

A network diagram background consisting of various sized light blue circles connected by thin white lines, set against a solid blue background.

Bedrijfstakonderzoek  
BTO 2024.008 | December 2023

# **Standaardisatie ontwerp van productielocaties**



# Colofon



## Ontwerpstandaardisatie productielocaties

**BTO 2024.008 | December 2023**

Dit onderzoek is onderdeel van het collectieve Bedrijfstakonderzoek van KWR, de waterbedrijven en Vewin.

### Opdrachtnummer

402045/339

### Projectmanager

Dr. Ir. J. (Jolijn) van Engelenburg

### Opdrachtgever

BTO - Bedrijfsonderzoek

### Auteur(s)

Dr. J. N. (Jasper) Immink

A. (Aulia) Galama-Tirtamarina, MSc., EngD

Ir. R. H. S. (Ralph) Beuken

### Kwaliteitsborger(s)

Dr.ir. E. J. M. (Mirjam) Blokker

### Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.

Een jaar na publicatie is het openbaar.

### Keywords

Asset management, Standaardisatie, Assetontwerp

[Jaar van publicatie](#)  
2023

[Meer informatie](#)  
Dr. Jasper N. Immink

T  
E

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)

**KWR**

December 2023 ©

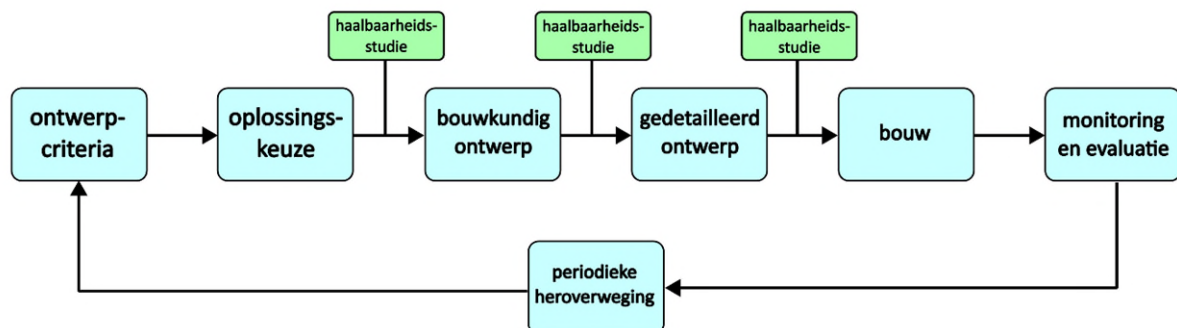
Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen,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

# Managementsamenvatting

## Standaardisatie van het ontwerp van productielocaties: een methode om gestandaardiseerde waterzuiveringsassets te ontwerpen

**Auteur(s)** dr. Jasper N. Immink; A. (Aulia) Galama-Tirtamarina, MSc., EngD; ir. R. H. S. (Ralph) Beuken

Om aan de stijgende watervraag te kunnen blijven voldoen, moeten waterbedrijven in de aankomende jaren veel investeren in hun waterzuiverings- en waterwinningsassets. Omdat er veel assets gebouwd zullen worden met vergelijkbare functies, is de verwachting het standaardiseren van waterzuiveringsassets zoals productielocaties of waterzuiveringsketels leidt tot efficiëntiewinst en kostenbesparing. Daarom is een methode ontwikkeld om standaardisatie binnen de waterzuiveringstechnologie aan te pakken. Beschreven is hoe een goede standaard te ontwerpen voor een veelvuldig gebruikt waterzuiveringsasset, inclusief de criteria die hiervoor belangrijk zijn. Er worden twee voorbeelden beschreven, één binnen en één buiten de drinkwatersector. Dit onderzoek resulteert in een stappenplan en flowchart voor standaardisatie met specifieke adviezen voor het ontwerpen van gestandaardiseerde waterzuiveringsassets zoals productielocaties. Aanbevolen wordt dat waterbedrijven dit stappenplan gebruiken en hun ervaringen delen met elkaar en KWR om de methode verder te verbeteren.



Een versimpelde flowchart voor de procedure om een ontwerp van een gestandaardiseerd waterzuiveringsasset te maken

### Belang: Efficiëntiewinst en lagere investeringskosten door standaardisatie

Om aan de stijgende watervraag te kunnen blijven voldoen, moeten waterbedrijven in de aankomende jaren veel investeren in hun waterzuiverings- en waterwinningsassets. Omdat er veel assets gebouwd zullen worden met vergelijkbare functies, is de verwachting dat er efficiëntiewinst valt te behalen door waterzuiveringsassets zoals productielocaties of waterzuiveringsketels te standaardiseren. Standaardisatie van assets kan kosten besparen en de efficiëntie verbeteren. Voor de drinkwatersector is standaardisatie relatief nieuw, er zijn nog maar

weinig pilots uitgevoerd. Daarom is nu onderzoek gedaan naar de optimale manier om standaarden voor waterzuiveringsassets te ontwerpen.

