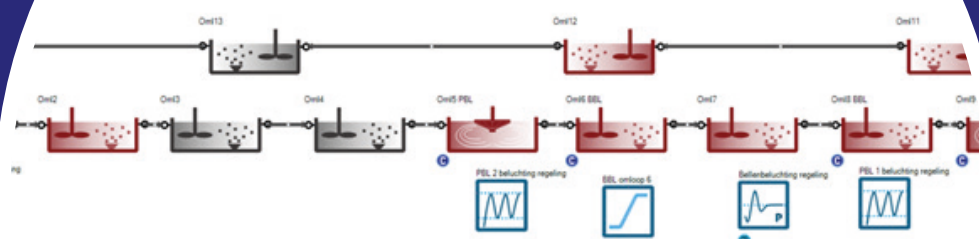


TOEPASSING VAN DYNAMISCH SIMULEREN IN SUMO

OPTIMALISATIECASES VOLGENS 'HANDREIKING DYNAMISCH SIMULEREN IN SUMO'



TOEPASSING VAN DYNAMISCH SIMULEREN IN SUMO
OPTIMALISATIECASES VOLGENS 'HANDREIKING
DYNAMISCH SIMULEREN IN SUMO'

RAPPORT

2025

44

ISBN 978.94.6479.117.4



COLOFON

Amersfoort, december 2025

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer STOWA
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Amanda Vierwind – Sweco
Niels Koldewijn – Sweco
Annette Buunen-van Bergen – Sweco
Patricia Clevering-Loeffen – Sweco

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Miriam Verdurmen – Waterschap Vallei en Veluwe
Jeremy Versteegh – Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Pui Tan Li – Waterschap Hollandse Delta
Lobke de Pooter – Hoogheemraadschap van Rijnland
Nick Ivens – Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard
Karin Bertens Zorzano – Waterschap Aa en Maas
Cora Uijterlinde – STOWA

VORMGEVING Buro Vormvast
STOWA STOWA 2025-44
ISBN 978.94.6479.117.4

De inhoud van deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden in de publicatie, of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud ervan.

STOWA spant zich in de rechthebbenden van in de uitgave gebruikte afbeeldingen te respecteren conform het auteursrecht. Indien u desondanks van mening bent dat uw rechten in het geding zijn, dan verzoeken wij u contact met ons op te nemen.

TEN GELEIDE

De vier beschreven praktijkcases volgen de stappen uit de handreiking dynamisch simuleren in SUMO (STOWA 2025-44) en toont de meerwaarde van dynamische modelleren in SUMO.

Veel Nederlandse rwzi's moeten op korte of lagere termijn voldoen aan strengere effluenteisen, zoals die voortvloeien uit de Kaderrichtlijn Water en de herziene EU Richtlijn Stedelijk afvalwater.

Statische modellen, zoals het HSA-model voor stikstof en het Scheer-model voor fosfor, worden in Nederland vaak gebruikt. Echter, omdat deze modellen uitgaan van optimale omstandigheden en steady state situaties, zijn ze niet altijd toereikend. Door aanscherping van effluenteisen wordt de dynamiek in aanvoer en zuiveringsprocessen steeds belangrijker.

Dynamisch modelleren biedt inzicht in de optimalisatiemogelijkheden van rwzi's van zowel bestaande en in de ontwerpfase verkerende installaties. Het model laat snel zien wat mogelijk is, waar de rek en ruimte zit, en welke optimalisaties mogelijk zijn. Waterschappen kunnen hierdoor uitbreidingen en nieuwbouw uitstellen en/of efficiënter dimensioneren. Dit is kostenbesparend, duurzaam en speelt in op de krapte aan specialistische kennis en personeel.

Parallel aan deze studie is het rapport Handreiking dynamisch simuleren in SUMO (STOWA 2025-44) opgesteld, dat een stappenplan biedt voor het gebruik van dynamisch modelleren in SUMO. In het huidige rapport zijn vier cases uitgewerkt volgens dit stappenplan. De cases betreffen rwzi's van verschillende groottes, configuraties en effluentconcentraties: RWZI's Bergambacht, Amersfoort, Hellevoetsluis en Winterswijk.

Bij deze cases heeft dynamisch modelleren in SUMO meerwaarde ten opzichte van statische modellen. Dit komt door factoren zoals een optimale verdeling van de anoxische en oxische zones of een optimalisatie van de retourslibregeling. Deze worden beide als optimaal beschouwd in statische modellen en dit blijkt in de praktijk vaak anders. Dit rapport biedt tevens een overzichtelijke inkijk in het gebruik en de toepassing van het stappenplan uit de handreiking.

Mark van der Werf
Directeur STOWA

SAMENVATTING

In Nederland worden vaak statische modellen zoals het HSA-model voor stikstofverwijdering en het model van Scheer voor biologische fosforverwijdering gebruikt in ontwerp- en optimalisatiestudies (STOWA-rapporten 2017-46 en 1993-07). Echter, deze modellen zijn niet altijd toereikend omdat ze bijvoorbeeld uitgaan van een optimale recirculatie en zuurstofvoorziening, rekenen naar een steady state situatie en een ingegeven effluentkwaliteit. Door de aanscherping van effluenteisen in de toekomst wordt de dynamiek in het aanvoerpatroon en het zuiveringsproces steeds belangrijker. Hier biedt dynamisch modelleren een uitkomst. Een dynamisch model kan (per dag, uur of minuut) worden toegepast bij wisselende aanvoer, zuurstofregelingen, recirculatie, retourstromen of bypasses., en Een dynamisch model wordt gekalibreerd op de beschikbare (sensor)data, steekmonsters en reguliere bemonsteringen door een laboratorium. Hierdoor biedt een dynamisch model meer inzicht in het proces dan een statisch model. Dit maakt een dynamisch model geschikter voor uitdagingen bij lagere effluentconcentraties dan een statisch model. Daarnaast levert dynamisch modelleren aanvullende informatie op die relevant is voor de invulling van de EU Richtlijn Stedelijk Afvalwater (RSA), zoals inzicht in broeikasgassen en energieverbruik en -productie.

In dit rapport worden vier cases van rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) besproken om de voordelen van dynamische modellering aan te tonen. Dit is gedaan door het dynamische model 'SUMO' (Super Model, Dynamita) te gebruiken voor het onderzoeken van optimalisaties ten behoeve van de effluentkwaliteit, die met de huidige installatie bereikt kunnen worden. De cases betreffen rwzi's van verschillende groottes, configuraties en effluentconcentraties, namelijk:

- RWZI Bergambacht: Optimalisatie van het retourslibdebiet en vergroting van de anaerobe tank voor verlaging van P-totaal.
- RWZI Amersfoort: Verhoging van het droge stofgehalte en aanpassing van de beluchtingsregeling voor verlaging van $\text{NH}_4\text{-N}$ in de zomer.
- RWZI Hellevoetsluis: Meer beluchting in de voornitrificatie en minder in de omloop voor verlaging van N-totaal.
- RWZI Winterswijk: Aangepaste beluchtingsregeling voor verlaging van NH_4 -pieken.

Bij (dynamisch) modelleren is het kalibreren van het model een van de eerste stappen. Hierbij is het essentieel om aangeleverde data grondig te controleren voordat wordt gestart met de kalibratie omdat (sensor)data vaak afwijkingen kan vertonen of onbetrouwbaar blijkt. Bij het kalibreren wordt nagegaan of het model een goede benadering geeft van de praktijksituatie. Volgens STOWA 2000-16 is een goed gekalibreerd model een model waar de resultaten voor N-totaal en P-totaal circa 10% afwijken van de praktijkwaarden. Deze marge houdt rekening met meeton nauwkeurigheden bij monsternames en fouten bij het bepalen van debieten. Kalibreren tot op de laatste decimaal heeft weinig meerwaarde als de meeton nauwkeurigheid tussen 5 en 10% ligt. De gemodelleerde (effluent)resultaten dient in ieder geval de trend van de werkelijke (effluent)concentraties te volgen. De mate van detaillering van het model en de benodigde meetfrequenties van zowel het influent als andere relevante stromen verschilt per type modelstudie (STOWA 2025-44). De vier voorbeeldcases zijn volgens het stappenplan zoals beschreven in 'Handreiking dynamisch simuleren in SUMO' (2025-44) uitgewerkt.

In Tabel S.1 is een overzicht gegeven van de cases, de belangrijkste eigenschappen van de zuivering, de onderzochte optimalisatie(s), het resultaat van de optimalisatie en de meerwaarde van dynamisch modelleren in de specifieke case ten opzichte van statisch modelleren.

Tabel S.1 Overzicht van de cases, optimalisaties, de meerwaarde van dynamisch modelleren en de overweging in de kalibratie.

Case	RWZI Bergambacht	RWZI Amersfoort	RWZI Hellevoetsluis	RWZI Winterswijk
Ontwerpcapaciteit en type/configuratie	Ontwerpcapaciteit van 8.800 i.e. Omloopcircuit	Ontwerpcapaciteit van 304.000 i.e. Phoredox	Ontwerpcapaciteit van 108.000 i.e. Hoogvliet	Ontwerpcapaciteit van 85.000 i.e. UCT
Optimalisatie	Optimaal retourslibdebiet i.c.m. vergrote anaerobe tank voor verlaging P-totaal	Verhoging droge stofgehalte, aangepaste beluchttingsregeling en interne recirculatie voor verlaging $\text{NH}_4\text{-N}$ in de zomer	Meer beluchting in de voornitricatie en minder in de omloop voor verlaging van N-totaal	Aangepaste beluchttingsregeling voor verlaging $\text{NH}_4\text{-pieken}$
Resultaat optimalisatie	Verlaging P-totaal van 0,9 mg P/l naar 0,45 mg P/l	Verlaging NH_4 in de zomer van 3,9 mg N/l naar 1,0 mg N/l	Verlaging N-totaal van 5,2 mg N/l naar 3,8 mg N/l	Verlaging NH_4 jaargemiddeld van 1,8 mg N/l naar 1,2 mg N/l
Meerwaarde dynamisch modelleren	Compartimentering omloop mogelijk, aanpassing beluchttingsregeling en laag N-totaal gehalte	VFA concentraties per proces-onderdeel in de sliblijn en aanpassing van de beluchttingsregeling	Aanpassing indeling oxische/anoxische zones door compartimentering en laag N-totaal gehalte	Concentratie-pieken NH_4 in proces inzichtelijk maken en impact van beluchttingsregeling op de piekconcentraties

In bovenstaande cases heeft dynamisch modelleren met SUMO meerwaarde geboden ten opzichte van een statisch model om verschillende redenen. Met dynamische modelleren is het bijvoorbeeld mogelijk:

- Om de verdeling van anoxische en oxische zones gericht aan te passen door middel van compartimentering en de beluchttingsregeling, zoals aangetoond bij cases RWZI Amersfoort en RWZI Hellevoetsluis.
- Om inzicht te krijgen in variaties in concentraties op uur-niveau in de gehele waterlijn om vervolgens pieken af te vlakken, zoals aangetoond bij case RWZI Winterswijk.
- Om het effect van variatie in het retourslibdebiet op de effluentkwaliteit na te gaan zoals bij de case RWZI Bergambacht.

Bij optimalisatie van de hoofdzuivering verdienen optimalisatie van de processturing en beperkte werktuigbouwkundige ingrepen bijzondere aandacht. Dit zijn vaak relatief goedkope en duurzame maatregelen. De kostenbesparing van een optimalisatie van de zuivering ten opzichte van een nabehandeling hangt af van de kosten van de optimalisatie versus nabehandeling. Het effect op duurzaamheid is situatieafhankelijk. Resultaten uit voorliggende studie tonen aan dat dynamisch modelleren aanzienlijke voordelen biedt wat betreft het verbeteren van de effluentkwaliteit, het realiseren van kostenbesparingen en duurzamere oplossingen.

Door dynamisch te modelleren kunnen waterschappen meer uit bestaande assets halen, zogenoemd het volledig 'uitnutten' van de installatie. Hierdoor kunnen uitbreidingen, nieuwbouw of het bijbouwen van een nabehandeling t.b.v. nutriënten worden uitgesteld, verminderd of efficiënter gedimensioneerd. Dit is niet alleen gunstig vanuit kosten- en duurzaamheidsoogpunt, maar ook noodzakelijk gezien de krapte op de arbeidsmarkt, de beperkte beschikbaarheid van specialistische kennis en personele inzet.

STOWA IN HET KORT

KENNIS OVER WATER, VOOR NU ÉN LATER

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer – kortweg STOWA – is het kennisplatform van regionale waterbeheerders in Nederland. Vanuit ons kantoor in Amersfoort werken we aan het ontwikkelen, verzamelen, verspreiden en implementeren van toegepaste kennis. Die kennis hebben waterbeheerders nodig om de opgaven waar zij voor staan, goed uit te kunnen voeren. Of het nu gaat om klimaatadaptatie (zowel stedelijk als landelijk gebied), een goede waterkwaliteit, duurzame en effectieve afvalwaterzuivering, veilige dijken en kaden, energietransitie of circulaire economie.

Het soort kennis dat wij ontwikkelen, is breed: technisch en natuurwetenschappelijk, maar soms ook bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk. Om te zorgen dat die kennis maximaal kan worden toegepast in de praktijk, presenteren we onze onderzoeksresultaten indien mogelijk in de vorm van praktische handreikingen, tools en instrumenten. Ook faciliteren we met het oog op kennisdoorwerking Communities of Practice en organiseren we daarvoor allerlei bijeenkomsten en webinars. Via onze eigen en andermans media geven we uitleg over de achtergronden bij ons werk.

STOWA werkt vraaggestuurd. We inventariseren welke kennisvragen waterbeheerders hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers: universiteiten, kennisinstituten, kennisbedrijven of adviesbureaus. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van gezamenlijke kennisprojecten op ons. Maar wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de projectresultaten de deelnemers praktische handelingsperspectieven bieden. Ieder project wordt om die reden begeleid door een commissie waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden vastgesteld door programmacommissies, waar waterbeheerders ook zitting in hebben.

STOWA is onafhankelijk, onpartijdig en transparant. De afnemers van onze kennis moeten erop kunnen vertrouwen dat de inhoud van onze rapporten objectief en representatief is. Alleen zo kan onze kennis worden ingezet voor beter waterbeheer en innovaties die antwoord geven op de uitdagingen van vandaag en morgen. Het is aan waterbeheerders te bepalen hoe ze de kennis van STOWA in de praktijk gebruiken.

STOWA is een stichting die de richtlijnen volgt voor organisaties zonder winstoogmerk (RJ-640). In ons jaarverslag is daarom naast een cijfermatige jaarrekening ook een directieverslag opgenomen over de stichting en haar activiteiten. Het budget bedraagt jaarlijks ongeveer 20 miljoen euro. Onze deelnemers leggen gezamenlijk ieder jaar ongeveer 10 miljoen in als structurele bijdrage. Daarnaast ontvangen we jaarlijks ongeveer 10 miljoen euro in de vorm van bijdragen aan afzonderlijke projecten.

TOEPASSING VAN DYNAMISCH SIMULEREN IN SUMO

OPTIMALISATIECASES VOLGENS 'HANDREIKING DYNAMISCH SIMULEREN IN SUMO'

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Keuze voorbeeldcases	1
1.3	Doel	3
1.4	Aanpak & leeswijzer	3
2	ONDERZOCHE CASES	5
2.1	RWZI Bergambacht	5
2.1.1	Achtergrond	5
2.1.2	Beschrijving optimalisatie	6
2.1.3	Effect van optimalisatie	6
2.1.4	Benodigde nabehandeling	7
2.2	1RWZI Amersfoort	9
2.2.1	Achtergrond	9
2.2.2	Beschrijving optimalisaties	10
2.2.3	Effect van optimalisaties	12
2.2.4	Benodigde nabehandeling	13
2.3	RWZI Hellevoetsluis	14
2.3.1	Achtergrond	14
2.3.2	Beschrijving optimalisatie	15
2.3.3	Effect van optimalisatie	16
2.3.4	Benodigde nabehandeling	16
2.4	RWZI Winterswijk	17
2.4.1	Achtergrond	17
2.4.2	Beschrijving optimalisatie	18
2.4.3	Effect van optimalisatie	19
2.4.4	Benodigde nabehandeling	21

3	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	23
3.1	Conclusies	23
3.2	Aanbevelingen	24
4	REFERENTIES	26
BIJLAGE 1	OPZET MODEL EN VOORGAANDE OPTIMALISATIES RWZI BERGAMBACHT	27
BIJLAGE 2	OPZET MODEL EN VOORGAANDE OPTIMALISATIES RWZI AMERSFOORT	36
BIJLAGE 3	OPZET MODEL RWZI HELLEVOETSLUIS	49
BIJLAGE 4	OPZET MODEL RWZI WINTERSWIJK	75
BIJLAGE 5	METHODE KOSTENBEREKENING BENODIGDE NABEHANDELING	93

1

INLEIDING

1.1 ALGEMEEN

In Nederland wordt vaak een statisch model zoals het HSA-model¹ (voor stikstofverwijdering) en het model van Scheer (voor biologische fosfor verwijdering) gehanteerd in ontwerp of optimalisatiestudies (STOWA-rapporten 2017-46 en 1993-07). Een van de eerste stappen in het model is het kalibreren. Hierbij wordt nagegaan of het model een goede benadering geeft van de praktijksituatie. Dit lukt niet altijd doordat HSA uitgaat van bijvoorbeeld een optimale interne recirculatie, optimale zuurstofvoorziening en altijd toerekent naar een steady state. Het HSA-model is dus niet altijd toereikend. Onder andere door aanscherping van de effluenteisen in de toekomst wordt de dynamiek in het aanvoerpatroon van de rwzi, in de biologie van het zuiveringsproces en daarmee in het effluent van steeds groter belang. Als gevolg hiervan is onder meer in het recent gepubliceerde STOWA-rapport 'KRW-maatregelen voor nutriëntenverwijdering in de afvalwaterketen' (2024-27) aanbevolen om landelijk naar de verbetering van de huidige modellen of naar de ontwikkeling en/of bruikbaarheid van nieuwe modellen te kijken. Hier biedt dynamisch modelleren een uitkomst.

In 1995 is door STOWA geadviseerd om het simulatiepakket SIMBA te gebruiken voor de dynamische modellering van actief slibsystemen (STOWA 2000-16). Anno 2025 wordt dit advies aangepast naar het simulatiepakket SUMO². STOWA 2025-44 is een handreiking om SUMO te gebruiken. Dit rapport (STOWA 2025-45) is een aanvulling op de handreiking en biedt vier voorbeeldcases die volgens het stappenplan, zoals beschreven in 'Handreiking dynamisch simuleren in SUMO' (2025-44), zijn uitgewerkt. De cases demonstreren de meerwaarde van dynamisch simuleren ten opzichte van statisch simuleren voor de verwijdering van N en P.

1.2 KEUZE VOORBEELDCASES

Door de begeleidingscommissie (BC) zijn vier cases gekozen om de meerwaarde van dynamisch simuleren te demonstreren. Twee cases zijn gekozen uit voorgaande (dynamisch simuleren) studies van Sweco en de andere twee uit cases die door de BC zijn ingebracht. Tijdens het keuzeproces is rekening gehouden met de grootte van de rwzi's, het type proces (configuratie) en de mogelijke optimalisaties van de bedrijfsvoering ten behoeve van de effluentkwaliteit. Dit om representatieve cases voor Nederland te behandelen met daarbij voldoende diversiteit:

- RWZI Bergambacht is met een ontwerpcapaciteit van 8.800 i.e. een goede referentie voor kleine rwzi's in Nederland. Het is een omloopcircuit waar met name huishoudelijk afvalwater wordt behandeld. Er wordt bij een kleine zuivering minder bemonsterd waardoor dit uitdagingen kan geven wat betreft de hoeveelheid beschikbare data van influent en effluent. Om de mogelijke optimalisaties voor de zuivering te onderzoeken is een gede-

1 HSA staat voor Hochschulansatz en is een methode bedacht door de TU Aachen voor het dimensioneren van voorzieningen voor stikstofverwijdering in rioolwaterzuiveringsinstallaties.
2 SUMO is een afkorting voor 'Super Model' en is software ontwikkeld door Dynamita voor het modelleren van actief slibsystemen.

tailleerde compartimentering en inrichting van de zuivering nodig, dit is mogelijk met dynamisch modelleren. Zie paragraaf 2.1 voor meer informatie over deze case.

- RWZI Amersfoort heeft een ontwerpcapaciteit van 304.000 i.e. en is daarmee een goede referentie voor grote Nederlandse rwzi's. De zuivering is gebaseerd op het Phoredox principe. Mogelijke optimalisaties van deze rwzi zitten zowel in de slib- als waterlijn. Met dynamisch modelleren zijn mogelijke maatregelen, per procesonderdeel in de sliblijn, en het effect daarvan op de effluentkwaliteit inzichtelijk te maken. Daarnaast kan in de waterlijn het effect van het uitschakelen van specifieke beluchters in verschillende compartimenten inzichtelijk worden gemaakt. Zie paragraaf 2.2 voor meer informatie over deze case.
- RWZI Hellevoetsluis heeft een ontwerpcapaciteit van 108.000 i.e. en valt daardoor tussen bovenstaande cases. Het influent bestaat voor zo'n 10% uit industrieel afvalwater en bevat nitraat. De zuivering is een zogenaamd Hoogvliet systeem met een relatief laag N-totaal gehalte in het effluent. Deze case laat zien wat de meerwaarde is van dynamisch modelleren bij een goed presterende rwzi met een 'laag' N-totaal gehalte van < 5 mg N/l. Daarnaast kan in deze case inzichtelijk worden gemaakt wat het effect is van aanpassingen in de verdeling van (an)oxische zones in de waterlijn. Zie paragraaf 2.3 voor informatie over deze case.
- RWZI Winterswijk is een conventioneel UCT-principe met een ammoniumproblematiek die representatief is voor veel Nederlandse rwzi's. De ontwerpcapaciteit is 85.000 i.e. en het influent bestaat voor 30% uit industrieel afvalwater. Met dynamisch modelleren is het mogelijk om inzicht te krijgen in de ammoniumpieken, en de nitraat- en ammoniumconcentraties in verschillende zones in de zuivering. Het effect van optimalisaties op de piekconcentraties kan met dynamisch modelleren goed worden onderzocht. RWZI Winterswijk is ook gekozen vanwege een slimme gemalen regeling (met real-time control) en een N-totaal influent meting³. Zie paragraaf 2.4 voor informatie over deze case.

De eerste twee cases (Bergambacht en Amersfoort) zijn gekalibreerd in voorgaande studies van Sweco. De twee andere cases (Hellevoetsluis en Winterswijk) zijn tijdens voorliggende studie gekalibreerd en worden stap voor stap, en uitgebreid in onderhavig rapport gerapporteerd (Bijlage 3 en Bijlage 4).

In Tabel 1.1 is een overzicht gegeven van de cases, de belangrijkste eigenschappen, het doel van de dynamische simulatie, de onderzochte optimalisatie(s) en de meerwaarde van dynamisch modelleren.

³ De slimme gemalen regeling is in deze studie verder niet onderzocht vanwege de voorkeur voor het onderzoeken van een andere optimalisatie. De N-totaal influentmeting bleek niet betrouwbaar.

Tabel 1.1 **Overzicht van de gekozen cases, de belangrijkste eigenschappen, de optimalisatie die is onderzocht en de meerwaarde van dynamisch modelleren per case**

Case	RWZI Bergambacht	RWZI Amersfoort	RWZI Hellevoetsluis	RWZI Winterswijk
Ontwerpcapaciteit en type/configuratie	Ontwerpcapaciteit van 8.800 i.e. Omloopcircuit	Ontwerpcapaciteit van 304.000 i.e. Phoredox	Ontwerpcapaciteit van 108.000 i.e. Hoogvliet	Ontwerpcapaciteit van 85.000 i.e. UCT
Doel	Verbeteren van het P-totaal gehalte door implementatie van een anaerobe tank met een optimaal retourslibdebiet	Verbeteren van het NH_4 gehalte (naar 1 mg N/l) gedurende de zomermaanden, waarbij jaargemiddeld het N-totaal gehalte niet verslechtert	Verder verlagen van het N-totaal gehalte door meer te nitrificeren in de voornitrificatie	Het verlagen van de piekconcentraties NH_4 (tijdens RWA)
Optimalisatie	Optimaal retourslibdebiet i.c.m. vergroting anaerobe tank en aangepaste beluchtingsregeling voor verlaging P-totaal	Verhoging droge stofgehalte voor verlaging NH_4 -N in zomer. Verhoging droge stofgehalte en aangepaste beluchtingsregeling voor verlaging NH_4 -N in zomer	Meer beluchting in de voornitrificatie en minder in de omloop voor verlaging N-totaal	Aangepaste beluchtingsregeling voor verlaging NH_4 -pieken
Meerwaarde dynamisch modelleren	Compartimentering omloop mogelijk, aanpassing beluchtingsregeling en laag N-totaal gehalte	VFA concentraties per proces-onderdeel in de sliblijn en aanpassing van de beluchtingsregeling	Aanpassing indeling oxische/anoxische zones door compartimentering en laag N-totaal gehalte	Concentratie-pieken NH_4 in proces inzichtelijk maken en impact van beluchtingsregeling op de piekconcentraties

1.3 DOEL

Het doel van dit rapport is inzicht geven in de bruikbaarheid van dynamische modellering voor de optimalisatie van rwzi's en het doorrekenen van rwzi's voor verschillende effluentconcentraties. Er wordt inzichtelijk gemaakt hoe waterschappen door optimalisatie meer uit hun bestaande assets kunnen halen. Zo kan een nabehandeling om effluenteisen (zoals voor KRW) te behalen minder groot of met minder hulpstoffen worden gedimensioneerd.

1.4 AANPAK & LEESWIJZER

Voor elke case is een SUMO-model opgezet op basis van gegevens van een representatief jaar, aangeleverd door de waterschappen. In samenwerking met het betreffende waterschap is voor elke case een optimalisatie vastgesteld. Deze optimalisaties zijn geïmplementeerd in de modellen en het effect op de effluentkwaliteit is bepaald.

Hoofdstuk 2 bespreekt per case de onderzochte optimalisaties en hun effecten op de effluentkwaliteit. Voor RWZI Bergambacht en RWZI Amersfoort zijn in eerdere studies de SUMO-modellen opgezet en verschillende optimalisaties doorgerekend; deze worden besproken in Bijlage 1.2 en 2.2.

In Bijlagen 1 t/m 4 wordt gedetailleerd uitgelegd hoe per case het gekalibreerde en gevalideerde model is opgesteld volgens de STOWA XXX methode. Omdat dit in de bijlagen wordt behandeld, wordt in hoofdstukken 2 en 3 niet verder ingegaan op de kalibratie en validatie.

Daarnaast is voor de, door de BC gekozen, aanvullende optimalisaties gekeken wat de kosten zijn als de effluentkwaliteit met een nageschakelde techniek bereikt zou worden in plaats

van met de optimalisatie⁴. De benodigde nabehandeling is vastgesteld op basis van ontwerpuitgangspunten voor een dergelijke installatie (STOWA 2020-06 en STOWA 2024-28). Hierbij is een vergelijking gemaakt op basis van duurzaamheid (CO₂, hulp- en reststoffen) en kosten. Dit wordt toegelicht in Bijlage 5.

Tot slot bevat hoofdstuk 3 conclusies en aanbevelingen.

4 De optimalisatie is niet in combinatie met de nageschakelde techniek uitgevoerd. De nageschakelde techniek is hier enkel gebruikt om een indicatie te geven van besparing van kosten en baten voor duurzaamheid in het geval de optimalisatie wordt doorgevoerd.

2

ONDERZOCHE CASES

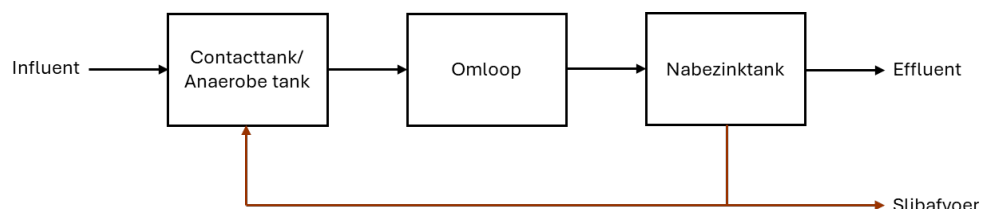
In 2025 is een handreiking opgesteld voor dynamisch simuleren in SUMO (STOWA 2025-44). Aanvullend op deze handreiking, zijn in dit rapport vier cases gepresenteerd waaruit blijkt dat dynamisch simuleren meerwaarde biedt en hoe een zuivering in SUMO kan worden opgezet. In Bijlagen 1 t/m 4 is de modelopzet van elk case beschreven. De modelopzet van de cases van RWZI Hellevoetsluis en RWZI Winterswijk is uitgebreider beschreven dan de andere cases, aangezien deze cases zijn opgezet voor dit onderzoek. In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de resultaten van de optimalisaties van de cases. De voorgaande optimalisaties (uitgevoerd voorafgaand aan de start van dit project) van RWZI Bergambacht en RWZI Amersfoort staan beschreven in Bijlagen 1.1 en 1.2. Daarnaast is voor de, door de BC gekozen, aanvullende optimalisaties gekeken wat de kosten zijn als de effluentkwaliteit met een nageschakelde techniek bereikt zou worden in plaats van met de optimalisatie

2.1 RWZI BERGAMBACHT

2.1.1 ACHTERGROND

RWZI Bergambacht is een zuivering met een capaciteit van 8.800 i.e. (à 150 g TZV/d) en krijgt binnen een aantal jaren te maken met een toename in de aanvoer én met scherpere effluent-eisen qua stikstof en fosfor. Dit betekent dat maatregelen noodzakelijk zijn om de P-emissie te beperken en de huidige N-emissie te handhaven (de huidige N-totaal-concentratie in het effluent ligt ruim onder de huidige effluenteis). Eerder voorgestelde en reeds doorgevoerde maatregelen hebben bij hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard (HHSK) de vraag doen rijzen of RWZI Bergambacht optimaal bedreven wordt in relatie tot de effluentkwaliteit. Zijn er kleine technische maatregelen denkbaar die de effluentkwaliteit kunnen verbeteren of zijn er grotere ingrepen noodzakelijk om aan de toekomstige effluenteisen te kunnen voldoen? In Figuur 2.1 is een schematische weergave van de waterlijn van RWZI Bergambacht gegeven. Zie Bijlage 1 voor de opzet van deze case, de kalibratie/validatie en eerder onderzochte optimalisaties. Hierin wordt toegelicht hoe het dynamisch model is opgebouwd en welke uitgangspunten gehanteerd zijn.

Figuur 2.1 Schematische weergave van het in SUMO gemodelleerde deel van de waterlijn van RWZI Bergambacht. De bruine lijnen tonen de slibstromen

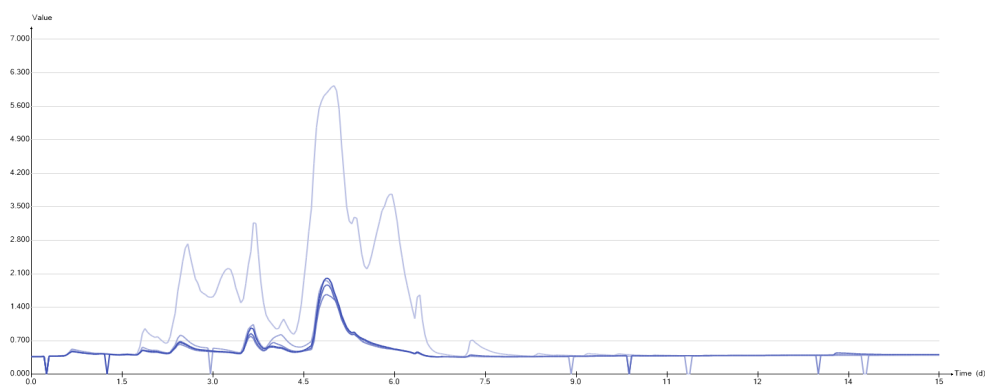


2.1.2 BESCHRIJVING OPTIMALISATIE

De optimalisatie, vastgesteld in overleg met HHSK, is de optimalisatie van P-verwijdering door een optimaal retourslibdebiet te vinden in combinatie met de voorgaande optimalisatie van de nieuwbouw van de anaerobe tank (300 m³) (zie Bijlage 1.2). Modelmatig is dit gesimuleerd door het huidige volume van de contacttank te vergroten van 21 m³ naar 300 m³.

Daarna is met behulp van scenario analyse bekeken wat het effect is van verschillende retourslibdebieten op de P-totaal concentratie in het effluent⁵. De 'Analyze' functie is gebruikt om het model te runnen voor 15 dagen met retourslibdebieten van 100 tot 8.000 m³/d in 5 stappen: 100 m³/d, 2.075 m³/d, 4.050 m³/d, 6.025 m³/d, 8.000 m³/d. Het resultaat van deze simulatie is gegeven in Figuur 2.2. Op basis van deze grafiek is besloten dat de optimale P-totaal concentratie van het effluent wordt bereikt bij een retourslibdebiet van ongeveer 4.000 m³/d. De maximale capaciteit van de huidige pomp is 3.800 m³/d dus dat debiet is gekozen voor de optimalisatie.

Figuur 2.2 Resultaat van de scenario analyse met verschillende retourslibdebieten voor de optimalisatie van het P-totaal in het effluent. De vijf blauw gekleurde lijnen geven de P-totaal concentraties in het effluent weer bij oplopende retourslibdebieten van lichtblauw (100 m³/d) naar donkerblauw (8.000 m³/d)



2.1.3 EFFECT VAN OPTIMALISATIE

Het retourslibdebiet voor een optimale P-verwijdering, met een anaerobe tank met een grootte van 300 m³ (HRT, circa 1 -1,5 h), is 3.800 m³/d op basis van Figuur 2.2 en rekening houdend met de maximale pompcapaciteit. Vervolgens is een SUMO-model van RWZI Bergambacht met een vergrote anaerobe tank en een retourslibdebiet van 3.800 m³/d gerund voor de gehele periode (303 dagen). Dit geeft een verlaagde P-totaal concentratie, maar ook een verhoogde N-totaal concentratie, zoals gegeven in Tabel 2.1 'Optimalisatie tussenresultaat RWZI Bergambacht'. De contacttijd in de anaerobe tank is langer waardoor het slib waarschijnlijk verder mineraliseert en de ammoniumconcentratie in de omloop stijgt. Een verhoging van het DO setpoint in de beluchttingsregeling van 1,5 mg O₂/l (kalibratie en optimalisatie tussenresultaat) naar 3 mg O₂/l (optimalisatie) gaf een verdere verbetering van het P-totaal en een verlaging van het N-totaal in vergelijking met het tussenresultaat van de optimalisatie.

⁵ Door de gewenste parameter aan te klikken bij 'Inputs' in de kolom 'Advanced' in SUMO, is het mogelijk om 'Advanced' simulatie te gebruiken. Bij 'Advanced' kun je vervolgens kiezen voor 'Analyze' of 'Optimize'. Voor meer informatie, zie de Dynamita Wiki: <https://wiki.dynamita.com/en/advanced-simulations>

Tabel 2.1 Jaargemiddelde effluentconcentraties RWZI Bergambacht in het gekalibreerde, het tussenresultaat van de optimalisatie en het geoptimaliseerde SUMO-model.

	N _{tot} mg N/l	NO _x -N mg N/l	NH ₄ -N mg N/l	P _{tot} mg P/l
Kalibratie RWZI Bergambacht (huidige situatie)	5,7	1,9	2,4	0,9
Optimalisatie tussenresultaat RWZI Bergambacht (vergroting anaerobe tank en optimaal retourslibdebiet)	7,1	1,9	3,9	0,56
Optimalisatie RWZI Bergambacht (vergroting anaerobe tank, optimaal retourslibdebiet en aangepaste beluchttingsregeling)	6,1	1,9	3,0	0,45

De optimalisatie van RWZI Bergambacht geeft de gewenste verlaging van P-totaal in het effluent. Het geeft wel een ongewenste verhoging van het N-totaal, ondanks een verhoging van het DO setpoint in de beluchttingsregeling. Een aanvullende optimalisatiestudie voor een verlaging van N-totaal is gewenst, bijvoorbeeld in de beluchttingsregeling of het verhogen van het droge stofgehalte.

2.1.4 BENODIGDE NABEHANDELING

De aanvullende optimalisatie van RWZI Bergambacht is gericht op het verbeteren van de biologische P-verwijdering door vergroting van de anaerobe tank in combinatie met een optimaal retourslibdebiet.

Dit betekent dat voor deze optimalisatie een investering nodig is. Deze optimalisatie is niet in een factsheet uitgewerkt in STOWA 2024-27 en het ramen van de kosten voor een anaerobe tank zit niet in de scope van deze studie. Het is daarom alleen mogelijk om de benodigde nabehandeling voor de referentie op hoofdlijnen inzichtelijk te maken, zonder vergelijking van de meerkosten en de totale CO₂-voetafdruk.

De nabehandeling is gebaseerd op vastbed mediafiltratie voor PO₄-P verwijdering uit STOWA 2024-27 (factsheet 16). Door deze filtratiestap wordt verwacht dat de PO₄-P en de P-totaal concentratie in de behandelde stroom wordt verlaagd naar respectievelijk 0,05 en 0,28 mg P/l. Wanneer 73% van de afloop van de nabezinktank in de gemodelleerde situatie wordt behandeld met deze filtratiestap, zal de P-totaal concentratie in het totale effluent uitkomen op een vergelijkbare waarde als na optimalisatie⁶.

In Tabel 2.2 is dit samengevat; de concentraties van de referentiesituatie met zandfilter en de situatie na alleen optimalisatie laten een verbetering zien van P-totaal tot ongeveer een concentratie van 0,45 mg P/l.

⁶ Door het toepassen van de methode gericht op het behalen van dezelfde P-totaal concentratie met de nabehandeling als met de optimalisatie, zijn de PO₄-P concentraties niet hetzelfde. De methode is uitgebreider beschreven in Bijlage 5.

Tabel 2.2

Vergelijking van de benodigde nabehandeling (met en zonder optimalisatie)

		Referentie	Optimalisatie
Concentratie afloop NBT			
- P-totaal	mg/l	1,23	0,45
- PO ₄ -P	mg/l	0,95	0,14
Aanpassing optimalisatie		-	Bouw anaerobe tank (300 m ³) en verhogen DO setpoint
Nabehandeling			
Type	-	Zandfilter + Metaalzoutdosering	-
Ontwerpdebiet	m ³ /h	1.900	-
Totaal behandeld debiet per jaar	m ³ /jr	635.300	-
% behandeld t.o.v. totaal jaardebiet	%	73	-
Concentratie totaal effluent			
- P-totaal	mg/l	0,45	0,45
- PO ₄ -P	mg/l	0,21	0,14

In Tabel 2.3 is inzichtelijk gemaakt wat de jaarlijkse kosten en de CO₂-voetafdruk van de nabehandeling zijn. De kosten komen neer op ongeveer € 152.500 per jaar. De kosten van de optimalisatie en de nabehandeling zijn niet onderling vergeleken, omdat de kostenraming van de anaerobe tank buiten de scope van deze studie ligt.

De CO₂-voetafdruk van de nabehandeling is ongeveer 25 ton CO_{2eq} per jaar. Het is niet mogelijk om de CO₂-voetafdruk van het materiaal onderling te vergelijken. Ten opzichte van de optimalisatie zullen voor de nabehandeling aanvullende chemicaliën benodigd zijn, is er extra chemisch slibafvoer en is extra energie nodig voor het oppompen van het effluent naar het filter. Dit komt neer op ongeveer 85% van de in de tabel aangegeven CO₂-voetafdruk; ongeveer 22 ton CO_{2eq} per jaar. Dit betekent dat de optimalisatie met biologische P-verwijdering op basis van de operationele CO₂-voetafdruk een duurzamere optie is dan de benodigde nabehandeling in de referentiesituatie.

Tabel 2.3

Kosten en CO_{2eq}-voetafdruk van de benodigde nabehandeling voor de referentiesituatie

	Referentie
Ontwerpdebiet	m ³ /h 1.900
Totaal behandeld debiet per jaar	m ³ /jr 635.300
% behandeld t.o.v. totaal jaardebiet	% 73
Totale jaarlijkse kosten (CAPEX+OPEX)*	€/j 152.000
CO _{2eq} -voetafdruk**	ton CO _{2eq} /j 25

* Berekend met het gemiddelde van de specifieke kosten tussen 0,17 en 0,31 €/m³ behandeld.

** Berekend met de specifieke voetafdruk van 40 g CO_{2eq}/m³ behandeld, hierbij is aangegeven dat 11-18 % uit materialen bestaat, 13-14% slibeindverwerking, 30-33% uit hulpstoffen en 39-43% uit energie.

Bron: STOWA 2024-27, factsheet 16.

2.2 1RWZI AMERSFOORT

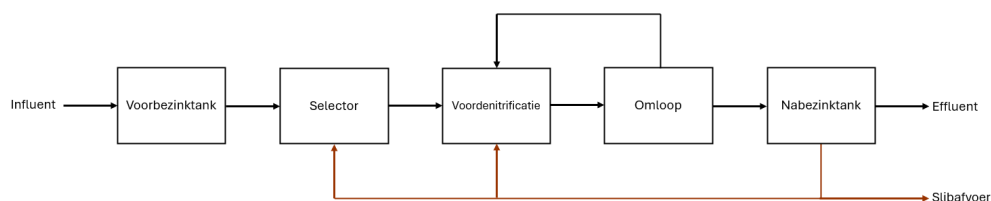
2.2.1 ACHTERGROND

RWZI Amersfoort is de centrale slibverwerkingslocatie voor het westelijk deel van waterschap Vallei en Veluwe (WSVV) met een capaciteit van 304.000 i.e. (à 150 g TZV/d). Hier wordt energie teruggewonnen in de vorm van biogas, en grondstoffen in de vorm van struviet. Door de verdergaande optimalisatie van de sliblijn op RWZI Amersfoort is de stikstofvracht in de retourstroom de afgelopen jaren gestegen. Daarnaast is de samenstelling van deze stroom in de loop der jaren veranderd. In het bijzonder is het gehalte aan vetzuren sterk toegenomen wat een nadelig effect heeft op de deelstroombehandeling en deze niet in staat is de volledige retourstroom te behandelen. Het gevolg is een verhoogde stikstofbelasting op de waterlijn. Om te kunnen blijven voldoen aan de gestelde effluenteisen was het waterschap genoodzaakt een gedeelte van de retourstroom per as af te voeren naar omliggende zuiveringsinstallaties. Dit is een onwenselijke situatie. De waterlijn van RWZI Amersfoort is een Phoredox proces. In Figuur 2.3 is een schematische weergave van de waterlijn van RWZI Amersfoort gegeven en in Figuur 2.4 een schematische weergave van de sliblijn.

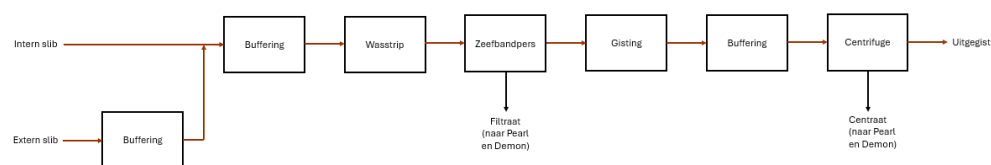
Het doel is om maatregelen te formuleren en uit te werken die ertoe leiden dat de rwzi als geheel (waterlijn en sliblijn) in staat is om het aanbod van afvalwater en slib volledig te verwerken. Hierbij moet het effluent aan de gestelde eisen blijven voldoen van N-totaal van 10 mg N/l en P-totaal van 1 mg P/l. In paragraaf 2.2 in Bijlage 2 zijn de optimalisaties beschreven.

Als vervolg op bovengenoemde studie en met het zicht op toekomstige aangescherpte effluenteisen vanuit de Kader Richtlijn Water (KRW) en de Herziening van de Richtlijn Stedelijk Afvalwater (HRSA), wil WSVV verder onderzoek doen naar mogelijke maatregelen om de effluentkwaliteit van RWZI Amersfoort te verbeteren. Hierbij wordt ingegaan op de volgende vraag: Is een ingreep, bijvoorbeeld het bijbouwen van een anaerobe tank, noodzakelijk om aan de toekomstige effluenteis van 0,5 mg P/l te kunnen voldoen⁷. Zie Bijlage 2 voor het stappenplan van de opzet van deze case en de kalibratie/validatie van het SUMO model. Hierin wordt toegelicht hoe het dynamisch model is opgebouwd en welke uitgangspunten gehanteerd zijn.

Figuur 2.3 Schematische weergave van het in SUMO gemodelleerde deel van de waterlijn van RWZI Amersfoort. De bruine pijlen tonen de stroom van het slib



Figuur 2.4 Schematische weergave van het in SUMO gemodelleerde deel van de sliblijn van RWZI Amersfoort. De bruine pijlen tonen de stroom van het slib



⁷ Daarnaast is onderzoek gedaan naar de hydraulische inpassing van de nieuwe anaerobe tank, de kosten en is een value case opgesteld, maar dit is niet relevant voor voorliggende studie.

2.2.2 BESCHRIJVING OPTIMALISATIES

Voor RWZI Amersfoort zijn voor dit STOWA rapport twee optimalisaties onderzocht, namelijk een verhoging van het droge stofgehalte en een aanpassing van de beluchtingsregeling in combinatie met een verhoogd droge stofgehalte.

