn. In vergelijking met fulvinezuren hebben humuszuren minder negatief geladen carboxylgroepen. Humuszuren zijn veel groter dan fulvinezuren, het molecuulgewicht is 2.000-300.000 Dalton.

Humine is de algemene benaming voor zwarte stabiel organische materiaal wat van nature aanwezig is in de bodem. Humine is niet oplosbaar in water zuur of loog.

In figuur 2.1 is een modelstructuur voor humuszuren weergegeven en een onderverdeling naar fulvinezuren, humuszuren en humine.

FIGUUR 2.1 STRUCTUUR FORMULE VOOR EEN ALGEMEEN HUMUSZUUR; R KAN EEN ALKYL, ARYL OF ARALKYL GROEP ZIJN (ELADIA M. PENA-MENDEZ, 2005), KENMERKEN FULVINEZUREN, HUMUSZUREN EN HUMINE (BRON: AGROPAGES.COM)



Humusbestanddelen zijn een component in humus, (steen/bruin)kool en turf. Humuszuren en fulvinezuren zijn complexe zuren die onder meer carbonzuur en carbolzuur(fenol) groepen bevat. Door de aanwezigheid van deze groepen kunnen de humuszuren complexen vormen met metalen en fosfaat.

Fulvinezuren hebben de capaciteit om kationen zoals ijzer, mangaan zink en koper te binden en af te geven aan planten. In literatuur<sup>1</sup> wordt aangegeven dat humusbestanddelen adsorptieplaatsen afschermen voor fosfaat van ijzer, aluminium en calcium in de bodem. De bindingscapaciteit van de bodem voor fosfaat wordt door de humusbestanddelen verlaagd. Fosfaat is daardoor beter beschikbaar voor planten. Humuszuren zouden verder het voor planten belangrijke groeihormoon auxine bevatten of zouden auxine achtige activiteit vertonen, maar deze hypothese is slechts gedeeltelijk onderbouwd<sup>2</sup>.

Het theoretische positieve effect van humuszuren op plantgroei wordt ondersteund door de uitkomsten van proeven met humine<sup>3</sup> (een commercieel verkrijgbaar humuszuurproduct) en organische reststromen<sup>4</sup> en (gecomposteerd) zuiveringsslib<sup>5</sup>. Uit deze studies blijkt een verhoogde laterale wortelgroei en grotere opbrengst. Vanuit dit oogpunt worden fulvinezuren en humuszuren als biostimulant toegepast in de agrarische sector. Dit wordt vooral gedaan met het oog op een betere groei van fosfaatbehoefteige gewassen als aardappelen, zaaïen, winterpeen en witlof, figuur 2.2.

FIGUUR 2.2 AARDAPPELEN ZONDER (LINKS) EN MET (RECHTS) AANVULLENDE DOSERING VAN HUMUSZUREN (BRON: AKKERWIJZER.NL)



## 2.2 MARKT VOOR HUMUSZUREN

Vanwege de positieve eigenschappen voor plantengroei worden humuszuren als plant-biostimulant aangemerkt. In 2013 is door de EU een definitie opgesteld voor plant-biostimulanten:

*'A plant biostimulant is a material which contains substance(s) and/or micro-organisms whose function, when applied to plants or the rhizosphere, is to stimulate natural processes to improve nutrient uptake, nutrient use efficiency, tolerance to abiotic stress, and/or crop quality, independently of its nutrient content.'*

- 1 Russchen, H. J., Wander, J., & Malda, J. T. (2011). Benutting van fosfaat in landbouwgronden. Dronten: DLV Plant BV.
- 2 Trevisan et al. Humic substances and biological activity at the plant-soil interface. Plant signaling and behaviour. Jun 2010 635-643.
- 3 Verlinden, G., Pycke, B., Mertens, J., Debersaques, F., Verheyen, K., Baert, G., Haesaert, G. (2009). Application of Humic Substances Results in Consistent Increases in Crop Yield and Nutrient Uptake. Journal of Plant Nutrition, 1407-1426.
- 4 Eyheraguibel, B., Silvestre, J., & Morard, P. (2008). Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. Bioresource technology, 4206-4212.
- 5 Jindo, K., Aparecida Martim, S., Cantero Navarro, E., Pérez-Alfocea, F., Hernandez, T., Garcia, C., Pasqualoto Canellas, L. (2012). Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. Plant Soil, 209-220.

De regelgeving voor meststoffen, bodemverbeteraars en biostimulanten (EU Verordening 2003/2003 over vrije verhandeling van meststoffen in de EU) wordt op dit moment gereviseerd. Door deze revisie zullen naast huidige minerale meststoffen die het label 'EG-meststof' voeren ook organische meststoffen, anorganische en organische bodemverbeterende middelen, potgrond- en substraten en biostimulatoren worden toegevoegd aan EU Verordening 2003/2003. In het kader van deze revisie spelen diverse technische discussies rond normstellingen (waardegevende bestanddelen en contaminanten), analysemethoden, productiewijzen et cetera. De verruiming en wijzigingen in de EU-Verordening kunnen en zullen een groot effect op de Nederlandse meststoffenwet hebben. Verordening (EG) nr. 2003/2003 van het Europees Parlement en de Raad van 13 oktober 2003 inzake meststoffen (PbEU L 304). Op dit moment kan hierdoor nog niet inhoudelijk worden ingegaan op de regels voor kwaliteit, afzet, et cetera van humuszuren en fulvinezuren uit afvalwater.

De markt voor humuszuren is sterk in ontwikkeling. Exacte getallen zijn niet bekend maar bekend is dat humuszuren in Europa al op grotere schaal toegepast worden. De belangrijkste toepassing is landbouw. Een recente verkenning stelt dat in 2013 naar schatting 5,5 miljoen hectare in Europa behandeld werd met humuszuren. Ook de toepassing van humuszuren in Latijns Amerika, Azië en Noord Amerika vertoont een sterk groeiende trend <sup>6</sup>. De Nederlandse agrarische markt voor humuszuurproducten wordt geschat op ruim 4.000 ton per jaar voor akkerbouw en 500 ton per jaar voor tuinbouw<sup>7</sup>.

Industriële toepassingen zijn bijvoorbeeld gebruik als natuurlijke kleurstof, als adsorbent of als toevoeging aan boorspoelingen. Verder worden humuszuren toegepast als supplement in de diervoeding en humane voeding. Of humuszuren uit afvalwater hiervoor gebruikt kunnen worden is nog niet bekend.

Humintech is een grote Europese leverancier van humuszuren. Zij hebben een assortiment met tientallen geconcentreerde producten met verschillende toepassingen. Humintech heeft een uitgebreide website die een goed idee geeft van de markten die zij bedienen en de kwaliteit van de producten die ze leveren<sup>8</sup>.

### 2.3 WINNING VAN HUMUSZUREN

Er is wereldwijd een groot aantal bedrijven actief die producten aanbieden die rijk zijn aan humus- en/of fulvinezuren. De humus- en fulvineproducten die worden toegepast in de landbouw worden voornamelijk geproduceerd uit bruinkool wat een eindige grondstof is. Het productieproces gaat uit van het vrijmaken van humuszuren door bruinkool door toevoegen van een loog en reactie onder hoge druk en temperatuur. Hiermee zijn veel chemicaliën en energie gemoeid. Vanuit duurzaamheid kan het aantrekkelijk zijn om alternatieven te vinden voor deze wijze van productie.

Humusbestanddelen zijn aanwezig in grondwater, oppervlaktewater en afvalwater. Winning van de humusbestanddelen en productie van een humuszurenproduct uit water is technisch mogelijk. Bij de drinkwaterbereiding worden humuszuren al langer teruggewonnen bij de ontkleuring van water, zie figuur 2.3. Dit proces maakt gebruik van ionenwisseling. Dit proces kan vanwege de geheel andere matrix niet één op één worden gekopieerd naar huishoudelijk afvalwater.

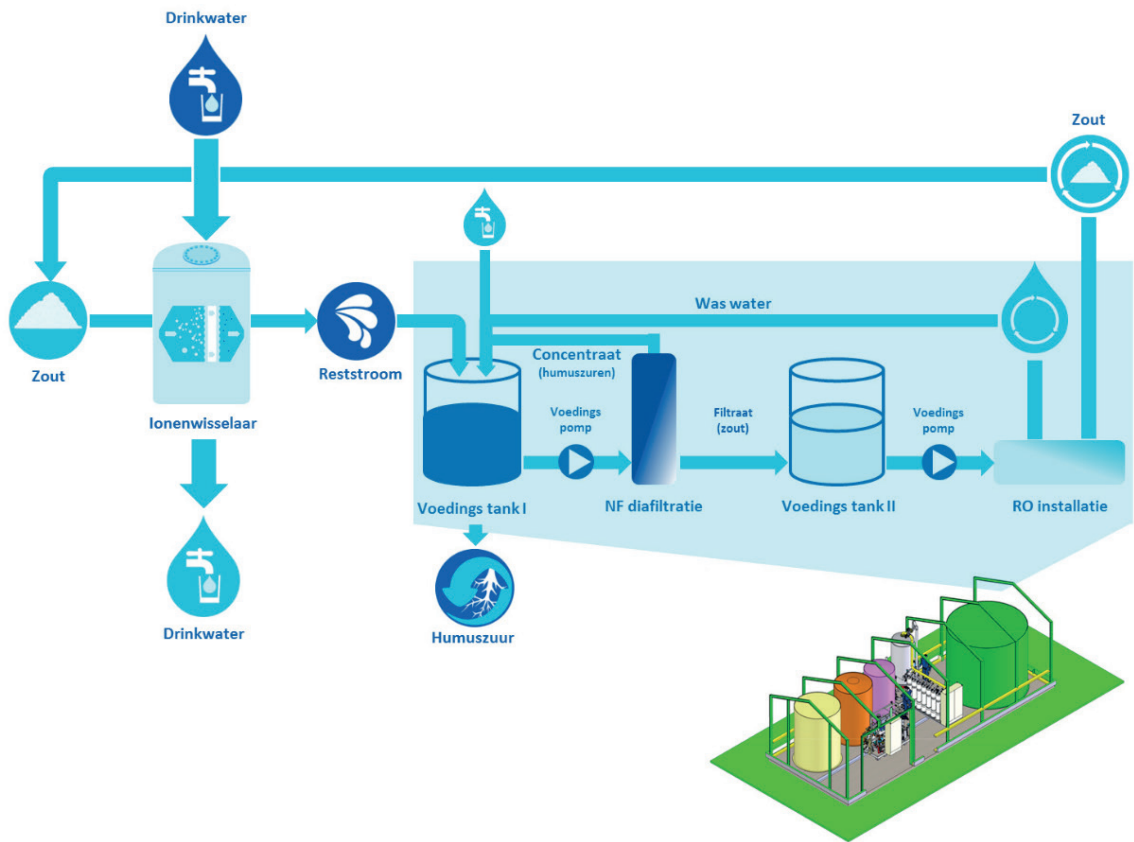
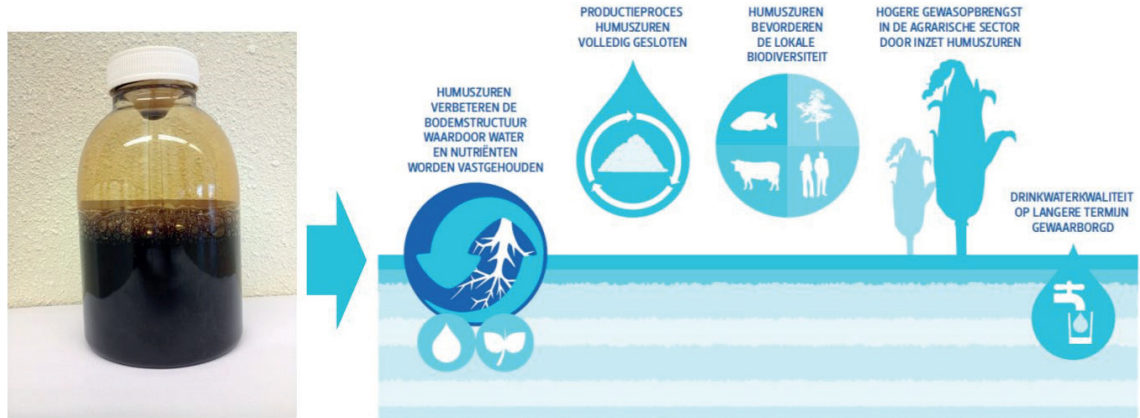
<sup>6</sup> Leymonie et al 2013

<sup>7</sup> Vertrouwelijke bron

<sup>8</sup> <http://www.humintech.com/>



FIGUUR 2.3 WAARDEVOLLE EIGENSCHAPPEN HUMUSZUREN (BOVEN), PRODUCTIE HUMUSZUREN BIJ BEREIDING DRINKWATER (ONDER)  
BRON: WWW.H2OWATERNETWERK.NL



# 3

## VOORBEREIDING TESTFASE

### 3.1 INLEIDING

Het doel van deze voorbereidende fase is om een eerste inzicht te krijgen in het gehalte humus- en fulvinezuren wat gevonden kan worden op een rwzi. Dit is nodig om de meest kansrijke stromen voor de winning van humuszuren te identificeren en het inzichtelijk maken van de potentiële gevolgen van humuszuurwinning op de rwzi. Paragraaf 3.2 beschrijft de werkwijze in deze fase.

### 3.2 WERKWIJZE

De voorbereiding is opgedeeld in een aantal stappen:

1. Inventarisatie analysemethodieken humuszuren in afvalwater  
In deze fase is contact opgenomen met diverse laboratoria om de analysemethodieken en kosten inzichtelijk te maken voor de analyse van humus- en fulvinezuren (paragraaf 3.3)
2. Vaststellen gehalten humus- en fulvinezuren in centraat van verschillende rwzi's  
In overleg met de BC zijn potentieel kansrijke rwzi's en afvalwaterstromen geselecteerd. Deze stromen zijn bemonsterd en geanalyseerd op humus- en fulvinezuren (paragraaf 3.4).
3. Bepalen hoeveelheid humus- en fulvinezuren op de rwzi  
In paragraaf 3.4 zijn vervolgens de hoeveelheden humuszuren berekend die op de geselecteerde rwzi's gewonnen kunnen worden.

Na de voorbereiding is samen met de begeleidingscommissie beoordeeld of de resultaten voldoende aanleiding gaven om de volgende fase met testen te starten. De Go/No Go afweging is in paragraaf 3.5 verwoord.

### 3.3 ANALYSEMETHODIEKEN HUMUSZUREN IN AFVALWATER

Omdat er voorafgaand aan deze STOWA studie weinig inzicht bestond in de mogelijkheden tot analyse van humus- en fulvinezuren in afvalwater is eerst gezocht naar laboratoria die deze analyses uitvoeren en de methodieken die ze daarvoor gebruiken.

De analysemethodieken van verschillende laboratoria zijn met elkaar vergeleken. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen de analyse waarbij humus- en fulvinezuren afzonderlijk gemeten worden (IHSS protocol) en de LC-OCD methode (minder bewerkelijk maar levert geen onderverdeling voor humus- en fulvinezuren, enkel een onderverdeling in molecuulgrootte).

Omdat een onderverdeling in humus- en fulvinezuren gewenst is zijn de analyses uitgevoerd conform het IHSS protocol. Dit protocol bestaat uit de volgende stappen:

*Intake monster, pH controle en filtreren, aanzuren tot pH 2,0 met HCl, kolommateriaal voorbehandelen en wassen, pre-concentratie, desorptie van humus materiaal, pH correcties, centrifugeren, separeren Humic*

*and Fulvic, wassen-2 stappen, H+ ionenwisselaar uitwisseling, vriesdrogen, wegen residu, eventueel elementanalyse'*

Naast de analyse op humuszuren is ook de DOC (opgeloste koolstof verbindingen) gemeten om een eventueel verband tussen de DOC en humus-en fulvinezuur vast te stellen.

### 3.4 KWANTIFICEREN VAN HUMUS- EN FULVINEZUREN OP VERSCHILLENDE RWZI'S

#### 3.4.1 LITERatuurVERKENNING HUMUS- EN FULVINEZUREN OP DE RWZI

Met behulp van een literatuurverkenning is vastgesteld dat er internationaal nog geen ervaring is humus- en fulvinezuren winning uit afvalwater. Ook over de aanwezigheid in afvalwater is nog niet veel bekend (concentraties, onderverdeling humus-/fulvinezuren, humine). Uit een recent onderzoek van KWR komt naar voren dat het gehalte humuszuren in verschillende rwzi effluenten uiteenloopt van 3,5 tot 8,5 mg/l<sup>9</sup>. Verschillende bronnen geven verder aan dat bij het thermische voorbehandelen van slib (30 minuten op 180°C) 35 % van het aanwezige fulvinezuur en humuszuur oplost. Tijdens de omzetting wordt ook 32 % van het humuszuur omgezet tot fulvinezuur, en neemt het gemiddeld molecuulgewicht van fulvine- en humuszuur af<sup>10</sup>. Tijdens vergisting worden de humusbestanddelen vrijwel niet omgezet tot biogas<sup>11</sup>. Met als gevolg dat deze humusbestanddelen in de rejectiestroom van de slibgisting terecht komen. Deze rejectiestroom wordt in het actief slibproces gebracht en behandeld op de rwzi. Omdat de humusbestanddelen nauwelijks biologisch afbreekbaar komen deze humusbestanddelen uiteindelijk terecht in het effluent van de rwzi<sup>12 13 14</sup>.

#### 3.4.2 IDENTIFICATIE MEEST GESCHIKTE STROOM VOOR WINNING

Op basis van de literatuurverkenning lijkt het centraat van de slibontwatering de meest kansrijke stroom om humuszuren te winnen. De verwachting is dat een groot deel van de aanwezige humuszuren in het afvalwater zich binden aan het zuiveringsslib en in oplossing komen in de slibgisting. Het centraat bevat daarom naar verwachting het merendeel van de in de gisting in oplossing geraakte humuszuren en bevat daarnaast relatief weinig zwevende stof. Vanwege de specifieke omstandigheden op rwzi's met TDH's en slibgisting (hogere droge stof gehalten in slibgisting, kraken van slib) zijn de concentraties humuszuren op deze rwzi's potentieel nog hoger. In overleg met de BC is besloten om de verkenning te richten op centraat van slibgistingen zowel met en zonder TDH.

#### 3.4.3 EERSTE ANALYSES

Op het moment van onderzoeken was alleen op de rwzi Venlo een TDH in bedrijf. Met het oog op de aanstaande in bedrijf name van TDH's zijn ook de rwzi's Apeldoorn en Amersfoort meegenomen. Rwnzi Tilburg werd ten tijde van deze onderzoeksfase omgebouwd en werd nog niet representatief beschouwd.

9 KWR 2016, Removal of pharmaceuticals from WWTP effluent

10 Yuning Yang et al 2014, Variation in humic and fulvic acids during thermal sludge treatment assessed by size fractionation, elementary analysis, and spectroscopic methods, Front. Environ. Sci. Eng.

11 Huan li Y et al 2014, Extracting humic acids from digested sludge by alkaline treatment and ultrafiltration, J Mater Cycles Waste Manag

12 Daina Kliugaite et al 2013, Electrochemical removal and recovery of humic-like substances from wastewater, Separation and purification Technology

13 Akio Imai et al 2002, Characterization of dissolved organic matter in effluents from wastewater treatment plants, Water Research

14 Huizhong Ma et al 2001, Characterization of isolated fractions of dissolved organic matter from natural waters and a wastewater effluent, Water Research

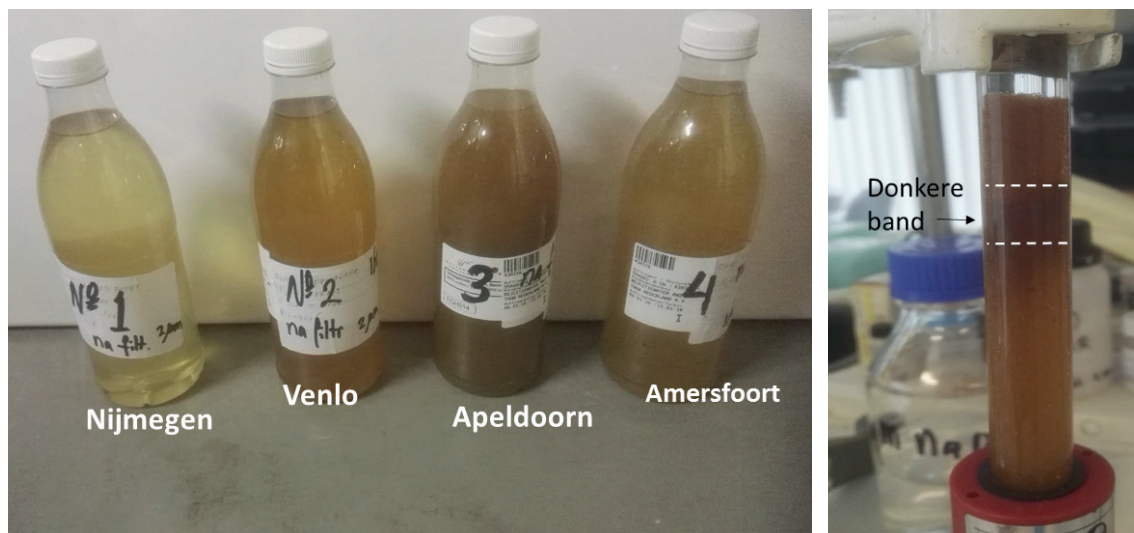
Vanwege het verkennende karakter van deze studie en de hoge kosten van de humuszuren-analyses zijn in dit onderzoek alleen enkelvoudige analyses uitgevoerd van de humuszuren. De geanalyseerde centraat monsters zijn steekmonsters.

- Rwzi Nijmegen (Weurt/Wijchen), wel slibgisting, geen TDH
- Rwzi Venlo, slibgisting en TDH
- Rwzi Apeldoorn, wel slibgisting, geen TDH \*, vergisting externe afvalstromen
- Rwzi Amersfoort, wel slibgisting, geen TDH \*

\*Ten tijde van de analyses waren de TDH's op de rwzi's Apeldoorn en Amersfoort nog niet in bedrijf

Het centraat van de bovengenoemde rwzi's is door het bedrijf CS-Aspa met de IHSS methode geanalyseerd op humus- en fulvinezuren. Voorafgaand aan de analyses zijn de monsters gefiltreerd over een 2,0 µm glasfilter (linkerzijde figuur 3.1). Wat opvalt is dat de monsters na filtratie sterk van elkaar verschillen. Het centraat van Nijmegen is lichtgekleurd terwijl Apeldoorn en Venlo donker van kleur zijn.

FIGUUR 3.1 GEFILTERDE MONSTERS (LINKS), MONSTER APELDOORN IN IONENWISSELAAR (RECHTS)



De gefiltreerde monsters zijn met een ionenwisselaar geanalyseerd op humuszuren (HA) en fulvinezuren (FA). In figuur 3.1 is te zien dat bij de analyse van het centraat-monster van Apeldoorn een donkere band op de ionenwisselaar ontstond. Deze band was niet te elueren met zuur. De fractie is uiteindelijk met een basische oplossing (NaOH, 1M) in oplossing gebracht en vervolgens geanalyseerd.

In tabel 3.1 zijn de analyseresultaten opgenomen. In de tabel is een aanvullende kolom opgenomen waar in de donkere (niet elueerbare fractie) is gekwantificeerd. De samenstelling van deze fractie is niet vastgesteld maar gelet op het gedrag en de kleur (figuur 2.1) zijn dit naar verwachting humine-achtige verbindingen.

