



Flexibiliteit en het waterschap



CE Delft

Committed to the Environment

Flexibiliteit en het waterschap

Dit rapport is geschreven door:
Lonneke Wielders, Thijs Scholten, Sebastiaan Hers

Delft, CE Delft, juli 2019

Publicatienummer: 19.3G34.101

Waterschappen / Energievoorziening / Verbruik / Bedrijfsbeleid / Kosten / Rendement

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Lonneke Wielders](#) (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Gegevens project:

Projectnummer: TESI115004
Projecttitel: Flexibiliteit en het waterschap
Uitgevoerd door: Waterschap Rivierenland
CE Delft
Projectperiode: 1 juli 2017-14 maart 2019

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
	1.1 Doel van het project	7
	1.2 Werkwijze	7
	1.3 Deelnemers	8
	1.4 Achtergrond	8
	1.5 Leeswijzer	10
2	Doelstellingen, kaders en energiegebruik WSRL	11
	2.1 Wettelijke kaders	11
	2.2 Beleidskader	12
	2.3 Lopende projecten en innovatietrajecten	14
	2.4 Elektriciteitskosten WSRL	14
	2.5 Conclusie	18
3	Elektriciteitsmarkt en flexibiliteit	19
	3.1 Flexibiliteit en kostenbesparing	19
	3.2 Vereisten Elektriciteitsmarkten	20
	3.3 Programmaverantwoordelijkheid	20
	3.4 Planning en forecasting	20
	3.5 De elektriciteitsmarkt: verschillende deelmarkten	20
	3.6 Termijnmarkt	21
	3.7 Day-aheadmarkt (DAM)	22
	3.8 Intradaymarkt (IDM)	23
	3.9 Onbalansmarkt (BM)	23
	3.10 Conclusie	24
4	Verkenning flexibiliteitspotentieel WSRL	25
	4.1 Criteria	25
	4.2 Waterketen: Karakteristieken inzet RWZI	26
	4.3 Watersysteem: Karakteristieken inzet gemaal	27
	4.4 Score flexibiliteitspotentieel	31
	4.5 Conclusie	31
5	Flexibiliteitsopties RWZI	32
	5.1 Systeem en randvoorwaarden rioolwaterzuivering	32
	5.2 Aansturing installaties	34
	5.3 Flexibiliteit en buffercapaciteit bij RWZI's	35
	5.4 Flexibilisering beluchting, voorbezinking en slibontwatering in de nacht	36
	5.5 Nitrificatie en denitrificatie in batch	37
	5.6 Optimale inzet biogas in WKK	37
	5.7 Overzicht flexibiliteitsopties RWZI's	37
	5.8 Conclusies	38



6	Case-analyse flexibel beheer beluchting	39
	6.1 Inleiding	39
	6.2 Rationale voor deze case	39
	6.3 Procesmodel	40
	6.4 Ontwikkeling flexibiliseringsstrategieën	41
	6.5 Voorwaarden	41
	6.6 Uitgangspunten waardering	41
	6.7 Beprijzing day-aheadmarkt	41
	6.8 Waardeverschuiving van 4 uur op de day-aheadmarkt	43
	6.9 Waarde piekreductie als APX/base >140%	44
	6.10 Randvoorwaarden	45
	6.11 Uitgangspunten waardering	45
	6.12 Beprijzing onbalansmarkt	45
	6.13 Waarde levering opregelvermogen op de onbalansmarkt	47
	6.14 Waarde levering op- en afregelvermogen op de onbalansmarkt	48
	6.15 Beschouwing van het potentieel	49
	6.16 Conclusies	50
7	Case-analyse nitrificatie en denitrificatie in batch	51
	7.1 Inleiding	51
	7.2 Rationale voor deze case	51
	7.3 Sturing DWA-debiet	53
	7.4 Scenarioanalyse efficiëntieverbetering	54
	7.5 Resultaten voor puntbeluchting	55
	7.6 Resultaten voor bellenbeluchting	55
	7.7 Conclusie	56
8	Conclusie en vervolgstappen	57
	8.1 Conclusie	57
	8.2 Stappenplan vervolgstappen	58
	Nawoord en vooruitblik	59
9	Literatuur	60
A	Procesmodel beluchtingstank	61

Samenvatting

Inpassing van wind en zon-PV in het elektriciteitssysteem leidt tot een toenemende behoefte aan stuurbare, flexibele middelen voor vraag- en aanbodafstemming. Gebruik en productie van elektriciteit door waterschappen biedt mogelijkheden tot flexibele inzet. Daarmee wordt een bijdrage geleverd aan inpassing van hernieuwbare elektriciteit en kan tegelijkertijd mogelijk de energierekening van de waterschappen worden verlaagd.

Aanleiding van deze studie

De primaire taakstelling van het waterschap ligt vast in de Waterschapswet en Waterwet, te weten:

- zorg voor het watersysteem (peilbeheer); en
- zorg voor de zuivering van (stedelijk) afvalwater (zuivering).

Beide taken gaan gepaard met een significant elektriciteitsgebruik, zodat er mogelijk kansen liggen voor flexibilisering van elektriciteitsafname, oftewel vraagsturing. Flexibele aansturing van elektriciteitsgebruik op basis van energieprijzen sluit niet direct aan bij de ambities van de waterschappen als het gaat om de energietransitie, namelijk energiebesparing en hernieuwbare opwekkingscapaciteit, maar draagt indirect wel bij aan een betere inpassing van hernieuwbare elektriciteitsproductie in het Nederlandse energiesysteem.

Mogelijkheden voor vraagsturing

In het geval van het waterschap Rivierenland (WSRL) ligt er met name potentieel voor vraagsturing in het domein van zuivering, en in mindere mate in peilbeheer. Ruim 80% van het elektriciteitsgebruik van het waterschap heeft betrekking op zuivering. Bovendien biedt met name de beluchting goede mogelijkheden om flexibel gestuurd te worden, het elektriciteitsafnameprofiel biedt goede mogelijkheden om de vraag te verschuiven naar gunstige momenten: momenten met een hoog aanbod van hernieuwbare energie en dus lagere prijzen. Ook is de monitoring en aansturing van het watersysteem bij WSRL recentelijk gecentraliseerd en geautomatiseerd, zodat nieuwe aansturingstrategieën goed geïmplementeerd en geëvalueerd kunnen worden. Bovendien is aansturing van verschillende rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) vrijwel onafhankelijk, zodat ontwikkeling en evaluatie van nieuwe strategieën met een beperkt risico kunnen worden getest. In dit project is dan ook gekozen voor verdere analyse van de mogelijkheden tot flexibilisering binnen de waterketen.

Daartoe zijn verschillende opties en mogelijkheden in kaart gebracht, zoals;

- flexibel beheer beluchting bij DWA;
- slibontwatering naar de nacht;
- kortstondig bufferen in riool bij DWA;
- nitrificatie en denitrificatie in batch;
- optimale inzet biogas in WKK;
- volumeregeling voorbezinktanks.

Analyse van de opties

De meeste opties laten een potentieel zien voor inzet op de verschillende kortetermijnmarkten voor elektriciteit. De optie met veruit het grootste potentieel wordt geboden door flexibilisering van de beluchting. Zo'n 60% van het elektriciteitsgebruik op RWZI's hangt samen met inzet voor beluchting en deze fluctueert sterk over de loop van de dag vanwege de aard van het proces.

Aanpassingen in beluchtingsstrategie vergen echter zorgvuldige analyse. Deze strategie bepaalt het ammoniumgehalte en het nitraatgehalte in het zuiveringsproduct, het effluent, dat aan nauwe wettelijke voorwaarden dient te voldoen.

Om de haalbaarheid van strategiewijzigingen ten behoeve van flexibiliteitslevering op de elektriciteitsmarkten te evalueren is een procesmodel van de beluchtingstank ontwikkeld. Aan de hand daarvan is een serie strategieën voor levering van flexibiliteit op de kortetermijnmarkten voor elektriciteit (de day-aheadmarkt en de onbalansmarkt) voor de huidige marktomstandigheden geëvalueerd.

Eerste inzichten op basis van de simulaties suggereren een bescheiden potentieel voor flexibiliteitslevering op de huidige day-aheadmarkt voor elektriciteit, waarbij kostenbesparingen tot zo'n 5% gerealiseerd lijken te kunnen worden.

Op de onbalansmarkt ligt dit potentieel significant hoger, vanwege de extremere prijsstelling, maar ook omdat de hoge prijsvolatiliteit (snelle wisselingen met korte intervallen) op deze markt te exploiteren zijn met bescheiden impact op het zuiveringsproces. In dit geval lijken besparingen op te kunnen lopen tot zo'n 20 tot 30%.

Resultaten, vereisten en het perspectief voor toepassing

Resultaten

Significante flexibiliteitslevering en bijbehorende kostenreductie in, met name, flexibiliteitslevering in de onbalansmarkt lijken haalbaar op basis van voorlopige simulatieanalyses.

Vereisten

Impact op effluentkwaliteit lijkt beperkt maar vraagt om een nadere analyse; het gaat hier om het primaire proces en de wettelijke taakstelling. De effluentkwaliteit moet dus op het juiste niveau blijven. In de tweede plaats vraagt de betreffende strategie in aansturing om voorspelling (forecasting) van neerslag, de onbalansprijs (of in ieder geval de regeltoestand van het balanssysteem) en tot slot een aanpassing van de bestaande regelingen van de controllers van de beluchting.

Perspectief voor toepassing

Als de meeropbrengsten van een aangepaste aansturingsmethodiek verder in beeld gebracht zijn en ook getoetst in de praktijk, kan verdere uitrol binnen WSRL worden gerealiseerd. Bovendien kan dit ook in bredere Nederlandse context worden toegepast bij alle waterschappen, waarbij mogelijk 600 GWh aan jaarlijks elektriciteitsgebruik flexibel kan worden ingezet.

Dit project wordt uitgevoerd door het waterschap Rivierenland (WSRL) en CE Delft (penvoerder)

Het project wordt uitgevoerd met subsidie van het ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies en Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

1 Inleiding

De inpassing van wind en zon-PV in het elektriciteitssysteem leidt tot een toenemende behoefte aan stuurbare, flexibele middelen voor vraag- en aanbodafstemming. Het gebruik en de productie van elektriciteit door waterschappen bieden mogelijkheden tot flexibele inzet. Daarmee wordt een bijdrage geleverd aan inpassing van hernieuwbare elektriciteit. Tegelijkertijd worden, door goede afstemming van elektriciteitsvraag en -aanbod, de kosten van elektriciteitsgebruik gereduceerd en wordt energiegebruik verduurzaamd.

Dit project wordt uitgevoerd door het waterschap Rivierenland (WSRL) en CE Delft, de penvoerder. Het project wordt uitgevoerd met subsidie van het ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies en Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

1.1 Doel van het project

Het doel van dit project is verkennen van potentieel voor flexibilisering van elektriciteitsafname en -productie in het watersysteem (peilbeheer) en de waterketen (rioolwaterzuivering) van het waterschap Rivierenland en het opstellen van een stappenplan voor implementatie.

De ontwikkeling van het stappenplan bestaat uit:

1. In kaart brengen van het wettelijke kader, het beleidskader, lopende projecten en kosten en baten van peilbeheer en rioolwaterzuivering.
2. Verkenning van flexibiliseringsmogelijkheden van afname en productie van energie, gegeven de kaders uit Stap 1.
3. Prioritering van flexibiliseringsopties en selectie van de maatregelen die op korte termijn een bijdrage leveren aan flexibilisering van afname en productie van energie.
4. Identificatie van benodigde maatregelen en stappenplan voor verdere ontwikkeling van flexibiliteit bij het waterschap.
5. Go/no-go voor de opzet van een pilotproject en nadien eventuele verdere uitrol.

De achterliggende vragen om tot realisatie van flexibilisering te komen zijn:

- Wat zijn de mogelijkheden voor het Waterschap om elektriciteitsafname en/of elektriciteitsproductie te flexibiliseren?
- Welke kostenreductie is hierdoor mogelijk?
- Welke bijdrage levert dit aan de verduurzaming van het energiegebruik?
- Welke bijdrage kan hierdoor geleverd worden aan de inpassing van hernieuwbare elektriciteit in de Nederlandse energievoorziening?

1.2 Werkwijze

Dit project is uitgevoerd door CE Delft en het waterschap Rivierenland. Hierin is gebruik gemaakt van kennis en competenties op het terrein van elektriciteitsmarkten, aansturingsmethodieken en modelontwikkeling van CE Delft en de kennis en competenties op het terrein van zuivering en peilbeheer van het waterschap.

Uitvoering van het project lag primair bij de penvoerder CE Delft, waarbij deelname van het waterschap is betrokken middels een uitgebreide serie interviewrondes ter verkenning

van de flexibiliteitsopties, een serie data-uitvragen, modelontwikkeling en waardering flexibiliteitsopties, en elke fase gevolgd door enkele *challenge sessions*. Begeleiding en aansturing vond plaats op basis van tussentijdse rapportages en besprekingen.

1.3 Deelnemers

In het volgende overzicht zijn de deelnemers aan dit project genoemd. Vrijwel allen zijn betrokken geweest in de interviewrondes en challenge sessions.

CE Delft	Functie
Sebastiaan Hers	Senior adviseur
Lonneke Wielders	Senior adviseur
Thijs Scholten	Adviseur

WSRL	Functie
Johan Bakker	Directeur innovatie
Arno de Bruijn	Dataspecialist
Bram van der Beek	Projectleider Energieneutraal 2030
Dennis Prion	Technoloog
Erik de Pooter	Procescoördinator
Herman van Rooijen	Teamleider beheer Zuid
Hielke van der Spoel	Beleidsmedewerker Water en dijken
Marc Vermeulen	Technoloog
Mohamed Oumghar	Senior Elektrotechniek en automatisering
Paul Claessens	CRK operator peilbeheer
Peter Berendsen	Energiecoördinator
Wobke Gerritse	Afvalwatertechnoloog

1.4 Achtergrond

Het SER-Energieakkoord voor Duurzame Groei zet een ambitieus groeipad uit voor ontwikkeling van duurzame energie tot 2023. Daarmee wordt ingezet op grootschalige realisatie en integratie van wind en zon-PV. De elektriciteitsproductie van deze middelen wordt gekenmerkt door een fluctuerend karakter en de productie zal variëren met de weersomstandigheden. Daarmee mag verwacht worden dat er meer behoefte aan stuurbare flexibele middelen voor aanpassing van aanbod of afname van elektriciteit zal ontstaan. Verschillende bestaande en nieuwe toepassingen voor afname en aanbod van elektriciteit kunnen in deze behoefte voorzien.

De waterschappen in Nederland hebben de interessante positie dat ze zowel veel elektriciteit afnemen, alsook veel hernieuwbare energie produceren. Door innovatie van de aansturing van afname en productie van elektriciteit kunnen de waterschappen goed inspelen op de huidige ontwikkelingen op de elektriciteitsmarkt, waarmee een bijdrage kan worden geleverd aan de inpassing van hernieuwbare elektriciteit in de Nederlandse energievoorziening, en tegelijkertijd kosten van het elektriciteitsgebruik kunnen worden gereduceerd en het energiegebruik van de waterschappen kan worden verduurzaamd.

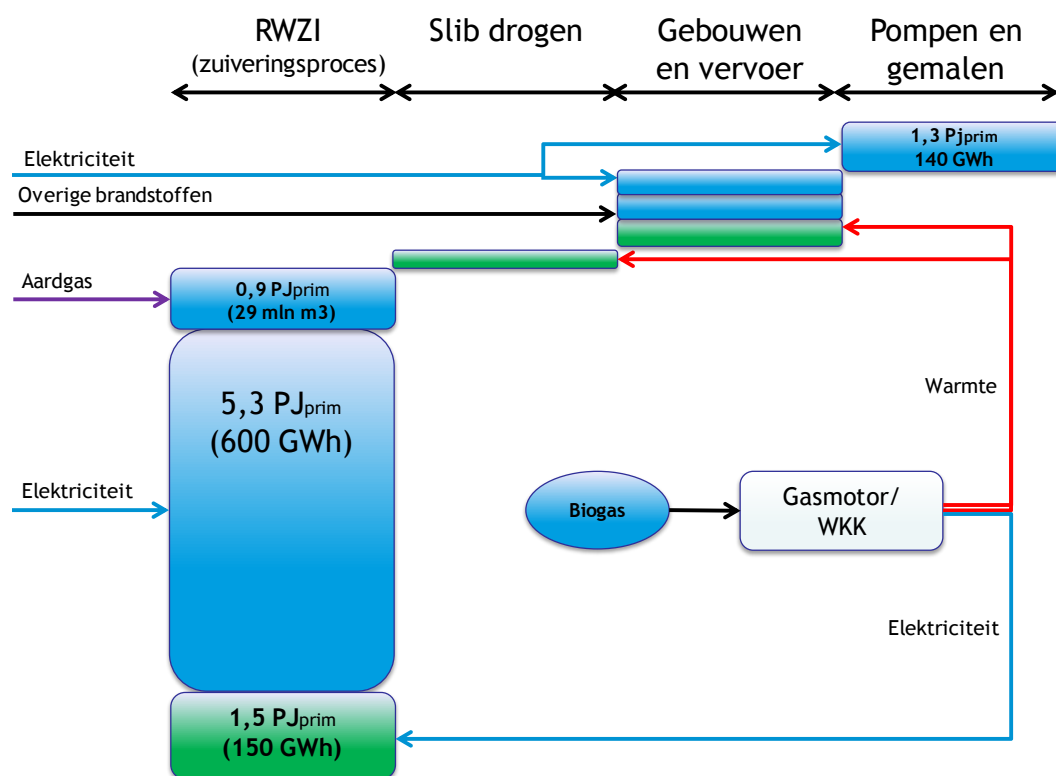
Het energiegebruik van de Nederlandse waterschappen is ongeveer 10 PJ_{prim} per jaar. Dit bestaat voor het overgrote deel (± 85%) uit elektriciteit. Het merendeel van deze elektriciteit (± 80%) wordt ingezet voor het zuiveringsproces bij de RWZI's. Een kleiner deel (± 15%) wordt gebruikt voor het waterbeheer in Nederland (zie ook Figuur 1).

In Figuur 1 is tevens te zien dat op dit moment ongeveer 17% van de verbruikte elektriciteit zelf wordt opgewekt doordat het geproduceerde biogas uit het zuiveringsproces ingezet wordt in een WKK om zo elektriciteit en warmte te produceren. Het elektriciteitsgebruik vormt hiermee een grote kostenpost voor de waterschappen.

Als we uitgaan van € 0,10/kWh zijn de totale kosten van elektriciteitsinkoop (dus exclusief eigen opwekking) € 75 mln. Het is voor de waterschappen dus interessant om de kosten van het elektriciteitsgebruik te verlagen.

Daarnaast komt de emissie van de inkoop van elektriciteit overeen met circa 3,5 Mton CO₂ per jaar. Reductie en verduurzaming van elektriciteitsgebruik dragen daarmee bij aan beleidsdoelstellingen op het terrein van verduurzaming en klimaatneutraal beheer.

Figuur 1 - Schematische weergave energiegebruik waterschappen



Daarmee brengt de energietransitie kansen voor waterschappen:

1. Fluctuerende elektriciteitsprijzen: Door de toename van elektriciteit opgewekt uit wind en zon gaan de weersinvloeden steeds meer effect krijgen op elektriciteitsprijzen. Op het moment dat het waait en/of de zon schijnt wordt er veel elektriciteit met zeer lage marginale kosten, i.e. tegen lage prijzen, aangeboden. Hierdoor daalt de gemiddelde elektriciteitsprijs op die momenten, waardoor het interessant wordt om op dit moment elektriciteit af te nemen. Deze elektriciteit is niet alleen goedkoop, maar ook geproduceerd uit CO₂-vrije energiebronnen, die een bijdrage kunnen leveren aan verlaging van de CO₂-emissie van de waterschappen.
2. Flexibel peilbeheer: Op dit moment is er in Nederland een aantal demonstratieprojecten om het effect van flexibel peilbeheer op de ecologie te onderzoeken. Een bijkomend voordeel van flexibel peilbeheer kan zijn dat de elektriciteit die gebruikt

wordt door de pompen en gemalen, ingekocht kan worden op het moment dat de elektriciteitsprijs laag is.

3. Ontwikkeling van energiefabrieken: Waterschappen hebben goede mogelijkheden tot verdere verduurzaming van de eigen energievraag, omdat deze energievraag op eigen terrein uit duurzame bronnen geproduceerd kan worden. Dit kan door op meer plaatsen energiefabrieken te realiseren, waardoor de hoeveelheid van het geproduceerde biogas toeneemt. Dit biogas kan vervolgens op verschillende manieren ingezet worden: afzet aan nabijgelegen industrie; opwerken naar groengas en invoeden; inzet in bio-WKK voor productie van elektriciteit en warmte. Bij de productie van elektriciteit is het juist interessant om dit te doen op momenten dat de elektriciteitsprijs hoog is.

Bovenstaande ontwikkelingen bieden perspectief op kostenreductie met betrekking tot elektriciteitsgebruik van waterschappen. Daarnaast kunnen de waterschappen door de flexibilisering van hun elektriciteitsgebruik en elektriciteitsproductie ook een grote rol spelen bij de inpassing van hernieuwbare elektriciteit in de energievoorziening van Nederland.

1.5 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk beschrijven we de context (wettelijke kaders, beleidskaders en lopende projecten) waarbinnen het waterschap opereert en gaan we in op het energiegebruik van het waterschap. In Hoofdstuk 3 gaan we in op de mogelijkheden van flexibiliteitsinzet op de elektriciteitsmarkt met haar deelmarkten.

Vervolgens maken we in Hoofdstuk 4 een eerste verkenning van het flexibiliteitspotentieel. In Hoofdstuk 5 worden de meest kansrijke flexibiliteitsopties verder beschreven en in Hoofdstuk 6 en 7 wordt het flexibiliteitspotentieel van de twee meest kansrijke opties geanalyseerd.

Tot slot geven we de conclusies waarin we ook het stappenplan voor verdere ontwikkeling van flexibiliteit bij het waterschap geven.

2 Doelstellingen, kaders en energiegebruik WSRL

In dit hoofdstuk schetsen we de context waarbinnen het waterschap opereert:

- het wettelijke kader;
- het beleidsmatige kader; en
- reeds lopende projecten die raken aan dit onderzoek;
- het achterliggende energiegebruik (en kosten) bij het waterschap op hoofdlijnen.

