

BTO 2016.205(s) | Mei 2016

BTO rapport

Prestatie-indicatoren
voor het functioneren
van
drinkwaterbereidings-
installaties

BTO

Prestatie-indicatoren voor het functioneren van drinkwaterbereidingsinstallaties

BTO 2016.205(s) | April 2016

Opdrachtnummer

400554-134

Projectmanager

drs. P.G Slaats

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Assetmanagement

Kwaliteitsborger(s)

dr. ir. E.R. Cornelissen

Auteur(s)

dr. ir. B.A. Wols, dr. ir. P.S. Hofst, ir. L. Palmen

Verzonden aan

Dit rapport is selectief verspreid onder medewerkers van BTO-participanten en is verder niet openbaar.

Jaar van publicatie
2016

Meer informatie

dr. ir. Bas Wols
T 030 606 9604
E bas.wols@kwrwater.nl

Keywords

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



BTO 2016.205(s) | Mei 2016 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Samenvatting

Waterbedrijven willen hun drinkwaterbereidingsinstallaties op de beste manier kunnen bedrijven en beheren. Dit komt neer op het vinden van een optimale balans tussen prestatie, risico en kosten (assetmanagement). Een belangrijk onderdeel hiervan is het op een goede manier definiëren en bepalen van de prestatie van een zuiveringsinstallatie. Op dit moment ontbreekt echter een methodiek die het integrale functioneren van een drinkwaterbereidingsinstallatie kwantificeert aan de hand van een beperkt aantal (<10) en breed toepasbare prestatie-indicatoren. Deze prestatie-indicatoren worden idealiter gekwantificeerd met behulp van reeds gemonitorde parameters, eventueel aangevuld met ontbrekende meetgegevens, en bevatten informatie op een geaggregeerd niveau.

Het doel van het project is om te onderzoeken hoe de gehele drinkwaterbereidingsinstallatie beschreven kan worden aan de hand van een beperkt aantal kenmerken (systeembeschrijving), en het functioneren van die installatie vervolgens te kwantificeren op basis van een beperkt aantal representatieve prestatie-indicatoren. De prestatie-indicatoren dienen i) toepasbaar te zijn bij een groot deel van de Nederlandse drinkwaterproductielocaties (representatief), ii) meetbaar en kwantificeerbaar te zijn en iii) beïnvloedbaar te zijn zodat sturing mogelijk is. Het project bestaat uit twee fasen. Fase 1 is gericht op het inventariseren en vervolgens selecteren van een beperkt aantal representatieve prestatie-indicatoren die het functioneren van een drinkwaterbereidingsinstallatie beschrijven. In Fase 2 kan dit uitgewerkt worden in een methodiek en toegepast worden voor een aantal drinkwaterproductielocaties. Dit rapport beschrijft de resultaten van Fase 1.

In de literatuur is al een groot aantal prestatie-indicatoren (PI's) opgesteld. De meeste water gerelateerde indicatoren zijn gebaseerd op de methodiek van IWA, soms aangevuld met een aantal specifieke PI's voor de drinkwater- of afvalwaterzuivering. Daarnaast zijn bij een aantal waterbedrijven en chemische/industriële bedrijven interviews afgenomen over het gebruik van prestatie-indicatoren in de praktijk. Op basis van deze interviews, het literatuuronderzoek en een door KWR opgezette beschrijving van het drinkwatersysteem, is er een set van prestatie-indicatoren samengesteld. Deze PI's zijn opgesteld voor verschillende niveaus (van operators tot strategisch management en klant) in de organisatie. De focus van het onderzoek lag op de (verbetering van) waterkwaliteit tijdens de drinkwaterproductie. Daarom zijn er indicatoren opgesteld die de (verandering van) waterkwaliteit weergeven na de zuivering. Hierbij zijn de verschillende waterkwaliteitsparameters genormaliseerd en vervolgens geaggregeerd. Deze normalisatie gebeurt aan de hand van een door de bedrijven op te stellen bedrijfsnorm, zodat een index-getal ontstaat dat aangeeft of een waterkwaliteitsparameter boven, onder of op de norm zit. Aggregatie gebeurt door het gewogen gemiddelde van alle parameters of van een groep van parameters te nemen. De weegfactoren kunnen door de waterbedrijven zelf aangegeven worden. Omdat een waterbedrijf zelf haar normen en weegfactoren op kan geven, hebben de bedrijven zelf controle op de bepaling van de PI. Bovendien kan met deze methode per zuiveringsstap een aparte PI gedefinieerd worden door alleen de waterkwaliteitsparameters mee te nemen die relevant zijn bij een bepaalde zuiveringsstap. Als voorbeeld is de methodiek aan de hand van REWAB gegevens uitgewerkt voor een aantal productielocaties. Hierin is te zien dat de uitgebreide productielocaties die vanwege de ruwwaterkwaliteit een grotere inspanning vragen ook een grotere verandering in de waterkwaliteits-PI's geven. Tenslotte zijn aanbevelingen gedaan hoe de waterkwaliteit en waterkwantiteit PI's te aggregeren op ruimtelijk niveau (van drinkwaterbereidingsinstallatie tot voorzieningsgebied).

Met het overzicht van de geselecteerde PI's kan een goed beeld verkregen worden van de prestaties van een zuiveringsinstallatie. Omdat de primaire functie van een zuiveringsinstallatie is om de waterkwaliteit van een hoeveelheid water te verbeteren, kan de waterkwaliteitsgerelateerde prestatie van de zuiveringsinstallatie daarom het beste gemeten worden als de verandering in waterkwaliteit. In het overzicht zijn daarnaast prestaties opgenomen op het gebied van kwantiteit (levering), kosten, onderhoud, milieu, personeel en gebruik hulpstoffen. Dit is gedaan voor verschillende aggregatieniveaus in de organisatie, waarin het perspectief van de klant als hoogste niveau is gedefinieerd. Vanuit het perspectief van de klant is een

gecombineerde parameter waar het voldoen aan kwaliteit en kwantiteit in opgenomen wordt het meest van belang, hiervoor kan analoog aan de (ondermaatse leveringsminuten) OLM een parameter voor beschikbaarheid (kwaliteit en kwantiteit) gedefinieerd worden.

In een volgende fase kunnen de voorgestelde PI's verder uitgewerkt worden in een methodiek en kunnen de PI's getoetst worden in de praktijk.

Inhoud

Samenvatting	2
Inhoud	4
1 Inleiding	6
1.1 Aanleiding	6
1.2 Doel	6
1.3 Leeswijzer	7
2 Literatuuronderzoek prestatie-indicatoren voor de zuivering	8
2.1 Nederlandse situatie	8
2.2 Benchmark van waterkwaliteit	9
2.3 Studies in het buitenland	9
2.4 PI's op het gebied van afvalwaterbehandeling	12
2.5 Conclusies	12
3 Systeembeschrijving	13
3.1 Systeembeschrijving drinkwaterproductie	13
3.2 Actoren PI voor de zuivering	14
4 Interviews over het gebruik van prestatie-indicatoren	16
4.1 Inleiding	16
4.2 Huidige beoordeling	16
4.3 Rol van prestatie-indicatoren	17
4.4 Wensen en onderzoeksvragen	17
4.5 Interviews met DSM en EdeA	18
5 Long-list van prestatie-indicatoren	19
5.1 Inleiding	19
5.2 Economische en financiële PI's	19
5.3 Personele PI's	20
5.4 Milieu PI's	20
5.5 Operationele PI's	20
5.6 Fysieke PI's (gericht op capaciteit)	21
5.7 Waterkwaliteit PI's	22
5.8 Discussie	22
6 Opstellen indicatoren waterkwaliteit en waterkwantiteit	23
6.1 Inleiding	23
6.2 Opstellen indicatoren voor waterkwaliteit	23
6.3 Opstellen indicatoren voor waterkwantiteit	25
6.4 Opstellen indicator voor waterkwantiteit en waterkwaliteit	26
6.5 Aggregatie op ruimtelijk niveau	26
6.6 Aggregaties in de tijd	28
6.7 Voorbeeld van PI's voor waterkwaliteit	28
7 Selectie van prestatie-indicatoren	36

7.1	Inleiding	36
7.2	Overzicht indicatoren per actor	36
7.3	Effectenstudie	37
8	Verslag workshop met de waterbedrijven	38
8.1	Inleiding	38
8.2	Verslag van de workshop	38
9	Conclusies en aanbevelingen	42
9.1	Conclusies	42
9.2	Aanbevelingen	42
	Referenties	44
	Bijlage I Lijst met relevante PI's voor de waterzuivering	46
	Bijlage II Overzicht parameters per zuiveringsproces	53
	Bijlage III Presentatie tijdens workshop	58

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Waterbedrijven willen hun drinkwaterbereidingsinstallaties op de beste manier kunnen bedrijven en beheren. Dat wil zeggen dat ze een optimale balans vinden tussen prestatie, risico en kosten (assetmanagement, zie ook NEN-ISO 55000). Om dit te bereiken is het van belang om op een goede manier de prestatie van installaties te kunnen definiëren en bepalen.

De prestatie van het leveren van water wordt door de waterbedrijven reeds geruime tijd gemeten en o.a. beoordeeld aan de hand van de prestatie-indicator 'ondermaatse leveringsminuten' (OLM). Deze indicator is circa tien jaar geleden ontwikkeld om het functioneren van de levering aan klanten meetbaar te maken. De duur en omvang van de leveringsonderbreking is daarmee een belangrijke overall-indicator voor de leveringsgerelateerde prestatie van het waterbedrijf.

Met betrekking tot de drinkwaterbereidingsinstallaties zijn diverse methodieken beschikbaar die beoordeling op een deelonderwerp mogelijk maken. Voor het beoordelen op specifieke deelgebieden als waterkwaliteit, beschikbaarheid en kosten, worden bij elke drinkwaterbereidingsinstallatie diverse parameters gemonitord. Dit kan zijn continu (zoals volumestroom (ingående en geproduceerde volumes en reststromen), chemicaliën dosering, energieverbruik en on-line waterkwaliteitsparameters) of discontinu (zoals monsterprogramma waterkwaliteit, bestellingen chemicaliën, afvoer reststoffen, etc.). Voorbeelden van methodieken die gebruikt worden voor beoordeling zijn de beoordeling van het risico op productie uitval of vermindering van de waterkwaliteit met Water Safety Plans (WSP), leveringszekerheidsstudies en Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA). Dergelijke methodieken verschaffen inzicht in aanpassingen benodigd om risico's te reduceren tot het gewenste niveau. Een ander voorbeeld zijn methodieken om het onderhoud van een systeem te optimaliseren zoals Reliability Centered Maintenance (RCM).

Op dit moment ontbreekt echter een methodiek die het integrale functioneren van een drinkwaterbereidingsinstallatie of een hele drinkwaterproductielocatie kwantificeert aan de hand van een beperkt aantal en breed toepasbare prestatie-indicatoren. Op basis van die prestatie-indicatoren kunnen waterbedrijven de besluitvorming over de bedrijfsvoering van zuiveringsassets beter (integraler) onderbouwen. Deze prestatie-indicatoren worden idealiter gekwantificeerd met behulp van reeds gemonitorde parameters, eventueel aangevuld met ontbrekende meetgegevens, en bevatten informatie op een geaggregeerd niveau. Met het opstellen van prestatie-indicatoren (PI) voor de zuivering kunnen bedrijven direct een beeld krijgen hoe de zuivering presteert. Dit kunnen ze gebruiken in het beheer en de aansturing van de installatie door de waarde van de PI te vergelijken ten opzichte van het setpoint. Daarnaast kunnen bedrijven hiermee analyseren wat de verbanden zijn tussen verschillende prestaties, risico's en kosten. Ook kunnen ze de prestaties van verschillende installaties op de productielocatie of in hun voorzieningsgebied onderling vergelijken.

1.2 Doel

Het doel van het project is om te onderzoeken hoe de gehele drinkwaterbereidingsinstallatie beschreven kan worden aan de hand van een beperkt aantal kenmerken (systeembeschrijving), en het functioneren van die installatie vervolgens te kwantificeren op basis van een beperkt aantal representatieve prestatie-indicatoren. De prestatie-indicatoren dienen i) toepasbaar te zijn bij een groot deel van de Nederlandse drinkwaterproductielocaties (representatief), ii) meetbaar en kwantificeerbaar te zijn en iii) beïnvloedbaar te zijn zodat sturing mogelijk is.

Bij voorkeur gebeurt dit generiek en integraal (dus op een hoger abstractie niveau, waarbij verschillende parameters tot één PI verdisconteerd worden). De focus is gelegd op de waterkwaliteit en de manier waarop de waterkwaliteit verandert door de zuivering. Dit is gedaan omdat de voornaamste functie van een

drinkwaterbereidingsinstallatie het verbeteren van de waterkwaliteit is. De mate waarin de kwaliteit verbetert is daarmee een belangrijke maat voor de prestatie van de installatie(s).

Het project bestaat uit twee fasen. Fase 1 is gericht op het inventariseren en vervolgens selecteren van een beperkt aantal representatieve prestatie-indicatoren opgesteld die het functioneren van een drinkwaterbereidingsinstallatie beschrijven. In Fase 2 kan dit verder uitgewerkt worden in een methodiek en toegepast worden voor een aantal drinkwaterproductielocaties. Dit rapport beschrijft de resultaten van Fase 1. De waterbedrijven als stakeholders zijn betrokken door middel van interviews, waarin wensen m.b.t. de prestatie-indicatoren zijn geïnventariseerd. Vervolgens zijn de eerste resultaten teruggekoppeld in een workshop.

1.3 Aanpak en leeswijzer

In eerste instantie is een literatuuronderzoek naar prestatie-indicatoren in het algemeen en specifiek voor de (drink)watersector uitgevoerd. De resultaten van dit literatuuronderzoek zijn beschreven in Hoofdstuk 2. De systeembeschrijving van het drinkwaterzuiveringssysteem is beschreven in Hoofdstuk 3. Voor dit onderzoek zijn verder interviews gehouden met verschillende drinkwaterbedrijven en met een beperkt aantal bedrijven buiten de drinkwatersector. De resultaten van de interviews zijn beschreven in Hoofdstuk 4. Vervolgens is een long-list gemaakt van bestaande prestatie-indicatoren voor de drinkwaterzuivering (Hoofdstuk 5). Aanvullende prestatie-indicatoren voor waterkwaliteit en waterkwantiteit zijn beschreven in Hoofdstuk 6. In Hoofdstuk 7 worden een aantal prestatie-indicatoren geselecteerd. Daarnaast zijn de resultaten van een workshop met de waterbedrijven over de opgestelde prestatie-indicatoren opgeschreven in Hoofdstuk 8. Tenslotte zijn de conclusies en aanbevelingen beschreven in Hoofdstuk 9.

2 Literatuuronderzoek prestatie-indicatoren voor de zuivering

2.1 Nederlandse situatie

In 2006 is onderzoek naar het gebruik van PI's bij drinkwaterbedrijven uitgevoerd (Van den Boomen, BTO 2006.021(s)). In dit onderzoek werd onderscheid gemaakt tussen indicatoren op strategisch, tactisch en operationeel niveau (toenemend detailniveau naar beneden). Voor ieder niveau worden PI's genoemd, onderverdeeld in 4 categorieën: financieel, stakeholders (klant, maatschappij, toeleveranciers), interne bedrijfsprocessen en HRM (human resource management). Verder is een studie door de OFWAT (toezichthouder in het Verenigd Koninkrijk) uitgevoerd. Hierin worden met name financiële PI's genoemd. Er wordt hier voor waterkwaliteit slechts 1 PI gebruikt: aantal keer niet voldoen aan de norm. Qua financiële PI, introduceert OFWAT de relatieve efficiëntie. Omdat de omstandigheden per bedrijf verschillen (bijv. kwaliteit van bronnen) worden kosten gecorrigeerd. Dit gebeurt bijvoorbeeld door de kosten te vergelijken met een referentie en vervolgens bedrijven in verschillende categorieën in te delen (naar de mate waarin de kosten afwijken van de referentie).

In 2013 is onderzoek uitgevoerd naar PI's voor het distributienet (Beuken, BTO 2015.027). Hier is voor de Nederlandse situatie een vragenlijst gestuurd met PI's die de waterbedrijven gebruiken. Drie doeleinden voor PI's worden onderscheiden: beoordelen, vergelijken en sturen. Het is niet duidelijk of de waterbedrijven ook sturen op basis van de PI's. Er is een lijst opgesteld met PI's en daarnaast context-variabelen (waar de bedrijven geen of geringe invloed op hebben), gericht op de prestatie van het distributienet. Onder meer zijn dit verfijningen op de al gebruikte indicator ondermaatse leveringsminuten (OLM). Dit is het aantal minuten waarin geen water of water met onvoldoende druk wordt geleverd. In de OLM zit geen indicatie voor de waterkwaliteit. Waterbedrijven willen aan de hand van duidelijk omschreven en representatieve PI's effectiever sturen op prestatie. De waarden van de PI's zijn meestal gebaseerd op gebeurtenissen uit het verleden. Waterbedrijven hebben ook behoefte om meer toekomstgerichte aspecten in de PI's uit te drukken. Een overzicht wordt gegeven van buitenlandse systemen van PI's: IWA systematiek (zie 2.3), EBC (European Benchmarking Co-operation (EBC, 2014), Care-W (gebaseerd op IWA systematiek), baseform (gebaseerd op IWA systematiek) en de systematiek van OFWAT. De indicatoren uit deze systemen die de prestatie van het functioneren van het distributienet beschrijven en daarnaast toepasbaar zijn voor de Nederlandse situatie zijn beperkt.

Aan de EBC deden in 2013 alle Nederlandse waterbedrijven mee. Bij de EBC worden 5 prestatiegebieden onderscheiden: waterkwaliteit, technische betrouwbaarheid, servicekwaliteit, duurzaamheid en financiën. Waterkwaliteit wordt gemeten aan het aantal keer dat voldaan wordt aan de norm (EBC, 2014).

In het onderzoek "systemen in balans (2014)" is in brede zin gekeken naar een integrale analysesystematiek van assets binnen het drinkwatersysteem - van bron tot tap (Vries et al., BTO 2014.049). Hierbij wordt gebruik gemaakt van systeembenadering van de drinkwaterassets en het daaraan toekennen van parameters als kosten, prestatie en risico's, zodat waterbedrijven een beoordelingsystematiek hebben voor beoordeling van integrale besluitvorming (citaat uit Vries et al, BTO 2014.049). Risico-analyses vormen hierbij een belangrijk instrument. Dit is geïllustreerd met behulp van een foutenboom voor een fictief drinkwaterproductiesysteem. Hierbij is gekeken naar het effect op de prestatie-indicator OLM. In het algemeen wordt geconcludeerd dat voor de bepaling van PI's de volgende zaken van belang zijn: het systeemniveau waarop informatie wordt verzameld (decompositie en aggregatie), de normalisatie van de indicatoren, de onderlinge afhankelijkheden van indicatoren en onzekerheid in de data die propageren in berekende indicatorwaarden.

Daarnaast onderzoeken de waterbedrijven de mogelijkheden om een systeem van PI's te implementeren. Zo is Waterbedrijf Groningen bezig om een management dashboard en operator dashboard voor PI's te maken (Vogt, 2014).

2.2 Benchmark van waterkwaliteit

In de benchmark voor de Nederlandse waterbedrijven (Vewin, 2012) worden op het gebied van waterkwaliteit twee parameters gebruikt: waterkwaliteitsindex en het aantal normoverschrijdingen.

Voor de waterkwaliteitsindex (WKI) worden vier groepen parameters beschouwd (zie Tabel 2.1). Per groep wordt het gemiddelde genomen van onderstaande indicatoren. Een score per indicator wordt toegekend door de verhouding te bepalen tussen de tijdsgemiddelde meetwaarde en de corresponderende norm uit het Drinkwaterbesluit. Deze worden per productielocatie bepaald. Vervolgens worden deze scores geaggregeerd per bedrijf door het gewogen gemiddelde te nemen op basis van de hoeveelheid geproduceerd water. De waarden uit REWAB worden gebruikt als basis voor de berekeningen.

Voor bepaling van het aantal normoverschrijdingen worden dezelfde parameters als voor de WKI gebruikt. Voor iedere groep wordt het aantal normoverschrijdingen opgeteld en gedeeld door de totale hoeveelheid geproduceerd water (in miljoenen m³). De waarden uit REWAB worden gebruikt als basis voor de berekeningen. Voor parameters die vaker bemonsterd zijn dan de minimumfrequentie, worden de normoverschrijdingen van boven de minimum meetfrequentie niet meegenomen in de berekening van de score. Het aantal getroffen klanten en de duur van normoverschrijdingen worden niet geregistreerd en zijn daarom niet meegenomen in de score voor normoverschrijdingen. In 2009 heeft de bedrijfsvergelijking zich beperkt tot metingen 'af pomp'. In 2012 worden daarnaast de normoverschrijdingen in de distributie vergeleken. Voor dubbeltellingen wordt niet gecorrigeerd.

TABEL 2.1 WATERKWALITEITSPARAMETERS DIE GEBRUIKT WORDEN IN DE BENCHMARK.

Gezondheidskundige parametergroep (acuut)	Gezondheidskundige parametergroep (niet-acuut)	Bedrijfstechnische parametergroep	Klantgerichte parametergroep
<i>Escherichia coli</i>	Arseen	Aeromonas bij 30°C	Aluminium
Enterococci <i>Legionella</i>	Boor Bromaat (90-percentiel)	Ammonium Bacteriën van de coligroep	Totale hardheid Kleur
	1,2-dichloorethaan Fluoride Nikkel Nitraat Nitriet PAK's (som) Pesticiden (individueel en som) Tetra- en trichlooretheen (som) Trihalomethanen (som) (90-percentiel)	Chloride Clostridium perfringens Saturatie-index Temperatuur Waterstofcarbonaat Zuurgraad Zuurstof	Ijzer Mangaan Natrium Sulfaat Troebelingsgraad

2.3 Studies in het buitenland

IWA (Alegre, 2006) heeft een uitgebreide methodiek ontwikkeld om de prestatie te meten in de watersector. Dit is met name gericht op afvalwater en distributie van drinkwater. Daarvoor hebben ze een systeem van prestatie-indicatoren (PI) opgesteld. De PI's moeten volgens IWA voldoen aan de volgende voorwaarden:

- Duidelijk gedefinieerd (clearly defined, concise meaning)
- Haalbaar (reasonably achievable)
- Controleerbaar (auditable)
- Universeel en onafhankelijk (universal (as possible) and independent)

- Eenvoudig (simple and easy to understand)
- Kwantificeerbaar (quantifiable)

In Bijlage I staan voorbeelden beschreven van PI's gebruikt door IWA en andere literatuurbronnen. IWA onderscheidt zes groepen van prestatie-indicatoren: waterbronnen (water resources), personeel (personnel), fysisch (physical, gericht op capaciteit), operationeel (operational), kwaliteit van service (quality of service), economische en financieel (economic and financial). Hiervan worden vervolgens weer subgroepen onderscheiden, waarin verschillende PI's berekend worden. Sommige PI's worden ook weer onderverdeeld in sub-indicatoren.

Naast PI's maakt IWA gebruik van context informatie: dit zijn variabelen waar een waterbedrijf geen of zeer beperkt invloed op heeft. Deze context informatie kan gebruikt worden om verschillen in tijd of tussen locaties te verklaren. IWA hanteert de volgende categorieën: service data, fysieke assets (physical assets), consumptie en piekfactoren (consumption and peak factors), demografie en economie (demography and economics) en omgeving (environment).

Voor het berekenen van PI's en context variabelen is data nodig. IWA onderscheidt primaire variabelen, waarmee een PI direct berekend kan worden en secundaire variabelen die gebruikt worden om de primaire variabelen te berekenen. De betrouwbaarheid van de data is een belangrijk punt. Voor elke variabele moet dit bepaald worden. Dit kan aan de hand van klassen (iedere klasse representeert een bepaalde onzekerheid). Vervolgens kan de onzekerheid doorberekend worden in de PI met behulp van foutenpropagatie ('error propagation').