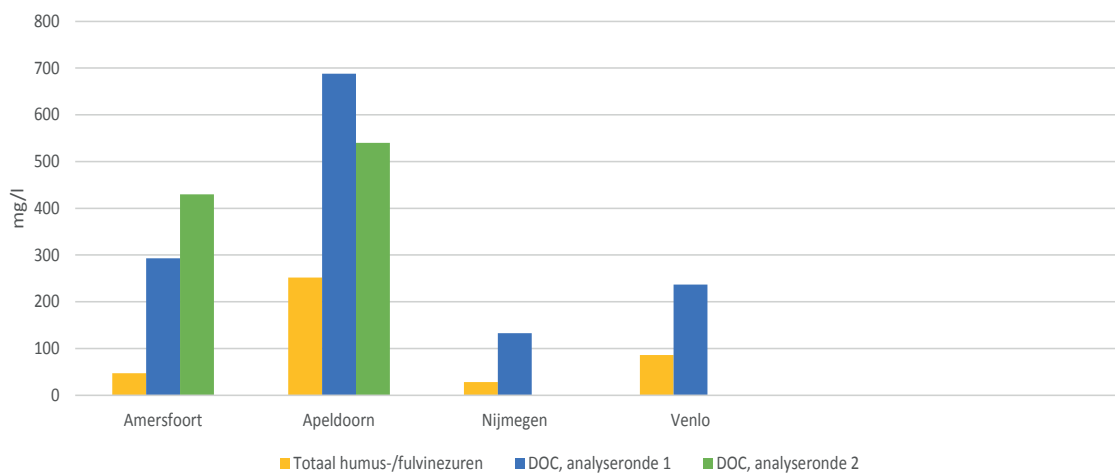
TABEL 3.1 ANALYSERESULTATEN IHSS ANALYSE HUMUSZUREN (HA), FULVINEZUREN (FA) EN TOC IN CENTRAAT

Centraat	HA	FA	HA-FA (overige fractie)	Totaal humus-en fulvinezuren en overige fractie
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
RWZI Nijmegen (Weurt/Wijchen)	6	20	2	28
RWZI Venlo (TDH)	16	66	4	86
RWZI Apeldoorn	65	112	75	252
RWZI Amersfoort	1,3	43	3	47

In tabel 3.1 is te zien dat er grote verschillen bestaan tussen de rwzi's. De rwzi's Nijmegen en Amersfoort bevatten fors lagere concentraties dan de rwzi's Venlo en Apeldoorn. Het algemene beeld is dat er meer fulvinezuren worden aangetroffen dan humuszuren. Wat verder opvalt is dat de gehalten humus-/fulvinezuren op de rwzi Apeldoorn (zonder TDH) hoger liggen dan die van de rwzi Venlo (met TDH). Een mogelijke verklaring hiervoor is de vergisting van externe afvalstromen op de rwzi Apeldoorn maar dit verdient nader onderzoek.

Vanwege de lange analyseduur en de hoge kosten van de analyses is gezocht naar een makkelijk uitvoerbare analyse die een indruk kan geven van het gehalte aan humuszuren in een monster. Om deze reden is het opgeloste koolstofgehalte (DOC) van de in tabel 3.1 opgenomen monsters geanalyseerd. De resultaten zijn opgenomen in figuur 3.2 (blauwe en groene kolommen). In de figuur zijn ook de DOC gehalten opgenomen nadat de TDH installaties op Amersfoort en Apeldoorn in bedrijf genomen zijn (groene kolommen).

FIGUUR 3.2 GEHALTES HUMUS- EN FULVINEZUREN EN DOC



Uit figuur 3.2 is af te leiden dat het DOC gehalte slechts een beperkte indicatie lijkt te geven van het gehalte aan humus- en fulvinezuren. Te zien is dat relatief hoge DOC concentraties gemeten worden op de rwzi's Amersfoort en Apeldoorn. Op Venlo wordt in analyseronde 1 een lager DOC gehalte gemeten terwijl het gehalte aan humus- en fulvinezuren hier hoger ligt dan op de rwzi Amersfoort. Opgemerkt wordt dat het DOC gehalte in het centraat van Amersfoort na in gebruik name van de TDH hoger uitvalt en op de rwzi Apeldoorn juist lager. De verklaring hiervoor is niet bekend.

### 3.4.4 MASSASTROOM HUMUS- EN FULVINEZUREN IN HET CENTRAAT EN EFFLUENT VAN DE RWZI

Uit onderzoek van KWR komt naar voren dat het gehalte humus- (en fulvine)zuren in verschillende rwzi effluenten uiteenloopt van 3,5 tot 8,5 mg/l terwijl het DOC gehalte varieerde van 9 tot 21 mg C/l bij 6 rwzi's<sup>15</sup>. Het aandeel humus- (en fulvine)zuren in het DOC (en CZV-gehalte) in het effluent was 34 - 46 %.

Als deze waarden vergeleken worden met de hoeveelheden humus- en fulvinezuren in de geanalyseerde centraten dan komt een wisselend beeld naar voren:

- In het effluent van rwzi als Apeldoorn zit naar schatting ruim 100 t/j humus- en fulvinezuren. In het centraat zit iets minder dan 100 t/j
- In het effluent van rwzi Venlo zit naar schatting 100 t/j humus- en fulvinezuren. In het centraat zit rond de 10 ton/j

Ook al zijn de verhoudingen verschillend, er wordt toch geconstateerd dat humus- en fulvinezuren geconcentreerd aanwezig zijn in het centraat. Verder wordt geconstateerd dat de totale massastroom humus- en fulvinezuren in het centraat significant is ten opzichte van de massastroom in het effluent van de rwzi.

### 3.4.5 RELATIE HUMUSZUREN EN DOP

De fosfor die aanwezig is in de humus- en fulvinezuren is naar verwachting moeilijk te verwijderen door chemische defosfatering. Het valt naar verwachting onder de noemer dissolved organic phosphorus (DOP). Deze draagt bij aan de met het effluent geloosde fosfor concentratie. Het gemiddelde gehalte aan DOP in het effluent van een rwzi bedraagt ongeveer 0,02 mg/l.

Door CS-Aspa is het fosforgehalte van de humus- en fulvinezuren fracties van de rwzi's Apeldoorn en Venlo geanalyseerd. De resultaten zijn opgenomen tabel 3.2.

TABEL 3.2

FOSFOR HUMUS- EN FULVINEZUREN

	Eenheid	Apeldoorn	Venlo
P in humuszuur fractie	mg/kg ds	548	1.479
P in fulvinezuur fractie	mg/kg ds	289	267

Uit tabel 3.2 is af te leiden dat humuszuren voor 0,03 % – 0,15 % uit fosfor bestaan. Een effluent humus- en fulvinezurengehalte van 5 mg per liter komt neer op enkele microgrammen DOP per liter.

## 3.5 CONSTATERINGEN VOORBEREIDING

Op basis van deze voorbereiding wordt het volgende geconstateerd:

### ANALYSEMETHODES

Voor het bepalen van het humus- en fulvinezuren gehalte is uitgegaan van de IHSS methode omdat hiermee de humus- en fulvinezuren afzonderlijk kunnen worden bepaald. Deze methode is arbeidsintensief en kostbaar. Als eenvoudig alternatief voor de IHSS methode is de DOC-analyse verkend. Hiermee worden alle opgeloste koolstofverbindingen gekwantificeerd. Uit verschillende analyses van het DOC-gehalte blijkt dat deze methode slechts een beperkte

<sup>15</sup> KWR 2016, Removal of pharmaceuticals from WWTP effluent

indruk geeft van het gehalte aan humus-/fulvinezuren. Deze methode wordt daarmee alleen voor een eerste indicatie geschikt geacht.

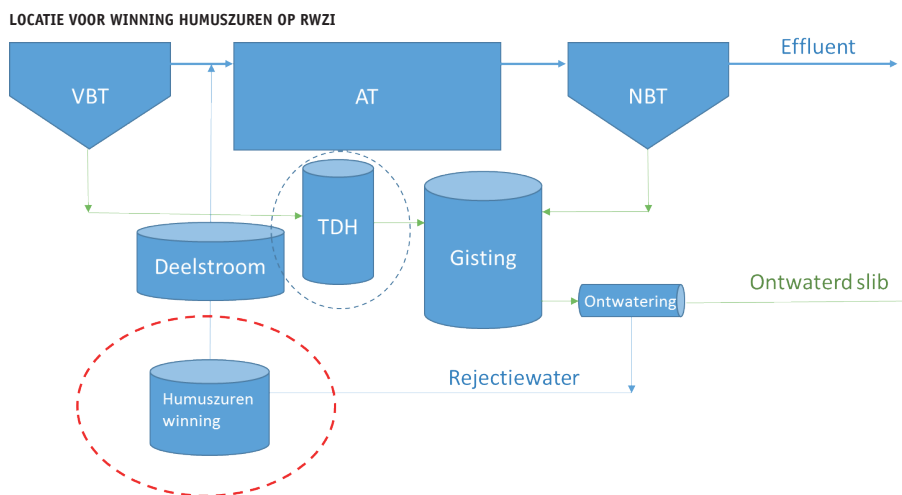
### KANSRIJKE STROMEN OP RWZI'S

Op rwzi's zijn humus- en fulvinezuren aanwezig. Het gehalte in het influent is niet bekend. Het effluent bevat enkele milligrammen humus- en fulvinezuren per liter. Centraat van rwzi's bevat aanzienlijk hogere gehalten humus- en fulvinezuren. De concentraties humus- en fulvinezuren zijn echter sterk afhankelijk van de rwzi en de waterbalans: naarmate het slib verder wordt ingedikt worden de gehalten ook hoger. De aanwezigheid van een slibgisting (en eventueel een TDH) resulteert in hogere gehalten aan humus- en fulvinezuren in het centraat.

### AANBEVELING

Op basis van bovenstaande constatering is door de BC besloten om nader onderzoek te doen naar de winning van humus- en fulvinezuren. Hierbij is het centraat aangewezen als meest kansrijke stroom voor de winning van humus- en fulvinezuren. In figuur 3.3 is de beoogde locatie voor de winning van humus- en fulvinezuren weergegeven.

FIGUUR 3.3



De resultaten van het nadere onderzoek worden gepresenteerd in hoofdstuk 4.



# 4

## ONDERZOEK NAAR WINNING HUMUSZUREN

### 4.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van een nader onderzoek naar de winning van humus- en fulvinezuren op rwzi's. Allereerst is een winningsinstallatie voor humus- en fulvinezuren uitgewerkt (paragraaf 4.2). Vervolgens is de praktisch-technische werking van de winningsinstallatie vastgesteld in een kortdurende test met het centraat van de rwzi Amersfoort (paragraaf 4.3). Ten slotte zijn met deze installatie testen uitgevoerd met centraat van verschillende rwzi's (paragraaf 4.4). In paragrafen 4.5 en 4.6 is de samenstelling van het gewonnen humuszurenproduct onderzocht waarna in paragraaf 4.7 een samenvatting volgt.

### 4.2 KEUZE WINNINGSTECHNOLOGIE

Om te komen tot een bruikbaar product op basis van humus- en fulvinezuren is een geconcentreerde stroom noodzakelijk. In de voorbereiding is het centraat van rwzi's met centrale slibgisting (en eventueel TDH) als meest kansrijke stroom geïdentificeerd omdat deze naar verwachting het meest rijk is aan humus- en fulvinezuren.

In overleg met de begeleidingscommissie zijn de volgende opties beschouwd voor het concentreren van humus- en fulvinezuren:

- Ionenwisseling (voorafgegaan door filtratie)
- Membraanfiltratie (voorafgegaan door een membraanbioreactor)
- Membraanfiltratie (voorafgegaan door filtratie)

Het concentreren van humuszuren uit centraat is vanwege het hoge gehalte aan verstovende stoffen (waaronder zwevende stof) naar verwachting niet eenvoudig. Ionenwisseling wordt bij het verwijderen van humuszuren bij drinkwater bereiding toegepast (ontkleuring) maar deze techniek is naar verwachting niet geschikt voor de winning van humus- en fulvinezuren uit centraat: het centraat bevat teveel afbreekbaar materiaal stof waardoor de ionenwisselingskolom overgroeit zal raken met biomassa. Verder heeft het als nadeel dat de humus- en fulvinezuren vrijkomen in het zeer zoute regeneratiewater. Daardoor is ontzouting van het regeneratiewater naar verwachting nodig om een bruikbaar product te produceren.

Membraanfiltratie is geschikt om stoffen op basis van de grootte van het molecuul af te scheiden. Op basis van de ervaring met andere stromen met humuszuren wordt bij de testen gekozen voor nanofiltratie. Nanofiltratie wordt op dit moment voornamelijk toegepast bij de drinkwaterbereiding zoals ontharding, ontkleuring en het verwijderen van microverontreinigingen. In de industrie wordt nanofiltratie toegepast in processen waarbij een specifieke component dient te worden afgescheiden zoals bijvoorbeeld kleurstoffen. In principe kan ook zeer dichte ultrafiltratie worden toegepast. Deze membranen houden minder kleine moleculen tegen. De membraankeuze zal effect hebben op de kwaliteit van de geconcentreerde



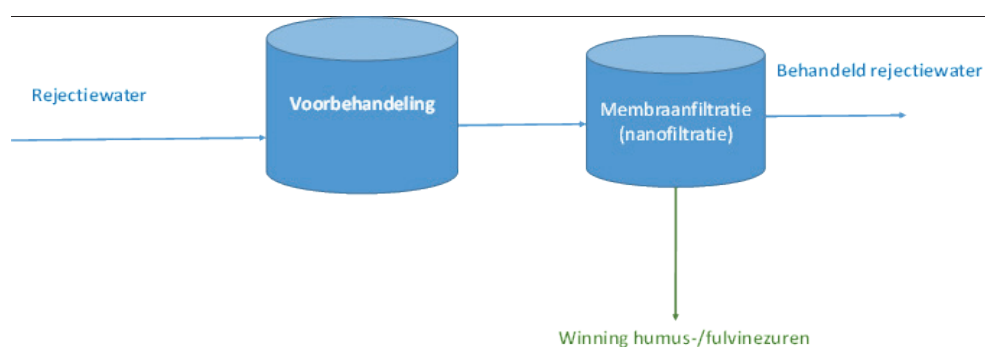
humus- en fulvinezurenstroom. In een volgende fase zou onderzoek gedaan moeten worden naar het meest geschikte membraan.

Om de membranen te beschermen tegen verstopping door onopgelost materiaal is voorbehandeling van centraat nodig. De meest vergaande voorbehandeling is aerobe biologische stabilisatie met een MBR (membraanbioreactor). Voorbehandeling met een MBR levert een gestabiliseerde en vergaand gefilterde stroom op. Met de combinatie MBR – humuszurenwinning bestaat positieve ervaring bij het verwerken van relatief vervuilde industriële stromen. Het nadeel is dat deze voorbehandeling extra kosten oplevert. Verder zal in de MBR ook een zekere mate van nitrificatie optreden, wat een aandachtspunt kan zijn bij verdere behandeling van het centraat. Voorbehandeling middels een filter is eenvoudiger en zal naar verwachting lagere kosten opleveren. Het nadeel is dat deze voorbehandelingstechniek wellicht onvoldoende is om de nanofiltratie stabiel te kunnen bedrijven. Verder kan een biologische stabilisatie gewenst zijn voor een langdurig houdbaar humus- en fulvinezuurproduct.

In overleg tussen het projectteam en de BC is de voorkeur uitgesproken voor het concentreren van de humus- en fulvinezuren met membraanfiltratie, voorafgegaan door een filtratie stap. Voorbehandeling met een MBR is het 'fall-back' scenario.

De beoogde testinstallatie bestaat uit een voorbehandeling (filtratie 10 µm) gevolgd door membraanfiltratie (nanofiltratie) om de humus- en fulvinezuren af te scheiden en te concentreren. De installatie is schematisch weergegeven in figuur 4.1.

FIGUUR 4.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE INSTALLATIE HUMUSZURENWINNING



### 4.3 KORTDURENDE TEST CENTRAAT RWZI AMERSFOORT

Als voorbereiding op grootschaligere testen is een kortdurende test uitgevoerd met 1,8 m<sup>3</sup> centraat van de rwzi Amersfoort. De kenmerken van het centraat zijn opgenomen in tabel 4.1

TABEL 4.1 KENMERKEN CENTRAAT AMERSFOORT (TEST 1)

Monster	Monsternamen datum	pH	LF mS/cm	Volume L	CZV mg/l	NH <sub>4</sub> -N mg/l	PO <sub>4</sub> -P mg/l	P-totaal mg/l
Amersfoort (test 1)	31-08-2016	8,04	9,8	1.806	1.994	1.500	136	-

#### 4.3.1 AANDACHTSPUNTEN

De volgende aandachtspunten zijn gehanteerd:

##### MEMBRANEN EN VOORBEHANDELING

- Maximale indikkingsfactor
- Retentie humuszuren
- Membraanflux i.r.t. voedingsdruk en indikkingsfactor
- Membraanvervuiling en reiniging.

##### KWALITEIT EINDPRODUCT

- Fracties humuszuren (fulvinezuren en humuszuren)
- Aanwezigheid zware metalen, medicijnresten en hormonen
- Zouten

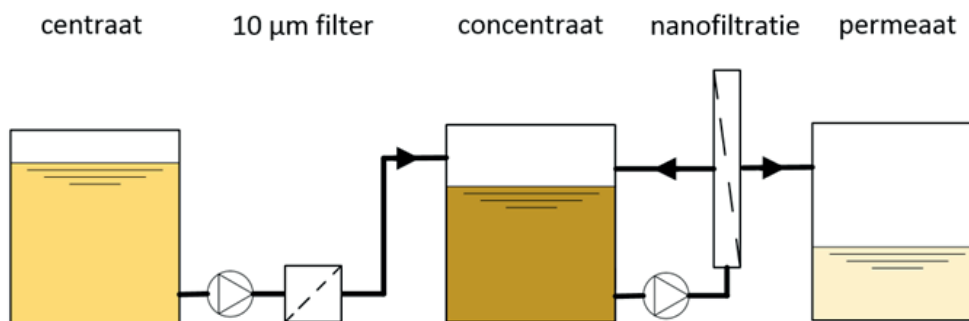
Bij membraanfiltratie is membraanvervuiling een belangrijk operationeel aandachtspunt. Er kan sprake zijn van biologische vervuiling (groei van biomassa op de membranen), anorganische vervuiling (bijvoorbeeld neerslag van calcium en/of fosfaat). Verder is hier de vervuiling door polymeren een aandachtspunt.

#### 4.3.2 OPZET KORTDURENDE TEST

Het processchema voor de test is weergegeven in figuur 4.2. In deze figuur is te zien dat het concentraat gerecirculeerd wordt over het nanofiltratie membraan waardoor de indikkingsfactor geleidelijk toeneemt. Daardoor hopen de humuszuren zich op in het concentraat waardoor deze in geconcentreerde vorm gewonnen kunnen worden.

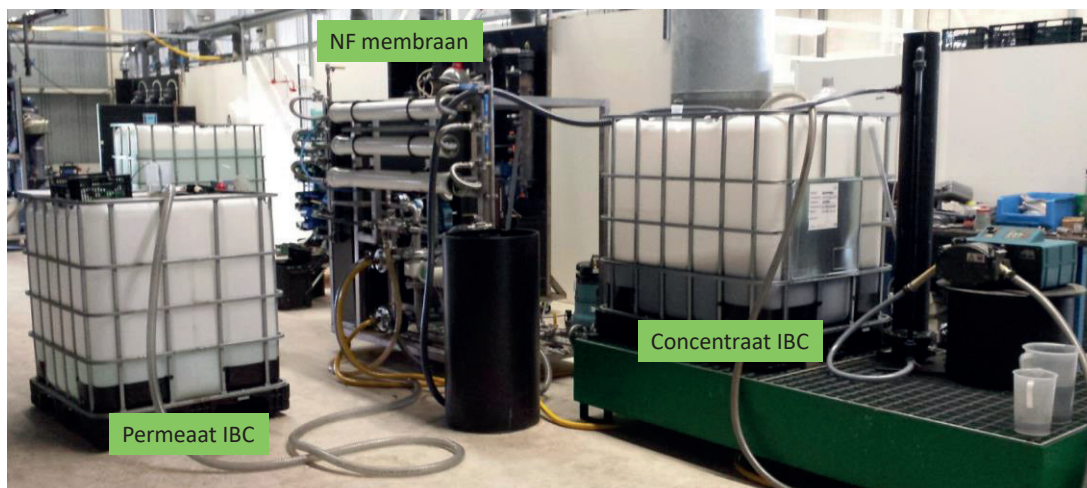
FIGUUR 4.2

PROCESSCHEMA TEST



In figuur 4.3 is de proefopstelling te zien zoals deze op het laboratorium van Triqua/Opure gerealiseerd is. De voorbehandelingstap is niet weergegeven.

FIGUUR 4.3 PROEFOPSTELLING



Gedurende de testen heeft Triqua/Opure de samenstelling van het concentraat en permeaat geanalyseerd met Hach-Lange testen.

#### 4.3.3 RESULTATEN

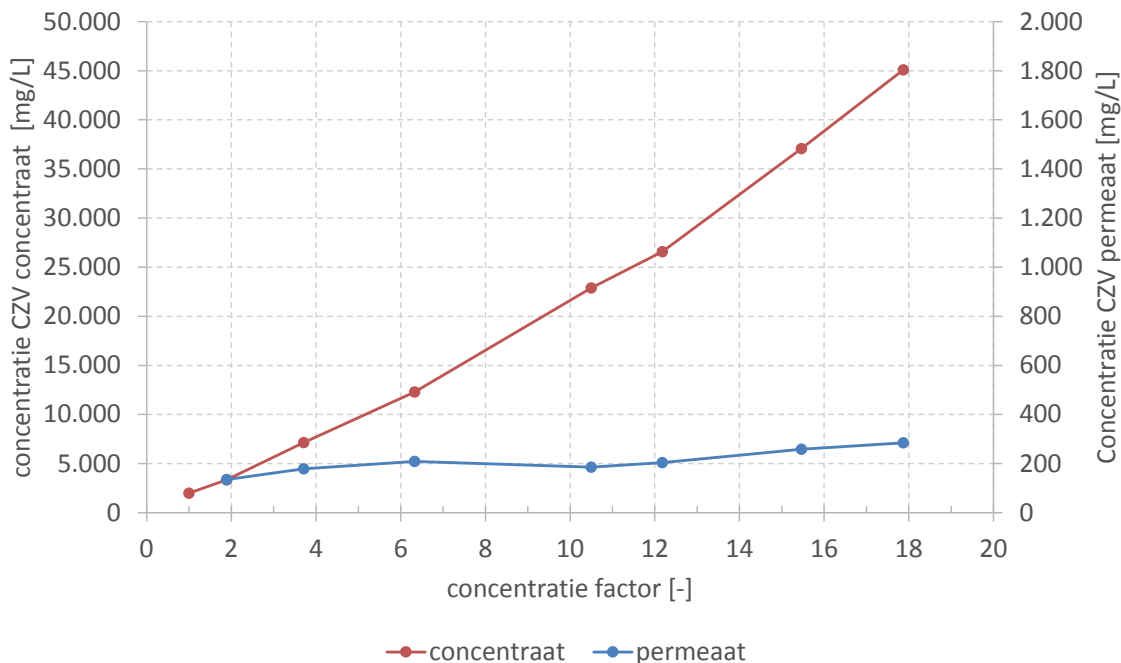
Zowel de voorbehandeling (papierfilter) als de membraanfiltratie functioneerden zonder problemen. Het bleek technisch goed haalbaar om het concentraat te concentreren middels membraanfiltratie. Het resulterende concentraat is een zwarte, enigszins viskeuze vloeistof (figuur 4.4). Het permeaat is een heldere vloeistof.

FIGUUR 4.4 CONCENTRAAT



In figuur 4.5 is de CZV concentratie van het concentraat/permeaat opgenomen als functie van de concentratiefactor. De concentratiefactor geeft de indikking van de initiële hoeveelheid concentraat. Een concentratiefactor van 20 betekent bijvoorbeeld dat 2 m<sup>3</sup> concentraat ingedikt is tot 100 liter concentraat.