Binnen het wettelijk kader voor het waterschap gaan we in op de vastgelegde taakstelling en taakinvulling. De manier waarop het WSRL hier invulling aan geeft wordt beschreven aan de hand van de beleidskaders waaraan het waterschap zich gecommitteerd heeft, in het bijzonder als het gaat om energie. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een overzicht van het energiegebruik, met bijbehorende kosten van het waterschap dat samenhangt met invulling van haar taakstelling.

2.1 Wettelijke kaders

Een recente analyse met betrekking tot wettelijke kaders voor waterschappen over duurzame energie en grondstoffen brengt onder andere de wettelijke kaders voor waterschappen in algemenere zin in beeld (Berenschot, 2017). Deze paragraaf is grotendeels op dit overzicht gebaseerd.

Wettelijk kader waterschappen

Het waterschap is een vorm van functioneel bestuur dat gekenmerkt wordt door een beperkt takenpakket als vastgelegd in de wetgeving, in het bijzonder in de Waterschapswet en de Waterwet.

Het takenpakket van het waterschap wordt in de Waterschapswet algemeen omschreven als ‘openbare lichamen welke de waterstaatkundige verzorging van een bepaald gebied ten doel hebben’¹. Waterschappen worden daartoe de zorg voor het watersysteem en de zorg voor de zuivering van (stedelijk) afvalwater opgedragen². Deze zorgplicht voor de zuivering van stedelijk afvalwater is nader gepreciseerd in de Waterwet³. Tot slot bepaalt de Waterschapswet dat de zorg voor het watersysteem, mede het voorkomen van schade aan waterstaatswerken veroorzaakt door muskus- en beverratten omvat⁴. Ook dit taakonderdeel is omschreven in de Waterwet⁵. In de provinciale reglementen voor de waterschappen wordt één en ander verder uitgewerkt binnen de bepalingen van de Waterschapswet en Waterwet.

¹ Art. 1 Waterschapswet, eerste lid.

² Art. 2 Waterschapswet, eerste lid.

³ Art. 3.4 Waterwet.

⁴ Art. 1 Waterschapswet, derde lid.

⁵ Art. 3.2A Waterwet.

Naast de omschrijving van het takenpakket wordt in de Waterschapswet ook de wijze waarop deze taken vervuld mogen worden omschreven: Het waterschapsbestuur is ‘bevoegd tot regeling en bestuur ter behartiging van de taken die het waterschap in het reglement zijn opgedragen’⁶. Het waterschap heeft dus een beperkt takenpakket, en is in beginsel vrij om te bepalen hoe het haar taken vervult.

Ten slotte zijn in de Waterschapswet enkele fiscale bepalingen vastgelegd over de kosten die zijn verbonden aan de zorg voor het watersysteem en de behartiging van de taak van het zuiveren van afvalwater. Hiervoor zijn de watersysteemheffing en een zuiveringsheffing ingesteld. Beide heffingen kennen in zoverre een ‘gesloten’ karakter dat de opbrengst uitsluitend aan het watersysteembeheer respectievelijk het zuiveringsbeheer mag worden besteed.

Wettelijk kader energie en grondstoffen

Het staat de waterschappen juridisch gezien vrij om energie en grondstoffen te produceren en te leveren. Voorwaarde is wel dat dit plaatsvindt binnen het kader van de wettelijke taken van het waterschap en binnen de kaders van het mededingingsrecht.

Aanvullend kan worden gesteld dat duurzame energieproductie door waterschappen passend kan zijn als aan een aantal voorwaarden wordt voldaan (Ecofys, 2014), zoals:

- er wordt gebruik gemaakt van objecten (terreinen en energiebronnen) waarvan het waterschap de unieke bezitter is en die typisch ‘des waterschaps’ zijn;
- het zelf produceren van energie leidt niet tot kostenverhoging en wordt doelmatig uitgevoerd;
- de totale energieproductie door het waterschap is kleiner dan of gelijk aan het totale energiegebruik van het waterschap (met uitzondering van energie uit afvalwater en energie uit het watersysteem, hier is het waterschap de ‘unieke bezitter’);
- flexibel beheer van installaties voor uitvoering van de wettelijke taken blijft binnen deze kaders.

Zelf inkopen van elektriciteit staat een grootverbruiker vrij, mits zij erkend wordt door TenneT als programmaverantwoordelijke (PV). Dit is een status die bij de beheerder van het hoogspanningsnet (TenneT) moet worden aangevraagd en waaraan administratieve verplichtingen zijn verbonden. Het is ook mogelijk om de programmaverantwoordelijkheid onder te brengen bij een dienstverlenende externe PV-partij.

2.2 Beleidskader

Visie en ambities energie en duurzaamheid

Energie is één van de pijlers in het Bestuursakkoord 2015-2019 van WSRL. WSRL heeft als doel om in 2030 energieneutraal te zijn met als tussendoel om in 2020 40% van het energiegebruik duurzaam op te wekken. Daarnaast wordt er gestreefd naar een verbetering van de energie-efficiëntie met 30% en een broeikasgasreductie van eveneens 30%.

Dit doel wordt ingevuld met energiebesparing, omvormen van RWZI's tot energiefabrieken en energie uit zon en wind op eigen terrein. Daarnaast worden nieuwe mogelijkheden

⁶ Art. 56 Waterschapswet.

onderzocht om het energiegebruik te verduurzamen en de energieproductie te verhogen. Hierbij geldt het uitgangspunt dat investeringen zichzelf in tien jaar tijd moeten terugverdienen.

Innovaties moeten bijdragen aan duurzaamheid én kostenreductie. Er is continu aandacht voor de (efficiëntie)verbetering van de bedrijfsvoering, risico- en assetmanagement. WSRL ontwikkelt nieuwe regelingen en beheerconcepten om de gehele afvalwaterketen beter te kunnen aansturen. Dit moet in de periode tot 2021 verder ontwikkeld en toegepast worden bij de gemeentelijke riolering.

Het Bestuursakkoord kent een duidelijke visie op innovatie: ‘innovatie is de motor tot verbetering’. Innovaties met een groot maatschappelijk en financieel perspectief krijgen voorrang. Er zijn vier speerpunten:

1. Implementeren en toepassen van innovaties.
2. Creëren van integrale (systeem)oplossingen.
3. Moderne contractvormen.
4. Innoveren als mensenwerk: eigen mensen en partners.

WSRL streeft naar duurzaam en doelmatig werken. Rioolwater wordt gezien als een waardevolle bron van grondstoffen, energie en schoon water voor hergebruik.

Bestuurlijke randvoorwaarden energievisie

De bestuurlijke randvoorwaarden zijn:

- Kerntaken: De focus moet liggen op de kerntaken, maar men realiseert zich dat de doelstellingen uit het Klimaatakkoord en SER-Akkoord dan niet gehaald worden. Als er kansen liggen, kunnen deze worden voorgedragen aan het Algemeen Bestuur.
- Samenwerking: WSRL staat positief tegenover samenwerking, met andere partijen en/of andere waterschappen (Wel waken voor ‘staatssteun’ en mededingingswetgeving). In principe focus op eigen terrein. In samenwerkingsverband met andere waterschappen worden investeringen in bijvoorbeeld wind op zee of andermans grondgebied niet uitgesloten.
- Grondstof boven energie: Indien een energiedrager voorhanden is waarvan het tevens mogelijk is deze als grondstof te gebruiken, wordt voor dit laatste gekozen. Ook als dit betekent dat de doelstellingen qua energieopwekking niet gehaald worden.
- Transparantie: Communicatie en duidelijke uitleg over de (duurzame energie en energiebesparings-) projecten is van groot belang om aan burgers en bestuurders duidelijk te maken waar WSRL mee bezig is.
- Kostenefficiëntie: Investeringsruimte is beperkt. Als de businesscase positief is, kan het waterschap verder gunstige financiering aantrekken.
- Innovatie: Innovatie wordt beschouwd als onderdeel van de taakuitvoering van het waterschap, waarbij echter een terugverdientijd tot tien jaar gehanteerd wordt.
- Duurzame energieproductie: WSRL ziet zichzelf wel als eigenaar van duurzame energiesystemen. Expertise kan worden ingehuurd en niet alles hoeft in eigen beheer te worden gehouden. Een belangrijke overweging bij investering in windmolens, (en in mindere mate bij PV-installaties) heeft te maken met het feit dat de productie niet constant is en niet ieder moment door de locatie zelf gebruikt zal worden. Het is belangrijk om hierover afspraken te maken en te beslissen of administratief zelfverbruik (via teruglevering aan het net) ook acceptabel is.

Doelstellingen energie en duurzaamheid

WSRL heeft zich - al dan niet gezamenlijk met andere waterschappen - gecommitteerd aan een aantal initiatieven op het gebied van energie en duurzaamheid:

- Klimaatakkoord 2010-2020 tussen de Unie van Waterschappen en het Rijk.
WSRL levert via haar klimaatactieprogramma (KAP) een concrete bijdrage aan de doelstelling van het Klimaatakkoord.
- SER-Energieakkoord voor duurzame groei uit 2013: in 2020 minimaal 40% van de door het waterschap verbruikte energie zelf (hernieuwbaar) opwekken en in 2050 energieneutraal.
- Meerjarenafspraken Energie-efficiency (MJA3) afvalwaterzuivering uit 2008.
- Green Deal Energiefabrieken uit 2011.
- Green Deal Duurzame Energie uit 2016: Waterschappen zetten nog meer in op duurzame energieopwekking zoals biogas, windenergie, zonne-energie en waterkracht, en streven ernaar binnen afzienbare tijd energieneutraal te worden.

2.3 Lopende projecten en innovatietrajecten

Op dit moment lopen er diverse projecten en innovatietrajecten op het gebied van (duurzame) energie bij WSRL:

- TU/e, Deltaris en anderen: Optimalisatie algoritme peilbeheer;
- Eneco: Pilot APX-gebaseerd peilbeheer;
- TU/e: Optimalisatie pompen gemaal van Altena;
- Eigen beheer: Gemaal Bloemers frequentieregeling voor optimaal pompen;
- Eigen beheer: Kolfgemaal en beneden-Linge met algoritme en gebiedsregeling;
- Eigen beheer: Regiekamer met compleet centrale besturing van de zuiveringsstelsels;
- Eigen beheer: Voordelen van kunstmatige intelligentie verkennen;
- HVC: studie naar de beste keuze voor 'energiedrager'. Waterstof, LNG, gasopslag, etc. (richt zich vooral op energiefabriek Nijmegen).

Het onderhavige project, i.e. flexibele aansturing van elektriciteitsafname op basis van energieprijzen, is binnen de waterschappen een innovatieve manier om elektriciteit in te kopen. Hoewel het niet direct bijdraagt aan energiebesparing of verduurzaming van het eigen energiegebruik, draagt het bij aan een betere inpassing van hernieuwbare elektriciteitsproductie achter de meter en in Nederland. Bovenal heeft flexibele sturing het doel om te besparen op elektriciteitskosten en dus efficiëntere bedrijfsvoering.

2.4 Elektriciteitskosten WSRL

Het energiegebruik van het waterschap hangt samen met de taakstelling en invulling als omschreven in voorgaande paragrafen. In deze paragraaf gaan we in op het energiegebruik, en in het bijzonder op het elektriciteitsgebruik voor elk van de taken van het waterschap. Daarnaast beschrijven we de kosten van elektriciteitsgebruik aan de hand van de (groot-handels)marktwaaarde.

Energiegebruik WSRL

Het energiegebruik van het WSRL⁷ in 2015 is weergegeven in het Sankeydiagram (Figuur 2). In de waterketen (afvalwaterzuivering) wordt ongeveer 140,6 TJ aan elektriciteit verbruikt en in de watersystemen is dit 27,4 TJ. De beluchting in het proces van afvalwaterzuivering levert de belangrijkste bijdrage aan het energiegebruik van het waterschap (ca. 33% van het totale energiegebruik van WSRL).

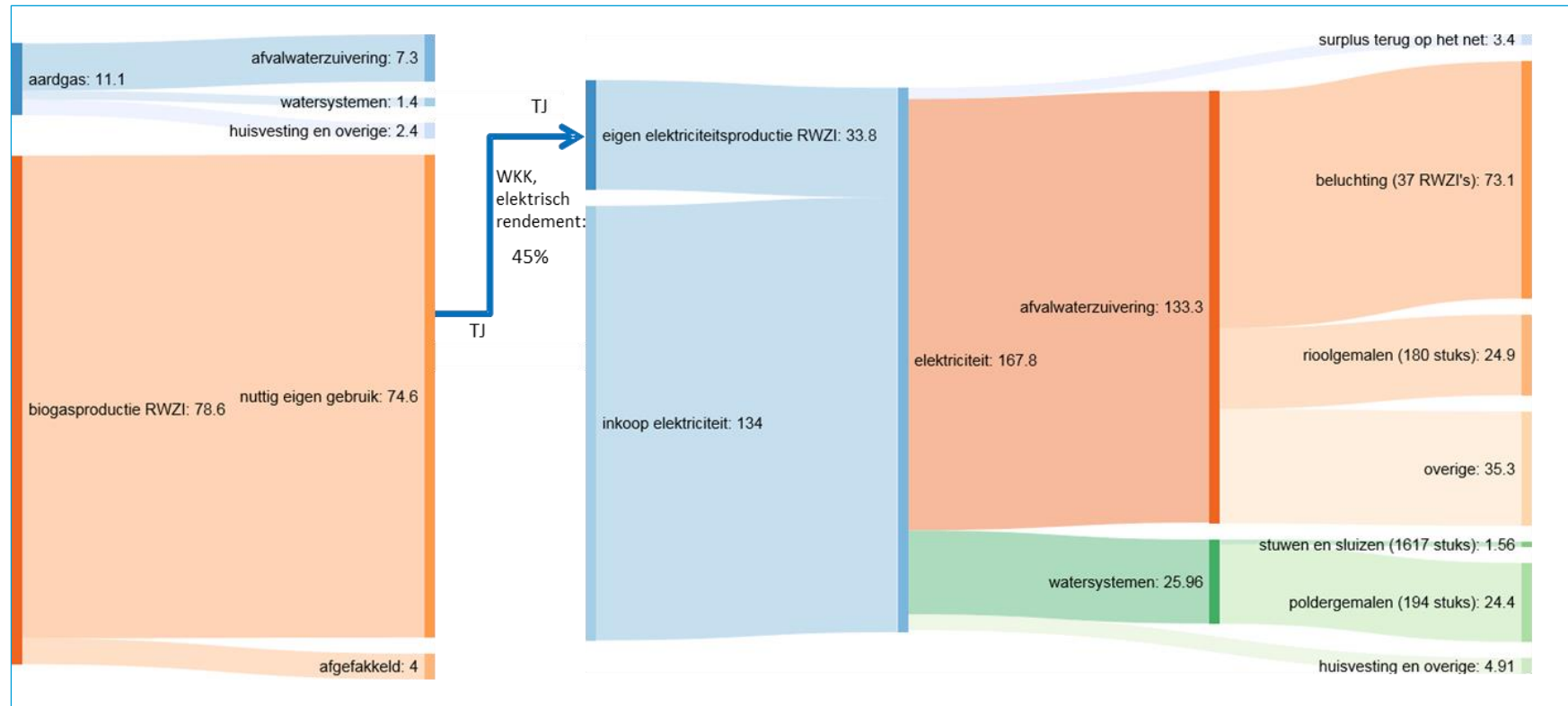
Het grootste deel van het energiegebruik bij het waterschap is dus elektriciteit. Door inzet van flexibiliteit in elektriciteitsafname kunnen de elektriciteitskosten worden gereduceerd, en in het bijzonder de variabele kosten voor elektriciteit. Deze kosten worden bepaald door het leveringstarief dat door de energieleverancier in rekening wordt gebracht. Gewoonlijk is dit een zogenaamde enkeltarief, of een tarief dat hoger ligt gedurende de dag en lager gedurende de nacht en in het weekend, het zogenaamde dubbeltarief. Hieraan ligt de prijs op de langetermijnelektriciteitsmarkten ten grondslag, die de verwachtingen voor de toekomstige kortetermijnelektriciteitsmarkten reflecteert. De bestaande leveringstarieven zijn dus veelal niet direct gekoppeld aan kortetermijnelektriciteitsprijzen.

In deze kortetermijnmarkten ligt echter wel de waarde van flexibiliteit besloten, die gerelateerd is aan de kostenbesparing door flexibeler inkoop op deze markten. Een indicatie van deze onderliggende kosten van de elektriciteitsafname van het waterschap kan worden bepaald op basis van de belangrijkste kortetermijnmarkt voor elektriciteit, de day-aheadmarkt (ook wel spotmarkt genoemd)⁸. Sinds 2017 worden er bovendien leveringstarieven aangeboden op basis van een vaste fee in combinatie met day-aheadprijzen. Daarmee wordt het dus ook mogelijk om elektriciteit tegen day-aheadmarktprijzen te betrekken.

⁷ (WSRL, 2015); (Arcadis, 2014); (Ecofys, 2014).

⁸ Deze markt wordt ook wel de Amsterdam Power Exchange (APX) genoemd.

Figuur 2 - Sankeydiagram van het energiegebruik van het WSRL in 2015 met onderscheid naar energiedrager en toepassing per taakstelling



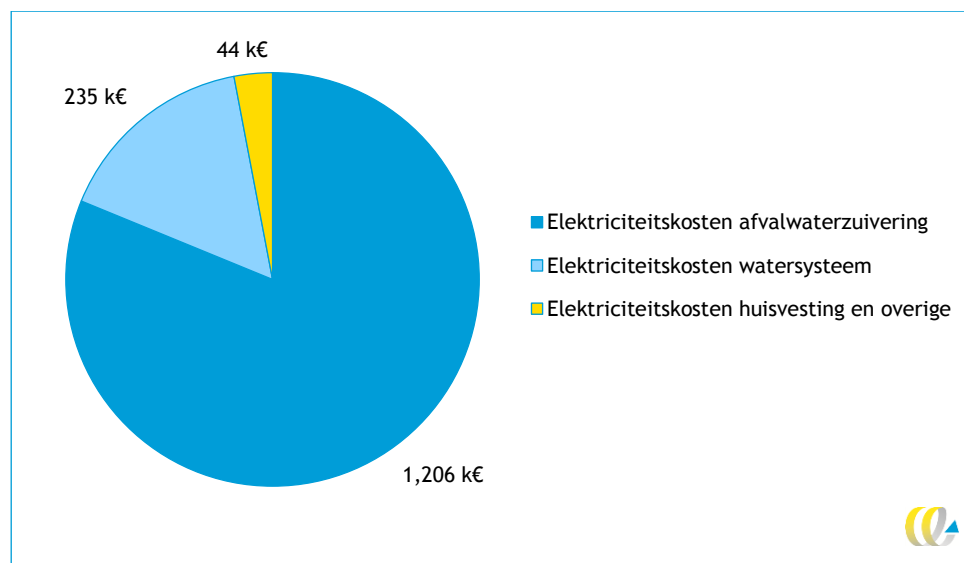
Marktwaaarde elektriciteitsgebruik WSRL

Een indicatie van deze waarde van de elektriciteit die het WSRL afneemt kan dus worden bepaald op basis van elektriciteitsprijs op de day-aheadmarkt. Daarvoor is het elektriciteitsgebruik omgerekend naar deze kosten op basis van de gemiddelde day-aheadprijs van 2015 (40,05 €/MWh). Een overzicht van deze kosten voor elk van de taakstellingen van het waterschap is weergegeven in Figuur 3.

Uit Figuur 3 blijkt dat de afvalwaterzuivering ruim € 1,2 mln. aan elektriciteit gebruikt en ongeveer 80% van de totale kosten omvat; ruim vijf keer zoveel als in het watersysteem (ongeveer 235 k€). Huisvesting en overig elektriciteitsgebruik leveren een kleine bijdrage op het geheel van ongeveer 44 k€.

Door de WKK's op de RWZI's wordt ook elektriciteit geproduceerd, hiervan wordt 3,4 TJ teruggeleverd aan het elektriciteitsnet, dit levert bijna 38 k€ op als het ook tegen de gemiddelde APX-prijs verkocht kan worden. Daarmee komt het jaarlijkse elektriciteitsverbruik van het WSRL op een waarde van € 1,5 mln.

Figuur 3 - Taartdiagram van de marktwaaarde van het elektriciteitsgebruik van het WSRL in 2015 per onderliggende taakstelling



Naast het leveringstarief zijn er nog aanvullende vaste en variabele kosten zoals nettatarief, energiebelasting, opslag duurzame energie, kosten garantie van oorsprong en BTW. Deze kosten hebben wij hier buiten beschouwing gelaten.

2.5 Conclusie

Samenvattend ligt de primaire taakstelling van het waterschap vast in de Waterschapswet en Waterwet, te weten:

- zorg voor het watersysteem; en
- zorg voor de zuivering van (stedelijk) afvalwater.

Het staat de waterschappen daarbij vrij invulling te geven aan de bijbehorende energie-behoefte en ook energie en grondstoffen te produceren en te leveren binnen het kader van de wettelijke taken het mededingingsrecht.

Het beleidskader van het waterschap op het gebied van energie geeft een verscheidenheid aan ambities die relatie houden met de energietransitie. Flexibele aansturing van elektriciteitsafname op basis van energieprijzen sluit niet direct aan bij deze ambities, maar draagt indirect wel bij aan een betere inpassing van hernieuwbare elektriciteitsproductie achter de meter en in het Nederlandse energiesysteem.

Flexibele aansturing heeft primair als doel flexibel in te spelen op het lokale of landelijke momentane aanbod van hernieuwbare elektriciteit en daarmee ook op elektriciteitsprijzen die de vraag-aanbodverhouding reflecteren om zo een besparing op elektriciteitskosten te realiseren. Dit sluit eveneens aan bij de doelstelling van het waterschap om haar taakstelling kostenefficiënt in te vullen.

De elektriciteitskosten van het waterschap vormen een significant onderdeel van de totale kosten. De component die beïnvloed kan worden door flexibele vraagsturing heeft met name betrekking op de variabele kosten van de energierekening. Een indicatieve waardering van deze kosten tegen marktprijzen komt op jaarlijks € 1,5 mln. De zuiveringsactiviteiten van het WSRL leveren veruit de grootste bijdrage en omvatten ongeveer 80% van deze kosten.