VERHOOGING DROGE STOFGEHALTE

In deze optimalisatie is het effect van een hoger droge stofgehalte op de effluentkwaliteit onderzocht. In het gekalibreerde SUMO-model van RWZI Amersfoort wordt de slibafvoer geregeld op basis van het gemeten droge stofgehalte (uurdata) in de omloop als setpoint. Gemiddeld is dit een concentratie van 4,1 g ds/l. In deze optimalisatie is het droge stofgehalte (setpoint) verhoogd naar een vaste waarde van 5 g ds/l.

VERHOOGING DROGE STOFGEHALTE & AANPASSING VAN DE BELUCHTINGSREGELING EN INTERNE RECIRCULATIE

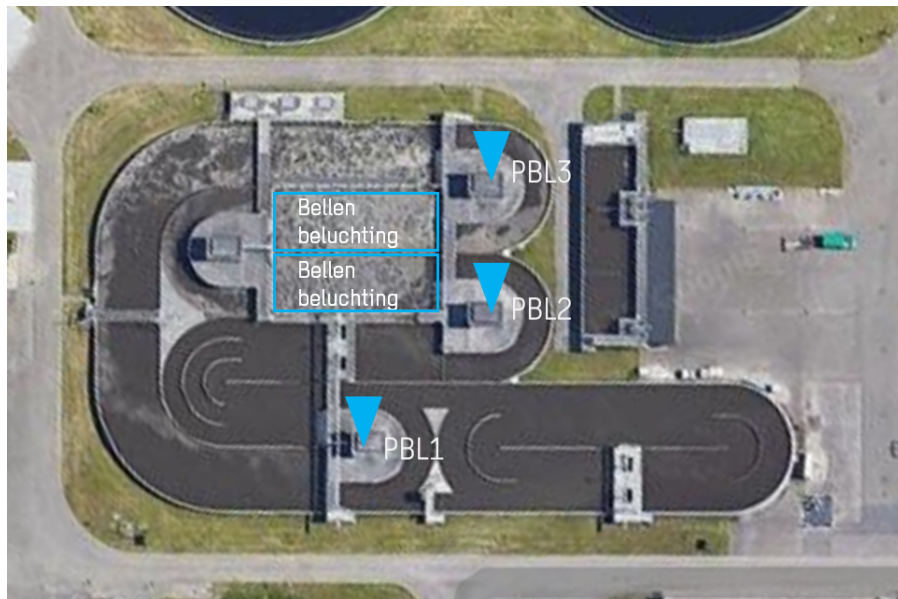
In deze optimalisatie is bekeken of extra zuurstofinbreng door aanpassing van de beluchtingsregeling kan bijdragen aan het behalen van een zomergemiddelde eis van $< 1 \text{ mg NH}_4\text{-N/l}$ waarbij jaargemiddeld het N-totaal kleiner blijft dan $10 \text{ mg N}_{\text{tot}}/\text{l}$. Hierbij is uitgegaan van de huidige beluchtingscapaciteit (van 3 puntbeluchters van 132 kW en bellenbeluchting van $461 \text{ kg O}_2/\text{h}$ in straat 1).

In de gekalibreerde versie wordt de bellenbeluchting in de omloop geregeld op basis van een ammonium setpoint van 2 mg N/l . In de aanvullende optimalisatie is dit aangepast naar een dynamische input. In de zomerperiode is het setpoint verlaagd naar $0,2 \text{ mg N/l}$, maar in de winterperiode blijft het setpoint 2 mg N/l .

Het setpoint van $0,2 \text{ mg N/l}$ is zo gekozen om het effect van maximale nitrificatie in de zomerperiode te zien. Daarnaast is het recirculatiedebiet naar de voordennitrificatie gewijzigd. In de kalibratieversie is deze geregeld op basis van uurdata van de verpompte debieten. In het geoptimaliseerde model is het maximale pompdebiet van $100.000 \text{ m}^3/\text{d}$ gehanteerd waardoor altijd maximaal wordt gerecirculeerd.

In het gekalibreerde SUMO model worden de drie puntbeluchters (PBL1, PBL2 en PBL3) in een matrix ingeschakeld op basis van het luchtdebiet in de bellenbeluchting, zie Figuur 2.5 voor een overzicht van de locatie van de beluchting op RWZI Amersfoort. De volgorde van inschakelen van de puntbeluchters is $3 - 2 - 1$, dit betekent dat PBL1 als laatste wordt ingeschakeld.

Figuur 2.5 **Overzicht van straat 1 van RWZI Amersfoort met de locatie van beluchting. Er zijn in totaal drie puntbeluchters (PBL) en twee velden met bellenbeluchting**



In de optimalisatie is puntbeluchter 3 altijd aan en puntbeluchter 1 is altijd uit. Puntbeluchter 2 schakelt op basis van het luchtdebiet van de bellenbeluchting, maar schakelt later in dan in de gekalibreerde versie (hogere grenswaarde gehanteerd).

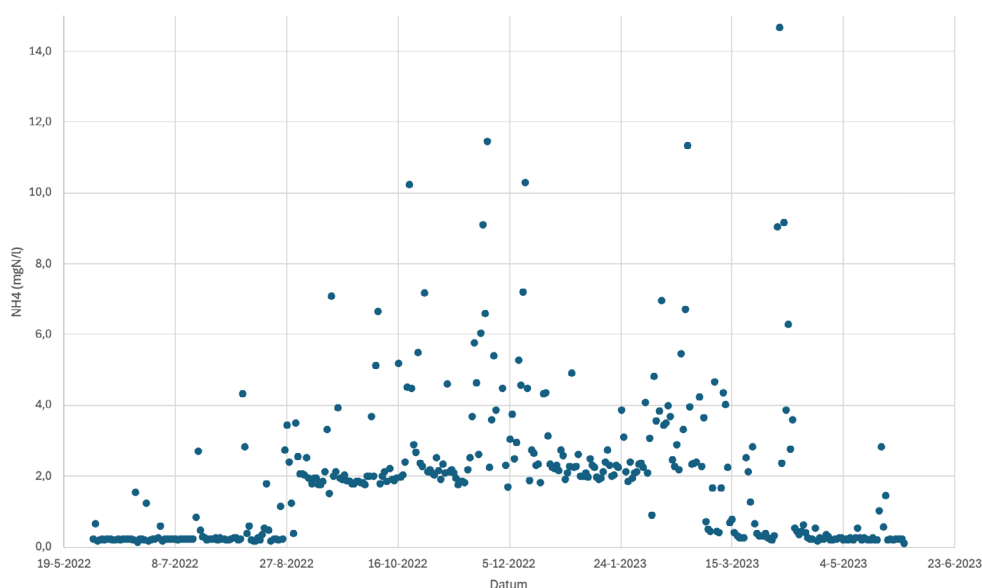
Aanvullend is de begrenzing van NO_3 en PO_4 weggehaald in de optimalisatie in vergelijking met de kalibratie. De nadruk is gelegd op het verwijderen van NH_4 .

Een overzicht van de aanpassingen is gegeven in Tabel 2.4 en in Figuur 2.6 wordt het ammoniumgehalte in het effluent gegeven, met zomergemiddeld een NH_4 concentratie van 1,0 mg N/l.

Tabel 2.4 **Aanpassingen toegepast op het kalibratiemodel van RWZI Amersfoort ten opzichte van het optimalisatiemodel voor de aanpassing aan zowel het droge stofgehalte als de beluchttingsregeling**

	Eenheid	Kalibratiemodel	Optimalisatiemodel
Ds-gehalte setpoint omloop voor surplusslib afvoer	g ds/l	4,1 (gemiddelde, dynamische input)	5 (vast setpoint)
Ammoniumsetpoint bellenbeluchting	mg N/l	2	0,2 in zomer, 2 in winter
Pompdebiet recirculatiepomp	m ³ /d	54.168 (gemiddelde, dynamische input)	100.000 (maximum)
Puntbeluchter 1 inschakelwaarde: (compartiment Oml1)	m ³ /d	48.000	Geen inschakelwaarde, altijd uit
Puntbeluchter 2 inschakelwaarde: (compartiment Oml5)	m ³ /d	40.000	50.000
Puntbeluchter 3 inschakelwaarde: (compartiment Oml9)	m ³ /d	35.000	Geen inschakelwaarde, altijd aan
Begrenzing NO_3 en PO_4	-	Aanwezig	Niet aanwezig

Figuur 2.6 Het ammoniumgehalte in het effluent met zomergemiddeld een NH_4 concentratie van 1,0 mg N/l na optimalisatie met de aanpassing zoals in Tabel 2.4



2.2.3 EFFECT VAN OPTIMALISATIES

In de simulatie is geen chemicaliëndosering voor P-verwijdering meegenomen, zodat het effect van de optimalisatie op de biologische P-verwijdering zichtbaar wordt. In de praktijk wordt fosfaat chemisch verwijderd.

VERHOOGING DROGE STOFGEHALTE

De aanpassing van het droge stofgehalte leidt tot een verbetering van het N-totaal gehalte in het effluent (- 8%), zoals gegeven in Tabel 2.5. Het P-totaal gehalte is in beide situaties erg vergelijkbaar waardoor wordt aangenomen dat er geen effect wordt verwacht van deze optimalisatie op het P-gehalte in het effluent.

VERHOOGING DROGE STOFGEHALTE & AANPASSING BELUCHTINGSREGELING

De aanpassingen gegeven in Tabel 2.4 leiden tot een verbeterde scheiding van de oxische en anoxische zones in de omloop. De compartimenten van de bellenbeluchting en puntbeluchter 3, en in mindere mate ook puntbeluchter 2, zijn aeroob. De overige compartimenten zijn anoxisch.

In Tabel 2.5 is zichtbaar dat de optimalisatie ervoor zorgt dat de gewenste concentratie van 1 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ in het effluent in de zomerperiode gehaald wordt. Er is een afname van NKj en toename van NO_x in het effluent. Het N-totaal blijft vrijwel gelijk aan de kalibratieversie. Dit betekent dat de huidige effluentkwaliteit op N-totaal behouden blijft bij deze optimalisatie, terwijl er wel een verandering in de verhouding van NH_4/NO_x plaatsvindt.⁸

Het P-totaal gehalte in het effluent neemt aanzienlijk toe door de veranderde aanpassingen vergeleken met de kalibratie. Dit komt doordat er altijd maximaal wordt gerecirculeerd naar de voordennitrificatie. Hierdoor is de voordennitrificatie altijd anoxisch door de verhoogde concentratie nitraat. In de kalibratieversie is de recirculatie naar de voordennitrificatie significant lager waardoor (voldoende) anaerobe zones ontstaan voor bio-P bacteriën. In de praktijk

⁸ De verschuiving in de verhouding is positief in geval het effluent wordt geloosd, aangezien het beter is om meer NO_x in het effluent te hebben dan NH_4 (ammoniak acuut toxisch voor vissen).

wordt fosfaat chemisch verwijderd dus zal er minimaal verschil worden waargenomen in het P-totaal gehalte in het effluent bij deze optimalisatie. Mocht er in de toekomst worden overwogen om fosfaat (volledig) biologisch te verwijderen dan is het gebrek aan anaerobe zones in de voordennitrificatie bij deze optimalisatie een aandachtspunt. Bij het verhogen van het slibgehalte is rekening gehouden met de toename in chemisch slib.

De beluchttingsregeling in de optimalisatie regelt alleen op ammonium, er is niet gekeken naar de begrenzingen van NO_3 en PO_4 zoals in de kalibratie. De begrenzingen op NO_3 en PO_4 zorgen ervoor dat de beluchting aangepast wordt op basis van de concentratie NO_3 en PO_4 . De regeling in de optimalisatie is een versimpelde versie van de werkelijke matrixregeling. Dit is geschikt om te controleren of de lage ammoniumconcentraties in de zomer haalbaar zijn, wat het geval is. Een regeling die de beluchting naast ammonium ook op nitraat en fosfaat regelt is gewenst in de praktijk. Voor toepassing in de praktijk zal dit verder onderzocht moeten worden.

Tabel 2.5 Jaargemiddelde effluentconcentraties RWZI Amersfoort in het gekalibreerde SUMO- model, het geoptimaliseerde SUMO-model met alleen een verhoogd droge stofgehalte en het geoptimaliseerde SUMO-model met een verhoogd droge stofgehalte, aangepaste beluchttingsregeling en maximale interne recirculatie

	Ntot mg N/l	NH ₄ -N zomer mg N/l	NKj mg N/l	NO _x mg N/l	Ptot mg P/l
Kalibratie RWZI Amersfoort.	7,6	3,9	4,7	2,9	2,6
Optimalisatie RWZI Amersfoort (alleen verhoogd DS-gehalte).	7,0	3,9	4,4	2,6	2,8
Optimalisatie RWZI Amersfoort (verhoogd DS-gehalte, aangepaste beluchttingsregeling en maximale interne recirculatie).	7,7	1,0	3,0	4,7	6,4

2.2.4 BENODIGDE NABEHANDELING

De aanvullende optimalisatie van RWZI Amersfoort is gericht op het verbeteren van de nitrificatie door aanpassing van de beluchttingsregeling. Dit betekent dat er door optimalisatie een verbeterde effluentkwaliteit kan worden bereikt zonder een kostbare ingreep aan de huidige installatie.

De nabehandeling is gebaseerd op de moving bed biofilm reactor (MBBR) voor NH_4 -N verwijdering uit STOWA 2024-27 (factsheet 23). Door deze zuiveringsstap wordt verwacht dat de NH_4 -N concentratie in de behandelde stroom wordt verlaagd naar 0,06 mg N/l. Wanneer 61% van de afloop van de nabezinktank in de gemodelleerde situatie wordt behandeld met deze filtratiestap, zal de NH_4 -N concentratie in het totale effluent in de zomer uitkomen op een vergelijkbare waarde als na optimalisatie.

In Tabel 2.6 is dit samengevat; de concentraties van de referentiesituatie met de MBBR en de situatie na alleen optimalisatie laten een verbetering zien van ammonium tot ongeveer NH_4 -N = 1,0 mg N/l in het zomerhalfjaar.

Tabel 2.6 Vergelijking van de benodigde nabehandeling (met en zonder optimalisatie)

		Referentie	Optimalisatie
Concentratie afloop NBT			
- NH ₄ -N zomer	mg/l	3,9	1,0
Aanpassing optimalisatie		-	Hoger DS-gehalte, max interne recirculatie en aangepaste beluchttingsregeling
Nabehandeling			
Type	-	MBBR voor NH ₄ -N verwijdering	-
Ontwerpdebiet	m ³ /h	11.300	-
Totaal behandeld debiet per jaar	m ³ /jr	5.000.000	-
% behandeld t.o.v. totaal jaardebiet	%	61	-
Concentratie totaal effluent			
- NH ₄ -N zomer	mg/l	1,0	1,0

In Tabel 27 is inzichtelijk gemaakt wat de jaarlijkse kosten en de CO₂-voetafdruk van de nabehandeling zijn. De kosten voor de nabehandeling is ongeveer € 200.000 per jaar. De CO₂-voetafdruk bestaat bijna volledig uit energie. Voor de aanpassing van de beluchttingsregeling in de optimalisatie zijn weliswaar geen kostbare ingrepen in de installatie benodigd, wel is aanvullend energie nodig voor de extra beluchting voor nitrificatie.

Tabel 2.7 Kosten en CO_{2eq}-voetafdruk van de benodigde nabehandeling voor de referentiesituatie

	Referentie
Ontwerpdebiet	m ³ /h 11.300
Totaal behandeld debiet per jaar	m ³ /jr 5.000.000
% behandeld t.o.v. totaal jaardebiet	% 61
Totale jaarlijkse kosten (CAPEX+OPEX)*	€/j 200.000
CO _{2eq} -voetafdruk**	ton CO _{2eq} /j 135

* Berekend met het gemiddelde van de specifieke kosten tussen 0,03 en 0,05 €/ m³ behandeld

** Berekend met de specifieke voetafdruk van 27 g CO_{2eq}/m³ behandeld, hierbij is aangegeven dat 3-4 % uit materialen bestaat en 96-97% uit energie.

Bron: STOWA 2024-27, factsheet 23.

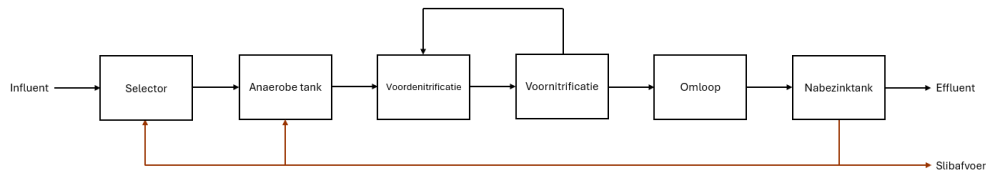
2.3 RWZI HELLEVOETSLUIS

2.3.1 ACHTERGROND

RWZI Hellevoetsluis is een zuivering van waterschap Hollandse Delta met een ontwerpcapaciteit van 108.000 i.e., een Hoogvliet systeem met één straat⁹. De instroom is 90% communaal afvalwater en 10% industrieel. Het industriële afvalwater is afkomstig van een aardappelverwerkend bedrijf, en bevat nitraat. In de toekomst krijgt RWZI Hellevoetsluis te maken met een scherpere effluenteis qua totaal stikstof van kleiner dan 4,2 mg/l. De gemiddelde N-totaal effluentconcentratie van de meetperiode die is meegenomen in het model is 4,9 mg/l. SUMO is gebruikt om te onderzoeken of de lagere effluenteis gehaald kan worden met het huidige systeem. In Bijlage 4 is de handreiking in 'STOWA XXX' gevolgd om te komen tot een gekalibreerd SUMO-model voor RWZI Hellevoetsluis. Hierin wordt toegelicht hoe het dynamisch model is opgebouwd en welke uitgangspunten gehanteerd zijn.

- ⁹ Een Hoogvlietsysteem is een optimalisatie van het PhoRedox-systeem, waarbij recirculatie van een nitrificatietank naar een voordennitrificatietank plaatsvindt. Deze nitrificatietank is het eerste onderdeel van de beluchting in het proces, waardoor de recirculatiestroom relatief veel nitraat bevat. Zie Stowa 2007-24 paragraaf 2.6 voor meer informatie over dit systeem.

Figuur 2.7 Schematische weergave van het in SUMO gemodelleerde deel van de waterlijn van RWZI Hellevoetsluis. De bruine pijlen tonen de stroom van het slib



2.3.2 BESCHRIJVING OPTIMALISATIE

Er is onderzocht wat het effect is als er meer wordt genitrificeerd in de voornitrificatie en minder wordt belucht in de omloop. De beluchtingsregeling in de voornitrificatie is in werkelijkheid geregeld met een ammonium/zuurstofregeling zoals gegeven in Tabel 2.8. Het zuurstofsetpoint in compartiment VN6 wordt bepaald op basis van de gemeten ammoniumconcentratie in compartiment VN8.

De kalibratie/validatie in het SUMO model is gedaan met een andere regeling dan gegeven in Tabel 28. Die resultaten komen beter overeen met de werkelijkheid. In deze regeling wordt de ingebrachte hoeveelheid lucht in de voornitrificatie gestuurd met de gemeten ammoniumconcentraties als dynamische input (sensordata). In de optimalisatie is dit aangepast naar een vast ammoniumsetpoint van 2 mg N/l om meer te nitrificeren in de voornitrificatie.

Tabel 2.8 Werkelijke beluchtingsregeling in de voornitrificatie van RWZI Hellevoetsluis. Het zuurstofsetpoint wordt bepaald op basis van de gemeten NH_4 -concentratie

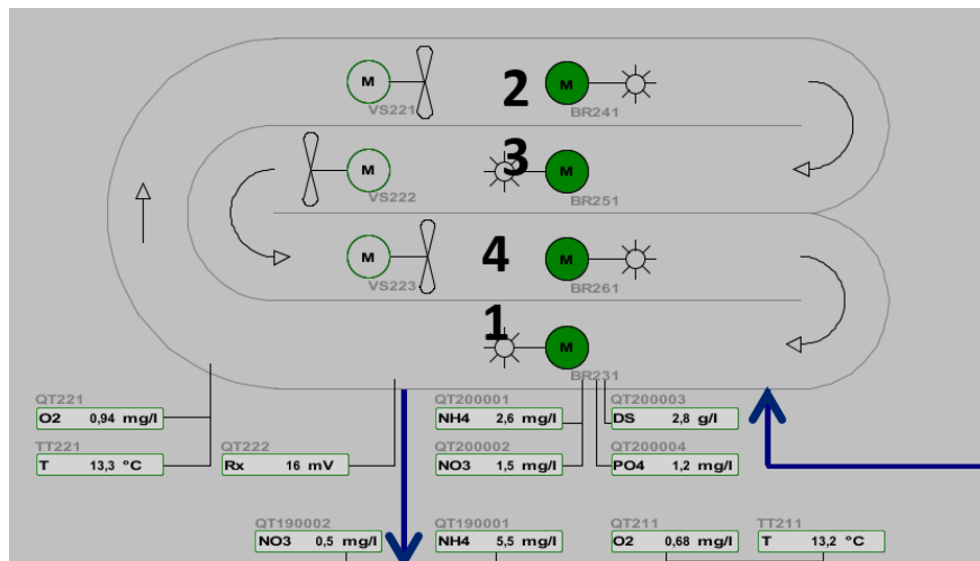
Gemeten NH_4 -concentratie [mg N/l]	Zuurstofsetpoint [mg O_2 /l]
<1	0,10
1 t/m 2	0,15
2 t/m 3	0,20
3 t/m 4	0,30
4 t/m 5	0,40
5 t/m 6	0,50
6 t/m 7	0,60
7 t/m 8	0,70
8 t/m 9	0,80
9 t/m 10	0,90
10 t/m 11	1,05
11 t/m 12	1,20
12 t/m 13	1,35
13 t/m 14	1,50
> 14	1,75

Daarnaast is de hoeveelheid beluchting in de omloop verminderd in de optimalisatie van RWZI Hellevoetsluis. In de huidige situatie zijn er in de omloop vier borstelbeluchters die in een specifieke volgorde aan/ uit worden geschakeld op basis van de ammoniumconcentraties en een zuurstofsetpoint. De volgorde van het inschakelen van de borstelbeluchters is 4, 2, 3 en 1, volgens de nummering gegeven in Figuur 28. Het gekalibreerde SUMO-model bevat een versimpelde beluchtingsregeling op basis van een vast DO-setpoint van 0,35 mg O_2 /l voor Borstelbeluchter 4 met een maximale 'Wire power of aeration system' van 30 kW. Borstelbeluchters 2, 3 en 1 worden bijgeschakeld als Borstelbeluchter 4 boven een bepaalde grenswaarde komt (respectievelijk 19 kW, 22 kW en 27 kW). De modelmatige grenswaarden zijn afgeleid op basis van het in de

praktijk opgenomen vermogen (kW). In de optimalisatie is alleen Borstelbeluchter 4 actief om een grote anoxische zone te modelleren in de omloop.

Figuur 2.8

Nummering borstelbeluchters omloop RWZI Hellevoetsluis. De locaties van de verschillende sensoren zijn aangegeven met zwarte lijnen. Met de blauwe pijlen is de locatie van de toe- en afvoer van afvalwater aangegeven



2.3.3 EFFECT VAN OPTIMALISATIE

De verplaatsing van de beluchting van de omloop naar de nitrificatietank leidt tot een verlaging van de N-totaal in het effluent (zie Tabel 29). Dit komt door de afname van $\text{NO}_x\text{-N}$ in het effluent. Er is een lichte toename in de concentratie $\text{NH}_4\text{-N}$ in het effluent.

Tabel 2.9

Jaargemiddelde effluentconcentraties RWZI Hellevoetsluis in het gekalibreerde en het geoptimaliseerde SUMO-model

	Ntot mg N/l	$\text{NH}_4\text{-N}$ mg N/l	$\text{NO}_x\text{-N}$ mg N/l
Kalibratie RWZI Hellevoetsluis (huidige situatie)	5,2	2,3	2,2
Optimalisatie RWZI Hellevoetsluis (beluchting verplaatst van omloop naar nitrificatietank)	3,8	2,8	0,4

De hoeveelheid beluchting in de voornitrificatie in de geoptimaliseerde situatie ten opzichte van de huidige situatie is 15% hoger. De beluchting in de omloop neemt af met 54%.¹⁰

2.3.4 BENODIGDE NABEHANDELING

De optimalisatie van RWZI Hellevoetsluis is gericht op het verbeteren van de N-totaal concentratie in het effluent door aanpassing van de beluchtings-regeling. Dit betekent dat er door deze optimalisatie een verbeterde effluentkwaliteit kan worden bereikt zonder een kostbare ingreep aan de huidige installatie.

De nabehandeling is gebaseerd op vastbed mediafiltratie voor $\text{NO}_x\text{-N}$ en $\text{PO}_4\text{-P}$ verwijdering uit STOWA 2024-27 (factsheet 15). In STOWA 2024-27 is geen apart denitrificerend zandfilter opgenomen, waardoor gekozen is voor deze combinatie.

¹⁰ Percentages zijn hier gegeven, omdat de absolute waarden niet correct zijn. De efficiëntie van luchtinbreng is niet meegenomen in de kalibratie. De afname van de beluchting in de omloop (puntbeluchters) is berekend met behulp van de 'Wire power of aeration system' in SUMO. In de optimalisatie is slechts één borstelbeluchter actief in plaats van vier.

Door deze filtratiestap wordt verwacht dat de N-totaal concentratie in de behandelde stroom wordt verlaagd naar 3,8 mg N/l. Wanneer 43% van de afloop nabezinktank in de gemodelleerde situatie wordt behandeld met deze filtratiestap, zal de N-totaal concentratie in het totale effluent uitkomen op een vergelijkbare waarde als na optimalisatie.

In Tabel 210 is dit samengevat; de concentraties van de referentiesituatie met zandfilter en de situatie na alleen optimalisatie laten een verbetering van N-totaal zien tot ongeveer N-totaal is 3,8 mg/l.

Tabel 2.10 **Vergelijking van de benodigde nabehandeling (met en zonder optimalisatie)**

		Referentie	Optimalisatie
Concentratie afloop NBT			
- N-totaal	mg N/l	5,2	3,8
Aanpassing optimalisatie		-	Beluchttingsregeling
Nabehandeling			
Type	-	Zandfilter + methanol en metaalzoutdosering	-
Ontwerpdebiet	m ³ /h	14.000	-
Totaal behandeld debiet per jaar	m ³ /jr	4.500.000	-
% behandeld t.o.v. totaal jaardebiet	%	43	-
Concentratie totaal effluent			
- N-totaal	mg N/l	3,8	3,8

In Tabel 2.11 is inzichtelijk gemaakt wat de jaarlijkse kosten en de CO₂-voetafdruk van de nabehandeling zijn. De kosten voor de nabehandeling is ongeveer € 820.000 per jaar. De CO₂-voetafdruk van de nabehandeling bestaat voor een groot deel uit extra slibverwerking en hulpstoffen die bij de optimalisatie niet nodig zijn. Dit betekent dat de optimalisatie een gunstigere CO₂-voetafdruk heeft dan de nabehandeling.

Tabel 2.11 **Kosten en CO_{2eq}-voetafdruk van de benodigde nabehandeling voor de referentiesituatie**

		Referentie
Ontwerpdebiet	m ³ /h	14.000
Totaal behandeld debiet per jaar	m ³ /jr	4.500.000
% behandeld t.o.v. totaal jaardebiet	%	43
Totale jaarlijkse kosten (CAPEX+OPEX)*	€/j	820.000
CO _{2eq} -voetafdruk**	ton CO _{2eq} /j	383

* Berekend met het gemiddelde van de specifieke kosten tussen 0,13 en 0,23 €/ m³ behandeld.

** Berekend met de specifieke voetafdruk van 84 g CO_{2eq}/m³ behandeld, hierbij is aangegeven dat 5-8 % uit materialen bestaat, 8% slibeindverwerking, 66-68% uit hulpstoffen en 18-19% uit energie.

Bron: STOWA 2024-27, factsheet 15.

2.4 RWZI WINTERSWIJK

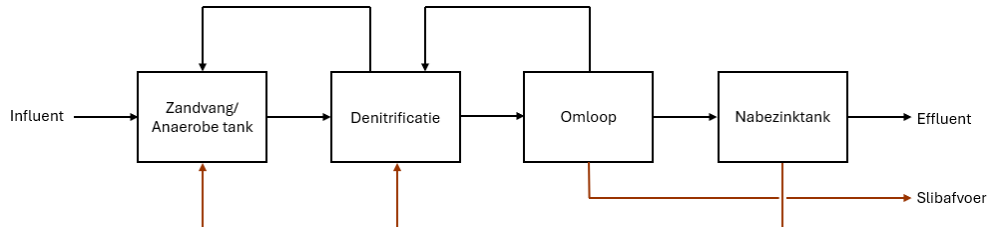
2.4.1 ACHTERGROND

RWZI Winterswijk is een zuivering van waterschap Rijn en IJssel van 85.000 i.e. met een UCT-systeem (zie Figuur 29 voor een schematische weergave van de waterlijn). De aanvoer bestaat voor 70% uit communaal water en voor 30% uit industrieel water. De jaargemid-

delde effluentkwaliteit in de onderzochte periode van ammonium was 0,86 mg N/l¹¹. Het is gewenst om te onderzoeken of dit verlaagd kan worden. In het effluent is er sprake van ammoniumpieken, dus mogelijk kunnen deze afgevlakt worden om de gemiddelde ammoniumconcentratie in het effluent te verlagen. Zie Bijlage 5 voor de opzet van het gekalibreerde en gevalideerde model van deze case. Hierin wordt toegelicht hoe het dynamisch model is opgebouwd en welke uitgangspunten gehanteerd zijn,

Figuur 2.9

Schematische weergave van het in SUMO gemodelleerde deel van de waterlijn van RWZI Winterswijk. De bruine pijlen tonen de stroom van het slib



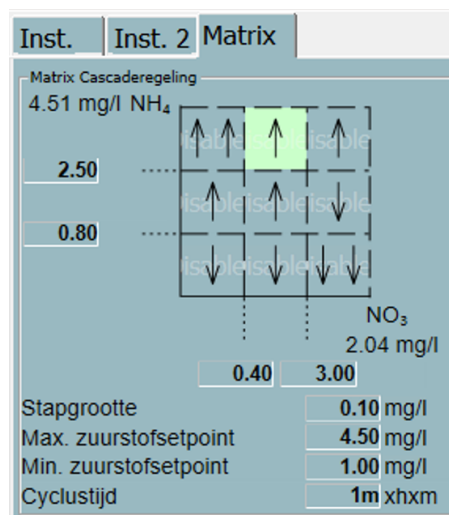
2.4.2 BESCHRIJVING OPTIMALISATIE

De onderzochte maatregel om de ammoniumconcentratie te verlagen die is besproken met het waterschap is een aanpassing in de beluchtingsregeling. In RWZI Winterswijk wordt gebruik gemaakt van een matrix cascaderегeling die het DO setpoint aanpast op basis van de ammonium- en nitraatconcentratie.

De matrix is gegeven in Figuur 2.10. Het DO-setpoint wordt verhoogd of verlaagd met 0,1 mg/l (bij één pijl) of met 0,2 mg/l (bij twee pijlen). In de matrix is zichtbaar of het DO setpoint wordt verlaagd (pijl naar beneden) of wordt verhoogd (pijl naar boven). Dit is afhankelijk van de actuele gemeten NH_4 concentratie (verticale as) en NO_3 concentratie (horizontale as). Elke minuut wordt het DO setpoint gewijzigd. Het DO-setpoint wordt begrensd op maximaal 4,5 mg/l en minimaal 1 mg/l.

Figuur 2.10

Matrix cascaderегeling DO-setpoint aeratiecircuit RWZI Winterswijk



11 Na het kalibreren van het dynamische model kwam naar voren dat de effluentbemonstering na een nageschakelde trap (een belucht actief koolfilter) plaatsvindt. De nabehandeling is niet opgenomen in het dynamische model en daardoor kan de modelmatige effluentkwaliteit niet goed worden gekalibreerd met de praktijk. Om deze reden is bij het kalibreren de nadruk gelegd op het matchen van de modelmatige resultaten met de ammonium (en nitraat) concentratie in de biologie (de sensordata). De optimalisatieresultaten zijn vervolgens ook vergeleken met de ammonium (en nitraat) concentratie in de biologie.

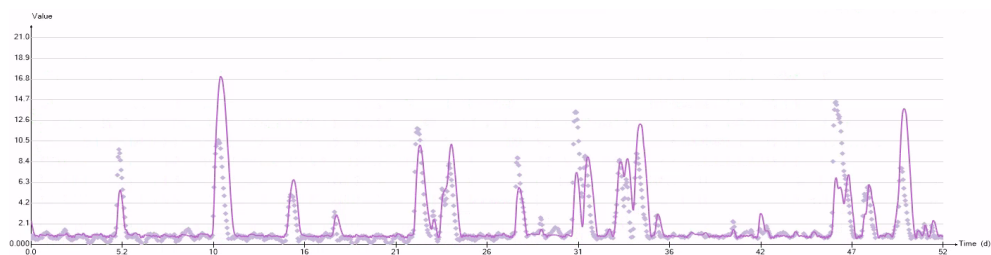
De maatregel die onderzocht wordt, is een verlaging van de ammoniumconcentraties in de matrixregeling. De ammoniumconcentraties van 0,8 mg/l en 2,5 mg/l in Figuur 2.10 zullen worden aangepast naar 0,5 mg/l en 1 mg/l.

Daarnaast wordt onderzocht wat de effecten zijn van extra beluchtingscapaciteit in de omloop op de ammoniumpieken.

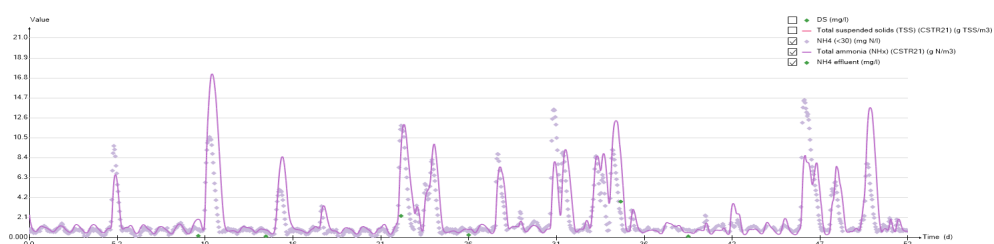
2.4.3 EFFECT VAN OPTIMALISATIE

De aanpassing van de beluchtingsregeling leidt niet tot een aanzienlijke verlaging van de ammoniumpieken. Dit is zichtbaar als de ammoniumpieken in Figuur 2.11 (gekalibreerd model) en Figuur 2.12 (model met aangepaste beluchtingsregeling) vergeleken worden. De simulatie wordt voor een periode van 52 dagen getoond zodat de meetwaarden en modelresultaten goed zichtbaar zijn. Indien een heel jaar aan data wordt getoond is de dataresolutie te hoog waardoor verschillen, een verbetering/ verslechtering van de resultaten, niet goed zichtbaar zijn.

Figuur 2.11 De gemodelleerde NH_4 -concentraties (roze lijn) en gemeten NH_4 -concentraties (paarse punten) in de beluchte omloop (07) gedurende de eerste 52 dagen van de kalibratie van RWZI Winterswijk. De NH_4 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)

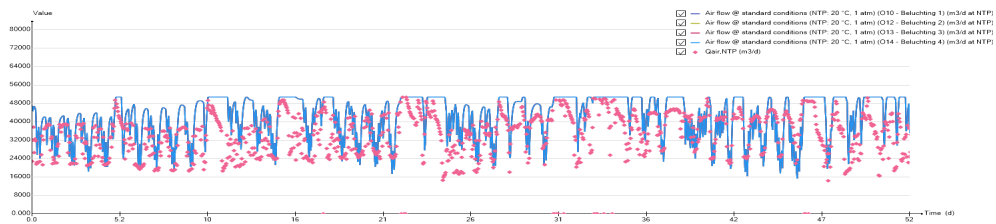


Figuur 2.12 De gemodelleerde NH_4 -concentraties (roze lijn) en gemeten NH_4 -concentraties (paarse punten) in de beluchte omloop (07) gedurende de eerste 52 dagen van het model van RWZI Winterswijk met aangepaste beluchtingsregeling. De NH_4 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



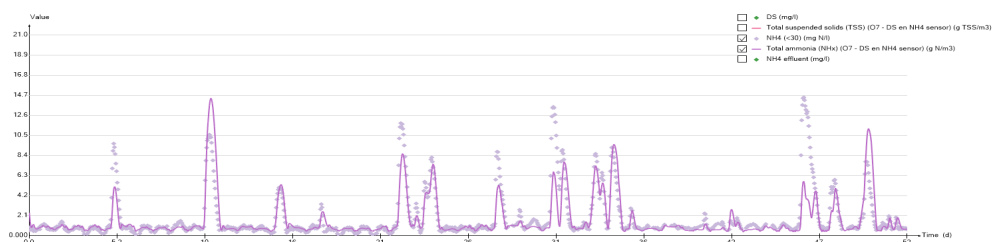
De beluchting van elk van de vier beluchtingselementen in de omloop is in bovenstaande simulaties gelimiteerd op 2.117 m³/h (50.800 m³/dag), zoals het werkelijke maximum. De gemodelleerde en gemeten beluchting van het gekalibreerde model is gegeven in Figuur 2.13. Daar is zichtbaar dat het maximum vaak wordt bereikt.

Figuur 2.13 De gemodelleerde beluchting (blauwe lijn) en gemeten beluchting (roze punten) in de beluchte omloop gedurende de eerste 52 dagen van het gekalibreerde model van RWZI Winterswijk. De beluchting is gegeven in m³/dag (y-as). De beluchting van slechts één van de vier beluchte compartimenten (010, 012, 013 en 014) is weergegeven. Ze zijn alle vier identiek

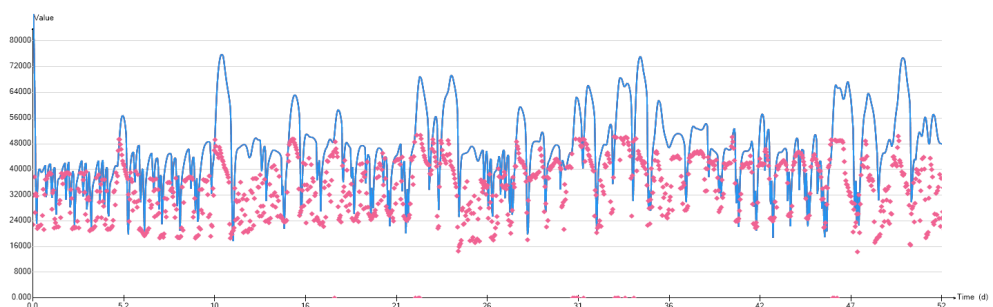


Het wegnemen van het maximum van de beluchting geeft inzicht in het effect van meer beluchting. Dit leidt tot een aanzienlijke verlaging van de ammoniumpieken in de gemodelleerde data. Dit is zichtbaar als het gekalibreerde model (Figuur 2.11) wordt vergeleken met het geoptimaliseerde model (Figuur 2.14). In Figuur 2.15 is zichtbaar hoeveel extra beluchting nodig is om de ammoniumpieken af te vlakken in die periodes.

Figuur 2.14 De gemodelleerde NH₄-concentraties (roze lijn) en gemeten NH₄-concentraties (paarse punten) in de beluchte omloop (07) gedurende de eerste 52 dagen van het geoptimaliseerde model van RWZI Winterswijk (met aangepaste beluchttingsregeling en extra beluchttingscapaciteit in de omloop)



Figuur 2.15 De gemodelleerde beluchting (blauwe lijn) en gemeten beluchting (roze punten) in de beluchte omloop gedurende de eerste 52 dagen van het geoptimaliseerde model van RWZI Winterswijk (aangepaste beluchttingsregeling en extra beluchttingscapaciteit). De beluchting is gegeven in m³/dag (y-as). De beluchting van slechts één van de vier beluchte compartimenten (010, 012, 013 en 014) is weergegeven. Ze zijn alle vier identiek



De jaargemiddelde concentraties van het gekalibreerde en geoptimaliseerde model zijn gegeven in Tabel 2.12. De afname van de ammoniumpieken is ook zichtbaar in de jaargemiddelde NH₄-N concentratie. De concentratie is afgenomen van 1,8 mg N/l naar 1,2 mg N/l. De NO_x-N concentratie is wel toegenomen en dit geeft een lichte toename in de N-totaal concentratie.

Tabel 2.12 Jaargemiddelde effluentconcentraties RWZI Winterswijk in het gekalibreerde en het geoptimaliseerde SUMO-model (met aangepaste beluchtingsregeling en extra beluchtingscapaciteit)

	N _{tot} mg N/l	NH ₄ -N mg N/l	NO _x -N mg N/l
Kalibratie RWZI Winterswijk (huidige situatie)	3,2	1,8	0,7
Optimalisatie RWZI Winterswijk (aangepaste beluchtingsregeling en extra beluchtingscapaciteit)	3,5	1,2	1,4

De gewenste afname van de ammoniumpieken is niet te realiseren met de voorgestelde aanpassing aan de beluchtingsregeling en de huidige beluchtingscapaciteit, maar wel met een uitbreiding van de beluchtingscapaciteit. Dit leidt tot een afname van NH₄-N in het effluent en een toename van de hoeveelheid NO_x-N in het effluent. Voor een verlaging van de NO_x-N concentratie en de N-totaal concentratie in het effluent zijn aanvullende maatregelen nodig, hierbij kan worden gedacht aan het optimaliseren van de recirculatie. In deze studie is de nadruk gelegd op het verlagen van de ammonium concentratie door middel van aanpassingen in de beluchtingsregeling en/of -capaciteit. Er is verder geen onderzoek gedaan naar aanvullende optimalisaties ten behoeve van het (verder) verlagen van het NH₄-gehalte en N-totaal verbetering in het effluent.

2.4.4 BENODIGDE NABEHANDELING

De optimalisatie van RWZI Winterswijk is gericht op het verminderen van de NH₄-pieken in het effluent door de aanpassing van de beluchtingsregeling en door uitbreiding van de beluchtingscapaciteit.

Dit betekent dat voor deze optimalisatie een investering nodig is. De uitbreiding van de beluchtingscapaciteit is niet in een factsheet uitgewerkt in STOWA 2024-27 en het ramen van de deze kosten zit niet in de scope van deze studie. Het is daarom alleen mogelijk om de benodigde nabehandeling voor de referentie op hoofdlijnen inzichtelijk te maken, zonder vergelijking van de meerkosten en de totale CO₂-voetafdruk.

De nabehandeling voor de referentiesituatie is gebaseerd op MBBR voor NH₄-N verwijdering uit STOWA 2024-27 (factsheet 23). Door deze zuiveringsstap wordt verwacht dat de NH₄-N concentratie in de behandelde stroom wordt verlaagd naar 0,06 mg N/l. Wanneer 29% van de afloop nabezinktank in de gemodelleerde situatie wordt behandeld met deze filtratiestap, zal de NH₄-N concentratie in het totale effluent uitkomen op een vergelijkbare waarde als na optimalisatie.

In Q1 van 2025 heeft waterschap Rijn en IJssel een combinatie van ozon gevolgd door biologische actieve koolfiltratie met coagulatie op RWZI Winterswijk in bedrijf genomen. Deze technologie dient zowel het doel verlaging van de concentratie nutriënten in het kader van de KRW als de verwijdering van microverontreinigingen. Om het vergelijk op de verwijdering van NH₄-N tussen de optimalisatie via dynamische modellering en een nabehandeling op een doel te houden (NH₄-N verwijdering), is voor de benodigde nabehandeling in dit rapport de MBBR gekozen.

In Tabel 2.2 is dit samengevat; de concentraties van de referentiesituatie met een MBBR en de situatie na alleen optimalisatie laten een verbetering zien van NH₄-N zien tot ongeveer NH₄-N jaargemiddeld = 1,2 mg N/l.

Tabel 2.13 **Vergelijking van de benodigde nabehandeling (met en zonder optimalisatie).**

		Referentie	Optimalisatie
Concentratie afloop NBT			
- NH ₄ -N jaargemiddeld	mg N/l	1,8	1,2
Aanpassing optimalisatie		-	Beluchttingsregeling
Nabehandeling			
Type	-	MBBR voor NH ₄ -N verwijdering	-
Ontwerpdebiet	m ³ /h	4.000	-
Totaal behandeld debiet per jaar	m ³ /jr	1.460.000	-
% behandeld t.o.v. totaal jaardebiet	%	29	-
Concentratie totaal effluent			
- NH ₄ -N jaargemiddeld	mg N/l	1,2	1,2

Op basis van STOWA 2024-27 is in Tabel 2.3 inzichtelijk gemaakt wat de jaarlijkse kosten en de CO₂-voetafdruk van de nabehandeling zijn. De kosten komen neer op ongeveer € 58.000 per jaar. Het is niet mogelijk om de kosten van de optimalisatie en de nabehandeling onderling te vergelijken, aangezien de kostenraming van extra beluchting buiten de scope van deze studie valt.

De CO₂-voetafdruk van de nabehandeling bestaat bijna volledig uit energie. Ook voor de optimalisatie is aanvullend energie nodig voor de extra beluchting.