De IWA methodiek hanteert geen PI's voor het drinkwaterbereidingsproces. Wel worden waterkwaliteitsindicatoren gebruikt. Binnen de groep kwaliteit van service wordt bijvoorbeeld het percentage van de uitgevoerde bemonstering dat aan de norm voldoet als PI gebruikt. Hierbij worden 4 groepen testen genoemd: esthetische testen (geur en smaak), microbiologisch, fysisch-chemisch en radioactief. Het aantal bemonsteringen voor deze 4 groepen wordt ook als PI gebruikt in de groep operationeel.

Vieira et al. (2008) en Silva et al. (2012) geven een goed overzicht van prestatie-indicatoren voor de (drink)waterzuivering. Deze zijn gebruikt in een test in Portugal (PAST21). Ze baseren zich ook op de IWA methodiek. De volgende categorieën worden onderscheiden:

1. Behandelde waterkwaliteit (treated water quality),
2. Verwijderingsefficiëntie en betrouwbaarheid (removal efficiency and reliability)
3. Gebruik van natuurlijke bronnen en ruwe materialen (use of natural resources and raw materials)
4. Management van bijproducten/reststromen (by-products management)
5. Veiligheid (safety)
6. Personeel (human resources)
7. Economisch en financieel (economical and financial resources)
8. Planning en ontwerp (planning and design)

De prestatie-indicatoren specifiek gericht op de waterzuivering zijn hier ook beperkt. Een belangrijke PI is de mate waaraan voldaan is aan de norm op de uitgang van de waterzuivering. In de tweede categorie wordt wel verwijderingsefficiëntie genoemd, maar de meeste indicatoren zijn op het gebied van betrouwbaarheid. Voor de rest wordt gekeken naar het gebruik van chemicaliën, energie, water en filtermedia tijdens de zuivering, en het omgaan met bijproducten en reststromen (slib productie, nuttig hergebruik van het slib). De PI's worden berekend voor een periode van 1 jaar. Op die manier kunnen verschillende jaren met elkaar vergeleken worden.

Zhang et al. (2012) hanteren een andere aanpak om de prestaties van een drinkwaterzuivering te evalueren. Ze gebruiken de concepten betrouwbaarheid (reliability), robuustheid (robustness), veerkracht (resilience) en risico (risk). Betrouwbaarheid is de kans dat de waterkwaliteit voldoet aan opgegeven of eigen normen over een bepaalde periode. Een zuivering is robuust als de waterkwaliteit gewaarborgd blijft bij variaties in ruw water en variaties in bedrijfscondities. Veerkracht beschrijft hoe snel een systeem herstelt van een storing. Voor het risico worden infectierisico's gehanteerd, welke bepaald wordt met QMRA (Quantitative Microbiological Risk Assessment). Met behulp van prestatiefuncties worden deze vier concepten berekend. Er

zijn prestatiefuncties opgesteld voor een coagulatie/flocculatie/sedimentatie systeem en voor een filtratie systeem. Deze functies berekenen de gesuspenderde stofconcentraties. Daarnaast is er een gecombineerde prestatiefunctie opgesteld voor deze twee zuiveringsstappen op basis van turbiditeit (voor het verband tussen gesuspenderde stoffen en turbiditeit wordt een empirische functie gebruikt), waarvoor ze uiteindelijk een turbiditeit robuustheid index gebruiken. Voor een desinfectie systeem (met chloor) wordt de CT waarde (contacttijd x concentratie chloor als maat voor de desinfectie intensiteit) gebruikt als performance functie. De QMRA meet de prestatie wat betreft gezondheid in DALYs (disability-adjusted life-years= levensjaren gecorrigeerd voor beperkingen) per micro-organisme. Met de methodiek van Zhang et al. (2012) worden zowel variaties in ruw water meegenomen als ook de beïnvloeding van eerdere zuiveringsstappen op een bepaalde zuiveringsstap.

Chang et al. (2007) presenteren een prestatie evaluatie van de Taipei drinkwaterbereidingsinstallatie met behulp van PI's. Om een systeem van PI's op te stellen is gebruik gemaakt van forumdiscussies en vragenlijsten. De gewichten van verschillende PI's zijn bepaald door middel van AHP (Analytisch Hiërarchisch Proces), Saaty (1980). AHP is een methode om besluitvorming in groepsprocessen geordend te laten verlopen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van wiskundige technieken. De PI's zijn onderverdeeld in verschillende groepen, waarbij de indeling wat anders is dan de groepen van de IWA. De analyse is daarnaast gebruikt om de zuivering te optimaliseren. Hiervoor zijn twee objectfuncties gedefinieerd voor (i) kosten van de waterproductie en (ii) verwijderingsrendement (dit is een gefitte functie op basis van ruw water turbiditeit en procescondities).

Prestatie-evaluatie van verschillende drinkwaterbereidingsinstallaties in Korea is beschreven in Choi et al. (2002). De prestatie is gemeten in turbiditeitsafname en desinfectie op basis van CT. Omdat grote zuiveringen moeilijk te vergelijken zijn met kleine zuiveringen, zijn er 4 groepen gedefinieerd op basis van de hoeveelheid geproduceerd water.

PI's zijn ontwikkeld voor aantal kleine drinkwaterbereidingsinstallaties in Quebec (Canada), Coulibaly et al. (2004). Vijf groepen met PI's worden onderscheiden: landbouwgrondgebruik, ruw waterkwaliteit, water desinfectie, water distributie en gedistribueerde waterkwaliteit. De PI voor waterkwaliteit bestaat uit de volgende onderdelen: TOC, turbiditeit, totale coliforme bacteriën, heterotrophic plate count (HPC) bacteriën en atypische bacteriën. De enige onderzochte behandeling door Coulibaly et al. is chloren. Als PI voor desinfectie is de CT gebruikt.

In Libanio et al. (2009) wordt een water treatment plant quality index (WTPQI) geïntroduceerd, die bestaat uit verschillende parameters. De aanpak is gebaseerd op de WQI (water quality index). De parameters en gewichten van deze parameters wordt met behulp van expertinterviews samengesteld (volgens de Delphi methode). De Delphi methode is een methode om tot consensus te komen over een onderwerp door gebruik te maken van de mening van een groot aantal experts. In een aantal ronden worden de meningen van de experts anoniem teruggekoppeld, en wordt zo gepoogd om tot consensus te komen. De parameters om de WQI worden onderverdeeld in 6 groepen op basis van de zuiveringsprocessen: snelle menging, flocculatie, sedimentatie, filtratie, desinfectie en operationeel. De parameters worden met gewogen sommatie of gewogen vermenigvuldiging geaggregeerd tot de WTPQI. De ontwikkelde WTPQI is gevalideerd door deze te correleren aan de turbiditeit van het reine water voor tien verschillende drinkwaterbereidingsinstallaties. Over het algemeen hebben zuiveringen met een goede kwaliteit van het reine water ook een hoge WTPQI. De formuleringen voor de WTPQI (gewogen product of gewogen som) laten vergelijkbare resultaten zien, alleen in de productvorm is het onderscheidend vermogen groter, zeker als er een enkele parameter afwijkt. Op deze manier zijn storingen beter te identificeren.

Een belangrijke onderzoeksvraag is de wijze waarop verschillende factoren worden gecombineerd in een PI (mate van aggregatie). In Sadiq et al. (2010) wordt met behulp van geavanceerde statistische relaties een parameter voor gezuiverde waterkwaliteit gevonden. Dit is gebaseerd op data van een productielocatie. Het voordeel van deze methode is dat het actuele data, die niet evenredig met elkaar is, op een nauwkeurige manier kan combineren. Het nadeel is dat het gevonden verband weer afhankelijk is van de data. In Coulibaly et al. (2004) wordt aggregatie van variabelen gedaan door middel van een gewogen somming, nadat de

variabele genormaliseerd is door middel van classificatie (op basis van een vergelijking met een referentiewaarde wordt een bepaalde score toegekend). De gewichten worden toegekend op basis van indicaties uit de literatuur (hoe precies is niet duidelijk) of op basis van statistische analyses (hiervoor is specifieke data nodig). Een gevoeligheidsanalyse is toegepast om de gevoeligheden van de gewichten op de uiteindelijke prestatie te bepalen. In Libanio et al. (2009) worden twee manieren van aggregeren uitgetoetst: gewogen sommatie en gewogen vermenigvuldiging. Hier vindt de aggregatie plaats nadat de PI genormaliseerd is volgens een bepaald criterium. De gewichten zijn toegekend op basis van expert-kennis verkregen door vragenlijsten.

2.4 PI's op het gebied van afvalwaterbehandeling

Op het gebied van afvalwaterbehandeling zijn ook een aantal interessante studies uitgevoerd op het gebied van prestatie-indicatoren. In Silva et al. (2014a) en Silva et al. (2014b) wordt een onderscheid gemaakt tussen prestatie-indicatoren (PI) en prestatie index (PX). PI is het resultaat van jaarlijkse prestatie-metingen van de gehele installatie en PX laat de dagelijkse operatie zien op het gebied van waterkwaliteit, verwijderingsefficiëntie en bedrijfscondities. Ook hier wordt een prestatie functie gebruikt om de operationele data om te zetten naar een PX. De PX wordt genormaliseerd door ze in een aantal klassen in te delen: er wordt gebruik gemaakt van referentiewaarden, die corresponderen met een bepaald prestatieniveau. Dit prestatieniveau wordt door expertkennis bepaald. Met behulp van statistische analyses van de PXs is de betrouwbaarheid van de installatie onderzocht. In Silva et al. (2014b) worden de PX concreter uitgewerkt voor TSS (totaal gesuspendeerde stof door sedimentatie) en CZV (chemisch zuurstofverbruik door actiefslibstelsysteem) verwijdering. De PXs zijn gebaseerd op influent concentraties, verwijderingsefficiënties en vereiste effluent concentraties.

Quadros et al. (2010) maken onderscheid tussen een algehele prestatiebeoordeling (OvPA, overall performance assessment) en operationele prestatiebeoordeling (OpPA, performance assessment). Bij OvPA worden PI's gebruikt om beslissingen te ondersteunen op het technisch management niveau, en bij OpPA wordt ieder proces van de waterbehandeling in detail onder de loep genomen. Het OvPA wordt hier gepresenteerd, waarbij sterk gebruik is gemaakt van de IWA systematiek.

2.5 Conclusies

In de literatuur is al een groot aantal PI's opgesteld. De meeste hiervan zijn gebaseerd op de methodiek van IWA, soms aangevuld met een aantal specifieke PI's voor de drinkwater- of afvalwaterzuivering. Een overzicht van de in de literatuur gebruikte PI's is gegeven in Bijlage I. Op basis hiervan is in Hoofdstuk 5 een long-list opgesteld met PI's. Daarnaast volgen uit de literatuurstudie een aantal belangrijke aspecten die meegenomen moeten worden bij het opstellen van PI's:

- Rekening houden met ingaande waterkwaliteit en onderlinge afhankelijkheden tussen zuiveringsstappen
- Manier van aggregeren
- Manier van normaliseren
- Rekening houden met het tijdsaspect
- Omgaan met onzekerheden in data

Met uitzondering van het laatste punt, zijn bovenstaande punten meegenomen in het in dit rapport beschreven onderzoek.

3 Systeembeschrijving

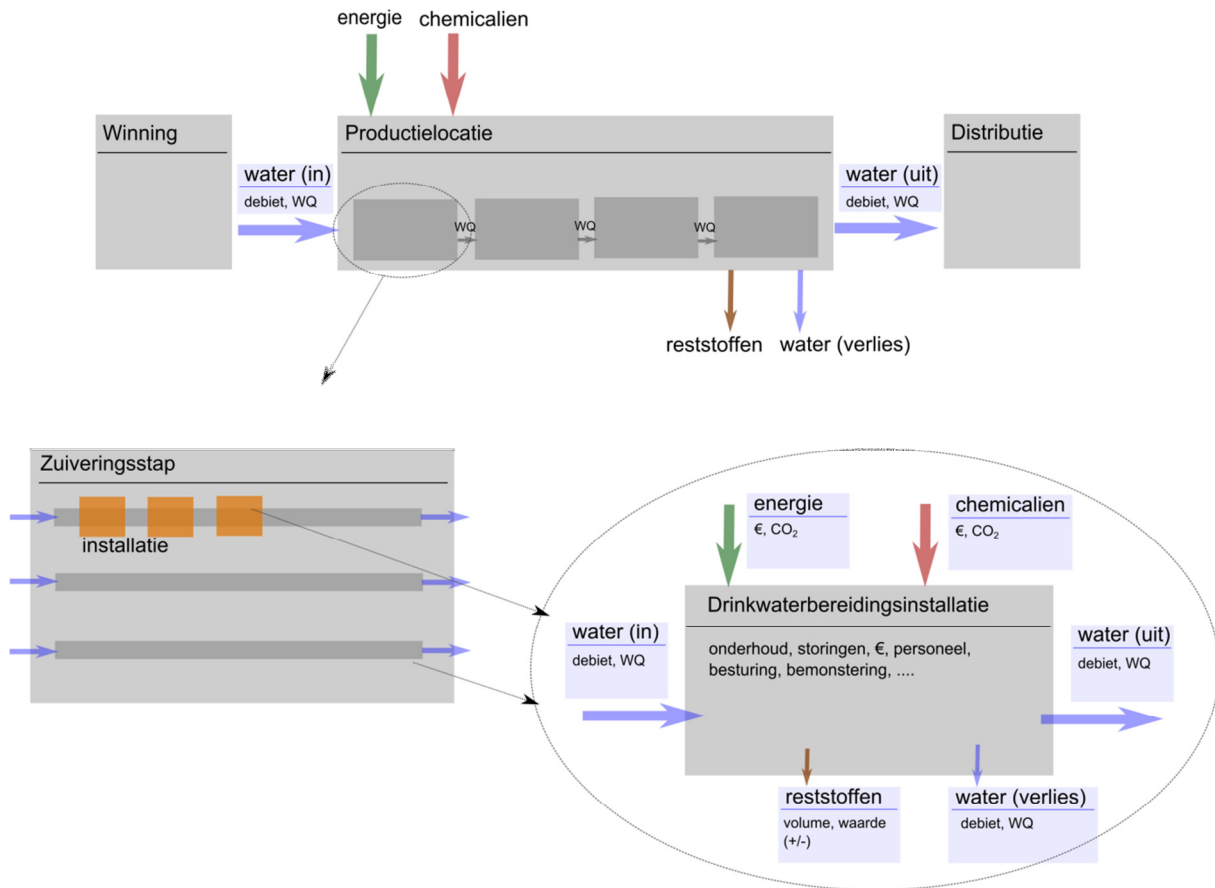
3.1 Systeembeschrijving drinkwaterproductie

Na winning van het voedingswater volgt de drinkwaterproductie (Figuur 3.1). De drinkwaterproductie omvat een aantal verschillende zuiveringsprocessen om de gewenste waterkwaliteit te verkrijgen. Het zuiveringsproces is het fysisch/chemische/biologische proces dat gebruikt wordt om te zuiveren (zoals UV desinfectie, adsorptie, filtratie, etc.). Na de drinkwaterproductie volgt de distributie van het water naar de klant. In dit onderzoek wordt alleen de drinkwaterproductie beschouwd, na inname van het voedingswater tot en met de reinwaterkelder. De reinwaterkelder wordt meegenomen, omdat deze van belang is als buffer voor de kwantiteitsparameters. Op iedere productielocatie vindt meestal een aantal zuiveringsstappen achter elkaar plaats. In deze zuiveringsstap vindt het zuiveringsproces plaats in één of meerdere drinkwaterbereidingsinstallatie(s), die parallel of in serie staan. Vaak wordt ook gewerkt met parallelle straten, waarin een aantal zuiveringsprocessen achter elkaar plaatsvinden, zodat er een aantal verschillende drinkwaterbereidingsinstallaties in serie staan.

In veel gevallen vindt de zuivering op één locatie plaats. Voor watertypes die meer verontreinigd zijn vindt de zuivering soms op een aantal locaties plaats: bijvoorbeeld voorzuivering na inname, transport en soms een duininfiltratie en een nazuivering. In deze gevallen kan zowel de zuivering op de enkele locatie (bijvoorbeeld alleen de voorzuivering) als de zuivering als geheel beschouwd worden.

Verschillende ruimtelijke niveaus kunnen worden onderscheiden:

- Voorzieningsgebied: een gedeelte of heel gebied waaraan het waterbedrijf water levert. Hierin kunnen verschillende productielocaties staan.
- Productielocatie (en in sommige gevallen een aantal schakels van productielocaties)
- Zuiveringsstap. In een zuiveringsstap zijn een aantal drinkwaterbereidingsinstallaties parallel en in serie.
- Parallele straat in de zuiveringsstap, op sommige productielocaties lopen een aantal parallelle straten met meerdere drinkwaterbereidingsinstallaties in serie.
- Drinkwaterbereidingsinstallatie.



FIGUUR 3.1 OVERZICHT VAN DE WATERVOORZIENING. BOVEN STAAT HET SYSTEEM INCLUSIEF WINNING EN DISTRIBUTIE. ONDER STAAT HET ZUIVERINGSSYSTEEM, MET DAARBIJ DE INGAANDE EN UITGAANDE SYSTEEMPARAMETERS.

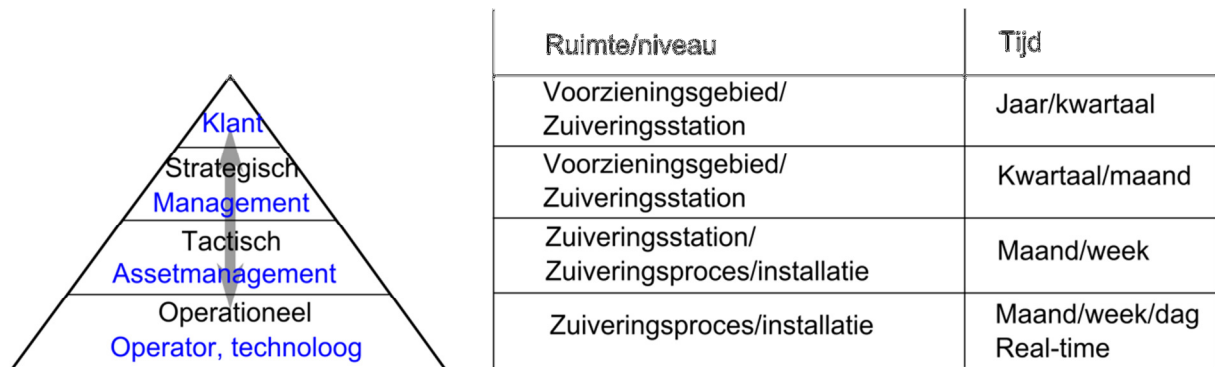
Op ieder niveau kan het systeem op soortgelijke manier beschouwd worden als getoond in Figuur 3.1). Water met een bepaalde kwaliteit en kwantiteit komt het systeem in, en een hoeveelheid water komt er weer uit met een bepaalde kwaliteit. Een deel van het water kan verbruikt zijn (verlies). Daarnaast kunnen er reststoffen ontstaan van materialen die tijdens de zuivering zijn gebruikt of geproduceerd (bijv. kalkkorrels, slib, etc.). De zuivering heeft een bepaalde hoeveelheid energie nodig om te draaien en in sommige gevallen chemicaliën. Dit levert kosten op en gaat ten koste van de duurzaamheid. Om de zuivering zelf draaiende te houden is onderhoud nodig, moeten storings verholpen worden, is bemonstering en sturing nodig. Hiervoor is personeel en geld nodig. Op basis van deze systeembeschrijving kunnen indicatoren opgesteld worden om de zuivering te beoordelen en te sturen.

Aggregatie van gegevens kan gebeuren op parameterniveau (combineren van parameters), op ruimtelijke niveau en in de tijd. Dit zal verderop aan de orde komen (hoofdstuk 6).

3.2 Actoren PI voor de zuivering

Bij het opstellen van PI's voor de zuivering kunnen verschillende perspectieven worden onderscheiden. Dit is weergegeven in een piramide met de verschillende actoren (Figuur 3.2). Hierin is een onderscheid gemaakt tussen strategisch, tactisch en operationeel niveau. Daarnaast is een apart niveau vanuit het perspectief van de klant toegevoegd. Hoger in de piramide neemt de mate van aggregatie toe (meer parameters worden samengevoegd). Vanuit het perspectief van de klant is men alleen geïnteresseerd of er voldoende water van goede kwaliteit geleverd wordt, en zal een enkele PI volstaan. Op management (strategisch) niveau is men geïnteresseerd in een aantal geaggregeerde indicatoren, op assetmanagement (tactisch) in een groter aantal specifieke indicatoren zinvol, terwijl men op operationeel niveau bovendien geïnteresseerd is in de parameters waarmee de PI's berekend worden.

Per actor is de mate van aggregatie op ruimtelijk niveau en in de tijd verschillend (Figuur 3.2). Op operationeel niveau wil men vaak real-time gegevens kunnen inzien van een enkele installatie, terwijl men op strategisch niveau voldoende heeft aan maand- of kwartaalrapportages voor het hele productielocatie of voorzieningsgebied. Voor de klant is het voldoende als er informatie beschikbaar is die geaggregeerd is over het jaar.



FIGUUR 3.2 OVERZICHT VAN NIVEAU'S (IN DE ORGANISATIE, RUIMTELIJKE SCHAAL EN IN DE TIJD) WAAROP DE PI'S BEPAALD KUNNEN WORDEN.

4 Interviews over het gebruik van prestatie-indicatoren

4.1 Inleiding

Interviews zijn afgenomen bij medewerkers (voornamelijk assetmanagers, productiemanagers en zuiveringstechnologen) van een aantal drinkwaterbedrijven (PWN, Dunea, Vitens, Waterbedrijf Groningen) en van twee bedrijven buiten de drinkwatersector (DSM, Edea).

Het doel van de interviews is om een beter beeld te krijgen van (1) wat er op het vlak van PI's in de zuivering al gebeurd bij de bedrijven, (2) waar behoefte aan is (en waar niet) met betrekking tot PI's, (3) welke aspecten van belang zijn bij selectie, gebruik en interpretatie van PI's en (4) wat voor meetdata beschikbaar is om PI's te berekenen.

Als leidraad voor het interview zijn een aantal vragen geformuleerd:

1. Hoe wordt de prestatie van de zuivering op dit moment beoordeeld?
Wat is het gewenste resultaat van de zuivering (met betrekking tot aspecten zoals kwaliteit, kosten, betrouwbaarheid, duurzaamheid)?
2. Hoe kijken jullie aan tegen de rol van prestatie-indicatoren?
3. Hebben jullie ervaring met het gebruik van PI's? Zo ja, welke ervaringen? Zo nee, hebben jullie plannen om dit te gaan doen?
Waarvoor zou je de PI's willen gebruiken? Te denken valt aan beoordelen, vergelijken en sturen.
4. Wat is wenselijk en wat niet met betrekking tot PI's?
Tot op welk detailniveau zouden PI's bepaald moeten worden?
In welke mate moeten PI's samengevoegd worden (mate van aggregatie)?
Hoe om te gaan met het wegen van verschillende parameters?
Hoe om te gaan met normaliseren van PI's? Vergelijken met wettelijke parameters en normen, of juist ruimte om te vergelijken met bedrijfsparameters en normen?
Wat is de gewenste frequentie waarin de PI's bepaald moeten worden (online/real-time dashboards, periodieke rapportage)?
5. Is er een overzicht met beschikbare meetdata (parameters, meetfrequentie) van de zuivering?
6. Wat verwacht je dat uit het onderzoek komt? Hebben jullie specifieke onderzoeksvragen?

De resultaten van de interviews met de waterbedrijven zijn samengevat in de volgende punten: huidige beoordeling, rol van prestatie-indicatoren, wensen en onderzoeksvragen.