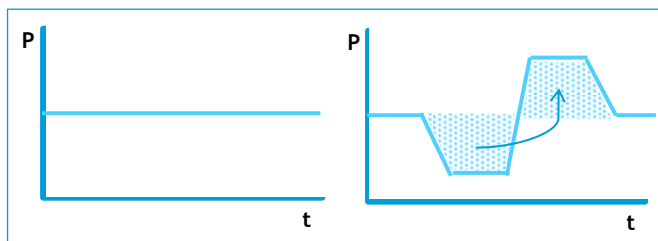
3 Elektriciteitsmarkt en flexibiliteit

Uit het vorige hoofdstuk blijkt dat de kosten van elektriciteitsgebruik tegen marktprijzen rond de € 1,2 mln. op jaarbasis liggen. In dit hoofdstuk beschrijven we welke opties er bestaan voor kostenbesparing op de verschillende deelmarkten die bestaan op de elektriciteitsmarkt, en welke mogelijkheden er zijn voor flexibiliteitslevering op deze verschillende markten.

3.1 Flexibiliteit en kostenbesparing

Met flexibilisering van de elektriciteitsvraag bedoelen we het variëren van de elektriciteitsvraag over de tijd (zie Figuur 4). Het doel is om een groter deel van de elektriciteitsvraag te verschuiven naar momenten wanneer de elektriciteitsprijs relatief laag is. Flexibiliteit leidt dus in principe niet tot energiebesparing, maar tot energiekostenbesparing. Daarnaast draagt flexibiliteit bij aan een betere inpassing van hernieuwbare elektriciteitsproductie: lage prijzen resulteren o.a. bij overschotten aan zon- en windproductie. Nationaal gezien kan het ook leiden tot minder CO₂-uitstoot, omdat mogelijk iets minder flexibiliteit hoeft te worden geleverd door gasgestookte productie-eenheden.

Figuur 4 - Van continu (links) naar flexibel gestuurd (rechts) op basis van de elektriciteitsprijs. Het resultaat is kostenbesparing, geen energiebesparing



Er zijn drie belangrijke opties voor kostenbesparing door middel van flexibiliteit:

- **Elektriciteitskosten inkoop (commodity):** Kosten van inkoop kunnen beperkt worden door direct op de markten voor elektriciteit te handelen, of (flexibele) contracten met marktgebaseerde indexatie van de elektriciteitsprijzen aan te gaan met leveranciers. Door vervolgens elektriciteit af te nemen op momenten dat prijzen laag zijn, of afname tijdens perioden van hoge prijzen te vermijden kunnen kosten gereduceerd worden.
- **Netwerkkosten:** Variabele netwerkkosten voor elektriciteitsafname op middenspanning worden medebepaald door piekafname op jaarbasis (kW_{contract}) en maandbasis (kW_{maand}). Hoe hoger de piekafname, hoe hoger de netwerkkosten. Door afname mede te sturen op beperking van piekafname kunnen netwerkkosten beperkt worden.
- **Portfoliomanagement:** Door afname mede te sturen op eigen niet-stuurbare productie (zoals wind en zon), kunnen bijvoorbeeld onbalanskosten beperkt worden.

In de volgende paragraaf beschrijven we de werking van de elektriciteitsmarkt met haar verschillende deelmarkten en de wijze hoe flexibiliteitslevering plaats kan hebben op deze verschillende deelmarkten.

3.2 Vereisten Elektriciteitsmarkten

Er is een aantal vereisten voor marktpartijen die actief zijn op de elektriciteitsmarkt, te weten programmaverantwoordelijkheid en bijbehorende planning en forecasting.

3.3 Programmaverantwoordelijkheid

Alle marktpartijen op de elektriciteitsmarkt zijn wettelijk verantwoordelijk voor de handhaving van de energiebalans van hun transacties: het zogenaamde systeem van programmaverantwoordelijkheid.

Kern van het systeem is dat elke marktpartij verplicht is om evenveel elektriciteit op het net te zetten als ervan af te nemen: zijn positie moet in balans zijn. Elke marktpartij is verplicht om voor elk kwartier in een etmaal een planning van invoeding en onttrekking te maken en dit daags tevoren in een zogenaamd Energieprogramma, ook wel E-programma, bekend te maken aan TenneT. Op de dag van uitvoering zijn de marktpartijen ervoor verantwoordelijk om hun programma uit te voeren.

De verantwoordelijkheid voor een E-programma (op elk moment net zoveel afnemen als beloofd) heet programmaverantwoordelijkheid (PV). Deze PV kan ondergebracht worden bij een dienstverlenende partij (bijvoorbeeld een energieleverancier) of er kan zelf een vergunning tot PV-partij aangevraagd worden bij TenneT.

3.4 Planning en forecasting

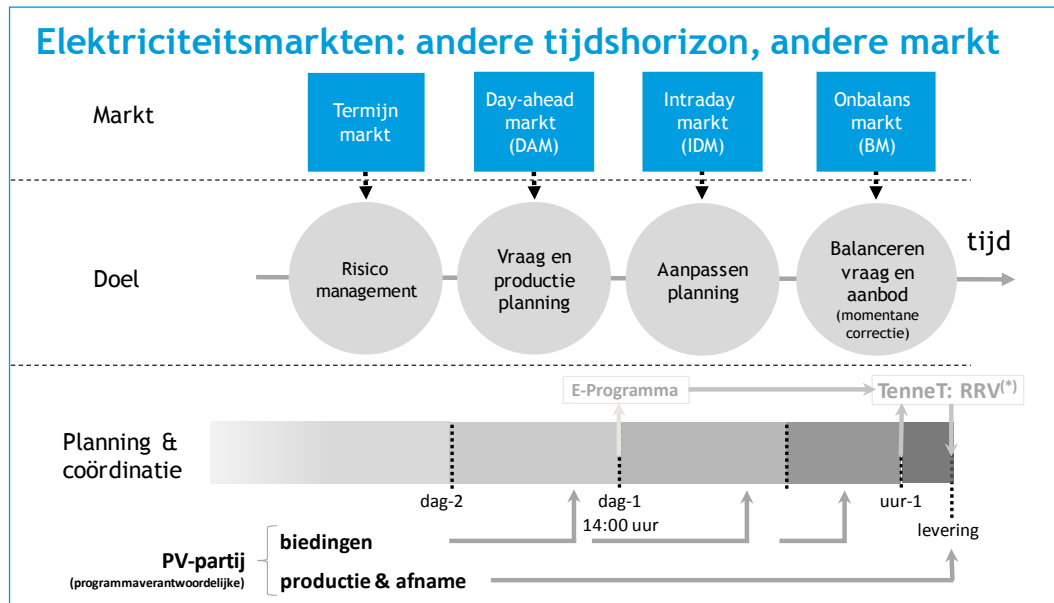
Handelen op een elektriciteitsmarkt vereist een forecast en planning van het eigen elektriciteitsgebruik, omdat de markten waar je expliciet kunt handelen voor het moment van levering sluiten.

Wie afwijkt van zijn ingediende E-programma, komt automatisch op de onbalansmarkt terecht. Wijkt je elektriciteitsvraag (of -productie) zodanig af dat de onbalans op het elektriciteitsnet groter of kleiner wordt, dan betaal je een prijs voor compenserende maatregelen. In geval de landelijke onbalans kleiner wordt, kun je zelfs een vergoeding krijgen of elektriciteit tegen een prijs lager dan de DAM-prijs. Door bewust af te wijken van het E-programma kan je dan geld verdienen op de onbalansmarkt (passieve deelname aan de onbalansmarkt).

3.5 De elektriciteitsmarkt: verschillende deelmarkten

Vanwege de vereisten met betrekking tot planning en forecasting is de handel in elektriciteit gestructureerd op basis van een planningshorizon. Hierbij zijn vier deelmarkten te onderscheiden: de termijnmarkt, de day-aheadmarkt (DAM), de intradaymarkt (IDM) en de onbalansmarkt (BM) (zie Figuur 5). Een overzicht van de verhandelde producten is geboden in Figuur 6.

Figuur 5 - Overzicht kortetermijnmarkten elektriciteit



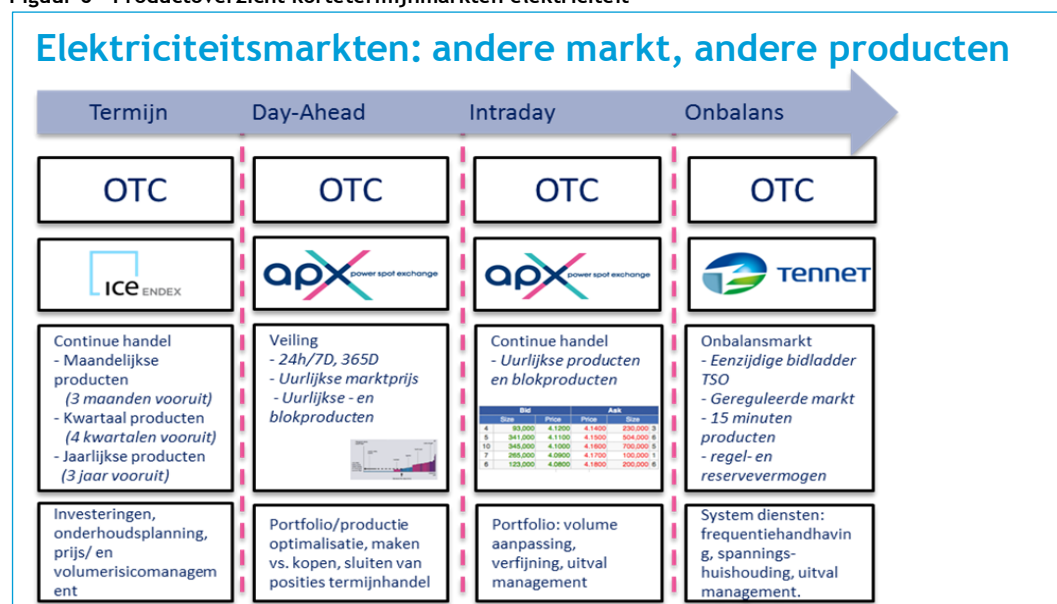
* RRV: Regel- en reservevermogen, afgeroepen door TenneT (netbeheerder hoogspanningsnet).

3.6 Termijnmarkt

Termijnmarkten, zoals de termijnbeurs van ICE-ENDEX, spelen een belangrijke rol in de risicobeheersing voor deelnemers aan de elektriciteitsmarkten. Zowel het bezit van een productie-eenheid van elektriciteit (producenten) als installaties die elektriciteit verbruiken (afnemers) voor productie van andere producten met achterliggende productieverplichtingen (bijvoorbeeld een RWZI), hebben potentiële waarde in de termijnhandel van elektriciteit. De capaciteit om elektriciteit te maken of te gebruiken moet daarom worden

beschouwd als een open of ongedekte positie op de termijnmarkt. De termijnmarkt biedt de mogelijkheid om de prijs- en volumerisico's, die samenhangen met deze open posities, te beheersen door contracten in te kopen die een tegengestelde positie vertegenwoordigen, zodat een neutrale positie resulteert.

Figuur 6 - Productoverzicht kortetermijnmarkten elektriciteit



Bron: EPEX (voorheen APX).

Op de termijnmarkt worden contracten voor levering tot vier jaar vooruit verhandeld, door middel van een handelsmechanisme van continue handel. De handelstermijn voor jaar-producten start vier jaar voor levering en eindigt op de laatste handelsdag voor start van de leveringstermijn. Voor de contracten voor levering verder in de toekomst zijn geen standaardproducten gedefinieerd op de termijnmarkt en zijn partijen aangewezen op de bilaterale handel.

In de meeste commoditymarkten hangt de prijsstelling op de termijnmarkt veelal samen met prijzen op de spotmarkt, met prijsverschillen die gedreven worden door kosten van opslag, verzekering en rente op kapitaal. Gegeven de meestal beperkte of geheel afwezige opslagmogelijkheden wordt de prijsstelling gewoonlijk verondersteld te zijn gebaseerd op de verwachte waarde van elektriciteit op de spotmarkt. Daarmee bevat deze prijs een speculatieve component: als bijvoorbeeld bij beurshandelaren de verwachting postvat dat een gastekort ontstaat (strengere winter, conflict over belevering door Rusland, of iets dergelijks), dan zal de termijnprijs van gas sterk reageren met vervolgens ook een reactie op de termijnmarkt van elektriciteit, terwijl op de spotmarkten (nog) geen reden voor onrust bestaat.

3.7 Day-aheadmarkt (DAM)

De dag voor levering wordt elektriciteit in Nederland verhandeld op de day-aheadmarkt (DAM), de spotmarkt voor elektriciteit. Het handelsmechanisme voor deze markt betreft een tweezijdige blinde veiling met uniforme prijsstelling, voor levering op elk klokuur van de volgende leveringsperiode tussen 00:00 uur en 00:00 uur. Naast biedingen voor levering op uurbasis, kunnen ook blokbiedingen worden ingelegd. De day-aheadmarkt opent op de dag voor levering om 00:30 uur en sluit om 12:00 uur. De biedingen worden geordend tot een afnemende vraag- en een oplopende aanbodcurve, resulterend in een prijs en volume gegeven door de biedingen van vraag- en aanbod die overeenkomen in prijsniveau.

Om 12:55 uur worden de resultaten bekend gemaakt. Er wordt daarbij een tweetal blokorders onderscheiden, gekoppelde blokorders en exclusieve blokorders. Bij gekoppelde blokorders gaat het om gekoppelde uurbiedingen, die alleen worden geaccepteerd als alle betreffende uren worden geaccepteerd. Exclusieve blokorders betreffen eventueel overlappende combinaties van blokbiedingen waarvan er slechts één kan worden geaccepteerd.

Deze markt biedt de mogelijkheid om het portfolio in balans te brengen en productie en consumptie te optimaliseren op basis van de laatste gegevens en verwachtingen. Producenten kunnen hier terecht om uitvoering te geven aan beslissingen tot de productie of inkoop, energieleveranciers voor de laatste aanpassingen in inkoop, en eindgebruikers voor inkoop of verkoop door bijvoorbeeld af te zien van gebruik. Deze markt laat een hoge mate van liquiditeit zien en geldt als ijkpunt voor andere marktsegmenten.

3.8 Intradaymarkt (IDM)

Na het sluiten van de day-aheadmarkt (DAM) biedt de intradaymarkt (IDM) de mogelijkheid om elektriciteit te verhandelen. Het handelsmechanisme betreft continue handel, met een handelstermijn die start na sluiting van de day-aheadmarkt, daags voor levering om 12:00 uur, tot 5 minuten voor levering. Op deze markt worden vooralsnog uurproducten en blokproducten verhandeld. Deze markt biedt de mogelijkheid tot aanpassing van bestaande posities op basis van nieuwe informatie en verwachtingen. Producenten kunnen hier terecht voor aanpassing door uitval van centrales of veranderende verwachtingen met betrekking tot wind- en zonne-energie. Leveranciers kunnen op deze markt de laatste aanpassingen in inkoop plegen op basis van veranderde vraagverwachtingen, en eindgebruikers voor inkoop of verkoop door bijvoorbeeld af te zien van gebruik. Dit marktsegment is in potentie dan ook van groot belang voor de PV-partijen die voorzien dat zij ten opzichte van het ingediende programma in onbalans dreigen te geraken. Met corrigerende in- en verkopen kunnen zij de balans in de realisatie herstellen.

Op de intradaymarkt worden gewoonlijk kleinere volumes verhandeld omdat het correcties betreft om de portefeuille van vraag en aanbod in balans te brengen. Zo kan in deze markten bijvoorbeeld de positie worden gecorrigeerd voor verbeterde voorspellingen voor vraag, wind en zon. Liquiditeit in de Nederlandse intradaymarkt is op dit moment laag (zie (ACM, 2014)) de prijzen variëren relatief sterk en de prijsstelling vertoont een hogere mate van bewegelijkheid dan op de DAM. Prijzen op de Nederlandse intradaymarkt zijn weliswaar representatief voor de marktsituatie (er zijn geen andere prijsnoteringen beschikbaar), maar bieden niet noodzakelijkerwijs een goed beeld van de werkelijke waarde van de verhandelde producten. Tegen deze achtergrond is deze markt minder aantrekkelijk voor marktpartijen, en wordt veelal een alternatief gezocht via de bilaterale OTC-handel.

3.9 Onbalansmarkt (BM)

Ten behoeve van de correctie van de feitelijke onbalans tijdens de realisatie, koopt TenneT regel- en reservevermogen in. In de laatste fase voor realisatie, vanaf sluiting van de day-aheadmarkt tot een uur voor realisatie kan regel- en reservevermogen (RRV) worden aangeboden op de 'onbalansmarkt'. De biedingen worden vervolgens gesorteerd op een biedladder en in real-time in volgorde van prijs afgeroepen door TenneT in reactie op de ontwikkeling van de systeembalans. In deze markt wordt de resterende behoefte aan aanpassing van productie of afname door TSO TenneT dus ingevuld met als doel de systeembalans te garanderen. TenneT contracteert vooraf op jaarbasis reeds 340 MW capaciteit bij de energieproducenten om liquiditeit op de onbalansmarkt te garanderen.

De behoefte van TenneT aan vermogen ontstaat door afwijkingen tussen voorspelling en realisatie van vraag en aanbod (door bijvoorbeeld fouten in de voorspelling van vraag, wind en zon, of door uitval van productie). In principe kunnen vele partijen daaraan meedoen, mits de (eventueel gezamenlijke) bieding ten minste 1 MW vertegenwoordigt.

Ook contracteert TenneT enkele specifiekere producten voor het waarborgen van de stabiliteit van het net: de automatische vermogensregeling en noodvermogen. De eerste heeft betrekking op het geheel automatisch reageren op signalen van TenneT om continu-vermogen beschikbaar te stellen en het tweede op het beschikbaar stellen van grote vermogens om in geval van calamiteiten snel op of af te schakelen.

Door in real-time bewust af te wijken van het E-programma in tegengestelde richting aan de systeembalans kan je geld verdienen op de onbalansmarkt (passieve deelname aan de onbalansmarkt), maar dit vereist dat de richting van de systeembalans voorspeld kan worden. Een slechte voorspelling van je elektriciteitsgebruik kan ook geld kosten.

3.10 Conclusie

Flexibiliteitslevering kan plaats hebben op verschillende deelmarkten. Gegeven de producten die op deze deelmarkten verhandeld worden zijn met name de kortetermijnmarkten DAM, IDM en BM geschikt om flexibiliteit te leveren. Op deze markten ontstaat flexibiliteitsbehoefte door afwijkingen van voorspelde vraag en geplande productie.

Day-aheadmarkt (DAM): De dagelijkse handel in elektriciteit heeft plaats in de vorm van uurproducten, daags voor levering. Daarmee kan vraagsturing ingezet worden om elektriciteit af te nemen op uren waarin de prijs relatief laag is. Dit vraagt wel om een forecast van de vraag, i.e. de stroombehoefte, en van de mogelijkheden om die vraag te verschuiven in de aansturing. Bovendien vraagt het om een forecast van de elektriciteitsprijs, om te komen tot biedingen die de operationele behoefte garanderen.

Intradaymarkt (IDM): De mogelijkheden tot aanpassing van de vraag tijdens dag van levering kunnen worden aangeboden op de dag van levering in de vorm van uurproducten. Evenals in geval van de daghandel vraagt dit wel om een forecast van de vraag en aansturing. Voor deze handel is geen prijsforecast nodig vanwege de continue handel.

Onbalansmarkt (BM): De mogelijkheden tot aanpassing van de (bijna) momentane vraag kunnen worden aangeboden op de onbalansmarkt. Hier wordt bovendien een alternatief geboden door bewust in onbalans te gaan, tegengesteld aan de systeembalans. Dit biedt zicht op lagere totale kosten dan in geval van de daghandel, en in sporadische gevallen zelfs negatieve prijzen. In dit geval is een prijsforecast niet nodig, maar wel een forecast van de systeembalans en/of regeltoestand.

Naast de benodigde afspraken met de leverancier over verhandeling van flexibiliteit, vraagt deze handel dus om:

- een forecast/planning van de elektriciteitsvraag;
- aansturingsmethodologie over langere tijdshorizon;
- een forecast van de elektriciteitsprijs op de DAM.

4 Verkenning flexibiliteitspotentieel WSRL

In dit hoofdstuk maken we een eerste verkenning van het flexibiliteitspotentieel bij het WSRL. We kijken hierbij naar het flexibiliseringspotentieel van de twee deelsystemen van het waterschap, te weten het beheer van het watersysteem (peilbeheer) en het beheer van de waterketen (rioolwaterzuivering).

Aan de hand van een set criteria stellen we vast in welk deelsysteem het beste kansen liggen om het flexibiliteitspotentieel te gaan ontsluiten.

4.1 Criteria

We hanteren de volgende set criteria om te bepalen in welk deelsystemen de beste kansen liggen om flexibiliteitspotentieel te gaan ontsluiten.

- percentage van het totale elektriciteitsgebruik;
- vermogen en verbruik, i.e. de ruimte voor flexibiliteitslevering op basis van vermogen en gemiddeld verbruik;
- aansturmingsmogelijkheden/infrastructuur, i.e. de mate waarin de bestaande ICT-configuratie geschikt is om aansturmingsmogelijkheden aan te passen;
- systeemcomplexiteit en -afhankelijkheden, i.e. de mate waarin de aansturing op individuele onderdelen of het systeem als geheel kan worden toegepast; en
- lopende projecten gerelateerd aan flexibilisering: in hoeverre brengen de reeds lopende gerelateerde projecten dit potentieel al in beeld, of is aanvullende analyse binnen de context van het huidige project gerechtvaardigd.

Deze criteria worden in de volgende paragrafen verder toegelicht.

4.1.1 Percentage van het totale elektriciteitsgebruik

Als het gaat om het elektriciteitsgebruik ligt veruit het grootste potentieel in de waterketen bij de zuiveringsactiviteiten van het waterschap.

Zoals in Hoofdstuk 2 is aangegeven, is ongeveer 80% van de totale elektriciteitsbehoefte van het waterschap gedreven door deze activiteiten. Hierbij valt verder op te merken dat het grootste deel hiervan samenhangt met inzet voor beluchting; dit is ongeveer 55% van het elektriciteitsgebruik van de waterketen en 45% van het totale elektriciteitsgebruik van het waterschap.

Elektriciteitsbehoefte in peilbeheer is ongeveer 15% van de totale elektriciteitsbehoefte van het waterschap en heeft primair betrekking op inzet van pompen en gemalen.