Tabel 2.14 **Kosten en CO_{2eq}-voetafdruk van de benodigde nabehandeling voor de referentiesituatie.**

	Referentie
Ontwerpdebiet	m ³ /h 4.000
Totaal behandeld debiet per jaar	m ³ /jr 1.460.000
% behandeld t.o.v. totaal jaardebiet	% 29
Totale jaarlijkse kosten (CAPEX+OPEX)*	€/j 58.000
CO _{2eq} -voetafdruk**	ton CO _{2eq} /j 39

* Berekend met het gemiddelde van de specifieke kosten tussen 0,03 en 0,05 €/ m³_{behandeld}.

** Berekend met de specifieke voetafdruk van 27 g CO_{2eq}/m³_{behandeld}, hierbij is aangegeven dat 3-4 % uit materialen bestaat en 96-97% uit energie.

Bron: STOWA 2024-27, factsheet 23.

3

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

3.1 CONCLUSIES

In dit rapport zijn vier cases gepresenteerd om inzicht te geven in de toepassing van dynamische modellering voor de optimalisatie van rwzi's. Er zijn vier rwzi's doorgerekend van verschillende groottes, configuraties en effluentconcentraties. Het gaat om de volgende cases:

- RWZI Bergambacht (8.800 i.e.) had een gemiddelde P-totaal effluentconcentratie van 1,2 mg P/l gedurende de onderzochte periode (kalibratiemodel). In een eerdere studie zijn verschillende maatregelen onderzocht om de P-lozing te verlagen, namelijk een verhoging van de chemicaliëndosering, een grotere anaerobe tank (ANT), een verhoging van het droge stofgehalte en het aanpassen van het influent insteekpunt. In dit rapport is het effect van een grotere anaerobe tank (300 m³ in plaats van 21 m³ contacttank) in combinatie met een geoptimaliseerd retourslibdebiet onderzocht. Dit resulteert in een verlaging van de P-totaal effluentconcentratie naar 0,5 mg P/l (- 60%). Het N-totaal gehalte in het effluent verslechtert echter bij deze maatregel. Om dit te voorkomen is aanvullend onderzoek nodig.
- RWZI Amersfoort (304.000 i.e.) had een zomer gemiddelde NH₄-N effluentconcentratie van 3,9 mg N/l gedurende de onderzochte periode (kalibratiemodel). In een eerdere studie zijn verschillende maatregelen onderzocht ten behoeve van het verbeteren van het N-totaal en P-totaal gehalte in het effluent. Namelijk een bypass van primair slib langs Wasstrip®, het invoeren van een navergister, het aanpassen van de deelstroombehandeling met Demon, het wijzigen van de bedrijfsvoering van de waterlijn en de nieuwbouw van een anaerobe tank. In dit rapport is het effect van een verhoogd droge stofgehalte in de omloop onderzocht en het effect van een verhoogd droge stofgehalte in combinatie met een aangepaste beluchtingsregeling. De verhoging van het droge stofgehalte leidt tot een lichte daling van N-totaal, maar niet tot een daling van het ammoniumgehalte. Met SUMO is aangetoond dat de verhoging van het droge stofgehalte in combinatie met een aangepaste beluchtingsregeling kan leiden tot de gewenste verlaging van NH₄-N in de zomer tot 1,0 mg N/l (- 75%). Het N-totaal gehalte blijft hierbij vergelijkbaar met de referentiesituatie.
- RWZI Hellevoetsluis (108.000 i.e.) had een gemiddelde N-totaal effluentconcentratie van 5,2 mg N/l in de onderzochte periode (kalibratiemodel). De onderzochte maatregel is zoveel mogelijk nitrificeren in de voornitrificatie en voornamelijk denitrificeren in de omloop (een vermindering van de beluchting in de omloop). De aanpassing resulteert in een verlaagde N-totaal concentratie van 3,8 mg N/l (- 35%).
- RWZI Winterswijk (85.000 i.e.) had een jaargemiddelde NH₄-N effluentconcentratie van 1,8 mg N/l, met hoge NH₄-N pieken. De onderzochte maatregel is een aanpassing in de beluchtingsregeling om de NH₄-N pieken te verlagen. De aanpassing van de regeling leidt niet tot de gewenste verlaging. Een toename van de beluchtingscapaciteit leidt wel tot een verlaging van de NH₄-N pieken in het effluent, wat weer resulteert in een verlaagde jaargemiddelde NH₄-N effluentconcentratie van 1,2 mg N/l (- 30%). Het N-totaal gehalte verslechtert echter bij deze maatregel door een toename in het NO_x-gehalte. Om dit te voorkomen is aanvullend onderzoek nodig.

In bovenstaande cases heeft dynamische simulatie met SUMO meerwaarde geboden ten opzichte van een statisch model om verschillende redenen. Met dynamische simulatie is het bijvoorbeeld mogelijk:

- Om de verdeling van anoxische en oxische zones gericht aan te passen door middel van compartimentering en de beluchttingsregeling, zoals aangetoond bij cases RWZI Amersfoort en RWZI Hellevoetsluis.
- Om inzicht te krijgen in variaties in concentraties op uur-niveau in de gehele waterlijn om vervolgens pieken af te vlakken, zoals aangetoond bij case RWZI Winterswijk.
- Om het effect van variatie in het retourslibdebiet op de effluentkwaliteit na te gaan zoals bij de case RWZI Bergambacht. Bij HSA wordt uitgegaan van optimale recirculatie (zijnde interne recirculatie + retourslibdebiet) en bij dynamische simulatie kan dit separaat worden gevarieerd en onderzocht.

Met SUMO kunnen optimalisaties “solitair” worden onderzocht welke in de praktijk nauwelijks mogelijk zijn. In de praktijk zijn er altijd andere wijzigingen (zoals bijvoorbeeld veranderingen in influent) welke evaluatie van het effect van de optimalisatie moeilijk maken.

Daarnaast is inzichtelijk gemaakt hoe waterschappen door optimalisatie meer uit hun bestaande assets kunnen halen en zo een nabehandeling nodig om effluenteisen (als voor KRW) te behalen minder groot of met minder hulpstoffen kan worden gedimensioneerd.

De kostenbesparing van een optimalisatie van de huidige zuivering ten opzichte van een nabehandeling hangt enerzijds sterk af van de kosten benodigd voor de optimalisatie en anderzijds van het kostenniveau van de nabehandeling. MBBR voor $\text{NH}_4\text{-N}$ verwijdering bijvoorbeeld is een goedkopere oplossing dan een nitrificerend zandfilter. Bij de optimalisatie van RWZI Hellevoetsluis en RWZI Amersfoort is in de uitgewerkte case een kostenvoordeel gerealiseerd. Voor RWZI Bergambacht en RWZI Winterswijk zijn de kosten niet te vergelijken, omdat de kosten voor de optimalisatie niet zijn berekend in deze studie.

Met betrekking tot duurzaamheid is het effect van een optimalisatie ten opzichte van een nabehandeling situatieafhankelijk. Een anaerobe tank, zoals gebruikt bij RWZI Bergambacht, heeft operationeel gezien een gunstigere CO_2 -voetafdruk dan een zandfilter met metaalzout-dosering voor het verlagen van P-totaal. Ook op RWZI Hellevoetsluis is de CO_2 -voetafdruk van de optimalisatie gunstiger dan van de nabehandeling. Dit verschil komt met name door het gebruik van hulpstoffen en de slibverwerking die nodig zijn bij de nabehandeling en niet bij de optimalisatie. Bij RWZI's Amersfoort en Winterswijk vergt zowel de beluchting in de hoofdstroom als in de nabehandeling energie om NH_4 te verlagen, wat leidt tot een bijbehorende CO_2 -voetafdruk. Op basis van het detailniveau van de vergelijking in deze studie is het niet mogelijk een uitspraak te doen of een van beide CO_2 -voetafdrukken (voor optimalisatie of nabehandeling) gunstiger is.

3.2 AANBEVELINGEN

De volgende aanbevelingen worden gedaan.

1. Om een verbeterde effluentkwaliteit te bereiken wordt aanbevolen om eerst met dynamische modellering zoals SUMO te kijken naar optimalisaties die met de huidige installatie kunnen worden bereikt. Een goed voorbeeld hiervan is de optimalisatie van regelingen.
2. Indien blijkt dat alsnog aanvullende en kostbare maatregelen nodig zijn, wordt aanbevolen om deze in samenhang met de optimalisatie van de huidige installatie te beschouwen.

STOWA 2024-27 biedt een goed overzicht van maatregelen die toegepast kunnen worden.

3. Iedere locatie is uniek en behoeft locatiespecifieke maatregelen. Er is diepgaande procestechologische kennis nodig om de juiste maatregelen te bedenken en de resultaten te beoordelen. Het is aan te bevelen om dit in overleg met de locatiebeheerders te doen.
4. Bij optimalisatie van de hoofdzuivering verdienen optimalisatie van de processturing en beperkte werktuigbouwkundige ingrepen bijzondere aandacht, zoals aanvullende beluchtings- of recirculatiecapaciteit. Dit zijn relatief goedkope en duurzame maatregelen. Een verhoging van het droge stofgehalte is vaak een 'Quick win' en is gemakkelijk te onderzoeken met een gekalibreerd/ gevalideerd SUMO-model.
5. Er wordt aanbevolen om aangeleverde data grondig te controleren voor van start wordt gegaan met kalibratie/validatie. Met name sensordata toont regelmatig afwijkingen of blijkt onbetrouwbaar.
6. Met SUMO is het mogelijk om een digital twin te maken van de zuivering. Daarvoor is een zeer gedetailleerd logboek nodig van bijgehouden wijzigingen in de regelingen en er is voldoende betrouwbare (sensor)data nodig. De benodigde data zijn locatie specifiek en afhankelijk van de doelstelling van de digital twin.

4

REFERENTIES

STOWA (2024). Evaluatie Innovatieprogramma Microverontreinigingen uit rwzi-afvalwater (IPMV), rapport 2024-28.

STOWA (2017). Handboek stikstof- en fosfaatverwijdering uit communaal afvalwater op rwzi's, rapport 2017-46.

STOWA (2007). Het Actief-slibproces, rapport 2007-24.

STOWA (2024). KRW-maatregelen voor nutriëntenverwijdering in de afvalwaterketen, rapport 2024-27.

STOWA (2000). SIMBA-protocol: Richtlijnen voor het dynamisch modelleren van actiefslibsystemen, rapport 2000-16.

STOWA (2020). Verwijdering van organische microverontreinigingen: handvatten voor de keuze van behandelingstechniek in combinatie met de benodigde hydraulische capaciteit, rapport 2020-06.

STOWA (2025). Handreiking dynamisch simuleren in SUMO, rapport 2025-44.

BIJLAGE 1

OPZET MODEL EN VOORGAANDE OPTIMALISATIES RWZI BERGAMBACHT

B1.1 OPZET MODEL RWZI BERGAMBACHT

DOELSTELLING FORMULEREN

Zoals in de 'Handreiking dynamisch simuleren in SUMO' (2025-44) is geformuleerd, is de benodigde mate van detail van de aan te leveren gegevens afhankelijk van de doelstelling van de modelstudie.

De doelstelling voor RWZI Bergambacht bestaat feitelijk uit twee stappen:

- Onderzoeken welke effluentkwaliteit maximaal haalbaar is met de toekomstige belasting en de huidige (bedrijfsvoering van de) rwzi.
- Indien de haalbare effluentkwaliteit niet de gewenste toekomstige effluentkwaliteit benadert dan verder onderzoeken in hoeverre de effluentkwaliteit kan worden verbeterd met vooraf gedefinieerde (technische) maatregelen. Denk hierbij aan bijbouwen van fysieke onderdelen en/of het aanpassen van bijvoorbeeld de beluchtingsstrategie.

SYSTEEMGRENZEN

Bij de opzet van het te modelleren systeem dienen de systeemgrenzen te worden vastgesteld. Dit is afhankelijk van de doelstelling. Voor RWZI Bergambacht geldt dat de gehele waterlijn is gemodelleerd om de vragen in het onderzoek te kunnen beantwoorden. De grenzen in deze studie omvat dus de waterlijn, van de contacttank t/m nabezinktank.

Qua sliblijn is er enkel een slibbuffer aanwezig met nauwelijks tot geen terugvoer van water naar de waterlijn. De impact op de waterlijn is zeer gering. Om deze reden is de sliblijn, en daarmee de retourstroom, niet gemodelleerd.

STATISCH OF DYNAMISCH? (HSA VERSUS SUMO)

Bij de start van dit onderzoek is de afweging gemaakt om ofwel statisch (HSA) ofwel dynamisch (SUMO) te modelleren. Gezien, onder andere, de aard van de gedefinieerde mogelijke (technische) maatregelen is gekozen voor dynamische modellering. De gedefinieerde maatregelen betreffen onder andere:

1. Het variëren van het droge stof gehalte gedurende de seizoenen;
2. Het verplaatsen van het insteekpunt van het influent;
3. Het aanpassen van het zuurstof setpoint;
4. Het aanpassen van de omloopsnelheid;
5. Het bijplaatsen van extra beluchting en/of een andere verdeling van de beluchting over de omloop.

Deze maatregelen en de onderliggende vragen zijn niet te beantwoorden door middel van statische modellering. Dit komt doordat in een statisch model geen compensatie van de tanks kan worden aangegeven, het model gaat uit van een optimale zuurstofvoorziening en rekent altijd naar een steady state.

Andere redenen waarom voor dynamische modellering is gekozen:

- De gewenste toekomstige effluentkwaliteit voor stikstof ligt rond de 5 mg N/l, dit is nabij de betrouwbaarheidsgrens van het HSA model. De huidige rwzi-ontwerpmodellen voor verwijdering van N- en P-totaal (STOWA 2017-46) zijn niet gemaakt om nauwkeurige predicties te maken voor de lage N- en P-totaal concentraties die nodig zijn voor het behalen van de KRW-doelen. Bestaande (statische) modellen hebben een verminderde betrouwbaarheid bij lage N-totaal waarden en houden onvoldoende rekening met piekbelasting (STOWA 2024-27)¹².
- De rwzi kampt regelmatig met hogere SVI's. Met dynamische modellering is na te gaan of er in het omloopcircuit omstandigheden ontstaan waarbij de vorming van draadvormers wordt gestimuleerd.

GEGEVENSVERZAMELING

Voor het opzetten van het model zijn verschillende data benodigd. Hierbij wordt zoveel als mogelijk uitgegaan van data welke standaard worden verzameld. Het kan zijn dat tijdens de modelleringsstudie duidelijk wordt dat aanvullende gegevens noodzakelijk zijn om een goede kalibratie uit te kunnen voeren. In het geval van RWZI Bergambacht is dit niet het geval geweest. De volgende data zijn gebruikt voor het opzetten van het model, in de periode van 01-11-2022 t/m 31-08-2023:

- Influent parameters:
 - Concentraties CZV, NKj en P-totaal op basis van beschikbare data. Het influent wordt circa één keer in de twee weken bemonsterd. Op basis van deze gegevens is er een relatie gelegd tussen enerzijds het influent dagdebiet en anderzijds de concentratie CZV, NKj en P-totaal. Op basis van deze relatie en het dagelijks beschikbare influentdebiet worden de concentraties vastgesteld voor de dagen dat geen analyses beschikbaar zijn. Zodoende is er voor 365 dagen de influent concentratie van CZV, NKj en P-totaal bepaald. Influent debiet op basis van uurdata¹³.
- Sensor (uur)data in de biologie
 - Slibgehalte in de omloop op basis van dagelijkse data.
 - Concentratie $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ op basis van uurdata.
 - Concentratie O_2 op basis van minutendata.
 - Temperatuur op basis van uurdata.
 - Redox (mV) op basis van uurdata.
- Effluent concentraties CZV, BZV, Ntot, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, Ptot en onopgeloste bestanddelen op basis van meetdata.
- Overige data:
 - Retourslibdebiet per uur.
 - Gemiddelde slibafvoer per dag in m^3/d en kg ds/d .
 - Chemicaliëndosering op basis van dagelijkse data.
 - Uitsuring frequentie van de puntbeluchter per uur.

Voor de overige data, met uitzondering van de chemicaliëndosering, geldt dat deze informatie wordt gebruikt voor de kalibratie van het model. Dit betekent dat de gegevens niet als invoerdata worden gebruikt, maar als middel om de modelre-

12 Het HSA-model heeft een bepaalde ondergrens voor N-totaal; tot deze grens kan er betrouwbaar met het HSA-model worden gerekend. Nitraat is hier de beperkende factor. De ondergrens voor $\text{NH}_4\text{-N}$ is hier gezet op 1,0 mg N/l (STOWA 2024-27).

13 Wanneer de dataset te klein is om een relatie tussen het influent dagdebiet en influent concentraties vast te stellen, kan een dataset van meerdere jaren worden gebruikt. Deze uitdaging is besproken in 'Handreiking dynamisch simuleren in SUMO' (STOWA 2025-44)

sultaten te verifiëren en te interpreteren. Het retourslibdebiet, de slibafvoer en de beluchting worden dynamisch geregeld binnen het model en worden niet door bovenstaande data ingevoerd.

MODELOPBOUW

Bij de opbouw van het model worden de procesonderdelen in het model gedefinieerd. Algemeen geldt dat het hierbij van belang is goed na te denken over bijvoorbeeld:

- opbouw in verschillende straten;
- de compartimentering van de verschillende tanks (selector en omloop);
- de beluchtingsregeling;
- de wijze waarop de nabezinking wordt gemodelleerd;
- de retourslibregeling;
- de omloopsnelheid in de omloop.

Ook algemeen geldt dat de verschillende regelingen (beluchting, retourslib, interne recirculatie, doseringen) zoals ze in de praktijk worden toegepast zo goed mogelijk moeten worden overgenomen in het model.

RWZI Bergambacht is als volgt modelmatig opgezet:

- Het influent en het retourslib wordt samen ingebracht in de selector
- De selector bestaat uit twee compartimenten ("bakjes").
- Het omloopcircuit is opgedeeld in 9 zones ("bakjes").
- Zone 1 is de locatie van de puntbeluchter.
- Zone 3a is de locatie van de sensoren (O₂, NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P).
- Na zone 4b komt het influent (inclusief retourslib) in de omloop, dit is circa 15 meter na de sensoren (zie Figuur 4.2).
- Alle zones met uitzondering van zone 1 zijn onbelucht.

De zonering van de omloop, in totaal in 9 zones, is enerzijds om inzicht te krijgen in het O₂/NH₄-N/NO₃-N/PO₄-P-profiel over de omloop en anderzijds om specifiek de locatie van luchtinbreng, de sensoren, het inlaatpunt van het influent en de afvoer naar de nabezinktank te kunnen modelleren.

- In eerste instantie is gekalibreerd met een 'point separator' nabezinktank, wat betekent dat er een perfecte slib/water scheiding is. Echter, bij de eerste berekeningen bleek dat het berekende nitraat gehalte in het effluent niet goed overeenkwam met het gemeten nitraat-gehalte. Naar aanleiding hiervan is de 'point-separator' nabezinktank vervangen door een 'three compartment model' nabezinktank (ingedikt sliblaag, slibdeken en waterlaag). Met dit model komt het modelmatige nitraat gehalte in het effluent goed overeen met de praktijk.
- De slibuitspoeling uit de nabezinktanks is modelmatig vastgezet op 10 mg OB/l. Er is namelijk nagenoeg geen relatie tussen het effluentdebiet en het OB-gehalte in het effluent geconstateerd. De gemeten OB-concentratie varieert van 4,0 tot 10,0 mg OB/l.
- De slibafvoer is modelmatig geregeld op basis van het gemeten droge stofgehalte per uur in het omloopcircuit omgezet naar een gemiddeld slibgehalte per dag. Hierbij is het slibgehalte per dag de inputparameter voor de slibafvoer. Het surplusslib wordt onttrokken uit de retourslibstroom.
- De stroomsnelheid in het omloopcircuit is bepaald op basis van de gemeten stroomsnelheden. Deze is in de praktijk vastgesteld bij verschillende draaisnelheden van de puntbeluchter (in Hz) en de voortstuwer (in Ampère). Op basis van deze metingen is een relatie

vastgesteld tussen de totale uitsturing van de puntbeluchter en voortstuwer enerzijds en de stroomsnelheid anderzijds. De berekende stroomsnelheid is als inputparameter voor de modelmatige omloopsnelheid gebruikt.

- Het gemeten retourslibdebiet per uur is een inputparameter voor het modelmatige retourslibdebiet.
- De beluchting is geregeld op basis van de gemeten zuurstofgehalten (minuten data) en het maximale vermogen van de puntbeluchter is meegegeven. De gemeten zuurstofgehalten zijn dus gebruikt als “setpoint” voor de beluchttingsregeling.

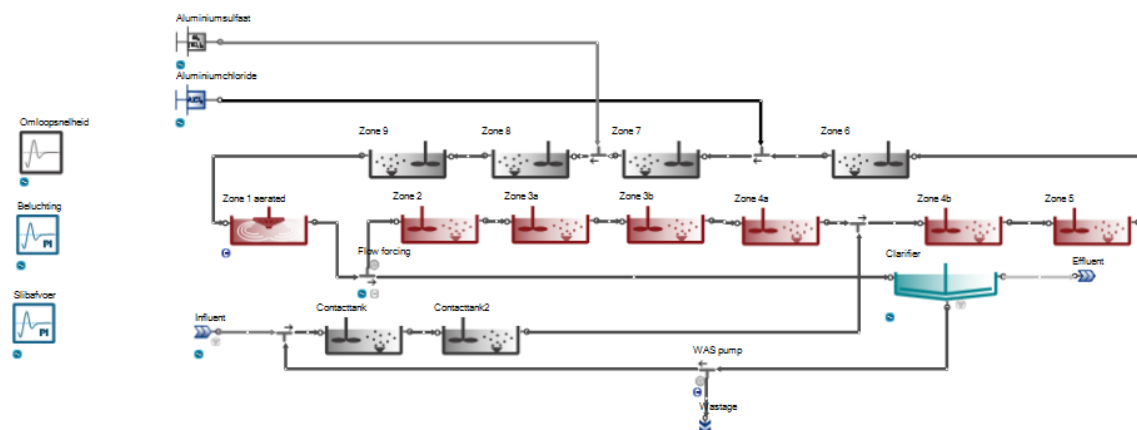
Knelpunt algemeen:

Voor Bergambacht geldt dat de gemeten zuurstofgehalten zijn aangenomen als setpoint voor de beluchttingsregeling. Echter, aan het eind van het onderzoek werd geconstateerd dat de zuurstofsensor constant te hoog aangaf. In plaats van een gemeten zuurstofconcentratie van 0,0 mg O₂/l gaf de zuurstofsensor een waarde van 0,2 mg O₂/l. Dit is in het onderzoek niet meer aangepast.

Over het algemeen geldt dat de gehanteerde sensordata dient te worden gecontroleerd op een eventuele offset, ‘drifting’ van de sensor of onbetrouwbare data/trends voordat wordt gestart met de dynamische modellering.

Figuur 4.1

Modelmatige configuratie van RWZI Bergambacht in SUMO



KALIBRATIE/ VALIDATIE

Indien het model voldoende nauwkeurig is opgezet en de gegevens zijn geverifieerd dan is de kalibratie relatief kort. Om vast te stellen of bij de kalibratie de uitkomsten goed overeenkomen met de waarden uit de praktijk zijn met name de volgende parameters van belang:

- De slibafvoer.
- Ammonium concentratie in het effluent.
- Nitraat concentratie in het effluent.
- Fosfor (PO₄-P) concentratie in het effluent.
- Online concentraties (sensordata).

De beluchting wordt gestuurd op actuele gemeten DO-concentraties (uurgemiddelden). Dit om zeker te weten dat dezelfde concentraties worden bereikt op de plek van de sensor als in de praktijk.

De stroomsnelheid in het omloopcircuit is ingeschat op basis van de gemeten stroomsnelheden, de uitsturing van de puntbeluchter en voortstuwer.

Op basis van deze snelheid kwamen de modelmatige resultaten niet goed overeen met de praktijk. Dit betekent dat de effluentkwaliteit > 10% afwijkt van de gemeten data en dat de trend van de sensordata niet werd gevolgd. Vervolgens is de omloopsnelheid gekalibreerd op de sensordata van (voornamelijk) nitraat, dit betekent dat de omloopsnelheid is vergroot met een factor 2.¹⁴

De modelmatige jaargemiddelde slibafvoer komt overeen met de praktijk gemeten slibafvoer (modelmatig +5%).

Bij het controleren van de effluentkwaliteit is het van belang om te realiseren dat de effluentkwaliteit erg afhankelijk is van de bemonsteringsdagen.

De in de praktijk gemeten effluentkwaliteit van RWZI Bergambacht is bepaald van 01-11-2022 t/m 14-08-2023. De modelmatige effluentkwaliteit is bepaald aan de hand van de bemonsteringsdagen in de praktijk. De kalibratie van de effluentkwaliteit van de RWZI komt goed overeen met de praktijk. Het model geeft een hoger jaargemiddelde effluentkwaliteit voor stikstof dan in de praktijk gemeten (+ 0,7 mg ---N/l, +14%). Dit wordt veroorzaakt door een (modelmatig) hoger ammonium gehalte. De modelmatige concentratie fosfor komt ook overeen met de praktijk waarde (+0,1 mg P /l, +12%), zie Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Effluentkwaliteit RWZI Bergambacht in de huidige situatie (11/2022 – 08/2023) en in de kalibratie van het SUMO-model

	N-totaal (mg N/l)	NH4 (mg N/l)	NOx (mg N/l)	Ptot (mg P/l)	PO4 (mg P/l)
Gemeten effluentkwaliteit (11/2022 – 08/2023)	5,0	1,7	2,0	0,8	0,6
Kalibratie SUMO	5,7	2,4	1,9	0,9	0,6

Hoewel de effluentkwaliteit niet exact overeen komt, wordt de trend gedurende het jaar goed gevolgd door het model. Dit geldt voor zowel de effluentkwaliteit als de concentraties in de omloop gemeten met sensoren (O_2 /NH₄-N/NO₃-N/PO₄-P).

De conclusie is dan ook dat het model goed overeen komt met de praktijk en kan worden ingezet om het effect van verschillende maatregelen op de effluentkwaliteit te bepalen.

Het dynamische model benadert de praktijksituatie, de modelresultaten komen niet exact overeen met de gemeten praktijkwaarden. Voor de vergelijking van verschillende maatregelen is dit vaak ook niet strikt noodzakelijk. De modelmatige resultaten van de verschillende berekeningen worden met elkaar vergeleken. Bij deze vergelijking wordt vooral gekeken naar de verbetering/verslechtering van de effluentkwaliteit ten opzichte van de referentiesituatie en in welke mate deze verbetert of verslechtert.

Bij RWZI Bergambacht is in de kalibratie een heel jaar meegenomen waardoor alle seizoenen worden gekalibreerd. Hierdoor is het model (indirect) ook gevalideerd en hoeft dit niet aanvullend uitgevoerd te worden.

¹⁴ Deze factor is na de studie in de praktijk geverifieerd en onderbouwd.

KARAKTERISERING VAN STROMEN

Een aanvullende karakterisering van stromen is voor deze studie niet nodig. De kalibratie is uitgevoerd met de default waarden voor bijvoorbeeld de kinetische parameters en de influent karakterisering. Indien het model niet goed kan worden gekalibreerd op de aanwezige/beschikbare data dan wordt geadviseerd de modelopbouw (compartimentering, beluchting of regelingen) te herzien of massabalansen te maken om gegevens te kunnen controleren voordat wordt gekozen voor aanvullende karakterisering (meetcampagne).

B1.2 VOORGAANDE OPTIMALISATIES RWZI BERGAMBACHT

BESCHRIJVING OPTIMALISATIES

De volgende maatregelen, om de effluentkwaliteit voor stikstof te kunnen blijven handhaven en voor fosfor te verbeteren, zijn in overleg met HHSK geïdentificeerd en besproken:

1. Verhoging chemicaliëndosering.
2. Nieuwbouw anaerobe tank (ANT).
3. Droge stofgehalte verhogen.
4. Insteekpunt influent aanpassen.

Ad 1 Verhoging chemicaliëndosering

Uit zowel de praktijkwaarden als de simulatieberekeningen blijkt dat in de zomermaanden het $\text{PO}_4\text{-P}$ -gehalte hoger is dan in de wintermaanden (circa +20%). Door toepassing van een precisie metaalzoutdosering kan de P-totaal concentratie verder worden verlaagd.

Ad 2 Nieuwbouw anaerobe tank (ANT)

De P-opname in het biologisch slib kan (sterk) worden vergroot door een anaerobe tank te realiseren. Conventioneel actiefslib zonder bio-P kan 2 tot 3% P opslaan en met bio-P kan het actiefslib 4 tot 5% P opslaan.

Ad 3 Droge stofgehalte verhogen

Een verhoging van het droge stofgehalte zorgt voor langere slibleeftijden en dit heeft mogelijk een positief effect op de nitrificatie en denitrificatie. Deze maatregel kan alleen gebruikt worden als de slibvolumeindex (SVI) verbetert.

Ad 4 Insteekpunt influent aanpassen

Op dit moment wordt het influent via een leiding op de bodem van het omloopcircuit ingebracht. Het insteekpunt van deze leiding bevindt zich in het been na de beluchting (in de stromingsrichting gezien). Nuttige BZV vanuit het influent komt direct met zuurstof in contact en wordt daardoor grotendeels geoxideerd waardoor minder BZV beschikbaar is voor de denitrificatie. Het insteekpunt zou verplaatst kunnen worden naar een minder zuurstofrijk punt in de tank, namelijk in het andere been. Zie Figuur 4.2 voor een luchtfoto van de rwzi.

Figuur 4.2

RWZI Bergambacht (HHSK). Het huidige insteekpunt van het influent wordt weergegeven (in rood) samen met de stroomrichting (in blauw). Beluchting vindt plaats door middel van de puntbeluchter



EFFECT VAN OPTIMALISATIES

P-verwijdering: Biologische defosfatering óf chemische defosfatering

Doelstelling voor de effluentkwaliteit is om een (voortschrijdend) jaargemiddelde van $< 0,74$ mg P/l te behalen, waarbij de N-totaal verwijdering niet mag verslechteren. Om de effectiviteit van de maatregelen afzonderlijk te kunnen beoordelen is als eerste bepaald wat modelmatig het P-gehalte is als er geen chemicaliën óf biologische defosfatering wordt toegepast. Dit resulteert in een effluentkwaliteit van 1,3 mg P/l.

Met toepassing van chemische defosfatering worden de volgende effluentkwaliteiten bereikt, afhankelijk van de Me/P-verhouding:

- 0,93 mg P/l met de huidige chemicaliëndosering ($\text{Me/P}_{\text{influent}}$ van 0,4).
- 0,74 mg P/l met een verhoogde chemicaliëndosering ($\text{Me/P}_{\text{influent}}$ van 0,9).

Met het toepassen van een circa 2,5x hogere chemicaliën dosering (Me/P van 0,9) verbetert de fosfaat effluentkwaliteit naar circa 0,74 mg P/l. Dit is daarmee de minimale chemicaliëndosering die benodigd is om de doelstelling van $< 0,74$ mg P/l te kunnen halen. Het N-gehalte in het effluent verandert hierbij niet en zodoende wordt voldaan aan de doelstelling dat het N-totaal gehalte niet mag verslechteren.

Voor de biologische defosfatering zijn twee situaties doorerekend waarbij het volume (en dus de verblijftijd) van de anaerobe tank varieert. In eerste instantie is uitgegaan van een gemiddelde verblijftijd van 60 minuten. Dit geeft een volume van 'afgerond' 200 m^3 (doordat het volume naar boven is afgerond is de verblijftijd in de simulaties 1,2 uur). Daarmee kan een jaargemiddelde effluentkwaliteit van 0,72 mg P/l worden gehaald, zonder aanvullende chemicaliëndosering, en wordt net voldaan aan de eis. Om deze reden is een aanvullende simulatie uitgevoerd met een 1,5x grotere anaerobe tank. Dit betekent dat de verblijftijd

gemiddeld 1,8 uur is en het volume in totaal 300 m³. Hiermee is een jaargemiddelde effluentkwaliteit van 0,65 mg P/l haalbaar. In Tabel 4.2 is een samenvatting van de P-effluentkwaliteit in de verschillende scenario's gegeven.

Tabel 4.2 Samenvatting effect verschillende scenario's op de P-effluentkwaliteit

Situatie	P-effluentkwaliteit (mg P/l)
1. Geen (chemische of biologische) P-verwijdering	1,3
2. Chemisch P-verwijdering met huidige Al-dosering	0,93
3. Chemische P-verwijdering met hogere Al-dosering	0,74
4. Biologische P-verwijdering (ANT, HRT 1,2h)	0,72
5. Biologische P-verwijdering (ANT, HRT 1,8h)	0,65

Met het toepassen van een (grote) anaerobe tank kan de meest gunstige P-effluentkwaliteit worden behaald van 0,65 mg P/l. Het toepassen van een grote anaerobe tank resulteert echter wel in een verslechtering van de N-totaal concentratie in het effluent. Dit wordt veroorzaakt door de langere verblijftijd in de anaerobe tank ten opzichte van de selector (in de huidige situatie).

N-VERWIJDERING: WEL OF GEEN NAGESCHAKELDE TECHNIEK

Doelstelling is dat de N-totaal effluentkwaliteit niet mag verslechteren. Dit betekent dat de effluentkwaliteit modelmatig 5,7 mg N/l (is de huidige effluentkwaliteit) moet blijven. De maatregelen die zijn beschouwd betreffen:

1. Insteekpunt influent aanpassen.
2. Droge stofgehalte verhogen.

Deze maatregelen zijn in verschillende situaties getoetst, Tabel 4.3. Indien deze maatregelen niet afdoende zijn dan is het nodig om nageschakelde zandfiltratie toe te passen.

Op basis van de modellering blijkt dat het veranderen van het insteekpunt van het influent nagenoeg geen effect heeft op de jaargemiddelde effluentkwaliteit. Dit wordt veroorzaakt doordat het omloopcircuit een goed gemengde 'tank' is. De piekconcentraties van ammonium (bij RWA) zijn wel lager door deze maatregel, maar het effect hiervan op de jaargemiddelde effluentkwaliteit is verwaarloosbaar klein. Hierdoor is het verleggen van het insteekpunt niet interessant.

Voor een verhoogd droge stofgehalte is een SVI < 120 ml/g nodig. Het vermoeden is dat de drijfslaagvorming in de selector een mogelijke oorzaak is van verhoogde SVI's op RWZI Bergambacht, de SVI varieert tussen 100 en 180 ml/g. Of dit ook inderdaad de hoofdreden is voor de verhoogde SVI's, is lastig te voorspellen (risico). Vooralsnog is het uitgangspunt dat een SVI < 120 ml/g kan worden gehandhaafd als ook de drijfslaag in de selector wordt verwijderd. Bij deze SVI kan een maximaal droge stofgehalte van 5,0 g ds/l worden toegepast. Dit is een verhoging van het in de praktijk gemeten droge stofgehalte van circa 25%. Hierdoor verbetert het stikstofgehalte met circa 0,4 mg N/l, dit geldt zowel voor chemische als biologische P-verwijdering. In beide gevallen wijzigt het P-gehalte in het effluent niet. De resultaten worden gegeven in Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Modelmatige jaargemiddelde effluentkwaliteit voor stikstof en fosfaat voor de verschillende situaties/optimalisaties.

Situatie	Stikstof effluent-kwaliteit mg N/l	Verandering stikstof effluent-kwaliteit t.o.v. huidige situatie en AI-dosering %	Fosfaat effluent-kwaliteit mg P/l	Verandering fosfaat effluentkwaliteit t.o.v. huidige situatie en AI-dosering %
Huidige situatie en AI-dosering ¹	5,7	-	0,93	-
Insteekpunt aanpassen (met huidige AI-dosering)	5,7	0	0,93	0
Verhoging ds (+25%) en hogere AI-dosering	5,3	-7,0	0,74	-20,4
Biologische P-verwijdering (HRT 1,8h)	6,2	+8,8	0,65	-30,1
Biologische P-verwijdering (HRT 1,8h) + 25%ds	5,8	+1,8	0,65	-30,1

¹ De huidige chemicaliëndosering is relatief laag ten opzichte van de slibmassa. Hieruit kan worden opgemaakt dat de chemicaliëndosering voornamelijk ten behoeve van chemisch P-verwijdering is en niet licht slib bestrijding.

In het geval van chemisch P-verwijdering is het verhogen van het droge stofgehalte in het omloopcircuit voldoende om aan de doelstelling van (fosfor en) stikstof te kunnen blijven voldoen. Bij biologische P-verwijdering (inclusief een hoger droge stofgehalte in het omloopcircuit) verslechtert de effluentkwaliteit, namelijk met 0,1 mg N/l. In het geval van biologische P-verwijdering zijn de voorgestelde maatregelen voor het behalen van de stikstof eis niet voldoende en is een aanvullende nageschakelde techniek benodigd.

BIJLAGE 2

OPZET MODEL EN VOORGAANDE OPTIMALISATIES RWZI AMERSFOORT

B2.1 OPZET MODEL RWZI AMERSFOORT

DOELSTELLING FORMULEREN

Voor RWZI Amersfoort geldt dat maatregelen zijn geformuleerd, in de sliblijn en de waterlijn, zodat het aanbod van afvalwater en slib nu en in de toekomst kan worden verwerkt. Hierbij is zowel gekeken naar in hoeverre de rwzi kan blijven voldoen aan de huidige effluenteisen als ook naar de toekomstige eisen van de rwzi. In dit onderzoek is het doel om de rwzi te optimaliseren, om de regelstrategieën (beluchttingsregeling) te evalueren dan wel optimaliseren en een systeemkeuze voor een anaerobe tank uit te voeren.

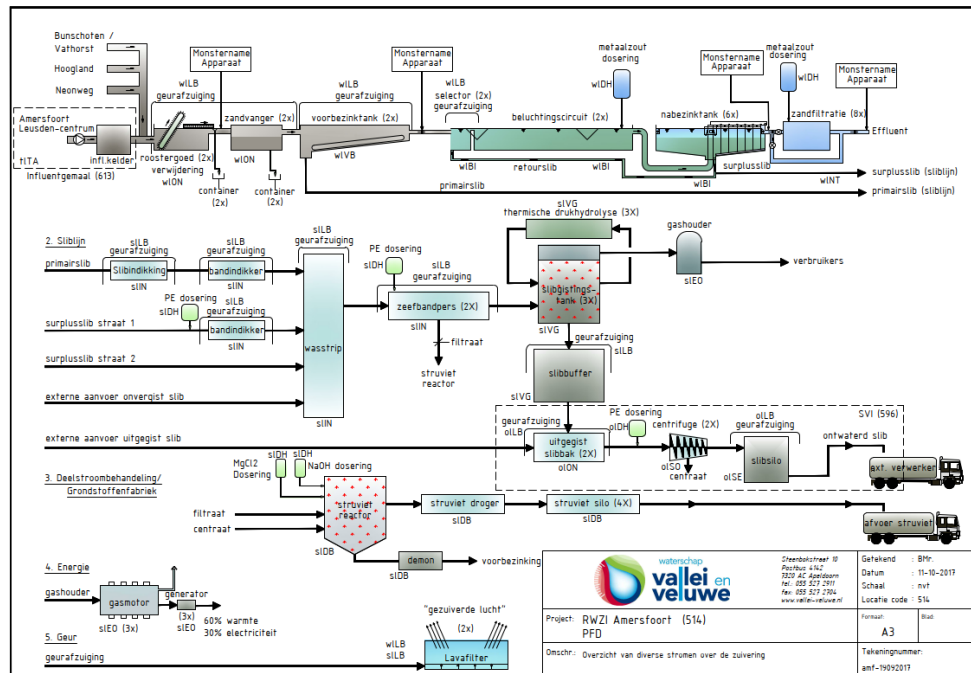
SYSTEEMGRENZEN

Een deel van de uitdagingen met de effluentkwaliteit, met name ten aanzien van N, worden veroorzaakt, door het niet optimaal functioneren van de deelstroombehandeling. De oorzaak voor het niet optimaal functioneren van de deelstroombehandeling is het hoge vetzuurgehalte in de aanvoer van de deelstroom. Het is dus van belang om zowel de waterlijn als de sliblijn te modelleren. In Figuur B2.4.3 wordt een proces flow diagram gegeven van de waterlijn en sliblijn (inclusief deelstroombehandeling) op RWZI Amersfoort. Beide zijn in aparte modellen opgezet om de simulatietijd per berekening te beperken.

Om de vragen in het onderzoek te kunnen beantwoorden is:

- de waterlijn van voorbezinktank tot en met nabezinktank gemodelleerd;
- de sliblijn is gemodelleerd van de externe slibbuffers, interne slibbuffers, Wasstrip®, gisting en navergisting (inclusief indikking en ontwatering);
- de deelstroombehandeling (Demon) is in een apart model opgenomen.

Figuur B2.4.3 PFD RWZI Amersfoort, Waterschap Vallei en Veluwe



STATISCH OF DYNAMISCH? (HSA VERSUS SUMO)

Gezien de onderzoeksvragen en bijbehorende optimalisaties in zowel de sliblijn als de waterlijn en deelstroombehandeling is gekozen voor een dynamische simulatie. Een belangrijke parameter in dit onderzoek is, zoals aangegeven, de vetzuur (VFA)-productie (verzuring) in de gehele sliblijn (tot aan de gisting) van RWZI Amersfoort. Met dynamisch simuleren is per procesonderdeel goed inzichtelijk gemaakt waar de verzuring plaatsvindt en wat het effect is van optimalisaties op de verschillende procesonderdelen en interne stromen in de sliblijn. Dit is in een HSA-berekening niet mogelijk.

Ook het onderzoeken van optimalisaties in de beluchttingsregeling in de waterlijn is met dynamisch simuleren goed mogelijk, bijvoorbeeld het bepalen van het effect van het uitschakelen van de puntbeluchter in het eerste compartiment. Dit kan met HSA niet worden onderzocht.

De systeemkeuze voor het wel of niet toepassen van een anaerobe tank is mede in SUMO onderzocht zodat de optimale configuratie kan worden bepaald, namelijk Phoredox versus m-UCT.

GEGEVENSVERZAMELING

Waterlijn

De opzet van de gegevensverzameling voor RWZI Amersfoort is vergelijkbaar met RWZI Bergambacht. De volgende data zijn gebruikt voor het opzetten van het model, in de periode 01-01-2020 t/m 31-12-2020:

- Influent parameters:
 - Concentraties CZV, NKj en P-totaal op basis van beschikbare data. Op basis van de relatie tussen de influent concentratie en het dagelijks beschikbare influentdebiet worden de influent concentraties van CZV, NKj en P-totaal vastgesteld voor de dagen dat geen analyses beschikbaar zijn. Zodoende is er voor 365 dagen de influent concentratie van CZV, NKj en P-totaal bepaald.
 - Influent debiet op basis van uurdata.
- Sensor (uur)data in de biologie:
 - Slibgehalte in de omloop op basis van uurdata.
 - Concentratie $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ op basis van uurdata.
 - Concentratie O_2 op basis van uurdata.
 - Temperatuur op basis van dagelijkse data.
- Voorbezinktank parameters voor:
 - Concentraties CZV, N-totaal, P-totaal en OB op basis van beschikbare meet-data (circa één keer in de zes dagen).
 - Toevoer en afvoer debiet op basis van dagelijkse data.
 - Primair slibafvoer op basis van gemeten OB-verwijdering.
- Effluent concentraties CZV, BZV, N-totaal, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ en P-totaal. Dagelijkse OB concentratie, bepaald met een relatie tussen het effluentdebiet en de gemeten concentratie (dezelfde werkwijze als bij het influent).
- Retourstroom input parameters:
 - Debiet op basis van dagelijkse data.
 - Concentraties CZV, NKj en P-totaal op basis van meetdata. De dagelijkse concentratie van deze parameters is bepaald met een relatie tussen het debiet en de gemeten concentratie per procesonderdeel in de sliblijn (dezelfde werkwijze als bij het influent).
- Overige data:
 - Retourslibdebiet per uur.
 - Gemiddelde surplus slibafvoer per dag in m^3/d en kg ds/d .
 - Chemicaliëndosering op basis van dagelijkse data.

Sliblijn

De volgende data zijn gebruikt voor het opzetten van het model:

- (Extern) slibaanvoer parameters:
 - Concentratie droge stof op basis van beschikbare data in de periode 01-01-2020 t/m 31-11-2021 (hierbij is geen dagelijkse concentratie bepaald zoals voor de waterlijn).
 - Ingaand slibdebiet op basis van (dagelijkse) meetdata in de periode 01-05-2020 t/m 31-12-2020
 - Een aanname van het CZV gehalte in organische droge stof van 1,8 kg CZV/kg ods voor primair slib en 1,4 kg CZV/kg ods voor primair slib

Deelstroombehandeling (Demon)

- Aanvoer parameters:
 - Concentraties CZV, NKj en P-totaal op basis van beschikbare meetdata voor de periode

01-01-2020 t/m 31-12-2020 (hierbij is geen dagelijkse concentratie bepaald zoals voor de waterlijn):

- Concentratie CZV influent van de Demon is aangepast naar 60% CZV en 40% VFA.
- De aanname is dat al het BZV in de aanvoer uit VFA bestaat.
- Aanvoerdebiet op basis van (dagelijkse) meetdata in de periode 01-01-2020 t/m 31-12-2020.
- Bypass langs Demon op basis van (dagelijkse) meetdata in de periode 01-01-2020 t/m 31-12-2020.
- Sensor (uur)data in de biologie: temperatuur op basis van dagelijkse data.