4.2 Huidige beoordeling van de prestatie van de drinkwaterzuivering

Zowel de kwantiteit als de waterkwaliteit wordt gemeten en gemonitord. Afhankelijk van de zuiveringsstap en historie worden verschillende waterkwaliteitsvariabelen gemeten. Deze worden in grote databases opgeslagen en vergeleken met bedrijfsnormen en wettelijke normen. De monitoring gebeurt in eerste instantie vanuit procesvoering, eventueel aangevuld met expertkennis van procestechnologen. Dit gebeurt vaak in periodieke overleggen. Daarnaast kijkt assetmanagement meer naar de trends over de maanden/jaren. Een enkele afwijking is hierbij niet direct van belang, dit wordt pas relevant als dit vaker

gebeurt. Het signaleren van afwijkingen (overschrijdingen van grens- of drempelwaarde, onderscheid maken tussen natuurlijke variaties en incidenten, onderscheiden van meetfouten) heeft ook de aandacht van de bedrijven.

Daarnaast wordt duurzaamheid ook genoemd als belangrijk aspect om de zuivering te beoordelen, aspecten die hierbij een rol spelen zijn verlagen van energieverbruik, goede energiemonitoring, monitoring spoelwaterverliezen, reststoffen, etc.

Een aantal bedrijven werkt aan PI dashboards of hebben dit al geïmplementeerd, veelal gebaseerd rondom de eisen in de drinkwaterwet en de bedrijfsnormen.

4.3 Rol van prestatie-indicatoren

De geïnterviewde personen bij de bedrijven ervaren het gebruik van PI's als nuttig, op voorwaarde dat het afgestemd is op de bedrijfsdoelen. Ze maken de voortgang/invloed van beleidsbeslissingen meetbaar en inzichtelijk. Daarnaast geven ze een indicatie als er iets mis is in de zuivering, op basis waarvan ingegrepen kan worden. De PI's moeten in relatie gezien worden met kosten en risico's van de drinkwaterproductie.

Voor de distributie wordt de OLM (en eventuele opsplitsing hiervan) al gebruikt. Op het gebied van zuivering, stellen de bedrijven zelf ook verschillende PI's op (overzicht zie Hoofdstuk 5), en hebben ook onderzoeken lopen om dit te verbeteren en/of in dashboards te zetten. De PI's worden op verschillende niveaus in de organisatie besproken, en een aantal wordt ook besproken door het MT. De weging van verschillende PI's tot een meer geaggregeerde PI's zijn sommige bedrijven nog aan het onderzoeken.

Op het gebied van onderhoud lopen er verschillende programma's. Onderhoud op basis van frequentie van storingen of meer conditie-gestuurd onderhoud ('reliability centered maintenance'). Daarnaast zijn niet alle storingen even relevant (bijvoorbeeld ontharding is niet primair van belang en mag dus eerder uitvallen). Inspanningen op dit gebied hebben geleid tot reductie van storingen en kostenbesparingen bij de bedrijven.

4.4 Wensen en onderzoeksvragen

De volgende wensen met betrekking tot de ontwikkeling van PI's zijn genoemd:

- Maak de PI's goed meetbaar en stuurbaar (binnen eigen invloedsgebied, bijvoorbeeld voor de WKI hebben een aantal niet-beïnvloedbare parameters een grote invloed op de WKI)
- Houd rekening met (niet) beschikbaarheid, kwaliteit, kosten en risico's van de drinkwaterproductie.
- Voor de ontwikkeling van een overall PI voor de zuivering is het van belang om te denken vanuit het perspectief van de klant
- Zorg dat de getallen iets zeggen (bijvoorbeeld een WKI van <0,04 zegt niet zoveel)
- Maak een koppeling van de PI's met onderhoud
- Maak onderscheid in niveaus van de PI's en onderlinge samenhang van de PI's op de verschillende niveaus.
- Gebruik de PI's niet voor benchmarking
- Stel PI's op voor duurzaamheid (uitdaging), bijv. CO₂ footprint per m³
- Stel PI's op op het gebied van veiligheid/personeel
- Gebruik PI's die zowel interessant zijn voor management als ook de operators
- Houd rekening met variaties op korte en lange termijn (aggregatie in de tijd)
- Houd rekening met variaties (o.a. door het seizoen) van ingaande waterkwaliteit.

Naast het opstellen van prestatie-indicatoren zijn ook een aantal onderzoeksvragen benoemd door de bedrijven:

- Datareductie van waterkwaliteitsparameters, zowel in type parameters (parameter x en y zeggen wellicht hetzelfde, zodat er maar een gemeten hoeft te worden) als meetfrequentie. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met het feit dat sommige parameters wettelijk verplicht zijn om te meten.

- Normalisatie en weging van parameters: op welke manier moeten de parameters genormaliseerd worden zodat ze onderling vergeleken kunnen worden; en als parameters samengevoegd worden, hoe moet dit gewogen worden?
- Betrouwbaarheid van de data: kloppen de sensorwaarden? In hoeverre moeten deze redundant worden uitgevoerd?
- Database met kwaliteitsdata voor heel NL opstellen, vergelijking tussen bedrijven met soortgelijke waterbronnen met andere zuivering is interessant. Aan de andere kant ook lastig – elk water is uniek.
- Verband tussen kwaliteit en kwantiteit (afstemmen productie en vraag): over het algemeen is vlak produceren het beste voor de waterkwaliteit.
- Hoe zit het met redundantie van de zuivering? Wat is de relatie met risico en kosten?

4.5 Interviews met DSM en EdeA

EdeA levert utilities op industriepark Chemelot, waaronder demiwater. Voor het produceren van demiwater hebben ze een aantal drinkwaterbereidingsinstallaties staan, waaronder installaties met ultrafiltratie, omgekeerde osmose en ionenwisseling. Ze gebruiken geen PI's voor waterkwaliteit, omdat ze de waterkwaliteitsnormen (op het gebied van SiO_2 , TOC, geleidbaarheid) gemakkelijk halen. Monitoring van het proces vindt plaats met het softwarepakket Aspen. Wel worden er PI's opgesteld op het gebied van onderhoud en veiligheid. Op het gebied van kwantiteit gebruiken ze geen PI's, wel is er een calamiteitenprogramma bij een dreigend tekort.

Bij DSM is een systeem van PI's opgetuigd voor fabrieken waar extrusie processen worden uitgevoerd. Wereldwijd is dit geïmplementeerd bij verschillende fabrieken. Dit heeft geleid tot een efficiëntietoename van 10-30%. Het systeem van PI's bestond uit een piramide waarin de PI's op hoger niveau samengesteld zijn uit de PI's op lager niveau. Voor het opstellen van zo'n systeem is het van belang een duidelijke visie te hebben (wat wil je precies bereiken en wat heb je daarvoor nodig). Voor de implementatie is er veel detailniveau nodig en wordt alles meetbaar gemaakt. Dit leidt soms tot weerstand bij de lokale werknemers; hiervoor moet de zachte kant van implementatie (change management) goed in de gaten worden gehouden (is meer dan de helft van de inspanning als het systeem er al is).

5 Long-list van prestatie-indicatoren

5.1 Inleiding

Op basis van PI's die opgesteld zijn in de literatuur zijn een aantal categorieën opgesteld, waarvoor een lijst met PI's is gemaakt. In deze lijst zijn de PI's opgenomen die relevant zijn voor de drinkwaterbereiding, die op een bepaalde manier de drinkwaterbereiding beïnvloeden of omgekeerd. De volgende categorieën zijn opgesteld: economische en financiële PI's, milieu gerelateerde PI's, operationele PI's (gerelateerd aan bedrijfsvoering en onderhoud), personele PI's, fysieke PI's (gericht op capaciteit) en waterkwaliteit gerelateerde PI's. Voor een groot deel is de indeling van het IWA gevolgd¹). Daarnaast is een aparte categorie op het gebied van milieu toegevoegd. In onderstaande paragrafen wordt een overzicht gegeven van de in de literatuur gevonden PI's per categorie. Hierbij is voor de PI's de (Engelse) naamgeving zoals in de literatuur gebruikt. Een overzicht met alle in de literatuur gevonden PI's (long-list) die mogelijk relevant zijn voor de zuivering is te vinden in Bijlage I.

Daarnaast is een lijst gegeven met de PI's voor de zuivering zoals die door de verschillende waterbedrijven gebruikt worden (Tabel 5.1). Deze zijn ook opgenomen in de lijst met PI's verzameld uit de literatuur.

TABEL 5.1 LIJST MET PI'S VOOR DE ZUIVERING ZOALS GEBRUIKT DOOR EEN AANTAL NEDERLANDSE WATERBEDRIJVEN

Groep	PI
Waterkwaliteit	Waarden van verschillende waterkwaliteitsparameters (genormaliseerd)
Waterkwaliteit	WKI (waterkwaliteitsindex)
Waterkwaliteit	WKI klantperspectief (aangepaste WKI vanuit de perceptie van de klant)
Waterkwaliteit	Biologische stabiliteit
Waterkwaliteit	PPI (waterkwaliteitsindex voor online data)
Operationeel	Procesverstoring (automatische operatie – tijd dat er niet automatisch wordt gedraaid)
Operationeel	Procesverstoring (systeemverstoring)
Operationeel	Procesverstoring (communicatiestoring)
Operationeel	Hulpstoffen (gebruik hulpstoffen per m ³ water)
Fysiek	Rendement (hoeveelheid geproduceerd t.o.v. ruw)
Fysiek	Concessienutting (Opgepompt ruw water/concessie)

5.2 Economische en financiële PI's

De belangrijkste economische en financiële PI's voor de zuivering zijn de kosten voor de productie en daarnaast de kosten voor waterkwaliteitscontroles (Tabel 5.2). Deze kosten kunnen per zuiveringsstap of voor het geheel onderzocht worden.

TABEL 5.2 ECONOMISCHE EN FINANCIËLE PI'S

Bron	PI
EBC (2013)	Production costs (running, depreciation, net interest) per m ³ water produced (€/m ³)
EBC (2013)	Water quality control costs (running, depreciation, net interest) per m ³ water produced (€/m ³)
EBC (2013)	Water quality control costs (running, depreciation, net interest) per connected test (€/test)
IWA (2006)	Unit running costs (€/m ³)

¹ De categorie water resources (voornamelijk kwantiteit van de bronnen) is weggehaald en de categorie 'quality of service' is vervangen voor waterkwaliteit (waterkwaliteit viel bij de IWA binnen de categorie 'quality of service', waarin naast PI's op het gebied van waterkwaliteit voornamelijk PI's op het gebied van distributie vallen, die voor de zuivering niet relevant zijn

IWA (2006)	Unit capital costs (€/m ³)
IWA (2006)	Electrical energy costs (%)
IWA (2006)	Abstraction and treatment costs (%)
IWA (2006)	Water quality monitoring costs (%)

5.3 Personele PI's

De personele PI's zijn gegroepeerd in een algemeen deel, en delen op het gebied van veiligheid en opleiding (Tabel 5.3). In het algemene deel zijn het aantal werknemers per functie/activiteit van belang. Voor de groep opleiding is de graad van de opleiding van de werknemers van belang, en de hoeveelheid tijd dat besteed wordt aan trainingen. Voor veiligheid zijn het aantal ongelukken van belang, net zoals absentie vanwege ongelukken.

TABEL 5.3 PERSONELE PI'S

Bron	PI
IWA (2006)	Employees per water produced (#/m ³ /h)
IWA (2006)	Operations & maintenance personnel (%)
IWA (2006)	Abstraction and treatment personnel (#/M m ³ /yr)
IWA (2006)	Water quality monitoring personnel (#/10000 tests/yr)
	Veiligheid
IWA (2006)	Working accidents (#/100 empl/yr)
IWA (2006)	Absenteeism due to working accidents or illness at work (days/empl/yr)
Vieira et al. (2008)	Chemicals spillage
	Opleiding
EBC (2013)	Total training (hours/employee) (hours/employee)
IWA (2006)	Total training (hours/employee/yr)
IWA (2006)	University degree personnel (%)
IWA (2006)	Basic education personnel (%)

5.4 Milieu PI's

Op het gebied van milieu zijn PI's genoemd op het gebied van duurzame energiegebruik en klimaatvoetafdruk (Tabel 5.4).

TABEL 5.4 MILIEU PI'S

Bron	PI
EBC (2013)	Renewable share of purchased electricity (%)
EBC (2013)	Climate footprint per m ³ revenue drinking water (kg CO ₂ -eq./ m ³)

5.5 Operationele PI's

De operationele PI's zijn met name gericht op exploitatie en onderhoud. Deze zijn onderverdeeld in een aantal groepen: bijproducten, onderhoud/inspectie, en gebruik van chemicaliën/ruw materialen (Tabel 5.5).

TABEL 5.5 OPERATIONELE PI'S

Bron	PI
	Bijproducten
Chang et al. (2007)	Ratio produced sludge and wastewater discharge (%)

Vieira et al. (2008), Silva et al. (2012)	Sludge production/treated water (g/ m ³)
Vieira et al. (2008), Silva et al. (2012)	Sludge dry weight (%w/w)
Vieira et al. (2008), Silva et al. (2012)	Beneficial use of sludge (%)
	Onderhoud/inspectie
IWA (2006)	Emergency power system inspection (#/yr)
IWA (2006)	Pumps replacement (%/year)
IWA (2006)	Pumps refurbishment (%/year)
IWA (2006)	Storage tank cleaning (#/yr)
NL-waterbedrijven	Procesverstoring (automatische operatie - tijd dat er niet automatisch wordt gedraaid)
NL-waterbedrijven	Procesverstoring (systeemverstoring)
NL-waterbedrijven	Procesverstoring (communicatiestoring)
	Gebruik van chemicaliën/ruwe materialen
Chang et al. (2007)	Chemicals used/feed location
Silva et al. (2012)	Consumption of acids and bases/treated water (eq/ m ³)
Vieira et al. (2008)	Consumption of chemical x/treated water (kg/ m ³)
Vieira et al. (2008)	Filter media refill (%)
NL-waterbedrijven	Hulpstoffen (gebruik hulpstoffen per m ³ water)

5.6 Fysieke PI's (gericht op capaciteit)

De categorie fysieke PI's is met name gericht op de capaciteit van de installaties zelf, terwijl de operationele PI's gericht zijn op exploitatie en onderhoud. Hierin zijn de groepen energie en waterkwantiteit onderscheiden (Tabel 5.6).

TABEL 5.6 FYSIEKE PI'S

Bron	PI
	Energie
IWA (2006)	Treatment reactive energy consumption (%)
IWA (2006)	Treatment energy recovery (%)
Vieira et al. (2008)	Energy consumption/volume of treated water (kWh/ m ³)
	Waterkwantiteit
Chang et al. (2007)	Flow during operation
Chang et al. (2007)	Instantaneous peak flow
Chang et al. (2007)	Unaccounted water
Chang et al. (2007)	Backwash water
EBC (2013)	Inefficiency of use of water resources (%)
EBC (2013)	Inefficiency of use of water production (%)
IWA (2006)	Treatment plant utilisation (%)
IWA (2006)	Raw water storage capacity (days)
IWA (2006)	Treated water storage capacity (days)
Silva et al. (2012)	Water source utilisation (%/yr)
Vieira et al. (2008)	Efficiency of water use at WTP (%)
Silva et al. (2012)	Adequacy of plant capacity (%)
NL-waterbedrijven	Rendement (hoeveelheid geproduceerd t.o.v. ruw)

NL-waterbedrijven	Concessienutting (Opgepompt ruw water/concessie)
-------------------	--

5.7 Waterkwaliteit PI's

Een groot aantal PI's is gegeven op het gebied van waterkwaliteit (Tabel 5.7). Dit zijn in sommige gevallen enkele waterkwaliteitsparameters die als PI gebruikt worden. In andere gevallen worden een aantal parameters gecombineerd. Daarnaast zijn er een aantal PI's die de mate aangeven waaraan voldaan wordt aan een bepaalde test (voldoen aan de norm) voor een groep van waterkwaliteitsparameters.

TABEL 5.7 WATERKWALITEIT PI'S VAN HET GEPRODUCEERDE WATER

Bron	PI
Coulibaly et al. (2004)	TOC
Coulibaly et al. (2004)	Turbidity
Coulibaly et al. (2004)	Total coliform bacteria
Coulibaly et al. (2004)	HPC bacteria
Coulibaly et al. (2004)	Atypical bacteria
EBC (2013)	Water quality complaints (%)
IWA (2006)	Aesthetic tests compliance (%)
IWA (2006)	Microbiological tests compliance (%)
IWA (2006)	Physical-chemical tests compliance (%)
IWA (2006)	Radioactivity tests compliance (%)
Sadiq et al. (2010)	Turbidity (NTU)
Sadiq et al. (2010)	Free residual chlorine (mg/L)
Sadiq et al. (2010)	TOC (mg/L)
Sadiq et al. (2010)	UV-254 absorbance (1/cm)
Sadiq et al. (2010)	Heterotrophic plate count (HPC) (#/ml)
Sadiq et al. (2010)	Atypical bacteria (#/100 ml)
Sadiq et al. (2010)	Total coliforms (#/100 ml)
Sadiq et al. (2010)	Total trihalomethanes (THMs) (mg/L)
Vieira et al. (2008), Silva et al. (2012)	Specific water quality parameters compared with WQ criteria (%)
NL-waterbedrijven	Waarden van verschillende waterkwaliteitsparameters (genormaliseerd)
NL-waterbedrijven	WKI (waterkwaliteitsindex)
NL-waterbedrijven	WKI klantperspectief (aangepaste WKI vanuit de perceptie van de klant)
NL-waterbedrijven	Biologische stabiliteit
NL-waterbedrijven	PPI (waterkwaliteitsindex voor online data)
NL-waterbedrijven	OLKM (minuten niet voldoen aan de kwaliteit)

5.8 Discussie

Op het gebied van waterkwaliteit zijn een aantal specifieke PI's genoemd en een aantal geaggregeerde PI's, zoals de (aangepaste) WKI. Er zijn echter geen PI's genoemd die de verandering van waterkwaliteit door drinkwaterbereidingsinstallatie weergeeft. Omdat de verbetering (en dus de verandering) van de waterkwaliteit de belangrijkste functie van een drinkwaterbereidingsinstallatie is, en omdat de prestatie naast het eindniveau (reinwaterkwaliteit) ook betrekking heeft op het afgelegde traject (de verandering) en de ruwwaterkwaliteit, is het van belang om hiervoor ook PI's op te stellen. Dit zal in hoofdstuk 6 gebeuren. Daarnaast zijn in hoofdstuk 6 de PI's voor waterkwantiteit verder uitgewerkt.

6 Opstellen indicatoren waterkwaliteit en waterkwantiteit

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een voorstel gegeven voor aanvullende PI's ten opzichte van de in Hoofdstuk 5 opgestelde long-list. De aanvullende PI's voor de drinkwaterbereidingsinstallaties hebben betrekking op het gebied van kwaliteit en kwantiteit. De voornaamste functie van een drinkwaterbereidingsinstallatie is om de kwaliteit van een bepaalde hoeveelheid water te verbeteren. Reeds bestaande PI's voor waterkwaliteit zijn gericht op de kwaliteit van het drinkwater. Om een beter beeld te krijgen van de verandering van de waterkwaliteit tijdens het zuiveringsproces (dit is immers de taak van de zuiveringsinstallatie), worden er ook PI's opgesteld die de verandering in waterkwaliteit beschrijven. Daarnaast zijn de wensen van de waterbedrijven op het gebied van normaliseren en wegen meegenomen, namelijk dat de waterbedrijven zelf weegfactoren en normalisatiefactoren kunnen opgeven.

6.2 Opstellen indicatoren voor waterkwaliteit

De waterkwaliteit wordt gekarakteriseerd door een groot aantal (bio)chemische en fysische parameters, die de aanwezigheid van allerlei biologische en chemische substanties in het water aangeven. Het doel van de zuivering is om de waterkwaliteit zodanig te verbeteren dat het water veilig en met voldoende comfort door de consument gebruikt kan worden. Wettelijke normen zijn opgesteld voor een aantal parameters, waaraan het water moet voldoen. Naast wettelijke normen hebben bedrijven vaak zelf ook eigen normen (soms strenger, soms aanvullend zoals bv. hardheid of kalkafzettendheid) waaraan het water moet voldoen. De mate waarin het geproduceerde water voldoet aan de norm hangt af van de ruwwaterkwaliteit en zegt (indirect) iets over de prestatie van de zuivering. Daarnaast bepaalt de ruwwaterkwaliteit de benodigde zuiveringscapaciteit. De zuivering bestaat uit een aantal zuiveringsstappen die verschillende aspecten van de ruwwaterkwaliteit moeten verbeteren. De prestatie van de zuivering moet daarom primair afgemeten worden aan de mate waarin de waterkwaliteit verbetert door de zuivering. Door alle relevant (bio)chemische en fysische parameters te combineren, kan een enkel getal verkregen worden dat aangeeft in welke mate de waterkwaliteit aan de norm voldoet. Ook kunnen groepen van parameters beschouwd worden (zoals gezondheidskundige, esthetische parameters etc.) en kunnen de parameters per groep geaggregeerd worden. Deze groepen kunnen naar behoefte van het waterbedrijf ingevuld worden, zo kan er ook onderscheid gemaakt worden tussen primair en secundaire parameters, en weegfactoren. Voordat de parameters geaggregeerd kunnen worden, zal eerst iedere parameter genormaliseerd moeten worden.

6.2.1 Index-getal voor waterkwaliteitsparameter (op log-schaal)

Voor iedere parameter wordt een index-getal bepaald, die aangeeft in welke mate deze aan de (bedrijfs)norm voldoet (zowel ruw als geproduceerd water wordt dan gerelateerd aan de (bedrijfs)norm. Dit gebeurt op basis van de 10-logaritme van de concentraties, die geschaald worden naar 100, wat staat voor voldoen aan de norm. Er is gekozen voor een logaritmische schaal, omdat de meeste natuurlijke processen en dus ook de zuiveringsprocessen exponentieel van aard zijn. Per logeenheid waarbij afgeweken wordt van de norm, wordt een score van 20 punten opgeteld of afgetrokken, m.a.w. een WQ van 120 betekent 1 log beter dan de norm, en een WQ van 80 betekent 1 log slechter dan de norm. Een en ander is afhankelijk of de norm gesteld is als een maximumwaarde, als een minimumwaarde of een waarde tussen een minimum en maximum in is (Figuur 6.1). Als de norm een maximum is, is de waterkwaliteit voor een individuele parameter gelijk aan:

$$WQ_{par} = 100 + 20 \log_{10} \left(\frac{C_{norm}}{C} \right)$$

Als de norm een minimum is, wordt het:

$$WQ_{par} = 100 - 20 \log_{10} \left(\frac{C_{norm}}{C} \right)$$

Als een parameter tussen twee normwaarden in moet liggen ($c_{norm}^{min}, c_{norm}^{max}$), worden 100 punten gegeven als de parameter binnen de normen zit en iedere afwijking naar boven of naar onder geeft een aftrek per logeenheid van 20 punten:

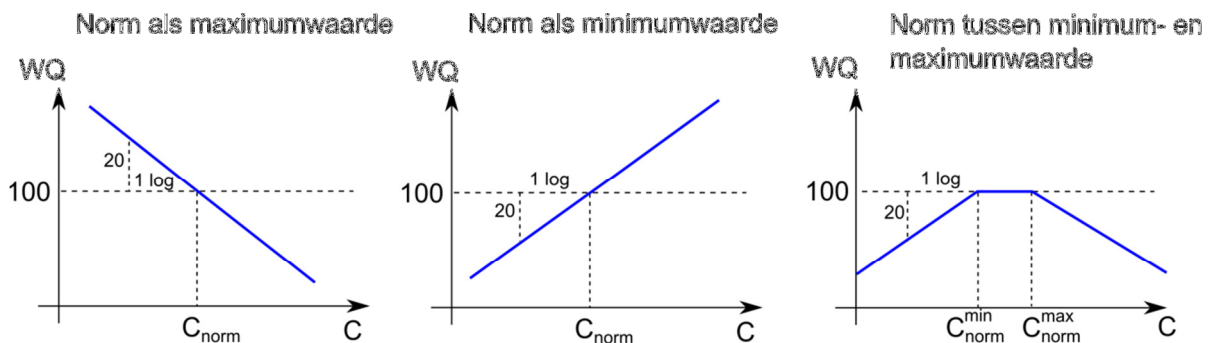
$$\text{Als } C > C_{norm} \quad WQ_{par} = 100 + 20 \log_{10} \left(\frac{C_{norm}}{C} \right)$$

$$\text{Als } C < C_{norm} \quad WQ_{par} = 100 - 20 \log_{10} \left(\frac{C_{norm}}{C} \right)$$

$$\text{Met } c_{norm} = \max(\min(C, c_{norm}^{max}), c_{norm}^{min})$$

De keuze van 20 punten per log-eenheid is gekozen, zodat een maximale verandering van 5 log een uitslag van 0 of 200 geeft. Hogere of lagere waarden worden afgekapt, maar komen slechts zelden voor. Er is gekozen voor log-eenheden, omdat de verwijderingsrendementen in de meeste zuiveringsprocessen exponentieel van aard zijn. Merk op dat parameters die al logaritmisch zijn, zoals pH, dan eerst teruggerekend moeten worden naar concentratie. Als de gemeten parameters onder de onderste analysegrens worden gemeten, wordt de onderste analysegrens als waarde gebruikt (zodat er niet door nul wordt gedeeld).