4.1.2 Vermogen en verbruik

Mogelijkheden tot vraagsturing in elektriciteitsgebruik hangen sterk samen met het geïnstalleerde vermogen en de gemiddelde inzet van de toepassing waarvoor elektriciteit wordt afgenomen. Als de toepassing voor het grootste deel van de tijd ten volle wordt ingezet, is er onvoldoende overcapaciteit over om flexibel te benutten. Dus toepassingen die in deze zin overgedimensioneerd zijn, bieden meer potentieel dan toepassingen waarbij dit niet het geval is. Voor beide kerntaken van het waterschap, i.e. zowel rioolwaterzuivering als peilbeheer, geldt dat dergelijke overdimensionering aan de orde is.

In de waterketen worden rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) uitgelegd op de verschillende weersomstandigheden die zich kunnen voordoen en de invloed die deze omstandigheden hebben op de zuiveringsbehoefte. Omdat in veel gevallen ook hemelwaterafvoer door de RWZI wordt verwerkt is de verwerkingscapaciteit relatief groot in verhouding tot de capaciteitsbehoefte onder droogweercondities.

In geval van peilbeheer geldt een vergelijkbare afhankelijkheid, en is de verwerkingscapaciteit voor pompen en gemalen uitgelegd om extreme omstandigheden met veel neerslag. Net als bij de zuivering zijn de installaties voor peilbeheer in feite overgedimensioneerd bij droogweercondities.

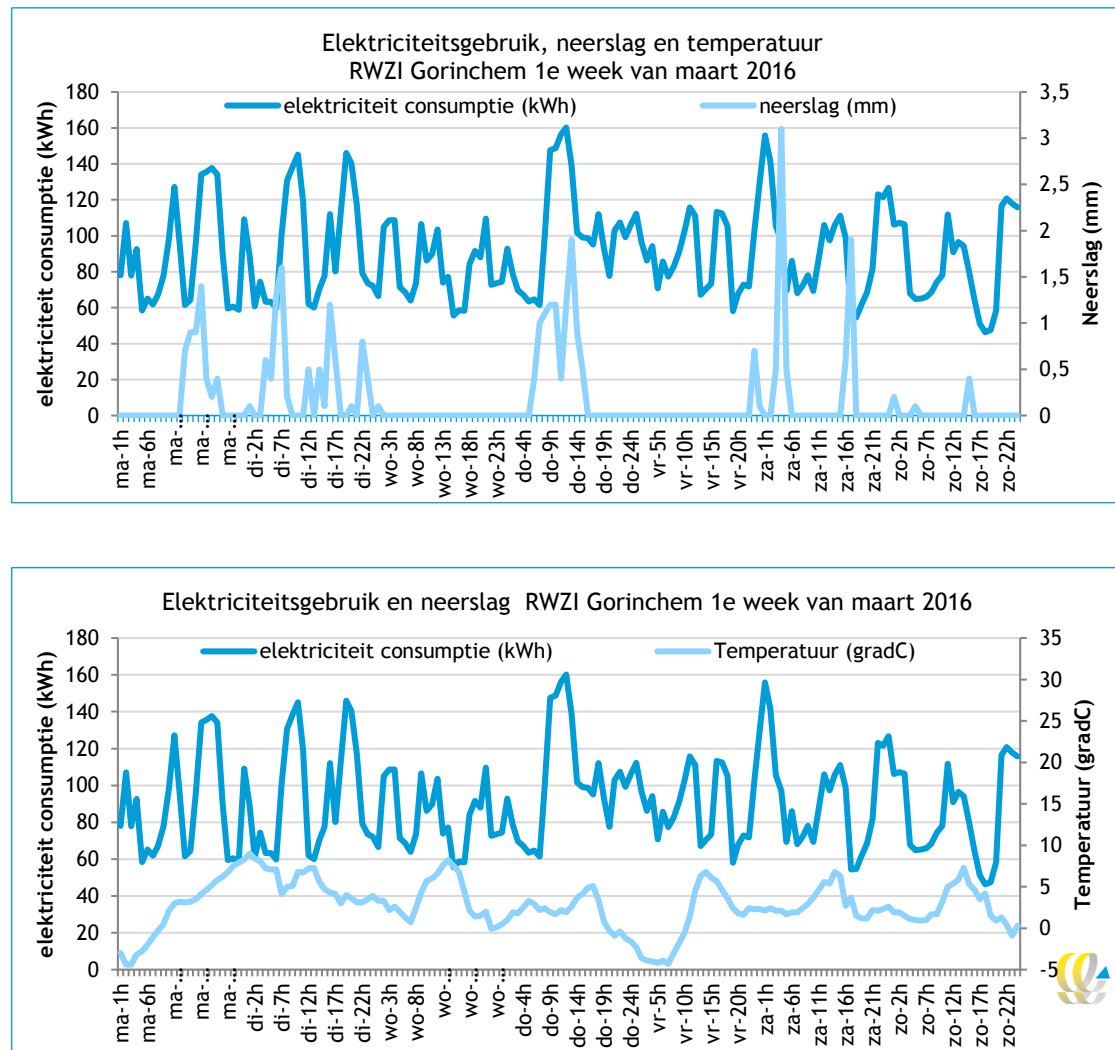
Inzet van installaties in rioolwaterzuivering en peilbeheer laat dan ook een sterk fluctuerend patroon zien. Dit is ook terug te zien in het elektriciteitsgebruik van deze installaties, zoals weergegeven op de volgende pagina's.

4.2 Waterketen: Karakteristieken inzet RWZI

In Figuur 6 is het elektriciteitsgebruik van RWZI Gorinchem, de neerslag en de temperatuur in die regio (KNMI-data Herwijnen) weergegeven. Hierin is duidelijk te zien dat het elektriciteitsgebruik toeneemt bij een hogere neerslag, waarmee in de dimensionering van de installatie dan ook rekening gehouden wordt. Onder afwezigheid van neerslag is er dus sprake van ruim voldoende verwerkingscapaciteit en volgt een patroon van fluctuerende inzet en bijbehorende elektriciteitsgebruik. Dit wordt mede veroorzaakt door de patronen in aanvoer, maar ook door de aard van het zuiveringsproces en in het bijzonder de beluchting (zie ook Hoofdstuk 5).

Alhoewel er sprake is van een temperatuurafhankelijkheid in de biologische verwerkingscapaciteit, blijkt deze relatie minder relevant voor het energiegebruik.

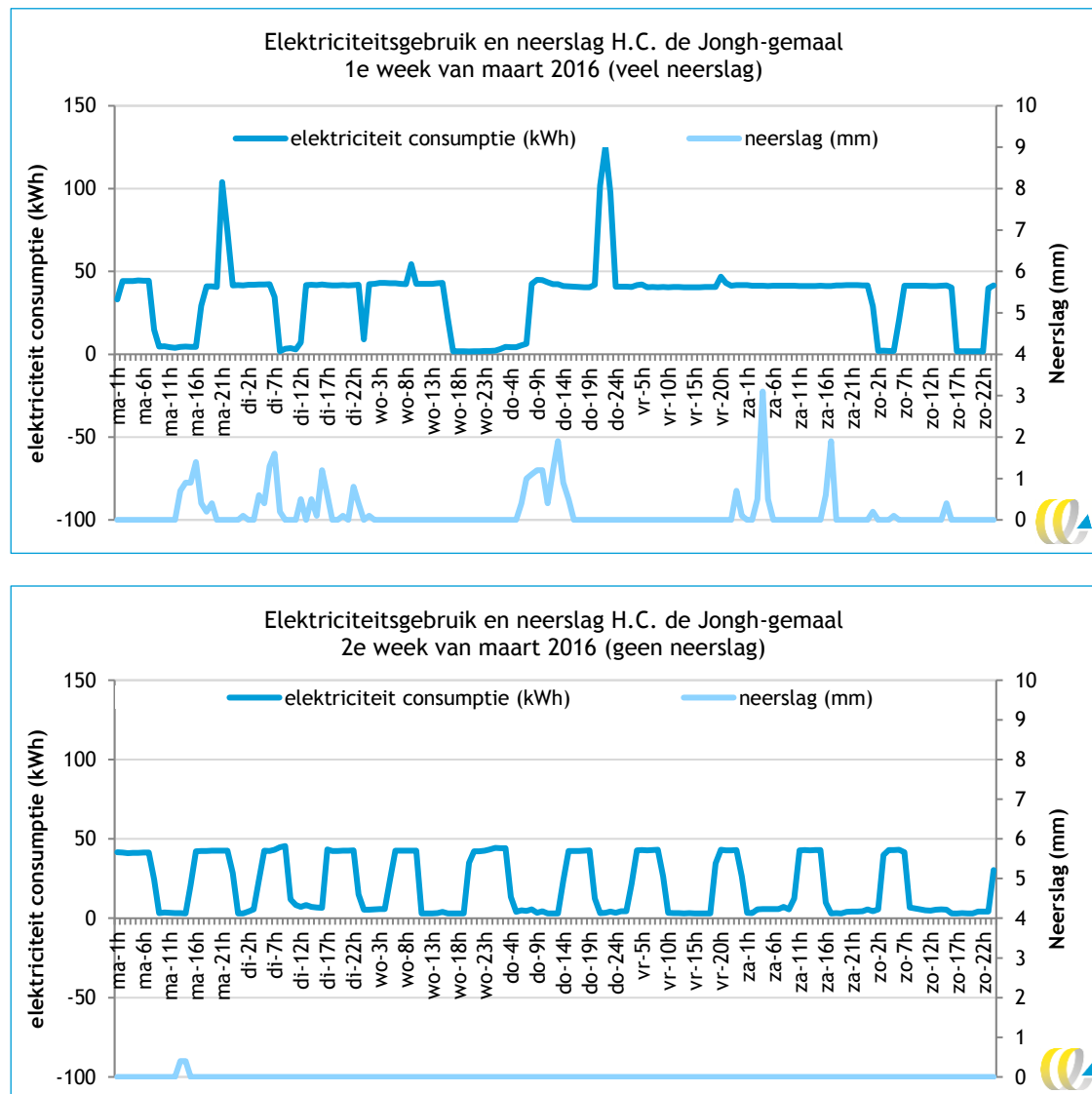
Figuur 6 - Elektriciteitsgebruik vs. neerslag (boven) en vs. temperatuur (onder)



4.3 Watersysteem: Karakteristieken inzet gemaal

In Figuur 7 is het elektriciteitsgebruik weergegeven van het H.C. de Jongh-gemaal tijdens een week met neerslag en een week zonder neerslag. Duidelijk is dat het gemaal meer elektriciteit verbruikt bij neerslag en dat het in een week zonder neerslag fluctueert tussen minimaal verbruik en een zekere bovenwaarde. Het minimale verbruik komt zowel overdag als 's nachts voor. Aangezien elektriciteitsprijzen overdag veelal hoger liggen dan 's nachts, biedt dit aanknopingspunten voor kostenbesparing door vraagverschuiving.

Figuur 7 - Elektriciteitsgebruik bij neerslag (boven) en droog weer (onder)



4.3.1 Aanstuuringsmogelijkheden/infrastructuur

De bestaande infrastructuur voor aansturing van de installaties is eveneens een relevant criterium voor potentieel binnen het huidige systeem.

In geval van de RWZI's is bij het waterschap Rivierenland in voorgaande jaren een project opgezet om de aansturing en monitoring van de RWZI's te centraliseren in de centrale regiekamer (uniek in Nederland). Deze is in 2015 officieel in gebruik genomen.

Met de centrale regiekamer is eveneens de bestaande softwarearchitectuur (op basis van een SCADA-systeem) volledig gestandaardiseerd met nieuwe mogelijkheden voor toepassing van plannings- en optimalisatiealgoritmen.

Dit is nog niet het geval voor peilbeheer. Alhoewel koppeling naar de centrale regiekamer wel op de agenda staat is er in dit geval nog sprake van beperkte aansturing en monitoring voor peilbeheer en zijn dus ook de mogelijkheden voor centrale aansturing nog niet beschikbaar. Vooralsnog vindt de geautomatiseerde aansturing dan ook lokaal plaats op basis van lokale monitoring.

Naar verwachting worden binnen twee jaar alle kunstwerken met telemetrie aangesloten op IWA. Dit systeem biedt ook de mogelijkheid om de pompen zo efficiënt mogelijk in te zetten.

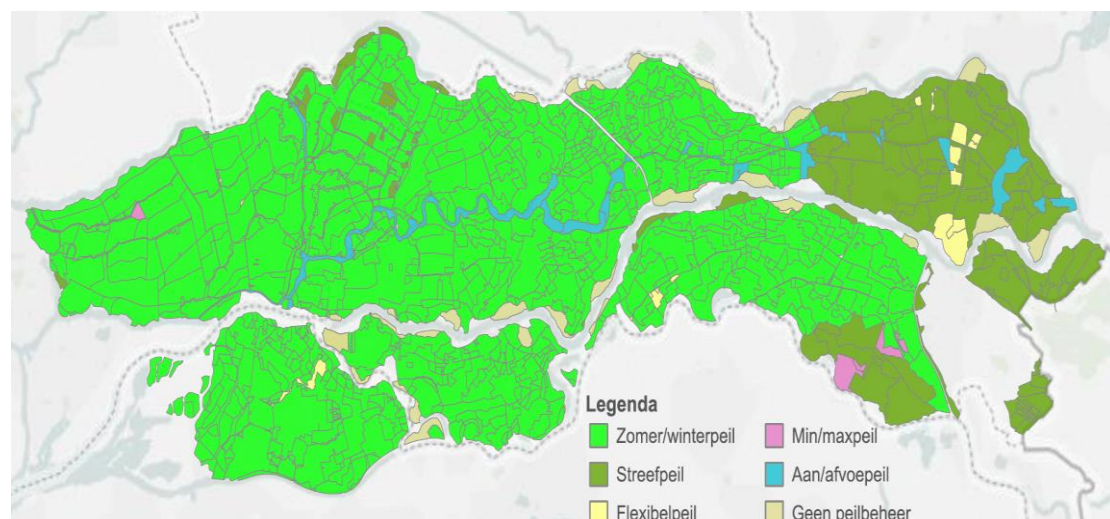
4.3.2 Systeemcomplexiteit en -afhankelijkheden

Voor centrale aansturing van zuivering en peilbeheer is het belangrijk om inzicht te hebben in systeemafhankelijkheden. Die stellen hogere eisen aan een centrale aansturingsmethode en kunnen ontwikkeling van een pilot op subsysteemniveau complex maken.

In geval van aansturing van RWZI's is er geen sprake van sterke koppelingen op systeemniveau. RWZI's worden onafhankelijk van elkaar bedreven en laten hoogstens correlaties zien vanwege vergelijkbare lokale omstandigheden (zoals neerslag of influent debiet). Aansturing vindt plaats op basis van de effluentkwaliteit: eisen voor stikstof en fosfaat, en zwevende/dwarrelende stof bij regen.

In geval van peilbeheer kan er wel sprake zijn van complexere systeemsamenhang. Het waterpeil wordt met stuwen en gemalen beheerd. Kleine gemalen pompen het water naar een hoofdgemaal, waar het water vervolgens op een oppervlaktewater (rivier) wordt geloosd. Zo kan inzet van een pomp of gemaal op een locatie gevolgen hebben voor de inzet op andere locaties (zie ook Figuur 8).

Figuur 8 - Typering peilbeheer per peilgebied volgens het peilbesluit, in de meeste gebieden geldt een seizoensafhankelijk peil



Aansturing van de gemalen kent nu geen onderlinge koppeling maar volgt uit aansturing op basis van het lokale peil. Dat wordt echter beïnvloed door inzet van overige pompen en gemalen. De grote stuwen en gemalen zijn geautomatiseerd en aangesloten op telemetrie. Ze kunnen door de peilbeheerders op afstand gemonitord en enigszins gestuurd worden:

instellen van setpoints voor een aantal variabelen met onderscheid in dag/nacht en zomer/winter. Kleine gemalen werken met een vlottersysteem en regelen zichzelf, en kleine stuwen worden één tot twee keer per jaar handmatig aangestuurd. Deze systemen zijn niet aangesloten op telemetrie.

De belangrijkste variabele in aansturing is het streefpeil. Sturing vindt plaats op basis van het streefpeil met een zekere bandbreedte en het buitenpeil. Daarnaast speelt bijvoorbeeld ook de regelsnelheid en rol (minimaal drie uur aan of uit, omdat het anders slecht is voor de pomp).

4.3.3 Lopende flexibiliseringsprojecten

Zoals eerder aangegeven zijn er verschillende initiatieven en lopende projecten op het terrein van flexibilisering of gerelateerde onderwerpen.

Als het gaat om initiatieven voor de waterketen, dan heeft de afgelopen jaren de nadruk gelegen op ontwikkeling van de centrale regiekamer met onderliggende ICT-infrastructuur, gericht op ontwikkeling van mogelijkheden voor centrale aansturing en monitoring. Hierbij dient de volgende stap tot analyse van de aansturingsmethodiek zich dan ook juist aan.

In geval van het watersysteem is er sprake van verkennende trajecten tot flexibilisering op het niveau van bijvoorbeeld en gemaal, wordt deelgenomen in een bredere studie naar mogelijkheden voor gebied gestuurd peilbeheer met potentieel voor integrale systeem-aansturing en zal de ICT-architectuur die hiervoor nodig zal zijn in de komende jaren worden opgezet.

Gerelateerde projecten in de waterketen:

- Centrale Regiekamer: in 2015 werd het project afgerond, met compleet centrale besturing van de zuiveringsstelsels. De basis van de huidige softwarearchitectuur (SCADA) is in het project volledig gestandaardiseerd met nieuwe mogelijkheden voor toepassing van plannings- en optimalisatiealgoritmen. Vanwege het groot aantal variabelen in het zuiveringsproces wordt met name potentieel voorzien voor algoritmen uit het domein van kunstmatige intelligentie. WSRL overweegt een nieuw traject voor oriëntatie op perspectieven.
- TamTam: staat voor Toolbox Afvalwater Monitoring ten behoeve van. Asset Management met als doel ontwikkeling van prestatie-indicatoren op basis van real-time-metingen ten behoeve van doelmatig beheer en onderhoud.
- Energiedrager van de toekomst: korte studie naar potentieel van gebruik van verschillende energiedragers (zoals waterstof, LNG, gas, en dergelijke) in relatie met de Energiefabriek.

Gerelateerde projecten in het watersysteem:

- Optimaal pompen: bij gemaal Bloemers werkt WSRL aan een frequentieregeling voor optimaal pompen, met gebalanceerd verbruik in plaats van zaagtandverbruik.
- APX-gestuurd pompen: WSRL evalueert in samenwerking met haar energieleverancier mogelijkheden tot APX-aansturing van pompen en gemalen, gericht op (gunstiger) afstemming met aantrekkelijke momenten van stroominkoop.
- Slim malen: WSRL is betrokken bij een project Slim Malen voor gebiedgestuurd malen op basis van model predictive control (MPC). Deelname door inzet bij het Kolfgemaal en de beneden-Linge werd overwogen.

4.4 Score flexibiliteitspotentieel

De mogelijkheden voor flexibiliteit bij zowel zuivering (waterketen) als peilbeheer (watersysteem), hebben we gescoord op de criteria. Het resultaat is weergegeven in Tabel 1. Hieruit volgt dat met name de zuivering een gunstig potentieel laat zien voor het WSRL. Het energiegebruik in de waterketen - meer specifiek de beluchting bij de zuivering - is veel groter dan in het watersysteem. Daarnaast biedt de beluchting goede mogelijkheden om flexibel gestuurd te worden, mits aan de randvoorwaarden kan worden voldaan.

Tabel 1 - Score van het flexibiliteitspotentieel in waterketen en watersysteem

Criterium	Waterketen	Watersysteem
Elektriciteitsgebruik	Hoog (80%)	Beperkt (15%)
Vermogen en verbruik (schaalbaar in vermogen & verschuifbaar in tijd)	Ja, binnen randvoorwaarden	Ja, binnen randvoorwaarden
Aansturingsmogelijkheden	Zeer goed	Onvolledig
Systeemafhankelijkheid en -complexiteit	Afgebakend	Beperkt afhankelijk
Lopende activiteiten/vernieuwing	Geen flexibiliteitsonderzoek	Deelname in flexibiliteitsonderzoek loopt en voorgenomen

Een combinatie met optimale inzet van de WKK's op de rioolwaterzuivering is wellicht ook mogelijk.

Bovendien is een automatisering in het watersysteem nog niet volledig, maar is die in de waterketen al wel uitgerold. In het watersysteem is er verder sprake van een systeemafhankelijkheid (het gedrag van het ene poldergemaal beïnvloedt het andere gemaal), waardoor optimalisatie van het pompedrag mogelijk complex is. De systeemcomplexiteit van de waterketen kan beperkt worden tot één RWZI en vervolgens uitgerold worden naar andere RWZI's.

4.5 Conclusie

Al met al lijkt de waterketen op basis van haar score het meest potentieel voor flexibiliteit te bieden. Bovendien is dit potentieel nog niet in onderzoek, terwijl de energie- en kostenbesparingen hier potentieel groot zijn.

In de volgende hoofdstukken zullen we het flexibiliteitspotentieel van de beluchting op RWZI's verder analyseren en kijken of dit mogelijk is binnen de gestelde kwaliteitseisen.

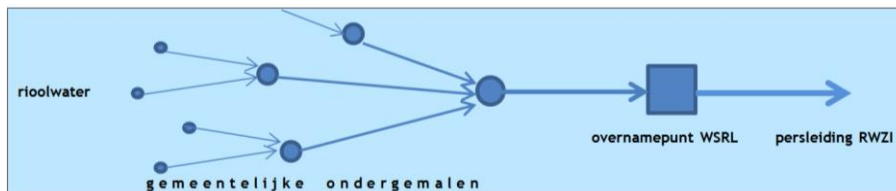
5 Flexibiliteitsopties RWZI

In dit hoofdstuk brengen we het potentieel voor flexibiliteitslevering vanuit de rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) verder in kaart. We bespreken het systeem en de randvoorwaarden, gevolgd door een serie mogelijkheden tot flexibilisering van de verschillende deelprocessen. Tot slot wordt de belangrijkste optie geïdentificeerd.