MODELPOUW

Waterlijn

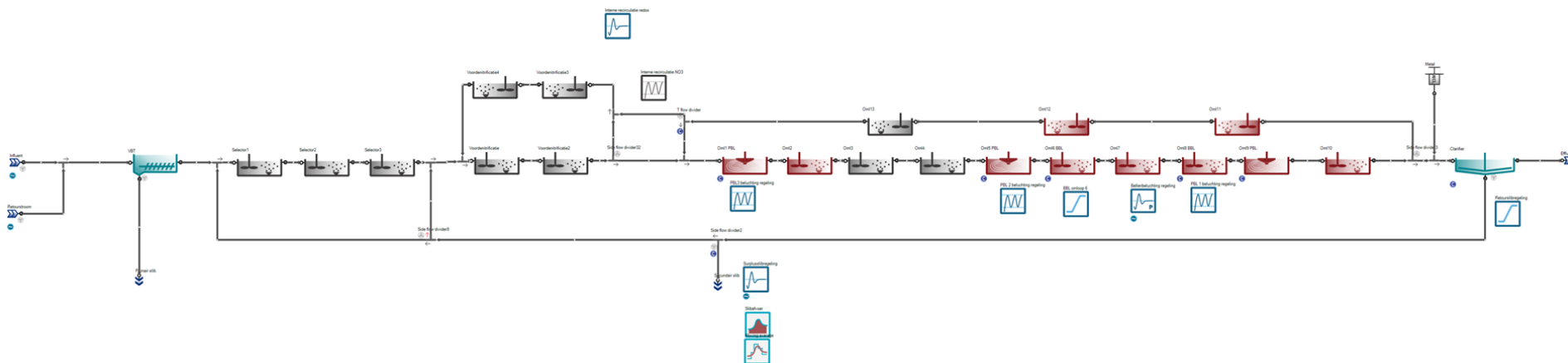
Bij de opbouw van het model worden de procesonderdelen in het model gedefinieerd. Hierbij gelden dezelfde (algemene) overwegingen als bij RWZI Bergambacht bijvoorbeeld wat betreft opbouw, compartimentering, regelingen en de nabezinking. De verschillende regelingen (beluchting, retourslib, interne recirculatie) zoals ze in de praktijk worden toegepast dienen zo goed mogelijk te worden overgenomen in het model. De waterlijn van RWZI Amersfoort is als volgt modelmatig opgezet:

- Het influent en de retourstroom worden samen ingebracht in de voorbezinktank.
- Het rendement van de voorbezinktank is dynamisch geregeld op basis van de gemeten OB-verwijdering.
- De selector bestaat uit drie compartimenten ("bakjes"). In selector1 komt het voorbezonden influent binnen samen met 50% van het retourslib.
- De voordennitrificatie (anoxische oor van de omloop) is opgedeeld in 4 zones ("bakjes"). In Voordennitrificatie2 komt het influent binnen vanuit de selector, inclusief 50% van het retourslib (zie Figuur B2.4.4).
- Het omloopcircuit is opgedeeld in 15 zones ("bakjes").
 - Zone 1, 5 en 9 is de locatie van de puntbeluchters.
 - Zone 6 en 8 is de locatie van de bellenbeluchting.
 - Alle overige zones zijn onbelucht.
 - Zone 10a is de locatie van de sensoren (O_2 , NH_4-N , NO_3-N , PO_4-P).

De zonering van de omloop, in totaal in 15 zones, is enerzijds om inzicht te krijgen in het $O_2/NH_4-N/NO_3-N/PO_4-P$ -profiel over de omloop en anderzijds om specifieker de locatie van luchtinbreng qua puntbeluchting en bellenbeluchting, de sensoren en de afvoer naar de nabezinktank te kunnen modelleren.

- De nabezinktank is gekalibreerd met een 'point separator' nabezinktank, wat betekent dat er een perfecte slib/water scheiding is. Met dit model komt het modelmatige nitraatgehalte in het effluent goed overeen met de praktijk.
- De slibuitspoeling uit de nabezinktanks is dynamisch geregeld op basis van de dagelijkse concentratie OB.
- De slibafvoer is geregeld op basis van het gemeten droge stofgehalte per uur in het omloopcircuit. Het surplusslib wordt onttrokken uit de retourslibstroom.
- De stroomsnelheid in het omloopcircuit is bepaald op basis van het ontwerp kental voor de omloopsnelheid, namelijk een snelheid van 30 cm/s.
- Het retourslibdebiet is geregeld op basis van het influent uurdebiet. Hierbij is het retour-slibdebiet 50% ten opzichte van het influentdebiet.
- De beluchting is geregeld op basis van de PURE regeling (RHDHV), waarbij het maximale vermogen van de puntbeluchters en de maximale capaciteit van de bellenbeluchting is meegegeven.

Figuur B2.4.4 Modelmatige configuratie van de waterlijn van RWZI Amersfoort in SUMO

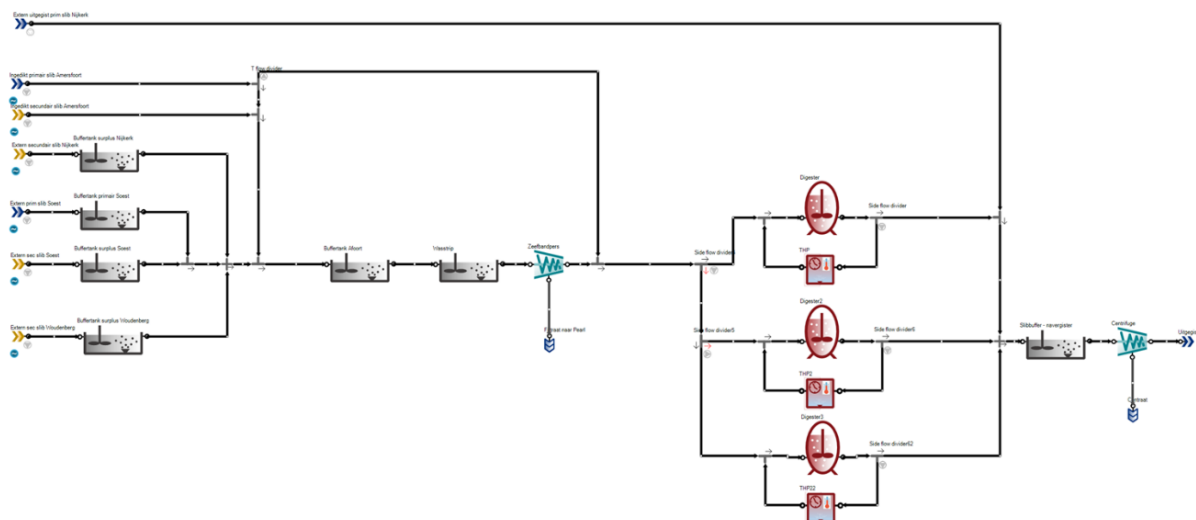


Sliblijn

De sliblijn (exclusief deelstroombehandeling) van RWZI Amersfoort is als volgt modelmatig opgezet:

- De externe slibstromen worden opgeslagen in buffertanks op de betreffende (externe) rwzi's. De externe slibstromen bestaan uit:
 - Secundair slib vanuit Nijkerk.
 - Primair en secundair slib vanuit Soest.
 - Secundair slib vanuit Woudenberg.
- Vervolgens wordt bovengenoemd extern slib samen met het slib van RWZI Amersfoort, primair en secundair slib, gevoed aan de (slib)buffertank op Amersfoort. Hierbij wordt een deel (vast debiet) van het primair slib van Amersfoort om de buffertank geleid en direct gevoed aan de gistingstanks (zie Figuur B1.4.5).
- Extern uitgegist primair slib vanuit Nijkerk wordt direct gevoed aan de uitgegist slibbuffer en wordt enkel ontwaterd op RWZI Amersfoort.
- Vanuit de (slib)buffertank wordt het slib gevoed aan de Wasstrip® waarna het wordt ingedikt middels een zeefbandpers. De Wasstrip® is gesimuleerd als een goed gemengde tank ("bakje").
- Vervolgens wordt de slibstroom naar de slibgisting gebracht. De gisting is opgedeeld in drie parallel geschakelde reactoren, conform de praktijksituatie, met een thermisch druk hydrolyse (TDH). Het doorvoerdebiet van de TDH is een vast debiet van 3,5 m³/h.
- Na de gisting wordt de slibstroom, samen met het uitgegist primair slib vanuit Nijkerk, gevoed aan de uitgegist slibbuffer en ontwaterd middels een centrifuge.

Figuur B1.4.5 Modelmatige configuratie van de sliblijn (zonder deelstroombehandeling) van RWZI Amersfoort in SUMO



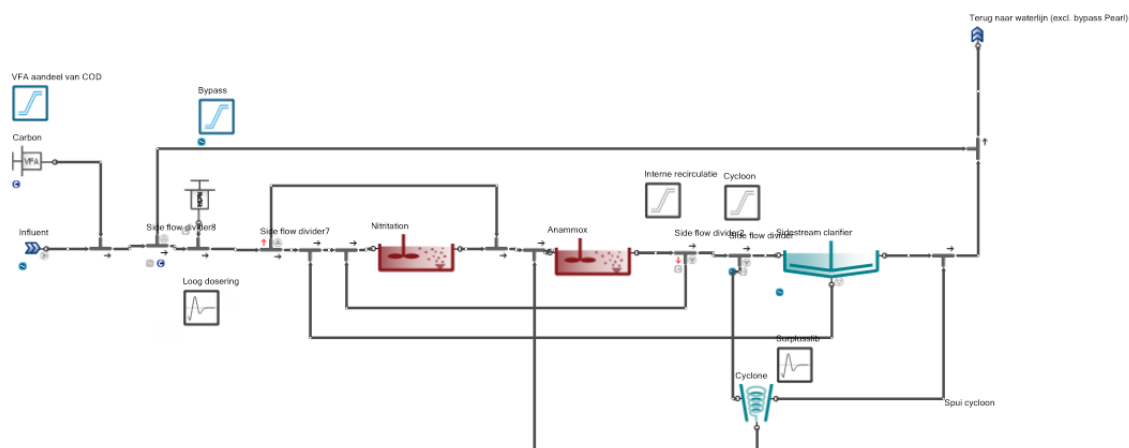
Deelstroombehandeling

De deelstroombehandeling, Demon®, is apart gesimuleerd om een 'gevoel' bij de werking te krijgen en inzichtelijk te maken wat het effect is van verschillende maatregelen. De deelstroombehandeling van RWZI Amersfoort is als volgt modelmatig opgezet:

- Een deel van de aanvoer naar de Demon wordt gebypast en teruggebracht naar de waterlijn. Het overige deel van de aanvoer wordt gevoed aan de Demon.
- De Demon is opgedeeld in twee zones ("bakjes"). De eerste zone is de 'nitritatie' en de tweede zone is de 'Anammox'. In de eerste zone vindt de omzetting van ammonium naar nitriet plaats en in de tweede zone wordt ammonium samen met nitriet omgezet in stikstofgas (zie Figuur B1-46).

- Circa 50% van de aanvoer naar de Demon wordt om de eerste zone geleid zodat de tweede zone wordt gevoed met ammonium.
- Circa 50% van de aanvoer wordt gevoed aan de eerste zone samen met het retourslib.
- Vervolgens wordt circa 95% van de afloop van de tweede zone gerecirculeerd naar de eerste zone.
- Bovenstaande (%) verdeling is gemaakt op basis van expert judgement.
- De slibstroom uit de Demon wordt deels gevoed aan een cycloon en de overige slibstroom gaat naar een nabezinktank.
 - Een deel van de slibstroom wordt met een vast debiet gevoed aan een cycloon. De zware fractie wordt teruggeleid naar de tweede zone en de lichte fractie wordt teruggevoerd naar de waterlijn.
 - De nabezinktank is gekalibreerd als een 'point separator' nabezinktank, wat betekent dat er een perfecte slib/water scheiding is. De slibuitspoeling uit de nabezinktanks is vastgezet op 100 mg OB/l.
- De beluchting is geregeld op basis van een DO-setpoint en de maximale inbrengcapaciteit van de beluchting is meegegeven.

Figuur B1.4.6 Modelmatige configuratie van de deelstroombehandeling (Demon®) van RWZI Amersfoort in SUMO



KALIBRATIE/ VALIDATIE

Vergelijkbaar met case RWZI Bergambacht geldt voor het model van de waterlijn dat, indien het model voldoende nauwkeurig is opgezet en de gegevens zijn geverifieerd dan is de kalibratie relatief kort. Bij de kalibratie zijn de modelmatige resultaten van parameters zoals de slibafvoer, de $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{PO}_4\text{-P}/\text{P}$ -totaal concentratie in het effluent en de online concentraties (sensordata) vergeleken met de praktijkgemeten concentraties. De modelmatige resultaten komen goed overeen met de praktijk gemeten concentraties en de sensordata. Hoewel de parameters niet exact overeenkomen, wordt de trend gedurende het jaar goed gevolgd door het model. Dit geldt zowel voor de waterlijn als de deelstroombehandeling.

Voor de deelstroombehandeling geldt dat in eerste instantie meetgegevens van een heel jaar zijn gehanteerd zodat het model kon worden gekalibreerd en gevalideerd. Bij het implementeren van optimalisaties gaf een volledig jaar echter te veel variatie in de resultaten waardoor het effect van de maatregelen niet goed inzichtelijk kon worden gemaakt. Daardoor is vervolgens besloten om een periode van twee weken te simuleren.

Om vervolgens de impact van optimalisaties in de deelstroombehandeling op de waterlijn te kunnen onderzoeken zijn twee methoden gehanteerd:

1. Het Demon model is geïntegreerd met het model van de waterlijn.
2. De afloop van de Demon is bepaald en als retourstroom ingegeven in het model van de waterlijn, waarbij is aangenomen dat de Demon een rendement behaalt van 80% N-verwijdering.

Er zijn twee verschillende methoden gebruikt omdat de simulatietijd erg lang wordt naarmate het model groter en complexer wordt 'gebouwd'.

Voor de sliblijn geldt dat er niet veel data beschikbaar is voor de verschillende procesonderdelen (vergeleken met de waterlijn). Voor het doel van de studie is dit echter ook niet noodzakelijk. Bij het doorrekenen van verschillende maatregelen is voornamelijk gekeken naar de verbetering/verslechtering van bijvoorbeeld het VFA-gehalte in de retourstromen ten opzichte van de referentiesituatie en in welke mate deze verbetert of verslechtert.

Bij RWZI Amersfoort is in de kalibratie een heel jaar meegenomen waardoor alle seizoenen worden gekalibreerd. Hierdoor is het model (indirect) ook gevalideerd en hoeft dit niet aanvullend uitgevoerd te worden.

KARAKTERISERING VAN STROMEN

Vergelijkbaar met case RWZI Bergambacht, is een aanvullende karakterisering van stromen voor deze studie niet nodig.

Bovenstaande opzet van het model van RWZI Amersfoort is, specifiek voor de waterlijn, ook gehanteerd in een vervolgstudie. In de kalibratie van het model is de beluchtingsregeling in de opzet aangepast naar de Aquasuite Pure Control regeling die in 2021 in de praktijk is geïmplementeerd. RWZI Amersfoort is gekalibreerd en gevalideerd voor de situatie 01-07-2022 t/m 30-06-2023.

Voor de retourstroom vanuit het zandfilter is de enige beschikbare meetdata uit de jaren 2016 en 2017 gehanteerd, dit betreft in totaal 35 monsternamedagen. Het (uur)debiet wordt wel gevarieerd conform de meetdata 01-07-2022 t/m 30-06-2023.

In de vervolgstudie zijn vier scenario's uitgebreid onderzocht. In deze studie ligt de nadruk op de invloed van de anaerobe tank op de biologische P-verwijdering en het effect op het N-gehalte in het effluent. Daarnaast wordt een conclusie getrokken wat betreft het m-UCT principe versus Phoredox principe.

B2.2 VOORGAANDE OPTIMALISATIES RWZI AMERSFOORT

BESCHRIJVING OPTIMALISATIES

In overleg tussen het waterschap en Sweco is bij eerdere studies een lijst opgesteld met potentiële maatregelen. De maatregelen zijn ingedeeld in de volgende scenario's, welke vervolgens nader worden beschreven:

1. Wasstrip®¹⁵.
2. Navergifter.
3. Deelstroombehandeling (Demon).
4. Waterlijn.
5. Nieuwbouw anaerobe tank (ANT).

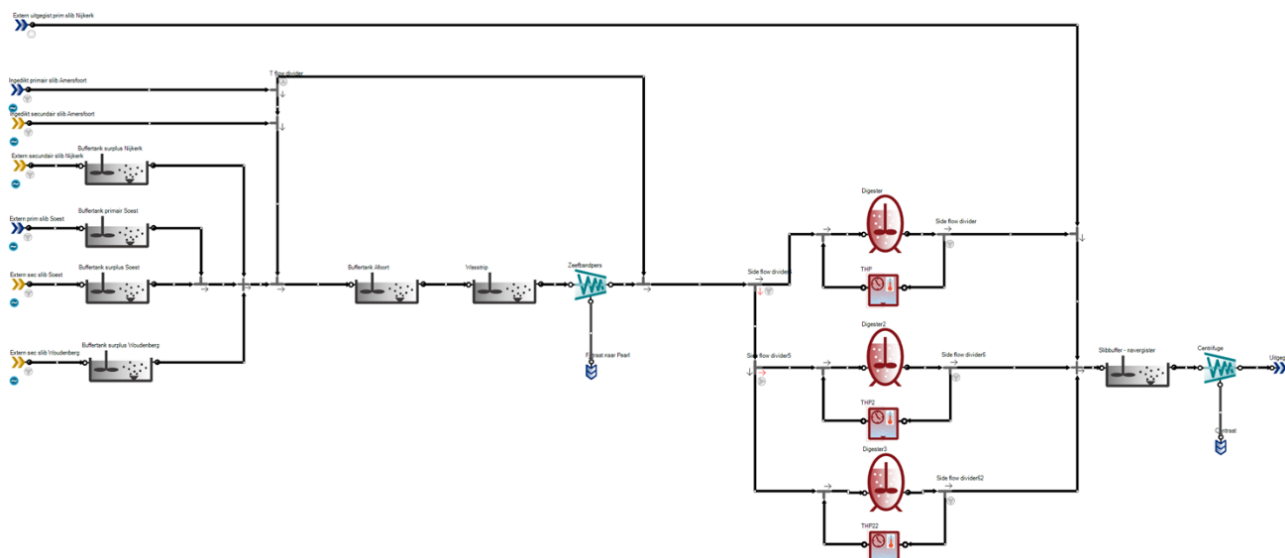
Ad 1 Wasstrip®

RWZI Amersfoort ontvangt extern slib (conform situatie in 2020) van:

- RWZI Nijkerk (secundair slib)¹⁶.
- RWZI Soest (primair en secundair slib).
- en RWZI Woudenberg (alleen secundair slib).

Het externe onvergiste slib wordt gevoed aan de Wasstrip®. Het uitgegiste primair slib gaat direct naar de ontwatering. Om inzicht te krijgen in de werking van de Wasstrip® en het effect van de externe slibaanvoer hierop, zijn de (externe) slibbuffers op RWZI Nijkerk, Soest en Woudenberg meegenomen in de simulatie, zie Figuur 4.7.

Figuur 4.7 SUMO-model van de Wasstrip® en gisting op RWZI Amersfoort, inclusief de externe slibbuffers van RWZI Soest, Nijkerk en Woudenberg



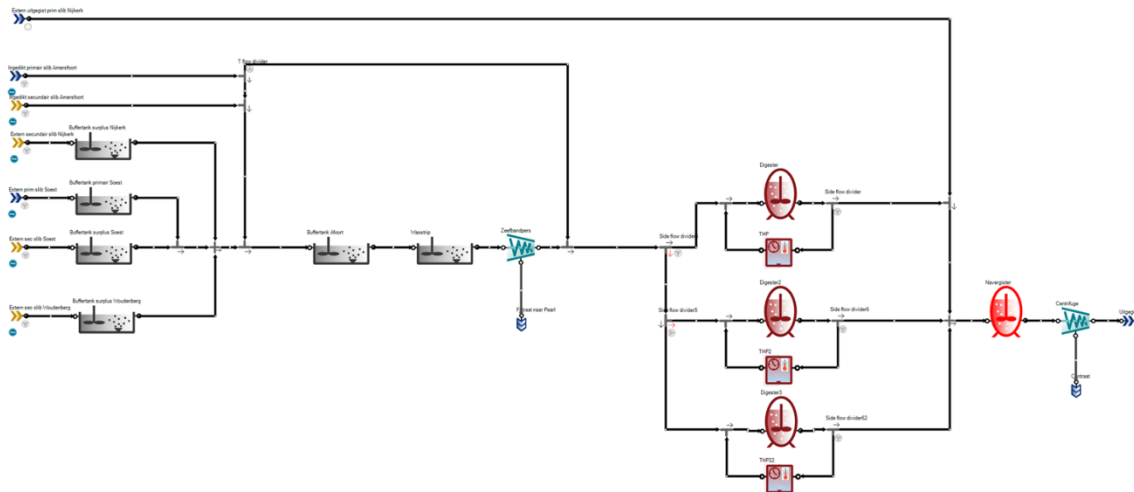
De optimalisatie die is onderzocht voor de Wasstrip® is het bypassen van het primair slib (van RWZI Soest en RWZI Amersfoort zelf) langs de Wasstrip®. Het doel is om inzicht te krijgen in het effect van deze maatregel op de vracht vetzuren (VFA) naar de deelstroombehandeling. Daarnaast is het effect van deze maatregel op de slibgisting (biogasproductie) geëvalueerd.

- 15 De Wasstrip® (Waste Activated Sludge Stripping to Recover Internal Phosphate) is een techniek van Ostara voor fosfaat-terugwinning uit slib. Dit is een aanvulling op de Pearl® (zie 2.2.3 voetnoot 20).
- 16 Het uitgegiste primaire slib gaat direct naar de slibontwatering

Ad 2 Navergister

In de simulatie is de uitgegist slibbuffer veranderd in een gistingstank (navergister) met hetzelfde volume als de uitgegist slibbuffer, Figuur 4.8. Feitelijk verandert er niets aan de processen welke plaatsvinden in deze tank maar wel wordt duidelijk hoeveel biogas er potentieel nog vrijkomt in de uitgegiste slibbuffer. Deze maatregel is enkel gesimuleerd voor de huidige situatie. Het effect van een navergister in combinatie met een bypass van het primair slib langs de Wasstrip® is berekend.

Figuur 4.8 SUMO-model van de Wasstrip® en gisting op rwzi Amersfoort, inclusief de externe slibbuffers van RWZI Soest, Nijkerk en Woudenberg waarbij de uitgegist slibbuffer is aangepast naar een navergister

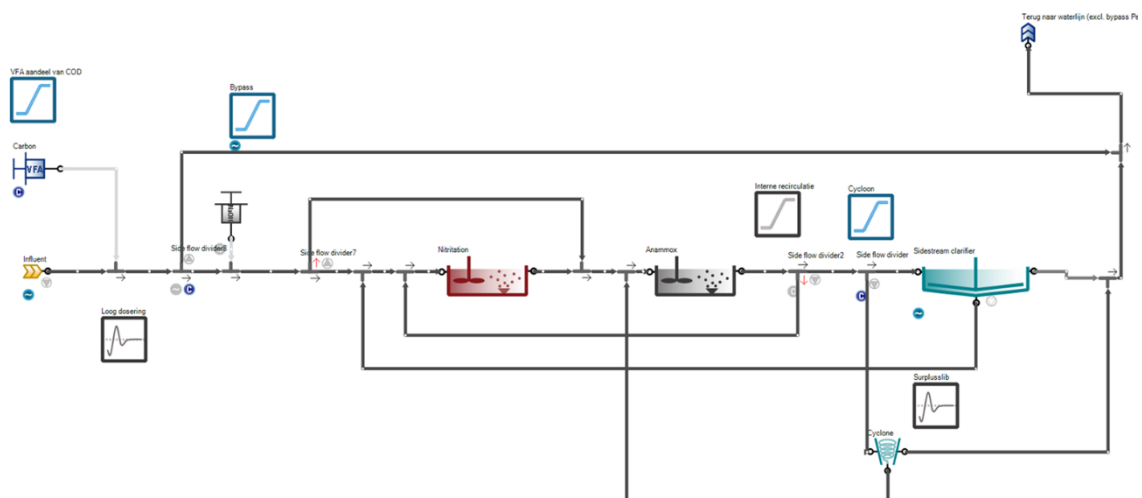


Door de uitgegist slibbuffer te modelleren als een gistingstank kan worden bepaald wat het effect is van een navergister op de VFA-vracht richting de deelstroombehandeling (met en zonder een bypass van primair slib om de Wasstrip®).

Ad 3 Deelstroombehandeling (Demon)

De Demon is in dit scenario apart gesimuleerd om een 'gevoel' bij de werking te krijgen en inzichtelijk te maken wat het effect is van verschillende maatregelen, zie Figuur 4.9.

Figuur 4.9 SUMO-model van de Demon op RWZI Amersfoort



De achterliggende vraag is; wat is het effect op de N-, P- en VFA-vracht richting de waterlijn wanneer een lager en hoger percentage VFA (ten opzichte van de CZV-vracht) wordt gehanteerd in de aanvoer naar de Demon? En wat is het effect in combinatie met een kleinere bypass langs de Demon? De volgende maatregelen zijn gesimuleerd:

- Een VFA-vracht van +0 of +50% ten opzichte van de CZV-vracht in het influent van de Demon (in het model is deze vracht als een VFA-dosering meegenomen).
- Een bypass van 0% of 58% langs de DEMON.

In het model wordt extra VFA “gedoseerd” op de Demon om het effect van een verhoogd vetzuurgehalte op de werking van de Demon inzichtelijk te maken. Bij de dosering is gecorrigeerd voor de huidige VFA concentratie, hierbij is aangenomen dat al het BZV in het influent van de Demon bestaat uit VFA (dit is circa 40% van het CZV). Vervolgens wordt geen of 50% VFA gedoseerd ten opzichte van de CZV-vracht in het influent van Demon.

Het effect van een bypass om de Demon is inzichtelijk gemaakt door een bypass van 0 of 58% toe te passen. Bij 0% zal de gehele retourstroom door de Demon worden behandeld. Een bypass van 58% is de gemiddelde bypass in de huidige situatie. De bypass wordt toegepast doordat het Demon proces instabiel wordt bij hogere VFA vrachten, de Anammox bacterie wordt dan namelijk “weggeconcentreerd” door heterotrofe bacteriën. Bij hogere vrachten VFA zal dus een grotere bypass benodigd zijn om het Demon proces te kunnen blijven handhaven.

Ad 4 Waterlijn

In dit scenario wordt gekeken naar de impact van het voorgaande scenario (Deelstroom-behandeling Demon) op de waterlijn, namelijk geen VFA dosering in de Demon in combinatie met een bypass van 0% of 58% om de Demon. Daarnaast wordt onderzocht of een aangepaste bedrijfsvoering van de waterlijn (1^e puntbeluchter in stromingsrichting vanuit de anoxische zone, altijd uit) de biologische P-verwijdering kan verbeteren.

In de praktijk wordt fosfaat chemisch verwijderd. In de simulatie is geen chemicaliëndosering voor P-verwijdering meegenomen, zodat het effect van de optimalisatie op de biologische P-verwijdering zichtbaar wordt.

Zie Figuur 4.10 voor een overzichtsfoto van de rwzi.

Figuur 4.10

RWZI Amersfoort (WSVV)

*Nieuwbouw anaerobe tank (ANT)*

De P-opname in het slib kan (sterk) worden vergroot door een anaerobe tank te realiseren. In de simulatie is het effect van een aerobe tank (met een verblijftijd van een uur) op de effluentkwaliteit bepaald. Daarbij is onderzocht of deze maatregel voldoende is om aan de toekomstige fosfor effluenteis te voldoen.

EFFECT VAN OPTIMALISATIES*Wasstrip®*

De resultaten laten zien dat er al verzuring plaatsvindt in de externe slibbuffers, waarbij vetzuren (VFA's) worden geproduceerd en P-release optreedt. Dit effect is het meest aanwezig bij het primair slib. In de Wasstrip® vindt vervolgens verdere verzuring en P-release plaats. Na de Wasstrip® wordt het slib ingedikt en gaat het slib naar de gisting. Het filtraat gaat (via de Pearl®¹⁷-reactor) naar de deelstroombehandeling Demon. De VFA-vracht in het filtraat richting de deelstroombehandeling is daarmee dus erg hoog, dit werkt nadelig voor het Demon proces, waardoor deze niet in staat is de volledige retourstroom (filtraat + centraat) te behandelen.

Om de VFA-vracht in de filtraatstroom te verlagen is een bypass van het primair slib om de Wasstrip® gesimuleerd. Hierbij wordt het primair slib vanuit Soest en Amersfoort apart ingedikt en direct naar de gisting gebracht (om het gewenste droge stofgehalte in de gisting te kunnen realiseren).

Een bypass van primair slib om de Wasstrip® geeft modelmatig:

- Een behoud van de goede werking van de Wasstrip® voor wat betreft de P-release.
- Minder biogasproductie in de Wasstrip® (-80%) en een hogere biogasproductie in de gisting (+35%), dus biogasproductie op de 'juiste' plaats. De productie verschuift van de Wasstrip® naar de gistingstank.
- Een lagere VFA-vracht naar de deelstroombehandeling (-80%).

¹⁷ De Pearl® is een technologie van Ostara om nutriënten terug te winnen en te kunnen gebruiken als meststof.

Naviger

Op basis van de resultaten kan worden geconcludeerd dat het inrichten van de uitgegist slibbuffer als een naviger (feitelijk betekent dit afdekking van de buffer om het geproduceerde biogas af te vangen):

- Geen tot nauwelijks impact op de VFA- of P-vracht naar de deelstroombehandeling, zoals te verwachten. Er verandert immers niets aan het volume van de tank. Dit geldt ook voor de situatie met bypass van al het primair slib langs de Wasstrip®.
- Duidelijk maakt dat hier nog potentieel een hoeveelheid biogas vrijkomt van circa 5% ten opzichte van de huidige (geregistreerde) biogasproductie.

Deelstroombehandeling (Demon)

Het effect van VFA-dosering en/of een bypass om de Demon:

- Geen VFA-dosering geeft minder 'kans' op denitrificatie in de Demon en het daarmee gepaard gaande verlies van Anammox-activiteit en maakt een geringere bypass (of helemaal geen bypass) van de Demon mogelijk.
- Geen VFA-dosering in combinatie met 0% bypass geeft een gunstige slibsamenstelling in de Demon, namelijk een hogere Anammox concentratie

Waterlijn

De resultaten laten zien dat:

- Een 0% bypass langs de Demon voor de maand juni 2021¹⁸ geen directe verbetering van effluentkwaliteit van de waterlijn geeft ten opzichte van werkelijke situatie (circa 30% bypass langs de Demon in juni 2021).
- In deze periode is de waterlijn goed in staat de aangeboden N-vracht te verwijderen.
- Wanneer de haalbare effluentkwaliteit van de waterlijn wordt uitgezet tegen het percentage bypass langs de Demon, dat bij een hogere bypass langs de Demon de denitrificatie capaciteit in de waterlijn steeds meer beperkend wordt.
- Een gewijzigde bedrijfsvoering (1^e puntbeluchter in stromingsrichting vanuit de anoxische zone, altijd uit) laat zien dat er meer ruimte komt voor denitrificatie en biologische fosfaatverwijdering. Wanneer wordt gekeken naar de jaargemiddelde effluentkwaliteit dan levert het uitzetten van de 1e puntbeluchter een verlaging van het N-totaal-gehalte op van -24% (7,0 mg N/l wordt 5,3 mg N/l) en van het P-totaal-gehalte van -44% (4,5 mg P/l wordt 2,5 mg P/l na de NBT's, zonder chemisch P-verwijdering).

Nieuwbouw anaerobe tankt (ANT)

In de simulatie zijn bij het implementeren van een (nieuwbouw) anaerobe tank twee bio-P verwijdering principes onderzocht, namelijk het Phoredox- en het m-UCT-principe. Uit de resultaten blijkt dat het m-UCT-principe een stabielere bio-P-verwijdering geeft met een verbetering van de totaal-P effluentkwaliteit van 35% (2,4 mg P/l wordt 1,8 mg P_{tot}/l na de NBT's, zonder chemisch P-verwijdering). Het toepassen van een anaerobe tank heeft geen invloed op het stikstofgehalte in het effluent. Om een toekomstige effluenteis van 0,5 mg P/l te kunnen behalen blijft aanvullende chemicaliën dosering nodig.

18 Bij het implementeren van optimalisaties gaf een volledig jaar te veel variatie in de resultaten waardoor het effect van de maatregelen niet goed inzichtelijk kon worden gemaakt. Daardoor is vervolgens besloten om een kortere periode te simuleren.

BIJLAGE 3

OPZET MODEL RWZI HELLEVOETSLUIS

DOELSTELLING FORMULEREN

Voor RWZI Hellevoetsluis is de volgende vraag geformuleerd voor de optimalisatie: “Wat is het effect als er meer wordt genitrificeerd in de voornitrificatie?”

SYSTEEMGRENZEN

Bij RWZI Hellevoetsluis is het voor de doelstelling relevant om de voordennitrificatie, de voornitrificatie, het omloopcircuit en de nabezinktanks te modelleren. Daarnaast is het in verband met de beschikbare metingen (influent) noodzakelijk om de selector en anaerobe tank te modelleren. Het is voor de vraag niet nodig om de sliblijn mee te nemen in het model en er is geen sprake van parallelle straten in de zuivering.

STATISCH OF DYNAMISCH? (HSA VERSUS SUMO)

Het is van belang om de oxische en anoxische zones in de waterlijn te beïnvloeden door de beluchtingsregelingen aan te passen. Daarnaast heeft dit invloed op de interne recirculatie, vanwege de regeling op de nitraatconcentratie. Met dynamisch simuleren is dit mogelijk en kan bekeken worden wat het effect is op de nitraat- en ammoniumconcentraties in verschillende compartimenten in de waterlijn.

GEGEVENSVERZAMELING

De volgende data zijn verzameld voor het opzetten van het model in de periode van 07-07-2023 t/m 07-07-2024:

- Gemeten parameters (bijvoorbeeld sensordata):
 - Influent concentraties CZV, NKj, NOx, P-totaal (Z-info, dagdata).
 - Slibtoevoer DS-metingen (uurdata).
 - Sensoren nitrificatie: $\text{NH}_4\text{-N}$, DO, temperatuur (uurdata).
 - Sensoren denitrificatie: $\text{NO}_3\text{-N}$ (uurdata).
 - Sensoren propstroom: temperatuur, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, DS, DO, Redox (uurdata).
- Debieten (uurdata):
 - Influent (dagdata Z-info¹⁹ en uurdata).
 - (Interne) recirculatie (percentage aansturing pomp), NO_3 .setpoints.
 - Retourslib, influent ratio setpoints.
 - Surplusslib afvoer (RSG1 + RSG2).
- Beluchting:
 - Nitrificatie: luchtdebiet plaatbeluchters, DO-setpoints.
 - Propstroom: opgenomen vermogen borstelbeluchters (4x) (uurdata), DO-setpoints.
- Gegevens installatie:
 - Technische schouw (inclusief PFD).
 - SCADA.
 - Terreinleidingen kaart.
 - Ligging beluchtingselementen.

19 De influentdebieten uit Z-info (dagdata) worden niet gebruikt als input in SUMO

Voor aanvullende toelichting over de regelingen is contact opgenomen met de beheerder van de rwzi.

MODELPOUW

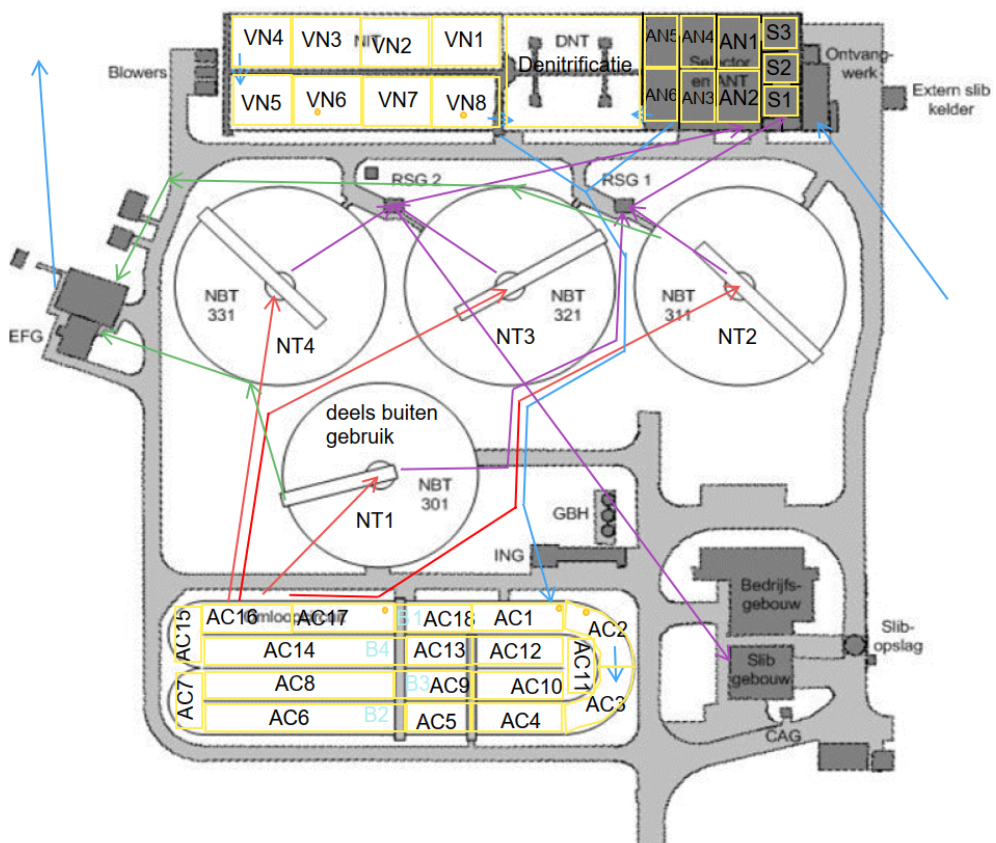
Compartimentering

De eerste versie van de compartimentering is gegeven in Figuur B3.1. Om de plugflow in de selector, anaerobe tank en voornitrificatie mee te geven in het model, zijn ze respectievelijk in 3 (S1 t/m S3), 6 (AN1 t/m AN6) en 8 (VN1 t/m VN8) compartimenten verdeeld. Daarbij is rekening gehouden met de locaties van de sensoren en de in- en de uitgaande stromen. De voordennitrificatie is één grote tank, dus deze is niet onderverdeeld in meerdere compartimenten.

Om de plugflow in de omloop te modelleren is die verdeeld in 18 compartimenten (AC1 t/m AC18). Daarbij is er rekening gehouden met de locatie van de sensoren (Figuur B3.1, gele puntjes), de puntbeluchters (B1 t/m B4) en in- en uitgaande stromen (Figuur B3.1, gekleurde pijlen).

Er zijn vier nabezinktanks waarvan er één een gedeelte van het jaar buiten werking is (NT1). Om de rekentijd te verkorten, zijn de vier nabezinktanks (NT1 t/m NT4) samengevoegd tot één compartiment in SUMO.

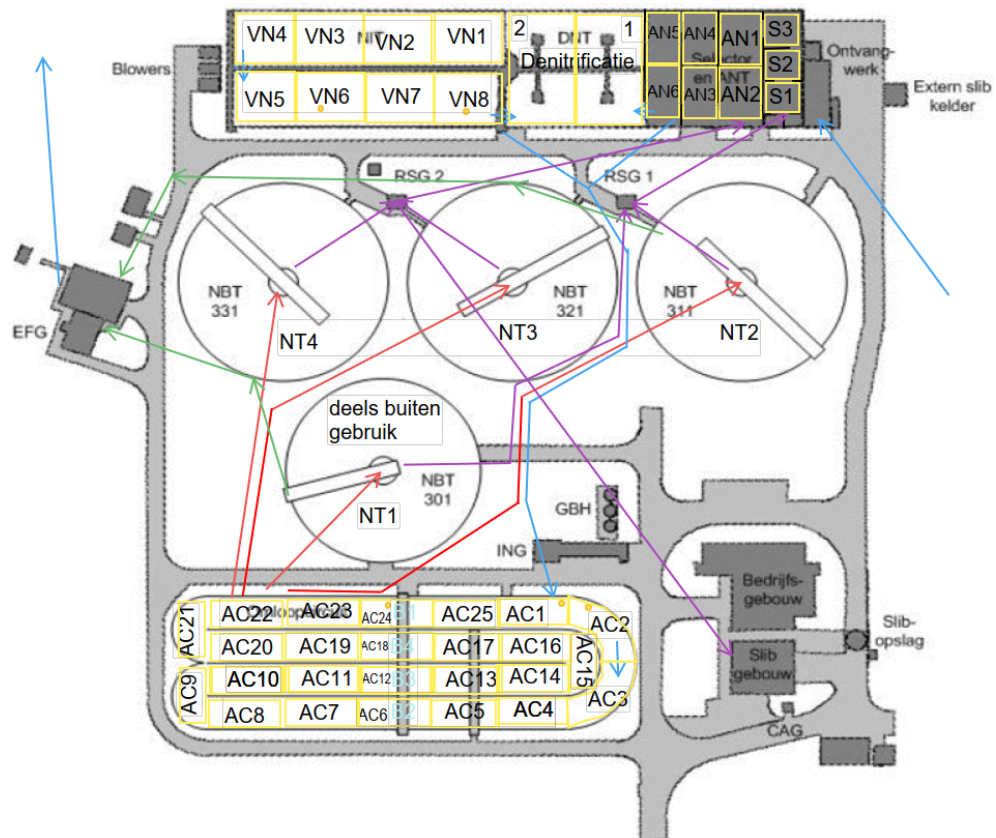
Figuur B3.1 Compartimentering RWZI Hellevoetsluis, versie 1



Tijdens de kalibratie/ validatie bleek een wijziging in de compartimentering van de omloop en de voordennitrificatie nodig te zijn. Deze aanpassing is voor de omloop benodigd om het modelmatige zuurstofgehalte beter te kunnen matchen met de sensordata. Voor de voorde-

nitrificatie geldt dat het modelmatige nitraatgehalte zo kan worden gematcht met de sensordata. Daarbij is rekening gehouden met de plaatsing van de puntbeluchters in het midden van een compartiment en dat de compartimenten met beluchters van eenzelfde grootte zijn. De voordennitrificatie is in het model opgesplitst in twee compartimenten. Het resultaat van de gewijzigde compartimentering is gegeven in Figuur B3.2.

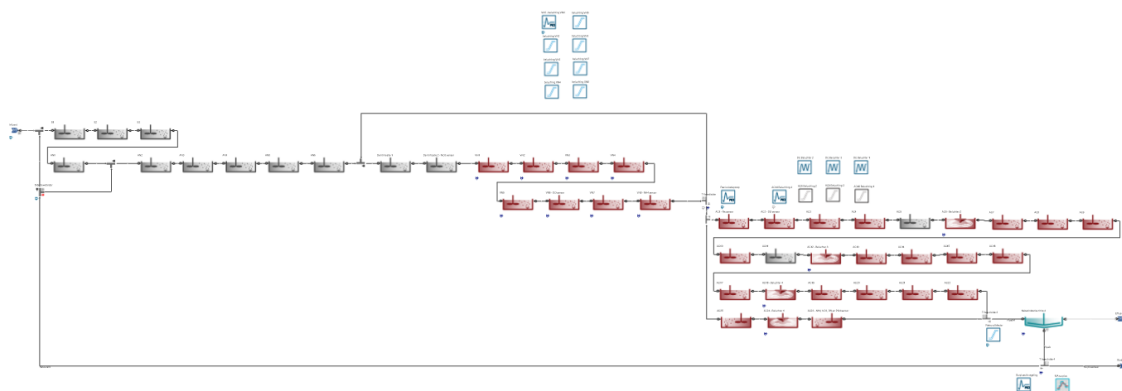
Figuur B3.2 Compartimentering RWZI Hellevoetsluis, versie 2



SUMO-model

In Figuur B3.3 is de uiteindelijke opzet van RWZI Hellevoetsluis in SUMO gegeven. Hier is dezelfde compartimentering gebruikt als in Figuur B3.2. In SUMO is gekozen voor een '2-step nitrification/denitrication' model, wat overeenkomt met het 'Sumo2 Full plant model'.