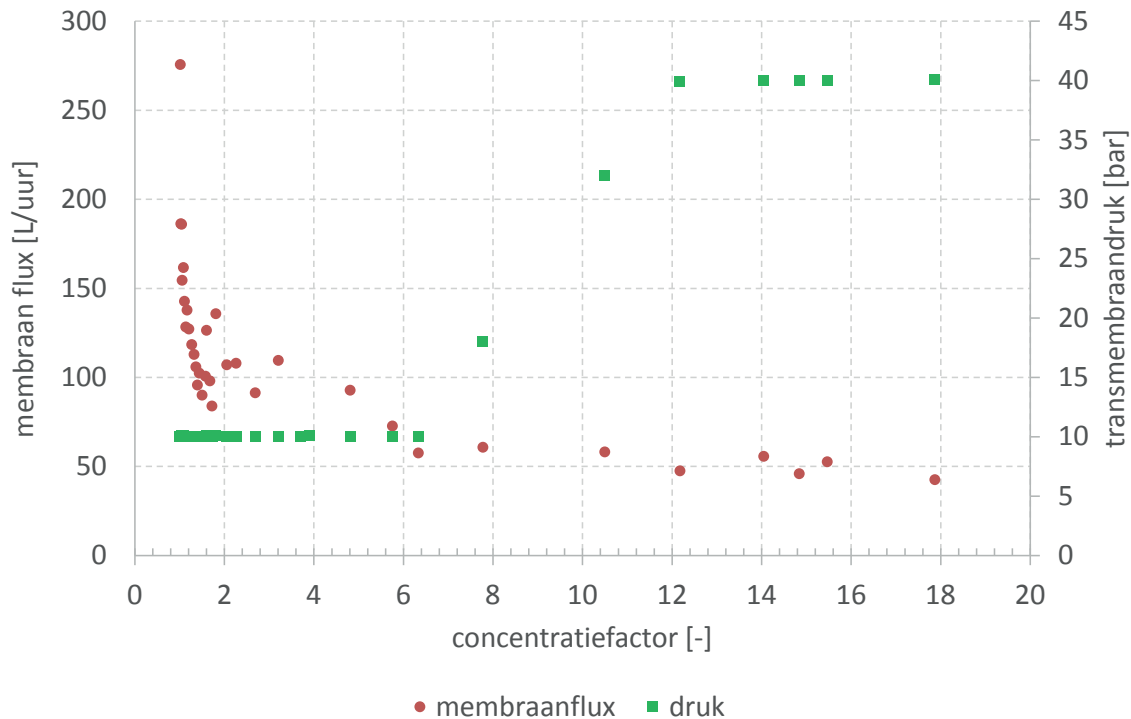
FIGUUR 4.5 CZV IN CONCENTRAAT EN PERMEAAT



In figuur 4.5 is te zien dat de CZV concentratie in het permeaat beperkt oploopt terwijl de concentratie in het concentraat lineair toeneemt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het merendeel van de CZV aanwezig is als grote moleculen die niet door het membraan heen gaan.

Figuur 4.6 geeft de ontwikkeling van de druk en de flux over de membranen weer tijdens de test.

FIGUUR 4.6 MEMBRAANFLUX, DRUK EN CONCENTRATIEFACTOR (ONDER)



Te zien is dat de flux in eerste instantie snel terugloopt en vervolgens stabiel blijft op circa 50 liter / h. Het verhogen van de druk lijkt nauwelijks effect te hebben op de flux.

### ZWARE METALEN

Een belangrijk punt voor de kwaliteit van het humuszurenproduct is de aanwezigheid van zware metalen en andere micro verontreinigingen. Na afloop van de test is een zware metalen analyse uitgevoerd (duplo) op het humuszurenproduct. Tabel 4.2 bevat de zware metalen concentraties in het concentraat. Ter vergelijking zijn de normen voor zware metalen uit de meststoffenwet toegevoegd aan de tabel. De concentraties arseen (As) en kwik (Hg) zijn niet geanalyseerd.

TABEL 4.2 GEMETEN CONCENTRATIES ZWARE METALEN IN CONCENTRAAT EN NORM VOOR TOEPASSING IN LANDBOUW

Aspect	Zn mg/kg ds	Ni mg/kg ds	Cu mg/kg ds	Pb mg/kg ds	Cr mg/kg ds	Cd mg/kg ds	As mg/kg ds	Hg mg/kg ds
Test 1.1	89,33	40,64	81,85	5,92	7,46	0,35	- **	- **
Test 1.2	88,89	40,91	82,26	5,75	6,99	0,37	- **	- **
Norm *	300	30	75	100	75	1,25	15	0,75

\*Uitvoeringsbesluit meststoffenwet bijlage II (Tabellen 2)

\*\*Niet geanalyseerd

Uit tabel 4.2 kan worden afgeleid dat de concentraties nikkel (Ni) en koper (Cu) de norm uit het uitvoeringsbesluit meststoffenwet in beperkte mate overschrijden.

#### 4.3.4 CONCLUSIES KORTDURENDE TEST

De proef heeft bevestigd dat het mogelijk lijkt te zijn om met de testinstallatie humus- en fulvinezuren te winnen uit afvalwater. De voorbehandeling (afscheiding zwevende stof) was afdoende en de indikking met de membranen verliep zonder noemenswaardige problemen. De membranen bleken na afloop goed te reinigen te zijn met een standaard reiniging (zuur/base). Er is geen onomkeerbare vervuiling van de membranen geconstateerd. De gehalten nikkel en koper in het concentraat zijn een aandachtspunt.

### 4.4 PILOT TESTEN

Op basis van de resultaten van de kortdurende test is besloten om geen wijzigingen door te voeren aan de pilot installatie. De pilot is uitgevoerd met de installatie zoals beschreven in paragraaf 4.3.2. Bij de pilot testen is eerst gekeken in welke mate het concentraat kan worden ingedikd. De aandachtspunten zijn verder dezelfde als bij de kortdurende test.

#### 4.4.1 GESELECTEERDE RWZI'S

Er is gekozen voor rwzi's met een TDH om zo te beginnen met een zo hoog mogelijke uitgangskoncentratie aan humus- en fulvinezuren. De volgende rwzi's zijn geselecteerd:

- Rwni Amersfoort (slibgisting, centrale slibverwerking, TDH)
- Rwni Tilburg (slibgisting, centrale slibverwerking, TDH)
- Rwni Venlo (slibgisting, centrale slibverwerking, TDH)

Triqua/Opure heeft IBC's opgehaald met concentraat van deze rwzi's. Allereerst is een test uitgevoerd met een grotere hoeveelheid concentraat van de rwzi Amersfoort. Vervolgens zijn ook testen uitgevoerd met concentraat van de rwzi's Venlo en Tilburg. De kenmerken van deze concentraatstromen zijn opgenomen in tabel 4.3 (na filtering over een 10 micron filter).

TABEL 4.3 KENMERKEN CENTRAAT RWZI'S (NA FILTERING OVER 10 MICRON FILTER)

Monster	Monstername datum	pH	LF	Volume	CZV	NH <sub>4</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	P-totaal
			mS/cm	L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Amersfoort (test 2)	30-10-2016	8,0	12,7	7.233	3.160	1.820	180	-*
Venlo	14-12-2016	7,4	13,0	1.935	4.848	1.561	67	83
Tilburg **	14 t/m 21- 12-2016	8,0	15,2	1.761	6.012	2.184	97	122

\* geen gegevens

\* De centrifuge draaide op deze locatie niet continu (centraat is verzameld over een periode van circa 1 week)

In tabel 4.3 is te zien dat het centraat van de verschillende rwzi's flink van elkaar afwijkt. Het centraat van de rwzi Amersfoort bevat lagere CZV concentraties dan dat van de rwzi's Venlo en Tilburg. Het ammoniumgehalte op de rwzi Tilburg ligt boven de concentraties die gemeten zijn op Amersfoort en Venlo. Wat verder opvalt is de hoge PO<sub>4</sub>P concentratie van Amersfoort.

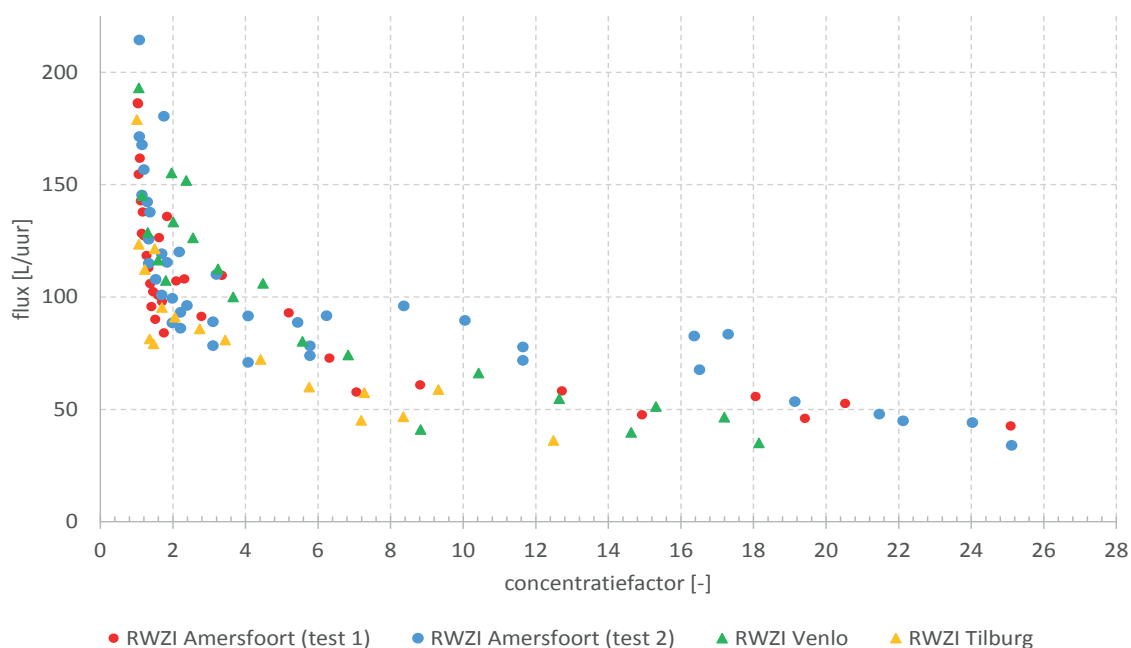
#### 4.4.2 RESULTATEN

Zowel de voorbehandeling als de membraanfiltratie is bij alle centraat monsters zonder storingen verlopen. In bijlage 2 zijn de testresultaten in een aantal grafieken weergegeven per rwzi. Navolgend zijn de belangrijkste resultaten beschreven.

##### MEMBRAANFLUX

In figuur 4.7 is de membraanflux tijdens de verschillende testen uitgezet tegen de concentratiefactor. Bij het bereiken van een flux van circa 40 liter per uur is het concentreren van de monsters gestopt.

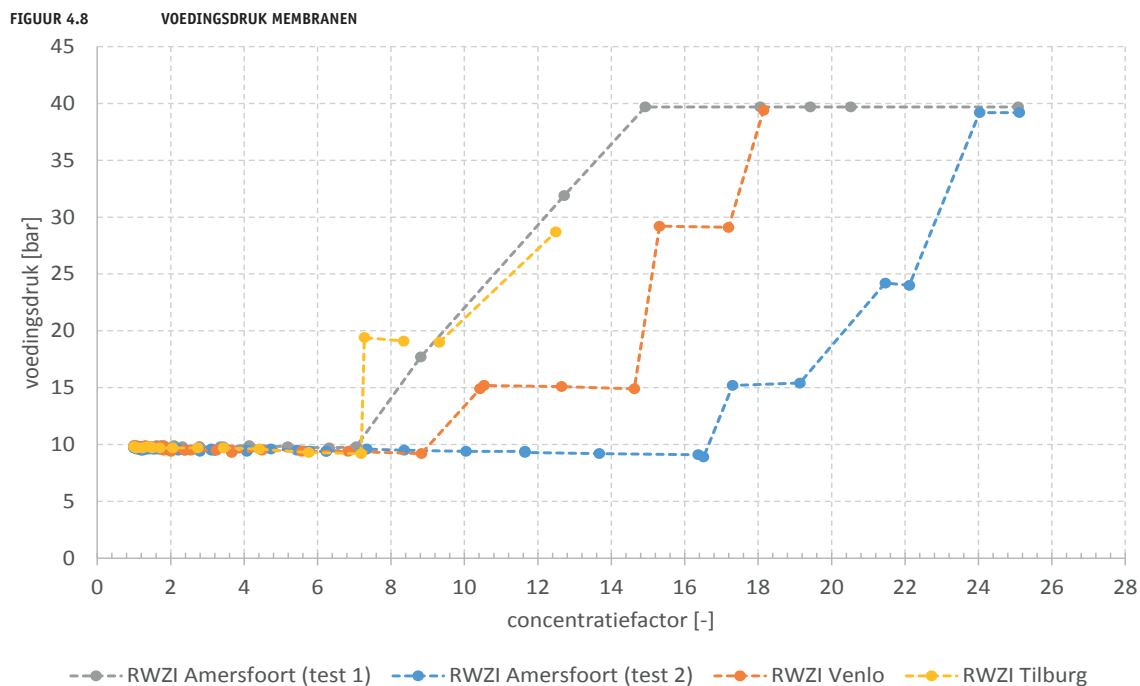
FIGUUR 4.7 MEMBRAANFLUX EN CONCENTRATIEFACTOR VAN DE VERSCHILLENDE PILOTS



In figuur 4.7 is te zien dat het concentraat van de rwzi Amersfoort verder geconcentreerd is (factor 25) dan het concentraat van de rwzi Venlo (factor 18) en de rwzi Tilburg (factor 13). Dit is te verklaren doordat het slib van Amersfoort 'dunner' is dan het slib van Venlo en Tilburg. Verder valt het op dat de flux over de membranen vanaf een bepaalde concentratiefactor redelijk stabiel blijft (vanaf een concentratiefactor van 6 tot 8).

### VOEDINGSDRUK

Tijdens de testen is de voedingsdruk over de membranen vanaf een bepaald moment verhoogd. Dit is te zien in figuur 4.8. Het verhogen van de voedingsdruk leidt in alle gevallen nauwelijks tot een verhoging van de flux (zie figuur 4.7).

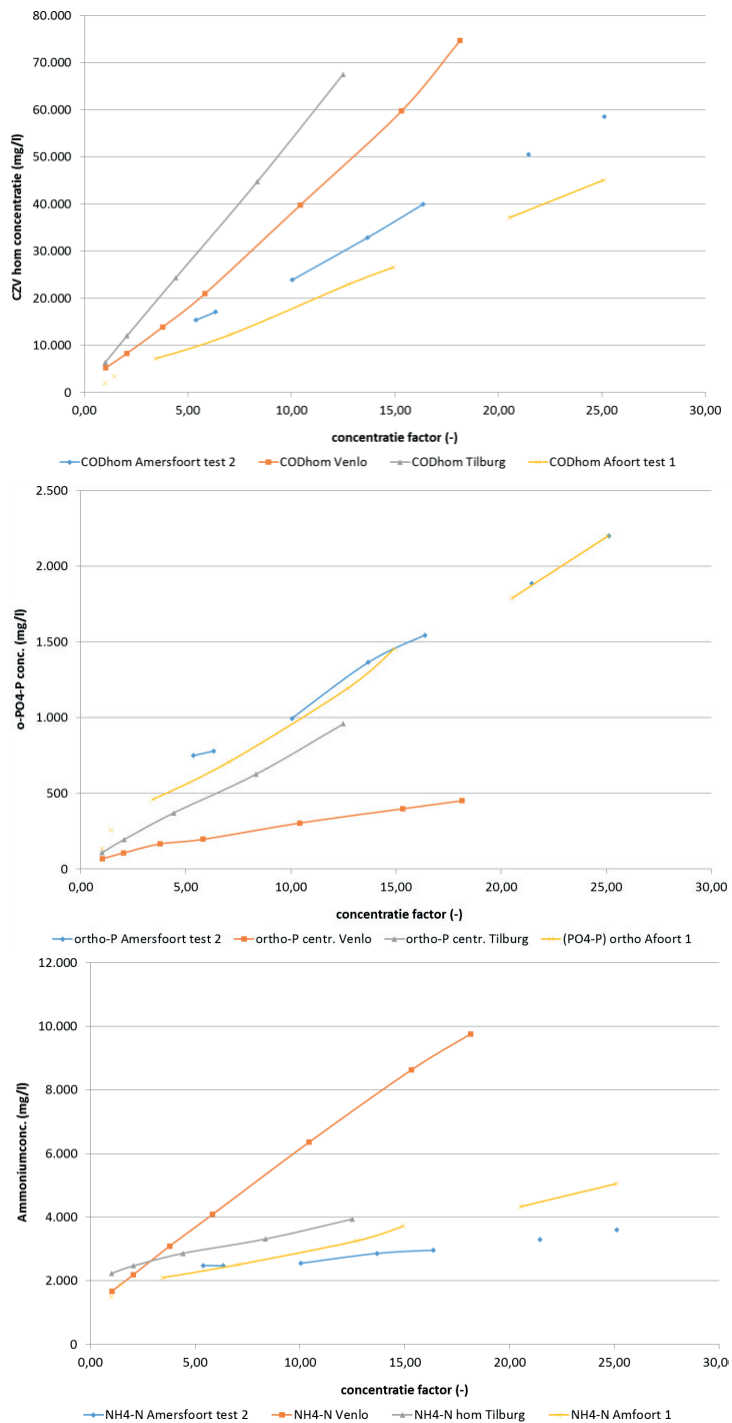


### CONCENTRATIES CZV, PO<sub>4</sub>-P EN NH<sub>4</sub>-N IN CONCENTRAAT

De ontwikkeling van de CZV, PO<sub>4</sub>-P en NH<sub>4</sub>-N concentratie in het concentraat is te zien in figuur 4.9 waarin de concentraties zijn uitgezet tegen de concentratiefactor.

FIGUUR 4.9

## CZV GEHALTE IN CONCENTRAAT BIJ OPLOPENDE CONCENTRATIEFACTOR



In figuur 4.9 is te zien dat de  $\text{PO}_4\text{-P}$  concentratie in het concentraat van Venlo laag is in vergelijking met Amersfoort en Tilburg. Dit kan worden verklaard door de lagere pH van het concentraat van Venlo (veroorzaakt door dosering van veel ijzerchloride in de sliblijn). Verder is te zien dat de ammonium concentratie in het concentraat van Venlo veel sneller oploopt dan dat van Amersfoort en Tilburg. Dit kan worden verklaard door de lagere pH van het concentraat van Venlo (veroorzaakt door dosering van veel ijzerchloride in de sliblijn).

## SAMENSTELLING CONCENTRAAT EN PERMEAAT

Na afloop van de testen is het concentraat en het permeaat van de verschillende stromen



geanalyseerd. De resultaten van deze analyses zijn opgenomen in tabel 4.4. De permeaat concentratie in de tabel betreft de concentratie zoals die aan het eind van de test gemeten is.

TABEL 4.4 SAMENSTELLING CONCENTRAAT EN PERMEAAT (EIND)

Concentraat	pH	LF mS/cm	CZV mg/l	NH <sub>4</sub> -N mg/l	PO <sub>4</sub> -P mg/l	P-totaal mg/l	cf
Amersfoort (test 1)	8,54	23,30	45.080	5.050	2.200	-	25,1
Amersfoort (test 2)	8,08	18,70	58.560	3.600	2.200	-	25,1
Venlo	7,03	59,9	74.700	9.763	451	756	18,2
Tilburg	8,14	21,4	67.520	3.937	958	1.366	12,5
<b>Permeaat (eind)</b>							
Amersfoort (test 1)	8,73	10,6	285	1.790	252	-	-
Amersfoort (test 2)	8,38	12,47	1.380	1.890	303	-	-
Venlo	7,38	23,1	3.072	2.989	108	111	-
Tilburg	8,33	15,3	1.772	2.231	107	111	-

In tabel 4.4 is te zien dat de CZV concentratie in het concentraat veel hoger is dan in het permeaat (factor 25 tot 100). Dit is een duidelijke indicatie dat CZV zich ophoopt in het concentraat. Ook voor PO<sub>4</sub>-P, en in beperkte mate voor NH<sub>4</sub>-N, zijn de concentraties in het concentraat hoger dan in het permeaat. Voor NH<sub>4</sub>-N is dit opvallend omdat de verwachting was dat NH<sub>4</sub>-N niet door het nanofiltratie membraan tegen gehouden zou worden.

De permeaat samenstelling in Tabel 4.4 betreft de samenstelling aan het einde van de test. Om de gemiddelde samenstelling van het permeaat te bepalen zijn gedurende de test analyses uitgevoerd van de CZV en PO<sub>4</sub>-P concentratie in het permeaat. Op basis van deze analyses zijn in tabel 4.5 de gemiddelde CZV en PO<sub>4</sub>-P concentraties berekend.

TABEL 4.5 GEMIDDELDE SAMENSTELLING PERMEAAT

Permeaat	CZV mg/l	PO <sub>4</sub> -P mg/l
Amersfoort (test 1)	173	67
Amersfoort (test 2)	715	167
Venlo	1.740	29
Tilburg	1.162	35

In vergelijking met de CZV en PO<sub>4</sub>-P concentraties in het uiteindelijke permeaat (tabel 4.4) is te zien dat de gemiddelde waarden in Tabel 4.5 lager uitvallen. De concentraties CZV en PO<sub>4</sub>-P in het permeaat lopen dus op naarmate de concentratiefactor toeneemt.

#### 4.4.3 ANALYSE VAN RESULTATEN

Ter controle van de gemeten debieten en concentraties is op basis van de resultaten in paragraaf 4.4.2 een CZV balans opgesteld over de uitgevoerde testen (tabel 4.6). Op basis van de gemeten CZV concentraties zijn in tabel 4.6 de CZV vrachten berekend van het concentraat, concentraat en permeaat. Te zien is dat de gemeten CZV vracht aan het begin van de testen redelijk goed overeen komen met de gecombineerde CZV vracht van het concentraat en permeaat (<10 %). Alleen in het geval van Venlo (19 %) is een wat groter verschil waargenomen. De oorzaak hiervan is niet bekend.

TABEL 4.6

## CZV BALANSEN

	centraat (start)	concentraat eind	permeaat *	Concentraat + permeaat	Vershil **
	CZV (g)	CZV (g)	CZV (g)	CZV (g)	%
Amersfoort (test 1)	<b>3.601</b>	3.244	300	3.544	2%
Amersfoort (test 2)	<b>22.856</b>	16.875	4.966	21.841	4%
Venlo	<b>9.381</b>	7.942	3.182	11.124	19%
Tilburg	<b>10.587</b>	9.512	1.883	11.395	8%

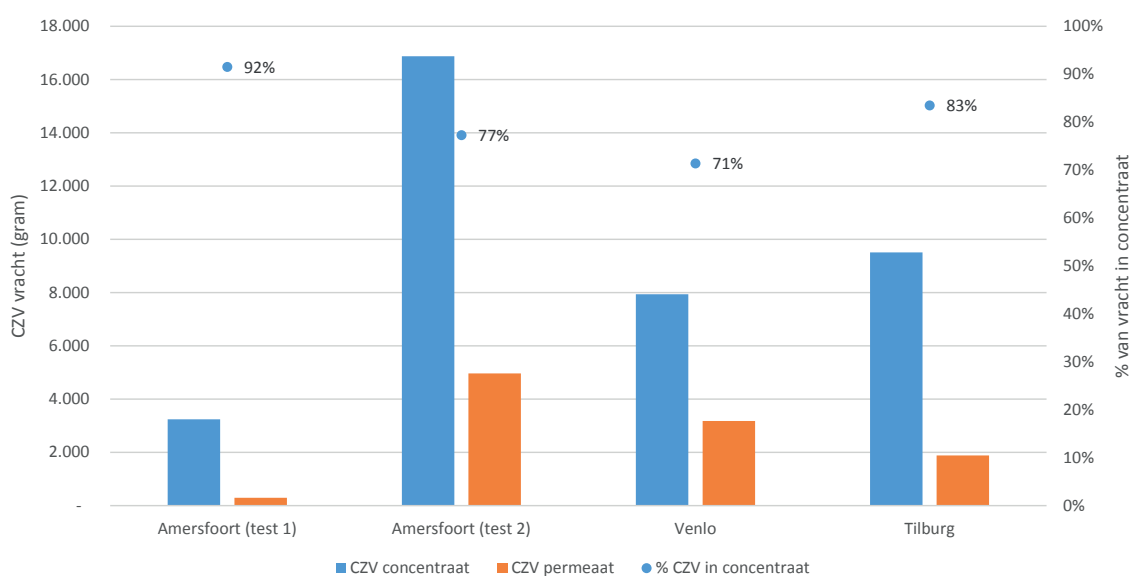
\*Mengmonster

\*\*Vershil CZV vracht centraat en CZV vracht concentraat + permeaat

Uit tabel 4.6 is af te leiden dat het merendeel van de CZV in het concentraat terecht komt. Dit is visueel weergegeven in figuur 4.10. Aan de hand van de CZV vrachten in het concentraat en permeaat is het percentage van de CZV in het concentraat berekend (blauwe punten).