5.1 Systeem en randvoorwaarden rioolwaterzuivering

In Figuur 9 en Figuur 10 zijn respectievelijk de keten van rioolwaterzuivering en het procesoverzicht van de rioolwaterzuiveringsinstallatie weergegeven. WSRL voert het beheer over het eindgemaal van het riool en de zuivering, lozing en slibbehandeling. De overige delen van het riool zijn in het beheer van gemeenten, de slibverwerking vindt bij HVC plaats.

Figuur 9 - Keten rioolwaterzuivering



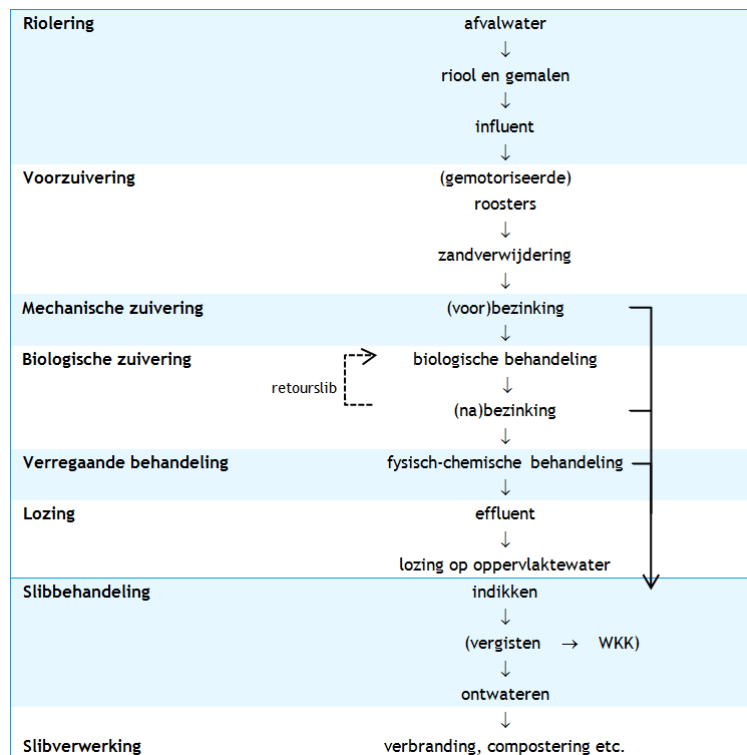
Er geldt een afnameverplichting voor het WSRL ten aanzien van het afnemen van rioolwater van gemeenten. Daarnaast moet effluent voldoen aan wettelijke kwaliteitseisen en stellen zowel het waterschap zelf als Rijkswaterstaat lozingseisen (afhankelijk van het water waarop een RWZI loost).

5.1.1 Procesoverzicht en verwerkingscapaciteit RWZI

Voor de levering van flexibiliteit en achterliggende verschuiving van inzet is het noodzakelijk dat er in een belangrijk deel van de tijd sprake is van (ruim) voldoende verwerkingscapaciteit bij verminderde inzet. Zo kan inzet verschoven worden van momenten van hoge inzet naar momenten van lage inzet, als de elektriciteitsprijs daar aanleiding toe geeft.

De hydraulische capaciteit wordt bepaald door de aangevoerde debieten tijdens droog weer (droogweerafvoer - DWA) en bij neerslag (regenweerafvoer - RWA). Onder DWA-condities is er de nodige ruimte in hydraulische capaciteit. Volgens literatuur zijn er in Nederland gemiddeld 80% van de tijd DWA-condities.

Figuur 10 - Procesoverzicht RWZI



De mate van vervuiling van het afvalwater wordt bepaald door de huidige en toekomstige aangevoerde vracht organisch materiaal en de nutriënten (stikstof en fosfaat). Gewoonlijk is de mate van vervuiling uitgedrukt in termen van inwonerequivalent. De belastinggraad ligt veelal tussen 70 en 100%.

Volgens experts van het waterschap Rivierenland vindt ongeveer 60% van het energiegebruik op de RWZI's plaats bij de beluchting voor biologische behandeling. Ongeveer 5-10% komt voor rekening van de ontwatering en een aanzienlijk deel van het restant komt voor rekening van de effluentpompen (ook circa 10%). Deze verdeling wijst erop dat het meeste potentieel voor levering van flexibiliteit ligt bij de beluchting.

5.1.2 Voorwaarden voor flexibiliteit

Samenvattend komen we tot de volgende voorwaarden voor flexibiliteit:

- Er geldt een afnameverplichting voor het WSRL ten aanzien van het afnemen van rioolwater van gemeenten. Daarnaast moet het effluent voldoen aan wettelijke kwaliteitseisen en stellen zowel het waterschap zelf als Rijkswaterstaat lozingseisen (afhankelijk van het water waarop een RWZI loost).
- Voor de levering van flexibiliteit en achterliggende verschuiving van inzet is het noodzakelijk dat er in een belangrijk deel van de tijd sprake is van (ruim) voldoende verwerkingscapaciteit bij verminderde inzet.
 - onder DWA-condities is er dus sprake van de nodige ruimte in hydraulische capaciteit die als randvoorwaarde voor flexibiliteitslevering nodig is (gewoonlijk 80% van de tijd in Nederland);

- veelal is er sprake van een biologische belastinggraad die tussen de 70 en 100% ligt, en het zal per RWZI verschillen in hoeverre aan deze randvoorwaarde van een beperkte belastinggraad wordt voldaan.

5.2 Aansturing installaties

Alle RWZI's in het beheer van het waterschap Rivierenland worden centraal aangestuurd vanuit de regiekamer in Tiel; de meeste RWZI's zijn daarom onbemand. Lokaal vindt er geen aansturing meer plaats, enkel controle. De centrale aansturing heeft betrekking op de pompen/gemalen en de beluchting:

- Aansturing van pompen/gemalen heeft vooral betrekking op de hydraulische belasting en wordt gedreven door het influentdebiet (aanbodgedreven). De aansturing van de beluchting heeft vooral betrekking op de biologische belasting en is ingericht op basis van de effluentkwaliteit, gewoonlijk middels een PID-controller.
- Aansturing van de beluchting wordt gebaseerd op de effluentkwaliteit: eisen voor stikstof, fosfaat en zwevende stof. De effluentkwaliteitseisen verschillen per RWZI (lozing op binnenwater van WSRL of lozing op buitenwater van Rijkswaterstaat).

Meestal heeft elke RWZI één meetpunt in de beluchtingstank. Hier worden de concentraties van nitraat, ammonium en zuurstof momentaan gemeten; daarnaast wordt ook temperatuur, effluentdebiet en energiegebruik (specifiek van de beluchting) gemonitord.

In de aansturing van de PID-controller voor de beluchting zijn verschillende regelingen en sturingsparameters te onderscheiden:

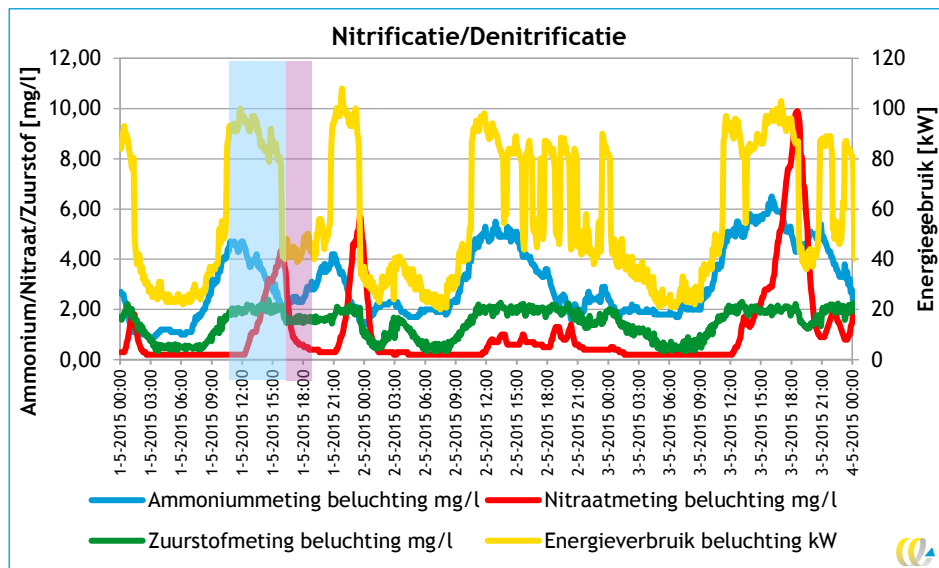
- cascaderегeling nitraat-ammonium;
- ammoniumzuurstofregeling;
- zuurstofregeling.

Figuur 11 illustreert het elektriciteitsgebruik voor beluchting in de RWZI Gorinchem, evenals de ammonium-, nitraat- en de zuurstofmeting. Hierin valt de nitrificatie fase in blauw te onderscheiden van denitrificatie in rood. De beide fasen worden door sturing van de beluchting ingezet, in reactie op respectievelijk de ammonium- en de nitraatmeting (i.e. cascaderегeling nitraat-ammonium):

- bij ammoniumconcentraties boven de drempel van 4 mg/l slaat de beluchting aan;
- bij nitraatconcentraties boven de drempel van 4 mg/l slaat de beluchting af, mits de ammoniumconcentratie onder de drempelwaarde ligt.

Hierbij wordt op een zuurstofconcentratie aangestuurd tussen de 0,5 en 2 mg/l.

Figuur 11 - Sturingsparameters, zuurstofgehalte en elektriciteitsgebruik voor nitrificatie/denitrificatie



Op basis van deze aanstuuringsmethodiek kan flexibilisering worden gefaciliteerd. De belangrijkste wijziging die nodig is voor flexibele beluchting is dat de controller niet langer slechts reactief wordt ingezet, maar ook proactief. De huidige structuur is dan ook gebaseerd op afwijkingen van streefwaarden via zogenaamde feedbackloops. De benodigde aanpassing vraagt inpassing van feed-forwardloops waarmee voorspelling van ammoniumconcentratie meegenomen kan worden. Daartoe moet er wel aan de randvoorwaarden van voldoende capaciteit worden voldaan.

5.3 Flexibiliteit en buffercapaciteit bij RWZI's

In de vorige paragraaf zijn kort het systeem en de randvoorwaarden besproken. In deze paragraaf gaan we verder in op de mogelijkheden voor flexibilisering van de verschillende deelprocessen:

- buffering in rioolstelsel;
- flexibilisering beluchting, voorbezinking en slibontwatering in de nacht;
- nitrificatie en denitrificatie;
- optimale inzet biogas in WKK.

In deze paragraaf zullen we de flexibiliseringsopties verder verkennen.

Buffering in rioolstelsel

Bufferen van influent maakt het mogelijk om tijdens hoge elektriciteitsprijzen minder water te verpompen en minder te beluchten. Bij lage elektriciteitsprijzen kan de buffer worden leeggepompt. In tegenstelling tot de RWZI is er in principe wel buffercapaciteit in het riool.

Om regenwater te kunnen accommoderen heeft het riool ongeveer 7 mm marge (gemiddeld DWA+7 mm). Hierna zal regenval leiden tot overstort. Bij droog weer is de marge als buffer te gebruiken voor flexibiliteit. Bij slecht weer, echter, is de volledige marge nodig en is het

riool per definitie te klein (regen is ongeveer drie keer DWA). De DWA/RWA-verhouding is dus een cruciale parameter voor flexibiliteit.

Over het algemeen is bufferen in het gemeentelijk deel van het riool geen optie, want gemeenten staan dit niet toe. In een enkel geval vindt echter wel systeemintegratie plaats. In Groesbeek en Leerdam lopen projecten waarbij de volledige sturing van de gemeentelijke rioolgemalen wordt overgedragen aan WSRL. Het beheer van gemeentelijke gemalen door WSRL biedt meer mogelijkheden om de keten flexibel te beheren. In Nijmegen is het toegestaan door de gemeente dat het waterschap buffert voor het eindgemaal.

Nu komt het vaak voor dat er 's nachts op RWZI's gerecirculeerd wordt wanneer er weinig aanvoer is. Hiervoor moet je grote pompen aanzetten. Als je 's avonds buffert, kun je 's nachts gewoon doorpompen zonder te hoeven recirculeren.

Meestal zijn in een pompkelder van het eindgemaal twee pompen geplaatst, waarbij de tweede alleen inschakelt bij extreme aanvoervolumes. Bufferen kan door de kelder vol te laten lopen en later met twee pompen te pompen. Nadeel hiervan kan zijn dat ze niet efficiënt werken, doordat ze elkaar wegdrücken uit het ideale werkpunt door een hogedruk op de leiding. Als dit zich voordoet, is het wellicht energie-efficiënter om pompen niet gelijktijdig te gebruiken of beide iets terug te toeren.

5.4 Flexibilisering beluchting, voorbezinking en slibontwatering in de nacht

Volgens experts van het waterschap Rivierenland vindt ongeveer 60% van het energiegebruik op de RWZI's plaats bij de beluchting. De beluchting verbruikt dus de meeste elektriciteit op een RWZI en kan daarnaast flexibel worden bedreven.

De aansturing van de beluchting gebeurt nu op basis van effluentkwaliteit (binnen de marges en liefst van continue kwaliteit). De aanvoer is 80% van de tijd vrij constant van kwaliteit (DWA-condities). DWA-profielen zijn voorspelbaar. De biologische zuivering, voornamelijk de beluchting, verloopt ook sneller op DWA-dagen en bij hogere temperaturen (> 15 graden). De beluchting gaat omlaag wanneer dit kan, vanwege het energiegebruik. De beluchting kan urenlang minimaal zijn, afhankelijk van biologische belasting en aanvoer. Blowers worden frequentie gestuurd teruggeregeld, dit kan maximaal 3-10x per uur. Volledige afschakeling wordt vermeden, met het oog op de levensduur van de blowers.

Bij terugregeling van de beluchting bij een hoge elektriciteitsprijs, moet de beluchting voor- of nadien extra verhoogd worden (bij een lage elektriciteitsprijs) om effluent te krijgen die voldoet aan de eisen. De doorstroomtijd in de beluchtingstank hangt gewoonlijk echter af van het influent en niet van de ingezette beluchtingscapaciteit⁹. Je stuurt dan dus op effluentkwaliteit en elektriciteitsprijs.

Andere onderdelen in de zuiveringsketen zijn minder geschikt voor flexibilisering. Wel wijzen experts van het WSRL op de retourvrijzels en het verplaatsen van slibontwatering naar de nacht. RWZI's met een voorbezinker hebben minder capaciteit voor beluchting en bieden dus ook minder mogelijkheden voor flexibiliteit in de beluchting. Het gedeeltelijk leegpompen van voorbezinktanks 's nachts creëert echter buffercapaciteit en bespaart energie overdag.

⁹ Extra beluchting is alleen mogelijk bij RWZI's waarbij er een biologische overcapaciteit is, dat wil zeggen dat er meer beluchtingscapaciteit is dan normaal gesproken (of op dat moment) noodzakelijk. De biologische capaciteit kan mogelijk wel worden vergroot door extra blowers te installeren.

5.5 Nitrificatie en denitrificatie in batch

De aanvoer van influent varieert sterk waardoor de beluchting regelmatig niet in het optimale werkpunt functioneert. Bij DWA-condities, die goed te voorspellen zijn, is de samenstelling van het influent relatief constant. Als daarbij de invoer naar beluchting kan worden gedoseerd, dan kan de beluchting optimaal worden ingesteld. Afhankelijk van de precieze inrichting van dit proces is het hiervoor noodzakelijk om het DWA-influent te bufferen.

Een eenvoudigere, batchgewijze beluchting van nitrificatie en denitrificatie kan dan tot een efficiënter proces leiden. Hierbij wordt eerst onder optimale condities afvalwater volledig belucht (sturing op nitraatvorming en CZV-verwijdering) en daarna volgt een denitrificatieperiode (beluchting uit). Omdat de beluchting nu op het optimale werkpunt functioneert kan elektriciteit worden bespaard. Als het proces bovendien zodanig wordt ingezet dat de beluchting plaatsvindt op momenten dat de elektriciteitsprijs laag is, dan kunnen de elektriciteitskosten aanzienlijk dalen.

5.6 Optimale inzet biogas in WKK

Het is financieel aantrekkelijk om elektriciteit te produceren op momenten dat de elektriciteitsprijs hoog is. De WKK kan daarom dan het beste ingezet worden (flexibele inzet). Het moet dan wel mogelijk zijn om biogas te bufferen.

Het is belangrijk om hierbij te bedenken dat de piekproductie en de piekafname bepalend zijn voor het capaciteitstarief van de elektriciteitsaansluiting. Een lagere capaciteit levert een aanzienlijke kostenreductie op. Daarnaast is teruglevering alleen interessant wanneer de totale vergoeding de totale kosten voor afname overstijgt. Als de vergoeding voor teruglevering lager is dan afname, moet hier rekening mee worden gehouden in de optimalisatie van flexibele inzet van de WKK.

5.7 Overzicht flexibiliteitsopties RWZI's

De verschillende flexibiliteitsopties in RWZI's zijn samengevat in Tabel 2, inclusief de typerende tijdshorizon en het type flexibiliteit dat geleverd kan worden. Afgezien van slibontwatering naar de nacht en volumeregeling voorbezinktanks, laten de opties een tijdshorizon van kwartieren en uren zien. Dat betekent dat inzet voor flexibiliteitslevering op de kortetermijnmarkten binnen bereik is.

Tabel 2 - Flexibiliteitsopties en bijbehorende tijdshorizon en typering flexibiliteitsdiensten

Optie	Tijdshorizon	Type
Kortstondig bufferen in riool bij DWA	Kwartier	Flexibiliteit inclusief RRV*
Flexibel beheer beluchting bij DWA	Kwartier - uur	Flexibiliteit inclusief RRV*
Slibontwatering naar de nacht	Dag/nacht	Kostenbesparing
Volumeregeling voorbezinktanks	Dag/nacht	Kostenbesparing
Nitrificatie en denitrificatie in batch	Kwartier - uur	Flexibiliteit inclusief RRV*
Optimale inzet biogas in WKK	Kwartier - uur	Flexibiliteit inclusief RRV*

* Regel- en reservevermogen, zie ook Paragraaf 3.5.

5.8 Conclusies

De meeste opties laten, op basis van de typerende tijdshorizon, een potentieel zien voor inzet op de verschillende kortetermijnmarkten voor elektriciteit. De optie met veruit het grootste potentieel voor kostenbesparing is flexibilisering van de beluchting. Nitrificatie en denitrificatie in batch bieden het aanvullende voordeel dat hiermee ook energiebesparing kan worden gerealiseerd. In de volgende hoofdstukken werken we deze twee cases verder uit.

6 Case-analyse flexibel beheer beluchting

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk bespreken we de mogelijkheden voor flexibele beluchting. Deze hebben we onderzocht aan de hand van een case analyse voor een specifieke RWZI. Hierbij brengen we voor een specifieke RWZI in kaart hoe flexibilisering strategisch is in te zetten, dat wil zeggen binnen de grenzen van de randvoorwaarden en tegelijk met zo hoog mogelijke kostenbesparing.

6.2 Rationale voor deze case

- voor flexibilisering in peilbeheer zijn al meerdere studies uitgevoerd, en lopen al projecten (samen met Eneco) en pilots bij onder andere HHNK;
- hoog energiegebruik in de beluchting, dus veel potentieel aanwezig;
- vermogens zijn relatief groot, dit geeft mogelijkheden op de onbalansmarkt;
- er zijn mogelijkheden voor flexibilisering onder de voorwaarde dat de effluentkwaliteit niet mag verslechteren;
- gegevens en meetwaarden van de RWZI's zeer goed in beeld (centrale regiekamer).

Figuur 12 - Beluchtingstank op een RWZI



Bron: Waterschap Rivierenland.

Aanpak

Deze flexibiliteitswaardering is uitgevoerd in vier stappen:

- caseselectie (selectie van een RWZI);
- opstellen van een procesmodel;
- ontwikkeling van flexibele inzetstrategieën;
- beschouwing van het potentieel.

Caseselectie

Voor selectie van een RWZI voor waardering van flexibiliteitslevering is uitgegaan van de volgende criteria:

- databeschikbaarheid: voor de evaluatie is beschikbaarheid van meetdata van centraal belang;
- belasting graad van de biologische capaciteit: installaties die ten volle belast zijn zullen slechts beperkt perspectief voor flexibele inzet bieden;
- geen grote installatie met het oog op de uitvoering van een demo en gerelateerde operationele risico's

In overleg met experts bij het waterschap Rivierenland is vastgesteld dat de RWZI Gorinchem voldoet aan de voorwaarden.

Tekstbox 1 - RWZI Gorinchem

RWZI Gorinchem betreft één middelgrote RWZI in de portefeuille van het waterschap Rivierenland. Het gaat om het type carroussel, gebouwd in 1990 met:

- ontwerp capaciteit ie à 54 g BZV van 24.000;
- ontwerp capaciteit ie à 150 g TZV van 29.000;
- hydr. capaciteit (m³.uur) van 1.150.

De belastingsgraad in 2015 lag rond de 60-75%, zodat er inderdaad perspectief is voor flexibele inzet. Kosten van energiegebruik voor beluchting in 2015 waren € 495.720.

6.3 Procesmodel

Om nieuwe flexibiliteitsstrategieën te kunnen valideren en/of te kalibreren met betrekking tot de operationele randvoorwaarden (de sturingsparameters) is een model nodig dat de relevante dynamiek van het beluchtingssysteem en het proces in de beluchtingstank simuleert. Het gaat dan in het bijzonder om de zuurstof-, ammonium- en nitraat-concentraties in de beluchtingstank.

Een dergelijk model is het Activated Sludge Model (ASM). Hiervoor zijn afgelopen decennia standaardisatie en methoden en technieken ontwikkeld. Er is een verscheidenheid aan chemische (proces)modellen (AMS1 & ASM2) en een veelheid aan al dan niet-commerciële softwarepakketten beschikbaar.

Binnen het kader van deze analyse is een vereenvoudigd procesmodel opgezet van het beluchtingsproces op basis van massabalansen en veronderstellingen met betrekking tot het proces:

- vaste vertraagde relatie tussen energiegebruik beluchting en zuurstofgehalte in de beluchtingstank;
- ammonium- en nitraatbalans op basis van eerste orde reacties.

Voordeel is dat een dergelijk model relatief snel ontwikkeld kan worden, in aanleg goed geparameteriseerd kan worden op basis van bestaande meetdata voor goede representatie van de relevante installatie en daarmee een basis voor een eerste waardering van de flexibiliteit die met RWZI Gorinchem geleverd kan worden. De detailuitwerking van het model is gegeven in Bijlage A.