Figuur B3.3 Modelmatige configuratie van RWZI Hellevoetsluis in SUMO



RWZI Hellevoetsluis is als volgt modelmatig opgezet:

- Het influent komt binnen in het eerste compartiment van de selector (S1). Het influent is dynamisch ingegeven. Voor de debieten is de uurdata gebruikt en voor temperatuur, COD, NKj, NO_x^{20} en P-totaal de dagdata. De 'Influent tool' in SUMO is gebruikt om de balansen kloppend te maken. Op basis hiervan zijn de 'Influent fractions' aangepast²¹.
- Voor alle compartimenten van de selector, anaerobe tank, voordennitrificatie, voornitrificatie en het aeratiecircuit (de omloop) is een 'continuous stirred-tank reactor' (CSTR) gebruikt, waarvan de 'dissolved oxygen' op 'calculated' staat. In de compartimenten die onbelucht zijn, is bij de 'aeration settings' de 'Air flow' op 0 m³/h gezet. Van alle compartimenten in de voornitrificatie is de aeration ingesteld op 'diffused' en 'membrane disc' en de beluchte delen in de omloop (AC6, AC12, AC18 en AC24) op 'mechanical'.
- De beluchting in de voornitrificatie wordt geregeld op de gemeten ammoniumconcentratie in compartiment VN8 die gebruikt wordt als setpoint voor de beluchting. De beluchting in VN1 t/m VN4 is hetzelfde (100%) en in VN5 t/m VN8 wat lager (73,5%), aangezien daar minder beluchtingselementen liggen. De maxima zijn respectievelijk ingesteld op 1240 m³/h en 912 m³/h en de minima op 268 m³/h en 197 m³/h.
- De recirculatiepomp na compartiment VN8 wordt geregeld op NO_3 in de voordennitrificatie en de door het waterschap gedeelde NO_3 setpoints. Het maximumdebiet is ingesteld op 6000 m³/h.
- De beluchting in AC14 in de omloop (Beluchter 4) wordt geregeld op het DO gemeten in compartiment AC2 op een DO setpoint van 0,8 mg O₂/l met een maximale 'Wire power of aeration system' van 30 kW. De andere puntbeluchters (beluchters 1 t/m 3) worden geregeld met band controllers op basis van de 'Wire power of aeration system'-uitsturing van Beluchter 4.
- Vanuit compartiment AC22 gaat het water naar de nabezinktank. In het model is hier een pomp geplaatst in de richting van de omloop. Het debiet van de pomp is berekend door uit te gaan van een omloopsnelheid van 0,3 m/s.
- De vier nabezinktanks zijn als één tank gemodelleerd en daarvoor is een 'clarifier' toepast, ingesteld op 'volumeless point separator'. De "slibuitspoeling" is vastgezet op 4 mg OB/l. De retourslibstroom wordt geregeld op basis van een ratio van het influent (setpoints).
- De hoeveelheid surplusslib die wordt afgevoerd, wordt bepaald op basis van het gemeten ds-gehalte in compartiment AC23. Het modelmatige ds-gehalte wordt geregeld op basis van de handmetingen (lab-metingen welke iedere 2 à 3 dagen worden uitgevoerd)²². Het maximale debiet voor de afvoer van surplusslib is 45 m³/h.
- Het retourslib afkomstig van nabezinktanks 1 en 2 (NT1 en NT2) wordt teruggevoerd naar de selector (compartiment S1) en van nabezinktanks 3 en 4 (NT3 en NT4) naar de anaerobe tank (compartiment AN2). In de periode dat alle nabezinktanks in gebruik zijn is de verhouding retourslib naar selector/anaerobe tank 1:1, maar het is 1:2 tijdens de periodes dat NT1 buiten gebruik is²³.

20 NO_x is meegenomen vanwege de aanvoer van nitraatrijk water van een aardappelverwerkend bedrijf.

21 Zie de Dynamita Wiki voor meer informatie over het gebruik van de 'Influent tool': <https://wiki.dynamita.com/en/tools>

22 Deze data zijn betrouwbaar geacht gezien er geen grote afwijkingen in de metingen is waargenomen. Dit in tegenstelling tot de sensordata.

23 NT1 is buiten bedrijf vanaf 27-12-2023 tot 2-4-2024 en weer buiten gebruik vanaf 10-06-2024

KALIBRATIE/ VALIDATIE

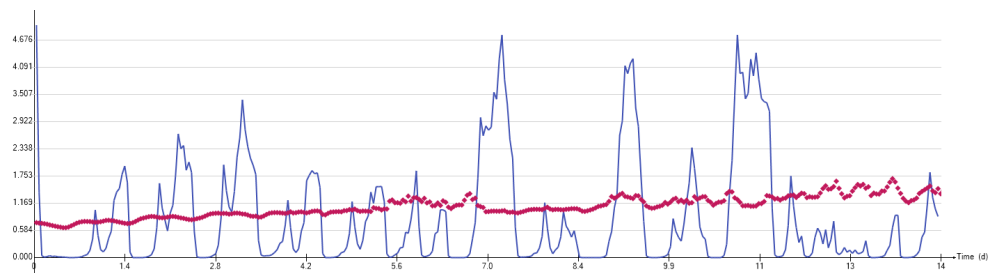
De data die genoemd is bij de gegevensverzameling is ingeladen bij de 'Outputs' in SUMO. Deze worden continu vergeleken met de gesimuleerde resultaten van het SUMO-model.

De eerste versie van het SUMO-model bevatte nog niet alle regelingen, zoals genoemd bij de 'Modelopbouw'. De beluchttingsregelingen voor de voornitrificatie en de omloop waren wel opgenomen, net als de regeling voor het retourslib en het surplusslib. De beluchttingsregeling in de omloop is zo geregeld dat alle puntbeluchters hetzelfde doen. In de regelingen zijn de gemeten zuurstofconcentraties opgenomen als setpoint, dus nog niet de werkelijk ingestelde setpoints.

Bij het simuleren wordt eerst een kortere periode gemodelleerd zodat een eerste inzicht in de resultaten kan worden verkregen. Indien de modelmatige resultaten overeenkomen met de praktijkdata dan wordt de simulatietijd verlengd. De eerste simulatie was een run van 14 dagen en die leverde de volgende resultaten op:

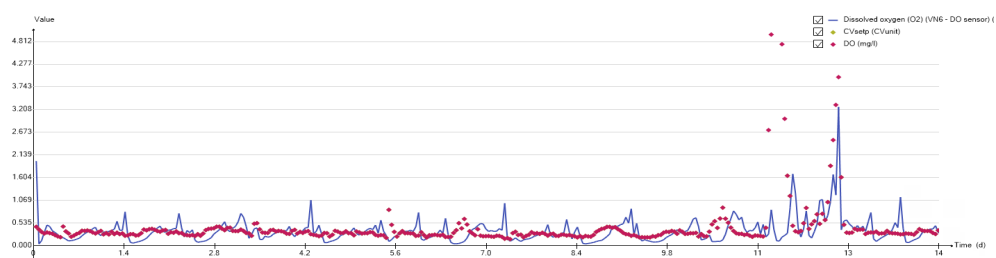
- Zoals verwacht komen de gemeten influent concentraties van COD, BZV, NKj, Ntot, Ptot en OB overeen met de gesimuleerde concentraties van respectievelijk TCOD, TBOD, TKN, TN, TP en TSS (OB) in SUMO.
- De gemodelleerde resultaten van NO_3 in de voornitrificatie volgen niet hetzelfde patroon. Zie Figuur B3.4.

Figuur B3.4 De gemodelleerde NO_3 -concentraties (blauwe lijn) en gemeten NO_3 -concentraties (rode punten) in de voornitrificatie gedurende de eerste 14 dagen van de eerste simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De NO_3 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



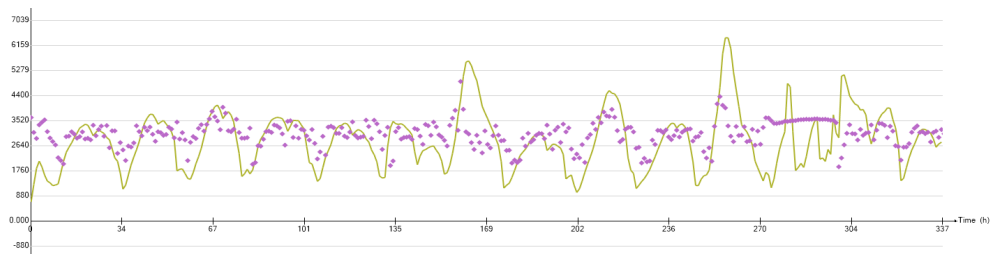
De gemodelleerde resultaten van het DO in de voornitrificatie (VN6) volgen hetzelfde patroon als de gemeten resultaten. Zie Figuur B3.5.

Figuur B3.5 De gemodelleerde DO-concentraties (blauwe lijn) en gemeten DO-concentraties (rode punten) in de voornitrificatie (VN6) gedurende de eerste 14 dagen van de eerste simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De DO-concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)



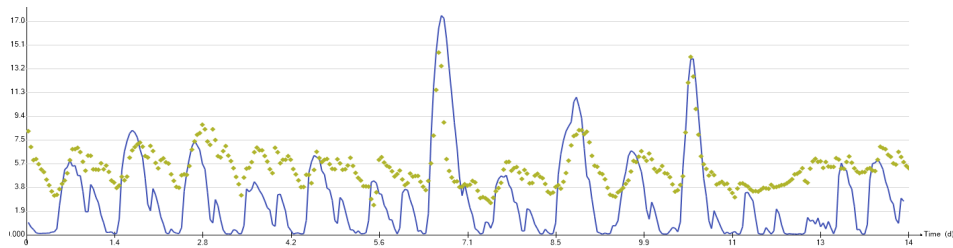
De beluchting in m^3/h in de nitrificatie van het model komt goed overeen met de gemeten waarden. Zie Figuur B3.6.

Figuur B3.6 De gemodelleerde beluchting (groene lijn) en gemeten beluchting (roze punten) in de voornitrificatie (VN1 t/m VN8) gedurende de eerste 14 dagen van de eerste simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De beluchting is gegeven in m^3/h (y-as)



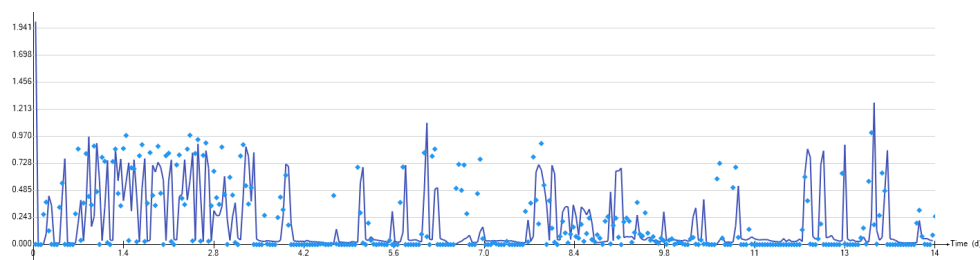
De gemodelleerde ammoniumconcentratie in de voornitrificatie (VN8) volgt hetzelfde patroon als de gemeten ammoniumconcentratie, maar ligt significant lager dan de gemeten sensordata. Zie Figuur B3.7.

Figuur B3.7 De gemodelleerde NH_4 -concentraties (blauwe lijn) en gemeten NH_4 -concentraties (groene punten) in de voornitrificatie (VN8) gedurende de eerste 14 dagen van de eerste simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De NH_4 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



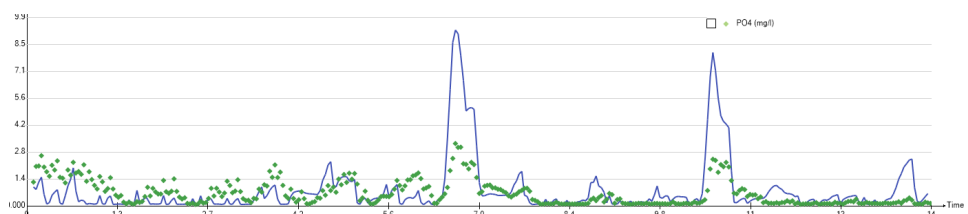
De gemodelleerde DO in de omloop (AC2) komt redelijk overeen met de gemeten DO. Zie Figuur B3.8.

Figuur B3.8 De gemodelleerde DO-concentraties (blauwe lijn) en gemeten DO-concentraties (blauwe punten) in de omloop (AC2) gedurende de eerste 14 dagen van de eerste simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De DO-concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)



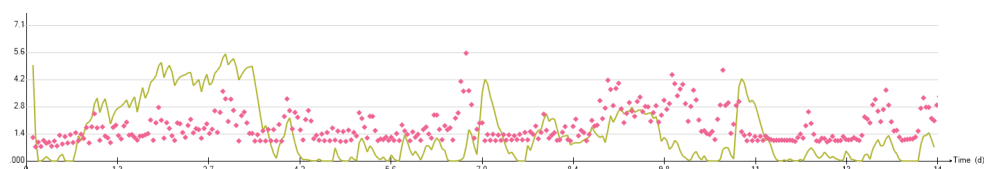
De gemodelleerde ammoniumconcentratie in de omloop (AC17) volgt hetzelfde patroon als de gemeten ammoniumconcentratie. De gemodelleerde waarden geven wel hogere pieken. Zie Figuur B3.9.

Figuur B3.9 De gemodelleerde NH_4 -concentraties (blauwe lijn) en gemeten NH_4 -concentraties (groene punten) in de omloop (AC17) gedurende de eerste 14 dagen van de eerste simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De NH_4 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



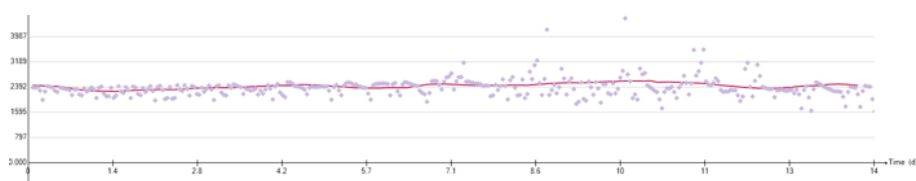
De gemodelleerde nitraatconcentraties in de omloop (AC17) zijn in dezelfde orde grootte als de gemeten waarden, maar volgen het patroon matig. Zie Figuur B3.10.

Figuur B3.10 De gemodelleerde NO_3 -concentraties (groene lijn) en gemeten NO_3 -concentraties (roze punten) in de omloop (AC17) gedurende de eerste 14 dagen van de eerste simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De NO_3 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



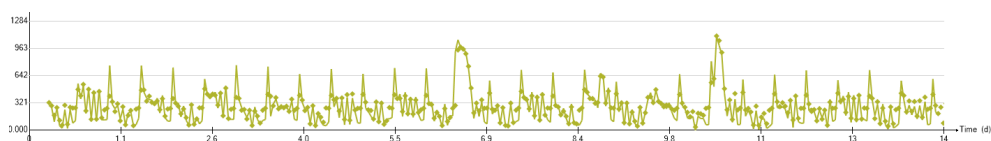
Het gemodelleerde droge stofgehalte in de omloop (AC17) komt goed overeen met de gemeten waarden. Zie Figuur B3.11.

Figuur B3.11 De gemodelleerde droge stof concentraties (roze lijn) en gemeten DS-concentraties (paarse punten) in de omloop (AC17) gedurende de eerste 14 dagen van de eerste simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De DS-concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)



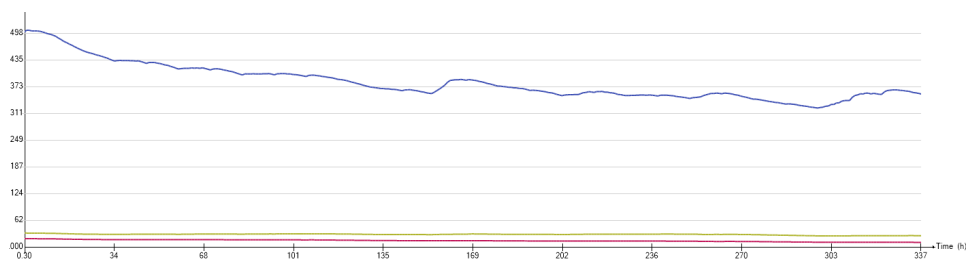
Het debiet van het retourslib van het model komt overeen met de gemeten waarden. Zie Figuur B3.12.

Figuur B3.12 De gemodelleerde retourslib debieten (groene lijn) en gemeten retourslib debieten (groene punten) gedurende de eerste 14 dagen van de eerste simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De debieten zijn gegeven in m^3/h (y-as)



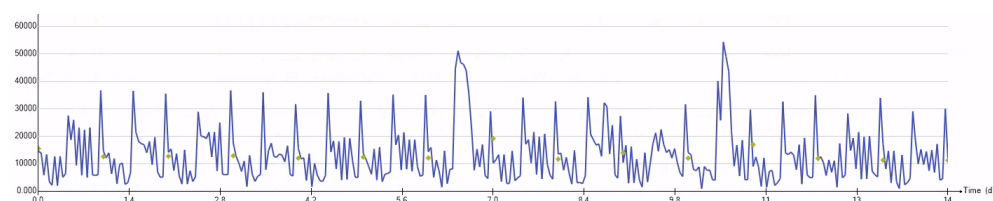
In de slibsamstelling in de omloop (AC17) is zichtbaar dat er OHO's, AOB's en NOB's aanwezig zijn. Zie Figuur B3.13.

Figuur B3.13 De gemodelleerde slibsamstelling in de omloop (AC17) gedurende de eerste 14 dagen van de eerste simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De OHO's (ordinary heterotrophic organisms) zijn gegeven in blauw, de AOB's (aerobic ammonia oxidizers) in groen en de NOB's (nitrite oxidizers) in roze. De concentraties zijn gegeven in mg COD/l (y-as)



De debieten van het effluent van de nabezinktank van het model komen overeen met de gemeten waardes. Zie Figuur B3.14.

Figuur B3.14 De gemodelleerde effluent debieten (blauwe lijn) en gemeten effluent debieten (groene punten) van de nabezinktanks gedurende de eerste 14 dagen van de eerste simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De debieten zijn gegeven in m³/h (y-as)



In de gemodelleerde periode (14 dagen) van de eerste simulatie zijn weinig meetpunten van de concentraties in het effluent zichtbaar, dus die zijn niet opgenomen in deze rapportage.

Voor de tweede simulatie is de volgende aanpassing gedaan aan het SUMO-model en het model is voor een heel jaar gesimuleerd:

De beluchtingsregeling van de omloop is aangepast om de nitrificatie en denitrificatie in de omloop verder te kalibreren. De 'manipulated variable' is aangepast van 'DO setpoint' naar 'Wire power of aeration system', opdat maxima van de vermogens ingegeven kunnen worden.

Na de tweede simulatie bleek dat de NO₃-concentratie na zo'n 100 dagen 0 mg N/l was in de voordennitrificatie in het model en ook in de omloop laag vergeleken met de gemeten waarden. De gemodelleerde ammoniumconcentraties in de voordennitrificatie en omloop waren te hoog. Dit betekent dat de nitrificatie en denitrificatie nog niet voldoende goed in het model is opgezet.

In de slibsamstelling was zichtbaar dat na 100 dagen de AOB's afnamen. Het DO in zowel de voordennitrificatie als de omloop was lager in het model dan de gemeten waarden.

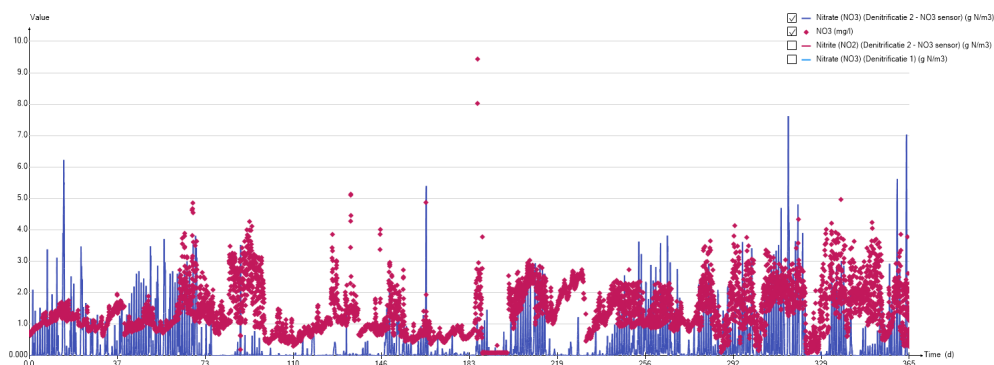
In de derde simulatie van het SUMO model zijn een aantal aanpassingen doorgevoerd.

- De voordennitrificatie is opgesplitst in twee compartimenten (Denitrificatie 1 en Denitrificatie 2) om inzichtelijk te maken wat de verschillen zijn in de voordennitrificatie wat betreft de NO_3 concentratie. Zie Figuren B3.1 en B3.2.
- De compartimentering in de omloop is aangepast (zie Figuren B3.1 en B3.2). In de nieuwe compartimentering zijn de puntbeluchters in het midden van de compartimenten geplaatst en zijn de verschillen in de groottes van de compartimenten verkleind.
- De recirculatie wordt geregeld op een NO_3 -concentratie van 0,5 mg N/l in Denitrificatie 2 tot een maximum van 6.000 m³/h. In de twee voorgaande simulaties was de recirculatie ingesteld op een vast debiet van 6.000 m³/h, wat niet overeenkwam met de gedeelde data.
- De beluchtingsregeling is aangepast van gemeten zuurstofconcentraties opgenomen als setpoint naar een beluchtingsregeling geregeld op basis van de praktijk-ingestelde DO-setpoints. Dit is gedaan om het model realistischer te maken en de gemodelleerde resultaten beter te laten matchen met de meetdata.
- Fouten waren ontdekt in de aangeleverde meetdata. Deze data is gecorrigeerd en opnieuw ingeladen in SUMO. De resultaten in de eerste en tweede simulatie zijn berekend met fouten in de data. De resultaten van de derde en latere simulaties zijn berekend met de gecorrigeerde data. In feite is de kalibratie (deels) opnieuw gestart.

De derde simulatie leverde de volgende resultaten op:

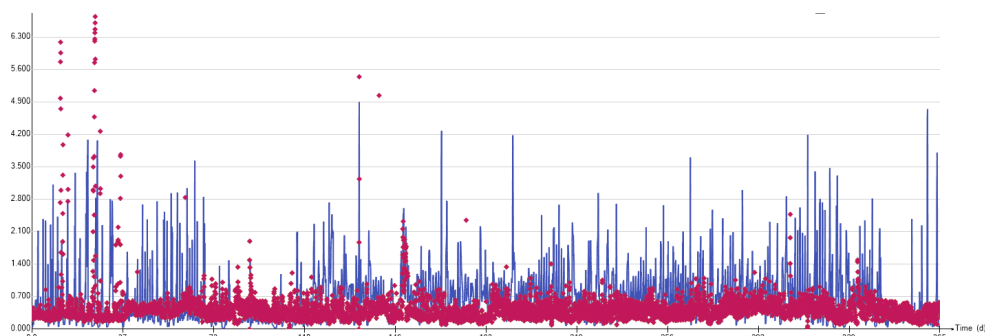
- Er is meer nitraat aanwezig in de voordennitrificatie dan de vorige simulatie, maar er zijn periodes dat de gemodelleerde nitraatconcentratie een stuk lager is dan de meetwaarden. Zie Figuur B3.15.

Figuur B3.15 De gemodelleerde NO_3 -concentraties (blauwe lijn) en gemeten NO_3 -concentraties (rode punten) in de voordennitrificatie gedurende het hele jaar van de derde simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De NO_3 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



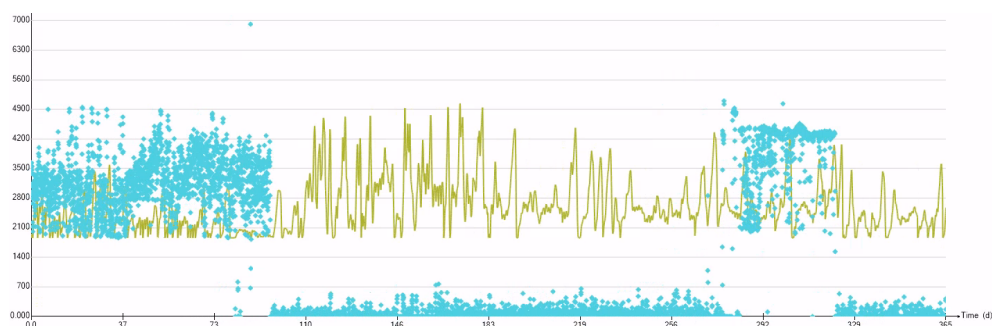
- De gemodelleerde DO in de voornitrificatie (VN6) volgt de meetwaarden voor een deel redelijk, maar is in sommige periodes te hoog. Er zijn veel pieken zichtbaar. Zie Figuur B3.16.

Figuur B3.16 De gemodelleerde DO-concentraties (blauwe lijn) en gemeten DO-concentraties (rode punten) in de voornitrificatie (VN6) gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De DO-concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)



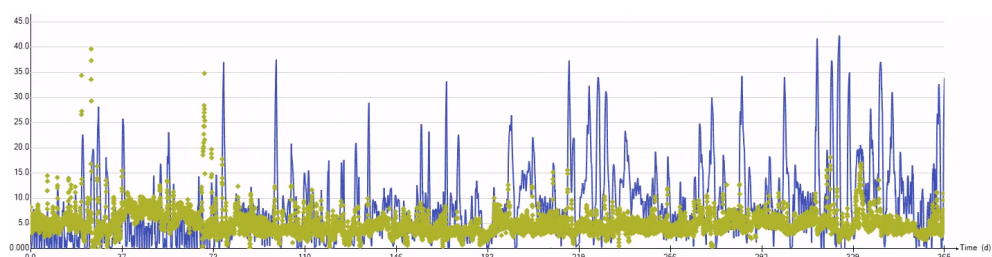
- De gemodelleerde beluchting in de voornitrificatie komt in het begin van het jaar redelijk overeen met de praktijk-meetdata, maar ongeveer na dag 90 is zichtbaar dat de gemodelleerde beluchting afwijkt van de meetpunten. Dit komt door 'fouten' in de praktijk meetdata, de praktijk gemeten data geeft geen beluchting terwijl deze er wel was na dag 90. Circa driekwart van deze praktijk-datapunten is onbetrouwbaar geacht. Zie Figuur B3.17.

Figuur B3.17 De gemodelleerde beluchting (groene lijn) en gemeten beluchting (blauwe punten) in de voornitrificatie (VN1 t/m VN8) gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De beluchting is gegeven in m³/h (y-as)



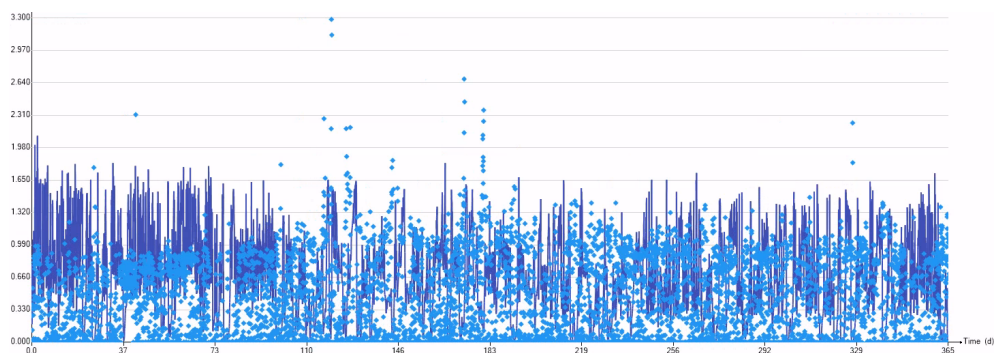
- De gemodelleerde ammoniumconcentratie in de voornitrificatie (VN8) volgt het patroon van de meetwaarden in sommige periodes, maar op veel momenten niet. Zie Figuur B3.18.

Figuur B3.18 De gemodelleerde NH₄-concentraties (blauwe lijn) en gemeten NH₄-concentraties (groene punten) in de voornitrificatie (VN8) gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De NH₄-concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



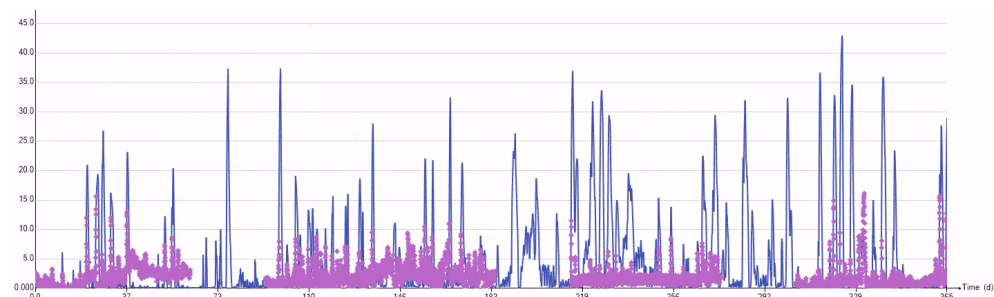
- De gemodelleerde DO concentratie in de omloop (AC2) is gedurende het gehele jaar hoger dan de meetwaarden. Zie Figuur B3.19.

Figuur B3.19 De gemodelleerde DO-concentraties (blauwe lijn) en gemeten DO-concentraties (blauwe punten) in de omloop (AC2) gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De DO-concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as).



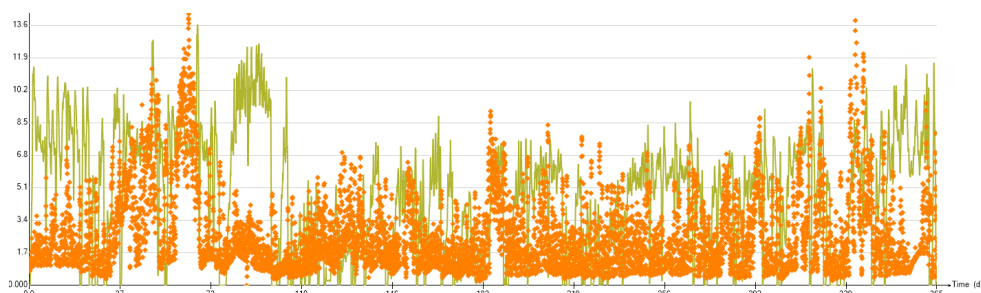
- De gemodelleerde ammoniumconcentratie in de omloop (AC23) volgt het patroon van de meetwaarden voor een deel van het jaar goed, maar de ammoniumpieken zijn dan wel hoger. Gedurende andere periodes zijn de ammoniumconcentraties lager dan de gemeten waarden. Zie Figuur B3.20.

Figuur B3.20 De gemodelleerde NH_4 -concentraties (blauwe lijn) en gemeten NH_4 -concentraties (roze punten) in de omloop (AC23) gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De NH_4 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



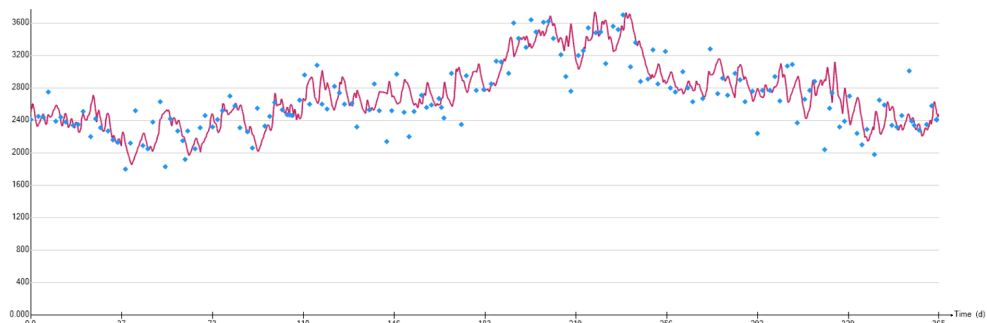
- De gemodelleerde nitraatconcentratie in de omloop (AC23) is aanzienlijk hoger dan de gemeten waarden. Zie Figuur B3.21.

Figuur B3.21 De gemodelleerde NO_3 -concentraties (groene lijn) en gemeten NO_3 -concentraties (oranje punten) in de omloop (AC23) gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De NO_3 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



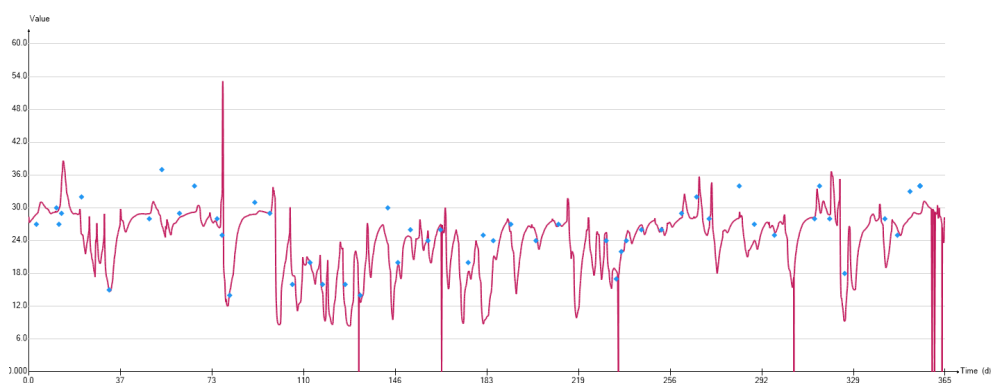
- De gemodelleerde TSS concentratie in de omloop (AC23) komt goed overeen met het gemeten droge stofgehalte (concentratie onopgeloste bestanddelen). Zie Figuur B3.22.

Figuur B3.22 De gemodelleerde TSS-concentraties (roze lijn) en gemeten DS-concentraties (blauwe punten) in de omloop (AC23) gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De TSS- en DS-concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)



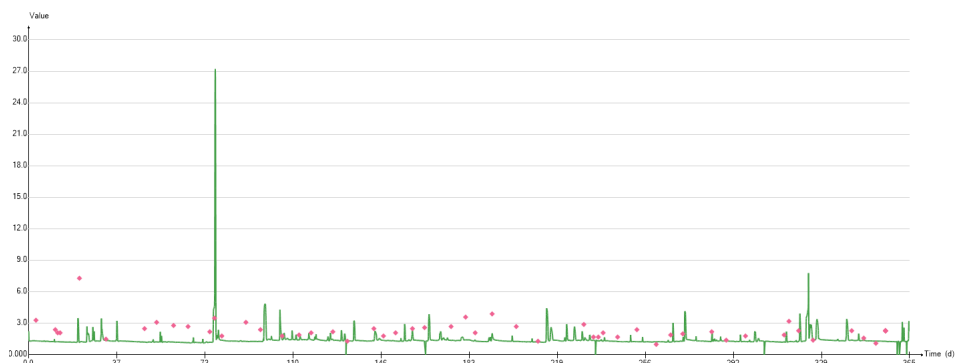
- De gemodelleerde CZV effluentconcentratie lijkt grotendeels overeen te komen met de meetpunten. Zie Figuur B3.23.

Figuur B3.23 De gemodelleerde CZV-concentraties (roze lijn) en gemeten CZV-concentraties (blauwe punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De CZV-concentraties zijn gegeven in mg COD/l (y-as)



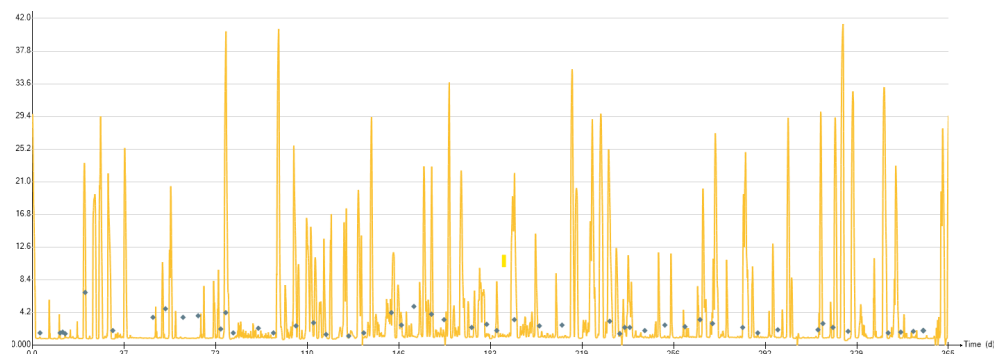
- De gemodelleerde BZV effluentconcentratie komt niet goed overeen met de meetpunten. Zie Figuur B3.24.

Figuur B3.24 De gemodelleerde BZV-concentraties (groene lijn) en gemeten BZV-concentraties (roze punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De BZV-concentraties zijn gegeven in mg BOD/l (y-as)



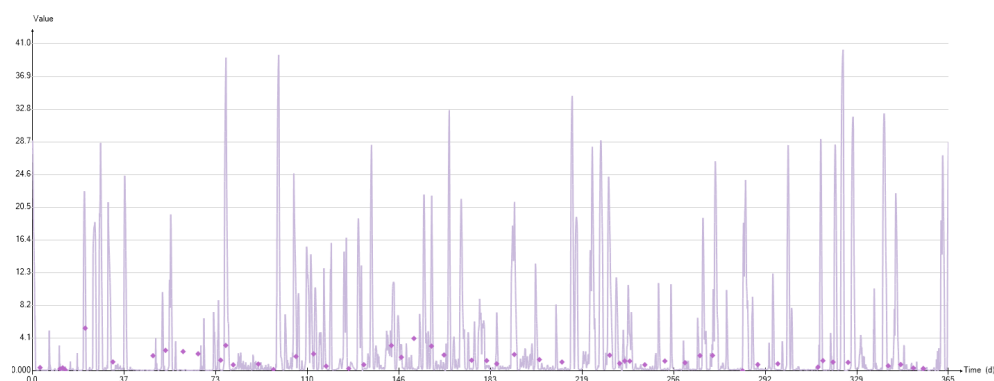
- De gemodelleerde NKj-effluentconcentratie lijkt op de meeste momenten overeen te komen met de meetwaardes. Dit kan beter ingeschat worden als de daggemiddelde concentraties van de meetdagen berekend worden en vergeleken worden met de gemeten NKj-waardes. Zie Figuur B3.25.

Figuur B3.25 De gemodelleerde NKj-concentraties (gele lijn) en gemeten NKj-concentraties (grijze punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De NKj-concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



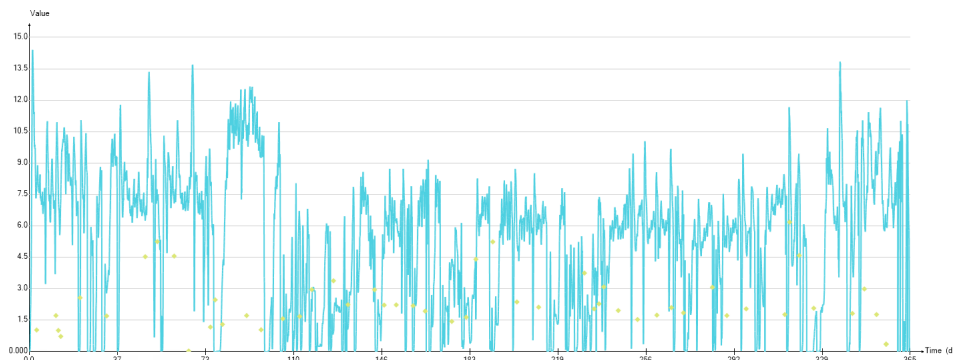
- Hetgeen beschreven voor NKj geldt ook voor de gemodelleerde $\text{NH}_4\text{-N}$ concentraties in het effluent. Zie Figuur B3.26.

Figuur B3.26 De gemodelleerde $\text{NH}_4\text{-N}$ -concentraties (paarse lijn) en gemeten $\text{NH}_4\text{-N}$ -concentraties (paarse punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De $\text{NH}_4\text{-N}$ -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



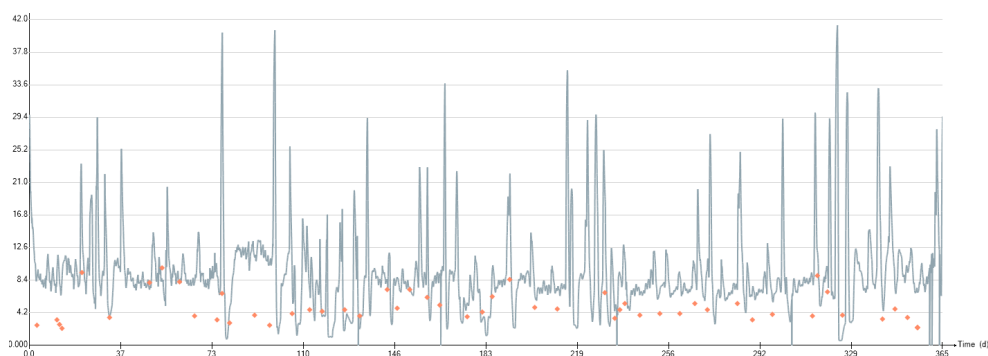
- De gemodelleerde NO_x effluentconcentraties zijn aanzienlijk hoger dan de meetwaardes. Zie Figuur B3.27.

Figuur B3.27 De gemodelleerde NO_x -concentraties (blauwe lijn) en gemeten NO_x -concentraties (groene punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De NO_x -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



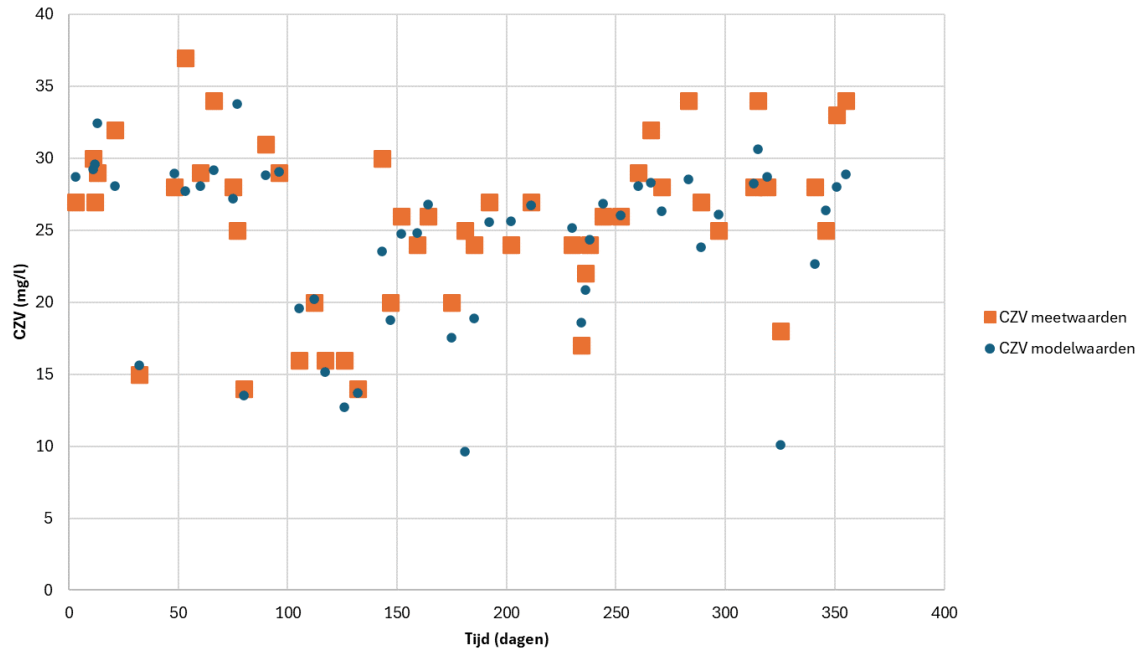
- De gemodelleerde N-totaal effluentconcentraties zijn aanzienlijk hoger dan de meetwaardes, vanwege de hoge NO_x -concentraties. Zie Figuur B3.28.

Figuur B3.28 De gemodelleerde N_{tot} -concentraties (grijze lijn) en gemeten N_{tot} -concentraties (oranje punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Hellevoetsluis. De N_{tot} -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)

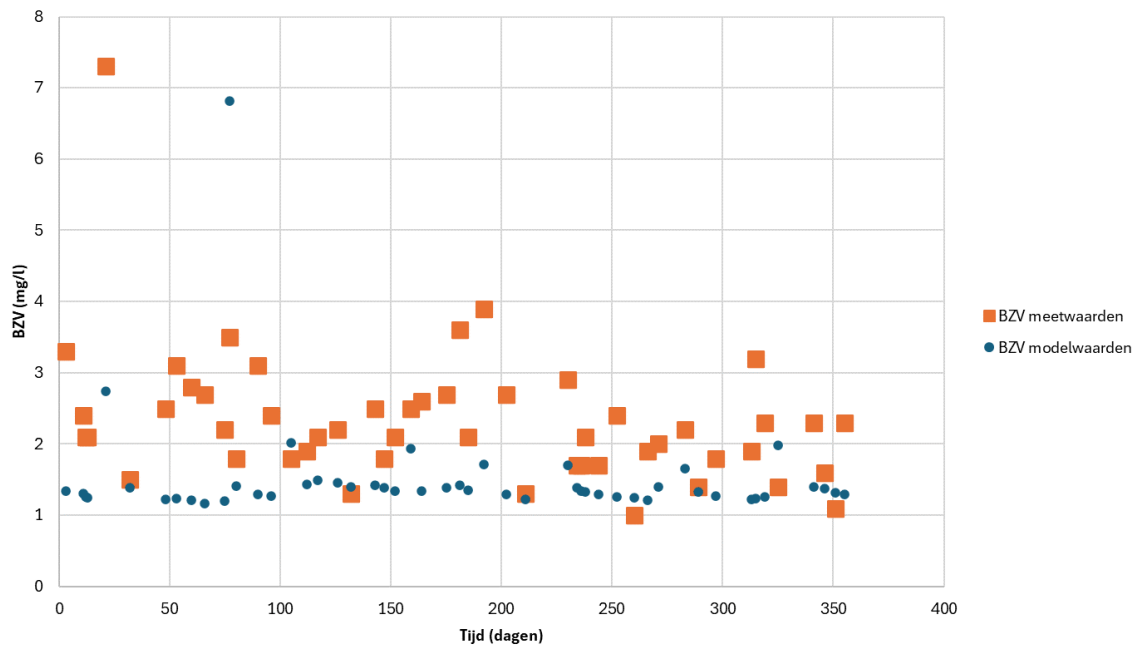


Na het exporteren van de data van SUMO naar Excel en het berekenen van de daggemiddelden op de meetdagen, zijn de modelwaarden en meetwaarden geplott voor verschillende parameters in het effluent. Dit is voor verschillende parameters zichtbaar in de volgende grafieken. Er zijn een aantal parameters waar de meetwaarden meestal niet overeenkomen met de modelwaarden in het effluent, namelijk BZV, NO_x en N-totaal (zie respectievelijk Figuren B3.30, B3.32 en B3.33). Bij NH_4 en P-totaal komen een beperkt aantal waarden niet overeen (zie Figuren B3.31 en B3.34). Voor CZV komen de waarden goed overeen (zie Figuur B3.29).