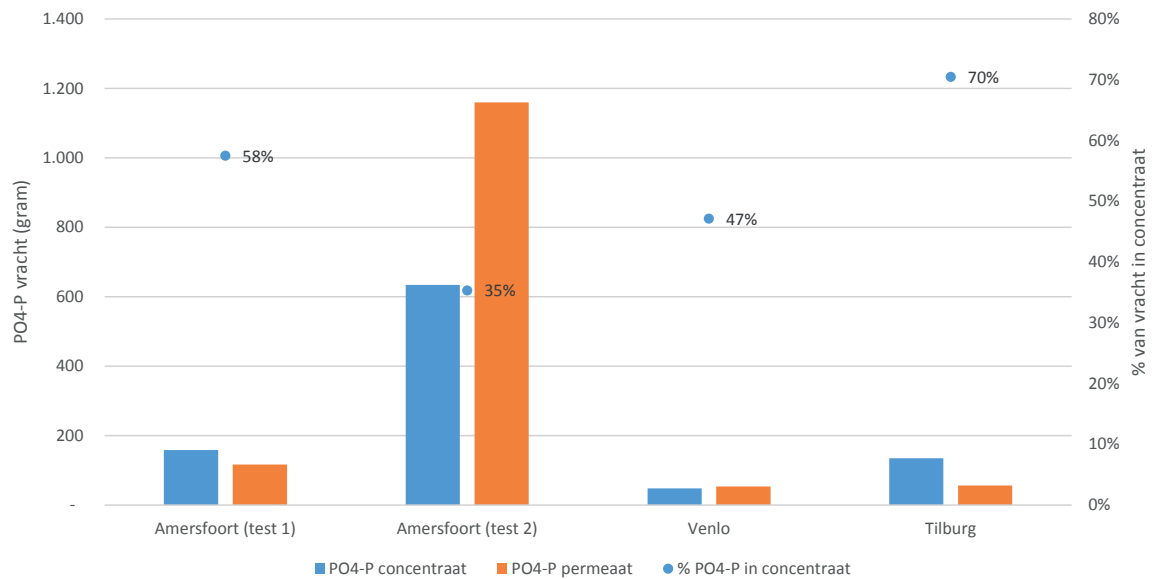
FIGUUR 4.10

## AANDEEL CZV IN CONCENTRAAT EN PERMEAAT



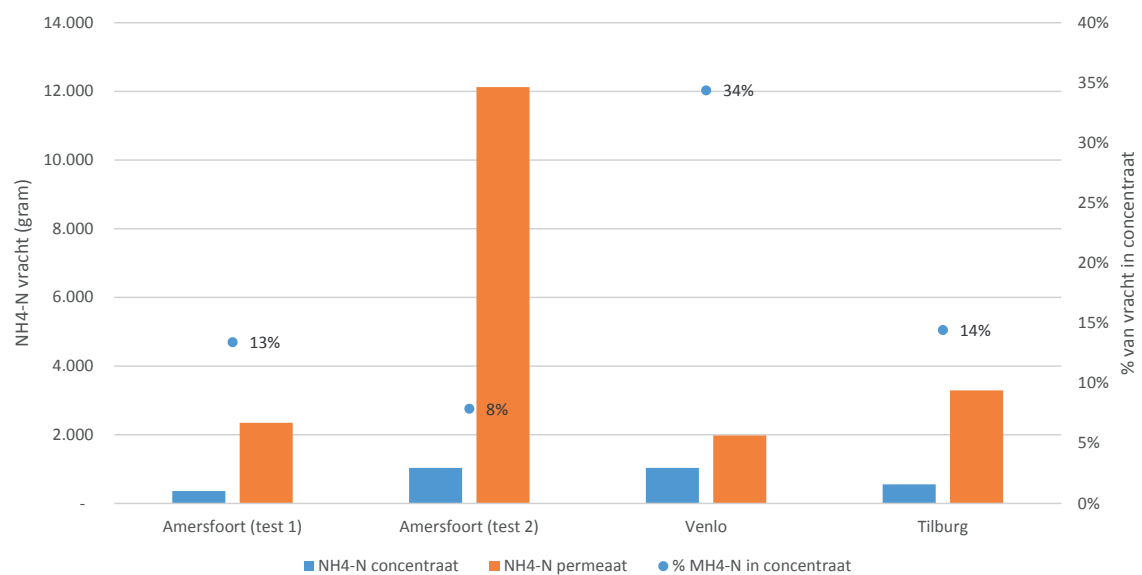
In figuur 4.10 is te zien dat het merendeel van de CZV aanwezig blijft in het concentraat. Bij de eerste test werd een retentie gehaald van 92 % terwijl dit bij Venlo op 71 % lag.

In figuur 4.11 is de  $PO_4$ -P vracht in het concentraat en permeaat opgenomen en is het percentage  $PO_4$ -P in het concentraat vastgesteld.

FIGUUR 4.11 PO<sub>4</sub>-P VRACHT IN CONCENTRAAT EN PERMEAAT EN PERCENTAGE PO<sub>4</sub>-P IN CONCENTRAAT

In figuur 4.11 is te zien dat het percentage PO<sub>4</sub>-P in het concentraat varieert van minimaal 35 % (Amersfoort test 2) tot maximaal 70 % (Tilburg).

In figuur 4.12 is de NH<sub>4</sub>-N vracht in het concentraat en permeaat opgenomen en is het percentage NH<sub>4</sub>-N in het concentraat vastgesteld.

FIGUUR 4.12 NH<sub>4</sub>-N VRACHT IN CONCENTRAAT EN PERMEAAT EN PERCENTAGE NH<sub>4</sub>-N IN CONCENTRAAT

In figuur 4.12 is te zien dat het merendeel van de NH<sub>4</sub>-N vracht in het permeaat terecht komt. Venlo is met 34 % een uitschieter. Naar verwachting wordt dit veroorzaakt door de lage pH van het concentraat van Venlo.

#### 4.5 HUMUS- EN FULVINEZUREN, N EN P IN CONCENTRATEN

De concentraten van Amersfoort (test 2), Venlo en Tilburg zijn geanalyseerd op humus- en fulvinezuren, N en P. De resultaten zijn opgenomen in tabel 4.7. In de tabel zijn tevens het

droge stof gehalte van het monster en de DOC concentratie opgenomen.

TABEL 4.7 HUMUS- EN FULVINEZUREN, DROGE STOF, DOC, N EN P IN CONCENTRATEN

Monster	Droge stof %ds	DOC mg/l	N-tot mg/l	P-tot mg/l	Humuszuren mg/l	Fulvinezuren mg/l
Amersfoort (test 2)	3,7%	9.921	6.400	2.439	531	3.548
Venlo	5,1%	14.152	5.800	2.391	1.150	4.547
Tilburg	4,6%	10.382	7.100	1.348	1.226	2.975

In tabel 4.7 is te zien dat het gezamenlijke gehalte aan humus- en fulvinezuren in het concentraat 4 tot 6 gram/l bedraagt (0,5 %). Het droge stof gehalte van de monsters ligt tussen de 4 en 5 % waardoor ongeveer 10 % van de droge stof uit humus- en fulvinezuren bestaat. De grootste fractie zijn fulvinezuren. Het overige deel van de gemeten DOC bestaat uit humine-achtige verbindingen en zuren. Stikstof en fosfor zijn in hoge concentraties aanwezig in het concentraat. De concentraties humus- en fulvinezuren liggen in de afvalwaterconcentraten hiermee duidelijk lager dan de commercieel verkrijgbare humuszuren producten (20% humus- en fulvinezuren oplossing). In welke mate dit de afzet van humuszuren uit afvalwater bemoeilijkt is in deze studie niet onderzocht.

#### 4.6 ZWARE METALEN, PAK'S EN MEDICIJNRESTEN

Voor de toepassing van humuszuren is de aanwezigheid van eventuele verontreinigingen van belang. In het kader van deze studie is gekeken naar zware metalen, PAK's en medicijnresten.

##### 4.6.1 ZWARE METALEN

De concentraten van Amersfoort, Venlo en Tilburg zijn bemonsterd en geanalyseerd op zware metalen. De aangetroffen concentraties zware metalen zijn opgenomen in tabel 4.8.

TABEL 4.8 ZWARE METALEN IN CONCENTRATEN

Monster	Eenheid	%ds	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Amersfoort (test 2)	mg/kg	3,7%	0,36	0,01	3,1	1,7	0,3	4
Venlo	mg/kg	5,1%	0,52	0,02	3,6	3	0,7	11
Tilburg	mg/kg	4,6%	0,26	0,04	7,1	2	1,6	21

Op basis van de resultaten in tabel 4.8 zijn in tabel 4.9 de concentraties zware metalen berekend als aandeel van de droge stof. In deze tabel zijn ook de normen voor zware metalen opgenomen.

TABEL 4.9 ZWARE METALEN IN CONCENTRATEN, EVENALS NORMEN ZWARE METALEN

Monster	Eenheid	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Amersfoort (test 2)	mg/kg ds	9,7	0,3	84	46	8	108
Venlo	mg/kg ds	10,2	0,4	71	59	14	216
Tilburg	mg/kg ds	5,7	0,9	154	43	35	457
Norm *	mg/kg ds	15	1,25	75	30	100	300

\*Uitvoeringsbesluit meststoffenwet bijlage II (Tabellen 2)

In tabel 4.9 is te zien dat de concentraties koper en nikkel in de concentraten de normen uit de meststoffenwet overschrijden. Bij de toepassing van het concentraat dient hier rekening mee gehouden te worden.

#### 4.6.2 PAK

Een concentraatmonster van rwzi Tilburg is aangeboden aan AL-West ter analyse op polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK). Hierbij is gebleken dat reguliere analyse op PAK praktisch niet uitvoerbaar was. De hoge concentratie organisch materiaal bleek teveel verstoring te geven. Om die reden is een andere aanpak gekozen. Het onbehandelde centraat van rwzi's Tilburg, Apeldoorn en rwzi Amersfoort is bemonsterd en na filtratie geanalyseerd.

TABEL 4.10 CONCENTRATIE PAK IN CENTRAAT NA FILTRATIE (0,45 µM) (µG/L)

Parameter	Centraat rwzi Tilburg 19-06-2017	Centraat rwzi Apeldoorn 24-08-2017	Centraat rwzi Amersfoort 24-08-2017
naftaleen	<0,06	0,41	0,26
acenaftyleen	<0,04		
acenafteen	<0,03	<0,04	<0,04
fluoreen	0,03	0,05	<0,04
fenantreen	0,08	0,18	0,078
antraceen	<0,01	0,023	<0,02
fluorantheen	0,06	0,33	0,11
pyreen	0,05	0,24	0,084
benzo(a)antraceen	0,01	0,088	0,032
chryseen	0,02	0,11	0,041
benzo(b)fluorantheen	0,01	0,11	0,036
benzo(k)fluorantheen	<0,01	0,046	<0,02
benzo(a)pyreen	0,01	0,072	0,026
dibenzo(a,h)antraceen	<0,01	<0,02	<0,02
benzo(ghi)peryleen	<0,01	0,053	0,021
indeno(1,2,3-cd)pyreen	<0,01	0,044	<0,02

Geconcludeerd wordt dat het gehaltes aan PAK in centraat niet hoog is. Opvallend is dat het centraat van Apeldoorn fors hogere PAK concentraties bevat dan dat van Amersfoort en Tilburg. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door de vergisting van externe afvalstromen. In Tilburg worden juist zeer lage concentraties gemeten. PAK zijn echter ZZS (Zeer Zorgwekkende Stoffen) en de emissie hiervan moet worden geminimaliseerd. Bij een factor 25 indikking zal het concentraat uiteindelijk 25x hogere concentraties PAKS bevatten waardoor het totaal aan PAK in het concentraat naar verwachting tussen de 5 en 50 µg/l ligt (afhankelijk van de rwzi).

Om het effect van een TDH en slibgisting op de totale PAK vracht te beoordelen is een vergelijking gemaakt tussen de PAK vracht die dagelijks via het influent aangevoerd wordt op een rwzi en de PAK vracht zoals die gemeten is in het centraat. Voor het vaststellen van de PAK vracht in het influent is uitgegaan van gemiddelde PAK concentraties zoals die gemeten is in het influent van Nederlandse rwzi's <sup>16</sup>. In het geval van de rwzi's Amersfoort en Tilburg bedraagt de PAK vracht in het centraat respectievelijk 0,3 % en 0,7 % van de dagelijkse PAK vracht die aangevoerd wordt op de rwzi. In het geval van de rwzi Apeldoorn gaat het om 3 %. De aanwezigheid van een TDH en slibgisting lijken dus niet een grote toename van PAK te veroorzaken.

#### 4.6.3 MEDICIJNRESTEN EN HORMONEN

Omdat verwacht werd dat medicijnresten en hormonen zeer moeilijk te analyseren zijn in het concentraat is gekozen voor dezelfde aanpak als bij PAK: analyse in centraat. De resultaten van deze analyses zijn opgenomen in tabel 4.11.

16 WATSON Database

TABEL 4.11

## CONCENTRATIES MEDICIJNRESTEN EN HORMONEN IN CENTRAAT NA FILTRATIE (0,45 µM) (µG/L)

Parameter	Centraat rwzi Tilburg 19-06-2017 *	Centraat rwzi Apeldoorn 24-08-2017 *	Centraat rwzi Amersfoort 24-08-2017 *
acetylsulfamethoxazole		<0,1	<0,1
amidotrizoïnezuur	<1,0	<0,1	<0,1
amiodarone		<0,1	<0,1
atenolol		<0,1	<0,1
azitromycine		2,2	1,7
bezafibraat	<0,05	<0,1	<0,1
capectiabine		<0,1	<0,1
carbamazepine	1,1	1,3	1,9
ciprofloxacine	<1,0	<4	<4
claritromycine	0,81	<0,14	0,31
clindamycine	<0,10	<0,1	<0,1
clozapine	0,21	<0,2	<0,2
cyclofosfamide		<0,5	<0,5
diaminomethylideenureum	<1,0		
diclofenac	1,7	<0,74	1,2
dimetridazol	<0,10	<0,5	<0,5
dipyridamol	22	n.b.	n.b.
fenazon	0,26	<0,1	<0,1
furosemide		2,3	2,7
gabapentine	<0,10	3,7	2,3
gemfibrozil		1,8	1,5
hydrochloorthiazide	<0,10	<50	<50
ibuprofen	<0,10	<5	<5
ifosfamide		<0,1	<0,1
irbesartan	5,2	1,0	1,0
ivermectine		<0,5	<0,5
jomeprol		2,0	<1
jopamidol	<10	<2	<2
ketoprofen	<0,05	<0,1	<0,1
lidocaïne	1,1	0,18	0,38
lincomycine		<1	<1
losartan		3,1	3,0
metformine	<0,10	0,86	0,62
metoprolol	6,0	3,7	2,8
naproxen		<0,5	<0,5
oxazepam	0,93	0,35	0,69
oxytetracycline		n.b.	n.b.
paracetamol		<0,1	<0,1
pentoxifylline	0,04	<0,1	<0,1
pipamperon	0,30	<0,2	<0,2
simvastatine		1	<1
sotalol	<0,05	1,3	1,3
sulfamethoxazol	<0,01	<0,1	<0,1
trimethoprim	<0,01	<0,1	<0,1
valsartan	36	11	12

\*Opmerking: De analyses zijn door twee verschillen laboratoria uitgevoerd. Daardoor zijn de analysepakketten verschillend.

Geconcludeerd wordt dat er significante gehalten hormoon- en geneesmiddelresten in het centraat aanwezig zijn. De totale som van de geanalyseerde stoffen is 35-75 µg/l. Opvallend is dat er grote verschillen bestaan tussen rwzi Tilburg en rwzi Apeldoorn en Amersfoort.

Het is de verwachting dat de hormoon- en geneesmiddelresten deels worden tegengehouden door de membranen en dus samen met de humus- en fulvinezuren geconcentreerd worden. Worst case geredeneerd (25 indikken) kan dit betekenen dat het humuszurenconcentraat milligrammen hormoon- en medicijnresten bevat. Dit is een punt van aandacht.

Om een inschatting te kunnen maken van het totale aandeel medicijnresten in centraat is een vergelijking gemaakt tussen de vracht medicijnresten en hormonen die dagelijks via het effluent van een rwzi afgevoerd worden en de vracht medicijnresten en hormonen zoals die gemeten is in het centraat. Voor het vaststellen van de vracht medicijnresten en hormonen in het effluent is uitgegaan van concentraties zoals die gemeten zijn in het effluent van de rwzi Amersfoort<sup>17</sup>. In het geval van de rwzi Amersfoort bedraagt de totale vracht medicijnresten en hormonen in het centraat circa 2 % van de dagelijkse vracht die afgevoerd wordt via het effluent van de rwzi (grote verschillen per stof). Het aandeel medicijnresten- en hormonen in het centraat is dus beperkt ten opzichte van de dagelijks geloosde vracht.

#### 4.7 CONSTATERINGEN

De constateringen op basis van deze testen zijn als volgt:

##### TECHNISCHE HAALBAARHEID CONCEPT

- Voor de gebruikte membranen (spiraalgewonden nanofiltratie membranen) is voorbehandeling door filtratie voldoende gebleken
- Het centraat van de rwzi's Amersfoort en Venlo is het beste filtreerbaar. Tilburg is het slechtste filtreerbaar (3 maal meer membraanoppervlak nodig)
- Er is membraanvervuiling aanwezig, maar dit is niet substantieel. De vervuiling is anorganisch (vermoedelijk een calcium of struvietneerslag)
- De membraanvervuiling is omkeerbaar. Een regluiere zuur/bare-reiniging van de membranen bleek voldoende te zijn
- Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat sprake is van verstopping door polymeer

##### CONCENTRATIES EN RENDEMENTEN

- Concentraties CZV,  $\text{NH}_4\text{-N}$  en  $\text{PO}_4\text{-P}$  variëren sterk voor de aangeleverde centraat stromen (CZV 2.000 - 6.000 mg/l,  $\text{NH}_4\text{-N}$  1.500 - 2.200 mg/l en  $\text{PO}_4\text{-P}$  70 - 180 mg/l)
- De retentie van CZV en  $\text{PO}_4\text{-P}$  in het concentraat is hoog terwijl de retentie van  $\text{NH}_4\text{-N}$  laag is (CZV 71 % - 92 %,  $\text{PO}_4\text{-P}$  35 %-70 % en  $\text{NH}_4\text{-N}$  8 % - 34 %)
- Venlo wijkt duidelijk af met een relatief hoge retentie van  $\text{NH}_4$  en lage retentie van  $\text{PO}_4$  in het concentraat. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door de lage pH van het centraat (de verklaring hiervoor is de  $\text{FeCl}_3$  dosering op de decanters van Venlo waardoor het orthofosfaat wordt gebonden in het slib)
- De DOC in het concentraat bestaat voor 19-28 % uit fulvinezuren (3,0 tot 4,5 g/l) en voor 4-8 % humuszuren (0,5 tot 1,2 g/l)
- Humus en fulvinezuren maken gezamenlijk ongeveer 10 % uit van de droge stof vracht in het concentraat
- De concentraties koper en nikkel in de concentraten overschrijden in beperkte mate het Uitvoeringsbesluit meststoffenwet
- de gehalten aan PAK in centraat (en naar verwachting ook in het concentraat) zijn niet hoog. TDH's en slibgistingen lijken niet tot een grote toename van PAK te leiden. PAK zijn echter Zeer Zorgwekkende Stoffen en de emissie hiervan moet worden geminimaliseerd.

17 WATSON Database

- Er zijn significante gehalten medicijnresten en hormonen in het centraat van drie verschillende rwzi's aangetroffen. Het is de verwachting dat ook significante gehalten medicijnresten en hormonen aanwezig zijn in het humuszuurconcentraat
- Ten opzichte van de totale vracht aan medicijnresten en hormonen die dagelijks via het effluent van een rwzi geloosd worden is de vracht medicijnresten en hormonen in het centraat verwaarloosbaar



# 5

## VERKENNENDE BUSINESSCASE

### 5.1 INLEIDING

Op basis van de resultaten van de testen (hoofdstuk 4) is in dit hoofdstuk een verkennende businesscase uitgevoerd voor de implementatie van humuszurenwinning op praktijkschaal. Allereerst zijn in paragraaf 5.2 rwzi's van verschillende schaalgrootte en configuratie geselecteerd die allen beschikken over een slibgisting en slibontwatering. De uitgangspunten voor de businesscase zijn opgenomen in paragraaf 5.3 waarna de financiële uitwerking met een gevoeligheidsanalyse volgt in paragrafen 5.4 en 5.5. De business case voor humuszuren moet breder benaderd worden dan deze hoofdzakelijk financiële benadering. In paragraaf 5.6 is een Canvas model opgenomen waarin dit uitgewerkt is. In paragraaf 5.7 volgen tot slot enkele kanttekeningen bij deze verkennende businesscase.

### 5.2 UIT TE WERKEN RWZI'S

In Tabel 5.1 zijn de kenmerken van de rwzi's opgenomen waarvoor een verkennende businesscase humuszurenwinning is uitgewerkt (allen met slibgisting). Er is gekozen voor één kleine rwzi (Dronten), één grote rwzi zonder TDH en twee grote rwzi's met TDH (Amersfoort en Tilburg).

TABEL 5.1 KENMERKEN RWZI'S

Rwzi	Rwzi Dronten	Rwzi Nijmegen	Rwzi Amersfoort	Rwzi Tilburg
Capaciteit (i.e.)	48.000	400.000	300.000	350.000
Influentdebiet (m <sup>3</sup> /d)	8.276	73.497	56.034	65.894
Aanvoer slibgisting (ton ds/j)	1.400	11.000	12.000 *	25.000 **
Digestaat (ton ds/j)	600	7.000	10.000	15.000
Centraat (m <sup>3</sup> /h)	3	20	25	30 - 40
Slibgisting	Ja	Ja	Ja	Ja
Slibontwatering	Ja	Ja	Ja	Ja
TDH	Nee	Nee	Ja (Lysotherm)	Ja (Cambi)
Deelstroombehandeling	Nee	Nee	Ja (Demon)	Ja (Anammox)
Struviet installatie	Nee	Nee	Ja (PEARL)	Ja (Phospaq)
Verwijdering medicijnresten	Nee	Nee	Nee	Nee

\* <http://www.eliquo-we.com/nl/referenzen.html>

\*\* RWZI\_Tilburg\_Energie\_en\_grondstoffenfabriek, presentatie Paul\_Koemans, 2016

### 5.3 UITGANGSPUNTEN

#### 5.3.1 ALGEMENE UITGANGSPUNTEN

De algemene uitgangspunten voor de uitwerking van de businesscase zijn opgenomen in tabel 5.2.

TABEL 5.2

## ALGEMENE UITGANGSPUNTEN BUSINESSCASE

Aspect	Eenheid	Waarde
Rente	%	3,75%
Afschrijving:		
• Civiel	Jaar	30
• Mechanisch	Jaar	15
• Elektrisch	Jaar	7
Elektriciteit	EUR/kWh	0,10
IJzerchloride (40% oplossing)	EUR/ton	150
Polymeer	EUR/kg	4,0
Waarde humuszuren	EUR/ton	0
Slibverwerking	EUR/ton koek	80 *

\*bij een droge stof gehalte van 20 %

De specifieke uitgangspunten voor de businesscase zijn navolgend beschreven.

### 5.3.2 WAARDE HUMUS- EN FULVINEZURENCONCENTRAAT

Er is een bestaande markt voor humus- en fulvinezuren. De toepassingen lopen uiteen van land- en tuinbouw, bij zaadveredeling en als supplement in de diervoeding en in de humane voeding. De producten worden verhandeld als poeder en als een 20 % oplossing (mengsel humus- en fulvinezuren). De waarde varieert per toepassing.

Voor deze businesscase is ook voor het humus- en fulvinezurenconcentraat uit afvalwater als uitgangspunt gehanteerd dat dit een 20 % oplossing betreft. Dit is een indicatief getal wat tijdens de testen niet is gehaald (opwerking van het concentraat is hiervoor naar verwachting noodzakelijk). Uit de testen is verder gebleken dat het humus- en fulvinezurenconcentraat een aantal componenten bevat die een nadelig effect hebben op de kwaliteit van het concentraat:

- Er zijn nog veel korte koolstofketens aanwezig in het concentraat. Deze zijn naar verwachting nadelig voor de viscositeit van het concentraat. Hierdoor is het moeilijk om een hoge concentratiefactor te bereiken. Verder zijn de korte koolstofketens afbreekbaar en zorgen ze voor een biologisch instabiel product. Dit is een nadeel omdat de vraag naar humuszuren varieert over het jaar. In de landbouw worden humuszuren vooral bij de start van het groeiseizoen gedoseerd. Dit betekent dat concentraat een jaar houdbaar moet zijn.
- Er zijn licht verhoogde gehalten zware metalen aanwezig in het concentraat
- Er zijn licht verhoogde gehalten PAK aanwezig in het concentraat en naar verwachting ook in het humus- en fulvinezuurconcentraat
- Er zijn verhoogde gehalten hormoon- en medicijnresten aanwezig in het concentraat en naar verwachting ook in het humus- en fulvinezuurconcentraat

Het gericht verwijderen van deze stoffen is mogelijk noodzakelijk en wenselijk. Het wordt aanbevolen om hier nader onderzoek naar te doen. Er is enige ervaring met het winnen van humuszurenconcentraat uit andere stromen. Daar wordt voor het verhogen van de biologische stabiliteit en het verwijderen van korte koolstofketens gebruik gemaakt van een aerobe membraanbioreactor. Het toepassen van een membraanbioreactor zal ook een positief effect (verlaging van gehalte) hebben op zware metalen, PAK en medicijnresten en hormonen. Hier staat tegenover dat er ook nadelige effecten zullen zijn: investeringskosten, energiegebruik en indien sprake is van nageschakelde anammox/Demon een verhoging van het nitraatgehalte door oxidatie van ammonium.