6.4 Ontwikkeling flexibiliseringsstrategieën

We bespreken hier de mogelijkheden op de day-aheadmarkt en de onbalansmarkt op basis van marktdata voor 2015.

6.4.1 Flexibiliteitslevering op de day-aheadmarkt

6.5 Voorwaarden

Naast de bestaande operationele randvoorwaarden voor RWZI's is er nog een aantal andere randvoorwaarden van toepassing. Het leveren van flexibiliteit op de day-aheadmarkt impliceert dat er dagelijks biedingen moeten worden gedaan op deze beurs voor elektriciteit met bijbehorende programmaverantwoordelijkheid. Deze zaken kunnen worden waargenomen door een leverancier/PV-partij die dergelijke diensten aanbiedt. Deelname zal echter vragen om planning van productie en afname.

Hiertoe zal een voorspelling van influentdebiet, ammonium- en nitraatgehalte beschikbaar moeten zijn. De verwachting is dat onder DWA-condities accurate voorspellingen kunnen worden opgesteld. Bij andere condities zal dit niet altijd mogelijk zijn, zodat correcties in het energieprogramma nodig zijn, wat kan leiden tot meerkosten. Daarnaast is een verwachting voor de elektriciteitsprijs nodig, zodat ingespeeld kan worden op de flexibiliteitsbehoefte zoals die in de prijsverwachting tot uitdrukking komt.

6.6 Uitgangspunten waardering

Bij de berekening van het potentieel van flexibele beluchting hanteren we de volgende uitgangspunten:

- Influentdebiet en ammoniumgehalte zijn bekend (i.e. perfect foresight) onder DWA-condities. Flexibiliteit zal alleen geleverd worden onder DWA-condities, terwijl onder andere condities historische inzet wordt toegepast.
- Aangezien er geen optimalisatiemethode beschikbaar is wordt uitgegaan van heuristiek (vuistregels), om waardevolle piekreductie en vraagverschuiving te realiseren.
- Ook de elektriciteitsprijs wordt verondersteld accuraat voorspeld te zijn (i.e. perfect foresight).

De waardering van flexibiliteit is, onder deze aannames, gelijk aan de kosten van historische inzet tegen APX-prijzen versus de kosten van een alternatieve inzetstrategie. Resultaten in de praktijk zullen lager liggen, omdat in werkelijkheid de ideale uitgangspunten niet volledig van toepassing zijn.

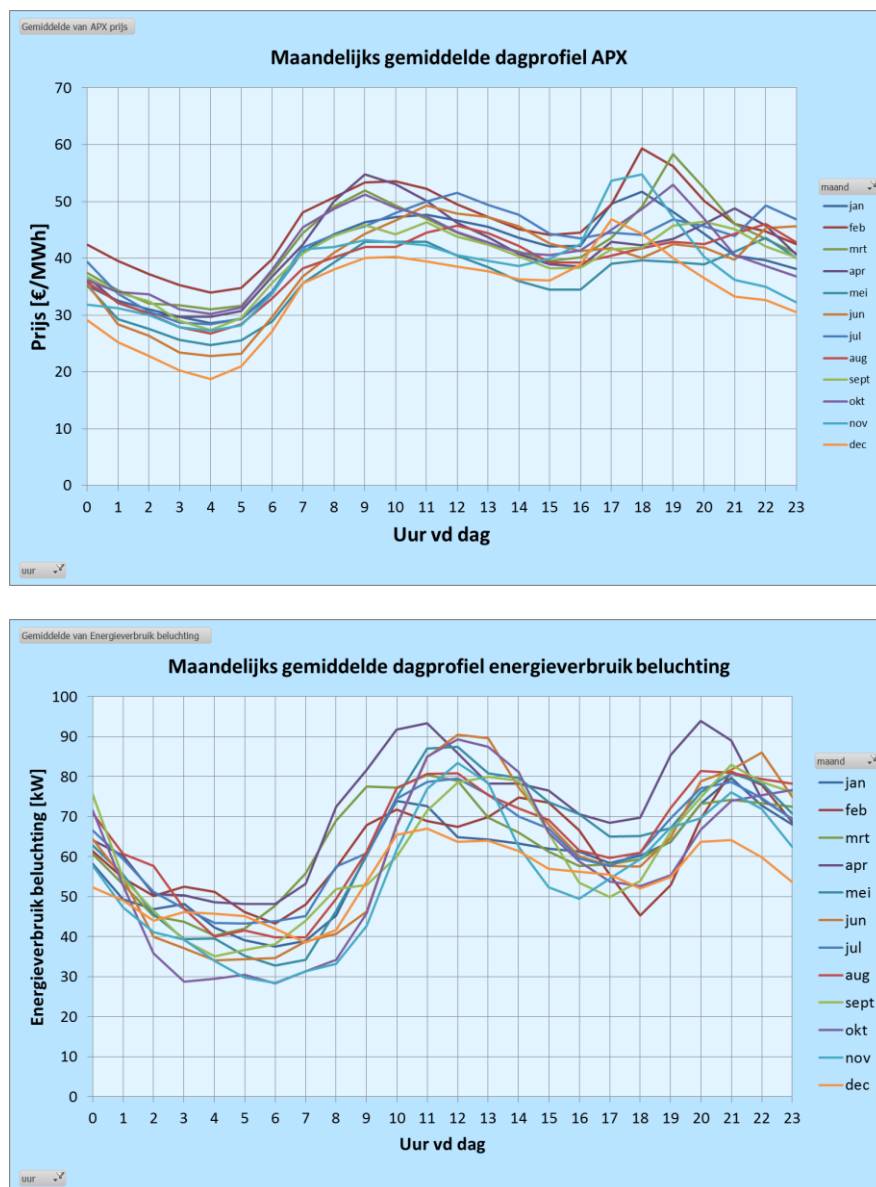
6.7 Beprijzing day-aheadmarkt

Dagprofiel APX-prijzen: De maandelijkse dagprofielen van de APX-prijzen laten een stabiel patroon zien met relatief hogere prijzen in de piekuren (8-20 uur op werkdagen) en lagere prijzen daarbuiten (zie Figuur 13). Dit patroon wordt gedreven door de onderliggende behoefte ten gevolge van menselijke activiteit. Gewoonlijk nemen prijzen toe vanaf 5 uur 's ochtends tot een piek rond 9 uur, waarna een daling optreedt tot ongeveer 3 uur, gevolgd door een tweede piek rond 18-19 uur en tot slot een daling tot 5 uur 's ochtends.

Dagprofiel elektriciteitsgebruik beluchting: Ook het elektriciteitsgebruik voor de beluchting laat een dergelijk maandelijks gemiddeld dagprofiel zien (zie Figuur 14). Evenals in het

geval van de APX-prijzen vertonen deze profielen een tweetal pieken gedurende de dag, zij het minder geprononceerd en minder stabiel. De eerste piek treedt gewoonlijk op rond 10-12 uur, terwijl de tweede plaatsvindt rond 20-22 uur.

Figuur 13 - Maandelijks gemiddelde dagprofiel APX-prijzen 2015 (boven) en maandelijks gemiddelde dagprofiel energiegebruik RWZI Gorinchem in 2015 (onder)



6.7.1 Inzetstrategieën day-aheadmarkt

Vraagverschuiving: Door verschuiving van de elektriciteitsvraag naar momenten met lage APX-prijzen kunnen de elektriciteitskosten worden gereduceerd. Kijkende naar de gemiddelde dagprofielen voor zowel de day-aheadprijs als de inzet van de beluchtingsinstallatie, is er ruimte om de afname met enkele uren te verschuiven zodat de piekafname plaatsvindt bij lagere prijzen in de middag en latere avonduren. Dat is haalbaar als:

- DWA-condities gelden;
- het ammoniumgehalte in de beluchtingstank onder de doelwaarde blijft.

In de praktijk komt deze strategie neer op een verschuiving van het gehele dagprofiel voor elektriciteitsverbruik, zo dat afname van de hoge prijsperiodes wordt verschoven naar periodes met lagere prijzen.

Piekreductie: Een andere optie in vraagsturing betreft piekreductie, ofwel het terugdringen van de hoge vraag in perioden dat elektriciteitsprijzen hoog liggen.

Dat kan worden toegepast op uren dat:

- DWA-condities gelden;
- de beluchting is ingeschakeld;
- het nitraatgehalte in de beluchtingstank onder de doelwaarde ligt.

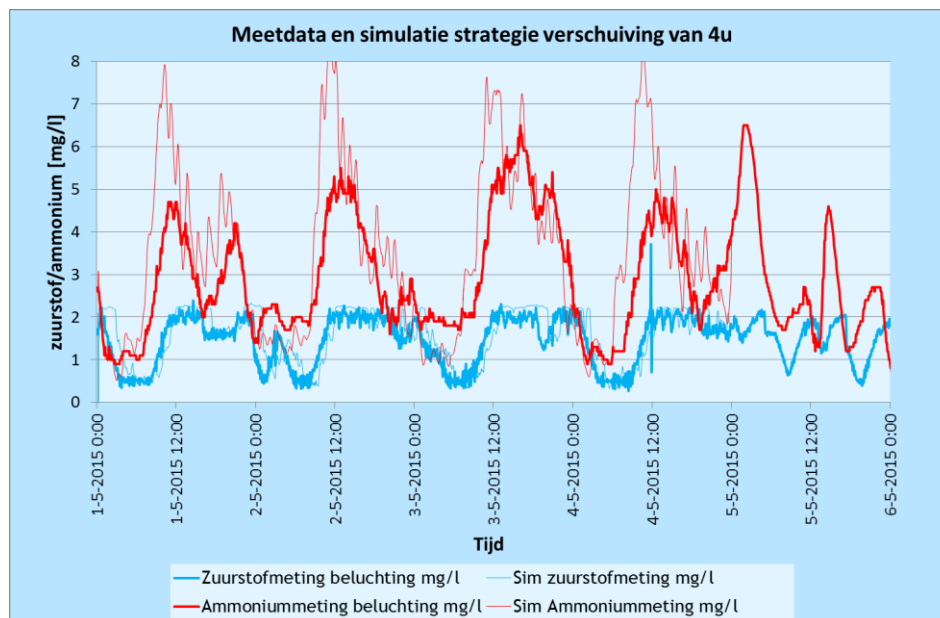
In de praktijk komt deze strategie neer op het sporadisch afschakelen van de beluchtingsinstallatie bij hoge APX-prijzen.

6.8 Waardeverschuiving van 4 uur op de day-aheadmarkt

In Figuur 14 is voor vijf dagen meetdata (dikke lijnen) en simulatie (dunne lijnen) van zowel zuurstofgehalte als ammoniumgehalte in de beluchtingstank weergegeven voor de strategie om de vraag te verschuiven met 4 uur. Uit de figuur is op te maken dat de simulatie van het ammoniumgehalte 's ochtends een sterke piek laat zien. In dit geval zet de nitrificatie in de ochtend te laat in en wordt de ochtendpiek van het ammoniumgehalte in de beluchtingstank onvoldoende gereduceerd.

Bovendien resulteert deze strategie slechts in een zeer beperkte kostenreductie van enkele procenten. Het reguliere afnameprofiel voor beluchting zou tegen day-aheadprijzen € 21.331 per jaar kosten en bij toepassing van de vraagverschuiving € 20.836.

Figuur 14 - Meetdata ammonium- en zuurstofgehalte en simulatie daarvan voor vraagverschuiving van 4 uur



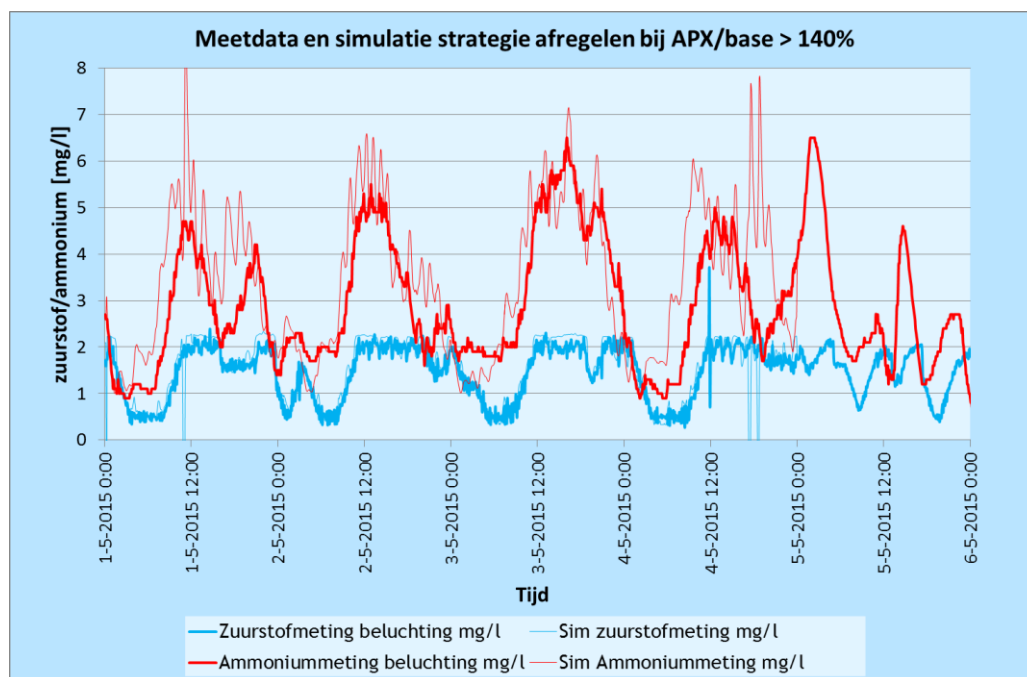
Bron: Meetgegevens RWZI Gorinchem en modelanalyse.

6.9 Waarde piekreductie als APX/base >140%

In geval van piekreductie op uren dat de APX-prijs de gemiddelde dagprijs met 40% overschrijdt, blijkt dat de beluchtingsinstallatie sporadisch voor een uur zou worden afgeschakeld. Als gevolg daarvan kan het ammoniumgehalte in de beluchtingstank scherpe pieken laten zien, en kunnen de grenswaarden kortstondig worden overschreden.

Deze strategie leverde in de evaluatie een gemiddelde besparing van 5%. Het reguliere afnameprofiel voor beluchting zou tegen day-aheadprijzen € 21.331 per jaar kosten en bij toepassing van de piekreductie € 20.311.

Figuur 15 - Meetdata ammonium- en zuurstofgehalte en simulatie daarvan voor vraagbeperking als APX > 140% daggemiddelde APX



Bron: Meetgegevens RWZI Gorinchem en modelanalyse.

6.9.1 Flexibiliteitslevering in de onbalansmarkt

6.10 Randvoorwaarden

Het leveren van flexibiliteit op de onbalansmarkt vereist geen actieve marktdeelname (i.e. inbieden is niet nodig), want dit kan ook op basis van passief regelen (zie Paragraaf 3.5). Evenals bij flexibiliteitslevering in de day-aheadmarkt zal er echter wel dagelijks een energieprogramma moeten worden opgesteld met een planning van afname en invoeding voor de volgende dag. Passief regelen komt dan neer op bewust in onbalans treden tegengesteld aan de systeembalans. Een voorspelling van influentdebiet, ammonium- en nitraatgehalte zal dus ook in dit geval beschikbaar moeten zijn.

Voor levering van flexibiliteit zal bovendien een verwachting voor de systeembalans beschikbaar moeten zijn, zij het dat het hierbij gaat om de verwachting in het kwartier voor levering. Als ook een strategie wordt toegepast waarbij wordt ingespeeld op de hoogte van de onbalansprijs, i.e. op momenten van gunstige prijzen, en zal ook hiervan een voorspelling beschikbaar moeten zijn.

6.11 Uitgangspunten waardering

Naast de uitgangspunten gehanteerd in het geval van de waardering van flexibiliteitslevering op de day-aheadmarkt, zijn bovendien de volgende additionele uitgangspunten van toepassing in dit waarderingsvraagstuk:

- er wordt verondersteld dat de regeltoestand voor het komende kwartier goed ingeschat kan worden;
- er wordt verondersteld dat de onbalansprijs goed ingeschat kan worden.

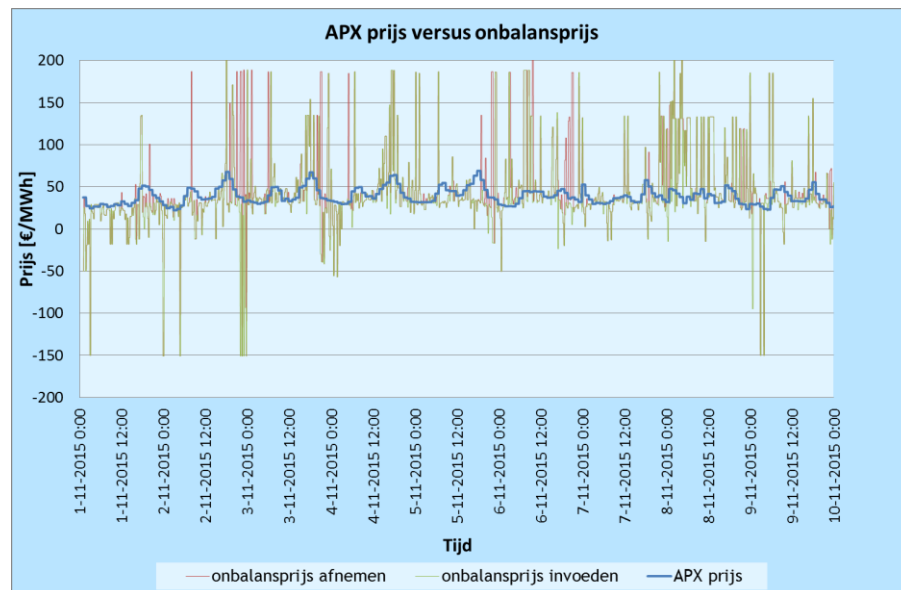
De waardering van flexibiliteit is, onder deze aannames, gelijk aan de kosten van historische inzet tegen APX versus de opbrengsten van een alternatieve inzetstrategie op de onbalansmarkt. De ideale omstandigheden in de uitgangspunten zullen in praktijk niet geheel gerealiseerd worden, wat leidt tot een lagere haalbare waarde.

6.12 Beprijzing onbalansmarkt

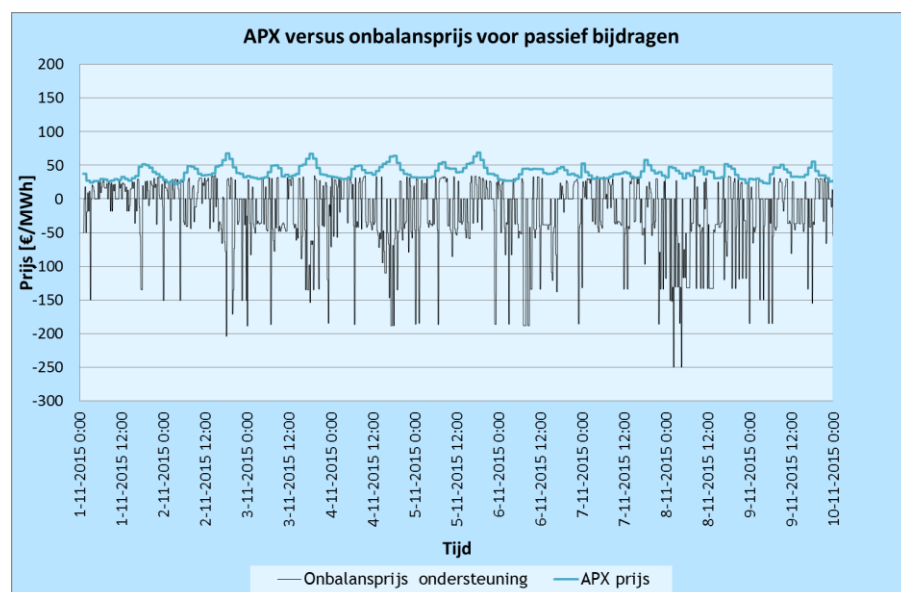
Prijsmechanisme: Beprijzing in het onbalansmechanisme in Nederland kent een duaal systeem met prijzen voor zowel op- en afregelen. Afhankelijk van de regeltoestand van het Nederlandse systeem is een van de twee prijzen van kracht voor zowel de leveranciers van balansvermogen (Balancing Service Party - BSP) als afnemers daarvan (Balancing Responsible Party - BRP). In Figuur 16 zijn de onbalansprijzen voor invoeden en afnemen afgezet tegen de APX-prijzen.

Passief regelen: Deze beprijzing heeft als resultaat dat het loont om 'passief' bij te dragen. Door in onbalans te gaan (af te wijken van het ingediende energieprogramma) in tegengestelde richting als de rest van het systeem, wordt het systeem ontlast en worden voor de BRP-inkomsten gegenereerd die over het algemeen gelijk zijn aan de inkomsten van een actieve bijdrage van een BSP (zie Figuur 18).

Figuur 16 - APX-prijzen versus onbalansprijs in 2015



Figuur 17 - APX-prijzen versus vergoeding voor ondersteuning in 2015



Bron: Data APX en TenneT.

6.12.1 Inzetstrategieën onbalansmarkt

Levering opregelvermogen: De eenvoudigste methode om passief in te spelen op de onbalansmarkt is met opregelvermogen. Opregelvermogen kan echter ook worden geleverd door elektriciteitsverbruik af te regelen. Dit kan als:

- DWA-condities gelden;
- de beluchting reeds is aangeschakeld;
- het ammoniumgehalte in de beluchtingstank onder de doelwaarde ligt.

In de praktijk komt deze strategie neer op het sporadisch afschakelen van de beluchtingsinstallatie tijdens de nitrificatiefase. Dit kan slechts kortstondig en met voldoende tussenpozen, omdat anders het ammoniumgehalte in de beluchtingstank boven de doelwaarde uitstijgt.

Levering op- en afregelvermogen: Passief inspelen op de onbalansmarkt, door zowel levering van af- als opregelvermogen, kan betere resultaten opleveren dan de hiervoor besproken strategie. Voor levering van afregelvermogen moet extra elektriciteit onttrokken worden als:

- DWA-condities gelden;
- een overschot wordt ingevoed op het nationale net;
- de beluchting reeds is afgeschakeld;
- het nitraatgehalte in de beluchtingstank onder de doelwaarde ligt.