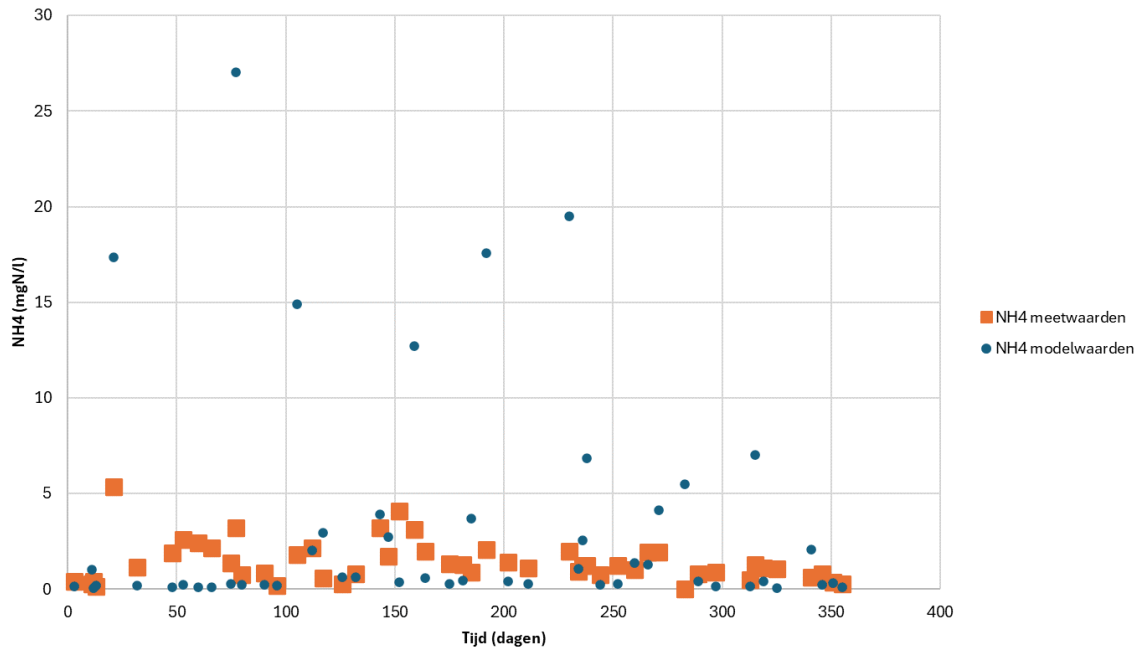
Figuur B3.29 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde CZV-concentraties op meetdagen van RWZI Hellevoetsluis. De meetwaarden (oranje vierkanten) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (blauwe cirkels) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van de derde simulatie in SUMO



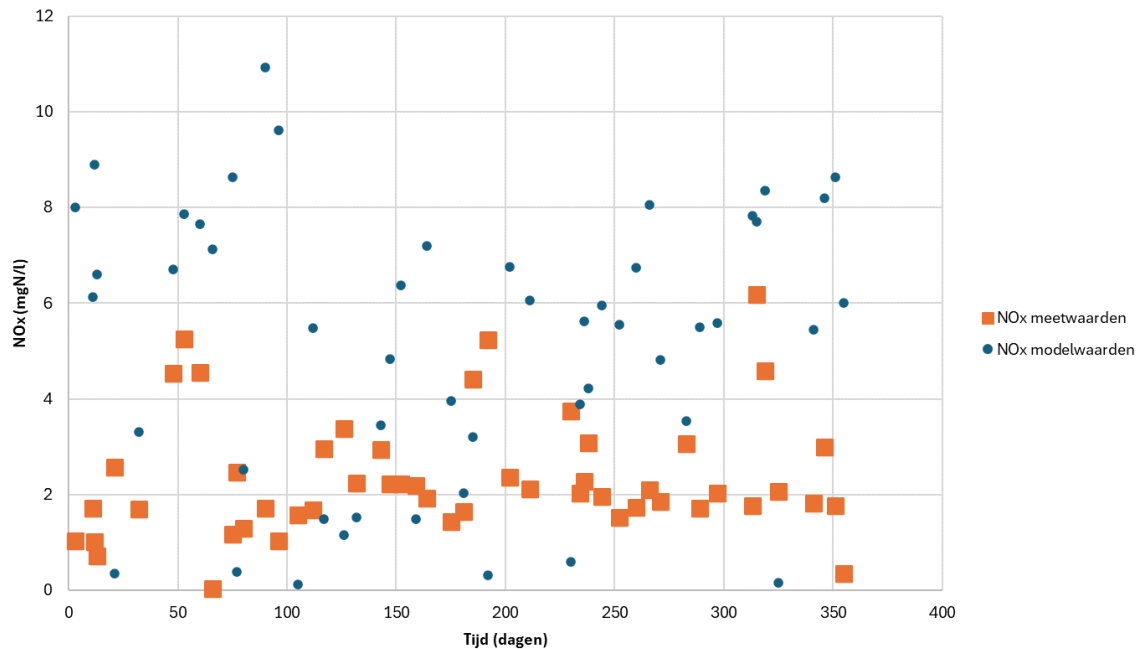
Figuur B.30 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde BZV-concentraties op meetdagen van RWZI Hellevoetsluis. De meetwaarden (oranje vierkanten) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (blauwe cirkels) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van de derde simulatie in SUMO



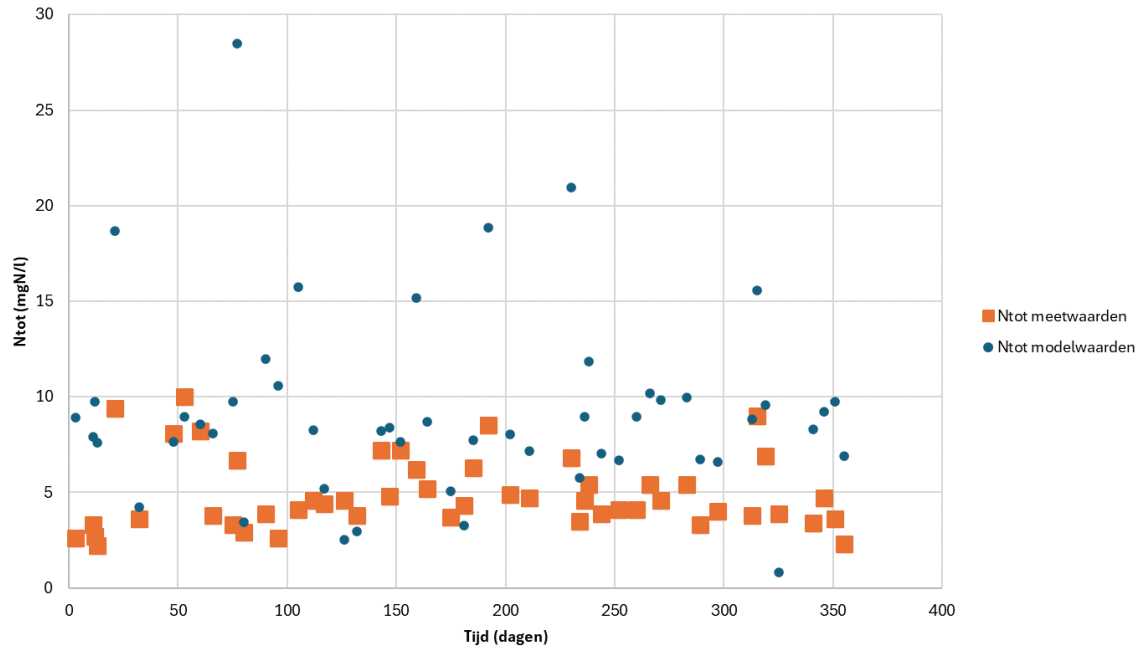
Figuur B3.31 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde NH_4 -concentraties op meetdagen van RWZI Hellevoetsluis. De meetwaarden (oranje vierkanten) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (blauwe cirkels) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van de derde simulatie in SUMO



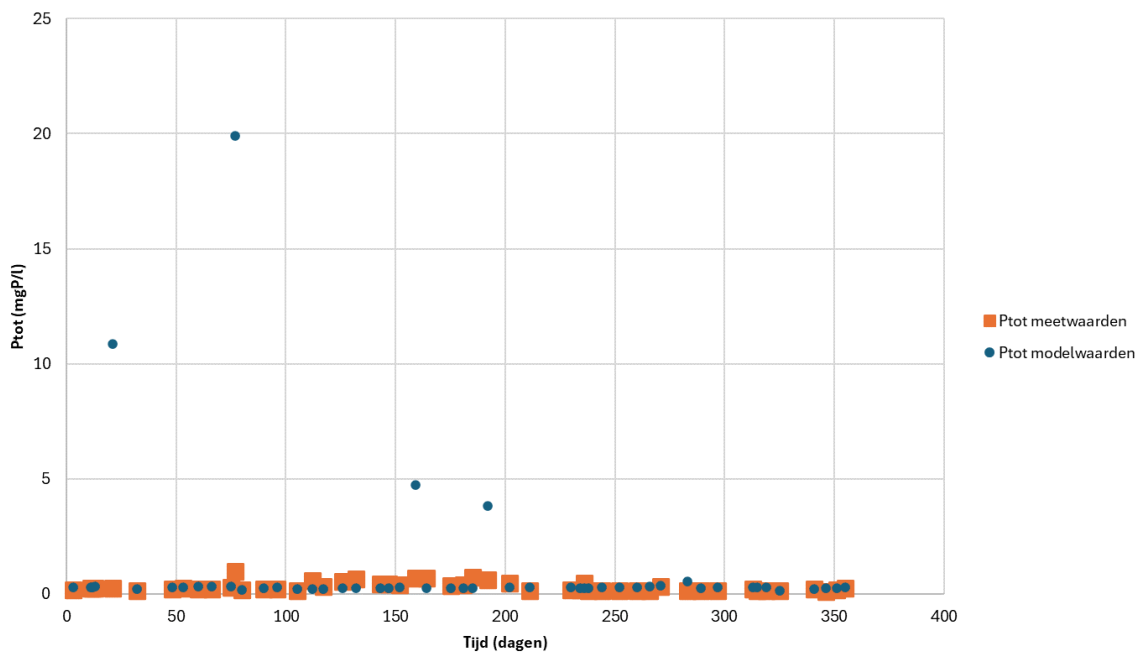
Figuur B3.32 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde NO_x -concentraties op meetdagen van RWZI Hellevoetsluis. De meetwaarden (oranje vierkanten) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (blauwe cirkels) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van de derde simulatie in SUMO



Figuur B3.33 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde Ntot-concentraties op meetdagen van RWZI Hellevoetsluis. De meetwaarden (oranje vierkanten) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (blauwe cirkels) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van de derde simulatie in SUMO



Figuur B3.34 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde Ptot-concentraties op meetdagen van RWZI Hellevoetsluis. De meetwaarden (oranje vierkanten) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (blauwe cirkels) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van de derde simulatie in SUMO



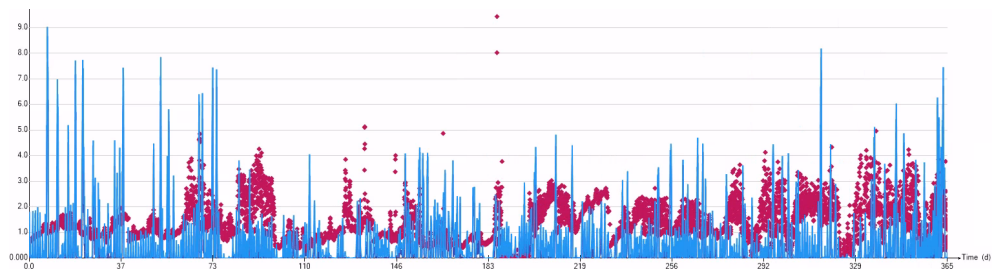
De volgende wijziging is doorgevoerd in het model om met name de nitraatconcentraties in het effluent te verlagen:

- De beluchttingsregeling in de voornitrificatie is geregeld, zoals beschreven in paragraaf 2.3.2. In deze regeling wordt de ingebrachte hoeveelheid lucht in de voornitrificatie gestuurd met de gemeten ammoniumconcentraties als dynamische input (sensordata).

Dit resulteert in het gekalibreerde model met de volgende resultaten:

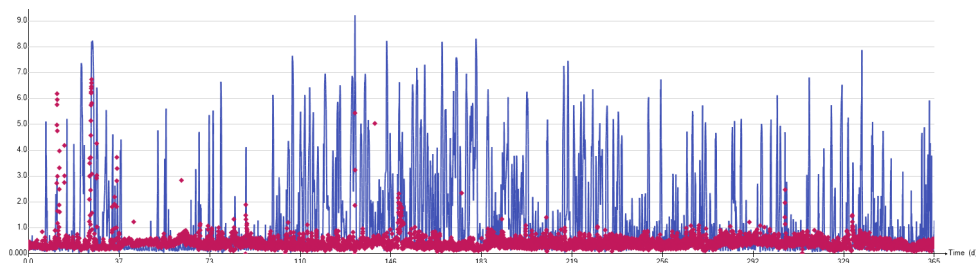
- De NO_x concentratie in de denitrificatie is in het model grilliger dan de meetpunten (zie Figuur B3.35). Vermoedelijk komt dit door de onregelmatige aanvoer van nitraatrijk water van een aardappelverwerkend bedrijf. NO_x in het influent is dynamisch ingegeven, maar de aanvoer op niet-gemeten dagen is onvoorspelbaar en daardoor slechts een schatting. In deze studie is dit niet verder onderzocht. Er is voor de kalibratie/validatie daarom met name gekeken naar de effluentconcentraties.

Figuur B3.35 De gemodelleerde NO_x -concentraties (blauwe lijn) en gemeten NO_x -concentraties (rode punten) in de denitrificatie (Denitrificatie 2) gedurende het gehele jaar van het gekalibreerde model van RWZI Hellevoetsluis. De NO_3 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



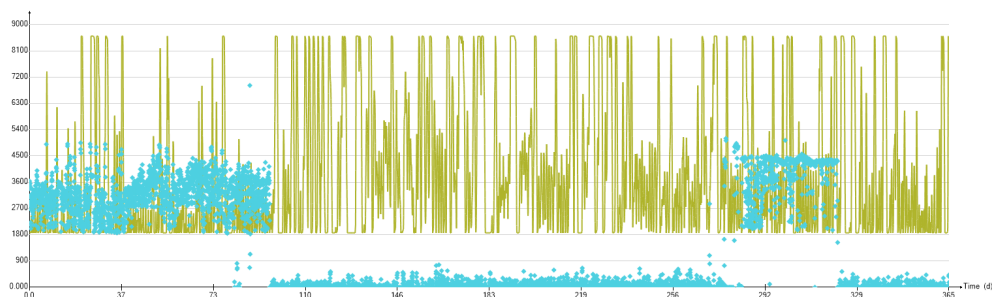
- Het DO in de voornitrificatie (VN6) is een stuk hoger in het model dan de meetwaarden (Zie Figuur 3-36), maar voor het doel van deze studie is het niet noodzakelijk om dit te matchen. Het verschil zou kunnen komen door een andere inbreng efficiëntie van de beluchting of een onbetrouwbare DO sensor. Een andere verklaring zou kunnen zijn dat de modeldata uurgemiddelde waardes zijn, de aangeleverde data is ook uurgemiddelde waardes. Wanneer gekeken wordt naar minutendata van de beluchting, kunnen hogere zuurstofpieken naar voren komen, die nu niet zichtbaar zijn. Mocht dit van groot belang zijn voor het doel van de studie dan kan het model worden geregeld op basis van minutendata, dit is echter voor voorliggende studie niet van toepassing.

Figuur B3.36 De gemodelleerde DO-concentraties (blauwe lijn) en gemeten DO-concentraties (rode punten) in de voornitrificatie (VN6) gedurende het gehele jaar van het gekalibreerde model van RWZI Hellevoetsluis. De DO-concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)



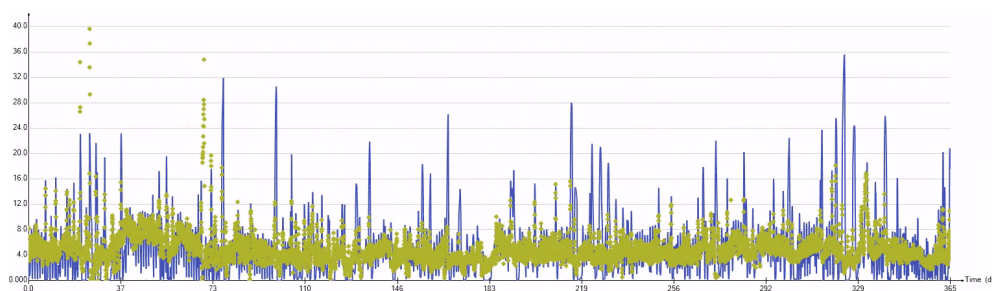
- De beluchting in de voornitrificatie ligt in dezelfde ordegrootte als de gemeten waarden. Een deel van de meetwaarden is onbetrouwbaar (beluchting < 1.800 m³/h). Zie Figuur B3.37.

Figuur B3.37 De gemodelleerde beluchting (groene lijn) en gemeten beluchting (blauwe punten) in de voornitrificatie (VN1 t/m VN6) gedurende het gehele jaar van het gekalibreerde model van RWZI Hellevoetsluis. De DO-concentraties zijn gegeven in m³/h (y-as)



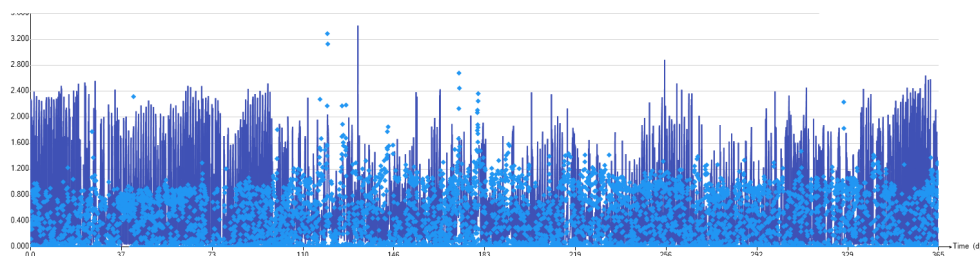
- De ammoniumconcentratie in de voornitrificatie (VN8) van het model komt goed overeen met de meetwaarden. Zie Figuur B3.38.

Figuur B3.38 De gemodelleerde NH₄-concentraties (blauwe lijn) en gemeten NH₄-concentraties (groene punten) in de voornitrificatie (VN8) gedurende het gehele jaar van het gekalibreerde model van RWZI Hellevoetsluis. De NH₄-concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)



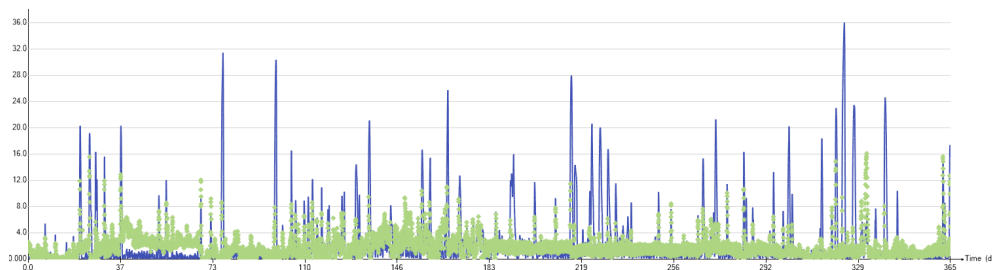
- Het DO in de omloop (AC2) komt voor een deel van het jaar goed overeen met de meetwaarden. Een groot gedeelte van het jaar is die aanzienlijk hoger. Zie Figuur B3.39.

Figuur B3.39 De gemodelleerde DO-concentraties (donkerblauwe lijn) en gemeten DO-concentraties (lichtblauwe punten) in de omloop (AC2) gedurende het gehele jaar van het gekalibreerde model van RWZI Hellevoetsluis. De DO-concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)



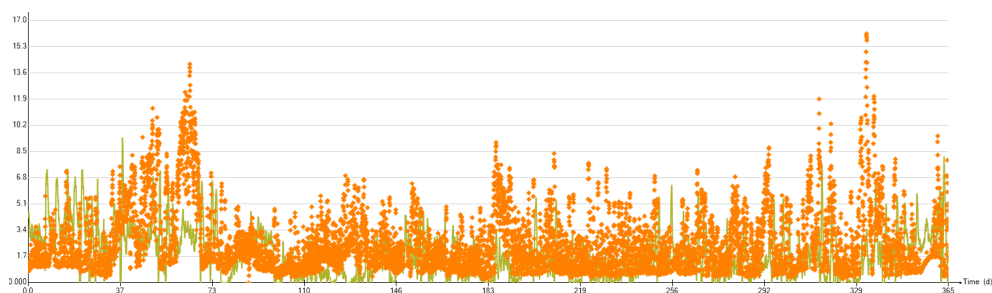
- De ammoniumconcentratie in de omloop (AC23) volgt het patroon een gedeelte van het jaar goed. Er zijn periodes dat die niet goed overeenkomt, wat vermoedelijk komt door fouten in de aangeleverde sensordata. Zie Figuur B3.40.

Figuur B3.40 De gemodelleerde NH_4 -concentraties (blauwe lijn) en gemeten NH_4 -concentraties (groene punten) in de omloop (AC23) gedurende het gehele jaar van het gekalibreerde model van RWZI Hellevoetsluis. De NH_4 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



- De gemodelleerde nitraatconcentratie in de omloop (AC23) van het model volgt de meetpunten goed. Zie Figuur B3.41.

Figuur B3.41 De gemodelleerde NO_x -concentraties (groene lijn) en gemeten NO_x -concentraties (oranje punten) in de omloop (AC23) gedurende het gehele jaar van het gekalibreerde model van RWZI Hellevoetsluis. De NO_x -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



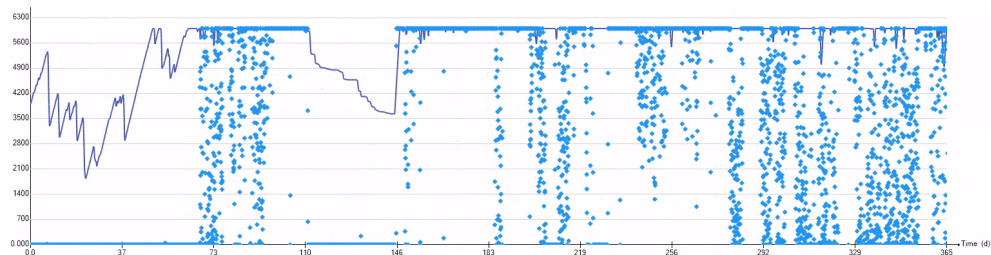
- De gemodelleerde droge stof concentratie in de omloop (AC17) van het model komt overeen met de DS-metwaarden. Zie Figuur B3.42.

Figuur B3.42 De gemodelleerde TSS-concentraties (roze lijn) en gemeten OB-concentraties (blauwe punten) in de omloop (AC17) gedurende het gehele jaar van het gekalibreerde model van RWZI Hellevoetsluis. De TSS- en OB-concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)



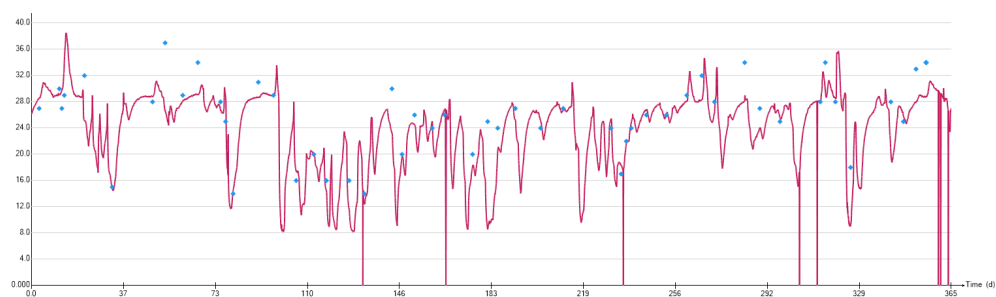
- Het debiet van de recirculatiepomp is in het model maximaal als deze volgens de gemeten waarden ook maximaal hoort te zijn. De meetwaarden zijn berekend op basis van aangeleverde percentages. In de berekening is aangenomen dat 0% overeenkomt met een debiet van 0 m³/h en 100% met 6.000 m³/h (maximaal). De aanname van 0% klopt vermoedelijk niet, maar is in deze studie niet verder onderzocht gezien de pomp vaak maximaal draait. Zie Figuur B3.43.

Figuur B3.43 Het gemodelleerde debiet (donkerblauwe lijn) en berekende debiet (lichtblauwe punten) van de recirculatiepomp gedurende het gehele jaar van het gekalibreerde model van RWZI Hellevoetsluis. De debieten zijn gegeven in m³/h (y-as)



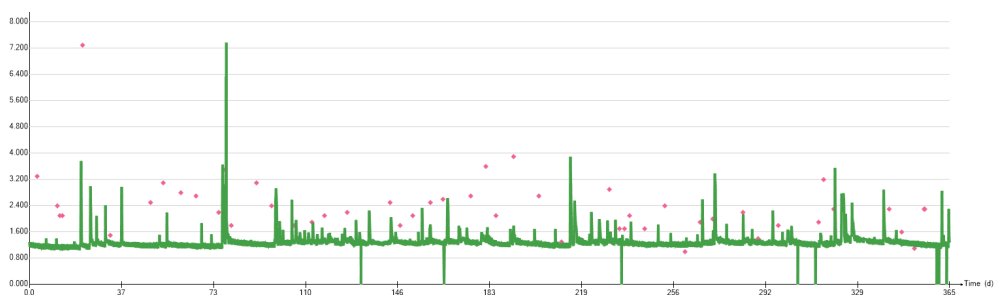
- De gemodelleerde CZV effluentconcentratie van het model komt meestal goed overeen met de meetpunten. Zie Figuur B3.44.

Figuur B3.44 De gemodelleerde CZV-concentraties (roze lijn) en gemeten CZV-concentraties (blauwe punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van het gekalibreerde model van RWZI Hellevoetsluis. De CZV-concentraties zijn gegeven in mg COD/l (y-as)



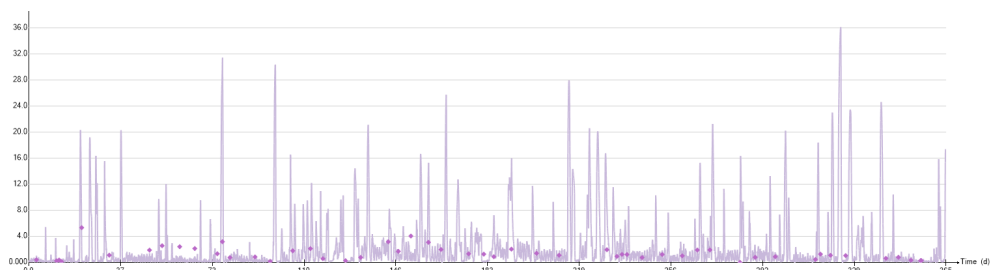
- De gemodelleerde BZV effluentconcentraties van het model komen niet goed overeen met de meetwaarden. Dit kan worden verklaard doordat de concentratie OB in het effluent is 'vastgezet', hierdoor kan de BZV concentratie gedurende het jaar afwijkend zijn in het effluent. Zie Figuur B3.45.

Figuur B3.45 De gemodelleerde BZV-concentraties (groene lijn) en gemeten BZV-concentraties (roze punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van het gekalibreerde model van RWZI Hellevoetsluis. De BZV-concentraties zijn gegeven in mg BOD/l (y-as)



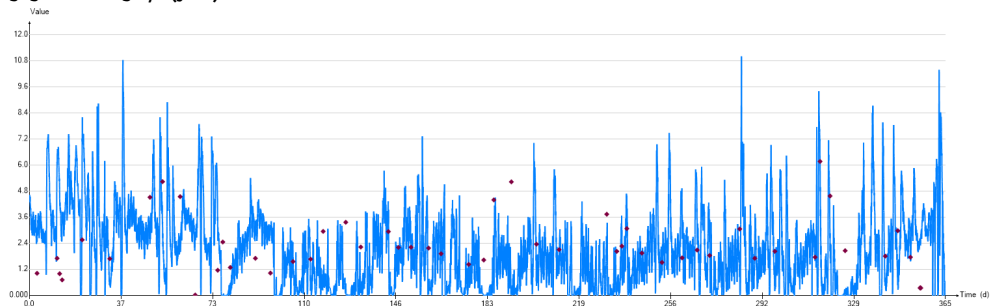
- De gemodelleerde ammoniumconcentraties van het effluent lijken goed overeen te komen met het model²⁴. Dat zal moeten blijken uit de vergelijking van de berekende daggemiddelde meetwaarden van het model met de werkelijke meetwaarden. Zie Figuur B3.46.

Figuur B3.46 De gemodelleerde NH_4 -concentraties (paarse lijn) en gemeten NH_4 -concentraties (paarse punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van het gekalibreerde model van RWZI Hellevoetsluis. De NH_4 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



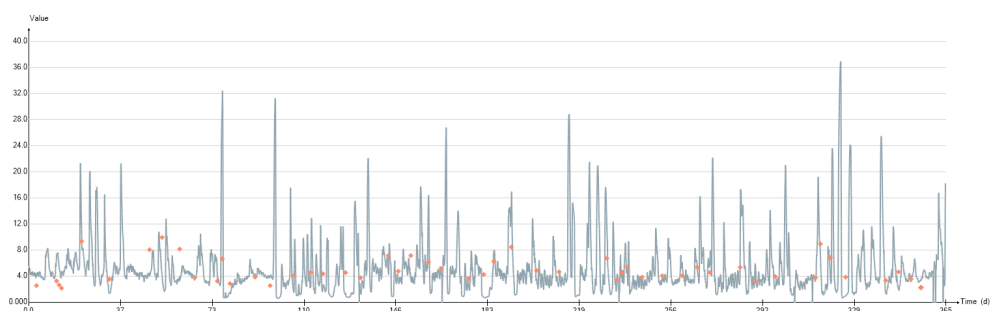
- De gemodelleerde NO_x -concentraties in het effluent lijken goed overeen te komen met het model. Dat zal moeten blijken uit de vergelijking van de berekende daggemiddelde meetwaarden van het model met de werkelijke meetwaarden. Zie Figuur B3.47.

Figuur B3.47 De gemodelleerde NO_x -concentraties (blauwe lijn) en gemeten NO_x -concentraties (bruine punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van het gekalibreerde model van RWZI Hellevoetsluis. De NO_x -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



- De gemodelleerde N-totaal concentraties in het effluent lijken goed overeen te komen met de gemeten N-totaal concentraties. Zie Figuur B3.48.

Figuur B3.48 De gemodelleerde N_{tot} -concentraties (grijze lijn) en gemeten N_{tot} -concentraties (oranje punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van het gekalibreerde model van RWZI Hellevoetsluis. De N_{tot} -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



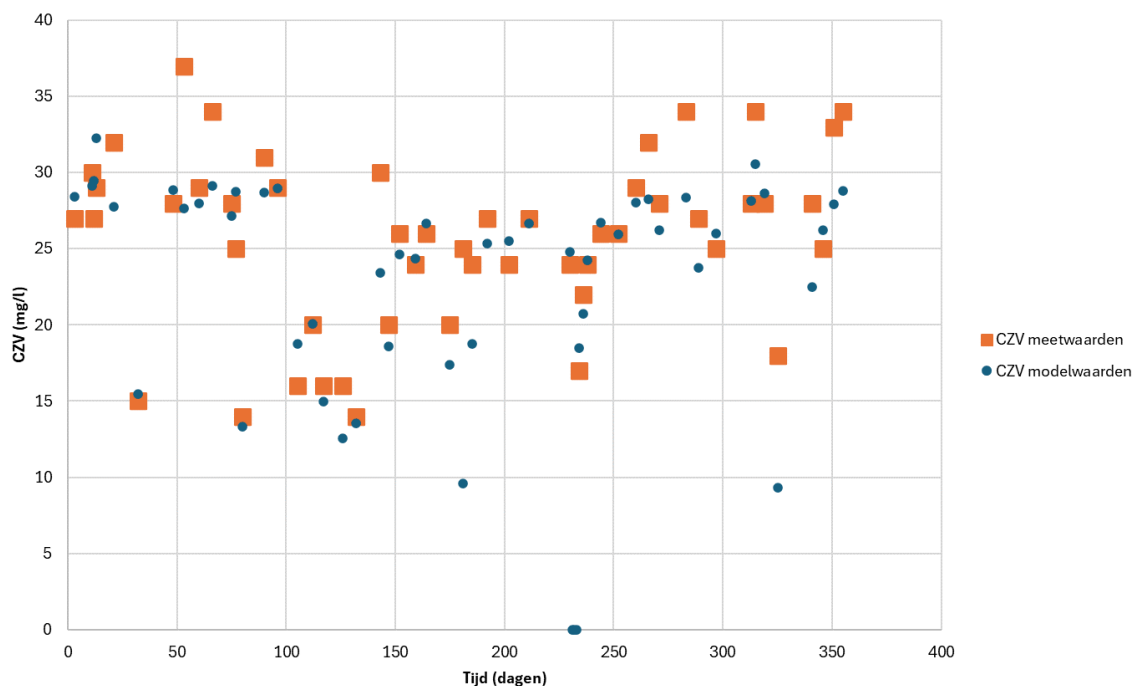
24 Modelmatig worden pieken waargenomen die in de praktijk niet zichtbaar zijn. Dit verschil ontstaat doordat het model elk uur een resultaat kan tonen, terwijl in de praktijk slechts een fractie hiervan bemonsterd en waargenomen kan worden. Dit geldt voor alle parameters in het effluent.

Na het exporteren van de data van SUMO naar Excel en het berekenen van de daggemiddelden effluentconcentraties op de meetdagen, zijn de modelwaarden en meetwaarden geplott. De effluentconcentraties van de verschillende parameters komen over het algemeen goed overeen, zoals zichtbaar in onderstaande grafieken, met uitzondering van BZV (Zie Figuren B3.49 t/m B3.54). Aangezien de overige parameters voldoende goed overeenkomen, en de nadruk ligt op de N-componenten, is geconcludeerd dat het SUMO model geschikt is voor het doel van de studie. In Tabel B3.1 zijn de gemiddeldes gegeven van de meetdata uit Z-info en het gemiddelde van de berekende daggemiddelde waarden op meetdagen uit het SUMO-model.

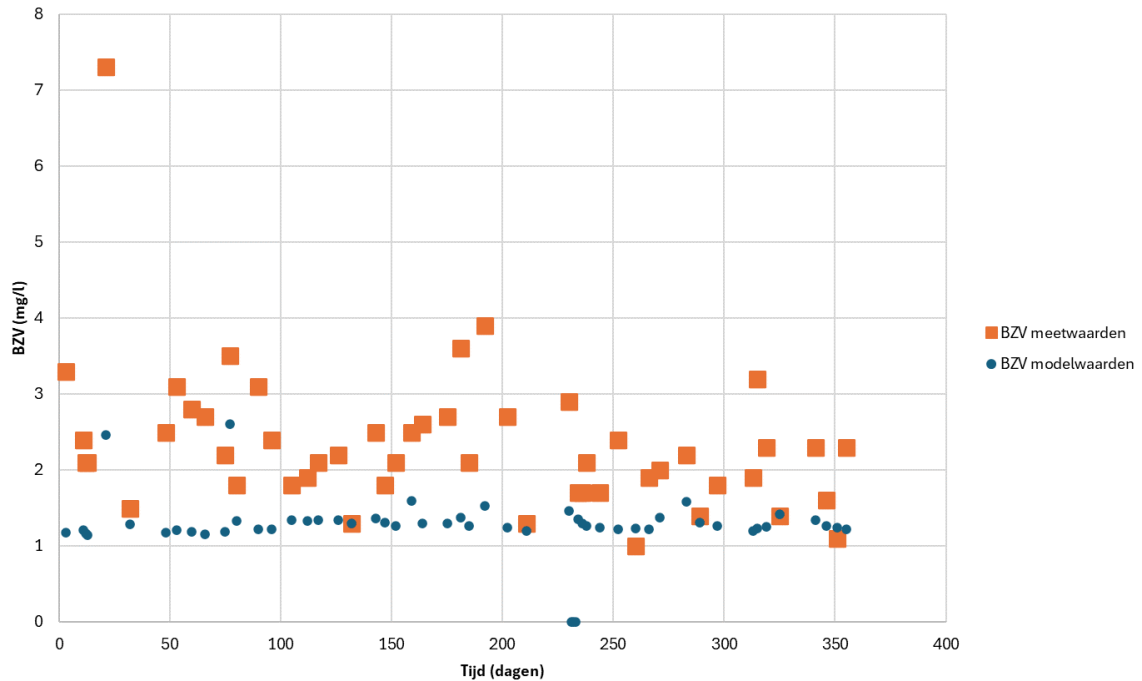
Tabel B3.1 De gemiddelde effluentconcentraties voor RWZI Hellevoetsluis op meetdagen uit Z-info en het gemiddelde van de berekende daggemiddelde waarden op meetdagen uit het SUMO-model

	Eenheid	Gemiddelde concentratie van meetdagen (Z-info)	Gemiddelde concentratie van meetdagen (SUMO-model)
CZV	mg COD/l	25,7	24,1
BZV ₅	mg BOD/l	2,3	1,3
NKj	mg N/l	2,6	3,2
NH ₄	mg N/l	1,4	2,5
NO _x	mg N/l	2,4	2,1
N _{tot}	mg N/l	4,9	5,4
PO ₄	mg P/l	0,2	0,6
P _{tot}	mg P/l	0,3	0,7
OB of TSS	mg/l	5,1	4,0

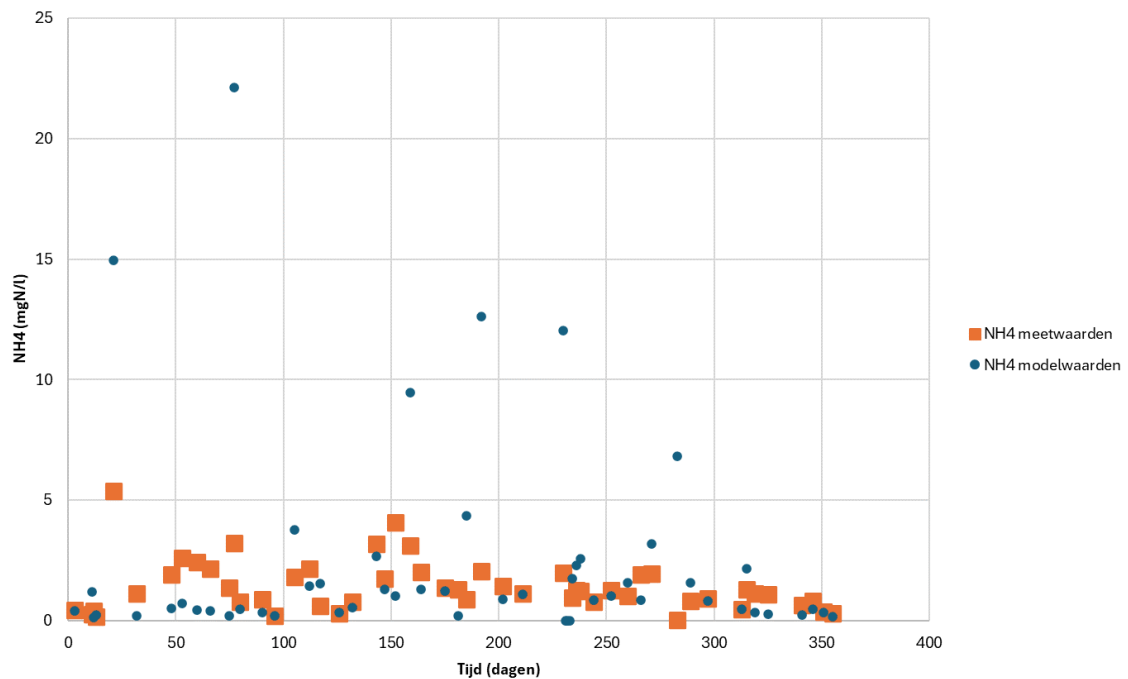
Figuur B3.49 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde CZV-concentraties op meetdagen van RWZI Hellevoetsluis. De meetwaarden (oranje vierkanten) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (blauwe cirkels) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



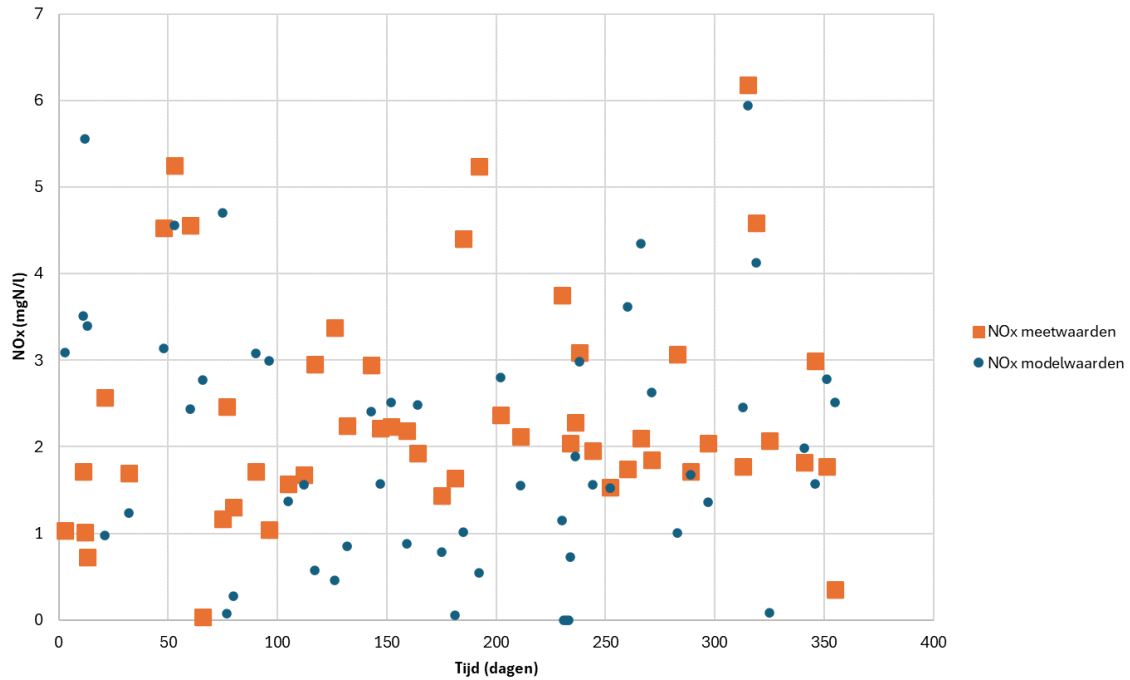
Figuur B3.50 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde BZV-concentraties op meetdagen van RWZI Hellevoetsluis. De meetwaarden (oranje vierkanten) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (blauwe cirkels) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



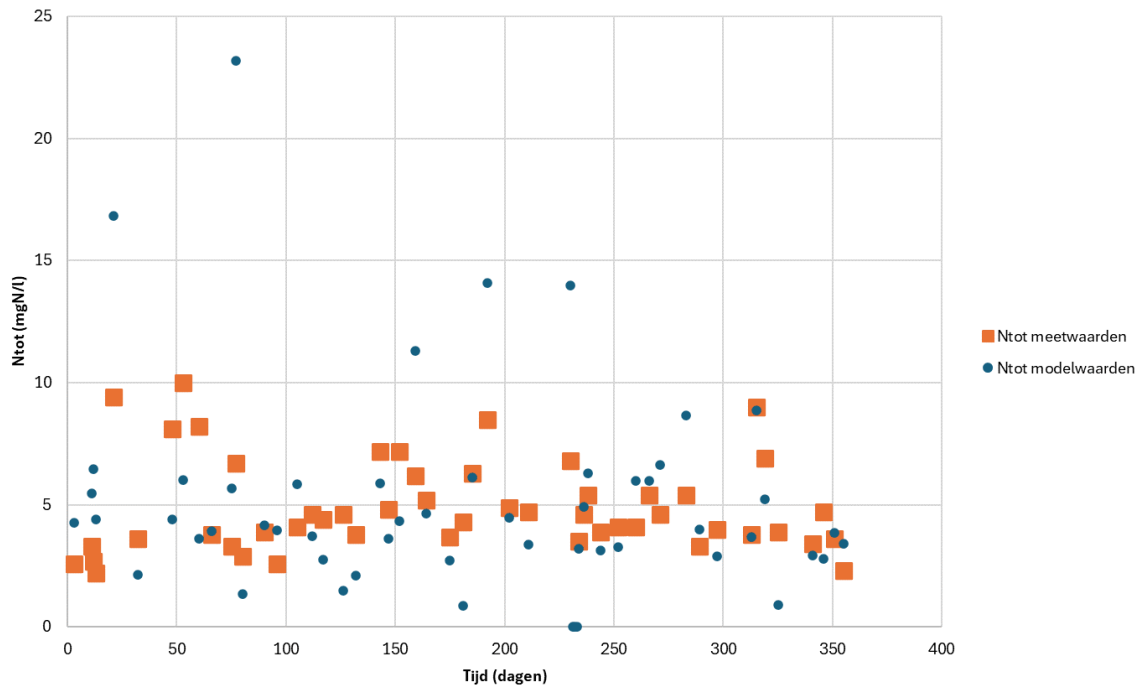
Figuur B3.51 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde NH_4 -concentraties op meetdagen van RWZI Hellevoetsluis. De meetwaarden (oranje vierkanten) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (blauwe cirkels) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



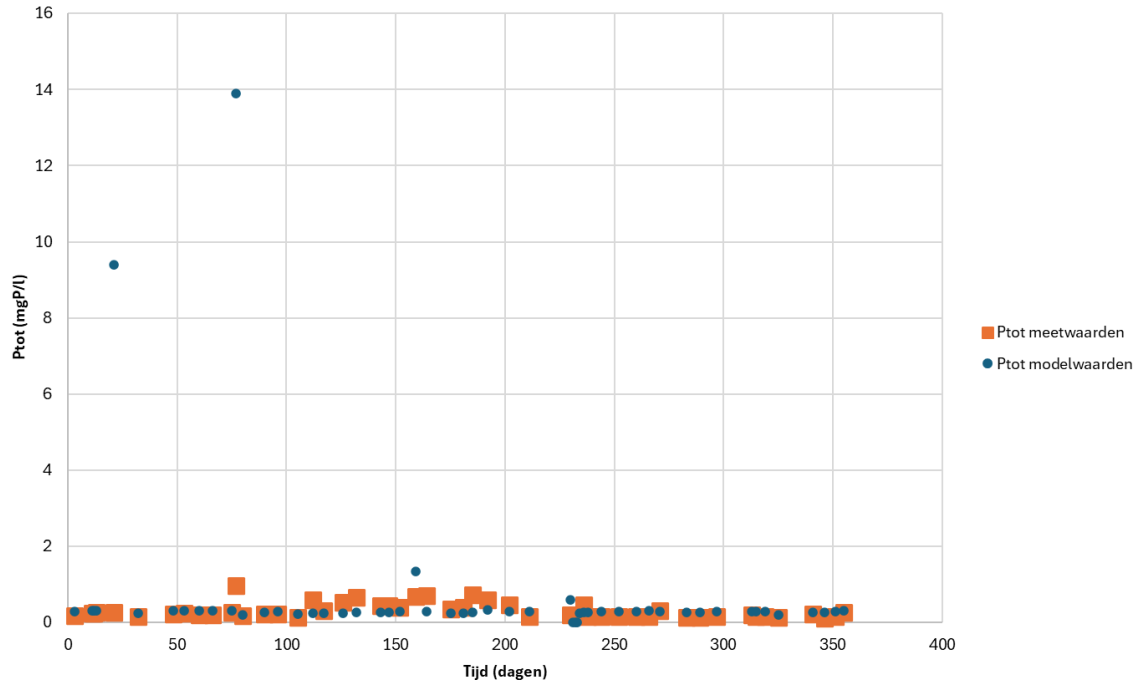
Figuur B3.52 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde NO_x -concentraties op meetdagen van RWZI Hellevoetsluis. De meetwaarden (oranje vierkanten) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (blauwe cirkels) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



Figuur B3.53 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde N_{tot} -concentraties op meetdagen van RWZI Hellevoetsluis. De meetwaarden (oranje vierkanten) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (blauwe cirkels) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



Figuur B3.54 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde Ptot-concentraties op meetdagen van RWZI Hellevoetsluis. De meetwaarden (oranje vierkanten) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (blauwe cirkels) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



KARAKTERISERING VAN STROMEN

Er heeft geen nadere karakterisering van stromen plaatsgevonden tijdens de kalibratie/validatie van het SUMO model van RWZI Hellevoetsluis.