Vanwege deze onzekerheden wordt voor deze business case geen vaste waarde toegekend aan de humuszuren, maar wordt rekening gehouden met een bandbreedte. In eerste instantie wordt er van uitgegaan dat het humuszurenproduct geen waarde vertegenwoordigt. Dit betekent dat het product om niet wordt opgehaald op de RWZI.

De werkelijke waarde van het gewonnen product is uiteindelijk sterk afhankelijk van de verdeling tussen fulvine- en humuszuren, de gehalten zware metalen, overige micro verontreinigingen en de uiteindelijke effecten op de bodem en plantgroei. Bij landbouwtoepassingen is ook de tijd van het jaar van belang voor de waarde.

### 5.3.3 INVESTERINGSKOSTEN WINNINGSINSTALLATIE HUMUSZUREN

De winningsinstallatie bestaat uit de volgende processen:

1. Voorfiltratie
2. Concentratie

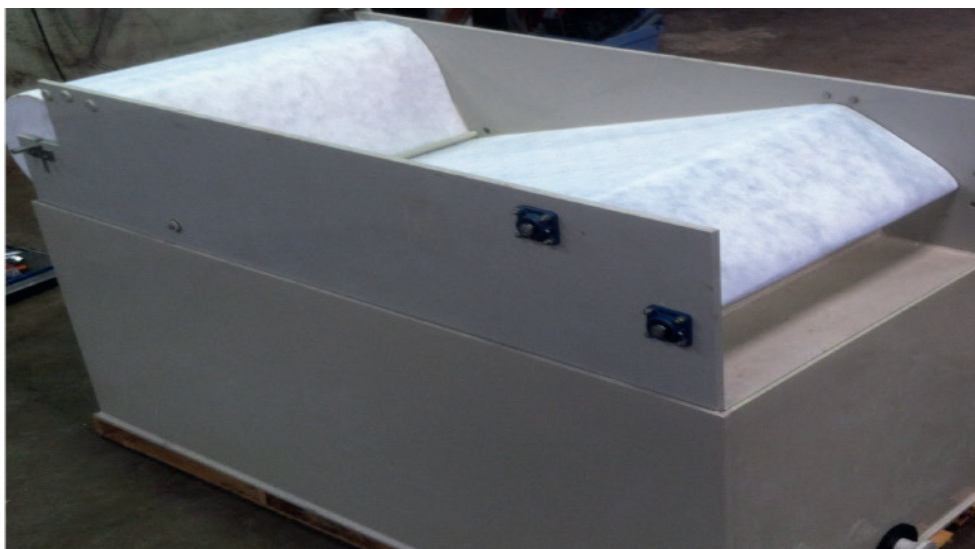
#### Ad 1. Voorfiltratie

Voorafgaand aan de winningsinstallatie voor humuszuren (membranen) is een filtratiestap noodzakelijk om zwevende stof uit het centraat te verwijderen. Tijdens de testen is gebruik gemaakt van een 10 µm papierfilter (zonder voorbehandeling). Deze oplossing is naar verwachting niet voldoende robuust voor een praktijkopstelling (dichtslibben filter). Voorfiltratie bestaande uit een dissolved air flotation (DAF) gevolgd door een papierfilter (als politiefilter) biedt naar verwachting een betrouwbare oplossing voor praktijkschaal. De DAF haalt het merendeel van de onopgeloste bestanddelen uit het centraat waarna de resterende delen afgescheiden worden in het papierfilter.

In figuur 5.1 is een full scale papierfilter weergegeven. Het papierfilter is een continue filterstelsel. Afvalwater met zwevende stof loopt vanaf de bovenzijde door het papier heen waardoor het gefilterd wordt. Het papier rolt automatisch uit wanneer het bovenstaande water-niveau te ver oploopt.

FIGUUR 5.1

PAPIERFILTER VOLCONTINUE (BRON: JACOTECH)



#### Ad 2. Concentratie

Als concentratiestap wordt uitgegaan van membraanfiltratie. Conform de testen wordt uitgegaan van cross flow nanofiltratie.

## RAMING INVESTERING

De geraamde kosten van een membraanfiltratie installatie met een capaciteit van 25 m<sup>3</sup>/h en een voorgeschakelde filtratiestap zijn opgenomen in tabel 5.3.

TABEL 5.3 INVESTERINGSKOSTEN WINNINGSINSTALLATIE HUMUSZUREN (CAPACITEIT 25 M<sup>3</sup>/H)

Aspect	Eenheid	Waarde
Capaciteit	m <sup>3</sup> /h	25
Draaiuren per jaar	uur	8.760
Capaciteit per jaar	m <sup>3</sup> /j	219.000
Kosten voorbehandeling	EUR	74.000
Kosten membraaninstallatie	EUR	390.000
Levensduur membranen	jaar	2,5
Factor bouwkosten	Factor	1,5 *
Factor investeringskosten	Factor	2,0 **
Investeringskosten	EUR	1.400.000

\*proces automatisering, verhardingen, gebouw, et cetera

\*\*BTW, rente, risico's, kosten waterschap

De installatie in tabel 5.3 komt overeen met de schaalgrootte van rwzi Amersfoort. De investeringskosten van de humuszureninstallaties van de rwzi's Dronten, Nijmegen en Tilburg zijn afgeleid op basis van de investeringskosten in tabel 5.3.

### 5.3.4 EFFECTEN OP DE RWZI

In de onderstaande beschouwing wordt een inschatting gemaakt van de "andere" effecten op de zuivering. Met nadruk wordt gesteld dat dit een eerste inschatting is die is gebaseerd op theorie. De vermeende kostenconsequenties dienen daarom met de nodige voorbehoud bekeken te worden.

#### DEELSTROOMBEHANDELING

De beoogde installatie voor humuszurenwinning verwijdert colloïdaal materiaal vrijwel volledig uit het centraat. De verwijdering van BZV, rest polymeer en andere versturende stoffen uit het centraat zou waardevol kunnen zijn voor het goed functioneren van de nageschakelde deelstroombehandeling voor N en P. In het geval van een groene weide situatie zou dit betekenen dat de bouwkosten van de deelstroom lager uitvallen (kleiner volume) wat zich door vertaalt in een lagere afschrijving en onderhoudskosten. Twee van de vier rwzi's die meegenomen zijn in de business case beschikken echter al over een deelstroombehandeling. In het geval van een bestaande deelstroombehandeling zou het voordeel voornamelijk bestaan uit een hoger rendement van de deelstroombehandeling, lagere beheerkosten en een lager energieverbruik (door een effectievere zuurstof overdracht). Deze voordelen zijn vooralsnog moeilijk te kwantificeren. Als uitgangspunt voor de studie is aangenomen dat het rendement van bestaande deelstroombehandelingen toeneemt van 70 % naar 90 %. De energiebesparing die dit oplevert in de waterlijn is meegenomen als baten. Daarnaast is aangenomen dat het beheer aan de deelstroom door de voorgeschakelde filtratie terug kan naar 0,1 FTE in plaats van 0,2 FTE.

#### ONTLASTEN WATERLIJN

In hoofdstuk 4 is vastgesteld welk deel van de ammonium en fosfor uit het centraat vastgelegd worden in het concentraat. Ammonium wordt slechts in beperkte mate tegengehouden door de membranen. Op basis van de resultaten in hoofdstuk 4 wordt voor Dronten, Nijmegen en Amersfoort uitgegaan van 8 % vastlegging in concentraat en voor Tilburg 14 %. In het

geval van fosfor wordt voor Dronten, Nijmegen en Amersfoort uitgegaan van 35 % vastlegging in concentraat en voor Tilburg 70 %. Dit betekent een reductie van de fosfor die jaarlijks chemisch vastgelegd dient te worden in de waterlijn (Nijmegen, Dronten). Indien er een struviet installatie aanwezig is gaat dit verhaal niet op en resulteert de verwijdering van humuszuren in een fors lagere belasting van de bestaande struviet installatie (Amersfoort, Tilburg). De baten uit de verminderde belasting van de struviet installatie (minder magnesium en lucht) zijn in de businesscase weg gestreept tegen de lagere struvietproductie.

De volgende uitgangspunten zijn aangehouden <sup>18</sup>:

- Exploitatiekosten per kilo stikstof verwijderd waterlijn: EUR 2,7 / kg
- Exploitatiekosten per kilo stikstof verwijderd deelstroom: EUR 1,7 / kg
- Aanvullende chemische verwijdering fosfor in waterlijn; FeCl<sub>3</sub>, Me/P verhouding 0,5 (ten opzichte van totale P vracht)

#### **POLYMEER DOSERING EN SLIBVERWERKING**

Door het reduceren van de fosfor vracht naar de waterlijn zal er op rwzi's zonder struviet reactor (Nijmegen, Dronten) minder metaalzout gedoseerd hoeven te worden en neemt ook de productie van chemisch slib af. Dit slib hoeft niet te worden ingedikt, ontwaterd en verwerkt. De volgende uitgangspunten worden gehanteerd, uitgaande van ijzerchloride als metaalzout:

- molmassa P: 31 g/mol
- molmassa FeCl<sub>3</sub>: 162 g/mol
- PE slibindikking: 3 g/kg ds
- PE slibontwatering: 10 g/kg ds

#### **REDUCEREN DOP EN HEFFING**

Humuszuren bestaan voor een bepaald percentage uit stikstof en fosfor. Door humuszuren te verwijderen wordt dus ook stikstof en fosfor vastgelegd (in paragraaf 3.4.4 is hier reeds uitgebreid op ingegaan). Afhankelijk van de geldende eisen kan de verwijdering van DOP via het vastleggen van humuszuren een bijdrage leveren aan het behalen van de lozingseis voor P. De bijdrage aan de verwijdering van DOP is in deze studie theoretisch verkend en levert een minimale bijdrage. In de businesscase zijn hiervoor geen baten meegenomen.

#### **VERWIJDERING MEDICIJNRESTEN UIT EFFLUENT**

Uit recent onderzoek is gebleken dat humus- (en fulvine)zuren een belangrijk effect hebben op de effectiviteit van medicijnrestenverwijdering uit rwzi-effluent<sup>19</sup>. Het gehalte humus- en fulvinezuren in het rwzi-effluent is significant en ook de hoeveelheid humus- en fulvinezuren in het concentraat is significant. Het is daarom mogelijk dat het vastleggen van humuszuren in de sliblijn leidt tot een lager effluentgehalte humus- en fulvinezuren en daarmee tot lagere kosten voor het verwijderen van medicijnresten. In de gevoeligheidsanalyse zijn de effecten op de verwijdering van medicijnresten verkend.

### **5.4 FINANCIËLE ASPECTEN**

Op basis van de in paragraaf 5.3 opgenomen uitgangspunten zijn in deze paragraaf de meer-/minderkosten uitgewerkt voor bestaande rwzi's. De resultaten hiervan zijn opgenomen in tabel 5.4. Let op: het gaat hierbij om inschattingen die in de praktijk getoetst dienen te worden.

<sup>18</sup> Wiegant W. et al. 2009, Duurzame deelstroombehandeling voor stikstofverwijdering op rwzi heeft de Toekomst

<sup>19</sup> KWR 2016.064, Removal of pharmaceuticals from wwtp effluent, December 2016

TABEL 5.4 UITWERKING KOSTEN EN BESPARINGEN (INDICATIEF)

Aspect	Eenheid	Rwzi Dronten	Rwzi Nijmegen	Rwzi Amersfoort	Rwzi Tilburg
<b>Kosten</b>					
CAPEX	EUR/j	€ 43.000	€ 110.000	€ 135.000	€ 146.000
OPEX	EUR/j	€ 10.000	€ 67.000	€ 101.000	€ 117.000
CAPEX+OPEX	EUR/j	€ 53.000	€ 177.000	€ 236.000	€ 263.000
<b>Calculeerbare besparingen</b>					
N belasting	EUR/j	€ 3.000	€ 19.000	€ 62.000	€ 159.000
Deelstroom	EUR/j	€ 0	€ 0	€ 36.000	€ 41.000
IJzerchloride	EUR/j	€ 1.000	€ 6.000	NVT*	NVT*
Polymeer	EUR/j	€ 0	€ 1.000	NVT*	NVT*
Slibafzet	EUR/j	€ 1.000	€ 6.000	NVT*	NVT*
<b>Totaal</b>	<b>EUR/j</b>	<b>€ 5.000</b>	<b>€ 32.000</b>	<b>€ 98.000</b>	<b>€ 200.000</b>
<b>Netto (kosten – besparingen)</b>	<b>EUR/j</b>	<b>-€ 48.000</b>	<b>-€ 145.000</b>	<b>-€ 138.000</b>	<b>-€ 63.000</b>

\*niet van toepassing vanwege aanwezigheid struviet installatie

Op basis van de kosten en de besparingen in tabel 5.4 kan de kostprijs van de geogste humuszuren bepaald worden. Het gaat dan alleen maar om het deel wat gekwantificeerd kan worden. Deze kostprijs is weergegeven in tabel 5.5.

TABEL 5.5 TE OOGSTEN HUMUSZUREN EN KWANTIFICEERBARE PRODUCTIEKOSTEN (INDICATIEF)

Aspect	Eenheid	Rwzi Dronten	Rwzi Nijmegen	Rwzi Amersfoort	Rwzi Tilburg
Humuszuren oplossing 20%	kg/j	3.000	23.000	214.000	515.000
Productiekosten per liter oplossing	EUR/kg	16	6	0,6	0,1

Uit deze tabel blijkt dat schaalgrootte een belangrijke factor is voor de kostprijs. Hierbij speelt de initiële concentratie humus- en fulvinezuren een belangrijke rol. De te concentreren stroom moet zo hoog mogelijke concentraties (g/l) hebben en het aanbod (ton/jaar) moet voldoende groot zijn.

Er moet ook rekening worden gehouden met voordelen en besparingen die nog niet gekwantificeerd kunnen worden:

- Er is geen waarde toegekend aan geproduceerde concentraat met humuszuren oplossing, nutriënten en mineralen. Nader onderzoek is noodzakelijk om vast te stellen of het humuszurenconcentraat een waarde kan vertegenwoordigen of afgezet dient te worden als afvalstof (meerkosten)
- Geen baten toegekend ten behoeve van optimalere verwijdering van medicijnresten uit effluent (reductie energie en/of actiefkool verbruik)
- Geen baten toegekend aan voorkomen van struviet afzettingen (concentraat bevat 35 %-70 % van de PO<sub>4</sub>-P waardoor er minder afzettingen van struviet zullen optreden; dit is moeilijk in kosten uit te drukken)

In de navolgende gevoeligheidsanalyse worden de effecten inzichtelijk gemaakt indien er wel een waarde wordt toegekend aan het humuszuren product. Ook de baten ten behoeve van medicijnrestenverwijdering worden verkend.

## 5.5 GEVOELIGHEIDSANALYSE

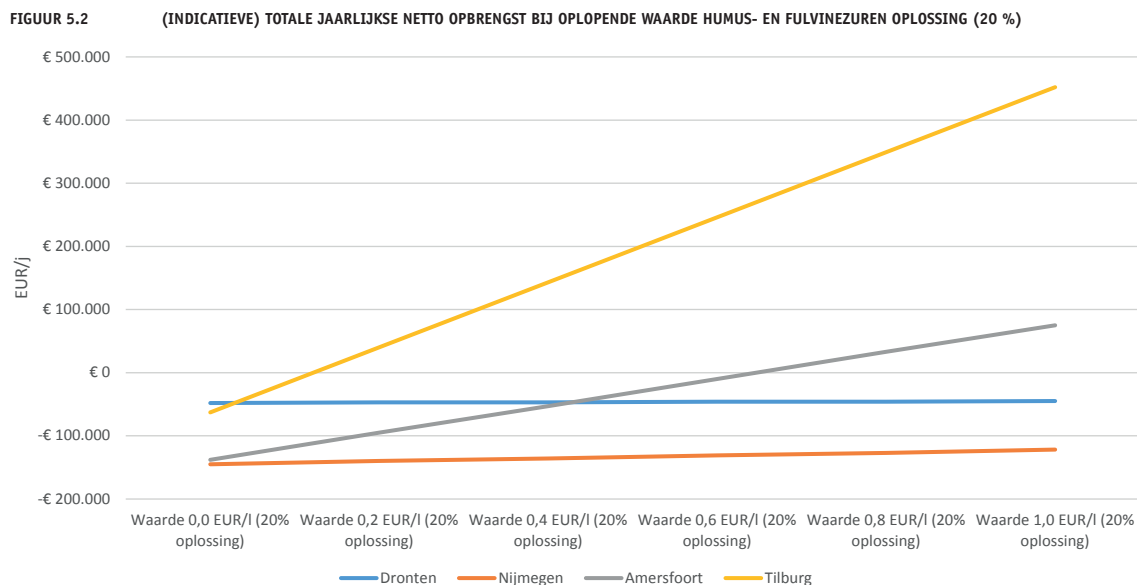
In de gevoeligheidsanalyse worden de volgende gevoeligheden uitgewerkt:

- Waarde van concentraat
- Voorbehandeling medicijnrestenverwijdering

### 5.5.1 WAARDE VAN HUMUSZUREN, NUTRIËNTEN EN MINERALEN

Als uitgangspunt voor de business case is er in eerste instantie van uitgegaan dat de gewonnen humuszuren geen waarde vertegenwoordigen. Dit is gedaan omdat er momenteel nog geen afzetmarkt is voor humuszuren uit afvalwater. De vraag naar humuszuren neemt echter jaarlijks toe (zie paragraaf 2.2). Hierdoor is het aannemelijk is dat er ook een markt zal zijn voor humuszuren uit afvalwater en dat de humuszuren voor de producent een financiële waarde hebben. De gevoeligheid 'waarde' is gevarieerd van 0 - 1 EUR/kg (20 % humuszurenconcentraat). Dit zijn zeer indicatieve uitgangspunten.

In figuur 5.2 is de totale netto jaarlijkse opbrengst weergegeven bij een oplopende waarde van de humuszuren oplossing. De jaarlijkse kosten zijn er al van af getrokken.



In figuur 5.2 is te zien dat de productiekosten van de humus- en fulvinezuren bij de rwzi's Tilburg en Amersfoort al bij een beperkte waarde gecompenseerd worden. In het geval van Tilburg al bij een waarde van EUR 0,1 / l en in het geval van Amersfoort bij een waarde van EUR 0,6 / l. Verder is te zien dat de netto jaarlijkse baten van Dronten en Nijmegen een nagenoeg vlak verloop vertonen. Dit wordt veroorzaakt door de beperkte hoeveelheden humuszuren die hier gewonnen kunnen worden.

De productiecapaciteit van Tilburg van 500 ton/jaar kan leiden tot significante opbrengsten (>100 kEUR) als uitgegaan mag worden van een waarde groter dan EUR 0,20 per kg voor een 20 % oplossing. Een belangrijke kanttekening bij de bovengenoemde getallen is dat de kosten voor een eventuele opwerking van het concentraat niet meegenomen zijn.

### 5.5.2 VERWIJDERING VAN HORMOON- EN GENEESMIDDELRESTEN UIT EFFLUENT

In de nabije toekomst zal de verwijdering van medicijnresten mogelijk een belangrijke rol gaan spelen op Nederlandse rwzi's. De aanwezigheid van humus- en fulvinezuren in het effluent heeft negatieve gevolgen voor het rendement van na geschakelde technieken zoals

ozon en actief kool. In deze gevoeligheidsanalyse zijn daarom de baten verkend indien de winning van humus- en fulvinezuren in de sliblijn daadwerkelijk een reductie oplevert van de humus- en fulvinezuren in het effluent. In theorie zouden hierdoor de kosten voor de verwijdering van medicijnresten uit het effluent af kunnen nemen. Omdat de verwijdering van medicijnresten en hormonen grote investeringen en een hoog verbruik van energie en/of actief kool vergt kan een verbetering van de efficiency mogelijk een groot effect hebben op de businesscase van humuszuren.

Uit een recent onderzoek wat uitgevoerd is op de rwzi Panheel <sup>20</sup> komt naar voren dat het toegepaste AOP proces (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) voor de verwijdering van hormoon- en geneesmiddelresten slechts een fractie van de energie verbruikte (16%) als dit voorafgegaan werd door de verwijdering van humuszuren. Uitgaande van de in het onderzoek aangehaalde kosten voor nabehandeling (0,16 – 0,22 EUR/m<sup>3</sup> effluent) betekent dit dat humuszurenverwijdering voorafgaand aan een medicijnrestenverwijdering tot een belangrijke kostenreductie kan leiden (indien de humuszuren die vrijkomen in de sliblijn daadwerkelijk in het effluent terecht komen). Voor deze gevoeligheidsanalyse wordt als uitgangspunt voor de medicijnrestenverwijdering uitgegaan van  $((0,22+0,16) / 2 =) 0,19$  EUR/m<sup>3</sup> effluent.

In het onderzoek op de rwzi Panheel zijn ook de humuszuren in het effluent van verschillende Nederlandse rwzi's gekwantificeerd. Aan de hand van de LC-OCD methode. De concentraties humus-/fulvinezuren in de diverse effluënten bleken tussen de 6,0 en 15 mg/l te liggen (gemiddeld 9 mg/l). Voor de rwzi Amersfoort met een aanvoer van 66.000 m<sup>3</sup>/d betekent dit een dagelijkse vracht van 500 kg/d aan humuszuren in het effluent. Op een totale humuszuren vracht van 100 kg/d die dagelijks in het concentraat vastgelegd kan worden betekent dit een potentiële reductie van 20 %. Afhankelijk van de toegepaste techniek (ozon, actief kool) kan deze reductie van de humuszuren tot een forse kostenreductie leiden (besparing op energie/actief kool). Als uitgangspunt voor deze gevoeligheidsanalyse is aangehouden dat de totale kosten van de medicijnrestenverwijdering hierdoor met 10 % verminderen.

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn opgenomen in tabel 5.6.

TABEL 5.6 GEVOELIGHEIDSANALYSE BATEN MEDICIJNRESTENVERWIJDERING (ZEER INDICATIEF)

Aspect	Eenheid	Rwzi Dronten	Rwzi Nijmegen	Rwzi Amersfoort	Rwzi Tilburg
CAPEX+OPEX	EUR/j	-€ 53.000	-€ 177.000	-€ 236.000	-€ 263.000
Baten uit verbetering medicijnrestenverwijdering	EUR/j	€ 57.000	€ 510.000	€ 389.000	€ 457.000
Overige baten	EUR/j	€ 5.000	€ 32.000	€ 98.000	€ 200.000
<b>Jaarlijkse baten</b>	<b>EUR/j</b>	<b>€ 9.000</b>	<b>€ 365.000</b>	<b>€ 251.000</b>	<b>€ 394.000</b>

In tabel 5.6 is te zien dat de jaarlijkse baten voor alle rwzi's positief uitvallen. De eventuele verbetering van de medicijnrestenverwijdering kan dus in forse baten resulteren. De verklaring hiervoor is de grote hoeveelheid aan humuszuren die vrijgemaakt worden in de sliblijn in combinatie met het grote debiet wat tegen aanzienlijke kosten behandeld dient te worden voor de verwijdering van medicijnresten.

## 5.6 CANVAS

Om de business case van winning van humus- en fulvinezuren op de rwzi breder te benaderen wordt gebruik gemaakt van het Business Model Canvas. Deze methode is ontworpen door Alex

<sup>20</sup> KWR 2016.064, Removal of pharmaceuticals from wwtp effluent, December 2016



Osterwalder. Het model werkt overzichtelijk en bestaat uit negen bouwstenen. De onderkant bestaat uit de kosten en opbrengsten. Centraal staat de waardepropositie, de onderscheidende waarde die je de klant biedt. Links hiervan is ruimte gereserveerd voor hoe je deze waarde tot stand brengt: welke partners, welke (hulp)bronnen je gebruikt en welke activiteiten je onderneemt. Aan de rechterkant staat aan wie je het product verkoopt, hoe de levering eruit ziet en het onderhouden van de relaties. In bijlage 3 wordt nader ingegaan op het model.