Het index-getal voor een waterkwaliteitsparameter kan dan zowel voor ruwwater als reinwater bepaald worden.



FIGUUR 6.1 BEPALING VAN INDEX-GETAL VOOR EEN WATERKWALITEITSPARAMETER, DIE AANGEEFT IN WELKE MATE DE PARAMETER AAN DE (BEDRIJFS)NORM VOLDOET. AFHANKELIJK VAN OF DE NORM EEN MAXIMUM, MINIMUM OF TUSSENIN WAARDE REPRESENTEERT. EEN WAARDE VAN 100 OF DAARBOVEN BETEKENT VOLDOEN AAN NORM OF BETER DAN NORM.

6.2.2 Aggregatie waterkwaliteitsparameters op parameterniveau

Aangezien alle parameters nu op dezelfde manier geschaald zijn, kunnen ze met elkaar vergeleken worden en is aggregatie mogelijk. Dit wordt gedaan voor de ruwe en de gezuiverde waterkwaliteit. Voor het aggregeren zijn een aantal mogelijkheden:

- (gewogen) gemiddelde van de parameters. Dit geeft een goed beeld van de waterkwaliteit in zijn geheel. Echter het gemiddelde kan boven de 100 zijn, terwijl een aantal parameters toch niet aan de norm voldoet. Eventuele weging van parameters wordt beschreven in 6.2.4.
- Minimum of maximum waarde van de parameters. Als het minimum 100 of meer is voldoen alle parameters aan de norm. Dit geeft echter geen beeld van de mate waarin alle parameters aan de norm voldoen.
- (gewogen) 10de percentiel. Dit geeft een ondergrens van de 10% laagste waarden. Legt hiermee wat meer de nadruk op de slechte parameters dan het gemiddelde. Echter, nog steeds kan deze boven de 100 zijn, terwijl 1 parameter niet voldoet.

Om in te schatten of het water wel of niet voldoet aan de norm is het minimum de beste manier om te aggregeren, echter dit zegt weer weinig over de mate waarin de kwaliteit beter is dan vereist. Daarom zijn zowel aggregatie op basis van het minimum als op basis van het gewogen gemiddelde van belang en worden beide manieren meegenomen in dit onderzoek.

6.2.3 Bepalen prestatie - overzicht PI's voor waterkwaliteit

Na aggregatie kan de verandering in waterkwaliteit bepaald worden door het verschil te nemen tussen de gezuiverde waterkwaliteit en de ruwe waterkwaliteit en deze te superponeren naar een waarde rond de 100 (100=geen verandering, 120=gemiddeld 1 log verbeterd ten opzichte van de norm, 80=gemiddeld 1 log verslechterd ten opzichte van de norm):

$$dWQ = 100 + WQ_{zuiv} - WQ_{ruw}$$

In principe zal de dWQ altijd groter dan 100 zijn, anders zou het zuiveringsproces de waterkwaliteit verslechteren. Echter kunnen er tijdens de zuivering wel ongewenste bij-producten gevormd worden (zoals koloniegetal bij 22 graden, Aeromonas, of troebeling), die de WQ kunnen verlagen. Overigens kan ook eerst per parameter de dWQ bepaald worden en dan geaggregeerd worden, dit geeft hetzelfde resultaat.

Op basis van de aggregatie op parameterniveau zijn de volgende PI's van belang voor de zuivering:

1. $WQ_{zuiv, min}$: index-getal voor waterkwaliteit van **behandeld** water (100=voldoen aan bedrijfsnorm), **minimum** van een aantal parameters. Het minimum is van belang omdat alle parameters aan de norm moeten voldoen.
2. $WQ_{zuiv, gem}$: index-getal voor waterkwaliteit van **behandeld** water (100=voldoen aan bedrijfsnorm), **gewogen gemiddelde** over een aantal parameters. Het gemiddelde is van belang omdat dit aangeeft in hoeverre alle parameters beter dan de norm scoren.
3. dWQ_{gem} : index-getal voor **verandering in gewogen gemiddelde** waterkwaliteit na de zuivering (100=geen verandering). De verandering is van belang omdat dit de mate van prestatie van de drinkwaterbereidingsinstallatie aangeeft, omdat rekening wordt gehouden met de ruwe waterkwaliteit.

6.2.4 Selectie en weging van parameters

De keuze van het aantal parameters is van belang voor de aggregatie (met name bij een minimum of percentiel). Hier moet een goede selectie voor gemaakt worden, op basis van beschikbare metingen, zuiveringsprocessen, wensen van waterbedrijven en wettelijke eisen. Hierbij is het mogelijk om redundante parameters mee te nemen, maar hier moet rekening mee gehouden worden in de weging. Een voorzet van een lijst met relevante parameters per zuiveringsproces is gemaakt in Bijlage II.

De weging van de parameters kan door de waterbedrijven zelf ingevuld worden, en kan ook verschillen. Bijvoorbeeld voor een bepaald proces (zoals ontijzering) krijgen alleen de verwachte parameters die tijdens dit proces veranderen een gewicht. De relevante waterkwaliteitsparameters per zuiveringsproces, zoals weergegeven in Bijlage II, kunnen hiervoor de basis vormen. De weging wordt dus gebaseerd op 1) de parameters die voor een bedrijf het belangrijkste zijn en 2) de parameters waarop de betreffende zuiveringsstap ingrijpt / voor ontworpen is².

Daarnaast kunnen er groepen van parameters onderscheiden worden. Op deze manier worden voor iedere groep de waterkwaliteitsprestatie-indicatoren berekend. Voor de indeling van groep kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van de groepen in de wettelijke norm of in de benchmark.

6.3 Opstellen indicatoren voor waterkwantiteit

Voor de waterkwantiteit kunnen een aantal indicatoren opgesteld worden:

- *% utilisatie*, Verhouding behandelde hoeveelheid water tov ontwerpdebiet voor een tijdseenheid. Het is de vraag hoe interessant dit is, omdat veel installaties gebouwd zijn met een overcapaciteit en/of een dalende productievraag.

² Hierbij moet men wel rekening houden dat onverwachte parameters ook kunnen veranderen. Bijvoorbeeld CIX verwijdert Ca en Mg zoals ontworpen, maar kan ook via Ca-NOM complexen NOM verlagen.

- % *stilstand*, aantal tijdseenheden niet in gebruik vanwege onderhoud (= gepland), storing (=ongepland), reparatie etc. t.o.v de totale tijd. Dit kan ook zijn vanwege een lagere vraag (bijv. uitschakelen van een straat).
- % *rendement*, percentage behandeld water t.o.v. ruwe water. Dit is van belang om een beeld te krijgen van het verlies van water.
- % *concessie*, percentage ruw water gebruikt t.o.v. toegestaan volgens de concessie.
- % *tekort*, percentage van de tijd dat de zuivering niet de gewenste hoeveelheid water kan leveren. Dit kan bijvoorbeeld gemeten worden aan het niveau van de reinwaterkelder. Als deze onder een bepaald minimum zit, kan verondersteld worden dat de vraag groter is dan de beschikbare hoeveelheid. De hoeveelheid tijdseenheden onder het minimum (gedeeld door het totaal aantal tijdseenheden) kan dan als parameter aangehouden worden.

6.4 Opstellen indicator voor waterkwantiteit en waterkwaliteit

Het combineren van waterkwantiteit en waterkwaliteit kan gebeuren door het aantal tijdseenheden te beschouwen wanneer er zowel te weinig geleverd wordt (*tekort*) en de kwaliteit niet voldoet ($WQ_{\text{treat,min}} < 100$):

- % *onbeschikbaar*, Aantal tijdseenheden dat de vraag groter is dan de beschikbare hoeveelheid en/of de kwaliteit niet voldoet ($WQ_{\text{treat}} < 100$). Aantal tijdseenheden dat de vraag > aanbod is het aantal tijdseenheden dat het waterniveau in de reinwaterkelder onder een minimum niveau ligt. Kan ook vertaald worden naar minuten, analoog aan OLM, of indicatoren die gebruikt worden in de gassector (jaarlijkse uitvalsduur per klant (# min, norm=1 min)).

6.5 Aggregatie op ruimtelijk niveau

De PI's voor waterkwaliteit en waterkwantiteit kunnen op verschillende manieren geaggregeerd worden op ruimtelijk niveau. Daarnaast is niet elke PI relevant op elk ruimtelijk niveau. De relevante PI's per ruimtelijk niveau en de manier waarop ze geaggregeerd kunnen worden is beschreven. Zie voor indeling ruimtelijk niveaus paragraaf 3.2.

6.5.1 Drinkwaterbereidingsinstallatie

Dit kan alleen als de drinkwaterbereidingsinstallatie individueel bemeten en bemonsterd wordt, anders moeten de parameters op een hoger niveau (parallelle straat of de zuiveringsstap) bepaald worden. Omdat dit het laagste ruimtelijke niveau is, is aggregatie op ruimtelijk niveau hier niet aan de orde.

TABEL 6.1 AGGREGATIE OP NIVEAU VAN DRINKWATERBEREIDINGSINSTALLATIE

PI	Opmerkingen
$WQ_{\text{zuiv, min}}$ $WQ_{\text{zuiv, gem}}$ dWQ_{gem}	Voor de weging van de waterkwaliteitsparameter kan gekozen worden om alleen de parameters die veranderen tijdens dit proces te beschouwen, evt. aan te vullen met dezelfde parameters gewogen met de voor de hele zuivering relevante parameters.
% <i>utilisatie</i>	
% <i>stilstand</i>	
% <i>rendement</i>	
% <i>concessie</i>	Niet relevant op dit niveau
% <i>tekort</i>	Niet relevant op dit niveau
% <i>onbeschikbaar</i>	Niet relevant op dit niveau

6.5.2 Parallele straat in zuiveringsstap

De zuivering is vaak uitgevoerd in een aantal parallelle straten. Hier wordt de parallelle straat van een zuiveringsstap bedoeld, die kan bestaan uit meerdere installaties. Ook hiervoor geldt dat de parallelle straat voldoende bemonsterd moet worden om de PI's te kunnen bepalen.

TABEL 6.2 AGGREGATIE OP NIVEAU VAN PARALLELE STRAAT IN ENKELE ZUIVERINGSSTAP

PI	Opmerkingen
----	-------------

$WQ_{zuiv, min}$ $WQ_{zuiv, gem}$ dWQ_{gem}	Voor de weging van de waterkwaliteitsparameter kan gekozen worden om alleen de parameters die veranderen tijdens dit proces te beschouwen, evt. aan te vullen met dezelfde parameters gewogen met de voor de hele zuivering relevante parameters. Door de waterkwaliteitsparameters voor en na de parallelle straat in de zuiveringsstap te nemen wordt een geaggregeerde waarde verkregen.
% <i>utilisatie</i> % <i>stilstand</i> % <i>rendement</i> % <i>concessie</i> % <i>tekort</i> % <i>onbeschikbaar</i>	Middelen over het aantal installaties in de parallelle straat Niet relevant op dit niveau Niet relevant op dit niveau Niet relevant op dit niveau

6.5.3 Zuiveringsstap

De zuiveringsstap representeert het zuiveringsproces waarvoor een aantal installaties, zowel in serie als parallel, zijn uitgevoerd om de waterkwaliteit te verbeteren.

TABEL 6.3 AGGREGATIE OP NIVEAU VAN DE ZUIVERINGSSTAP

PI	Opmerkingen
$WQ_{zuiv, min}$ $WQ_{zuiv, gem}$ dWQ_{gem}	Voor de weging van de waterkwaliteitsparameter kan gekozen worden om alleen de parameters die veranderen tijdens dit proces te beschouwen, evt. aan te vullen met dezelfde parameters gewogen met de voor de hele zuivering relevante parameters. Door de waterkwaliteitsparameters voor en na de zuiveringsstap te nemen wordt een geaggregeerde waarde verkregen.
% <i>utilisatie</i>	Middelen over het aantal installaties in de zuiveringsstap (gewogen naar ontwerpdebiet)
% <i>stilstand</i>	Middelen over het aantal installaties in de zuiveringsstap (gewogen naar ontwerpdebiet)
% <i>rendement</i>	Op basis van het totale debiet ingaand en uitgaand van de zuiveringsstap
% <i>concessie</i>	Niet relevant op dit niveau
% <i>tekort</i>	Niet relevant op dit niveau
% <i>onbeschikbaar</i>	Niet relevant op dit niveau

6.5.4 Productielocatie

Op een productielocatie zijn een aantal zuiveringsstappen in serie uitgevoerd³.

TABEL 6.4 AGGREGATIE OP NIVEAU VAN HET PRODUCTIELOCATIE

PI	Opmerkingen
$WQ_{zuiv, min}$ $WQ_{zuiv, gem}$ dWQ_{gem}	Door de waterkwaliteitsparameters voor en na de productielocatie te nemen wordt een geaggregeerde waarde verkregen.
% <i>utilisatie</i>	Middelen over alle installaties in de productielocatie (gewogen naar ontwerpdebiet)
% <i>stilstand</i>	Middelen over alle installaties in de productielocatie (gewogen naar ontwerpdebiet)
% <i>rendement</i>	Op basis van het totale debiet ingaand en uitgaand van de productielocatie
% <i>concessie</i>	Totaal gebruikte debiet ten opzichte van toelaatbaar (op niveau van de productielocatie, als dit bekend is).
% <i>tekort</i>	Is al geaggregeerd op dit niveau
% <i>onbeschikbaar</i>	Is al geaggregeerd op dit niveau

³ Soms blijven de parallelle straten in een zuiveringsstap parallel lopen over meerdere zuiveringsstappen. Hierdoor blijven de waterstromen over meerdere zuiveringsstappen gescheiden. Een parallelle straat met een aantal zuiveringsstappen erin kan ook beschouwd worden als een ruimtelijk niveau. Deze is hier niet expliciet meegenomen, maar hiervoor gelden soortgelijke aggregatieregels als voor de gehele productielocatie.

6.5.5 Voorzieningsgebied

Het voorzieningsgebied kan uit de gehele of een gedeelte van het voorzieningsgebied van een drinkwaterbedrijf bestaan, waarin water wordt geleverd van één of meerdere productielocaties. Het distributienet speelt op dit ruimtelijk niveau ook een rol. Zo voeren waterleidingbedrijven ook leveringszekerheidsstudies uit. Dat valt buiten de scope van dit onderzoek.

TABEL 6.5 AGGREGATIE OP NIVEAU VAN PARALLELE STRAAT IN ENKELE ZUIVERINGSSTAP

PI	Opmerkingen
$WQ_{zuiv, min}$ $WQ_{zuiv, gem}$ dWQ_{gem}	Waterkwaliteitsparameters bepalen voor iedere productielocatie. Gemiddelde nemen over de productielocaties in het voorzieningsgebied (gewogen naar geproduceerd water per station). Op basis van leidingnetwerkmodellen kan bepaald worden welk ruimtelijk gebied gekoppeld is aan een productielocatie en kan daarmee een specifieke waterkwaliteit toegekend worden aan deelgebieden binnen het voorzieningsgebied. Soms is een leidingnet model niet nodig en levert één productielocatie aan één voorzieningsgebied.
% <i>utilisatie</i> % <i>stilstand</i> % <i>rendement</i> % <i>concessie</i> % <i>tekort</i> % <i>onbeschikbaar</i>	Middelen over alle stations (gewogen naar geproduceerd water per station) Totaal gebruikte debiet ten opzichte van toelaatbaar (op niveau van het voorzieningsgebied). Station A kan een deel voor zijn rekening nemen van station B.

6.6 Aggregaties in de tijd

De meetfrequentie van de waterkwaliteitsparameters kan verschillen. Zo zijn er online metingen en daarnaast zijn er dagelijkse, wekelijkse of maandelijkse of jaarlijkse of eens per aantal jaar monsternames. De PI's voor waterkwaliteit kunnen in principe met dezelfde meetfrequentie als de online metingen bepaald worden, maar dan wordt voor de parameters met een lagere meetfrequentie een geïnterpoleerde waarde (bij een analyse achteraf) of de laatst gemeten waarde (bij een real-time bepaling van de PI) gebruikt. Nadat de PI's bepaald zijn over de tijd, moeten ze geaggregeerd worden over de tijd. Afhankelijk van de interesse van de gebruiker kan dit gebeuren op verschillende tijdschalen (dag/week/maand/jaar, zie ook Figuur 3.2). Daarnaast moet besloten worden of men de gemiddelde waarde en/of juist de extremen wil weten. Dit kan verschillen per toepassing.

Het verdient de voorkeur om eerst de PI's over de tijd te bepalen en dan pas te aggregeren over de tijd boven een aanpak die eerst de gemiddelde waarde van de waterkwaliteitsparameters over de tijd neemt en dan pas de PI's bepaalt. In het laatste geval worden waarden van waterkwaliteitsparameters op verschillende momenten gebruikt en dat is onwenselijk.

6.7 Voorbeeld van PI's voor waterkwaliteit

Om de methodiek te testen zijn voor een aantal productielocaties de waterkwaliteitsprestatie-indicatoren bepaald voor en na de zuivering. Data is afkomstig uit REWAB over de periode 2010-2014. Dit is uitgewerkt voor acht productielocaties (geanonimiseerd weergegeven in Tabel 6.6). De productielocaties hebben verschillende bronnen en om die reden ook verschillende zuiveringsstappen. In REWAB staan gegevens over een groot aantal waterkwaliteitsparameters, hiervan zijn de gemiddelde waarden per jaar gebruikt. Deze parameters zijn gegroepeerd in de 4 groepen die ook gebruikt worden in de benchmark: gezondheid acuut (GezA), gezondheid niet acuut (GezNA), klant en bedrijfstechnisch/operationeel (Oper). Een overzicht van de gebruikte waterkwaliteitsparameters per groep is gegeven in Tabel 6.7. Bij de aggregatie van de waterkwaliteitsparameters is gebruik gemaakt van de wegingsfactoren zoals aangegeven in de tabel. De keuze voor deze wegingsfactoren is overigens arbitrair, dit is hier alleen toegepast als voorbeeld.

TABEL 6.6 OVERZICHT VAN EEN AANTAL ZUIVERINGEN DIE UITGEWERKT ZIJN IN EEN VOORBEELD, GW=GRONDWATER, OW=OPPERVLAKTEWATER

Productielocatie	Bron	Zuiveringsstappen
1	Aeroob GW	Beluchting, kalksteen filtratie
2	Licht anaeroob GW	Beluchting, zandfiltratie, beluchting
3	Diep anaeroob GW	Beluchting, droogfiltratie, beluchting, natfiltratie
4	Oeverfiltraat	Beluchting, droogfiltratie, beluchting, natfiltratie, AKF, UV
8	OW (voorzuivering)	Flocculatie, sedimentatie, filtratie
9	OW (voorzuivering)	Reservoir, flocculatie, filtratie, AKF
10	OW (nazuivering)	Beluchting, Filtratie
11	OW (nazuivering)	Ozonisatie, ontharding, AKF, langzame zandfiltratie

TABEL 6.7 OVERZICHT VAN DE WATERKWALITEITSPARAMETERS DIE GEBRUIKT ZIJN EN DE GEHANTEERDE NORM VOLGENS DE WET EN GEBRUIKTE WEGINGSFACTOREN. O.A.G=ONDERSTE ANALYSEGRENS.

Parameter	Eenheid	Type norm	Norm (min)	Norm (max)	weging	Onderste analysegrens	Groep
Bacterien Coligroep (37 C)	kve/100 ml	max		0	10	1	GezA
<i>Enterococci</i>	kve/100 ml	max		0	10	1	GezA
<i>Enterococci</i> (onbevestigd)	kve/100 ml	max		0	10	1	GezA
<i>Escherichia coli</i> (bevestigd)	kve/100 ml	max		0	10	1	GezA
1,2-dichloorethaan	µg/l	max		3	10	0.01	GezNA
actinomyceten	kve/100 ml	max				1	GezNA
Antimoon	µg/l Sb	max		5	10	0.1	GezNA
AOX (ads. org. geb. halog.)	µmol X/l	max		10	10	0.1	GezNA
Arseen	µg/l As	max		10	20	0.1	GezNA
Benzeen	µg/l	max		1	10	0.01	GezNA
benzo(a)pyreen	µg/l	max		0.01	10	0.01	GezNA
boor	µg/l B	max		500	20	0.1	GezNA
Bromaat	µg/l BrO3	max		1	20	0.1	GezNA
Cadmium	µg/l Cd	max		5	20	0.1	GezNA
Chroom	µg/l Cr	max		50	20	0.1	GezNA
koper	µg/l Cu	max		2	20	0.1	GezNA
Kwik	µg/l Hg	max		1	20	0.1	GezNA
Lood	µg/l Pb	max		10	20	0.1	GezNA
MTBE	µg/l	max		1	10	0.01	GezNA
Nikkel	µg/l Ni	max		20	20	0.1	GezNA
Nitraat	mg/l NO3	max		50	10	0.01	GezNA
Nitriet	mg/l NO2	max		0.1	10	0.01	GezNA
PAK, som 10	µg/l	max		0.1	20	0.01	GezNA
PCB's (som)	µg/l	max		0.5	20	0.01	GezNA
Pesticiden (som)	µg/l	max		0.5	20	0.01	GezNA
Seleen	µg/l Se	max		10	20	0.1	GezNA
Som trihalomethanen	µg/l	max		25	20	0.01	GezNA
Tetra- en trichlooretheen (som)	µg/l	max		10	20	0.01	GezNA
Totaal alfa-activiteit	Bq/l	max		0.1	10	0.01	GezNA
Totaal beta-radioactiviteit	Bq/l	max		1	10	0.01	GezNA
Tritium	Bq/l	max		100	10	0.01	GezNA
zink	µg/l Zn	max		3000	20	0.1	GezNA