BIJLAGE 4

OPZET MODEL RWZI WINTERSWIJK

DOELSTELLING FORMULEREN

Het doel van de optimalisatie van RWZI Winterswijk is om de ammoniumpieken die zichtbaar zijn in de sensordata te verlagen, opdat de concentratie $\text{NH}_4\text{-N}$ in het effluent daalt. Het effect van een aanpassing aan de beluchttingsregeling wordt onderzocht. Indien dit niet het gewenste effect geeft, wordt bekeken hoe het gewenste resultaat wel bereikt kan worden.

SYSTEEMGRENZEN

Bij RWZI Winterswijk is het voor de doelstelling relevant om de gehele waterlijn te modelleren. Die bestaat uit de zandvang, anaerobe tanks, de denitrificatie, de gedeeltelijk beluchte omloop en de nabezinktanks. Er zijn geen parallelle straten in de zuivering.

Na het kalibreren van het dynamische model kwam naar voren dat de effluentbemonstering na de nageschakelde trap (een ozoninstallatie met daarna een belucht actief koolfilter) plaatsvindt. De nabehandeling is niet opgenomen in het dynamische model en daardoor kan de modelmatige effluentkwaliteit niet goed worden gekalibreerd met de praktijk. Om deze reden is bij het kalibreren de nadruk gelegd op het matchen van de modelmatige resultaten met de ammonium en nitraat concentratie in de biologie (de sensordata). De optimalisatie-resultaten zijn vervolgens ook vergeleken met de ammonium en nitraat concentratie in de biologie.

STATISCH OF DYNAMISCH? (HSA VERSUS SUMO)

In deze studie is het van belang om te kijken naar de pieken van de ammoniumconcentraties in de biologie op het niveau van uurdata. Dit kan alleen gedaan worden door middel van dynamische modellering.

GEGEVENSVERZAMELING

De volgende data zijn verzameld voor het opzetten van het model in de periode van 1-3-2024 t/m 23-2-2025:

- Gemeten parameters (bijvoorbeeld sensordata):
 - Influent concentraties CZV, NKj, P-totaal (Z-info, dagdata) en TOC en N-totaal (uurdata).
 - Surplusslib concentratie DS.
 - Sensoren aerobe tank: DO, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, DS, temperatuur (uurdata).
- Debieten (uurdata):
 - Influent (dagdata Z-info en uurdata).
 - Bandindikker filtraat naar terreinriool.
 - Retourslib (Hertz van 3 vijzels).
 - Surplusslib.
 - Recirculatiepompen A, B1, B2, C1 en C2 (Hz).
- Beluchting:
 - Aerobe tank: luchtdebiet plaatbeluchters.

- Gegevens installatie:
 - Definitief ontwerp Bijlagen 2, 4 en 18.
 - Printscreens van de volgende regelingen:
 - Beluchting aerobe tank.
 - Blowers.
 - Recirculaties A, B en C.
 - Retourslibgemaal.

Voor aanvullende toelichting over de regelingen is contact opgenomen met de beheerder van de rwzi.

MODELOPBOUW

Compartimentering

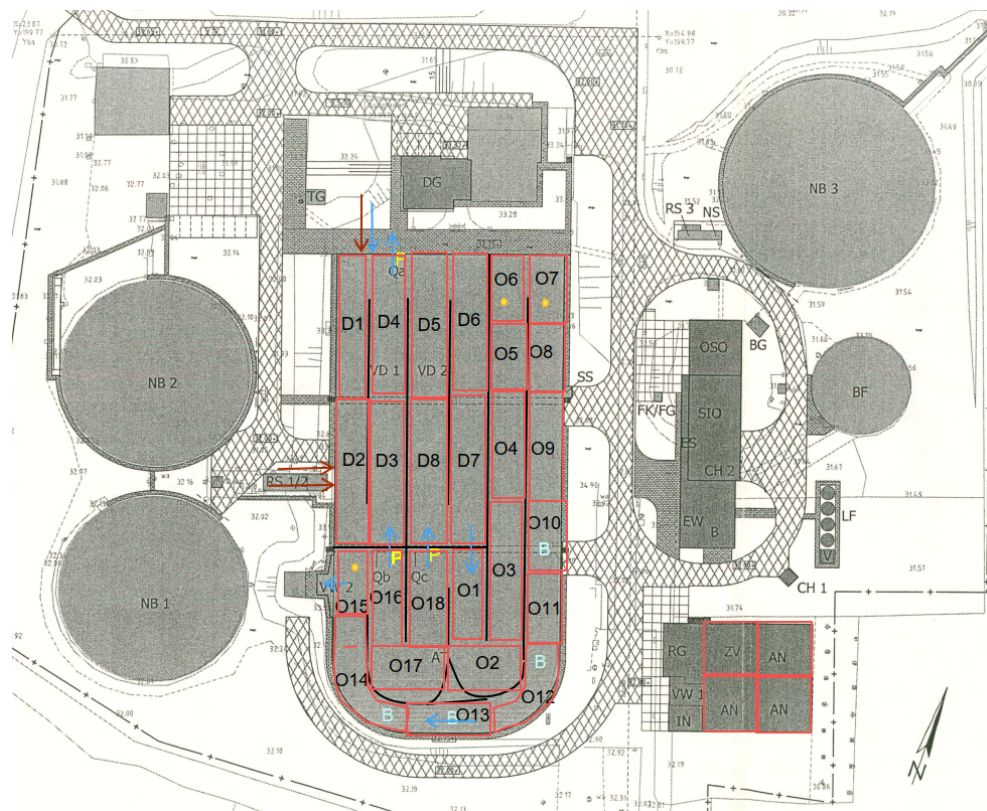
In Figuur B4.1 is het resultaat van de compartimentering van RWZI Winterswijk gegeven. Het influent komt binnen in de zandvang (ZV), waarna het door drie anaerobe tanks gaat (AN1, AN2 en AN3). Na de derde anaerobe tank, stroomt het water de denitrificatie binnen. In het SUMO model is de denitrificatie verdeeld in acht gelijke compartimenten (D1 t/m D8). Het water komt de denitrificatie binnen in D1, waarna het via D2 en D3 naar D4 stroomt. In D1 komt het retourslib van nabezinktank 3 binnen en in D2 het retourslib van nabezinktanks 1 en 2. In D3 komt een deel van het gerecirculeerde water (recirculatiepomp B) vanaf de aerobe tank (ook wel omloop) binnen. Vanaf D4 stroomt een deel van het water terug naar D1, een deel naar D5 en een deel terug naar de zandvang (via recirculatiepomp A). Van D5 stroomt het water naar D6, D7 en naar D8. Vanaf D8 stroomt het weer naar D5. Vanaf D7 loopt het water over naar de omloop en in D8 komt water terecht wat gerecirculeerd wordt vanaf de omloop (via recirculatiepomp C).

De omloop is verdeeld in 18 compartimenten om de plugflow goed te modelleren (O1 t/m O18). Bij de compartimentering is rekening gehouden met de locaties van de in- en uitgaande stromen (Figuur B4.1, pijlen²⁵), de beluchtingselementen (Figuur B4-1, blauwe B) en de sensoren (Figuur B4-1, gele puntjes). De NO₃ sensor is geplaatst in O6 en de DS en NH₄ sensoren in O7. Er zijn vier beluchtingselementen en die zijn geplaatst in O10, O12, O13 en O14. In een later stadium van de kalibratie/validatie is het volume van O9 samengevoegd met O10 en O11 met O12, waardoor compartimenten O9 en O11 niet meer in het SUMO model zichtbaar zijn. In compartiment O15 is de DO sensor alsmede de afvoer van water richting de drie nabezinktanks. Vanuit O16 en O18 zijn er recirculatiestromen richting de denitrificatie, naar compartimenten D3 en D8 respectievelijk.

De drie nabezinktanks zijn samengevoegd tot één compartiment in het SUMO- model om de rekentijd te verkorten.

25 In Figuur B4.1 zijn de pompen aangegeven met een gele P naar de pijlen

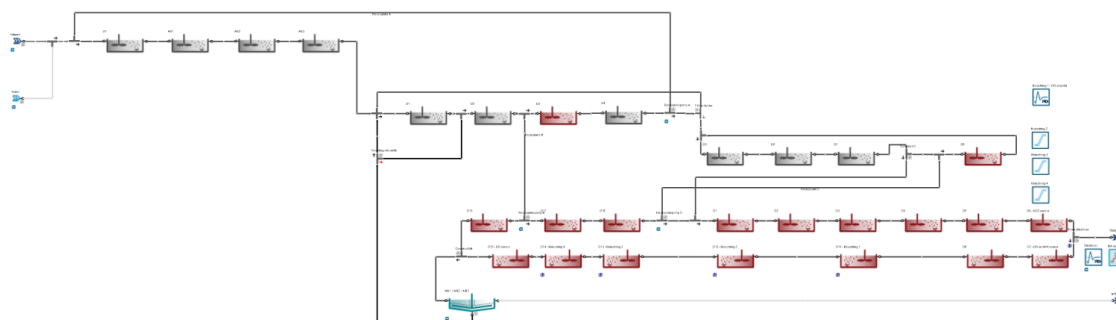
Figuur B4.1. Compartimentering RWZI Winterswijk



SUMO-model

In Figuur B4.2 is de opzet van RWZI Winterswijk in SUMO gegeven. Hier is dezelfde compartimentering als in Figuur B3.2 zichtbaar. Er is gekozen voor een '2-step nitrification/denitrication' model, wat overeenkomt met het 'Sumo2 Full plant model'.

Figuur B4.2 Modelmatige configuratie van RWZI Winterswijk in SUMO



RWZI Winterswijk is als volgt modelmatig opgezet:

- Het influent komt binnen in de zandvang (ZV). Het influent is dynamisch ingegeven. Voor de debieten is de uurdata gebruikt en voor temperatuur, COD, NKj en P-totaal de dagdata. Daarnaast is het filtraat van de bandindikker dat via het terreinriool in de zandvang terecht komt ingegeven als extra waterstroom. Daar is ook uurdata voor gebruikt.
- Voor alle compartimenten van de zandvang, anaerobe tanks, denitrificatie en de aeratie-tank (de omloop) is een 'continuous stirred-tank reactor' (CSTR) gebruikt, waarvan de 'dissolved oxygen' op 'calculated' staat. In de compartimenten die onbelucht zijn is bij de

‘aeration settings’ de ‘Air flow’ op 0 m³/h gezet. Bij de beluchte delen in de omloop (O10, O12, O13 en O14) is de aeration op ‘diffused’ en ‘membrane disc’ gezet.

- Het DO-setpoint in de omloop wordt geregeld op NO₃ en NH₄ dat gemeten wordt in respectievelijk compartimenten O6 en O7. De regeling is uitgelegd in paragraaf 2.4.2. In SUMO is de regeling uiteindelijk met behulp van plantwide code gemodelleerd. Er zijn verschillende regelingen geprobeerd tijdens de kalibratie/validatie, zoals beschreven bij ‘Kalibratie/validatie’.
- Het debiet van recirculatiepomp A na de denitrificatie (D4) is dynamisch ingegeven met uurdata.
- Het debiet in de omloop van de denitrificatie en de aeratietank is berekend door uit te gaan van een omloopsnelheid van 0,3 m/s. Op de locaties van overstorten zijn pompen geplaatst in de richting van de omloop en is het berekende debiet ingegeven als vaste waarde.
- Vanuit compartiment O15 wordt water afgevoerd naar de nabezinktank. De drie nabezinktanks zijn als één tank gemodelleerd en daarvoor is een ‘clarifier’ toepast, ingesteld op ‘volumeless point separator’. De slibuitspoeling is vastgezet op 5 mg OB/l. Vanuit de nabezinktank gaat een deel van het retourslib naar D1 en een deel naar D2, naar ratio van de oppervlaktes van de nabezinktanks.
- De hoeveelheid surplusslib die wordt afgevoerd vanaf compartiment O6, wordt bepaald op basis van de ‘total suspended solids’ (TSS, het ds-gehalte) in compartiment O7, die de droge stof (DS) sensor bevat. Het ds-gehalte setpoint is dynamisch ingegeven op basis van de gemeten DS.

KALIBRATIE/ VALIDATIE

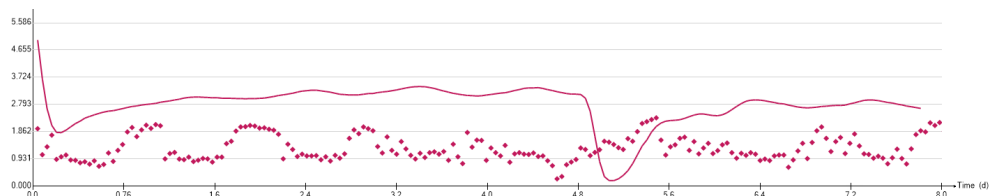
De data die genoemd zijn bij de gegevensverzameling is ingeladen bij de ‘Outputs’ in SUMO. Deze worden continu vergeleken met de gesimuleerde resultaten van het SUMO-model.

De eerste versie van het SUMO-model bevatte nog niet alle regelingen die genoemd zijn bij ‘Modelopbouw’. De beluchtingsregeling voor de omloop was opgenomen, net als de regeling voor het retourslib en het surplusslib. In de regelingen zijn de gemeten waarden opgenomen als setpoint, dus nog niet de werkelijk ingestelde setpoints.

De eerste simulatie was een run van 8 dagen. De airflow in de omloop wordt geregeld met een deadband controller op basis van het DO. De bandbreedte van het DO is hier tussen de 1,5 en de 4,5 mg O₂/l en die van de airflow tussen de 50.800 en de 21.600 m³/dag. Dit leverde de volgende resultaten op.

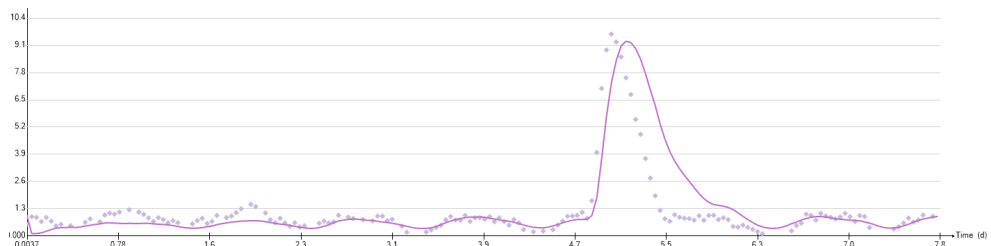
- Zoals verwacht komen de gemeten influent concentraties van COD, BZV, NKj, Ntot, Ptot en OB overeen met de gesimuleerde concentraties van respectievelijk TCOD, TBOD, TKN, TN, TP en TSS (OB).
- De gemodelleerde resultaten van NO_3 in de omloop volgen niet hetzelfde patroon als de gemeten waarden, maar zijn wel in dezelfde ordegrrootte. Zie Figuur B4.3.

Figuur B4.3 De gemodelleerde NO_3 -concentraties (roze lijn) en gemeten NO_3 -concentraties (roze punten) in de omloop (06) gedurende de eerste 8 dagen van de eerste simulatie van RWZI Winterswijk. De NO_3 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



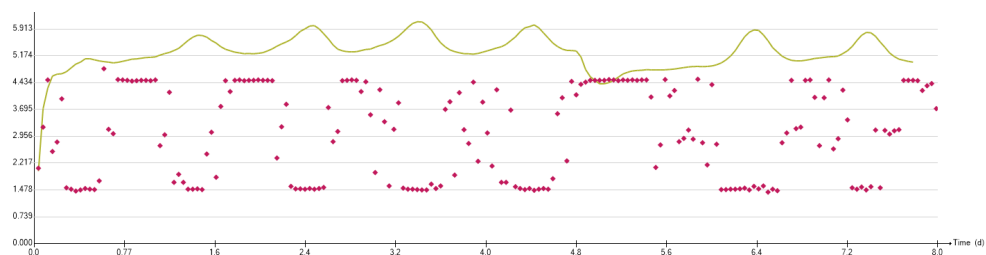
- De gemodelleerde resultaten van NH_4 in de omloop lijken het patroon van de sensordata goed te volgen. Zie Figuur B4.4.

Figuur B4.4 De gemodelleerde NH_4 -concentraties (roze lijn) en gemeten NH_4 -concentraties (paarse punten) in de omloop (07) gedurende de eerste 8 dagen van de eerste simulatie van RWZI Winterswijk. De NH_4 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



- Het gemeten DO in de omloop is lager dan de waarden van de simulatie. Het patroon zichtbaar in de meetdata wordt niet gevolgd. Zie Figuur B4.5.

Figuur B4.5 De gemodelleerde DO-concentraties (groene lijn) en gemeten DO-concentraties (roze punten) in de omloop (015) gedurende de eerste 8 dagen van de eerste simulatie van RWZI Winterswijk. De DO-concentraties zijn gegeven in mg O_2 /l (y-as)

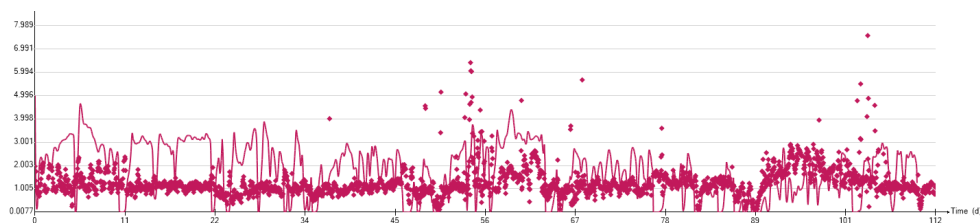


Op basis van bovenstaande resultaten is besloten om de beluchtingsregeling aan te passen om het DO te verlagen. In de nieuwe simulatie is de regeling veranderd in een PID controller die regelt op de gemeten ammonium-concentratie in de omloop (compartiment 07).

De volgende simulatie werd gerund voor 106 dagen en leverde de volgende resultaten op:

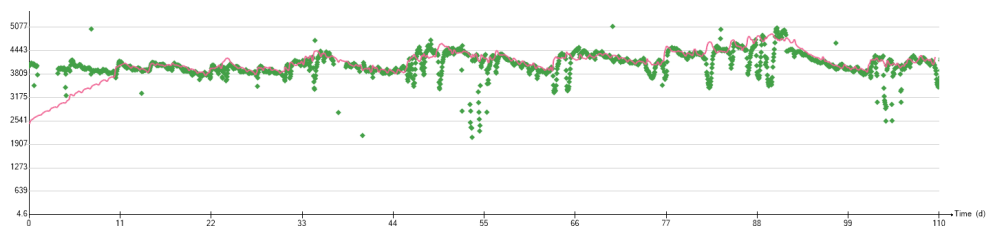
- De gemodelleerde concentratie NO_3 volgt de meetpunten op sommige plekken goed, maar op veel plekken is die hoger dan de meetpunten. Zie Figuur B4.6.

Figuur B4.6 De gemodelleerde NO_3 -concentraties (roze lijn) en gemeten NO_3 -concentraties (roze punten) in de omloop (06) gedurende de eerste 106 dagen van de tweede simulatie van RWZI Winterswijk. De NO_3 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



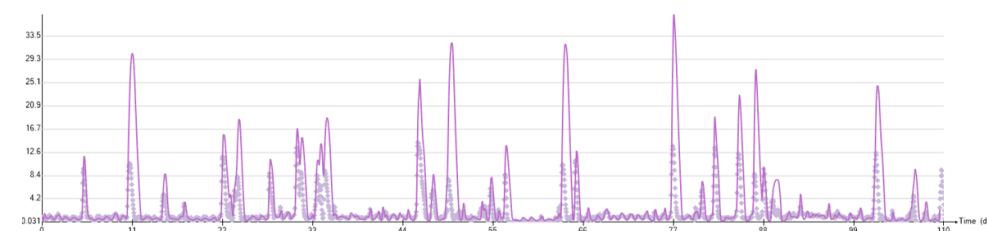
- De gemodelleerde droge stofconcentratie komt overeen met de meetpunten. Zie Figuur B4.7.

Figuur B4.7 De gemodelleerde droge stofconcentraties (roze lijn) en gemeten droge stofconcentraties (groene punten) in de omloop (07) gedurende de eerste 106 dagen van de tweede simulatie van RWZI Winterswijk. De droge stofconcentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)



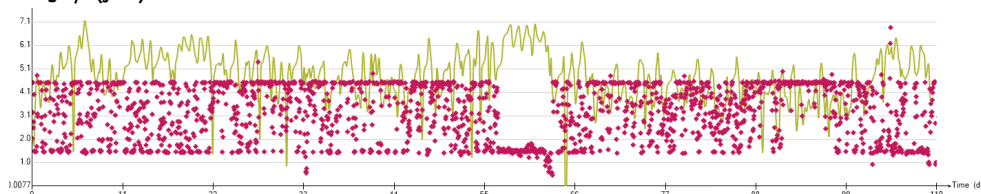
- De gemodelleerde concentratie NH_4 volgt de meetpunten goed, met uitzondering van de NH_4 pieken. De pieken zijn vaak een stuk hoger dan de meetpunten. Zie Figuur B4.8.

Figuur B4.8 De gemodelleerde NH_4 -concentraties (roze lijn) en gemeten NH_4 -concentraties (roze punten) in de omloop (07) gedurende de eerste 106 dagen van de tweede simulatie van RWZI Winterswijk. De NH_4 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as).



- De gemodelleerde DO komt niet goed overeen met de meetpunten. Zie Figuur B4.9.

Figuur B4.9 De gemodelleerde DO-concentraties (groene lijn) en gemeten NH_4 -concentraties (rode punten) in de omloop (07) gedurende de eerste 106 dagen van de tweede simulatie van RWZI Winterswijk. De NH_4 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



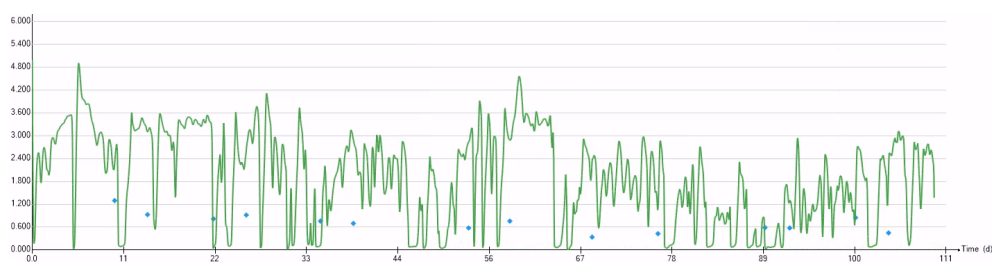
- Het luchtdebiet in de omloop van het model komt niet goed overeen met de meetpunten. Zie Figuur B4.10.

Figuur B4.10 De gemodelleerde beluchting (blauwe lijn) en gemeten beluchting (roze punten) in de beluchte omloop gedurende de eerste 106 dagen van de tweede simulatie van RWZI Winterswijk. De beluchting is gegeven in m^3/dag (y-as). De beluchting van slechts één van de vier beluchte compartimenten (010, 012, 013 en 014) is weergegeven. Ze zijn alle vier identiek



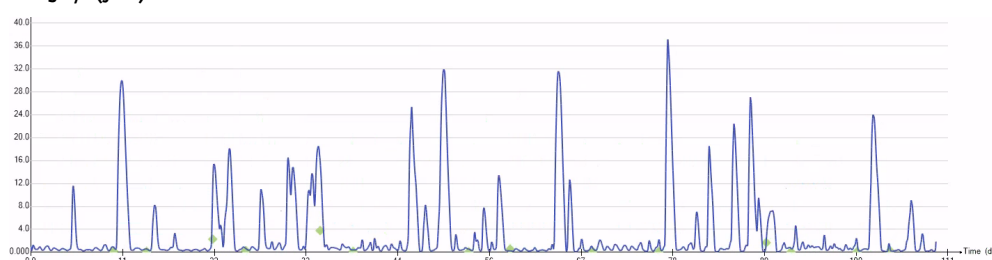
- De nitraatconcentratie in het effluent is in het model hoger dan de meetpunten. Zie Figuur B4.11.

Figuur B4.11 De gemodelleerde NO_3 -concentraties (roze lijn) en gemeten NO_3 -concentraties (roze punten) in het effluent gedurende de eerste 106 dagen van de tweede simulatie van RWZI Winterswijk. De NO_3 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as).



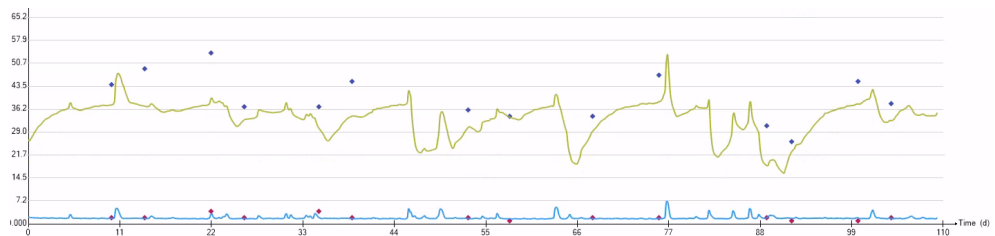
- De meetpunten van de ammoniumconcentratie in het effluent liggen op de lijn van de gemodelleerde waarden. Zie Figuur B4.12.

Figuur B4.12 De gemodelleerde NH_4 -concentraties (blauwe lijn) en gemeten NH_4 -concentraties (groene punten) in het effluent gedurende de eerste 106 dagen van de tweede simulatie van RWZI Winterswijk. De NH_4 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



- De gemodelleerde concentratie BZV₅ in het effluent komt goed overeen met de gemeten waarden. De gemodelleerde CZV concentraties in het effluent zijn lager dan de gemeten waarden. Zie Figuur B4.13.

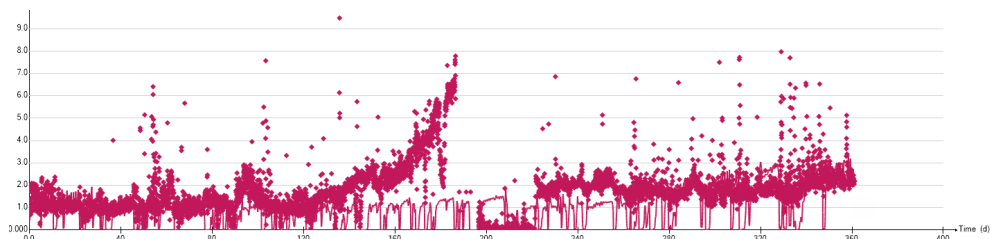
Figuur B4.13 De gemodelleerde CZV-concentraties (groene lijn), gemodelleerde BZV-concentraties (blauwe lijn), gemeten CZV-concentraties (blauwe punten) en gemeten BZV-concentraties (roze punten) in het effluent gedurende de eerste 106 dagen van de tweede simulatie van RWZI Winterswijk. De concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)



In bovenstaande simulatie zijn de ammoniumpieken nog steeds zichtbaar. In onderstaande simulatie is een andere beluchttingsregeling toegepast die het DO setpoint bepaalt op basis van de bandbreedtes van NO₃ en NH₄. Deze regeling komt beter overeen met de metingen. Deze methode zou volgens Dynamita echter niet mogelijk moeten zijn in SUMO en is alleen mogelijk vanwege een programmeerfout in SUMO. Deze regeling is later tijdens de kalibratie aangepast. De resultaten van de derde simulatie, met de onjuiste regeling, zijn als volgt:

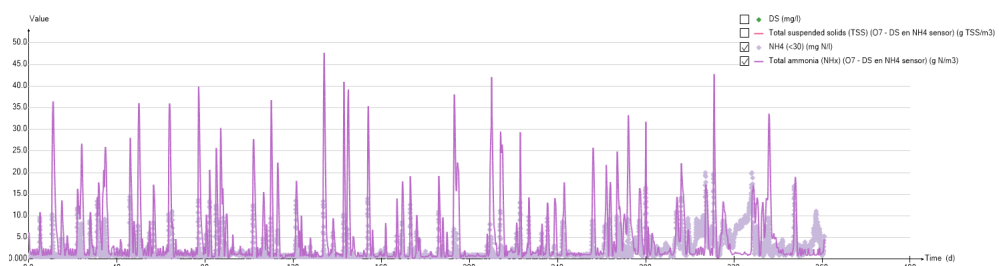
- De gemodelleerde concentratie NO₃ volgt de meetpunten op sommige plekken goed. In de meetdata is te zien dat tijdens de periode grofweg tussen 130 en 230 dagen de gemeten concentratie NO₃ niet betrouwbaar lijkt. Zie Figuur B4.14.

Figuur B4.14 De gemodelleerde NO₃-concentraties (rode lijn) en gemeten NO₃-concentraties (rode punten) in de omloop (06) gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Winterswijk. De NO₃-concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



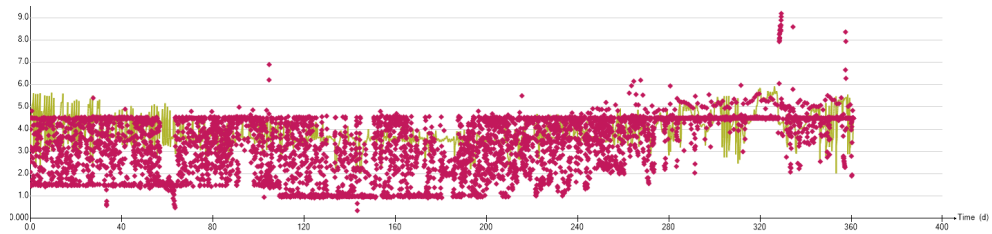
- De gemodelleerde resultaten van NH₄ in de omloop volgen het patroon van de sensordata goed, maar de NH₄ pieken zijn een stuk hoger dan de meetdata. Aan het eind van de meetperiode wordt het patroon minder goed gevolgd. Hier lijkt de sensordata ook minder betrouwbaar, aangezien die twee keer 'wegloopt'. Zie Figuur B4.15.

Figuur B4.15 De gemodelleerde NH₄-concentraties (roze lijn) en gemeten NH₄-concentraties (roze punten) in de omloop (07) gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Winterswijk. De NH₄-concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



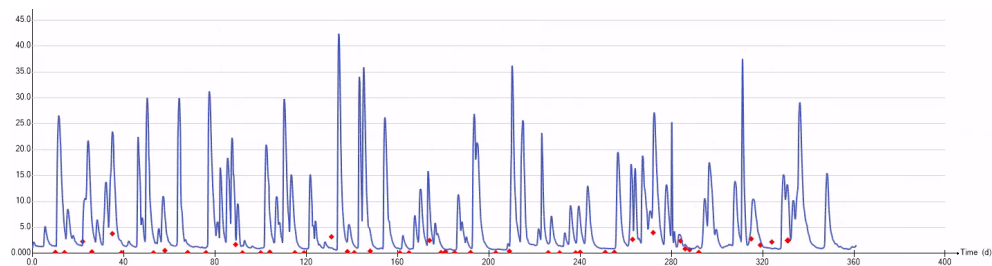
- Het DO zit in de goede ordegrootte, maar komt niet overeen met de meetpunten. Zie Figuur B4.16.

Figuur B4.16 De gemodelleerde DO-concentraties (groene lijn) en gemeten DO-concentraties (roze punten) in de omloop (015) gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Winterswijk. De DO-concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)



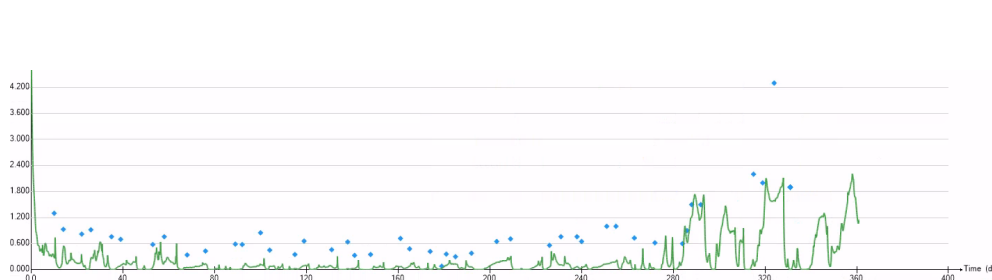
- De NH_4 concentraties in het effluent van het model zijn hoger dan de meetpunten. Zie Figuur B4.17.

Figuur B4.17 De gemodelleerde NH_4 -concentraties (blauwe lijn) en gemeten NH_4 -concentraties (rode punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Winterswijk. De NH_4 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



- De NO_3 concentraties in het effluent van het model zijn lager dan de meetpunten. Zie Figuur B4.18.

Figuur B4.18 De gemodelleerde NO_3 -concentraties (groene lijn) en gemeten NO_3 -concentraties (blauwe punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Winterswijk. De NO_3 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



- De gemodelleerde concentraties N-totaal in het effluent lijken de meetpunten te volgen. Zie Figuur B4.19.

Figuur B4.19 De gemodelleerde Ntot-concentraties (groene lijn) en gemeten Ntot-concentraties (blauwe punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van de derde simulatie van RWZI Winterswijk. De Ntot-concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



De hoge pieken in de ammoniumconcentraties zijn nog steeds zichtbaar in bovenstaande simulatie, zowel in de omloop als in het effluent. De effluentconcentratie van nitraat is te laag in het effluent. Daarnaast is de beluchtingsregeling zoals toegepast in het vorige model niet gelijk aan de werkelijke regeling. De uiteindelijke beluchtingsregeling, zoals uitgelegd in paragraaf 2.4.2, is met behulp van plantwide code in SUMO gemodelleerd. De Excel input van de plantwide code is gegeven in Figuren B4.20 en B4.21.

Figuur B4.20 'Parameters' tabblad in de plantwide code van de beluchtingsregeling in de omloop

Symbol	Name	Default	Low limit	High limit	Unit	Decimals	Rule	Principle/comment
NH4,matrix,min	Minimum NH4 in matrix regulation	0.8	0	10	g N.m ⁻³	1		
NH4,matrix,max	Maximum NH4 in matrix regulation	2.5	0	10	g N.m ⁻³	1		
NO3,matrix,min	Minimum NO3 in matrix regulation	0.4	0	10	g N.m ⁻³	1		
NO3,matrix,max	Maximum NO3 in matrix regulation	3	0	10	g N.m ⁻³	1		
SPDO,matrix,min	Minimum DO in matrix regulation	1	0	10	g O ₂ .m ⁻³	1		
SPDO,matrix,max	Maximum DO in matrix regulation	4.5	0	10	g O ₂ .m ⁻³	1		

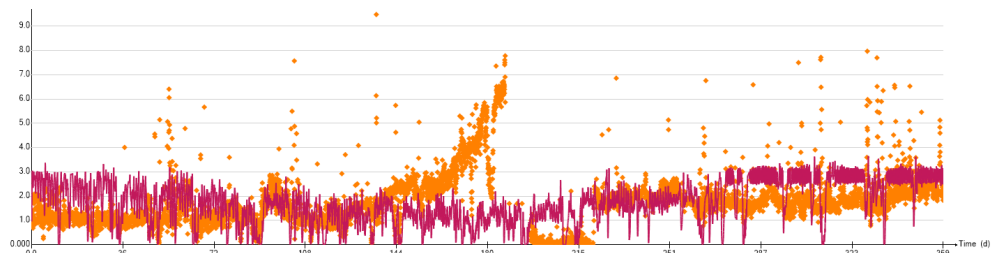
Figuur B4.21 'Code' tabblad in de plantwide code van de beluchttingsregeling in de omloop

C									
D									
E									
F									
G									
H									
I									
J									
K									
L									
M									
N									
O									
P									
Q									
R									
S									
T									
U									
V									
W									
X									
Y									
Z									
[aa]									
[ab]									
[ac]									
[ad]									
[ae]									
[af]									
[ag]									
[ah]									
[ai]									
[aj]									
[ak]									
[al]									
[am]									
[an]									
[ao]									
[ap]									
[aq]									
[ar]									
[as]									
[at]									
[au]									
[av]									
[aw]									
[ax]									
[ay]									
[az]									
[ba]									
[bb]									
[bc]									
[bd]									
[be]									
[bf]									
[bg]									
[bh]									
[bi]									
[bj]									
[bk]									
[bl]									
[bm]									
[bn]									
[bo]									
[bp]									
[bq]									
[br]									
[bs]									
[bt]									
[bu]									
[bv]									
[bw]									
[bx]									
[by]									
[bz]									
[ca]									
[cb]									
[cc]									
[cd]									
[ce]									
[cf]									
[cg]									
[ch]									
[ci]									
[cj]									
[ck]									
[cl]									
[cm]									
[cn]									
[co]									
[cp]									
[cq]									
[cr]									
[cs]									
[ct]									
[cu]									
[cv]									
[cw]									
[cx]									
[cy]									
[cz]									
[da]									
[db]									
[dc]									
[dd]									
[de]									
[df]									
[dg]									
[dh]									
[di]									
[dj]									
[dk]									
[dl]									
[dm]									
[dn]									
[do]									
[dp]									
[dq]									
[dr]									
[ds]									
[dt]									
[du]									
[dv]									
[dw]									
[dx]									
[dy]									
[dz]									
[ea]									
[eb]									
[ec]									
[ed]									
[ee]									
[ef]									
[eg]									
[eh]									
[ei]									
[ej]									
[ek]									
[el]									
[em]									
[en]									
[eo]									
[ep]									
[eq]									
[er]									
[es]									
[et]									
[eu]									
[ev]									
[ew]									
[ex]									
[ey]									
[ez]									
[fa]									
[fb]									
[fc]									
[fd]									
[fe]									
[ff]									
[fg]									
[fh]									
[fi]									
[fj]									
[fk]									
[fl]									
[fm]									
[fn]									
[fo]									
[fp]									
[fq]									
[fr]									
[fs]									
[ft]									
[fu]									
[fv]									
[fw]									
[fx]									
[fy]									
[fz]									
[ga]									
[gb]									
[gc]									
[gd]									
[ge]									
[gf]									
[gg]									
[gh]									
[gi]									
[gj]									
[gk]									
[gl]									
[gm]									
[gn]									
[go]									
[gp]									
[gq]									
[gr]									
[gs]									
[gt]									
[gu]									
[gv]									
[gw]									
[gx]									
[gy]									
[gz]									
[ha]									
[hb]									
[hc]									
[hd]									
[he]									
[hf]									
[hg]									
[hh]									
[hi]									
[hj]									
[hk]									
[hl]									
[hm]									
[hn]									
[ho]									
[hp]									
[hq]									
[hr]									
[hs]									
[ht]									
[hu]									
[hv]									
[hw]									
[hx]									
[hy]									
[hz]									
[ia]									
[ib]									
[ic]									
[id]									
[ie]									
[if]									
[ig]									
[ih]									
[ii]									
[ij]									
[ik]									
[il]									
[im]									
[in]									
[io]									
[ip]									
[iq]									
[ir]									
[is]									
[it]									
[iu]									
[iv]									
[iw]									
[ix]									
[iy]									
[iz]									
[ja]									
[jb]									
[jc]									
[jd]									
[je]									
[jf]									
[jg]									
[jh]									
[ji]									
[jj]									
[jk]									
[jl]									
[jm]									
[jn]									
[jo]									
[jp]									
[jq]									
[jr]									
[js]									
[jt]									
[ju]									
[jv]									
[jw]									
[jx]									
[jy]									
[jz]									
[ka]									
[kb]									
[kc]									
[kd]									
[ke]									
[kf]									
[kg]									
[kh]									
[ki]									
[kj]									
[kk]									
[kl]									
[km]									
[kn]									
[ko]									
[kp]									
[kq]									
[kr]									
[ks]									
[kt]									
[ku]									
[kv]									
[kw]									
[kx]									
[ky]									
[kz]									
[la]									
[lb]									
[lc]									
[ld]									
[le]									
[lf]									
[lg]									
[lh]									
[li]									
[lj]									
[lk]									
[ll]									
[lm]									
[ln]									
[lo]									
[lp]									
[lq]									
[lr]									
[ls]									
[lt]									
[lu]									
[lv]									
[lw]									
[lx]									
[ly]									
[lz]									
[ma]									
[mb]									
[mc]									
[md]									
[me]									
[mf]									
[mg]									
[mh]									
[mi]									
[mj]									
[mk]									
[ml]									
[mm]									
[mn]									
[mo]									
[mp]									
[mq]									
[mr]									
[ms]									
[mt]									
[mu]									
[mv]									
[mw]									
[mx]									
[my]									
[mz]									
[na]									
[nb]									
[nc]									
[nd]									
[ne]									
[nf]									
[ng]									
[nh]									
[ni]									
[nj]									
[nk]									
[nl]									
[nm]									
[nn]									
[no]									
[np]									
[nq]									
[nr]									
[ns]									
[nt]									
[nu]									
[nv]									
[nw]									
[nx]									
[ny]									
[nz]									
[oa]									
[ob]									
[oc]									
[od]									
[oe]									
[of]									
[og]									
[oh]									
[oi]									
[oj]									
[ok]									
[ol]									
[om]									
[on]									
[oo]									
[op]									
[oq]									
[or]									
[os]									
[ot]									
[ou]									
[ov]									
[ow]									
[ox]									
[oy]									
[oz]									
[pa]									
[pb]									
[pc]									
[pd]									
[pe]									
[pf]									
[pg]									
[ph]									
[pi]									
[pj]									
[pk]									
[pl]									
[pm]									
[pn]									
[po]									
[pp]									
[pq]									
[pr]									
[ps]									
[pt]									
[pu]									
[pv]									
[pw]									
[px]									
[py]									
[pz]									
[qa]									
[qb]									
[qc]									
[qd]									
[qe]									
[qf]									
[qg]									
[qh]									
[qi]									
[qj]									
[qk]									
[ql]									
[qm]									
[qn]									
[qo]									
[qp]									
[qq]									
[qr]									
[qs]									
[qt]									
[qu]									
[qv]									
[qw]									
[qx]									
[qy]									
[qz]									
[ra]									
[rb]									
[rc]									
[rd]									
[re]									
[rf]									
[rg]									
[rh]									
[ri]									
[rj]									
[rk]									
[rl]									
[rm]									
[rn]									
[ro]									
[rp]									
[rq]									
[rr]									
[rs]									
[rt]									
[ru]									
[rv]									
[rw]									
[rx]									
[ry]									
[rz]									
[sa]									
[sb]									
[sc]									
[sd]									
[se]									
[sf]									
[sg]									
[sh]									
[si]									
[sj]									
[sk]									
[sl]									
[sm]									
[sn]									
[so]									
[sp]									
[sq]									
[sr]									
[ss]									
[st]									
[su]									
[sv]									
[sw]									
[sx]									
[sy]									
[sz]									
[ta]									
[tb]									
[tc]									
[td]									
[te]									
[tf]									
[tg]									
[th]									
[ti]									
[tj]									
[tk]									
[tl]									
[tm]									
[tn]									
[to]									
[tp]									
[tq]									
[tr]									
[ts]									
[tt]									
[tu]									
[tv]									
[tw]									
[tx]									
[ty]									
[tz]									
[ua]									
[ub]									
[uc]									
[ud]									
[ue]									
[uf]									
[ug]									
[uh]									
[ui]									
[uj]									
[uk]									
[ul]									
[um]									
[un]									
[uo]									
[up]									
[uq]									
[ur]									
[us]									
[ut]									
[uu]									
[uv]									
[uw]									
[ux]									
[uy]									
[uz]									
[va]									
[vb]									
[vc]									
[vd]									
[ve]									
[vf]									
[vg]									
[vh]									
[vi]									
[vj]									
[vk]									
[vl]									
[vm]									
[vn]									
[vo]									
[vp]									
[vq]									
[vr]									
[vs]									
[vt]									
[vu]									
[vv]									
[vw]									
[vx]									
[vy]									
[vz]									
[wa]									
[wb]									
[wc]									
[wd]									
[we]									
[wf]									
[wg]									
[wh]									
[wi]									
[wj]									
[wk]									
[wl]									
[wm]									
[wn]									
[wo]									
[wp]									
[wq]									
[wr]									
[ws]									
[wt]									
[wu]									
[wv]									
[ww]									
[wx]									
[wy]									
[wz]									
[xa]									
[xb]									
[xc]									
[xd]									
[xe]									
[xf]									
[xg]									
[xh]									
[xi]									
[xj]									
[xk]									
[xl]									
[xm]									
[xn]									
[xo]									
[xp]									
[xq]									
[xr]									
[xs]									
[xt]									
[xu]									
[xv]									
[xw]									
[xx]									
[xy]									
[xz]									
[ya]									
[yb]									
[yc]									
[yd]									
[ye]									
[yf]									
[yg]									
[yh]									
[yi]									
[yj]									
[yk]									
[yl]									
[ym]									
[yn]									
[yo]									
[yp]									
[yq]									
[yr]									
[ys]									
[yt]									
[yu]									
[yv]									
[yw]									
[yx]									
[yy]									
[yz]									
[za]									
[zb]									
[zc]									
[zd]									
[ze]									
[zf]									
[zg]									
[zh]									
[zi]									
[zj]									
[zk]									
[zl]									
[zm]									
[zn]									
[zo]									
[zp]									
[zq]									
[zr]									
[zs]									
[zt]									
[zu]									
[zv]									
[zw]									
[zx]									
[zy]									
[zz]									
[aa]									
[ab]									
[ac]									
[ad]									
[ae]									
[af]									
[ag]									
[ah]									
[ai]									
[aj]									
[ak]									
[al]									
[am]									
[an]									
[ao]									
[ap]									
[aq]									
[ar]									
[as]									
[at]									
[au]									
[av]									
[aw]									
[ax]									
[ay]									
[az]									
[ba]									
[bb]									
[bc]									
[bd]									
[be]									
[bf]									
[bg]									
[bh]									
[bi]									
[bj]									
[bk]									
[bl]									
[bm]									
[bn]									
[bo]									
[bp]									
[bq]									
[br]									
[bs]									
[bt]									
[bu]									
[bv]									
[bw]									
[bx]									
[by]									
[bz]									
[ca]									
[cb]									
[cc]									
[cd]									
[ce]									
[cf]									
[cg]									
[ch]									
[ci]									
[cj]									
[ck]									
[cl]									
[cm]									
[cn]									
[co]									
[cp]									
[cq]									
[cr]									
[cs]									
[ct]									
[cu]									
[cv]									
[cw]									
[cx]									
[cy]									
[cz]									
[da]									
[db]									
[dc]									
[dd]									
[de]									
[df]									
[dg]									
[dh]									
[di]									
[dj]									
[dk]									
[dl]									
[dm]									
[dn]									
[do]									
[dp]									
[dq]									
[dr]									
[ds]									
[dt]									
[du]									
[dv]									
[dw]									
[dx]									
[dy]									
[dz]									
[ea]									
[eb]									
[ec]									
[ed]									
[ee]									
[ef]									
[eg]									
[eh]									
[ei]									
[ej]									
[ek]									
[el]									
[em]									
[en]									
[eo]									
[ep]									
[eq]									
[er]									
[es]									
[et]									

De resultaten van de simulatie met de nieuwe beluchtingsregeling zijn als volgt:

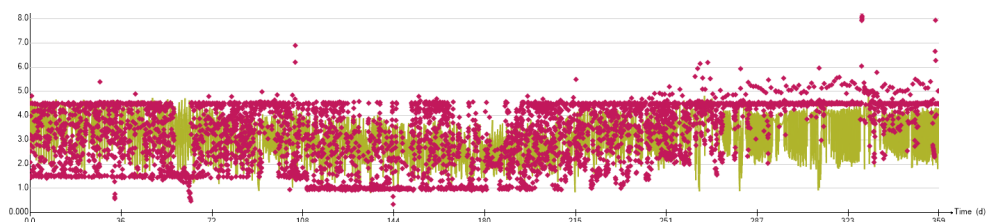
- De gemodelleerde NO₃-concentratie in de omloop (O6) komt voor een deel van het jaar goed overeen met de meetpunten. Een deel van het jaar is de gemodelleerde concentratie hoger dan de meetpunten, maar volgt wel hetzelfde patroon. De meetdata is gedeeltelijk niet betrouwbaar, zoals eerder beschreven. Zie Figuur B4.22.