Voor het product humus- en fulvinezuren is het model ingevuld vanuit het perspectief van de producent: het Waterschap. De uitkomst is op de volgende bladzijde weergegeven.

CANVAS HUMUSZUREN VAN DE RWZI

<p><b>Key Partners</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aqua Minerals (distributie)</li> <li>- Drinkwaterbedrijven</li> <li>- Landelijke overheid (Circulaire economie, grondstoffenfabriek)</li> </ul>	<p><b>Kernactiviteiten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Focus op winning van humuszuren concentraat (wel opslag, geen distributie, etc.)</li> <li>- Informatievoorziening over duurzaamheidsaspecten</li> </ul>	<p><b>Waardepropositie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbetering opname fosfaat door planten --&gt; grotere opbrengst / lagere fosfaatgift mogelijk (minder kunstmest)</li> <li>- Duurzaam en lokaal geproduceerd alternatief voor geïmporteerde humuszuurproducten</li> <li>- Lagere prijs dan bestaande producten?</li> <li>- Concrete bijdrage aan meer circulaire economie</li> <li>- Bijdrage aan duurzaamheidsdoelstellingen waterschap</li> </ul>	<p><b>Klantrelaties</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Directe relatie met distributeur</li> <li>- Indirecte relatie met afnemers (product mag niet vervuild zijn en moet veilig zijn)</li> </ul>	<p><b>Klantsegmenten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Groenbedrijven gemeentes, waterschappen, Rijkswaterstaat (incentive: vermindering gebruik kunstmest)</li> <li>- Biologische landbouw en veeteelt?</li> <li>- Reguliere landbouw en veeteelt?</li> </ul>
<p><b>Kostenstructuren</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Onderzoeks- en ontwikkelingskosten</li> <li>- Capex en Opex</li> <li>- Distributie en marketing</li> </ul>		<p><b>Inkomstenstromen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Besparingen op de rwzi</li> <li>- Opbrengst product</li> <li>- Subsidies</li> </ul>		<p><b>Kanalen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Afzet via distributeur</li> <li>- Openbare publicaties over kwaliteit en werkzaamheid</li> <li>- Website (grondstoffenfabriek)</li> </ul>

## 5.7 KANTTEKENINGEN

In dit hoofdstuk is een business case opgesteld voor de winning van humuszuren op de rwzi. Het is de eerste keer dat dit is gedaan en er zijn dan ook nog veel onbekenden.

Als gekeken wordt naar de koolstof-samenstelling van het concentraat dan is het gehalte humus- en fulvinezuren nog niet zo hoog als bij commercieel verkrijgbare producten. Verder zijn nog veel korte ketens aanwezig die de houdbaarheid van het product negatief beïnvloeden. Het simpelweg concentreren van concentraat is technisch eenvoudig, maar heeft beperkingen. Een overweging is om een biologische stabilisatiestap toe te voegen aan het winningsconcept om zo de korte ketens af te breken en (hopelijk) de indikbaarheid van het concentraat te verbeteren. Dit leidt enerzijds tot hogere kosten voor winning van concentraat, maar anderzijds moet het leiden tot een biologisch gestabiliseerd (lees: lang houdbaar) en geconcentreerder product.

Als gekeken wordt naar de verontreinigingen in het concentraat dan is de aanwezigheid van zware metalen, PAK en medicijnresten en hormonen een aandachtspunt voor de afzet van het restproduct. Dit verdient nadere aandacht. Door een biologische stabilisatiestap, met bijvoorbeeld een membraanbioreactor, zal het gehalte medicijnresten, zware metalen en PAK worden verlaagd door biologische afbraak en/of binding aan slib.

### LOKALE WINNING, CENTRALE OPWERKING

Hoe zou de keten van winning van humus- en fulvinezuren concentraten en de daaropvolgende opwerking tot een bruikbaar product er in de praktijk uit kunnen zien? Een voorbeeld van de invulling van deze keten is de decentrale winning van humus- en fulvinezuren concentraten op rwzi niveau (winningen van een 'tussenconcentraat') gevolgd door een centrale opwerkinstallatie' waarin dit 'tussenconcentraat' opgewerkt wordt tot een schoon en commercieel afzetbaar concentraat. Daarbij kan eventueel aansluiting gezocht worden met andere initiatieven zoals humuszurenwinning uit mest of compostering.

# 6

## DISCUSSIE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 6.1 DISCUSSIE

Deze verkenning heeft een aantal zaken duidelijk gemaakt. Humus- en fulvinezuren zijn in verhoogde concentraties aanwezig in het centraat/filtraat van de slibontwatering van rwzi's. Het centraat van rwzi's met een slibgisting is kansrijk omdat dit hogere concentraties aan humuszuren bevat (door afbraak van organische stof). Op rwzi's met TDH en slibgisting zijn de hoogste concentraties humus- en fulvinezuren gemeten. Dit is te verklaren door de hoge ingaande droge stof gehalten van de slibgisting en de verregaande afbraak van slib na TDH.

Als uitgangspunt voor het winnen van humuszuren uit centraat gold dat dit een economische en robuuste oplossing diende te zijn. Dit om de kosten van humuszurenwinning zo laag mogelijk te houden en de complexiteit van de winningsinstallatie te beperken. Om deze reden is getest met een combinatie van filtratie en membraanfiltratie. Deze techniek bleek goed geschikt om humus- en fulvinezuren te concentreren. De betrouwbaarheid van de installatie was hoog en de membranen waren tijdens en na afloop van de testen goed te reinigen door zure en basische reiniging (geen sprake van onomkeerbare vervuiling membranen).

Het totale energieverbruik van de in dit onderzoek toegepaste installatie voor de winning van humuszuren bedraagt 1,3 kWh/m<sup>3</sup> centraat (onafhankelijk van de concentratie humuszuren). Het verbruik van een installatie met de schaalgrootte van Amersfoort resulteert in een energieverbruik van (30m<sup>3</sup>/h x 8.760 h/j x 1,3 kWh/m<sup>3</sup> =) 340.000 kWh/j. Doordat in het concentraat stikstof en fosfor vastgelegd worden en het rendement van de deelstroombehandeling naar verwachting toeneemt resulteert de winning van humuszuren ook in baten op het gebied van energie. Het feitelijke verbruik en de energetische baten dienen in een vervolgstudie vastgesteld te worden.

Het concentraat van de membraaninstallatie is een zwarte enigszins visceuze vloeistof die 71 % - 92 % van de initieel in het centraat aanwezige oxideerbare koolstofverbindingen (CZV) bevat. Het concentraat bevat daarnaast 35 %-70 % van de PO<sub>4</sub>-P en 8 % - 34 % van de NH<sub>4</sub>-N. De humus- en fulvinezurenconcentratie van het concentraat bedraagt circa 4 - 6 gram/l. De humus- en fulvinezuren vormen gezamenlijk 10% van de in het concentraat aanwezige droge stof. Vergeleken met commercieel verkrijgbare humus- en fulvinezuurproducten is het op de rwzi geproduceerde concentraat nog te dun.

De eventuele verdere bewerking van het concentraat en afzet van het op de rwzi geproduceerde concentraat dient nader te worden onderzocht. Eventuele afzet in de landbouw lijkt niet zondermeer mogelijk. Ten eerste zou de kwaliteit van het geproduceerde concentraat beter moeten. Bijvoorbeeld:

- De concentratie humus- en fulvinezuren moet hoger (bijvoorbeeld naar 20 % op droge stof basis)
- De houdbaarheid (biologische stabiliteit) moet verhoogd worden (omzetten korte koolstofketens)
- Het zware metalengehalte moet lager
- Het gehalte hormoonverstorende stoffen en medicijnresten moet geminimaliseerd worden

Verder moet de regelgeving het gebruik toestaan. De regelgeving voor biostimulanten is onder revisie en meststoffenverordening. De verruiming en wijzigingen in de EU-Verordening kunnen en zullen een groot effect op de Nederlandse meststoffenwet en de regels voor biostimulanten hebben. De mogelijkheden tot toepassing als biostimulant dienen nader te worden onderzocht, maar dit kan door de lopende revisie enige tijd kosten.

Humuszurenwinning heeft verschillende potentiële baten voor de water- en sliblijn van de rwzi. De vastgelegde stikstof hoeft niet meer te worden verwijderd (besparing op beluchting) evenals de vastgelegde  $PO_4\text{-P}$  (reductie metaalzouten, polymeer en chemische slibproductie). Een ander voordeel is een verwacht positief effect op de deelstroombehandeling. Door het vastleggen van zwevende stof, BZV, rest polymeer en andere verstorende stoffen zou de deelstroombehandeling beter moeten gaan functioneren. Dit potentiële effect moet echter nog worden geverifieerd. Met het oog op de toekomst zou humuszurenwinning ook voordelen kunnen hebben voor de verwijdering medicijnresten en hormonen uit effluent. Naar verwachting neemt het energie- en/of actiefkoolverbruik af wanneer humuszuren uit het effluent verwijderd zijn. Ook dit potentiële effect moet nog worden geverifieerd.

Op basis van de resultaten zijn indicatief de kosten, besparingen en baten uitgewerkt voor humuszurenwinning op rwzi's van verschillende schaalgrootte. Niet alle baten zijn nog exact vast te stellen. De verkennende business case laat zien dat schaalgrootte van groot belang is voor de kostprijs van het humus- en fulvinezurenconcentraat. Op en kleine rwzi zonder centrale slibverwerking zullen de kosten hoog zijn. Bij winning van humuszuren op grote rwzi's met een centrale slibvergisting (>10.000 ton ds/j) is de kostprijs veel lager. De met indicatieve ramingen bepaalde range varieert van EUR 0,1 tot 16 / liter product (20 % oplossing).

Indien humuszurenwinning uit het centraat een verlagend effect heeft op het gehalte humuszuren in het effluent van de rwzi, dan kan dit besparingen opleveren bij de verwijdering van medicijnresten en hormoonverstorende stoffen. Dit betekent dat de business case dan positiever uitvalt. Ook andere potentiële besparingen dienen in dit kader op kosten te worden gezet (reduceren struviet afzet, winning nutriënten en mineralen).

## 6.2 RESUMEREND

Humuszuren en fulvinezuren zijn ruimschoots aanwezig op de rwzi en zijn daarmee een interessante grondstof. Deze verkenning heeft laten zien dat concentraat van humus- en fulvinezuren uit centraat gewonnen kan worden met een niet bijzonder ingewikkelde winningsinstallatie met overzichtelijke capex en opex.

Er is een bestaande markt voor humus- en fulvinezuren. Vaak zijn dit producten die in het buitenland worden geproduceerd, maar er is een ontwikkeling gaande om humuszuren lokaal te winnen uit mest. Het humus- en fulvinezurenproduct wat op de rwzi gewonnen wordt, moet op deze producten aansluiten. Het concentraat wat bij deze verkenning is gewonnen

doet dat nog niet. Het moet geconcentreerder en schoner. Hier zijn technologische mogelijkheden voor (bijvoorbeeld: voorbehandeling van het concentraat met een membraanbioreactor).

De winning van humuszuren past bij grootschalige centrale slibverwerking met thermische ontsluiting van slib en deelstroombehandeling van concentraat omdat het naar verwachting positieve effecten heeft op de water- en sliblijn.

Deze verkennende studie moest duidelijk maken of de winning van humuszuren en fulvinezuren op de rwzi kansrijk is. Kansrijk wordt hierbij gedefinieerd als in principe (1) technisch mogelijk (2) inpasbaar op de rwzi (3) leidend tot een bruikbaar eindproduct.

1. Technisch mogelijk: Uit de verkenning blijkt dat het winnen van humuszuren op proeflaboratoriumschaal technisch mogelijk is. De benodigde installatie is niet bijzonder complex. De volgende stap zou het opschalen naar een prototype kunnen zijn.
2. Inpasbaar op de rwzi: De winning van humuszuren zou ingepast kunnen worden als een van de eerste stappen bij het behandelen van concentraat op een installatie met centrale slibverwerking (en TDH). De winning past goed bij slibvergisting en zou een positief effect kunnen hebben op de deelstroombehandeling omdat zwevende stof en humuszuren vergaand worden verwijderd, wat een positief effect heeft op het rendement van de Anammox / Demon. Er zou ook sprake kunnen zijn van een positief effect op de kosten voor het verwijderen van medicijnresten en hormoonversturende stoffen. Deze veronderstelde positieve effecten moeten nog wel worden geverifieerd.
3. Leidend tot een bruikbaar eindproduct: Humuszuren en fulvinezuren die op de rwzi worden gewonnen zouden geschikt kunnen zijn om te gebruiken als biostimulant. Het product moet dan wel geconcentreerder en schoner. Belangrijke aandachtspunten zijn: de aanwezigheid van verontreinigingen zoals hormoon- en geneesmiddelenresten, biologische activiteit van het concentraat en de concentratiefactor. Er zijn mogelijkheden om de verontreinigingen te verwijderen, maar hier moet nader onderzoek naar worden gedaan. De wetgeving voor biostimulanten wordt op dit moment gereviseerd. Op dit punt zijn er eveneens onzekerheden.

### 6.3 CONCLUSIE

Deze verkenning laat zien dat het technisch mogelijk is om humuszuren op te winnen op de sliblijn (contraat). Het humus- en fulvinezuur concentraat wat gewonnen is, is nog niet van voldoende kwaliteit als het wordt vergeleken met producten die nu op de markt zijn. Het zou geconcentreerder en schoner moeten zijn. Er zijn mogelijkheden om de kwaliteit te verbeteren. Deze mogelijkheden kunnen onderzocht worden.

De winning van humus- en fulvinezuren kan worden ingepast op de sliblijn. Contraat van een centrale slibverwerking zou een goede basis voor winning kunnen zijn. Het zou dan positieve effecten kunnen hebben op de verdere deelstroombehandeling en de verwijdering van hormoon en medicijnresten. Dit positieve effect staat niet vast en moet nog worden geverifieerd.

### 6.4 AANBEVELINGEN

Aanbevolen wordt om de winning van humuszuren en fulvinezuren verder uit te werken. Concreet wordt aanbevolen om eerst de technische en financiële aspecten verder uit te werken evenals de toepasbaarheid van het gewonnen concentraat. Aanbevolen wordt om pas

als revisie van de meststoffenwetgeving vorm heeft gekregen, de implicaties en kansen voor humus- en fulvinezuren uit afvalwater nader vast te stellen.

### TECHNISCH

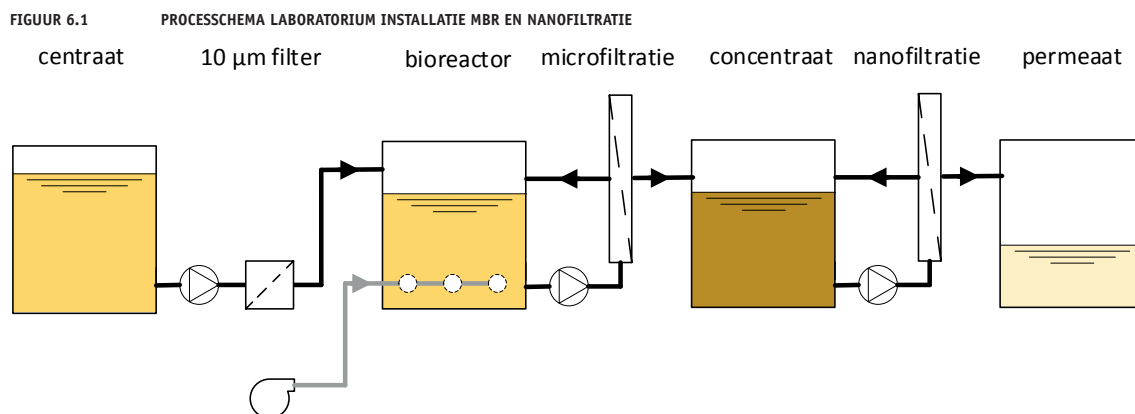
Aanbevolen wordt om de mogelijkheden voor biologische stabilisatie, verder concentreren en verwijdering van medicijnresten en hormonen te bepalen. Dit kan worden uitgevoerd met nader onderzoek op laboratoriumschaal.

Een volgende fase kan een stap naar een praktijk-pilot zijn. De toe te passen winningstechnologie en de openstaande onderzoeksvragen lenen zich hiertoe: de toegepaste membraan-technologie is –voor andere toepassingen- uitontwikkeld en ook een eventueel noodzakelijke voorbehandeling met een MBR hoeft niet vanaf nul ontwikkeld te worden, maar is een toepassing van bestaande technologie.

Onderzoek in de praktijk kan gedaan worden met een prototype winningsinstallatie. Deze zou op enkele installaties ingezet kunnen worden. Doel:

- Nader vaststellen van eventuele technische aandachtspunten, membraankeuze
- Ervaring opdoen met beheer en onderhoud van een dergelijke installatie
- Vaststellen van een praktisch haalbare indikkingsfactor
- Meer informatie verzamelen over de mogelijkheden om de kwaliteit van het humus- en fulvinezurenproduct te beïnvloeden
- Meer informatie verzamelen over het lot van verontreinigingen: verwijdering / ophoping van PAK, zware metalen en hormoon en geneesmiddelenresten (metingen in concentraat en permeaat)
- Meer informatie verzamelen over het effect op DOC-effluent
- Meer informatie verzamelen over het eventuele effect van humuszurenwinning op deelstroombehandeling (minder beluchting, reductie toxiciteit voor Anammox/Demon)
- Produceren van concentraat waarmee potproeven gedaan kunnen worden.

Een processchema van deze installatie is weergegeven in figuur 6.1.



### FINANCIËEL

Op basis van praktisch onderzoek is verdere financiële invulling mogelijk. De capex en opex moeten op basis van het praktisch onderzoek nauwkeuriger worden geraamd, evenals het energieverbruik. Hierbij moeten de besparingen op de RWZI nauwkeuriger worden vastgesteld. Om de eventuele waarde van het product te kunnen bepalen is de werkzaamheid van

belang. Aanbevolen wordt om vast te stellen welke waarden humus- en fulvineproducten als opbrengstverbeteraar kunnen hebben (TKI project Alterra). Verder wordt aanbevolen om van potentiële toepassingsmogelijkheden, afzetmarkt en eventuele waarde van het geproduceerde concentraat en/of humuszuren product (bijvoorbeeld met AquaMinerals en Universiteiten) te onderzoeken.

Als vervolgstap na het onderzoek met een prototype winningsinstallatie is een nadere verkenning van de logistieke invulling van de winning van humuszuren. Het is de vraag of lokale winning en centrale opwerking een logisch model is.

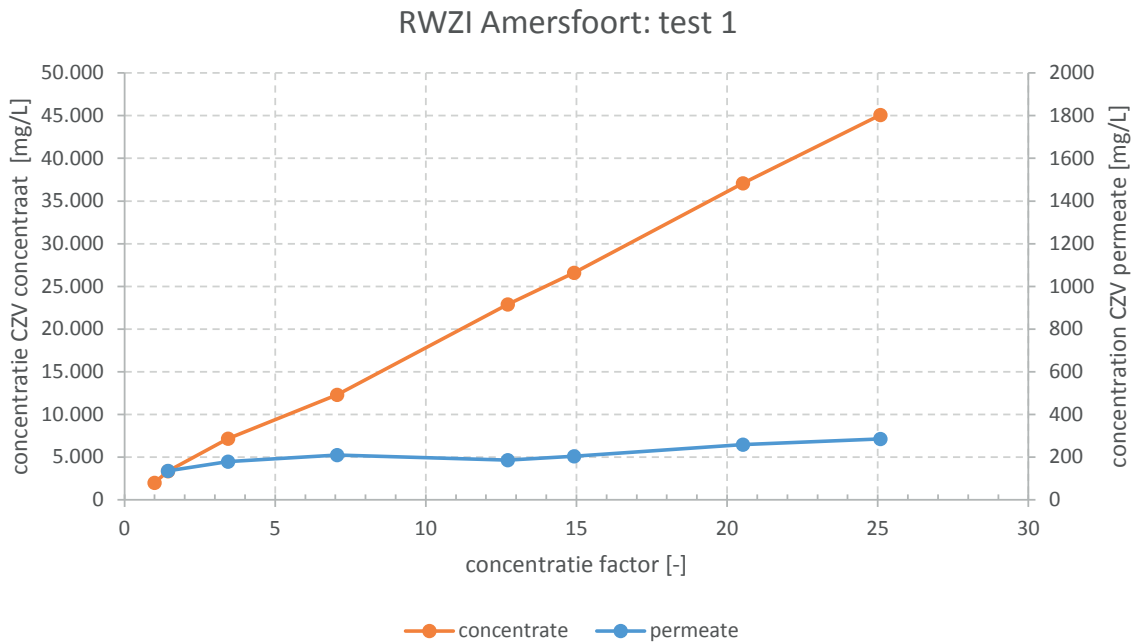
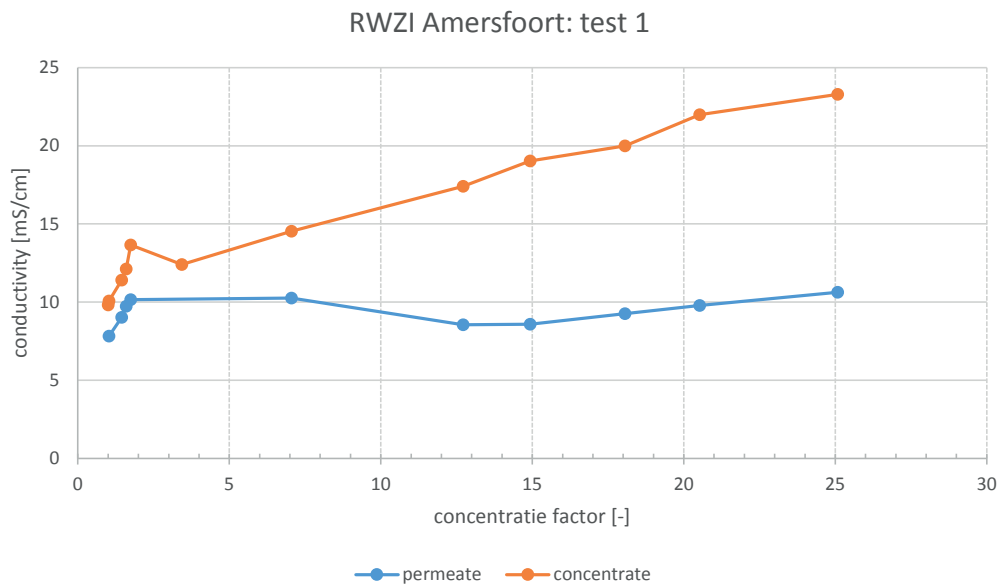
#### **JURIDISCH**

Aanbevolen wordt om de revisie van de meststoffenwetgeving voor biostimulanten te volgen. Aanbevolen wordt om het traject voor het bereiken van de 'einde afvalstatus' voor humuszuren te verkennen. Hierbij kan een Green Deal of proeftuin (toepassing door Waterschap/gemeente/RWS) wellicht een rol spelen.