### Aanpak: Literatuuronderzoek, interviews en locatiebezoek

Uit de wetenschappelijke- en vakliteratuur zijn best practices verzameld. Daarnaast zijn verschillende partijen geïnterviewd en is breed informatie ingewonnen. Informatie van de waterbedrijven zelf is verzameld door recent ondernomen standaardisatieslagen te onderzoeken, gestandaardiseerde zuiveringslocaties te bezoeken en betrekken

werknemers te interviewen om hun ervaring en aanbevelingen vast te leggen. Ook is informatie verzameld over standaardisatieprocessen bij spoorbruggenbouw, onder meer door betrokken werknemers en onderzoekers te interviewen.

### **Resultaten: Een workflow voor het ontwerpen van productieassets**

Er is een methode ontwikkeld waarmee een gestandaardiseerd waterzuiveringsasset kan worden ontworpen. Eerst wordt een criteriumlijst vastgesteld, als leidraad voor het standaardisatieproces. Vervolgens worden een aantal belangrijke keuzes besproken, zoals op welke schaal organisaties het beste kunnen standaardiseren en de frequentie waarmee standaarden moeten worden heroverwogen. Het voorstel voor een standaardisatieprocedure is weergegeven in een flowchart. Een versimpelde versie daarvan staat hierboven. In het voorstel is meegenomen dat niet elk waterbedrijf op dezelfde manier kan standaardiseren en dat organisaties van

verschillende grootte op verschillende manieren willen standaardiseren. Er worden twee voorbeelden beschreven, één binnen en één buiten de drinkwatersector.

### **Toepassing: Gebruik deze procedure om standaarden van waterzuiveringsassets te ontwerpen**

Waterbedrijven kunnen met de bovengenoemde methode een standaard voor een waterzuiveringsasset ontwerpen. De aanbeveling is dat waterbedrijven deze methode gaan gebruiken om waterzuiveringsassets te standaardiseren en daarbij hun bevindingen met elkaar en met KWR delen. Zo kan de methode worden aangevuld met waardevolle praktijkinformatie.

### **Rapport**

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Standaardisatie ontwerp van productielocaties* (BTO-402045.339).

# Inhoud

|                                                                      |                              |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Colofon                                                              | 2                            |
| <i>Managementsamenvatting</i>                                        | 3                            |
| Inhoud                                                               | 5                            |
| <b>1 Inleiding</b>                                                   | <b>7</b>                     |
| <b>2 Achtergrond en best practices</b>                               | <b>8</b>                     |
| 2.1 Hoe wordt standaardisatie begrepen?                              | 8                            |
| 2.2 Het komen tot een standaard                                      | 8                            |
| 2.3 De voor- en nadelen van standaardisatie                          | 9                            |
| 2.3.1 Voordelen                                                      | 9                            |
| 2.3.2 Nadelen                                                        | 9                            |
| 2.4 Belangrijke elementen van een standaardisatieproces              | 10                           |
| 2.5 Kostengedreven modellen voor wanneer wél of niet standaardiseren | 13                           |
| <b>3 Case studies</b>                                                | <b>17</b>                    |
| 3.1 WML: Breehei/Grubbenvorst                                        | 17                           |
| 3.2 Trafikverket: spoorbruggenbouw in Noord-Zweden                   | 18                           |
| <b>4 Praktische adviezen en aandachtspunten</b>                      | <b>21</b>                    |
| 4.1 Schaal van de standaardisatie                                    | 21                           |
| 4.2 Levenscyclusanalyses                                             | 21                           |
| 4.3 Multidisciplinair ontwerpen bespreken                            | 22                           |
| 4.4 Periodiek heroverwegen van een asset                             | 22                           |
| 4.5 Data-beschikbaarheid, en wat voor data dan?                      | 23                           |
| 4.6 ICT-standaardisatie                                              | 23                           |
| 4.7 Centreren van standaardisatieslagen rond één centraal asset      | 24                           |
| <b>5 Stappenplan standaardisatieproces</b>                           | <b>25</b>                    |
| 5.1 Definiëren van criteria                                          | 25                           |
| 5.1.1 Wettelijke eisen                                               | 25                           |
| 5.1.2 Niet-wettelijke criteria                                       | 26                           |
| 5.1.3 Overzicht criterialijst                                        | 28                           |
| 5.2 Checklist van uit te voeren zaken                                | Error! Bookmark not defined. |
| 5.3 Flowchart voor standaardisatie                                   | 29                           |
| 5.4 Opmerkingen voor een minder uitgebreid proces                    | 32                           |
| <b>6 Conclusies en aanbevelingen</b>                                 |                              |