Figuur B4.22 De gemodelleerde NO₃-concentraties (paarse lijn) en gemeten NO₃-concentraties (oranje punten) in de omloop (O6) gedurende het gehele jaar van de vierde simulatie van RWZI Winterswijk. De NO₃-concentraties zijn gegeven in mg N/l (v-as)

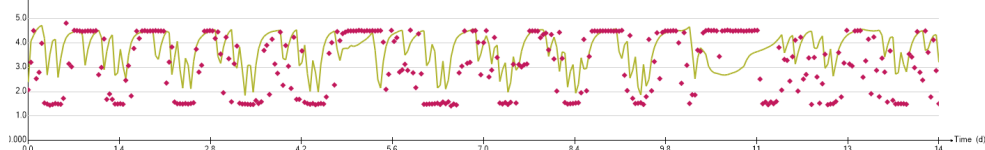


- De gemodelleerde DO in de omloop (O15) komt goed overeen met de meetpunten. De waarden liggen in dezelfde bandbreedte. Zie Figuur B4.23. Op kleinere schaal wordt het patroon van de DO-metpunten goed gevolgd door de gemodelleerde waarden, zoals te zien is in de grafiek van de eerste 14 dagen. Zie Figuur B4.24.

Figuur B4.23 De gemodelleerde D0-concentraties (groene lijn) en gemeten D0-concentraties (rode punten) in de omloop (O15) gedurende het gehele jaar van de vierde simulatie van RWZI Winterswijk. De D0-concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)

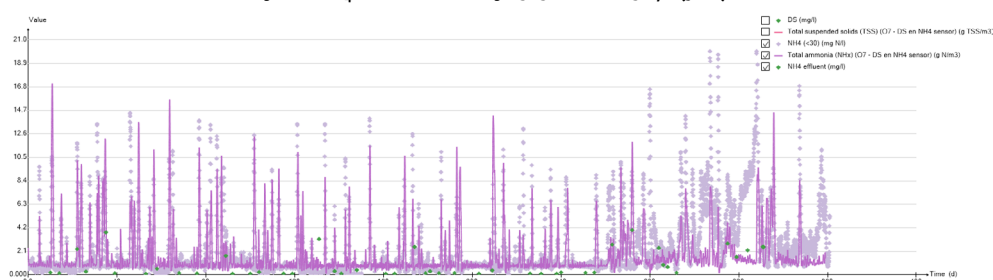


Figuur B4.24 De gemodelleerde DO-concentraties (groene lijn) en gemeten DO-concentraties (rode punten) in de omloop (O15) gedurende de eerste 14 dagen van de vierde simulatie van RWZI Winterswijk. De DO-concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)



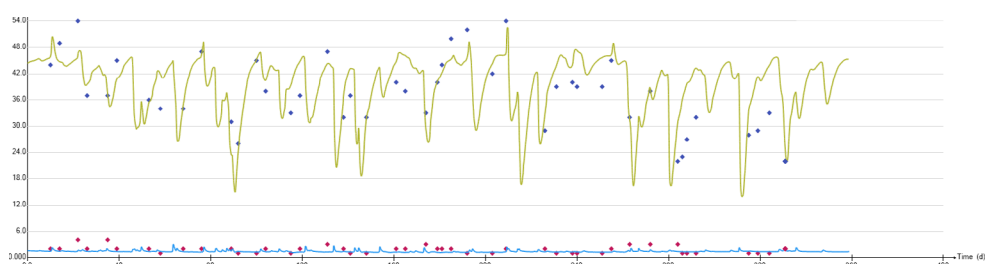
De gemodelleerde NH_4 -concentraties in de omloop (O7) komen goed overeen met de meetpunten. De NH_4 -pieken komen niet precies overeen, maar zijn in dezelfde ordegrootte. Zie Figuur B4.25.

Figuur B4.25 De gemodelleerde NH_4 -concentraties (roze lijn) en de gemeten NH_4 -concentraties (paarse punten) in de omloop (O7) en de gemeten NH_4 -concentraties in het effluent (groene punten) gedurende het gehele jaar van de vierde simulatie van RWZI Winterswijk. De NH_4 -concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



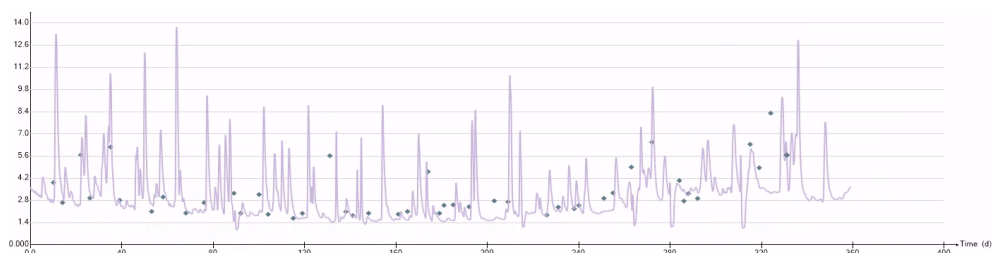
- De gemodelleerde effluentconcentraties van CZV en BZV komen beter overeen met de meetpunten dan bij de vorige simulatie. Zie Figuur B4.26.

Figuur B4.26 De gemodelleerde CZV-concentraties (groene lijn), gemodelleerde BZV-concentraties (blauwe lijn), gemeten CZV-concentraties (blauwe punten) en gemeten BZV-concentraties (roze punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van de vierde simulatie van RWZI Winterswijk. De concentraties zijn gegeven in mg/l (y-as)



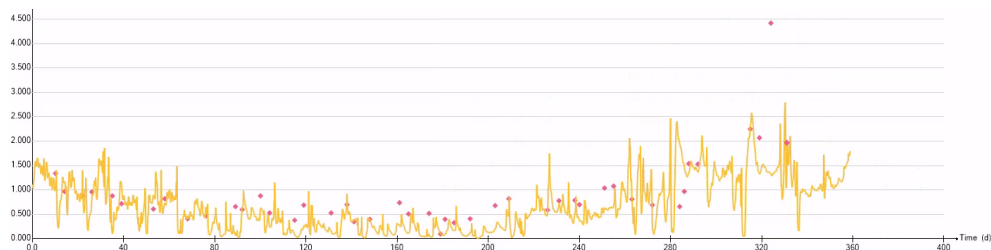
- De gemodelleerde effluentconcentraties van N-totaal komen goed overeen met de meetpunten. Zie Figuur B4.27.

Figuur B4.27 De gemodelleerde Ntot-concentraties (paarse lijn) en de gemeten Ntot-concentraties (paarse punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van de vierde simulatie van RWZI Winterswijk. De Ntot-concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



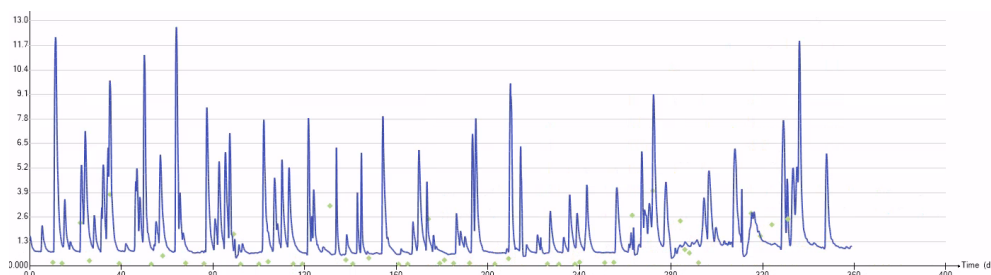
- De gemodelleerde effluentconcentraties van NO_x komen voor een deel van de onderzochte periode goed overeen met de meetpunten. Zie Figuur B4.28.

Figuur B4.28 De gemodelleerde NO_x-concentraties (gele lijn) en de gemeten NO_x-concentraties (roze punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van de vierde simulatie van RWZI Winterswijk. De NO_x-concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



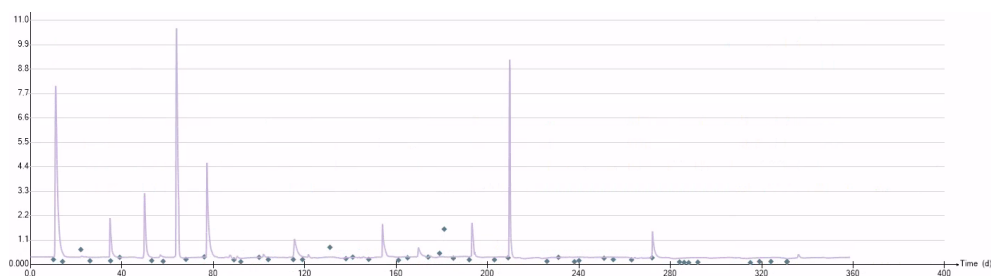
- De gemodelleerde effluentconcentraties van NH₄ zijn over het algemeen hoger dan de meetpunten. Zie Figuur B4.29.

Figuur B4.29 De gemodelleerde NH₄-concentraties (blauwe lijn) en de gemeten NH₄-concentraties (groene punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van de vierde simulatie van RWZI Winterswijk. De NH₄-concentraties zijn gegeven in mg N/l (y-as)



- De gemodelleerde effluentconcentraties van P-totaal komen prima overeen met de meetpunten. De pieken in de gemodelleerde P-totaal concentraties zijn niet zichtbaar in de meetpunten. Zie Figuur B4.30.

Figuur B4.30 De gemodelleerde P_{tot}-concentraties (paarse lijn) en de gemeten P_{tot}-concentraties (grijze punten) in het effluent gedurende het gehele jaar van de vierde simulatie van RWZI Winterswijk. De P_{tot}-concentraties zijn gegeven in mg P/l (y-as)



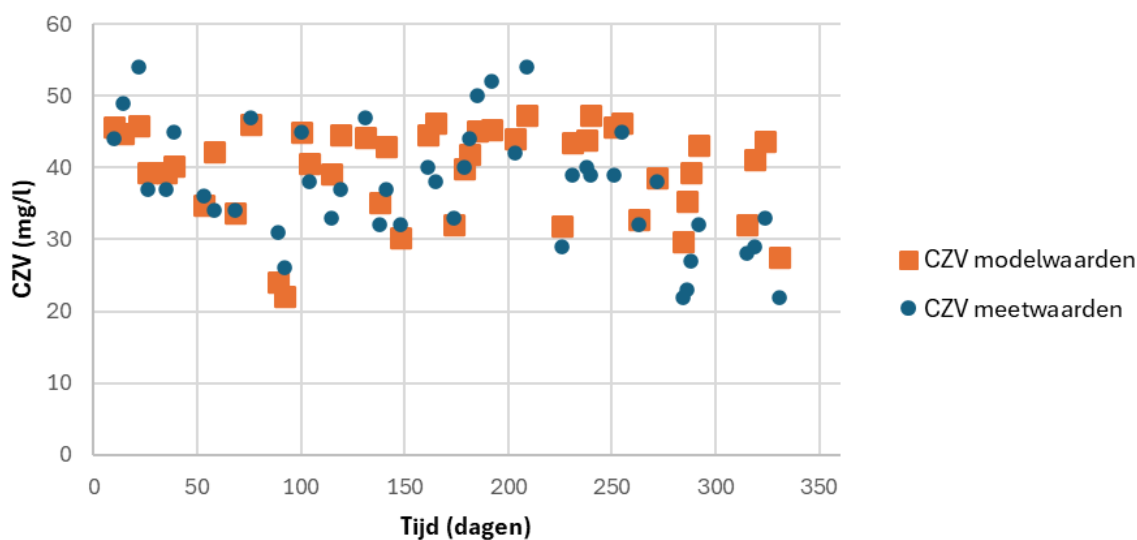
Na het exporteren van de data van SUMO naar Excel en het berekenen van de daggemiddelden op de meetdagen, zijn de modelwaarden en meetwaarden geplot. Dit is voor verschillende parameters zichtbaar in onderstaande grafieken. Voor de verschillende parameters komen de parameters van de gemodelleerde waarden in het effluent goed overeen met de gemeten waarden. Alleen de meetwaarden van de ammoniumconcentratie in het effluent zijn structureel lager dan de modelwaarden. Dit komt door een nageschakelde techniek. De

ammoniumwaarden in de omloop komen wel overeen. In Tabel B4.1 zijn de gemiddeldes gegeven van de meetdata uit Z-info en het gemiddelde van de berekende daggemiddelde waarden op meetdagen uit het SUMO model.

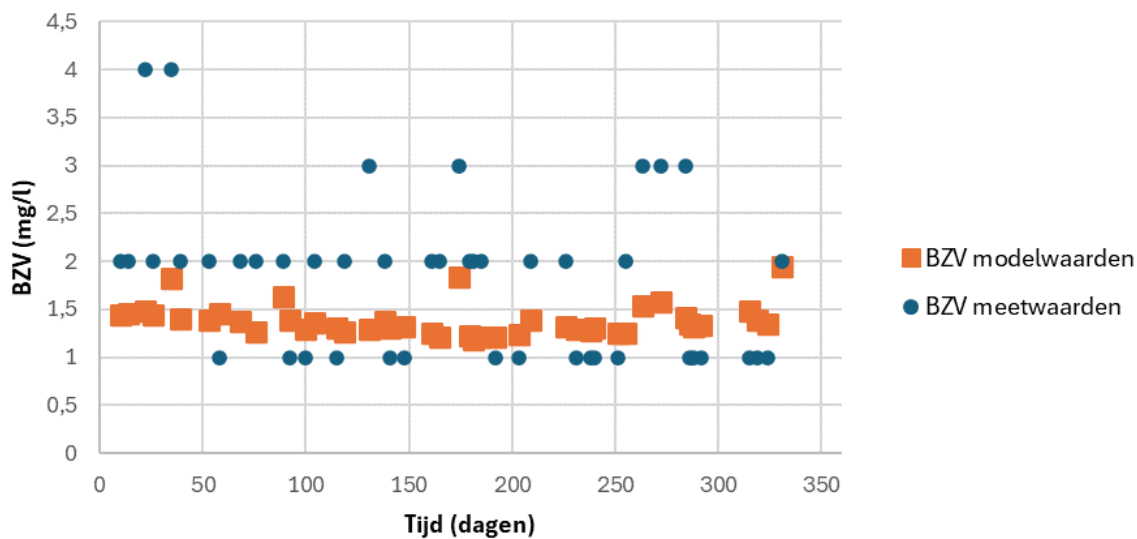
Tabel B4.1 De gemiddelde effluentconcentraties voor RWZI Winterswijk op meetdagen uit Z-info en het gemiddelde van de berekende daggemiddelde waarden op meetdagen uit het SUMO-model.

	Eenheid	Gemiddelde concentratie van meetdagen (Z-info)	Gemiddelde concentratie van meetdagen (SUMO-model)
CZV	mg/l	37,4	39,7
BZV ₅	mg/l	1,8	1,4
NKj	mg/l	2,4	2,2
NH ₄	mg N/l	0,9	1,4
NO _x	mg N/l	0,9	0,7
Ntot	mg N/l	3,3	2,9
PO ₄	mg P/l	0,2	0,1
Ptot	mg P/l	0,3	0,4
OB of TSS	mg/l	5,1	5,1

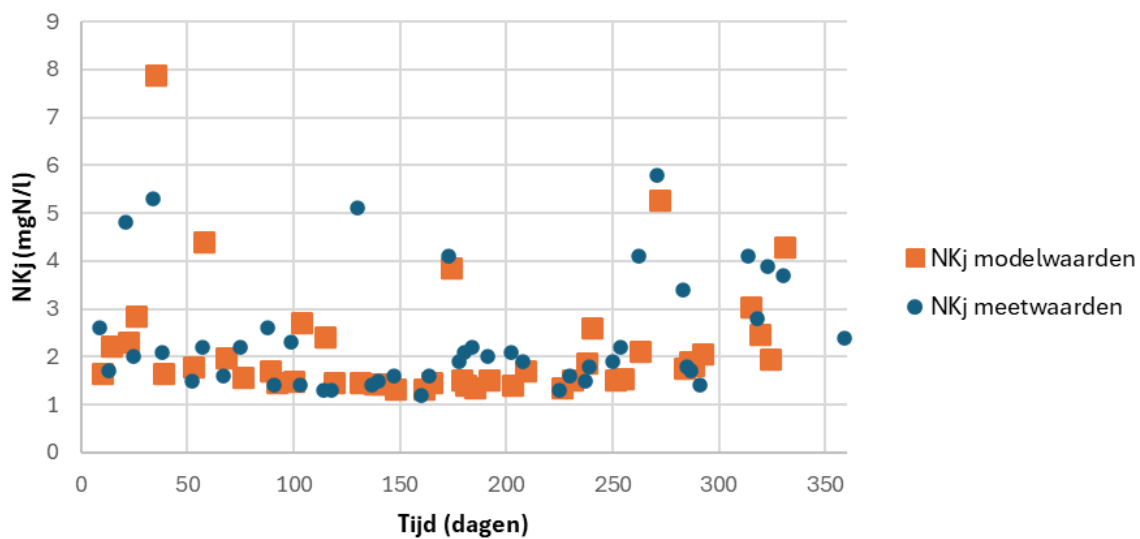
Figuur B4.31 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde CZV-concentraties op meetdagen van RWZI Winterswijk. De meetwaarden (blauwe cirkels) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (oranje vierkanten) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



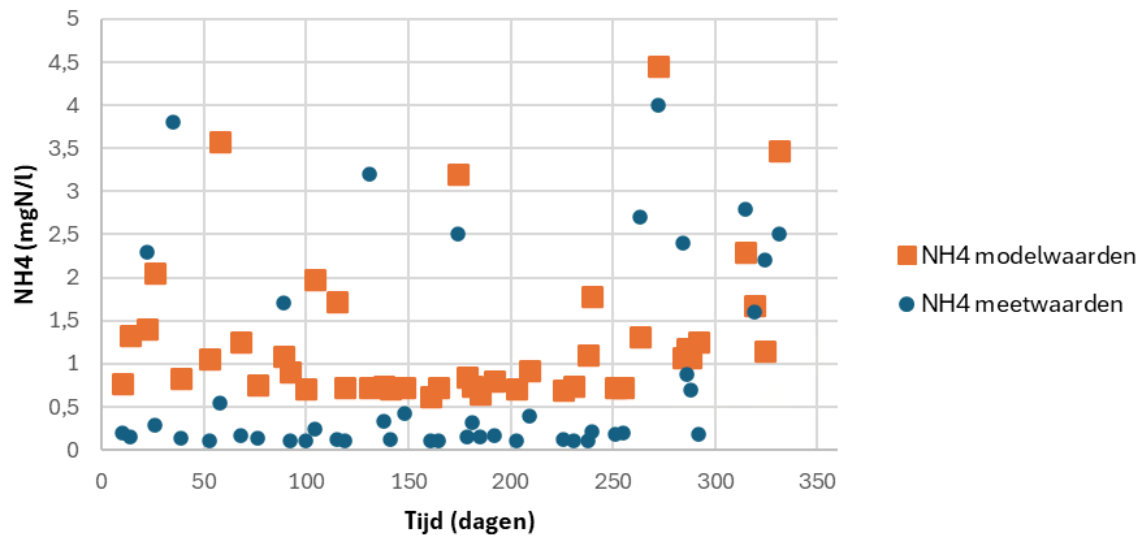
Figuur B4.32 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde BZV-concentraties op meetdagen van RWZI Winterswijk. De meetwaarden (blauwe cirkels) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (oranje vierkanten) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



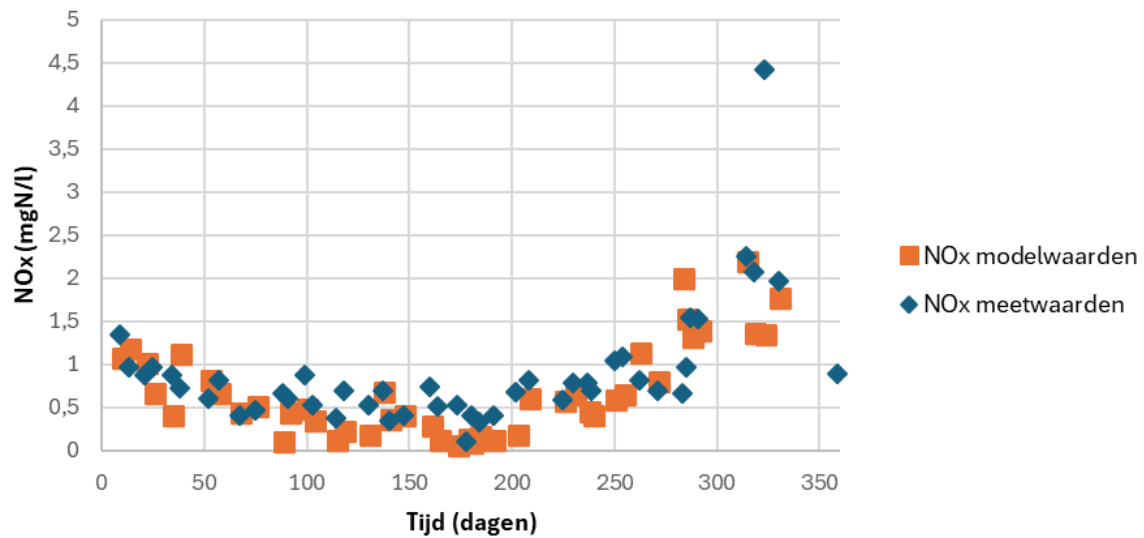
Figuur B4.33 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde NKj-concentraties op meetdagen van RWZI Winterswijk. De meetwaarden (blauwe cirkels) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (oranje vierkanten) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



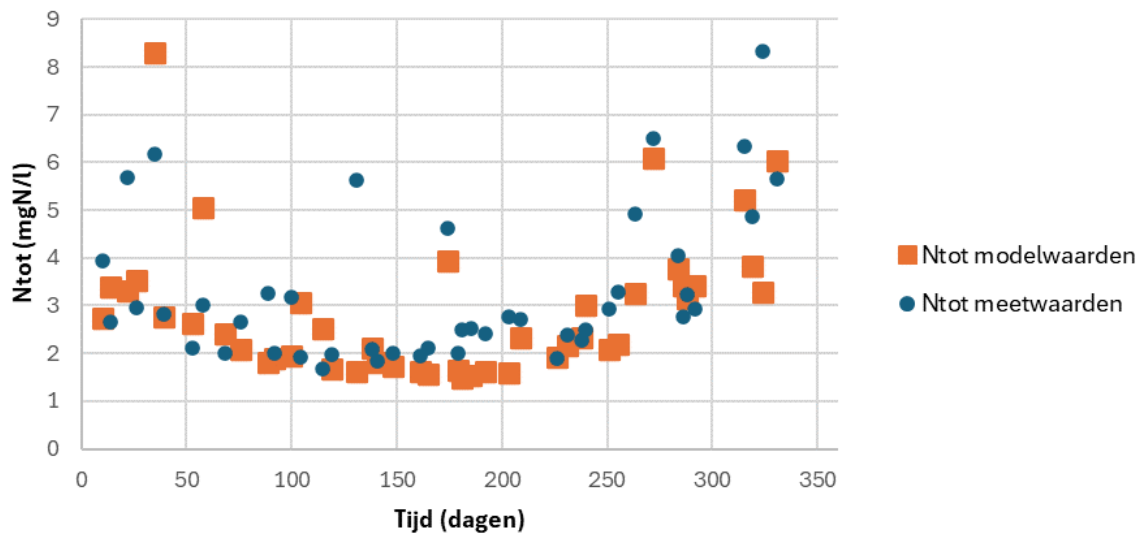
Figuur B4.34 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde NH_4 -concentraties op meetdagen van RWZI Winterswijk. De meetwaarden (blauwe cirkels) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (oranje vierkanten) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



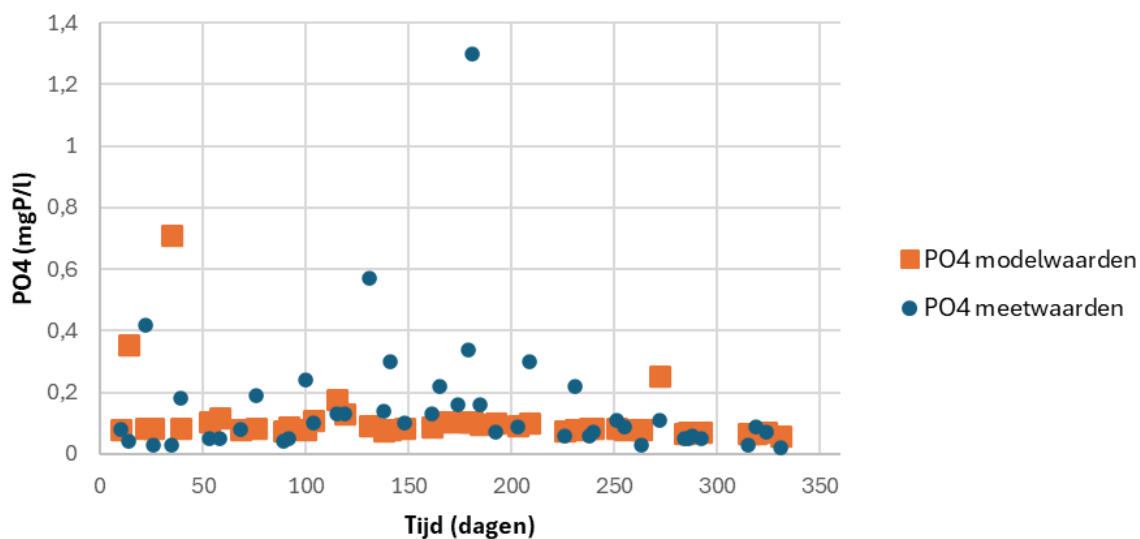
Figuur B4.35 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde NO_x -concentraties op meetdagen van RWZI Winterswijk. De meetwaarden (blauwe cirkels) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (oranje vierkanten) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



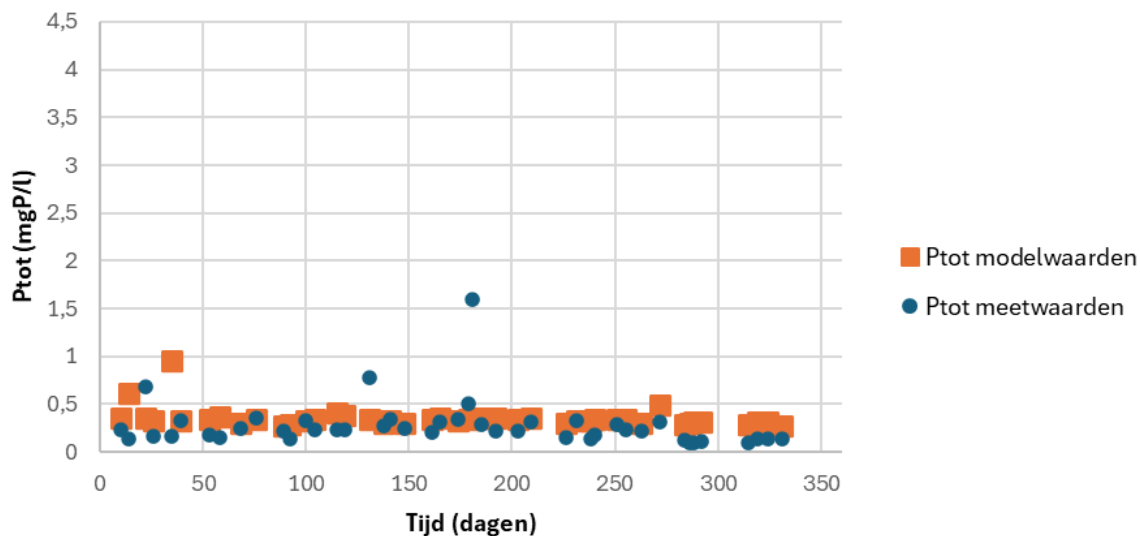
Figuur B4.36 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde Ntot-concentraties op meetdagen van RWZI Winterswijk. De meetwaarden (blauwe cirkels) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (oranje vierkanten) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



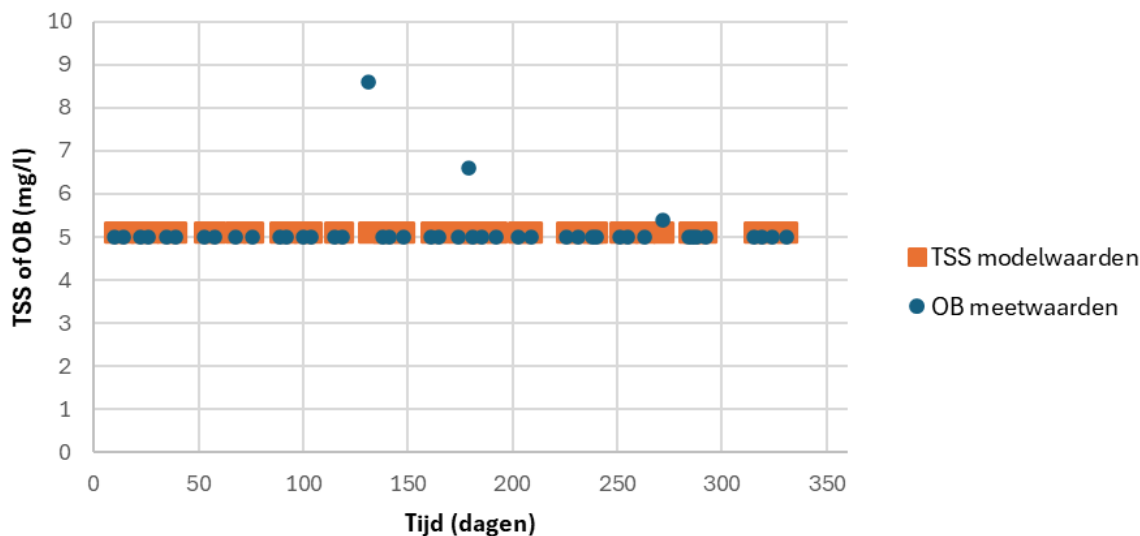
Figuur B4.37 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde PO₄-concentraties op meetdagen van RWZI Winterswijk. De meetwaarden (blauwe cirkels) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (oranje vierkanten) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



Figuur B4.38 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde P_{tot}-concentraties op meetdagen van RWZI Winterswijk. De meetwaarden (blauwe cirkels) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (oranje vierkanten) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



Figuur B4.39 Vergelijking tussen de resultaten van het SUMO model en de aangeleverde data van daggemiddelde TSS- en OB-concentraties op meetdagen van RWZI Winterswijk. De meetwaarden (blauwe cirkels) zijn afkomstig uit Z-info en de modelwaarden (oranje vierkanten) zijn berekend voor de meetdagen met de resultaten van het gekalibreerde model in SUMO



KARAKTERISERING VAN STROMEN

Bij RWZI Winterswijk is een nadere karakterisering van stromen toegepast met behulp van de Influent Tool toen bleek dat de effluent CZV concentraties van het model niet overeenkwamen met de gemeten waarden. De 'Fraction of soluble unbiodegradable organics (SU) in filtered COD' is verlaagd van 17,2 % naar 12,6 %. Met de Influent Tool is gecontroleerd dat de (CZV, N en P) balansen nog sluiten na deze aanpassing.

BIJLAGE 5

METHODE KOSTENBEREKENING BENODIGDE NABEHANDELING

ACHTERGROND

Een van de doelen van dit onderzoek is:

Inzichtelijk maken hoe waterschappen door optimalisatie meer uit hun bestaande assets kunnen halen en zo een nabehandeling om effluenteisen (als voor KRW) te behalen minder groot of met minder hulpstoffen kan worden gedimensioneerd.

Bij aanvang van het project is voor deze nabehandeling als uitgangspunt genomen dat door optimalisatie een verbeterde effluentkwaliteit kon worden bereikt zonder een kostbare ingreep aan de huidige installatie. Hier is in het project vanaf geweken; primair zijn de optimalisaties erop gericht om zoveel mogelijk inzicht te kunnen geven in de bruikbaarheid van dynamische modellering voor optimalisatie van bestaande rwzi's en het doorrekenen van de rwzi bij lage effluentconcentraties. Hierdoor zijn bij sommige optimalisaties wel aanvullende kosten benodigd, zoals een anaerobe tank of extra beluchtingscapaciteit.

CASES, OPTIMALISATIE EN NABEHANDELING

Elk van de vier cases en hun optimalisatie(s) is uniek. Per case is de meest voor de hand liggende nabehandeling en effluentkwaliteit gekozen. Voor de referentie is uitgegaan van het gekalibreerde model. De nabehandelingsopties zijn geselecteerd uit het STOWA rapport KRW-maatregelen voor nutriëntenverwijdering in de afvalwaterketen (STOWA 2024-27) en gaan uit van dezelfde effluentkwaliteit als voor de geoptimaliseerde parameter (P_{tot} , NH_4 of N_{tot}). Alleen de nieuwe in dit project gemodelleerde optimalisaties zijn meegenomen in de vergelijking met de benodigde nabehandeling voor de referentiesituatie.

Er is telkens gekeken naar een parameter. Mocht bijvoorbeeld bij RWZI Bergambacht een aanvullende N-totaal verwijdering benodigd zijn, dan is de verwachting dat deze behandeling voor beiden gelijk is. Dit betekent vervolgens dat de kosten en de CO_2 -voetafdruk voor deze extra stap niet onderscheidend zijn tussen de referentie en de optimalisatie. Enige uitzondering hierop is een nabehandeling met aanvullende denitrificatie voor de varianten met NH_4 -verwijdering, deze zal voor de optimalisatie iets groter zijn, omdat hier de bypass langs de nabehandeling een hogere NO_x -N concentratie heeft dan in de referentiesituatie. Er is immers aanvullend genitrificeerd in de hoofdstroom, waardoor NO_x -N is geproduceerd. Voor de case van RWZI Amersfoort geeft een globale berekening aan dat op jaarbasis circa 25% meer dient te worden behandeld in een denitrificerend MBBR.

Tabel B5.1

Overzicht cases en nabehandeling

Case	Optimalisatie	Nabehandeling	In effluent
RWZI Bergambacht (ontwerpcapaciteit: 8.800 i.e. à 150 g TZV)			
- Referentie	-	Vastbed mediafiltratie voor PO ₄ -P verwijdering ¹	P _{tot} = 0,45 mg P/l
- Optimalisatie	Uitbreiding anaerobe tank t.b.v. lagere P-totaal in effluent.	-	P _{tot} = 0,45 mg P/l
RWZI Amersfoort (ontwerpcapaciteit: 304.000 i.e. à 150 g TZV)			
- Referentie	-	MBBR voor NH ₄ -N verwijdering ²	NH ₄ -N zomer = 1,0 mg N/l
- Optimalisatie	Meer nitrificatie door aanpassing beluchttingsregeling	-	NH ₄ -N zomer = 1,0 mg N/l
RWZI Hellevoetsluis (ontwerpcapaciteit: 108.000 i.e. à 150 g TZV)			
- Referentie	-	Vastbed mediafiltratie voor NO _x -N en PO ₄ -P verwijdering ³	N _{tot} = 3,8 mg N/l
- Optimalisatie	Verbetering N-totaal door aanpassing beluchttingsregeling	-	N _{tot} = 3,8 mg N/l
RWZI Winterswijk (ontwerpcapaciteit: 83.400 i.e. à 150 g TZV)			
- Referentie	-	MBBR voor NH ₄ -N verwijdering ²	NH ₄ -N jg = 1,2 mg N/l
- Optimalisatie	Minder NH ₄ -pieken door aanpassing beluchttingsregeling	-	NH ₄ -N jg = 1,2 mg N/l

¹ Factsheet 16 uit STOWA 2024-27.² Factsheet 23 uit STOWA 2024-27.³ Factsheet 15 uit STOWA 2024-27, in STOWA 2024-27 is geen maatregel uitgewerkt voor alleen NO_x-N verwijdering d.m.v. filtratie, vandaar dat hier een combinatie filter is meegenomen.

AFLEIDING ONTWERPCAPACITEIT NABEHANDELING EN JAARDEBIET

Het uurdebiet van het influent of effluent over de gemodelleerde periode is door handmatig een maximum uurdebiet in te stellen verdeeld over twee stromen:

- behandeld in de nabehandeling;
- bypass.

De concentratie van de betreffende parameter voor de bypass is de gemodelleerde effluent-kwaliteit op dat moment en de concentratie voor de in de nabehandeling behandelde stroom is gelijk aan de waarde die gegeven is in het factsheet voor de technologie uit het STOWA rapport (zie Tabel B5.1).

Vervolgens is het maximum uurdebiet zo gekozen dat de concentratie in het totale effluent van de referentie inclusief nabehandeling over de gemodelleerde periode gelijk is aan de concentratie in het effluent van het geoptimaliseerde scenario. Dit ingestelde maximum uurdebiet is de benodigde ontwerpcapaciteit (in m³/h).

Vervolgens is over de gemodelleerde periode berekend hoeveel debiet in de nabehandeling wordt behandeld (m³/j) en welk percentage (%) dit is van het totaal behandelde debiet.

AFLEIDING KOSTEN

In de factsheets van het STOWA rapport KRW-maatregelen voor nutriëntenverwijdering in de afvalwaterketen (STOWA 2024-27) staan ranges voor de jaarlijkse kosten per behandelde m³ voor een standaard rwzi van 20.000 en van 100.000 i.e. à 150 g TZV. Voor RWZI Bergambacht is uitgegaan van de range voor de rwzi van 20.000 i.e. à 150 g TZV en voor de andere drie rwzi's van de range voor de rwzi van 100.000 i.e. à 150 g TZV. De ontwerp i.e. à 150 g TZV van de vier cases is niet exact gelijk aan 20.000 of 100.000 (zie Tabel B5-1). Het gemiddelde van de range is gebruikt om de kosten te berekenen voor de nabehandeling.

De jaarlijkse kosten bestaan uit de afschrijving voor de investering, de onderhoudskosten en de operationele kosten. Zie het STOWA-rapport KRW-maatregelen voor nutriëntenverwijdering in de afvalwaterketen (STOWA 2024-27) voor de gebruikte uitgangspunten voor de kostenberekening.

Indien de optimalisatie ook een investering vraagt, zijn hier geen kosten voor geraamd. Omdat deze niet zijn uitgewerkt in het STOWA rapport KRW-maatregelen voor nutriëntenverwijdering in de afvalwaterketen vallen deze kosten buiten de scope van deze studie.

AFLEIDING CO₂-VOETAFDruk

In de factsheets van het STOWA rapport KRW-maatregelen voor nutriëntenverwijdering in de afvalwaterketen (STOWA 2024-27) staat de jaarlijkse CO₂-voetafdruk per behandelde m³. Net als voor de kosten is onderscheid gemaakt in een kleinere standaard rwzi van 20.000 en een grotere van 100.000 i.e. à 150 g TZV. Voor RWZI Bergambacht is uitgegaan van de waarde voor de rwzi van 20.000 i.e. à 150 g TZV en voor de andere drie rwzi's van de waarde voor de rwzi van 100.000 i.e. à 150 g TZV.

Zie het STOWA rapport KRW-maatregelen voor nutriëntenverwijdering in de afvalwaterketen (STOWA 2024-27) voor de gebruikte uitgangspunten voor de CO₂-voetafdruk.