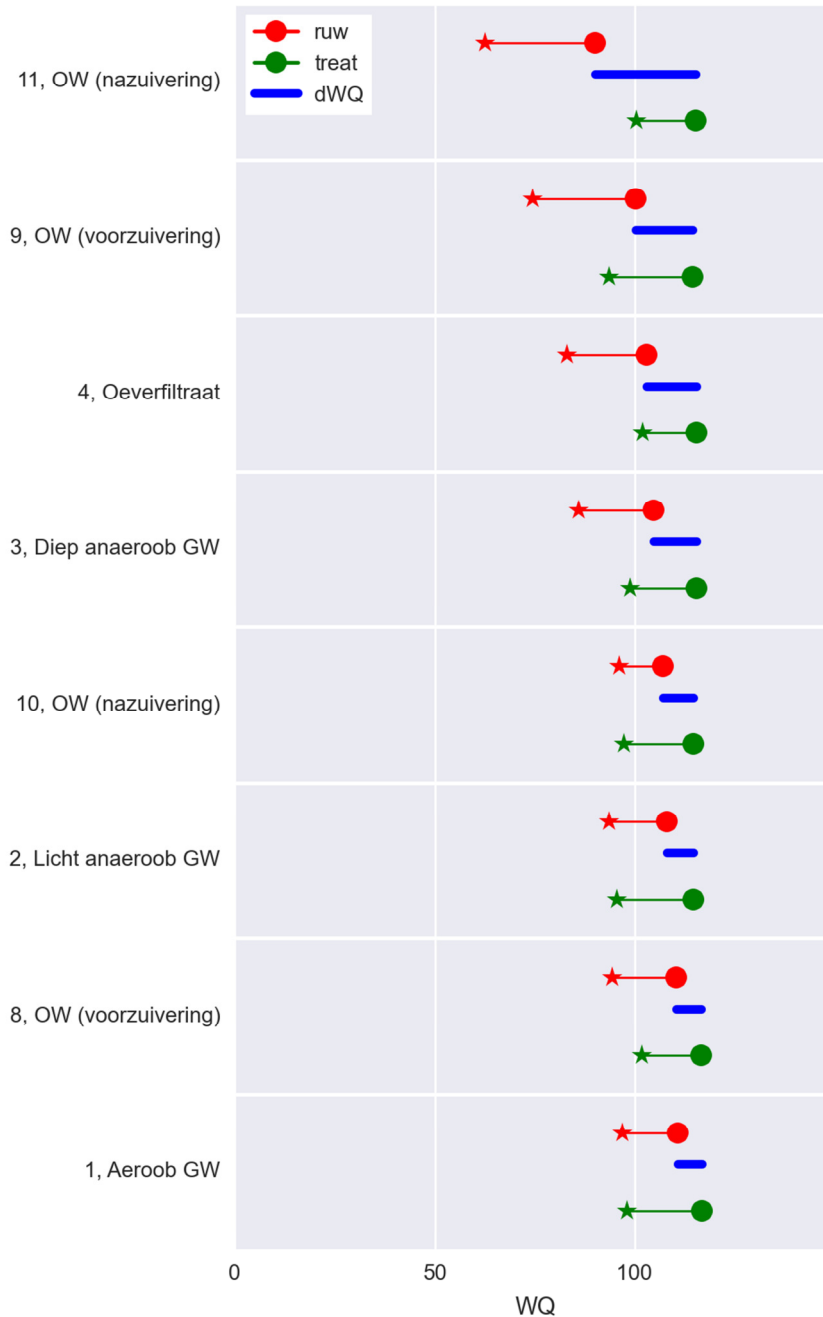
Cyaniden (totaal)	µg/l CN	max		50	20	0.1	GezNA
Aluminium	µg/l Al	max		200	10	0.1	Klant
Ijzer	µg/l Fe	max		200	30	0.1	Klant
Ijzer opgelost	µg/l Fe	max		200	0	0.1	Klant
Kleurintens., Pt/Co-schaal	mg/l Pt	max		20	10	0.1	Klant
Mangaan	µg/l Mn	max		50	30	0.1	Klant
Natrium	mg/l Na	max		150	10	0.1	Klant
Sulfaat	mg/l SO ₄	max		150	10	0.1	Klant
Totale hardheid	mmol/l	min	1		10	0.01	Klant
totale hardheid, na filtratie	mmol/l	min	1		10	0.01	Klant
Troebelingsgraad	FTE	max		1	10	0.1	Klant
<i>Aeromonas</i> spp. 30 C	kve/100 ml	max		1000	10	1	Oper
Ammonium	mg/l NH ₄	max		0.2	10	0.01	Oper
Chloride	mg/l Cl	max		150	10	0.1	Oper

In eerste instantie zijn de waarden over de periode 2010-2014 gemiddeld en zijn alle waterkwaliteitsparameters geaggregeerd. In Figuur 6.2 zijn de resultaten voor alle productielocaties samengevat: voor iedere productielocatie zijn de PI's opgesteld voor de ruwe waterkwaliteit (in rood), de gezuiverde waterkwaliteit (in groen) en de verandering van de gewogen gemiddelde waterkwaliteit (in blauw). De ronde stip geeft de gemiddelde waarde van de PI aan, welke met de in Tabel 6.7 gegeven weegparameters gemiddeld is over alle parameters over de periode 2010-2014. De ster geeft de minimum waarde aan. De lengte van de blauwe lijn geeft de grootte van de verandering in waterkwaliteit aan. De productielocaties zijn gesorteerd van weinig verandering (onder) naar veel verandering (boven) in waterkwaliteit. Hier is duidelijk te zien dat de productielocaties met meer zuiveringsstappen een grotere verandering in waterkwaliteit bewerkstelligen, wat ook te verwachten is vanwege de grotere inspanning die geleverd wordt om de slechtere ruwwaterkwaliteit naar het gewenste niveau te brengen. Naast aggregatie over alle waterkwaliteitsparameters, zijn de waterkwaliteitsparameters ook geaggregeerd per groep (Figuur 6.3): per productielocatie zijn de groepen gezondheid acuut (GezA), gezondheid niet-acuut (GezNA), klant (Klant) en operationeel (Oper) uitgezet (in Tabel 6.7 staat de indeling van parameters per groep). Dit is gedaan voor de gemiddelde ruwe waterkwaliteit per groep (rood), gemiddelde gezuiverde waterkwaliteit per groep (groen) en gemiddelde verandering in waterkwaliteit per groep (blauw). Voor de groep gezondheid acuut gebeurt er op een aantal productielocaties weinig, dit zijn de stations zonder desinfectiestap. Andere stations met een desinfectiestap laten wel een verbetering zien (bijv. station 9), terwijl ook een aantal stations met een desinfectiestap (bijv. station 4) weinig verschil laat zien. Dit heeft waarschijnlijk twee oorzaken: het ingaande water van dit station heeft over het algemeen weinig desinfectie nodig (desinfectie vindt al plaats in de oever bij het oeverfiltraat), en ten tweede is gebruik gemaakt van gemiddelde waarden: voor een korte periode kan er wel desinfectie nodig zijn, wat zichtbaar moet zijn in de extremen. Voor de groep gezondheid niet-acuut is de waterkwaliteit in het ruwe water gemiddeld genomen al voldoende voor alle stations. Voor de groepen klant en bedrijfstechnisch vindt er een duidelijke toename plaats van de waterkwaliteit voor de meeste stations. Merk op dat de resultaten afhankelijk zijn van de beschikbaarheid van gegevens, voor sommige stations zijn meer waterkwaliteitsparameters beschikbaar in REWAB dan voor andere stations.

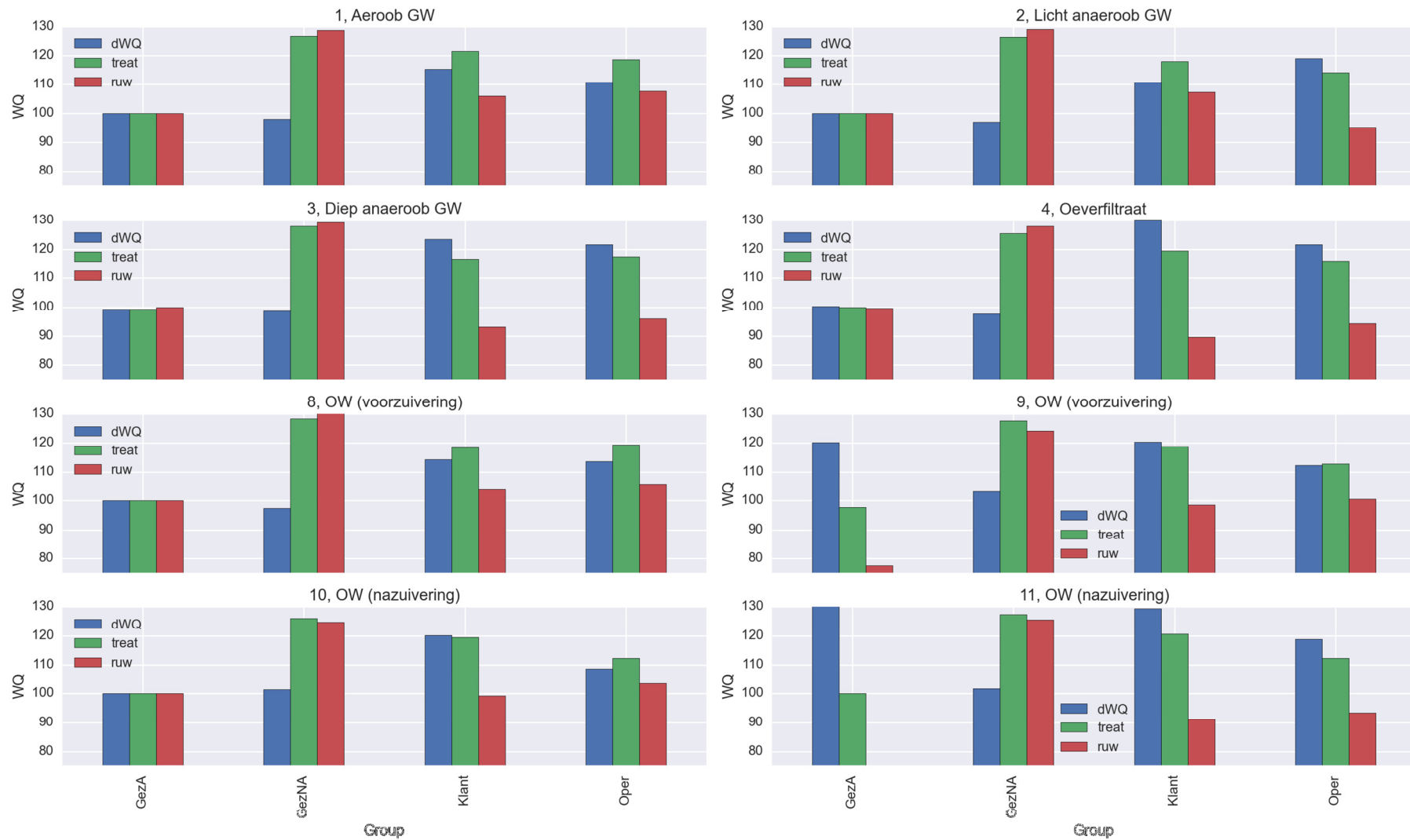
Iedere afzonderlijke waterkwaliteitsparameter, waaruit Figuur 6.2 en Figuur 6.3 zijn opgebouwd is weergegeven in Figuur 6.4 en Figuur 6.5 voor elke productielocatie. Hierin zijn de genormaliseerde waarden van de waterkwaliteitsparameters zelf weergegeven, zodat ze eenvoudig met elkaar vergeleken kunnen worden. Dit is de eerste stap voordat de aggregatie plaatsvindt. Ieder rondje in het figuur geeft de genormaliseerde waarde aan van een parameter voor het ruwe water (rood) en gezuiverde water (groen). De waarde voor ieder jaar in de periode 2010-2014 is weergegeven, zodat er per waterkwaliteitsparameter meerdere punten te zien zijn. De parameters zijn gesorteerd per groep. Daarnaast zijn de (gewogen) gemiddelde waarde en minimum waarden voor ruw water en gezuiverd water weergegeven met de getrokken en gestippelde lijn (deze waarden corresponderen met waarden in Figuur 6.2). In deze figuren met de individuele waterkwaliteitsparameters zijn een aantal trends te zien: zoals te verwachten valt, voor de grondwaterstations voldoen parameters zoals ijzer en mangaan in het ruwe water niet aan de norm, en in

sommige gevallen voldoet ook zuurstof niet (locaties met anaerobe grondwater). Voor de oppervlaktewaterstations voldoen de microbiologische parameters en parameters zoals troebeling, kleur en in sommige gevallen ook ijzer en mangaan niet aan de norm in het ruwe water.

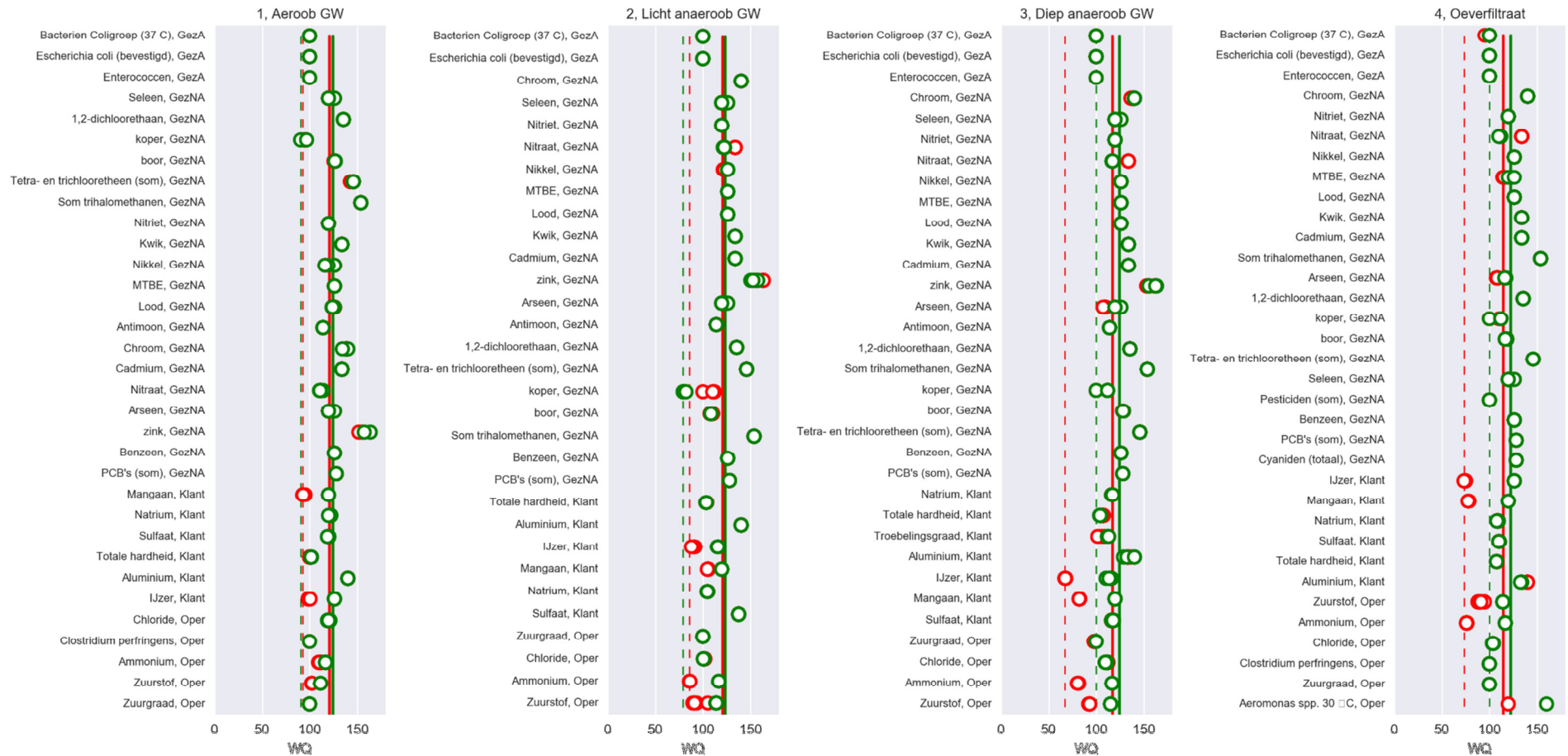
Daarnaast zijn de gegevens weergegeven per jaar in Figuur 6.6 voor de verandering in waterkwaliteit. Voor iedere productielocatie is deze PI weergegeven per jaar en per groep. Over het algemeen is de variatie per jaar relatief klein.



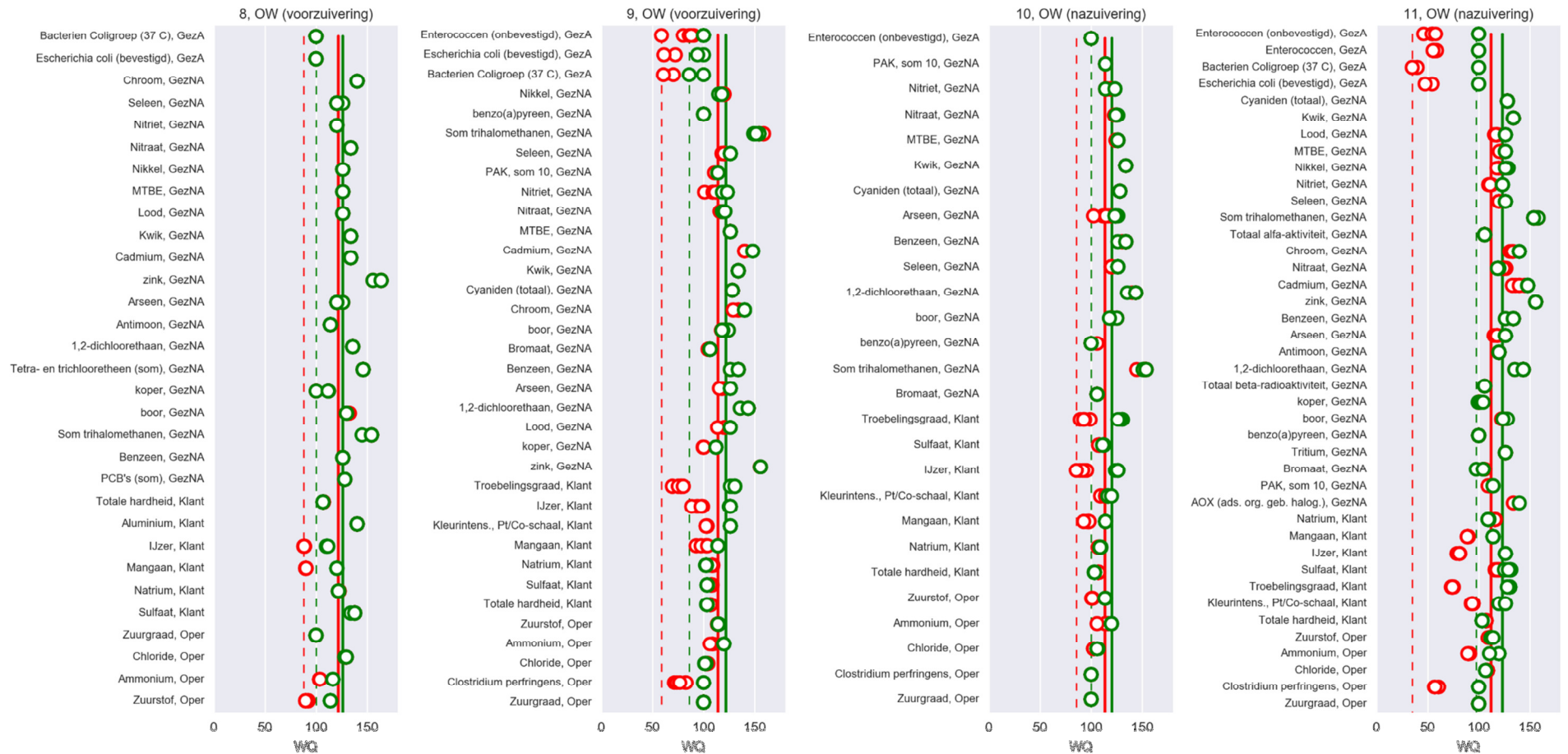
FIGUUR 6.2 OVERZICHT VAN WATERKWALITEIT VAN RUWE (RUW) EN REINE (TREAT) WATER, GESORTEERD OP DE GROOTTE VAN DE VERANDERING IN WATERKWALITEIT (DWQ). MINIMUM-WAARDE IS WEERGEGEVEN MET EEN STER, HET GEWOGEN GEMIDDELDE MET DE CIRKEL. DE BLAUWE LIJN GEEFT DE VERANDERING IN WATERKWALITEIT AAN.



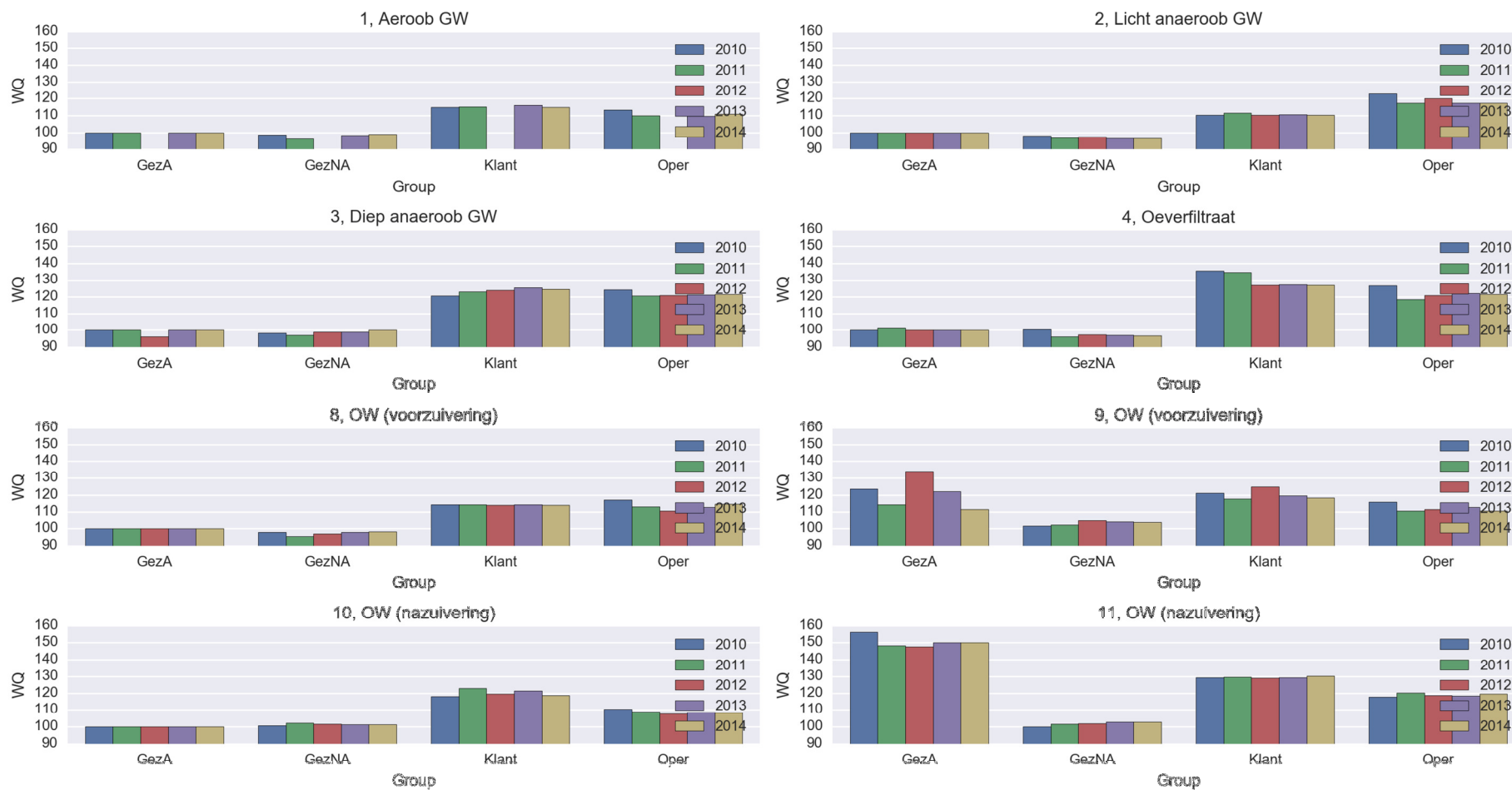
FIGUUR 6.3 OVERZICHT VAN WATERKWALITEITSINDICATOREN VOOR DE VIER VERSCHILLENDE GROEPEN: GEZONDHEID ACUUT (GEZA), GEZONDHEID NIET-ACUUT (GEZNA), KLANT EN OPERATIONEEL (OPER), WEERGEGEVEN VOOR RUWE WATER



FIGUUR 6.4 OVERZICHT VAN PARAMETERS VAN RUWE WATER (ROOD) EN REINE WATER (GROEN) PER ZUIVERING. DE GETROKKEN LIJNEN ZIJN DE GEWOGEN GEMIDDELDEN WAARDEN EN DE GESTIPPELDE LIJNEN DE MINIMUM WAARDEN



FIGUUR 6.5 OVERZICHT VAN PARAMETERS VAN RUWE WATER (ROOD) EN REINE WATER (GROEN) PER ZUIVERING. DE GETROKKEN LIJNEN ZIJN DE GEWOGEN GEMIDDELDEN WAARDEN EN DE GESTIPPELDE LIJNEN DE MINIMUM WAARDEN

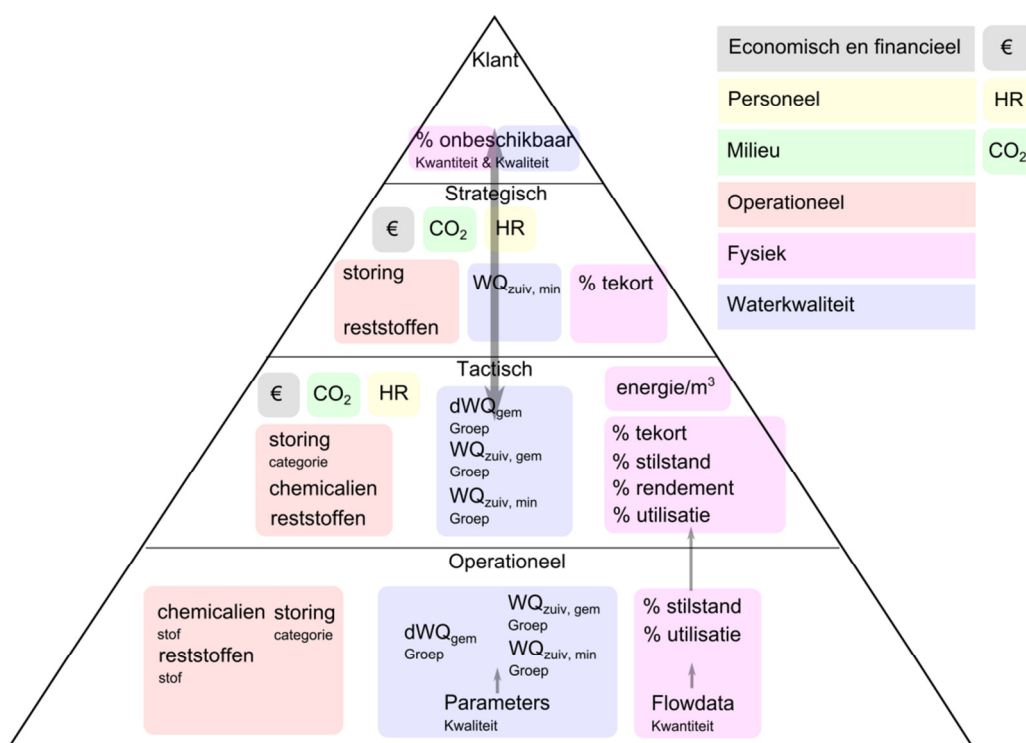


FIGUUR 6.6 OVERZICHT VAN VERANDERING IN WATERKWALITEIT (DWQ) PER GROEP PER JAAR VOOR DE VERSCHILLENDE PRODUCTIELOCATIES.