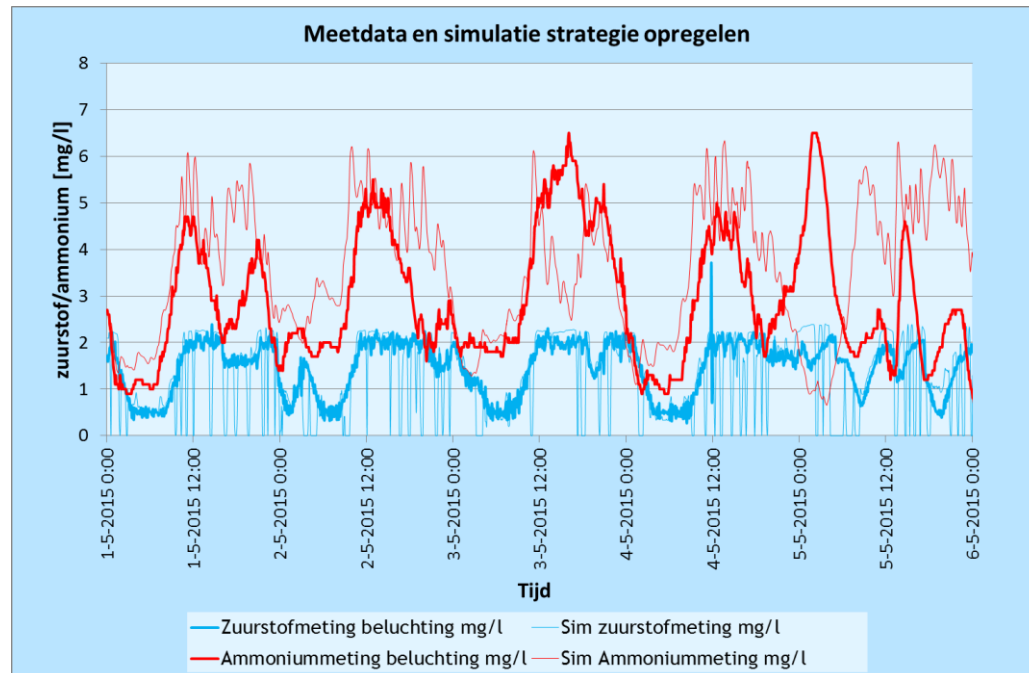
In de praktijk komt deze strategie neer op het sporadisch opschakelen van de beluchtingsinstallatie na de denitrificatiefase, maar voor de volgende nitrificatiefase. De inzet wordt daarmee minder efficiënt en zal dan leiden tot een beperktere bijdrage aan het primaire proces. Dit kan dan ook alleen lonen als de onbalansprijs zeer laag of zelfs negatief is.

6.13 Waarde levering opregelvermogen op de onbalansmarkt

In Figuur 18 wordt voor vijf dagen meeting en simulatie van zowel zuurstofgehalte als ammoniumgehalte in de beluchtingstank weergegeven voor de strategie om enkel op te regelen. Uit Figuur 18 is op te maken dat de beluchtingsinstallatie regelmatig wordt afgeschakeld, om zo passief opregelvermogen te leveren in het onbalansmechanisme.

Deze strategie levert in deze evaluatie een gemiddelde besparing op van ruim 20%, met in de zomermaanden besparingen tot 45% en in de wintermaanden besparingen tot 10%. Het reguliere afnameprofiel voor beluchting zou tegen day-aheadprijzen € 21.331 per jaar kosten en bij levering van opregelvermogen worden de jaarlijkse kosten teruggebracht tot € 16.417.

Figuur 18 - Meetdata ammonium- en zuurstofgehalte en simulatie daarvan voor levering opregelvermogen



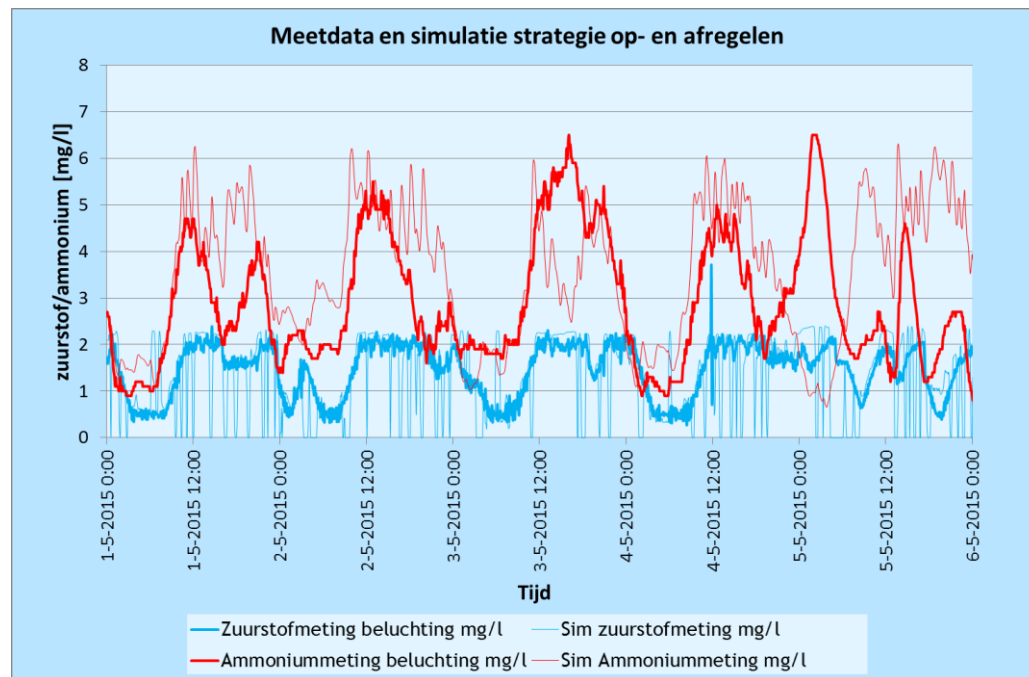
Bron: Meetgegevens RWZI Gorinchem en modelanalyse.

6.14 Waarde levering op- en afregelvermogen op de onbalansmarkt

In Figuur 19 wordt voor vijftal dagen meeting en simulatie van zowel zuurstofgehalte als ammoniumgehalte in de beluchtingstank weergegeven voor de strategie om zowel op als af te regelen. Uit Figuur 19 is op te maken dat, om passief in te spelen op het onbalansmechanisme, de beluchtingsinstallatie regelmatig wordt afgeschakeld maar ook sporadisch wordt opgeschakeld.

Deze strategie leverde in deze evaluatie een gemiddelde besparing van ruim 30%, met in de zomermaanden besparingen tot 55% en in de wintermaanden besparingen tot 25%. Reguliere afname voor beluchting zou tegen day-aheadprijzen € 21.331 per jaar kosten en bij levering van regelvermogen worden de jaarlijkse kosten teruggebracht tot € 15.383.

Figuur 19 - Meetdata ammonium- en zuurstofgehalte en simulatie daarvan voor levering op- en afregelvermogen



Bron: Meetgegevens RWZI Gorinchem en modelanalyse.

6.15 Beschouwing van het potentieel

Resultaten van de modevaluatie laten zien dat er significante kostenbesparingen haalbaar zijn voor flexibiliteitslevering door de RWZI, met name bij inzet op het onbalans-mechanisme. Voor verdere overweging vatten we hieronder de voorwaarden, kansen en risico's samen.

Voorwaarden

Deze inzet zal relatief goed inpasbaar zijn in de huidige aansturingsmethodologie, door inpassing van feed-forwardloops waarmee de voorspelling van de ammonium-concentratie meegenomen kan worden. Daarnaast moet daarvoor de verwachting beschikbaar zijn voor het influentdebiet, en het ammonium- en nitraatgehalte.

Voor levering van flexibiliteit op de day-aheadmarkt zullen verder APX-prijsvoorspellingen beschikbaar moeten zijn. In geval van regelvermogen zal een voorspelling van de system-balans beschikbaar moeten zijn, zij het dat het hierbij gaat om de verwachting in een kwartier voor levering. Dergelijke voorspellingen worden door veel marktdeelnemers opgesteld en zijn ook commercieel verkrijgbaar.

Kansen

Het perspectief op significante kostenbesparing vormt het belangrijkste voordeel van aanpassing van inzetstrategieën. Daarmee wordt bovendien flexibiliteit geleverd waar in toenemende mate behoefte aan is, door invoeding van zon en wind. Zo wordt dus ook een bijdrage geleverd aan de integratie van deze minder stuurbare hernieuwbare bronnen.

Kosten en risico's

Aan de ontwikkeling van alternatieve inzetstrategieën zijn natuurlijk ook kosten en risico's verbonden. Kosten zullen betrekking hebben op ontwikkeling van feed-forward-algoritme en opzet van een forecastingmethodologie voor influent en marktprijzen. Daarnaast kan slijtage optreden door toenemende op- en afschakeling van de beluchting.

De operationele risico's zullen niet noodzakelijkerwijs toenemen, aangezien de aansturing nu 'vooruitziend' wordt, en bovendien middels 'overrides' vanuit de Regie Kamer kan worden geborgd.

6.16 Conclusies

Kostenbesparing day-aheadmarkt

Resultaten voor wat betreft vraagverschuiving en piekreductie ten behoeve van de flexibiliteitslevering in de day-aheadmarkt op basis van 2015 laten een beperkt potentieel tot kostenbesparing zien.

In het eerste geval gaat het slechts om enkele procenten, terwijl het in het tweede geval op circa 5% zal uitkomen. Op de ingeschatte jaarlijkse commoditykosten voor de waterzuivering bij WSRL van € 1,2 mln. (zie Hoofdstuk 2) is dit een bescheiden totale opbrengst. Daarbij moet opgemerkt worden dat de day-aheadprijzen in 2015 vrij vlak waren vanwege de vooralsnog beperkte bijdrage van variabele hernieuwbare energiebronnen aan het Nederlandse systeem en de ruime beschikbaarheid van productiecapaciteit. Tegen 2020 en daarna mag verwacht worden dat sterke toename van elektriciteitsproductie uit wind en krappere marktomstandigheden zullen leiden tot scherpere prijsverschillen, met nu en dan zeer hoge piekprijzen.

Kostenbesparing onbalansmarkt

Resultaten voor opschakelen of op- en afschakelen suggereren een significant potentieel tot flexibiliteitslevering in de markt van 2015. Ondanks de bescheiden impact van zon en wind in het Nederlandse systeem, en de ruime mate van beschikbaarheid van productiemiddelen, blijkt deze markt reeds potentieel te bieden voor flexibiliteitslevering, waarbij kostenreductie kan oplopen tot 20 à 30%. In dit geval zijn de jaarlijkse kostenreducties de commoditykosten voor waterzuivering bij WSRL significant te noemen.

Aangezien de groeiende bijdrage van zon en wind in 2020 en daarna zal bijdragen aan de onzekerheid in de day-aheadplanning, en aangezien bovendien verwacht mag worden dat de trend van afnemende overcapaciteit op de elektriciteitsmarkt zal doorzetten, lijkt het waarschijnlijk dat onbalansprijzen in deze periode zullen toenemen.

7 Case-analyse nitrificatie en denitrificatie in batch

7.1 Inleiding

Resultaten gepresenteerd in het voorgaande hoofdstuk laten zien dat voor het WSRL significante kostenbesparing op elektriciteitsgebruik haalbaar kan zijn, met name als het gaat om flexibele inzet van de beluchting. Ook sluit verdere verkenning en toepassing hiervan goed aan bij de huidige inrichting van de processen bij het waterschap. Belangrijkste benodigde wijzingen zijn de inzetstrategie voor beluchting in zuivering die zullen vragen om aanvullende forecastingactiviteiten met betrekking tot neerslag, elektriciteitsprijzen en de belasting van de RWZI's (ammoniumconcentratie) en verdere aanvulling van de bestaande toepassing van PID-controllers met behulp van feed forward loops.

In dit laatste deel van het project wordt een overzicht gepresenteerd van analyse van eventuele mogelijkheden tot energiebesparing. Aanknopingspunten voor energiebesparing liggen bij de beluchting op de RWZI (zie ook Paragraaf 5.2, 'Nitrificatie en denitrificatie in batch').

De beluchting op een RWZI functioneert veelal niet in het optimale werkpunt, i.e. het werkpunt met de hoogste efficiëntie. Dit optimale werkpunt brengt een bepaalde verwerkingssnelheid met zich mee en sluit dus aan bij een specifieke aanvoer van influent.

De beluchting wordt echter aangepast op de variabele aanvoer van influent.

Bij DWA-condities, die goed te voorspellen zijn, is de samenstelling van het influent relatief constant en kan de beluchting mogelijk optimaler worden ingericht als invoer naar de beluchting kan worden gedoseerd. Afhankelijk van de precieze inrichting van dit proces is het hiervoor mogelijk nodig om de DWA-inluent te bufferen.

De besluitvorming rond ontwikkeling van een pilotproject is vormgegeven door afstemming met een paralleltraject van het waterschap Rivierenland in een samenwerking met verscheidene andere waterschappen, om zo synergie tussen beide projecten te bereiken. Primaire inzet daarbij is de aanvullende case-analyse voor mogelijkheden voor energiebesparing, aangevuld met eventueel mogelijkheden voor kostenbesparing door flexibele beluchting. In dit hoofdstuk wordt een kort overzicht van de resultaten gepresenteerd (zie ook (STOWA, 2018)).

7.2 Rationale voor deze case

- voor flexibilisering in peilbeheer zijn al meerdere studies uitgevoerd, en lopen al projecten (samen met Eneco) en pilots bij onder andere HHNK;
- hoog energiegebruik in de beluchting, dus veel potentieel aanwezig;
- naast flexibiliteit biedt deze case ook zicht op energiebesparing, wat goed aansluit bij de doelstellingen van de waterschappen.

Figuur 20 - Luchtfoto RWZI Katwoude



Bron: Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

Aanpak

Deze waardering van besparingsopties is uitgevoerd in drie stappen:

1. caseselectie (selectie van een RWZI);
2. karakterisering energie-efficiënte zuurstofinbreng;
3. scenarioanalyse efficiëntieverbetering.

1 Caseselectie

Binnen de context van het project ‘flexibel energiemanagement beluchting RWZI’s’ heeft Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier de RWZI Katwoude geselecteerd als mogelijke locatie voor toekomstige praktijktesten. Deze RWZI is daarom als referentie gehanteerd voor de verkennende analyse.

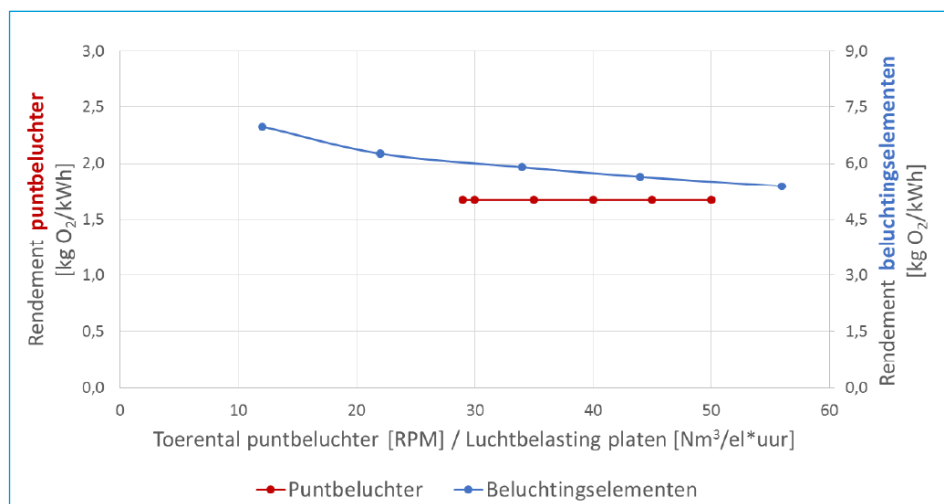
2 Energie-efficiëntie zuurstofinbreng RWZI’s

De zuurstofbehoefte in de beluchtingstank van de RWZI kan worden beïnvloed door egalisatie/buffering van de aanvoer, aanpassing van de zuurstofsetpoints en intermitterende beluchting (aan-uit bedrijven). In deze case-analyse is de vraag of hiermee energie kan worden bespaard. Gewoonlijk is zuurstofregeling bedoeld voor een optimale omzetting en zo gunstig mogelijke N-totaal in het effluent. In plaats van de ‘zuurstofregeling’ kan ook gedacht worden aan een ‘energieregeling’, waarbij juist een minimaal energiegebruik maatgevend is. Toepassing van een dergelijke energieregeling is alleen toepasbaar bij een DWA-situatie, bij een regenweer aanvoer (RWA) vervalt de energieregeling.

3 Energie-efficiënte beluchting

In Figuur 21 is de energie-efficiëntie voor puntbeluchting en bellenbeluchting weergegeven. Puntbeluchters kunnen door het toerental en bijbehorende energiegebruik te verhogen meer zuurstof inbrengen (kg O₂/uur). Netto neemt de efficiëntie van de zuurstofinbreng dan licht toe. Bij de modellering is voor de RWZI Katwoude een vast inbrengrendement aangehouden van 1,67 kg O₂/kWh, op basis van specificatie beluchting RWZI Katwoude (de relatie met het toerental is niet bekend). Bij de scenario's met bellenbeluchtingselementen is voor een vast aantal elementen gekozen en deze zijn alle in bedrijf (geen sturing van pakketten van beluchtingselementen).

Figuur 21 - Energie-efficiëntie zuurstofinbreng punt- en bellenbeluchting (kg O₂/kWh)



In geval van bellenbeluchtingselementen (platen) is op basis van leveranciersinformatie de efficiëntie berekend bij verschillende belastingen. Door de luchthoeveelheid die via de platenbeluchtingselementen wordt ingebracht te verhogen, neemt de zuurstofinbreng (kg O₂/uur) toe. Bij een toenemende luchtbelasting zal echter de belddiameter toenemen en verslechtert het inbrengrendement, evenals de energie-efficiëntie van de zuurstofinbreng.

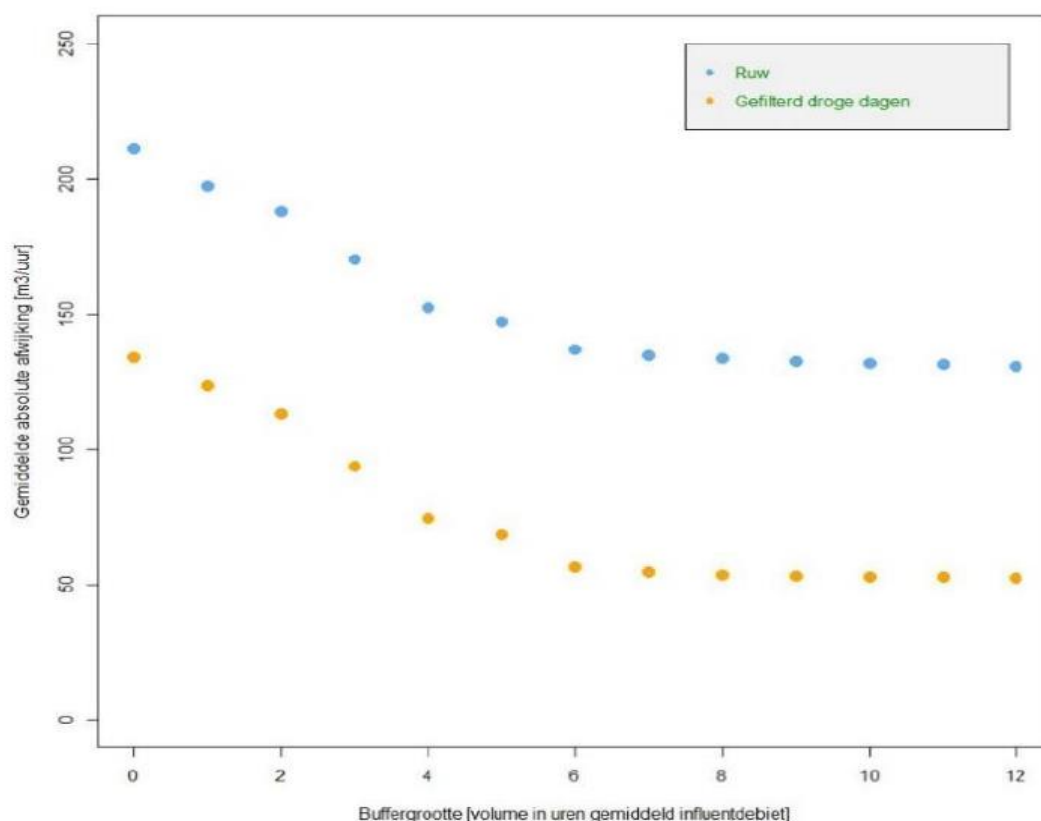
7.3 Sturing DWA-debiet

Om de beluchting te optimaliseren door deze zo veel mogelijk in zijn optimale werkpunt te laten werken is goede voorspelling van aanvoer nodig en kan sturing van het debiet bijdragen aan gunstige (stabiele) operationele condities. Het egaliseren/afvlakken van de DWA-aanvoer heeft dan ook een gunstige invloed op het energiegebruik. Dergelijke aansturing kan worden gebaseerd op feedback control, feed forward control, of Model Predictive Control (MPC). In geval van MPC wordt het complete systeemgedrag gemodelleerd om één of meer doelen te handhaven op basis van optimalisatie. Voor dit onderzoek is MPC toegepast voor modellering van aansturing van het debiet op de RWZI Katwoude.

Daarnaast vergt aansturing van het debiet buffercapaciteit, bijvoorbeeld een (dedicated) buffer of berging in het riool. Voor gelijkmatige aanvoer van influent naar de RWZI moet de buffer gedimensioneerd worden op de gemiddelde DWA-aanvoer en de variabiliteit daarvan. De optimale buffercapaciteit voor Katwoude ligt op zes uur, wat neerkomt op 2.400 m³ aan capaciteit.

Dit kan worden opgemaakt uit Figuur 22. De horizontale as in de figuur geeft het buffervolume in termen van uren gemiddeld influent debiet die kunnen worden gebufferd. Het gemiddelde influent debiet voor Katwoude is 400 m^3 per uur en dus voor elk extra uur aan buffervolume moet de buffer 400 m^3 extra kunnen bergen. De verticale as laat de gemiddelde absolute afwijking in m^3/uur ten opzichte van het gemiddelde debiet zien. Voor een enkel uur varieert dit dus het sterkst maar bij een toenemend aantal achtereenvolgende uren vakt deze gemiddelde afwijking af totdat het buffervolume zes achtereenvolgende uren kan omvatten. Bij een hoger buffervolume treedt er geen verdere afvlakking op.