BIJLAGE 1

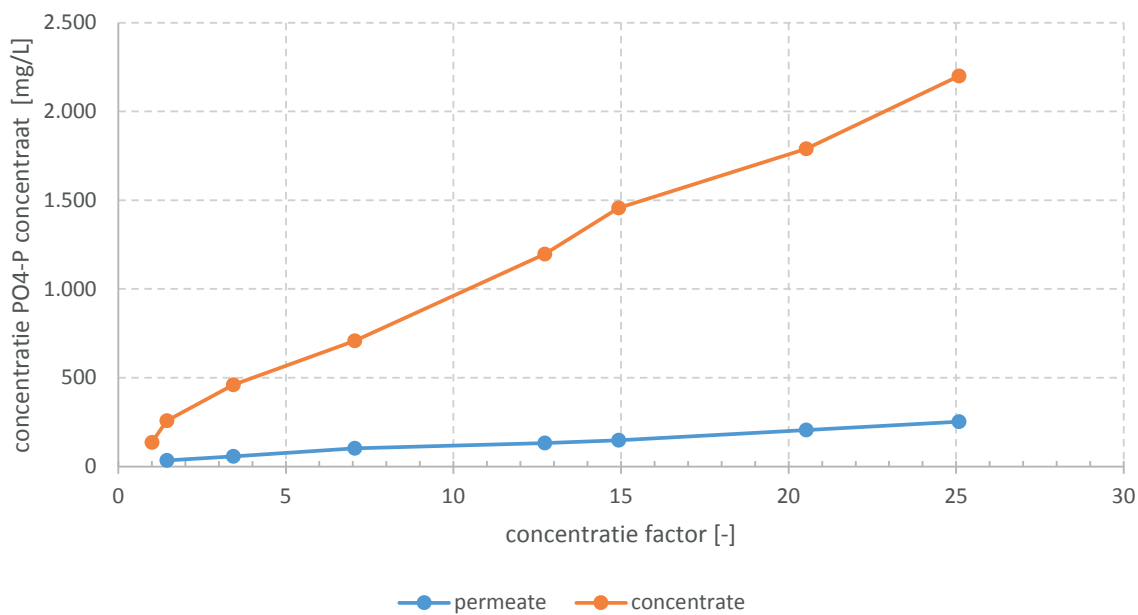
# RESULTATEN PILOT TESTEN

RWZI AMERSFOORT TEST 1

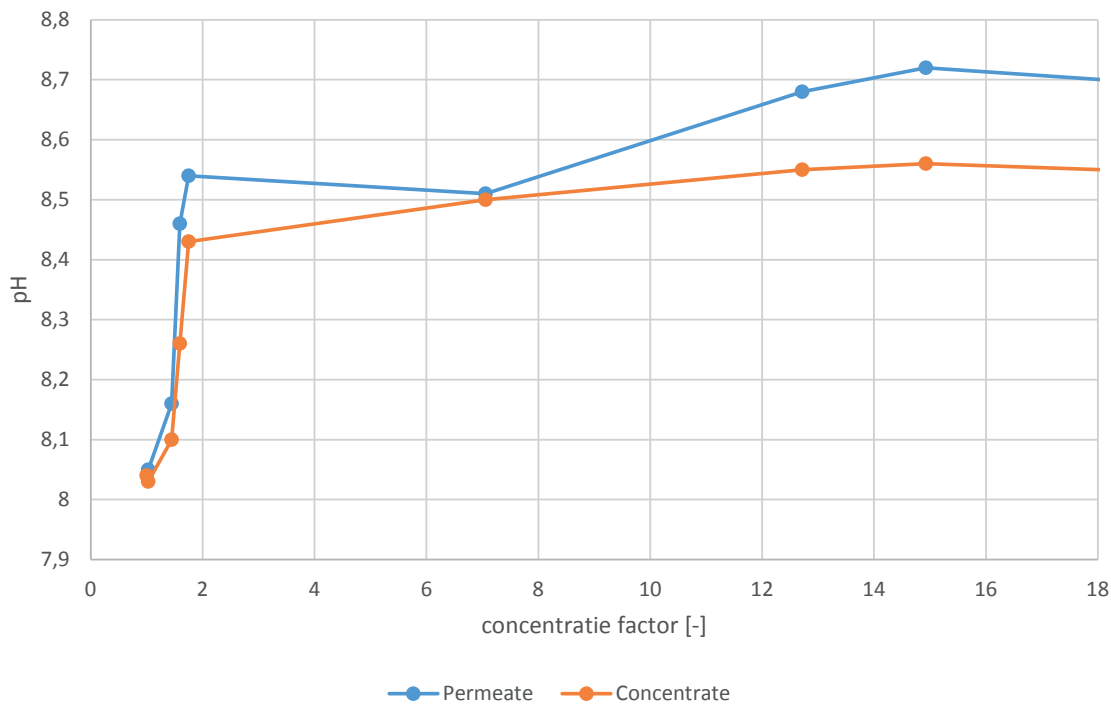




RWZI Amersfoort: test 1

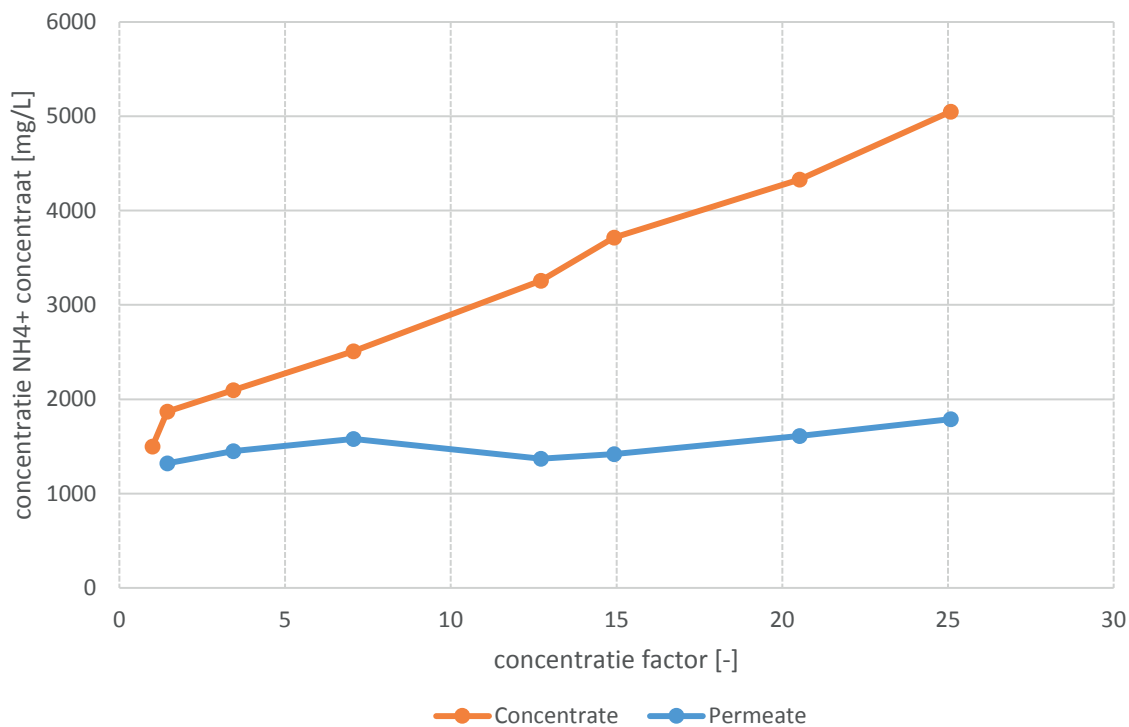


RWZI Amersfoort: test 1

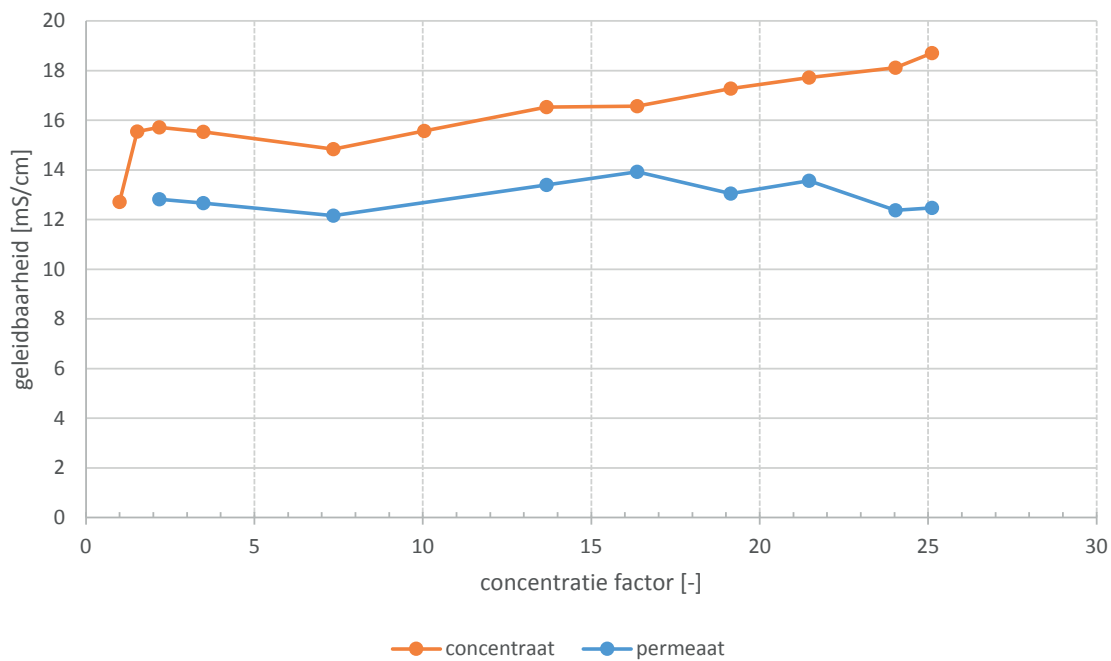


RWZI AMERSFOORT TEST 2

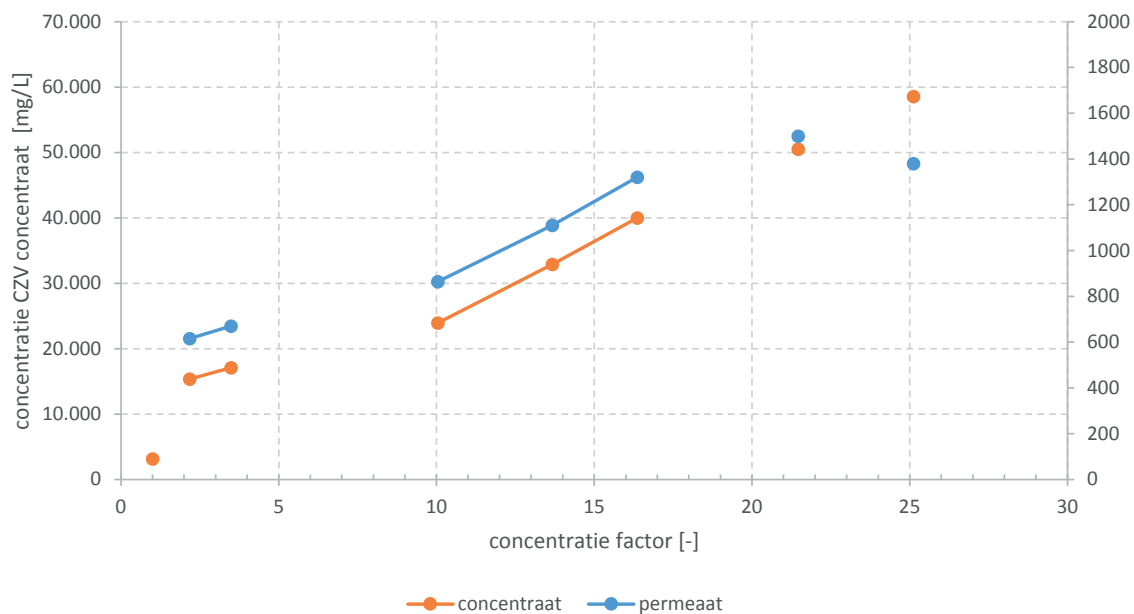
RWZI Amersfoort: test 1



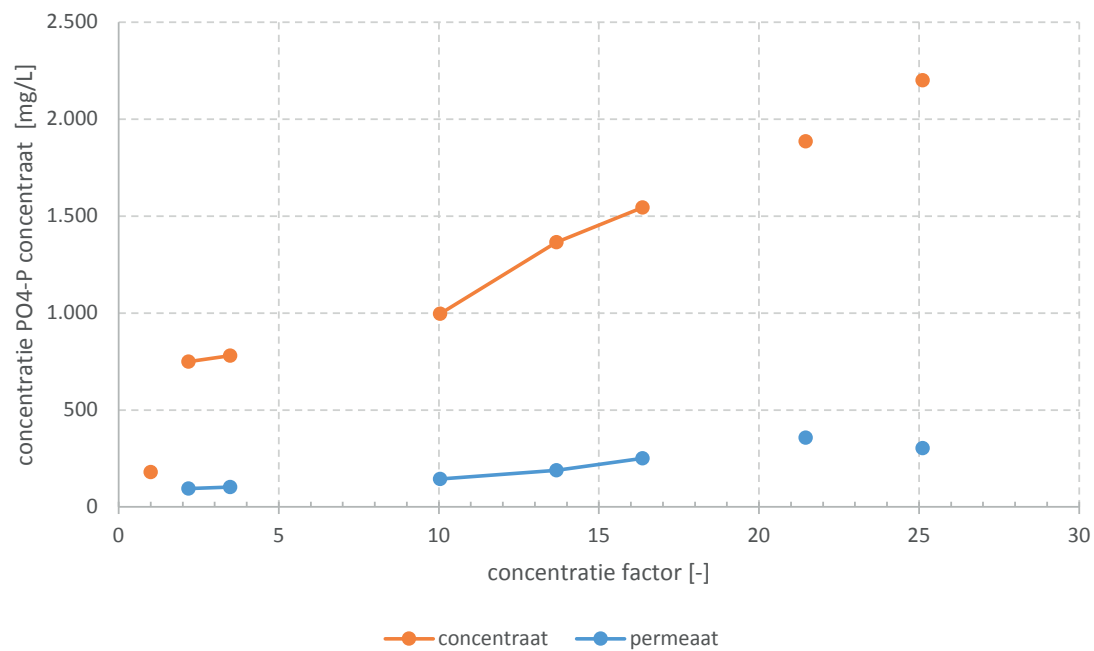
RWZI Amersfoort: test 2



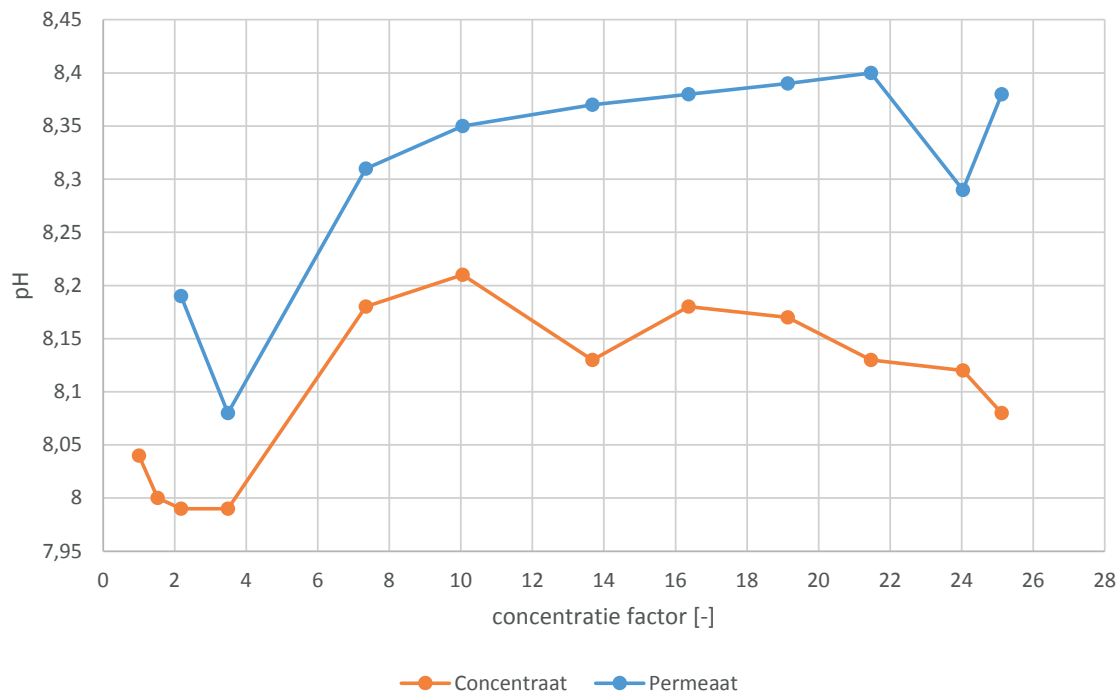
RWZI Amersfoort: test 2



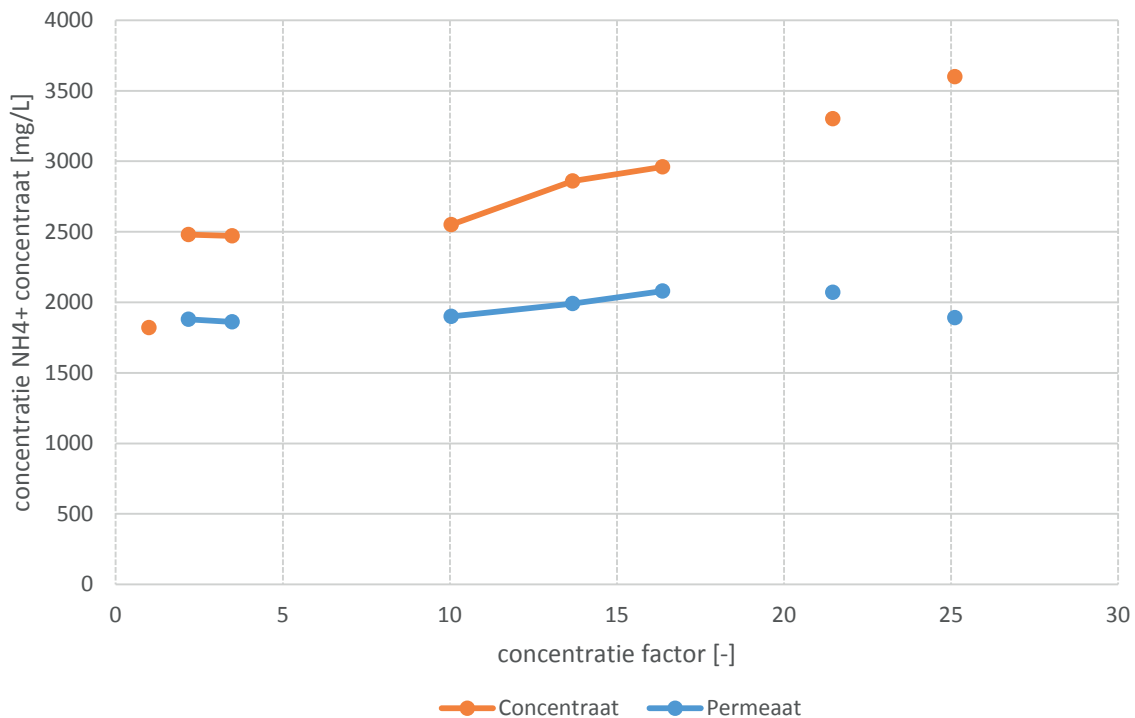
RWZI Amersfoort: test 2



RWZI Amersfoort: test 2

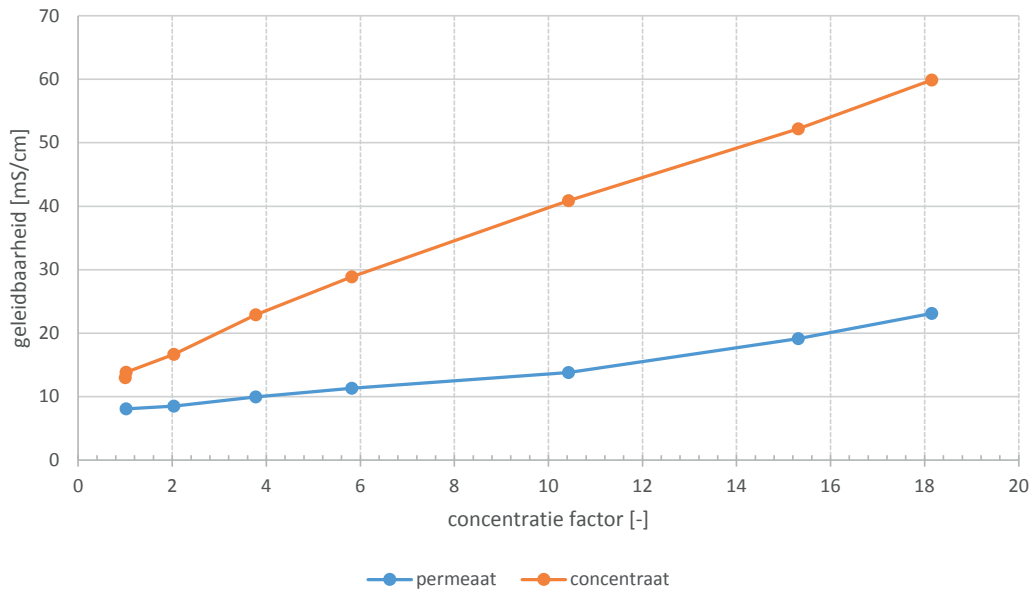


RWZI Amersfoort: test 2

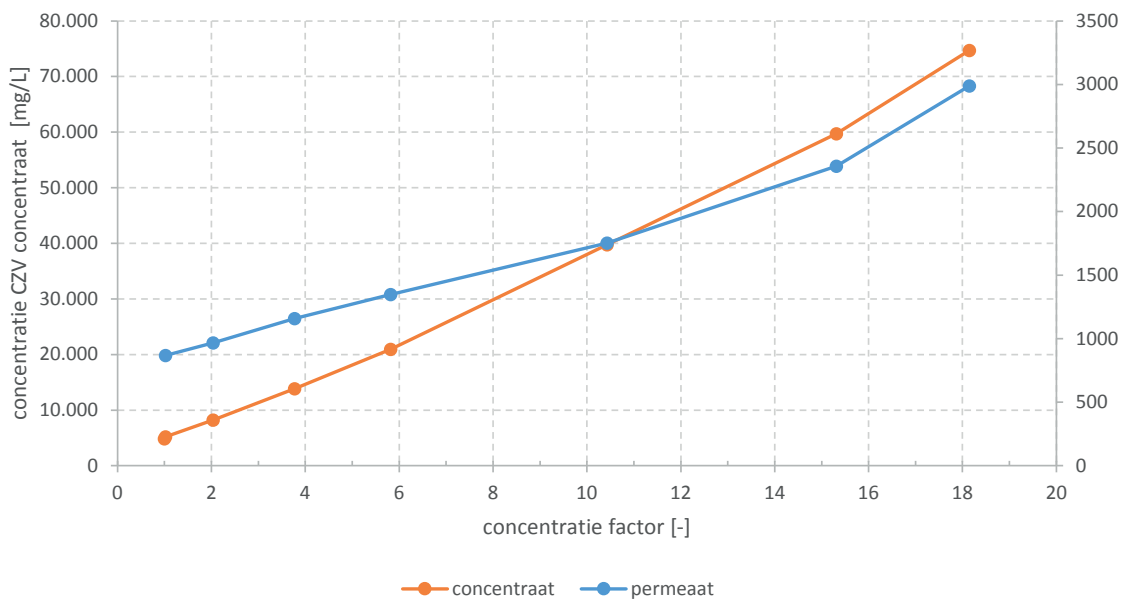


**RWZI VENLO**

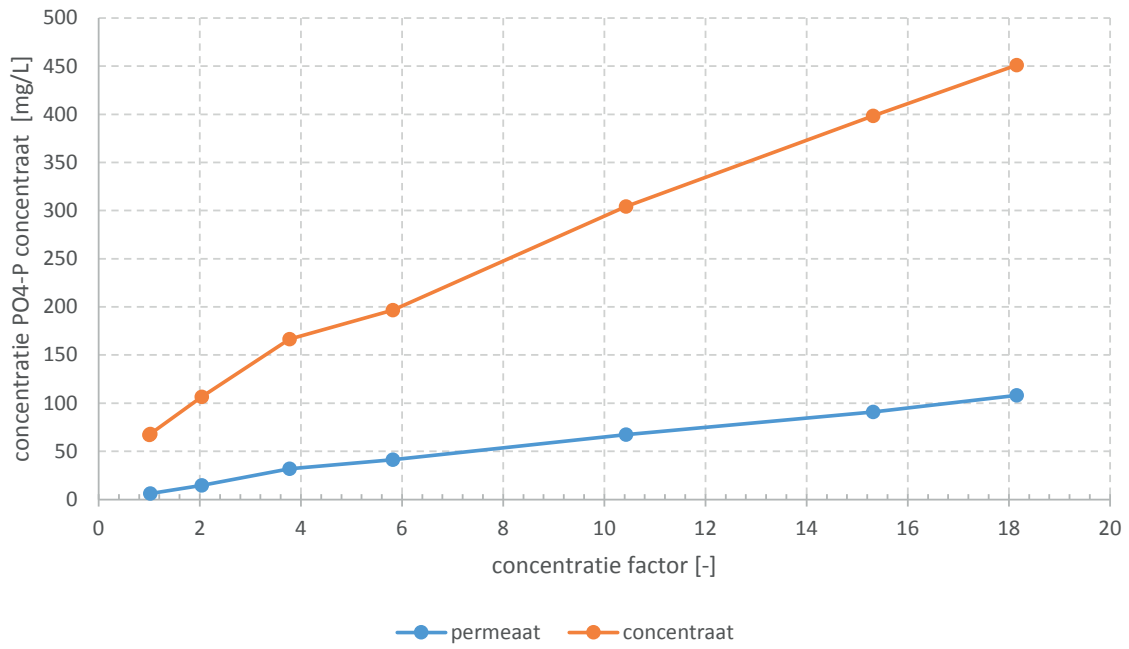
RWZI Venlo



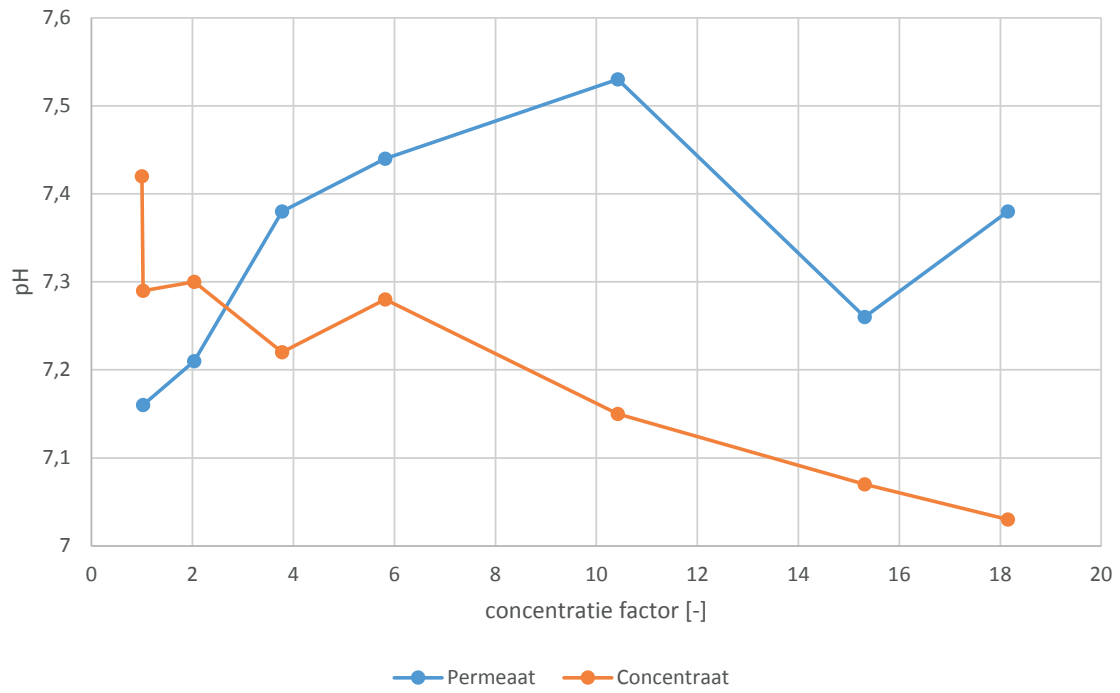
RWZI Venlo

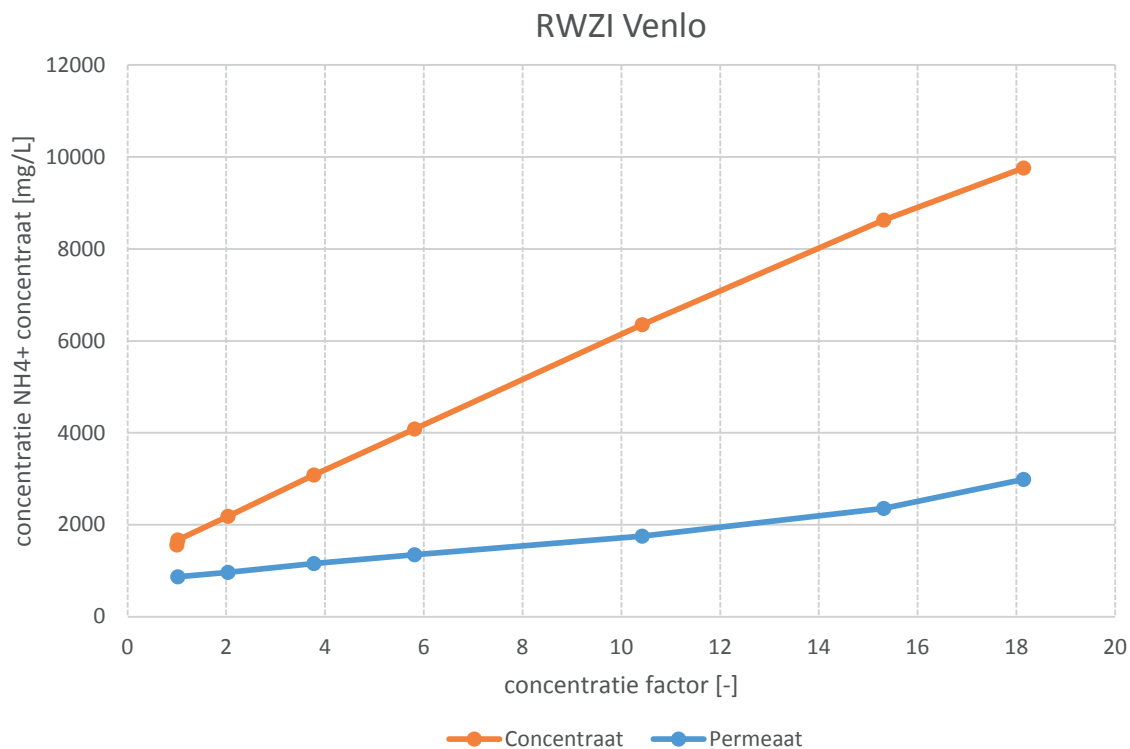


### RWZI Venlo

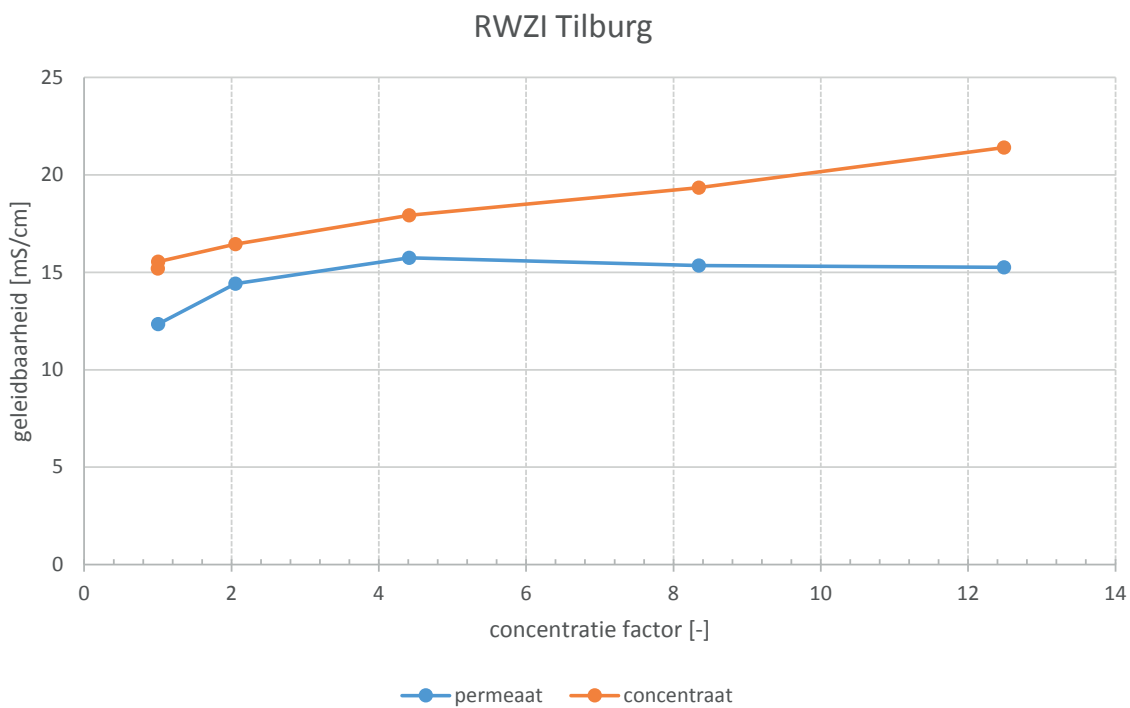


### RWZI Venlo

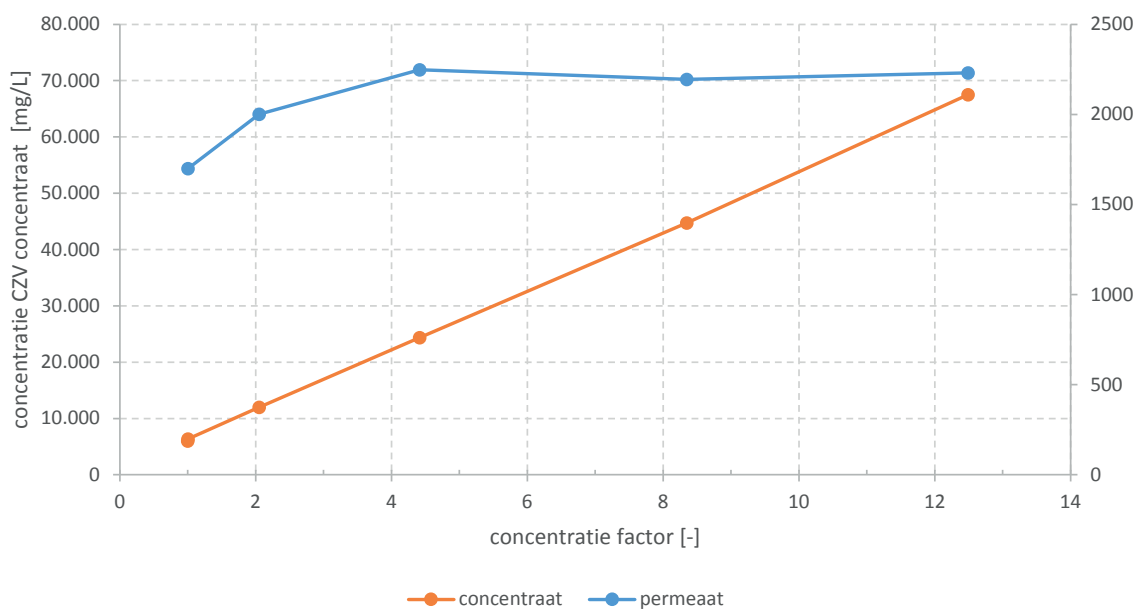




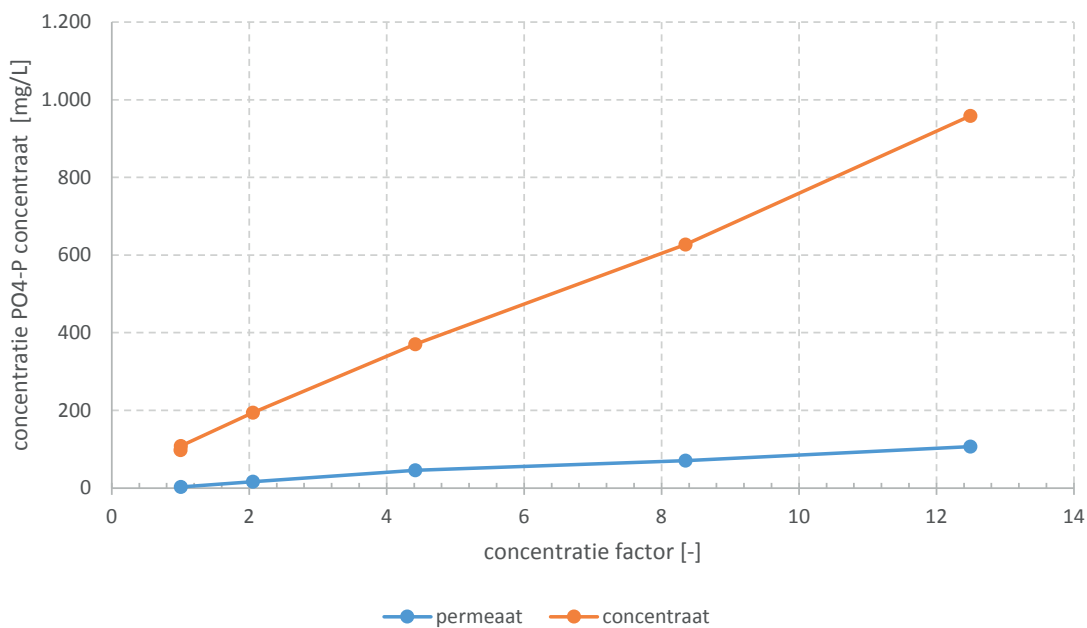
### RWZI TILBURG



RWZI Tilburg

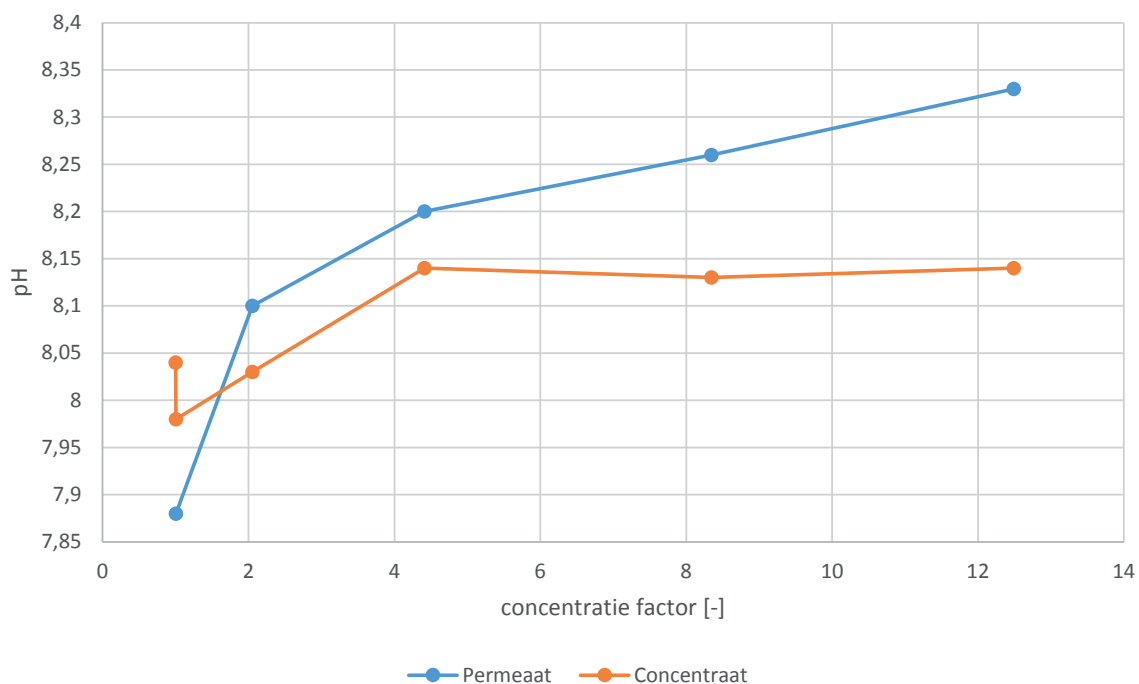


RWZI Tilburg

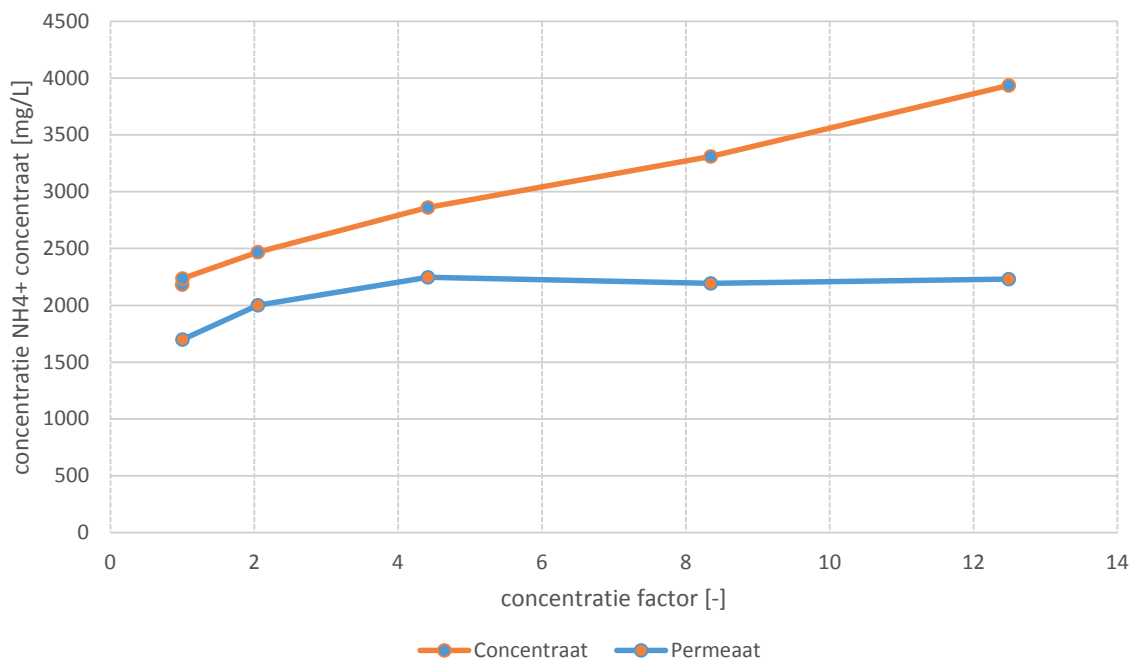




### RWZI Tilburg



### RWZI Tilburg



## BIJLAGE 2

# UITLEG CANVASMODEL

Het canvas is een eenvoudig model om in kaart te brengen welke onderdelen in het business-model een rol spelen en hoe ze zich tot elkaar verhouden. Door de elementen op een visuele manier in kaart te brengen zie je snel waar eventuele bijsturing nodig is, wat je moet laten en wat je moet gaan doen. In deze bijlage zijn de negen facetten aan de hand van twee voorbeelden beschreven. De beide voorbeelden zijn op de laatste pagina afgebeeld.

Bij de omschrijving hieronder vind je steeds twee begrippen; de eerste wordt in de bovenste figuur op de laatste pagina gehanteerd, het tweede begrip in de onderste figuur. Soms zijn de begrippen gelijk, maar ze zijn soms in de beide voorbeelden op een andere positie geplaatst.

## **KLANTSEGMENTEN / KLANTSEGMENTEN**

Welke klantsegmenten bedienen we? Voor wie creëren we waarde? Wie zijn onze belangrijkste klanten? Er zijn verschillende soorten klantsegmenten. Voorbeelden: massamarkt, nichemarkt, gesegmenteerd, gediversifieerd, multi-side platforms (of multi-side markten).

## **WAARDEPROPOSITIES / KLANTWAARDE**

Zij streeft ernaar de problemen van klanten op te lossen en in klantbehoeften te voorzien met waardeproposities. Een waardepropositie of klantwaarde beschrijft de bundel van producten en diensten die waarde creëert voor een specifiek klantsegment. Een waardepropositie creëert waarde voor een klantsegment door een onderscheiden mix van elementen die voorzien in de behoeften van dat segment. Waarden kunnen kwantitatief zijn (bijvoorbeeld prijs, snelheid of service) of kwalitatief (bijvoorbeeld ontwerp, klantervaring. Voorbeelden (niet uitputtend): nieuwheid, performance, customization, ontwerp, merk/status, prijs, kostenbeperking, risicobeperking, toegankelijkheid, gemak /bruikbaarheid.