7 Selectie van prestatie-indicatoren

7.1 Inleiding

De lijst die samengesteld is uit de literatuurbronnen en interviews met de waterbedrijven is gebruikt als basis van de selectie. Daarnaast zijn de aanvullende PI's op het gebied van waterkwaliteit en waterkwantiteit uit hoofdstuk 6 meegenomen. In dit hoofdstuk is een voorstel voor selectie van PI's gemaakt op basis van de eerder genoemde PI's. Afhankelijk van de ervaringen in de praktijk bij het toepassen en bedrijfsspecifieke wensen van deze PI's kan de lijst verder definitief gemaakt of aangepast worden. Uitgaande van de in hoofdstuk 2 opgestelde piramide met de verschillende niveau's in de organisatie, zijn de geselecteerde PI's hiervoor ingevuld (Figuur 7.1).



FIGUUR 7.1 OVERZICHT VAN PI'S OP VERSCHILLENDE NIVEAU'S IN DE ORGANISATIE.

7.2 Overzicht indicatoren per actor

De meest relevante PI's zijn weergegeven in de piramide in Figuur 7.1. Afhankelijk van het niveau in de organisatie is de mate van aggregatie (zowel op parameterniveau als op ruimtelijk niveau en in de tijd) verschillend. De zes categorieën zijn aangegeven met de verschillende kleuren in de piramide. Voor de categorieën economische en financiële PI's, personele PI's en milieu PI's kunnen de indicatoren zoals eerder aangegeven in Tabel 5.2 t/m Tabel 5.4 gebruikt worden. De focus is nu gelegd op de andere categorieën (fysieke PI's, operationele PI's en waterkwaliteit PI's), waarvoor per actor een voorstel voor selectie is gedaan. Voor de categorie operationeel zijn het gebruik van chemicaliën, overblijven van reststoffen en storingen van belang. Op het laagste niveau is dit gespecificeerd naar type storing, type reststof en type chemische stof. Op een hoger niveau hoeft dit onderscheid niet

per se meer gemaakt te worden. Voor waterkwaliteit kunnen op het laagste niveau de individuele parameters van belang zijn om het proces te bewaken en/of te sturen. Deze kunnen vervolgens genormaliseerd worden en per groep parameters geaggregeerd worden. Zowel het verschil tussen ruw en rein (dWQ) is van belang als de kwaliteit van het gezuiverde water (WQ). Hierbij is zowel het minimum als het gemiddelde van belang. Het minimum bepaalt of aan de norm wordt voldaan. Als alternatief hiervoor kunnen ook het aantal of de frequentie van de normoverschrijdingen gebruikt worden. Op een hoger niveau, voor assetmanagement, zijn deze drie waterkwaliteitsindicatoren ook van belang. Deze kunnen per groep bekeken worden of de verschillende groepen kunnen samengevoegd worden. Op het hogere management niveau is de onderverdeling naar de verschillende groepen niet nodig en kan volstaan worden met een enkele waterkwaliteitsparameter van het gezuiverde water. De fysieke PI's geven waterkwantiteitsparameters en energie weer. Uit de flowdata kunnen de waterkwantiteitsparameters gehaald worden. Op het laagste niveau is zowel de flowdata van belang als het gebruikdebiet ten opzichte van het ontwerpdebiet (utilisatie) en de tijd dat een installatie stilstaat (stilstand). Op assetmanagement niveau zijn ook de waterverliezen (weergegeven als rendement) en de tijd dat er een tekort dreigt te zijn (tekort) van belang. Op het hogere management niveau is waarschijnlijk alleen de laatste van belang. Het energieverbruik per m³ geproduceerd water zal vooral van belang zijn op het assetmanagement niveau. Op een hoger niveau wordt dit verdisconteerd in de financiële en milieu gerelateerde PI's. Op het hoogste niveau is een PI die kwaliteit en kwantiteit combineert interessant. Te denken valt aan onbeschikbaarheid of een OLM, waarbij niet voldoen aan de kwaliteit ook wordt meegenomen.

7.3 Effectenstudie

De geselecteerde PI's kunnen ook gebruikt worden voor een effectenstudie. Een uitgebreide effectenstudie valt buiten de scope van dit onderzoek, slechts enkele gedachten hierover zijn opgenomen in deze paragraaf.

De effecten van het functioneren van een zuivering kunnen het beste vanuit het oogpunt van de klant bekeken worden. Deze zijn:

- geen water leveren (of met te lage druk) of,
- water van onvoldoende kwaliteit, of
- het gelijktijdig optreden van beide effecten.

Dit kan uitgedrukt worden in de PI die op het hoogste niveau staat in Figuur 7.1, onbeschikbaarheid.

De effecten moeten op het niveau van het voorzieningsgebied beschouwd worden. Hierbij moet rekening gehouden worden met schakelen tussen stations, waarbij een ander station een deel van het voorzieningsgebied overneemt. Effecten kunnen aan de hand van scenariostudies onderzocht worden, waarbij berekend wordt wat de onbeschikbaarheid van het voorzieningsgebied doet bij uitval van een productielocatie (zowel in kwantiteit als in kwaliteit). Voor kwantiteit gebeurt dit al aan de hand van leveringszekerheidsberekeningen (dit is wettelijk verplicht). Daarnaast is in het onderzoek 'Systemen in balans' met behulp van een foutenboom onderzocht wat het effect is van uitval van een element in de zuivering op de OLM (kwantiteit), zie Vries et al. (BTO 2014.043) .

Effecten van gezondheidsrisico's en van toxiciteit van parameters kunnen worden meegenomen in de weging van de parameters.

8 Verslag workshop met de waterbedrijven

8.1 Inleiding

Er is een workshop gehouden op 13 oktober 2015 om de laatste stand van zaken te geven met betrekking tot dit onderzoek. Experts van Vitens, Brabant Water, Waternet, Dunea, PWN, Evides, Oasen en de Watergroep zijn hierbij aanwezig. Aan de hand van stellingen is met de experts van de waterbedrijven gediscussieerd over een aantal aspecten van het onderzoek. Daarnaast zijn er vanuit de workshop aanbevelingen gemaakt voor het vervolgonderzoek, fase 2.

8.2 Verslag van de workshop

1. Introductie (Bas Hofs)

KWR geeft een introductie van het onderwerp, wat het doel van de workshop is en het doel van de prestatie-indicatoren. De aanwezigen stellen zich voor en geven aan waarom ze hier aanwezig zijn. Veel waterbedrijven zijn bezig met het opstellen van PI's of hebben er al een aantal in gebruik voor de zuivering. Ze willen deze zowel gebruiken voor de operationele kant, maar ook gebruiken in de assetmanagement strategie en het beheer van de installaties. Ook zijn er vragen bij de bedrijven, zoals wat de PI's precies zeggen, op welke data ze zijn gestoeld, of en hoe ze gebruikt kunnen worden om te sturen en wat de verticale verbinding is tussen PI's op verschillende niveaus.

2. Onderzoekresultaten (Bas Wols)

Bas geeft een presentatie van de onderzoekresultaten (zie bijgevoegde powerpoint in Bijlage III). Er volgt een discussie aan de hand van de presentatie:

- Wat voegt de gepresenteerde waterkwaliteit PI toe t.o.v. de WKI? Het voordeel is dat je hier gewichten kunt toekennen aan de verschillende waterkwaliteitsparameters (afhankelijk van de prioriteiten van het bedrijf). Daarnaast wordt er rekening gehouden met het exponentiele karakter van het zuiveringsproces ('bijna alles in de natuur is exponentieel'). En deze PI is met name ook ontwikkeld om verschil in ruw-rein weer te geven
- Hoe om te gaan met verschillen in de tijd, pieken etc.? Gevaar met middelen is dat alle pieken eruit worden gehaald. Afhankelijk van het doel, kan het ook interessant zijn om de minima of percentiel waarden te beschouwen. Hieraan wordt aandacht geschonken in fase 2 van het onderzoek.
- Welke vraag willen we met de PI's beantwoorden? Dit verschilt per niveau: voor de operators en processtechnologen kan dit vooral procesbewaking en/of sturing zijn, voor de assetmanagers is het een maat die ze gebruiken voor het beheer van de drinkwaterbereidingsinstallaties en/of investeringsbeslissingen. Dit aspect zal verder verduidelijkt worden in fase 2. Daarnaast bestaat het risico dat bij het aggregeren van allerlei detail info, er informatie verloren gaat. Afhankelijk van het niveau en de te beantwoorden vraag is dit wel of niet wenselijk.
- In hoeverre zijn we hier een nieuwe parameter voor de benchmark aan het oprichten? Dat is zeker niet de bedoeling, het is gericht om individuele waterbedrijven te helpen om de prestaties van hun zuiveringen inzichtelijk te

maken. Bovendien wordt gebruik gemaakt van bedrijfsnormen en gewichten, die verschillen per bedrijf, in dat geval is onderling vergelijk niet erg zinvol.

- Hoe zit het met afgeleide parameters, zoals TACC (kalkafzettend vermogen), etc. ? Deze zitten er nu niet in.
- Hoe zit het met parameters die pas boven een bepaalde waarde een effect veroorzaken? Eventueel kan per parameter bekeken worden welke score deze krijgt bij een bepaalde concentratie.
- Wat is de relatie met kosten en risico's? Door de prestaties van de zuivering uit te zetten tegen kosten wordt inzichtelijk gemaakt wat het verband hier tussen is. Risico's (kans * effect) zijn lastiger in te schatten en hangen vaak sterk af van de lokale omstandigheden. De bandbreedte tussen bedrijfsnorm en wettelijke norm zegt ook iets over het risico.
- Wat kwam er uit de interviews met Edea en DSM? Bij Edea (demi-water plant) gebruikten ze geen specifieke PI's voor de zuivering, wel konden ze allerlei procesparameters online monitoren in Aspen. Bij DSM zijn PI's geïmplementeerd in een aantal fabrieken voor extruders. Dit is natuurlijk sterk commercieel gedreven en een 1:1 relatie met drinkwater is lastig, maar het geeft wel een beeld. Ze gebruikten een heel schema aan PI's van verschillende niveaus die direct aan elkaar gekoppeld waren. Hiervoor was wel veel detailinformatie nodig (zoals kosten en salarissen). Zo konden ze inzichtelijk maken wat de zwakke punten waren en hebben ze de efficiency kunnen verhogen met 10-20%.

3. Bespreken stellingen (in groepjes) en terugkoppeling (Luc Palmen)

Er zijn 4 stellingen besproken in kleine groepjes en deze zijn vervolgens plenair teruggekoppeld. De belangrijkste punten zijn ook meegenomen in de discussie over het vervolgonderzoek (punt 4).

Stelling 1: "Zonder rekening te houden met de ruwwaterkwaliteit heb je geen goed beeld van de prestatie van de zuivering"

- Definieer prestatie, en wat is de vraag die je wilt beantwoorden?
- Wat is het doel van de drinkwaterbereidingsinstallatie (setpoint)
- Hoe PI's van verschillende stappen op te tellen?
- Zuiveringsprestatie met bandbreedte en relatief
- Leg een link naar de waarde voor AM
- Ingaande kwaliteit maakt soms niet uit (10 mg/L of 3 mg/L ijzer wordt beiden goed verwijderd)
- Relateer dit ook aan inspanning (kosten, personeel, energie, chemicaliën, etc.).
- Dit kan ook weer gerelateerd zijn aan kwantiteit (hogere kwantiteit hoeft niet dezelfde kwaliteit te geven, bijv. Opschakelen naar MAX-DAG heeft gevolgen voor microbiologische langzame processen.)
- In je functionele ontwerp van de zuivering zit altijd de verbinding met de kwaliteit van de bron.
- Seizoensinvloeden spelen een rol.
- Prestatie relateren aan verandering waterkwaliteit (=rein-ruw) en rein t.o.v. norm, want doel=voldoen aan de norm. In beide gevallen koppelen aan inspanning.
- Niet vergelijken verschillende zuiveringen (opp. water en grondwater)

Stelling 2: "Om recht te doen aan de zuivering moet je op log-schaal denken"

- Naast LOG en aggregatie ook kijken naar aantal overschrijdingen (rekening houden met aantal monsters tijdens een incident (regulier versus ad-hoc meetprogramma). Dus: wel/niet voldoen met een frequentie en de LOG geeft de mate waarin wel/niet voldaan wordt.

- Exponentieel = standaard, is het uitgangspunt. Alles in het leven gedraagt zich exponentieel.
- Wel per parameter en met verstand bekijken
- Zorg er wel voor dat het onderscheidend vermogen blijft behouden bij parameters die weinig veranderen.

Stelling 3: "Tekort (niet voldoen aan vraag) alleen een issue voor het zuiveringsstation als de reinwaterkelder leeg is"

- Link met andere productielocaties in het voorzieningsgebied
- Link laag niveau met het moment waarop dit is → geeft de impact weer door het aantal mensen dat getroffen wordt
- Prestatie van zuivering is ook mate van over design en redundantie (is duur, maar leidt "niet" tot laag niveau). Deze zijn gemaakt op basis van risico-scenario's, er is dus bijna nooit een tekort.
- Bron moet voldoende beschikbaar zijn, deze is eerder kritisch.
- Als er door een lek in de distributie geen water meer is in de kelder, ligt het niet aan de zuivering.
- Wat gebeurt er eigenlijk qua procesautomatisering als de kelder bijna leeg is?
- Kritische grens is al hoger, beter 'laag niveau' gebruiken
- Dit kan een risico-indicator zijn voor OLM
- Geen goede PI voor AM

Stelling 4: "Onbeschikbaarheid (niet voldoen aan kwantiteit of kwaliteit): water van onvoldoende kwaliteit is erger dan geen water."

- Niet-microbiologische overschrijdingen zijn acuut niet erg mits van korte duur
- Water heeft andere doelen dan drinken (bijv. sanitair)
- Altijd leveren belangrijker dan onberispelijk leveren
- Kwaliteit verandert ook nog in het distributienet
- Er zijn wettelijke eisen m.b.t. noodwater
- In een 'exotisch land' heb je vaak al deze situatie
- Gecontroleerd versus ongecontroleerd, zorg dat het wel voldoende gecontroleerd is
- Zorg voor een goede informatievoorziening (hiervoor liggen al calamiteitenprogramma's bij de bedrijven, bijv. megafoons door de wijk om kookadvies te geven).
- Veel risico's bij drukverlies in distributie.

4. Discussie over vervolgonderzoek (input voor voorstel 2016)

De plannen voor het onderzoek, Fase 2, worden kort uitgelegd. Vervolgens zijn de volgende vragen voorgelegd aan de experts:

- Moeten we verder gaan met methodiek voor aggregatie waterkwaliteitsparameters?
- Missen er nog zaken?
- Zijn er geïnteresseerde bedrijven voor een pilot?

Over het algemeen waren de aanwezigen positief over de voortgang. Op basis van de discussie over de stellingen en de discussie over het vervolgonderzoek, volgen een aantal aanbevelingen van de experts om mee te nemen Fase 2:

1. In het kader van DPWE en een Europees benchmark onderzoek is een hele lijst van PI's opgesteld, waarvan ook een aantal voor productie. Waternet (Fred van Schooten) heeft in het verleden een OLKM ontwikkeld (een OLM voor kwaliteit). Kijk ook naar deze voorbeelden.
2. Kijk naar wat de PI's uiteindelijk zeggen, wat is de interpretatie en bruikbaarheid hiervan. Maak duidelijk welk soort informatie de verschillende mensen voor wie de

- PI's ontwikkeld worden (van procestechnologen tot management) ze uit de PI's willen halen.
3. Hoe zijn de niveaus van de verschillende PI's uiteindelijk met elkaar verbonden?
 4. Alle waterkwaliteitsparameters op één hoop aggregeren is misschien wat teveel van het goede, maar onderscheid verschillende groepen. Houdt hierbij ook rekening met het onderscheidend vermogen per parameter (range waarin het verschilt) en of het altijd exponentieel is. Kijk ook naar normoverschrijdingen.
 5. Hoe om te gaan met afgeleide parameters of juist parameters die hetzelfde zeggen (data-reductie)?
 6. Kijk goed naar wat er voor data beschikbaar is (of omgekeerd, wat er extra nodig zou zijn en wat dat zou opleveren).
 7. Houdt rekening met variaties over de tijd, en seizoensinvloeden.
 8. Houdt rekening met kwantiteit, en de relatie tussen kwantiteit en kwaliteit.
 9. Kijk breder dan alleen waterkwaliteit: vergeet ook niet de inspanning (kosten, energie, chemicaliën, mensen, etc) mee te nemen.
 10. Denk na over de visualisatie van de PI's, in welke vorm worden ze uiteindelijk gepresenteerd.

Daarnaast is aan de bedrijven gevraagd of ze mee willen werken aan een pilot om de toepasbaarheid van de geselecteerde prestatie-indicatoren te toetsen aan de praktijk. In het algemeen staan de bedrijven hier positief tegenover, dit moet alleen wel intern worden afgestemd.

9 Conclusies en aanbevelingen

9.1 Conclusies

Waterbedrijven willen hun drinkwaterbereidingsinstallaties op de beste manier kunnen bedrijven en beheren. Dit komt neer op het vinden van een optimale balans tussen prestatie, risico en kosten (assetmanagement). Een belangrijk onderdeel hiervan is het op een goede manier definiëren en bepalen van de prestatie van een zuiveringsinstallatie.

Er zijn bij een aantal waterbedrijven en chemisch/industriële bedrijven interviews afgenomen over het gebruik van prestatie-indicatoren in de praktijk. Op basis van deze interviews, literatuuronderzoek en een door KWR opgezette systeembeschrijving, is er een set van prestatie-indicatoren (PI's) samengesteld. Deze PI's zijn opgesteld voor verschillende niveaus in de organisatie. Daarnaast zijn er indicatoren opgesteld die de (verandering van) waterkwaliteit weergeven tijdens de zuivering. Hierbij zijn de verschillende waterkwaliteitsparameters genormaliseerd en vervolgens geaggregeerd. Deze normalisatie gebeurt aan de hand van een door de bedrijven op te stellen bedrijfsnorm, zodat een indexgetal ontstaat dat aangeeft of een waterkwaliteitsparameter boven, onder of op de norm zit. Aggregatie gebeurt door het gewogen gemiddelde van alle parameters of een groep van parameters te nemen. De weegfactoren kunnen door de waterbedrijven zelf aangegeven worden. Omdat een waterbedrijf zelf haar normen en weegfactoren op kan geven, hebben de bedrijven zelf controle op de bepaling van de PI. Daarnaast kan met deze methode per zuiveringsstap een aparte PI gedefinieerd worden door alleen de waterkwaliteitsparameters mee te nemen die relevant zijn bij een bepaalde zuiveringsstap. De methodiek is aan de hand van REWAB gegevens uitgewerkt voor een aantal zuiveringen. Hierin is te zien dat locaties met een slechtere ruwwaterkwaliteit uitgebreidere zuivering hebben, daarbij is meer inspanning m.b.t. verbetering van de waterkwaliteit benodigd, en wordt ook meer verandering in waterkwaliteits PI's geobserveerd. Aanbevelingen worden gedaan hoe de waterkwaliteit en waterkwantiteit PI's te aggregeren op ruimtelijk niveau (van drinkwaterbereidingsinstallatie tot voorzieningsgebied).

Met het overzicht van de beschikbare PI's aangevuld met PI's voor de (verandering) van waterkwaliteit kan een goed beeld verkregen worden van de prestaties van een zuiveringsinstallatie. In een volgende fase kan dit verder uitgewerkt worden en volgt de bruikbaarheid van de verschillende PI's voor de waterbedrijven uit een pilot.

9.2 Aanbevelingen

Voor het gebruik van PI's voor de zuivering worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- De functie van een zuiveringsinstallatie is om de waterkwaliteit van een hoeveelheid water te verbeteren. De prestatie van de zuiveringsinstallatie kan daarom het beste gemeten worden als de verandering in waterkwaliteit.
- Vanuit het perspectief van de klant is een gecombineerde parameter waar het voldoen aan kwaliteit en kwantiteit in opgenomen wordt het meest van belang, hiervoor kan analoog aan de OLM (ondermaatse leveringsminuten) een parameter voor beschikbaarheid (kwaliteit en kwantiteit) gedefinieerd worden.
- Voor het combineren van de verschillende waterkwaliteitsparameters moeten de afzonderlijke parameters eerst genormaliseerd worden. Vervolgens kan een

gewogen gemiddelde genomen worden van alle parameters of groepen van parameters. Een methodiek hiervoor is uitgewerkt in dit rapport.

- Naast de nieuwe voorgestelde PI's voor kwaliteit kunnen reeds bestaande PI's gebruikt worden om andere aspecten van de zuiveringsinstallatie meetbaar te maken (kosten, milieu, veiligheid, onderhoud, etc.). Hiervan is een overzicht gegeven in dit rapport.
- De bruikbaarheid van de methodiek om PI's voor waterkwaliteit op te stellen dient onder praktijkcondities getoetst te worden voor een bestaande drinkwaterbereidingsinstallatie of een pilot-installatie. Hierbij kan tevens de relatie met de andere PI's beschreven in dit rapport onderzocht worden. Op basis van de pilot bij bestaande drinkwaterbereidingsinstallaties kan een definitieve selectie van relevante PI's gemaakt worden (verdere invulling van Figuur 7.1).