Figuur 22 - De resultaten van meerdere modelruns om de ideale buffergrootte te bepalen om de aanvoer naar de RWZI zo stabiel mogelijk te krijgen met MPC-sturing



7.4 Scenarioanalyse efficiëntieverbetering

Voor de analyse van haalbare energiebesparing zijn vijftien verschillende scenario's beschouwd voor energie-efficiënte aansturing van de RWZI Katwoude. Die resulteren, op enkele na, allemaal in gelijkblijvende effluentkwaliteit. De scenario's onderscheiden zich op de volgende dimensies;

- puntbeluchting vs. bellenbeluchting;
- standaard DWA-aanvoer vs. afgevlakt DWA-aanvoer;
- vaste vs. variabele zuurstofstof setpoints:
 - vaste setpoints $0,5/1,0/2,0 \text{ mg O}_2/\text{l}$;
 - dag ($0,5 \text{ mg O}_2/\text{l}$) - nacht ($2,0 \text{ mg O}_2/\text{l}$) variatie;
 - nacht ($0,5 \text{ mg O}_2/\text{l}$) - dag ($2,0 \text{ mg O}_2/\text{l}$) variatie;
 - uurlijkse variatie van $0,5$ tot $2,0 \text{ mg O}_2/\text{l}$.

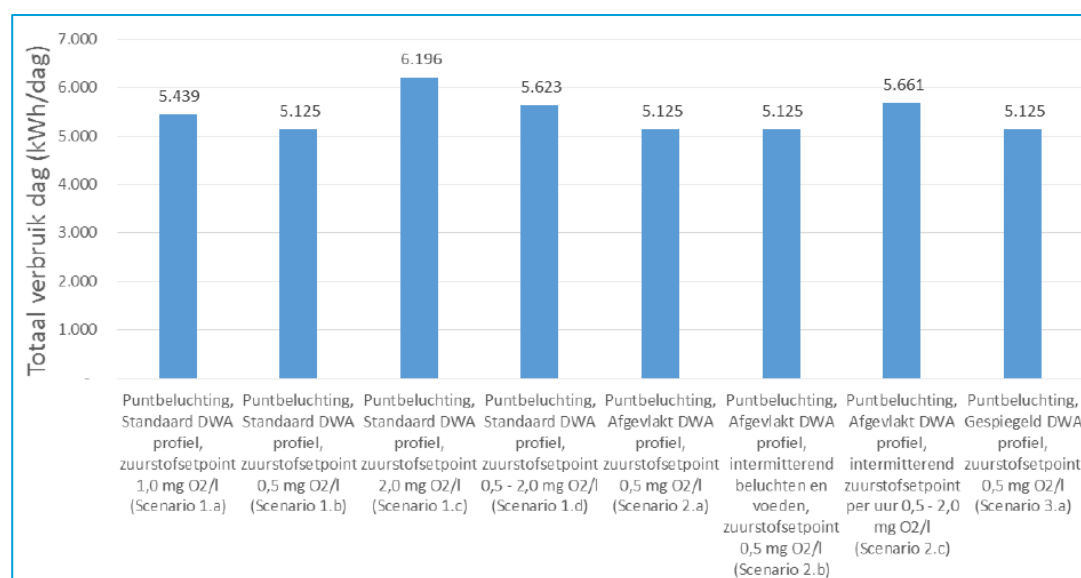
7.5 Resultaten voor puntbeluchting

De resultaten voor de doorrekening van de cases met puntbeluchting zijn weergegeven in Figuur 23. Hieruit blijkt dat in dit geval:

- energetische verschillen tussen de scenario's met zuurstofconcentratie van 0,5 mg O₂/l (1.b, 2.a, 2.b en 3.a) zijn beperkt;
- hogere zuurstofsetpoints gedurende een dagdeel of de gehele dag resulteren in een hoger energiegebruik.

Over de gehele linie zijn de verschillen ongeveer 20%, waarbij met name lage zuurstofsetpoints van 0,5 mg O₂/l tot lagere energiegebruiken leiden. Vergeleken met flexibel bedrijf gaat het om 10% reductie. Afvlakking van DWA-aanvoer lijkt minder relevant voor efficiëntieverbetering.

Figuur 23 - Energiegebruik per dag (kWh/dag) voor puntbeluchting



7.6 Resultaten voor bellenbeluchting

De resultaten voor de doorrekening van de cases met bellenbeluchting zijn weergegeven in Figuur 24. Hieruit blijkt dat ook in dit geval:

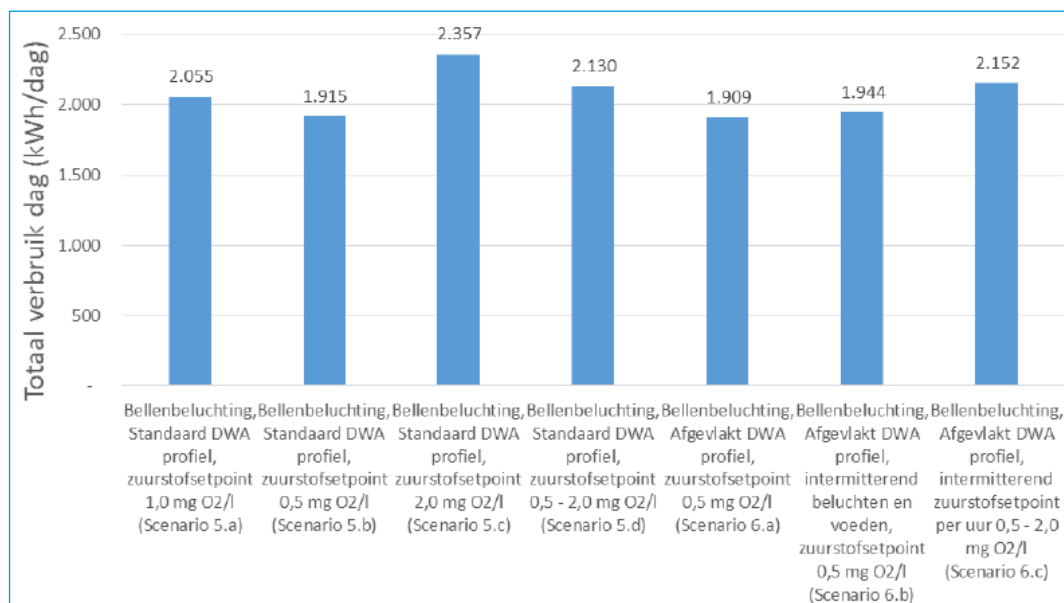
- energetische verschillen tussen de scenario's met zuurstofconcentratie van 0,5 mg O₂/l (1.b, 2.a, 2.b en 3.a) zijn beperkt;
- hogere zuurstofsetpoints gedurende een dagdeel of de gehele dag resulteren in een hoger energiegebruik.

Over de gehele linie zijn de verschillen ongeveer 25%, waarbij met name lage zuurstofsetpoints van 0,5 mg O₂/l tot lagere energiegebruiken leiden. Vergeleken met flexibel bedrijf gaat ook hier om 10% reductie in energiegebruik.

Het energiegebruik ligt significant lager dan in geval van bellenbeluchting, maar puntbeluchters verzorgen ook voortstuwing van het water. De voortstuwing (à 3 W/m³) van het water moet voor een goede vergelijking tussen de twee beluchtingssystemen in de beschouwing meegenomen worden.

Anderzijds wordt de zuurstofoverdracht belemmerd door opgeloste stoffen (oppervlakte actieve stoffen) in het medium, zodat vuil water een hogere zuurstofinbreng vergt dan rein water om eenzelfde zuurstofconcentratie te bereiken. Het verschil wordt gekarakteriseerd met de alfafactor. Voor een puntbeluchter wordt doorgaans een alfafactor van 0,9 aangehouden, terwijl dat bij bellenbeluchting 0,7 is. Hier is geen rekening mee gehouden in de analyse.

Figuur 24 - Energiegebruik per dag (kWh/dag) voor bellenbeluchting



7.7 Conclusie

In de analyse zijn verschillende scenario's voor beluchting geëvalueerd om belangrijke drivers voor energie-efficiëntie in beeld te krijgen. Met name lage zuurstofsetpoints van 0,5 mg O₂/l leiden tot lagere energiegebruiken. Verbetering van de energie-efficiëntie liggen in de orde van 10% vergeleken met variabel bedrijf van de beluchting. Afvlakking van DWA-aanvoer blijkt minder relevant voor verbetering van de energie-efficiëntie.

De analyse laat daarmee zien dat er mogelijkheden zijn voor verbetering van de energie-efficiëntie om zo een kostenreductie mogelijk te maken. De prijseffecten zijn in de analyse niet verder uitgewerkt, maar zijn op basis van interviews met energieleveranciers geschat op een vergelijkbare orde van grootte als de haalbare energiebesparing. Op grond van deze voorlopige conclusies is afgezien van verdere validatie van de mogelijkheden voor energiebesparing in de vorm van een pilot.

8 Conclusie en vervolgstappen

8.1 Conclusie

In deze rapportage wordt verkend in hoeverre het binnen de context van de waterschappen tot te mogelijkheden behoort en wenselijk is dat er wordt ingezet op flexibilisering van het elektriciteitsgebruik. Zo zouden kosten kunnen worden bespaard en tegelijkertijd een bijdrage kunnen worden geleverd aan de inpassing van hernieuwbare energie in het Nederlandse energiesysteem. Door juist op momenten dat er veel duurzame energie beschikbaar is (als het hard waait en/of op zonnige dagen) elektriciteit te gebruiken kan zo minder goed stuurbare elektriciteitsproductie (zon en wind) beter worden ingepast in het elektriciteitssysteem en gebruiken de waterschappen bovendien meer hernieuwbare elektriciteit.

Voor het geval van het waterschap Rivierenland (WSRL) ligt er met name potentieel in het domein van zuivering, en in mindere mate in peilbeheer. Ruim 80% van het elektriciteitsverbruik van het waterschap heeft betrekking op zuivering. Bovendien biedt met name de beluchting goede mogelijkheden om flexibel gestuurd te worden, in de zin dat het elektriciteitsafnameprofiel wordt gekenmerkt door grote fluctuaties. Dat wil zeggen dat er in principe goede mogelijkheden zijn om de vraag te verschuiven naar gunstige momenten, met andere woorden: momenten met een hoog aanbod van hernieuwbare energie en dus lagere prijzen. Ook is de monitoring en aansturing van het watersysteem bij WSRL recentelijk gecentraliseerd en geautomatiseerd, zodat nieuwe aansturingstrategieën goed geïmplementeerd en geëvalueerd kunnen worden. Bovendien is aansturing van verschillende rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) vrijwel onafhankelijk, zodat ontwikkeling en evaluatie van nieuwe strategieën met een beperkt risico kunnen worden getest. In dit project is dan ook gekozen voor verdere analyse van de mogelijkheden tot flexibilisering binnen de waterketen.

De optie met veruit het grootste potentieel daarbij wordt geboden door flexibilisering van de beluchting. Zo'n 60% van het elektriciteitsgebruik op RWZI's hangt samen met inzet voor beluchting en deze fluctueert sterk over de loop van de dag vanwege de aard van het proces. Eerste inzichten op basis van de simulaties wijzen op een bescheiden potentieel voor flexibiliteitslevering op de huidige day-aheadmarkt voor elektriciteit, waarbij kostenbesparingen tot 5% gerealiseerd lijken te kunnen worden. In het geval van de onbalansmarkt ligt dit potentieel significant hoger. Dit is vanwege de extremere prijsstelling, maar ook omdat de hoge prijsvolatiliteit (snelle wisselingen met korte intervallen) op deze markt te exploiteren is met bescheiden impact op het zuiveringsproces. In dit geval lijken besparingen op te kunnen lopen tot 20 tot 30% per jaar. Gegeven de uitgaven van € 1,2 mln. lijkt hier een tamelijk significante jaarlijkse besparing te kunnen worden gerealiseerd.

Aan de ontwikkeling van alternatieve inzetstrategieën zijn wel kosten en risico's verbonden. Kosten zullen betrekking hebben op ontwikkeling van feed-forward-algoritme en opzet van een forecasting-methodologie voor influent en marktprijzen. Daarnaast kan slijtage optreden door toenemende op- en afschakeling van de beluchting. De operationele risico's zullen mogelijk wel toenemen. De operationele vereisten kunnen vanuit de Regie Kamer echter geborgd worden, door monitoring en interventies (i.e. overrides) in geval er overschrijdingen optreden.

8.2 Stappenplan vervolgstappen

Verdere implementatie vergt een aantal stappen:

- goede voorspelling van neerslag;
- voorspelling van de onbalansprijs/regeltoestand van de systeembalans;
- opzet feed forwardregelingen voor de controllers van de beluchting.

Verdere uitwerking en toetsing vraagt om een pilot in een van de kleinere RWZI's, ontwikkeling van de benodigde monitoring en aansturingsmethodiek. In geval de pilot succesvol is kan uitrol over meerdere RWZI's worden ingezet.

Nawoord en vooruitblik

Nadere analyse van de activiteiten van het WSRL in zuivering en peilbeheer laat zien dat er significant potentieel voor flexibilisering is binnen deze activiteiten.

Resultaten gepresenteerd in deze rapportage laten zien dat voor het WSRL significante kostenbesparing op elektriciteitsgebruik haalbaar kan zijn, met name als het gaat om flexibele inzet van de beluchting. Ook sluit verdere verkenning en toepassing hiervan goed aan bij de huidige inrichting van de processen bij het waterschap. Op zichzelf heeft dit geen directe gevolgen voor het energiegebruik (in feite gaat het om verschuiving van vraagpatronen). Wel heeft verdere analyse van het WSRL laten zien dat energiegebruik gereduceerd kan worden door juist te sturen op afvlakking van de inzet van beluchting met lage setpoints voor zuurstofconcentratie.

Belangrijkste wijzingen betreffen de inzetstrategie voor beluchting in zuivering die zullen vragen om aanvullende forecastingactiviteiten met betrekking tot neerslag, elektriciteitsprijzen en de belasting van de RWZI's (ammoniumconcentratie) en verdere aanvulling van de bestaande toepassing van PID-controllers met behulp van feed forward loops.

Op basis van dit project heeft het waterschap erop ingezet om aangepaste aansturing vanuit de Regie Kamer te kunnen faciliteren. De daadwerkelijke validatie van de projectresultaten zal dan gevalideerd kunnen worden in de vorm van een pilot. Tegelijkertijd is binnen het waterschap ingezet op flexibele inzet van peilbeheer, met kostenbesparingen in de orde van 10 tot 15%.

9 Literatuur

ACM, 2014. *Liquiditeitsrapport 2014 : Groothandelsmarkten gas en elektriciteit*, Den Haag: Autoriteit Consument & Markt (ACM).

Arcadis, 2014. *Klimaatmonitor Waterschappen 2014*. Unie van Waterschappen (UvW): Den Haag.

Berenschot, 2017. *Juridische handreiking : Duurzame Energie en Grondstoffen, waterschappen*, Utrecht: Berenschot Groep B.V..

Ecofys, 2014. *Energievisie Waterschap Rivierenland..* sl:WSRL.

Rijksoverheid, 1991. *Wet van 6 juni 1991, houdende regels met betrekking tot de waterschappen*, Den Haag: Rijksoverheid.

Rijksoverheid, 2009. *Wet van 29 januari 2009, houdende regels met betrekking tot het beheer en gebruik van watersystemen (Waterwet)*, Den Haag: Rijksoverheid.

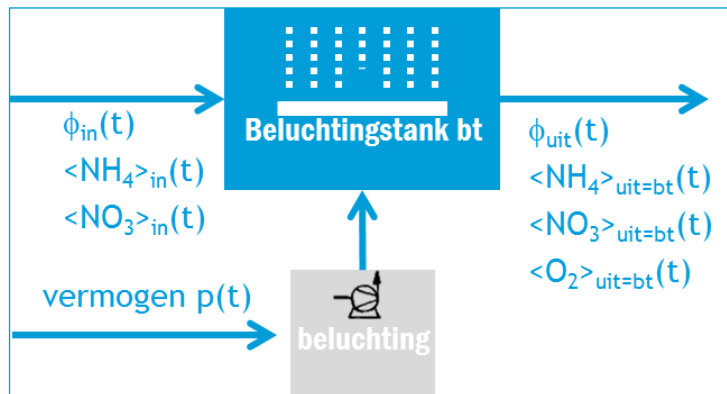
STOWA, 2018. *De (on)mogelijkheden van flexibel energiemangement op Riolerwaterzuiveringsinrichtingen*, Amersfoort: STOWA.

WSRL, 2015. *Jaaroverzicht Zuiveringstechnische Werken 2014*. Waterschap Rivierenland (WSRL): Tiel.

A Procesmodel beluchtingstank

In Figuur 25 is de flowdiagram van het procesmodel van de beluchtingstank gegeven.

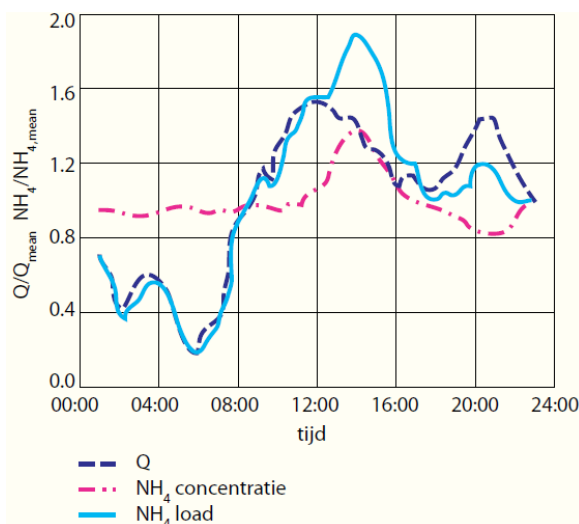
Figuur 25 - Flowdiagram procesmodel van de beluchtingstank



Voor het procesmodel van de beluchtingstank wordt debiet en NH_4 -vracht gebaseerd op vereenvoudigende aannamen:

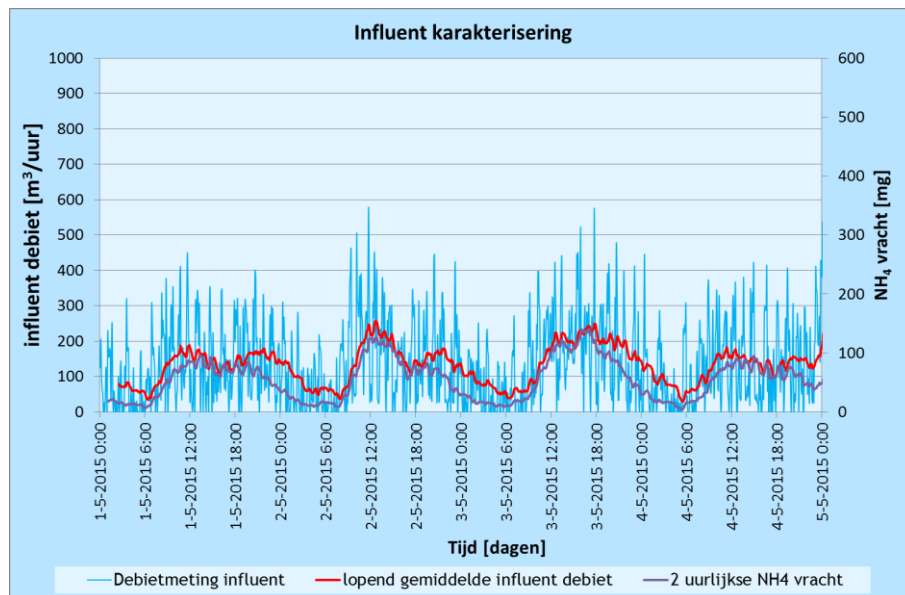
- **Debiet:** Het influentdebiet wordt als maat voor het debiet in de beluchtingstank gehanteerd. Het influentdebiet vertoont relatief instabiele patronen, zodat in het procesmodel wordt gemiddeld over langere perioden.
- **NH_4 -vracht:** Er zijn geen meetdata beschikbaar voor het influent NH_4 -gehalte. Er wordt daarom gebruik gemaakt van een profiel dat oploopt in de vroege ochtend tot rond het middaguur.

Figuur 26 - Typisch profiel huishoudelijk afvalwater debiet en ammoniumgehalte



Bron: Afvalwaterbehandeling, TU Delft.

Figuur 27 - Influentdebietprofiel op uurbasis, op dagbasis en de 2-uurlijkse NH₄-vracht



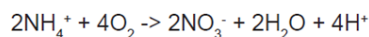
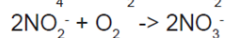
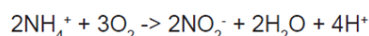
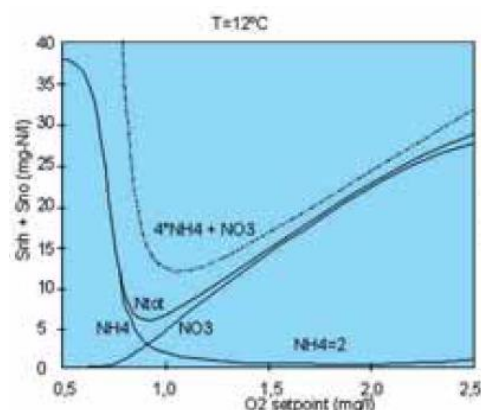
Bron: Data RWZI Gorinchem.

Omzettingsreacties

Nitrificatie en denitrificatie in het procesmodel worden gestuurd door middel van het zuurstofgehalte in de beluchtingstank:

- **Nitrificatie:** Er treedt geen nitrificatie op bij een zuurstofgehalte van circa 0,5-1 mg/l of lager. Voor het hogere waarden wordt een eerste ordereactie verondersteld, geparameteriseerd op basis van meetdata.
- **Denitrificatie:** Dit treedt op bij een zuurstofgehalte lager dan 1,5-2 mg/l, geparameteriseerd op basis van meetdata. Bij hogere waarden treedt geen denitrificatie meer op.

Figuur 28 - Relatie N_{tot} en het zuurstofsetpoint in een ideale statische situatie in een carrouselstelsel



Bron: Modelgebaseerde Besturing RWZI Westpoort, B&W.