## **KANALEN / KANALEN**

Waardeproposities of klantwaarde worden aan klant geleverd via communicatie, distributie- en verkoopkanalen. Deze bouwsteen beschrijft hoe een organisatie met zijn klantsegmenten communiceert en ze bereikt om een waardepropositie te leveren.

Kanalen kennen vijf verschillende fasen (awareness, evaluatie, aankoop, aflevering, after sales). Het model onderscheidt directe en indirecte kanalen en maakt onderscheid tussen eigen kanalen en partnerkanalen.

## **KLANTRELATIES / KLANTRELATIES**

Klantrelaties worden opgebouwd en onderhouden met elk klantsegment. Deze bouwsteen beschrijft de soorten relaties die een bedrijf aangaat met specifieke klantsegmenten. Voorbeelden: persoonlijke hulp, toegewezen persoonlijke hulp, selfservice, geautomatiseerde diensten, communities, cocreatie.

## **INKOMSTENSTROMEN / INKOMSTENSTROMEN**

Inkomstenstromen zijn het resultaat van waardeproposities die met succes aan klanten worden aangeboden. Zij representeren de cash die een bedrijf uit elk klantsegment genereert

(kosten moeten van de inkomsten worden afgetrokken om winst te genereren). Voorbeelden: goederenverkoop, gebruikersfee, abonnementsgelden, uitlenen/huren/leasen, licentieverlening, brokerage fees, reclame.

#### KEY RESOURCES / MENSEN EN MIDDELEN

Key resources zijn de middelen (assets) die nodig zijn om de eerder beschreven elementen te bieden en te leveren. Deze kunnen fysiek, financieel, intellectueel of menselijk zijn.

#### KERNACTIVITEITEN / KERNACTIVITEITEN

Dit zijn de belangrijkste dingen die een bedrijf moet doen om te zorgen dat zijn businessmodel werkt. Voorbeelden van categorieën: productie, probleemoplossing, platform/netwerk.

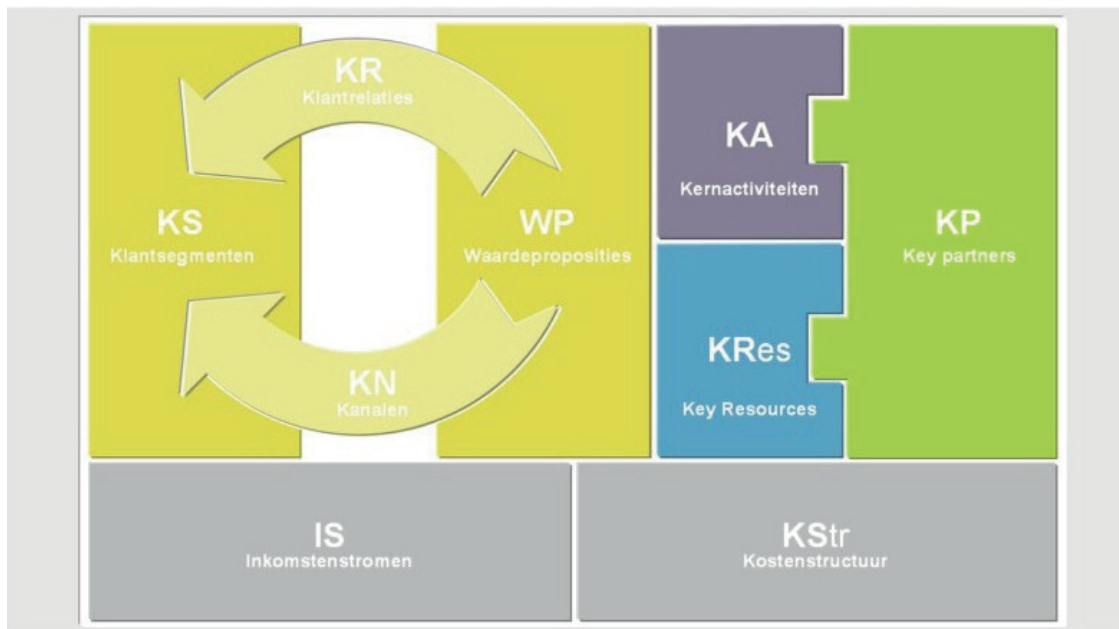
#### KEY PARTNERS / STRATEGISCHE PARTNERS

Sommige activiteiten worden ge-outsourcet en sommige resources worden buiten de onderneming ingekocht. Het kan nuttig zijn om onderscheid te maken tussen drie motivaties om partnerschappen te creëren: optimalisering van schaalvoordelen, beperking van risico en onzekerheid, acquisitie van bepaalde resources en activiteiten.

#### KOSTENSTRUCTUUR / KOSTENSTRUCTUUR

De onderdelen resulteren in een kostenstructuur die alle kosten beschrijft om het businessmodel te laten werken. Lage kostenstructuren zijn voor sommige businessmodellen belangrijker dan andere. Het kan daarom nuttig zijn een onderscheid te maken tussen kostengestuurde en waardegestuurde businessmodellen. Kostenstructuren kunnen de volgende kenmerken hebben: vaste kosten, variabele kosten, schaalvoordelen en scopevoordelen.

FIGUUR 6.2 CANVASMODEL VOLGENS 123MANAGEMENT.NL



FIGUUR 6.3 CANVASMODEL VOLGENS DE-INNOVATOR.NL