Tevens is het aan te bevelen om de volgende vervolgonderzoeksvragen te beantwoorden:

- Wat is de relatie met de opgestelde PI's en risico's?
- Wat is de beste manier om te aggregeren in de tijd? Door met gemiddelde waarden te werken gaat er informatie verloren. Op welke manier moet er rekening gehouden worden met de minimum en maximum waarden in de tijd. Het opstellen van een frequentiediagram (de waarde van PI's uitgezet tegen de frequentie waarop deze optreden) kan hierbij informatief zijn en kan tevens gebruikt worden om risico's in te schatten (kans op overschrijding van een bepaalde waarde).
- Wat zijn de onderlinge relaties tussen de PI's? Te denken valt aan de relatie tussen kosten en verandering waterkwaliteit, of tussen kwantiteit en kwaliteit. Daarnaast kan een PI opgesteld worden die het quotiënt weergeeft van de verandering in kwaliteit en de inspanning (in de vorm van kosten, personeel, milieu etc.) die hiervoor geleverd wordt.
- Er zijn PI's opgesteld op verschillende niveaus. Wat is de verticale verbinding tussen deze PI's?
- Welke gegevens zijn beschikbaar om de PI's te bepalen en welke niet? Wat is de toegevoegde waarde als de niet-beschikbare gegevens beschikbaar gemaakt worden? In hoeverre kan het aantal meetgegevens juist gereduceerd worden om dezelfde informatie te verkrijgen?
- Welk type zuiveringsproces geeft de beste verbetering in waterkwaliteit? Als waterkwaliteitsgegevens beschikbaar zijn voor en na ieder zuiveringsproces, kunnen de type zuiveringsprocessen onderling vergeleken worden met de in dit rapport ontwikkelde methodiek om de toename in waterkwaliteit te bepalen.

Referenties

Alegre, H., Baptista, J.M., Cabrera Jr., E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., Parena, R., (2006), Performance Indicators for Water Supply Services, second edition, IWA Publishing

Beuken, R. (2015), Prestatie-indicatoren en stuurparameters voor het distributienet, BTO 2015.027. KWR, Nieuwegein.

Van den Boomen, M., (2006), Prestatie-indicatoren waterleidingbedrijven NL & OFWAT-UK, BTO 2006.021(s), KWR, Nieuwegein.

Chang, E. E., P. C. Chiang, S. M. Huang and Y. L. Lin (2007). "Development and implementation of performance evaluation system for a water treatment plant: Case study of Taipei water treatment plant." Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management 11(1): 36-47.

Choi, S., Z. Yun, J. Yoon, J. Kim, S. Hong and Y. Lee (2002). Performance evaluation program of water treatment plant in Korea. Water Science and Technology: Water Supply. 2: 143-148.

Coulibaly, H. D. and M. J. Rodriguez (2004). "Development of performance indicators for small Quebec drinking water utilities." Journal of Environmental Management 73(3): 243-255.

EBC (2014), Learning from international best practices, European Benchmarking Co-operation, <https://www.waterbenchmark.org/handlers/ballroom.ashx?function=download&id=38&rnd=0.07252950803376734>

Libânio, M. and V. C. Lopes (2009). "Assessing the feasibility of a water treatment plant quality index." Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA 58(5): 354-362

Quadros, S., M. J. Rosa, H. Alegre and C. Silva (2010). "A performance indicators system for urban wastewater treatment plants." Water Science and Technology 62(10): 2398-2407.

Sadiq, R., M. J. Rodríguez and S. Tesfamariam (2010). "Integrating indicators for performance assessment of small water utilities using ordered weighted averaging (OWA) operators." Expert Systems with Applications 37(7): 4881-4891.

Silva, C., S. Quadros, P. Ramalho and M. J. Rosa (2014a). "A tool for a comprehensive assessment of treated wastewater quality." Journal of Environmental Management 146: 400-406.

Silva, C., S. Quadros, P. Ramalho, H. Alegre and M. J. Rosa (2014b). "Translating removal efficiencies into operational performance indices of wastewater treatment plants." Water Research 57: 202-214.

Silva, C., P. Ramalho, S. Quadros, H. Alegre and M. J. Rosa (2012). Results of 'PAST21' - The Portuguese initiative for performance assessment of water and wastewater treatment plants. Water Science and Technology: Water Supply. 12: 372-386.

Vieira, P., H. Alegre, M. J. Rosa and H. Lucas (2008). Drinking water treatment plant assessment through performance indicators. *Water Science and Technology: Water Supply*. 8: 245-253.

Vewin, (2012), *Water in Zicht 2012*,
http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Vewin_Water_in_zicht_2012.pdf

Vries, D., Agudelo-Vera, C.M., van Summeren J.R.G. (2014), *Systematiek voor integrale analyse van de drinkwaterketen ten behoeve van assetmanagement*, BTO 2014.049. KWR, Nieuwegein.

Vogt, M. (2014) *Scope en PvA KPI Dashboard*, ilionx Assured IT solutions.

Zhang, K., G. Achari, R. Sadiq, C. H. Langford and M. H. I. Dore (2012). "An integrated performance assessment framework for water treatment plants." *Water Research* 46(6): 1673-1683.

Bijlage I Lijst met relevante PI's voor de waterzuivering

Categorie	PI	Referentie
Economisch en financieel	Omzet (€/jr)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Omzet (% begroot)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Omzet (€/aansluiting)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Omzet (€/m3)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Omzet (€/km leiding)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Exploitatiekosten (€/jr)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Exploitatiekosten (€)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Exploitatiekosten (% begroot)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Exploitatiekosten (€/aansluiting)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Exploitatiekosten (€/m3)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Exploitatiekosten (€/km leiding)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Investeringskosten (€/jr)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Investeringskosten (€)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Investeringskosten (% begroot)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Investeringskosten (€/aansluiting)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Investeringskosten (€/m3)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Investeringskosten (€/km leiding)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Afschrijvingen (€/jr)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Afschrijvingen (€)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Afschrijvingen (€/aansluiting)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Afschrijvingen (€/m3)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Tarieven (€/jr)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Tarieven (€)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Tarieven (% begroot)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Tarieven (€/aansluiting)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Tarieven (€/m3)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Tarieven (€/type aansluiting)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Resultaat (€/jr)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Resultaat (€)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Resultaat (% begroot)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Resultaat (€/aansluiting)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Resultaat (€/m3)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Solvabiliteit (%)	BTO 2006.021
Economisch en financieel	Production costs (running, depreciation, net interest) per m3 water produced (€/m3)	EBC (2013)

Economisch en financieel	Production running costs per m3 water produced (€/m3)	EBC (2013)
Economisch en financieel	Production depreciation costs per m3 water produced (€/m3)	EBC (2013)
Economisch en financieel	Production net interest costs per m3 water produced (€/m3)	EBC (2013)
Economisch en financieel	Water quality control costs (running, depreciation, net interest) per m3 water produced (€/m3)	EBC (2013)
Economisch en financieel	Water quality control running costs per m3 water produced (€/m3)	EBC (2013)
Economisch en financieel	Water quality control depreciation costs per m3 water produced (€/m3)	EBC (2013)
Economisch en financieel	Water quality control net interest costs per m3 water produced (€/m3)	EBC (2013)
Economisch en financieel	Water quality control costs (running, depreciation, net interest) per connected test (€/test)	EBC (2013)
Economisch en financieel	Water quality control running costs per connected test (€/test)	EBC (2013)
Economisch en financieel	Water quality control depreciation costs per connected test (€/test)	EBC (2013)
Economisch en financieel	Water quality control net interest costs per connected test (€/test)	EBC (2013)
Economisch en financieel	Unit running costs (€/m3)	IWA (2006)
Economisch en financieel	Unit capital costs (€/m3)	IWA (2006)
Economisch en financieel	Electrical energy costs (%)	IWA (2006)
Economisch en financieel	Abstraction and treatment costs (%)	IWA (2006)
Economisch en financieel	Water quality monitoring costs (%)	IWA (2006)
Fysiek	Flow during operation	Chang et al. (2007)
Fysiek	Instantaneous peak flow	Chang et al. (2007)
Fysiek	Unaccounted water	Chang et al. (2007)
Fysiek	Backwash water	Chang et al. (2007)
Fysiek	Water usage per capita	Chang et al. (2007)
Fysiek	Inefficiency of use of water resources (%) (%)	EBC (2013)
Fysiek	Inefficiency of use of water production (%) (%)	EBC (2013)
Fysiek	Treatment reactive energy consumption (%)	IWA (2006)
Fysiek	Treatment energy recovery (%)	IWA (2006)
Fysiek	Treatment plant utilisation (%)	IWA (2006)
Fysiek	Raw water storage capacity (days)	IWA (2006)
Fysiek	Treated water storage capacity (days)	IWA (2006)
Fysiek	Water source utilisation (%/yr)	Silva et al. (2012)
Fysiek	Adequacy of plant capacity (%)	Silva et al. (2012)
Fysiek	Efficiency of water use at WTP (%)	Vieira et al. (2008)
Milieu	Milieubelastingindex (VEWIN benchmark)	BTO 2006.021
Milieu	Productieverliezen (m3)	BTO 2006.021
Milieu	Productieverliezen (% van grondstof)	BTO 2006.021
Milieu	Milieubelastingindex energieverbruik	BTO 2006.021
Milieu	Milieubelastingindex reststoffen	BTO 2006.021
Milieu	Energieverbruik (% duurzaam)	BTO 2006.021

Milieu	Watergebruik voor productie (% duurzaam)	BTO 2006.021
Milieu	Onttrekking grondwater, oppervlakte water, duinwater, oevergrondwater (% duurzaam)	BTO 2006.021
Milieu	Lozingen op oppervlaktewater (% duurzaam)	BTO 2006.021
Milieu	Gebruik chemicaliën en hulpstoffen (% duurzaam)	BTO 2006.021
Milieu	Afgevoerde restchemicaliën (% duurzaam)	BTO 2006.021
Milieu	Hergebruik van reststoffen (% duurzaam)	BTO 2006.021
Milieu	Uitstoot van broeikasgassen, oxiden en ozonaantastende stoffen (% duurzaam)	BTO 2006.021
Milieu	Geproduceerd slib (% duurzaam)	BTO 2006.021
Milieu	Renewable share of purchased electricity	EBC (2013)
Milieu	Climate footprint per m3 revenue drinking water	EBC (2013)
Milieu	Climate footprint scope 1 per m3 revenue drinking water (kg CO2-eq./m3)	EBC (2013)
Milieu	Climate footprint scope 2 per m3 revenue drinking water (kg CO2-eq./m3)	EBC (2013)
Milieu	Climate footprint scope 3 per m3 revenue drinking water (kg CO2-eq./m3)	EBC (2013)
Milieu	Gross Climate footprint scope 2 per m3 revenue drinking water (kg CO2-eq./m3)	EBC (2013)
Operationeel	Beschikbaarheid (Asset Availability) (%)	BTO 2006.021
Operationeel	Faalfrequentie per assetgroep (#/jr)	BTO 2006.021
Operationeel	Falen assetgroep (oorzaak, veroorzaker, impact, locatie) (uur)	BTO 2006.021
Operationeel	Ratio produced sludge and wastewater discharge (%)	Chang et al. (2007)
Operationeel	Ratio produced sludge and turbidity removal	Chang et al. (2007)
Operationeel	Dewatering efficiency for sludge treatment	Chang et al. (2007)
Operationeel	Chemicals used/feed location	Chang et al. (2007)
Operationeel	Dose control	Chang et al. (2007)
Operationeel	Monitoring	Chang et al. (2007)
Operationeel	Mixing energy adjustment	Chang et al. (2007)
Operationeel	Use of flocculant aid	Chang et al. (2007)
Operationeel	Monitoring	Chang et al. (2007)
Operationeel	Operational problems	Chang et al. (2007)
Operationeel	Performance objective/monitoring	Chang et al. (2007)
Operationeel	Sludge removal	Chang et al. (2007)
Operationeel	Operational problems	Chang et al. (2007)
Operationeel	Performance objective/monitoring	Chang et al. (2007)
Operationeel	Rate control due to demand, filter backwash	Chang et al. (2007)
Operationeel	Basis for backwash initiation	Chang et al. (2007)
Operationeel	Backwash procedues	Chang et al. (2007)
Operationeel	Filter/media inspection	Chang et al. (2007)
Operationeel	Performance objective/monitoring	Chang et al. (2007)
Operationeel	CT factors	Chang et al. (2007)
Operationeel	CT value	Coulibaly et al. (2004)
Operationeel	Frequency of residual chlorine checking	Coulibaly et al. (2004)

Operationeel	Appropriateness of residual chlorine checkpoints	Coulibaly et al. (2004)
Operationeel	Treatment residue reused (%) (%)	EBC (2013)
Operationeel	Energy recovery (%) (%)	EBC (2013)
Operationeel	Electricity use for production and distribution per m ³ water produced (kWh/m ³) (kWh/m ³)	EBC (2013)
Operationeel	Electricity production process per m ³ produced (kWh/m ³) (kWh/m ³)	EBC (2013)
Operationeel	Emergency power system inspection (#/yr)	IWA (2006)
Operationeel	Pumps replacement (%/year)	IWA (2006)
Operationeel	Pumps refurbishment (%/year)	IWA (2006)
Operationeel	Pump failures (days/pump/yr)	IWA (2006)
Operationeel	Pump inspection (#/yr)	IWA (2006)
Operationeel	System flow meters calibration (#/yr)	IWA (2006)
Operationeel	Storage tank cleaning (#/yr)	IWA (2006)
Operationeel	On-line water quality monitoring equipment calibration (#/yr)	IWA (2006)
Operationeel	Rapid mix velocity gradien (Grm)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Rapid mix detention time (Tmr)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Velocity gradient (Gf)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Flocculation time (Tf)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Type of flocculator	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Velocity gradient through ports (Gp)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Number of compartments (Nc)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Average velocity in the flocc. water channel (Vc)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Velocity gradient through ports (Gps)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Velocity gradient through inlet baffle (Gb)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	settling velocity (Vs)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	VI	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Weir loading rate (QI)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Filtration rate (Tfil, m ³ /m ² /day)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Filter run	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Washwater volume	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Filterbed expansion/upflow water wash vel (Exp/Vupf)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Washing water aux. air (Laux)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Residual chlorine	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Detention time (Tc)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Disinfection	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Number of compartments (Nch)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Instruction level of operational staff (IL)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Routine realization of jar test (Jtest)	Libanio et al. (2009)
Operationeel	Chlorine dose (mg/L)	Sadiq et al. (2010)
Operationeel	CT (mg.min/L)	Sadiq et al. (2010)
Operationeel	Free residual chlorine frequency measurement	Sadiq et al. (2010)
Operationeel	Distribution system flushing (#/yrs)	Sadiq et al. (2010)

Operationeel	Consumption of acids and bases/treated water (eq/m ³)	Silva et al. (2012)
Operationeel	Consumption of xx/treated water (kg/m ³)	Vieira et al. (2008)
Operationeel	Filter media refill (%)	Vieira et al. (2008)
Operationeel	Energy consumption/volume of treated water (kWh/m ³)	Vieira et al. (2008)
Operationeel	Sludge production/treated water (g/m ³)	Vieira et al. (2008), Silva et al. (2012)
Operationeel	Sludge dry weight (%w/w)	Vieira et al. (2008), Silva et al. (2012)
Operationeel	Beneficial use of sludge (%)	Vieira et al. (2008), Silva et al. (2012)
Personeel	Total training (hours/employee) (hours/employee)	EBC (2013)
Personeel	Total training (hours/employee/yr)	IWA (2006)
Personeel	University degree personnel (%)	IWA (2006)
Personeel	Basic education personnel (%)	IWA (2006)
Personeel	Working accidents (#/100 empl/yr)	IWA (2006)
Personeel	Absenteeism due to working accidents or illness at work (days/empl/yr)	IWA (2006)
Personeel	Employees per water produced (#/m ³ /h)	IWA (2006)
Personeel	Operations & maintenance personnel (%)	IWA (2006)
Personeel	Abstraction and treatment personnel (#/Mm ³ /yr)	IWA (2006)
Personeel	Water quality monitoring personnel (#/10000 tests/yr)	IWA (2006)
Personeel	Operator experience (yrs)	Sadiq et al. (2010)
Personeel	Operator training education (<Y/N>)	Sadiq et al. (2010)
Personeel	Level of knowlegde (Linguistic)	Sadiq et al. (2010)
Personeel	Time dedicated to water treatment (%)	Sadiq et al. (2010)
Personeel	Chemicals spillage	Vieira et al. (2008)
Waterkwaliteit	OLM-waterkwaliteit	BTO 2006.021
Waterkwaliteit	Totaal waterkwaliteitsklachten (#)	BTO 2006.021
Waterkwaliteit	Totaal van waterkwaliteitsoverschrijdingen (# gemeld bij VROM)	BTO 2006.021
Waterkwaliteit	WKI	BTO 2006.021
Waterkwaliteit	Totaal van waterkwaliteitsoverschrijdingen (# klanten)	BTO 2006.021
Waterkwaliteit	OLM-waterkwaliteit naar aard (min)	BTO 2006.021
Waterkwaliteit	OLM-waterkwaliteit naar impact (min)	BTO 2006.021
Waterkwaliteit	OLM-waterkwaliteit naar locatie (min)	BTO 2006.021
Waterkwaliteit	Totaal waterkwaliteitsklachten naar aard	BTO 2006.021
Waterkwaliteit	Totaal waterkwaliteitsklachten naar duur	BTO 2006.021
Waterkwaliteit	Totaal waterkwaliteitsklachten naar locatie	BTO 2006.021
Waterkwaliteit	Compliance with DWQ standards	Chang et al. (2007)
Waterkwaliteit	Sampling frequency	Chang et al. (2007)
Waterkwaliteit	Sampling items	Chang et al. (2007)
Waterkwaliteit	Samples labeling	Chang et al. (2007)
Waterkwaliteit	Available analytical capability	Chang et al. (2007)

Waterkwaliteit	Laboratory space/equipment/procedures	Chang et al. (2007)
Waterkwaliteit	Data collection	Chang et al. (2007)
Waterkwaliteit	Data application	Chang et al. (2007)
Waterkwaliteit	Procedures for monitoring data	Chang et al. (2007)
Waterkwaliteit	Residual chlorine	Coulibaly et al. (2004)
Waterkwaliteit	HPC bacteria	Coulibaly et al. (2004)
Waterkwaliteit	Atypical bacteria	Coulibaly et al. (2004)
Waterkwaliteit	TOC	Coulibaly et al. (2004)
Waterkwaliteit	Turbidity	Coulibaly et al. (2004)
Waterkwaliteit	Total coliform bacteria	Coulibaly et al. (2004)
Waterkwaliteit	HPC bacteria	Coulibaly et al. (2004)
Waterkwaliteit	Atypical bacteria	Coulibaly et al. (2004)
Waterkwaliteit	Water quality complaints (%)	EBC (2013)
Waterkwaliteit	Quality of supplied water (%) (%)	EBC (2013)
Waterkwaliteit	Aesthetic tests compliance (%) (%)	EBC (2013)
Waterkwaliteit	Microbiological tests compliance (%) (%)	EBC (2013)
Waterkwaliteit	Physical-chemical tests compliance (%) (%)	EBC (2013)
Waterkwaliteit	Radioactivity tests compliance (%) (%)	EBC (2013)
Waterkwaliteit	Tests carried out / nr required by legislation (%)	IWA (2006)
Waterkwaliteit	Asthetic tests carried out / nr required by legislation (%)	IWA (2006)
Waterkwaliteit	Microbiological tests carried out / nr required by legislation (%)	IWA (2006)
Waterkwaliteit	Physical-chemical tests carried out / nr required by legislation (%)	IWA (2006)
Waterkwaliteit	Radioactivity tests carried out / nr required by legislation (%)	IWA (2006)
Waterkwaliteit	Aesthetic tests carried out (%)	IWA (2006)
Waterkwaliteit	Microbiological tests carried out (%)	IWA (2006)
Waterkwaliteit	Physical-chemical tests carried out (%)	IWA (2006)
Waterkwaliteit	Radioactivity tests carried out (%)	IWA (2006)
Waterkwaliteit	Aesthetic tests compliance (%)	IWA (2006)
Waterkwaliteit	Microbiological tests compliance (%)	IWA (2006)
Waterkwaliteit	Physical-chemical tests compliance (%)	IWA (2006)
Waterkwaliteit	Radioactivity tests compliance (%)	IWA (2006)
Waterkwaliteit	Turbidity (NTU)	Sadiq et al. (2010)
Waterkwaliteit	Free residual chlorine (mg/L)	Sadiq et al. (2010)
Waterkwaliteit	TOC (mg/L)	Sadiq et al. (2010)
Waterkwaliteit	UV-254 absorbance (1/cm)	Sadiq et al. (2010)
Waterkwaliteit	Heterotrophic plate count (HPC) (#/ml)	Sadiq et al. (2010)
Waterkwaliteit	Atypical bacteria (#/100 ml)	Sadiq et al. (2010)
Waterkwaliteit	Total coliforms (#/100 ml)	Sadiq et al. (2010)
Waterkwaliteit	Total trihalomethanes (THMs) (mg/L)	Sadiq et al. (2010)
Waterkwaliteit	Source, finished and distributed WQ	Sadiq et al. (2010)
Waterkwaliteit	Specific water quality parameters compared with WQ criteria (%)	Vieira et al. (2008), Silva et al. (2012)

Waterkwaliteit	Chlorine residual (%)	Vieira et al. (2008), Silva et al. (2012)
----------------	-----------------------	---

Bijlage II Overzicht parameters per zuiveringsproces

Proces	Parameter	Effect van zuivering	Mate van zuivering	Proces
Microzeef	Troebelingsgraad/deeltjes	Afname	~log 0-log 1	Na een reservoir
	Algen	Afname	~log 0-log 2	
Reservoir	Troebelingsgraad/deeltjes	Afname	~log 0-log 2	Sedimentatie
	Zware metalen	Afname	<log 1	Mee met de deeltjes
	pH	Toename	0-2 eenheden	Toevoegen NaOH/CaO/CaOH ₂ voor ontharding
	Calcium	Afname	~log 0-log 1	Vanwege de ontharding
	Magnesium	Afname	~log 0-log 1	Vanwege de ontharding
	Totale hardheid	Afname	~log 0-log 1	Vanwege de ontharding
	CO ₂	Afname	~log 0-log 1	Vanwege de ontharding
	Waterstofcarbonaat	Afname	~log 0-log 1	Vanwege de ontharding
	SI	Toename		
	EGV	Afname/Toename		
	Zuurstof	Afname/Toename		Afhankelijk van biochemische processen en algengroei
	Micro-organismen	Afname	~log 1-log 2	Sedimentatie/zonlicht/temperatuur
	DOC	Afname	~log 0-log 1	Biochemische oxidatie
	Algen	Toename		

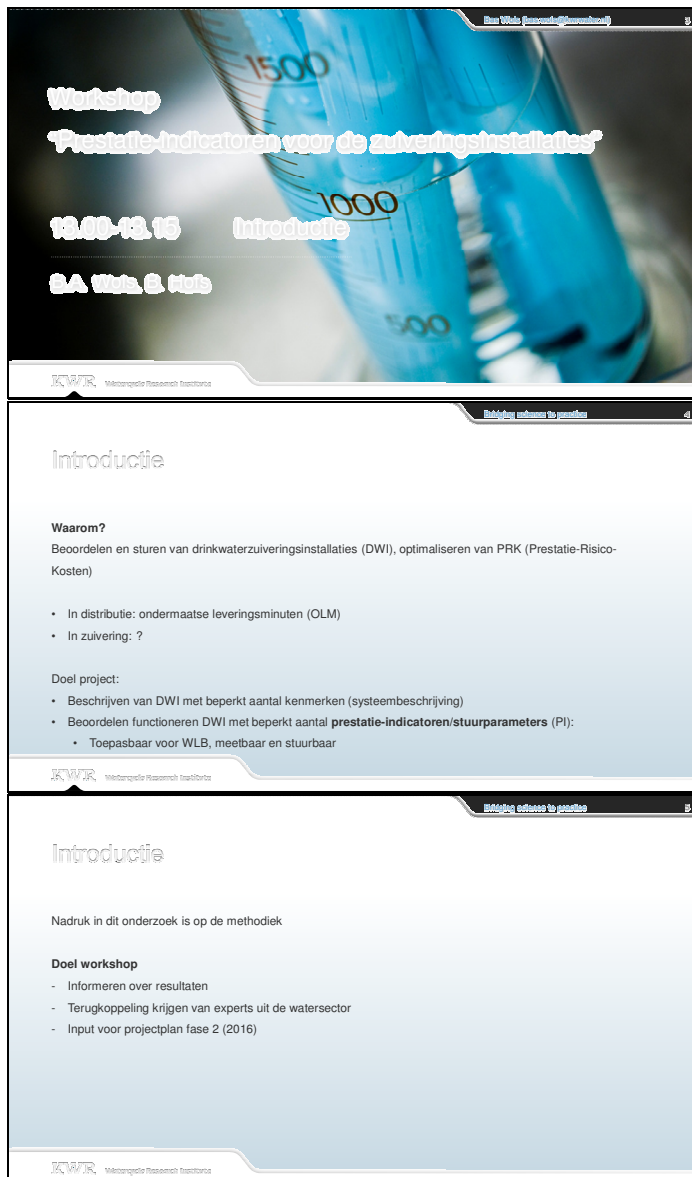
Coagulatie/Flocculatie/Sedimentatie-Flotatie	Ijzer	Toename/Afname		Flocculant
	Aluminium	Toename/Afname		Flocculant
	Mangaan			?
	pH	Toename/Afname	1-2 eenheden	Conditionering
	Calcium	Toename	~log 0-log 1	Ivm Conditionering
	Natrium	Toename	~log 0-log 1	Ivm Conditionering
	Sulfaat	Toename	~log 0-log 1	Flocculant
	Chloride	Toename	~log 0-log 1	Flocculant
	EGV	Toename		
	SI			
	Troebelingsgraad/deeltjes	Afname	~log 0-log 2	Vlokvorming
	Zware metalen	Afname	~log 0-log 1	Vlokvorming
	Micro-organismen	Afname	~log 0-log 2	Ingevangen in de vlokken
	Algen	Afname	~log 0-log 2	Ingevangen in de vlokken
	Ammonium	?		
Ontharding	Calcium	Afname	~log 0-log 1	Neerslaan
	Totale hardheid	Afname	~log 0-log 1	Neerslaan
	CO2	Afname	~log 0-log 1	Reactie
	Waterstofcarbonaat	Afname	~log 0-log 1	Reactie
	SI			
	EGV			
	Ijzer	Afname	~log 0-log 1	Neerslaan
	Mangaan	Afname	~log 0-log 1	Neerslaan
	pH			
	Natrium	Toename		Bij gebruik NaOH

	Troebelingsgraad/deeltjes	Verwijdering	~log 0-log 1	Mechanische filtratie, sedimentatie
Filtratie (langzame zandfilter, snelfiltratie en duinfiltratie)	Ijzer	Afname	~log 1-log 2	Oxidatie en neerslaan vlokken, adsorptie
	Mangaan	Afname	~log 1-log 2	Oxidatie en neerslaan, adsorptie
	Aluminium	Afname	~log 1-log 2	Oxidatie en neerslaan vlokken, adsorptie
	Zuurstof	Afname	~log 0-log 1	Gebruik bij oxidatie
	Ammonium	Afname	~log 1-log 2	Oxidatie (biologisch)
	H ₂ S	Afname	~log 1-log 2	Oxidatie (biologisch)
	Methaan	Afname	~log 1-log 2	Oxidatie (biologisch)
	Calcium	Toename		
	Totale hardheid	Toename		
	Nitraat	Toename		Vanwege omzetting Ammonium
	Sulfaat	Toename		Vanwege omzetting H ₂ S
	CO ₂	Toename		
	EGV	Toename/Afname		
	pH	Toename	0-2 eenheden	
	Waterstofcarbonaat	Toename/Afname		
	DOC	Afname	~log 0-log 1	Adsorptie, oxidatie (biologisch)
	Micro-organismen	Afname	~log 1-log 5	Adsorptie, meer verwijdering bij LZF
Zware metalen	Afname	~log 0-log 1	Adsorptie	
Beluchting	Zuurstof	Toename	~ 95-99% verzadiging in lucht	Gasoverdracht
	H ₂ S	Afname	~log 0-log 2	Gasoverdracht
	CO ₂	Afname/Toename	~log 1-log 2	Gasoverdracht
	OMPs (vluchtige)	Afname	~log 1-log 2	Gasoverdracht

	Methaan	Afname	~log 1-log 2	Gasoverdracht
	pH	Toename	0-2 eenheden	Verandering CO2
	SI	Afname/Toename		
	Mangaan	Afname	~log 0-log 1	Oxidatie
	IJzer	Afname	~log 0-log 1	Oxidatie
	EGV			
	Waterstofcarbonaat			
Ozonisatie	OMPs	Afname	~log 0-log 2	Reactie met ozon
	pH			Conditionering
	Kleur, geur & smaak	Afname	~log 1-log 2	Reactie met ozon
	Micro-organismen	Afname	~log 2-log 5	Reactie met ozon
	DOC	Afname	~log 0-log 1	Reactie met ozon
	AOC	Toename		Reactieproducten
	Bromaat	Toename		Reactieproducten
UV desinfectie	Micro-organismen	Afname	~log 2-log 5	Inactivatie
	AOC	Toename		Reactieproducten
	Bij-producten	Toename		Reactieproducten
UV/H2O2 oxidatie	OMPs	Afname	~log 1-log 2	Photolyse, reactie met OH radicalen
	Micro-organismen	Afname	~log 2-log 5	Inactivatie
	AOC	Toename		Reactieproducten
	H2O2	Toename		Toegevoegd in overmaat
	Nitriet	Toename		Reactieproducten
	Bij-producten	Toename		Reactieproducten
AKF	OMPs	Afname	~log 1-log 2	Absorptie

	DOC	Afname	~log 0-log 1	Absorptie
	AOC	Afname	~log 0-log 1	Absorptie
	Troebelingsgraad/deeltjes	Afname	~log 0-log 1	
	Micro-organismen	Afname	~log 1-log 3	Absorptie
	Kleur, geur & smaak	Afname	~log 0-log 2	Absorptie
	H2O2	Afname	~log 2-log 5	Bij gebruik UV/H2O2
	Bij-producten oxidatie	Afname	~log 1-log 2	Bij gebruik UV/H2O2
MF/UF	Troebelingsgraad/deeltjes	Afname	~log 0-log 2	Retentie
	Micro-organismen	Afname	~log 1-log 2	Retentie
NF/RO	OMPs	Afname	~log 1-log 2	Retentie
	Zoutgehalte	Afname	~log 1-log 2	Retentie
	Chloride	Afname	~log 1-log 2	Retentie
	Kleur, geur & smaak	Afname	~log 1-log 2	Retentie
	Troebelingsgraad/deeltjes	Afname	~log 1-log 2	Retentie
	Zware metalen	Afname	~log 1-log 2	Retentie
	Ijzer	Afname	~log 1-log 2	Retentie
	Mangaan	Afname	~log 1-log 2	Retentie
	Totale hardheid	Afname	~log 1-log 2	Retentie
	EGV	Afname	~log 1-log 2	Retentie
	Sulfaat	Afname	~log 1-log 2	Retentie
	Calcium	Afname	~log 1-log 2	Retentie
	DOC	Afname	~log 1-log 2	Retentie
	pH			

Bijlage III Presentatie tijdens workshop



Workshop
Prestatie-indicatoren voor de zuiveringsinstallaties
19.09-19.10 **Introductie**
24 Wits & Stals

Introductie

Waarom?
Beoordelen en sturen van drinkwaterzuiveringsinstallaties (DWI), optimaliseren van PRK (Prestatie-Risico-Kosten)

- In distributie: ondermaatse leveringsminuten (OLM)
- In zuivering: ?

Doel project:

- Beschrijven van DWI met beperkt aantal kenmerken (systeembeschrijving)
- Beoordelen functioneren DWI met beperkt aantal **prestatie-indicatoren/stuurparameters (PI)**:
 - Toepasbaar voor WLB, meetbaar en stuurbaar

Introductie

Nadruk in dit onderzoek is op de methodiek

Doel workshop

- Informeren over resultaten
- Terugkoppeling krijgen van experts uit de watersector
- Input voor projectplan fase 2 (2016)



Onderzoekresultaten

Wat hebben we gedaan?

- Literatuurstudie
- Interviews: PWN, Dunea, Vitens, WBG, Edea, DSM
- Systeembeschrijving
- Opstellen prestatie-indicatoren
- Uitgewerkt in een voorbeeld

Literatuurstudie

Waar is naar gekeken?

- Gebruik PIs in drinkwaterzuivering en afvalwaterzuivering (~15 papers)
- Definiëren van verschillende indicatoren
 - Vooral op waterkwaliteit geproduceerd water, weinig naar verandering van waterkwaliteit (door zuivering)
- Aggregatie van indicatoren (Coubaly et al. 2004, Libanio 2009, Chang et al. 2007, Sadiq et al. (2010))
 - Voorbeelden van normalisatie, samenvoegen met weegfactoren en geavanceerde statistiek
- Tijdsaspect [Online of periodiek]

Literatuurstudie

Gebruikte indicatoren

IWA methodiek: aantal waterkwaliteitsindicatoren (aantal)

Vieira et al. (2008), Silva et al. (2012): PIs voor water

Assessment group	WIP		WWIP	
	Proposed Factors	Calculated PIs(%)	Proposed Factors	Calculated PIs(%)
Treated water quality (WQ)	8	58	8	58
Removal efficiency and reliability (ER)	48	63	63	63
Use of natural resources and raw materials (RU)	7	20	6	18
By-product management (BP)	10	19	19	19
Safety (Sa)	3	100	3	100
Personnel (Pe)	8	8	8	8
Economic and financial resources (EF)	10	10	10	10
Planning and design (PD)	-	-	4	100

Bijlagen pagina's te bekijken 95

WKI

Waterkwaliteitsindex

1. Gezondheidskundige parametergroep (acuut), 3 parameters
2. Gezondheidskundige parametergroep (niet-acuut), 12 parameters
3. Bedrijfstechische parametergroep, 10 parameters
4. Klantgerichte parametergroep, 8 parameters

Score = meetwaarde [tijdsgemiddeld] / norm [drinkwaterbesluit]

Per groep **gemiddelde** score genomen

Nadeel:

- Geen **weging** in gemiddelde (bepaalde parameters bepalen sterk de WKI)
- Zuiveringsproces is meestal **exponentieel**
- Geen rekening met **ruwe** waterkwaliteit

KWR Wetenschappelijk Research Instituut

Bijlagen pagina's te bekijken 91

Literatuurstudie

Gebruikte indicatoren

Zhang et al. (2012):

Betrouwbaarheid (voldoen aan een norm), **robustheid** (waarborg waterkwaliteit tijdens variaties), **veerkracht** (herstel van een storing) en **QMRA** (gezondheid prestatie in DALY per micro-organisme)

Gebruiken hiervoor performance functions:

- Coagulatie/flocculatie/sedimentatie/filtratie: op basis van supendide solids en turbiditeit:
- Chloreren: op basis van CT waarde

Variaties in ruw water en onderlinge afhankelijkheden tussen zuiveringsstappen worden meegenomen.

KWR Wetenschappelijk Research Instituut

Bijlagen pagina's te bekijken 94

Interviews WLB

Doel/Gebruik van PIs

- Beheren van de zuiveringsinstallaties
- Sturen
- Trendanalyses
- Vergelijken tussen parallele zuiveringsstappen
- Vergelijken tussen zuiveringsstations [met vergelijkbare bronnen]

KWR Wetenschappelijk Research Instituut

Bijlagen pagina's te bekijken 98

Interviews WLB

Ervaringen met PIs

- Stellen eigen PIs op
- Lopend onderzoek hoe dit te verbeteren en implementeren
- Gebruikt in maandelijkse overleggen (bijsturen proces) en AM (trends)
- Onderdeel van PRK (Prestatie, Risico, Kosten)

KWR Wetenschappelijk Research Instituut

BIMMing: indicator to maatlijn 91

Interviews WLB

Gebruikte indicatoren

- Waterkwaliteit:
 - afzonderlijke parameters
 - WKI [evt. aangepast]
 - PPI [online:hardheid, zuurgraad, troebelheid, restchloor]
 - biologische stabiliteit
 - emerging substances
- Waterkwantiteit (Rendement [verhouding geproduceerd t.o.v. ruw], Concessie)
- Onderhoud (aantal storingen, procesonderbrekingen,...)
- Grondstoffen en energie
- Kosten

KWR Waterstof Research Institute

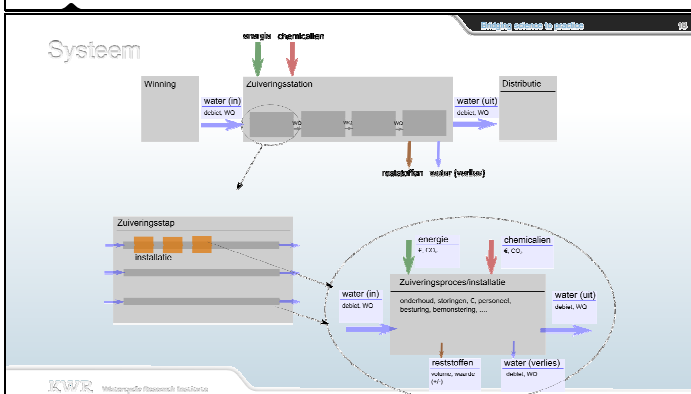
BIMMing: indicator to maatlijn 92

Interviews WLB

Wensen mbt PI's

- Goed meetbaar, goed stuurbaar
- Onderscheid tussen dagelijkse sturing en trendanalyses
- Getallen die iets zeggen (bijv. WKI van 0.04 zegt niet zoveel)
- Rekening houden met duurzaamheid, kosten, risico's, (on)beschikbaarheid
- Verschillende niveaus (piramide, bottom-up, top-down)
 - Overall KPI zuivering (beschikbaarheid en kwaliteit, perspectief van de klant)
- Implementeerbaar bij de WLB (ICT, kosten, metingen, etc)

KWR Waterstof Research Institute



BIMMing: indicator to maatlijn 94

Piramide van PI

Niveau in organisatie

Strategisch: **Klant**

Tactisch: **Management**

Operatief: **Operator, technologie**

Schaalniveau

Nuutelniveau	Tijd
Voorzittingsgebied/ Zuiveringsstation	Jaerkwartaal
Voorzittingsgebied/ Zuiveringsstation	Kwartaal/maand
Zuiveringsinstallatie/ Zuiveringsprocesinstallatie	Maand/week
Zuiveringsprocesinstallatie	Maand/week/dag Real-time

KWR Waterstof Research Institute

Bepalen prestatie-indicatoren 59

Bepalen PIs voor kwaliteit

1. Normaliseren (aan de hand van bedrijfsspecifieke norm)
2. Aggregeren en wegen van parameters
3. Prestatie-indicatoren op basis van de geaggregeerde parameters
4. Aggregeren (ruimte & tijd)

KWR Watercycle Research Institute

Bepalen prestatie-indicatoren 59

Bepalen PIs voor kwaliteit

1. Normaliseren

- Op basis van log-schaal
- Ten opzichte van de (bedrijfs)norm
- Waarde rond de 100, 100-op de (bedrijfs)norm

Norm als maximumwaarde

Norm als minimumwaarde

Norm tussen minimum- en maximumwaarde

KWR Watercycle Research Institute

Bepalen prestatie-indicatoren 59

Bepalen PIs voor kwaliteit

1. Normaliseren

Parameter	Norm	Ruw	Rein	Ruw: WQ _i	Rein: WQ _i
O ₂	Min. 2 mg/L				
Fe ²⁺	Max. 0.2 mg/L				

Norm als maximumwaarde

Norm als minimumwaarde

Norm tussen minimum- en maximumwaarde

KWR Watercycle Research Institute

Bepalen prestatie-indicatoren 59

Bepalen PIs voor kwaliteit

1. Normaliseren

Parameter	Norm	Ruw	Rein	Ruw: WQ _i	Rein: WQ _i
O ₂	Min. 2 mg/L	0.1 mg/L	8 mg/L		
Fe ²⁺	Max. 0.2 mg/L	10 mg/L	0.1 mg/L		

Norm als maximumwaarde

Norm als minimumwaarde

Norm tussen minimum- en maximumwaarde

KWR Watercycle Research Institute

Bepalen PIs voor kwaliteit
1. Normaliseren

Parameter	Norm	Ruw	Rein	Ruw: WQ _i	Rein: WQ _i
O ₂	Min. 2 mg/L	0.1 mg/L	8 mg/L	74	112
Fe ²⁺	Max. 0.2 mg/L	10 mg/L	0.1 mg/L	66	106

KWR Watercycle Research Institute

Bepalen PIs voor kwaliteit
2. Aggregeren en wegen van parameters

Aggregeren

- Op basis van (gewogen) **gemiddelde**
- Op basis van **minimumwaarde**

Parameter	Norm	Ruw	Rein	Ruw: WQ _i	Rein: WQ _i
O ₂	Min. 2 mg/L	0.1 mg/L	8 mg/L	74	112
Fe ²⁺	Max. 0.2 mg/L	10 mg/L	0.1 mg/L	66	106
Gemiddelde				70	109

KWR Watercycle Research Institute

Bepalen PIs voor kwaliteit
2. Aggregeren en wegen van parameters

Aggregeren

- Op basis van (gewogen) **gemiddelde**
- Op basis van **minimumwaarde**

Wegen

- Bedrijfsspecifiek
- Specifiek voor zuiveringsstap

Parameter	Norm	Ruw	Rein	Ruw: WQ _i	Rein: WQ _i
O ₂	Min. 2 mg/L	0.1 mg/L	8 mg/L	74	112
Fe ²⁺	Max. 0.2 mg/L	10 mg/L	0.1 mg/L	66	106
Gemiddelde				70	109

KWR Watercycle Research Institute

Bepalen PIs voor kwaliteit
4. Aggregeren op ruimtelijk niveau

- Voorzieningsgebied: aantal zuiveringsstations.
- Zuiveringsstation (evt. met voorzv.)
- Zuiveringsstap
- Parallele straat in de zuiveringsstap
- Zuiveringsinstallatie

Ad 1. Verandering door distributie (buiten de scope)
Ad 2. Verschil tussen ruw en rein, alle relevante waterkwaliteitsparameters meewegen
Ad 3-5. Verschil voor en na stap, evt. alleen waterkwaliteitsparameters meewegen die veranderen

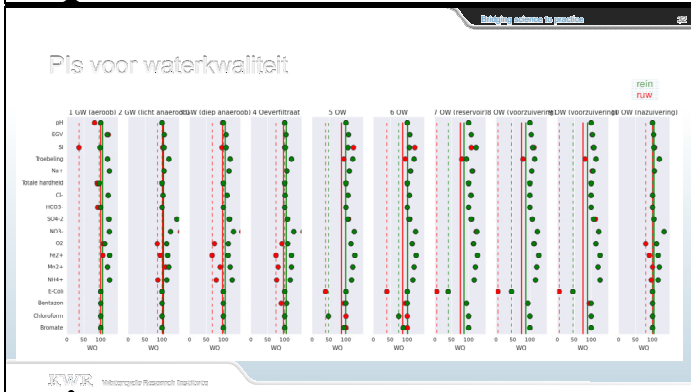
KWR Watercycle Research Institute

Bijlage tabellen toewijzing 39

Voorbeeld

- Op basis van "oudere data" uit drinkwaterboek TUDelft
- 10 lokaties: opp. water, grondwater, oeverfiltraat
- Jaargemiddelde waterkwaliteitsparameters (18)

KWR Wateroplossingen | Realisatie



Bijlage tabellen toewijzing 35

Voorbeeld WQ

Voordeel:

- Recht aan zuiveringsproces (exponentieel)
- Houdt rekening met ruwe waterkwaliteit
- Verandering van waterkwaliteit door zuivering
- Flexibel (eigen bedrijfsnorm & weging)

KWR Wateroplossingen | Realisatie

Bijlage tabellen toewijzing 36

PIs voor waterkwantiteit

- **% gebruik/ontwerp**, Verhouding behandelde hoeveelheid water tov ontwerpdebiet voor een tijdseenheid.
- **% stilstand**, aantal tijdseenheden niet in gebruik vanwege onderhoud (= gepland), storing (=ongepland), reparatie etc t.o.v de totale tijd.
- **% rendement**, percentage behandeld water t.o.v. ruwe water (waterverlies).
- **% concessie**, percentage ruw water gebruikt t.o.v. toegestaan volgens de concessie.
- **% tekort**, percentage van de tijd dat de zuivering niet de gewenste hoeveelheid water kan leveren (niveau van de reinwaterkelder).

KWR Wateroplossingen | Realisatie

Bijlage presentie toelichting 35

Short-list PI

<p>Waterkwaliteit</p> <p>WQ_{min}: minimum waterkwaliteit van behandeld water</p> <p>$WQ_{gem, beh}$: gew. gem. waterkwaliteit van behandeld water</p> <p>dWQ_{zuiv}: verandering in gew. gem. waterkwaliteit na de zuivering</p>	<p>Waterkwantiteit</p> <p>% gebruik/ontwerp: geproduceerd t.o.v. ontwerp</p> <p>% stilstand: niet in gebruik vanwege onderhoud, storing, etc.</p> <p>% rendement: geproduceerd t.o.v. ruw</p> <p>% concessie: ruw t.o.v. concessie.</p> <p>% tekort: niet voldaan aan watervraag</p>
---	---

% onbeschikbaar

KWR Watercycle Research Institute

Bijlage presentie toelichting 36



Workshop

Prestatie-indicatoren voor de zuiveringsinstallaties

13.45-15.00 **Stellingen**

SA Wits & Hub

KWR Watercycle Research Institute

Bijlage presentie toelichting 37

Stelling 1

PI voor waterkwaliteit

- Zuivering verbetert de waterkwaliteit
- Uiteindelijk wil je aan de (bedrijfs)norm voldoen voor het reine water
- De kwaliteit van het ruwe water bepaalt hoeveel zuivering er nodig is om aan de norm te voldoen

"Zonder rekening te houden met de ruwwaterkwaliteit heb je geen goed beeld van de prestatie van de zuivering"

KWR Watercycle Research Institute

Bijlage presentie toelichting 38

Stelling 2

PI voor waterkwaliteit

- Verbetering in zuivering varieert van een klein beetje tot meerdere orde van groottes
- Zuiveringsprocessen verlopen exponentieel

"Om recht te doen aan de zuivering moet je op log-schaal denken"

KWR Watercycle Research Institute

Bijlagen presentie bij presentatie 39

Stelling 3

PI voor waterkwantiteit

- % tekort: niet voldaan aan watervraag
- Niveau van de reinwaterkelder geeft de beschikbare hoeveelheid water aan
- Reinwaterkelder is nagenoeg nooit leeg?

"Tekort is alleen een issue voor het zuiveringsstation als de reinwaterkelder leeg is"

KWR Wateroplossingen Instituut

Bijlagen presentie bij presentatie 43

Stelling 4

Onbeschikbaarheid, effect

- Onbeschikbaarheid combineert kwaliteit en kwantiteit in de zuivering
- Analooq aan OLM in de distributie (geen water of onvoldoende druk)
- Wat is het effect van onbeschikbaarheid?

"Onbeschikbaarheid: water van onvoldoende kwaliteit is erger dan geen water."

KWR Wateroplossingen Instituut

Bijlagen presentie bij presentatie 47

Stellingen

1. Zonder rekening te houden met de ruwwaterkwaliteit heb je geen goed beeld van de prestatie van de zuivering
2. Om recht te doen aan de zuivering moet je op log-schaal denken
3. Tekort (niet voldoen aan vraag) alleen een issue voor het zuiveringsstation als de reinwaterkelder leeg is
4. Onbeschikbaarheid (niet voldoen aan kwantiteit of kwaliteit): water van onvoldoende kwaliteit is erger dan geen water.

KWR Wateroplossingen Instituut

Bijlagen presentie bij presentatie 49

Workshop

"Prestatie-indicatoren voor de zuiveringsinstallaties"

16:45-18:30

Wageningen University & Research

voor contact: 2016

8.A. Wits & Huis

KWR Wateroplossingen Instituut