## Meer informatie

Dr. Jasper N. Immink  
T 030-6069516  
E [jasper.immink@kwrwater.nl](mailto:jasper.immink@kwrwater.nl)

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

|   |              |    |
|---|--------------|----|
| 7 | Bibliografie | 34 |
|---|--------------|----|

# 1 Inleiding

Drinkwaterbedrijven hebben een verplichting om aan een veranderende watervraag te blijven voldoen. De verwachting is dat in de aankomende jaren veel nieuwe win- en zuiveringslocaties zullen worden gebouwd vanwege deze groeiende vraag. Om in te kunnen spelen op deze veranderingen zullen waterbedrijven grote investeringen moeten doen om de assets te bouwen die nodig zijn om de drinkwatervoorziening op peil te houden. Dit brengt veel kosten met zich mee. Daarom kijken veel waterbedrijven naar manieren om de constructie van assets op een efficiëntere manier te aan te pakken.

Eén verbeteringslag is standaardisatie. Door standaardisatie hoeft een asset slechts één keer ontworpen worden, maar kan deze wel meerdere keren geïmplementeerd worden. Dit geeft een kostenbesparing: op de ontwerpkosten kan bespaard worden, maar ook kan efficiëntieverhoging worden bereikt door assetuitwisselbaarheid en eenvoudiger aansturing en communicatie. Voorwaarde is dat standaardisatie goed aangepakt wordt. Hoge ontwerpkosten, te veel concessies en verminderde mogelijkheden tot maatwerk kunnen er allemaal toe leiden dat de standaardisatieslag minder succesvol blijkt als werd verwacht.

In Nederland hebben verschillende waterbedrijven de waarde van assetstandaardisatie in gezien. Bij Vitens loopt er al langer interesse om assets te standaardiseren, bij BrabantWater is een programma uitgevoerd waar individuele modules worden gestandaardiseerd, en bij WML is er recentelijk een productielocatie opgeleverd die ontworpen is rond het standaardisatieprincipe. Door deze interesse bestaat de vraag hoe men zo goed mogelijk waterzuiveringsassets kan standaardiseren, en hoe het proces tot het komen van goede assetstandaarden goed aangepakt kan worden.

In dit rapport bespreken we de mogelijkheden van assetstandaardisatie in de drinkwatersector. Hierbij focussen we op het standaardiseren van veelvuldig gebruikte assets in de waterzuivering: assets zoals hele zuiveringslocaties, maar ook zuiveringsketels en kleinere waterzuiveringsassets. Het doel van dit onderzoek is om een methode te beschrijven om de standaardisatie van deze assets en assetontwerpen goed aan te pakken, en wat belangrijk is om tot een goede standaard te komen. Er is een brede hoeveelheid informatie ingewonnen over standaardisatie binnen en buiten de waterzuiveringssector, en best practices zijn geïdentificeerd en worden beschreven. Daarnaast worden een aantal case studies beschreven, waar concrete lessen uit te trekken zijn. Ook worden een aantal punten uitgediept die specifiek door de betrokken waterbedrijven zijn genoemd in het onderzoeksstadium. Tenslotte wordt een overzichtelijke en concrete methode met voorbeeld en stappenplan geïllustreerd met aanbevelingen hoe men tot een ontwerpstandaard kan komen, met aanbevelingen voor waterbedrijven van verschillend formaat.

In Hoofdstukken 2 en 3 behandelen we het vooronderzoek, en in Hoofdstukken 4 en 5 geven we concrete adviezen. In Hoofdstuk 2 wordt de nodige achtergrond besproken onder begeleiding van een literatuuronderzoek uit wetenschappelijke- en vakliteratuur. Dit omvat ook best practices die zijn opgemerkt in gesprekken met waterbedrijven en andere experts. In Hoofdstuk 3 worden twee case studies uitgelicht; één binnen de Nederlandse waterzuiveringstechnologie (Breehei/Grubbenvorst van WML) en één van spoorbrugstandaardisatie in Zweden. In Hoofdstuk 4 worden een reeks relevante vraagstukken besproken die opgekomen zijn tijdens de besprekingen met de betrokken waterbedrijven. Op deze punten worden daar concrete adviezen gegeven. In Hoofdstuk 5 worden concrete stappenplannen beschreven: voor (i) een heldere criterialijst, voor (ii) belangrijke taken van de standaardisatie-officier en (iii) hoe ontwerpstandaardisatie efficiënt aangepakt kan worden. Hier wordt ook ingegaan op het feit dat met de juiste keuzes, grote én kleine bedrijven kunnen profiteren van assetstandaardisatie en ontwerpstandaardisatie.

## Meer informatie

Dr. Jasper N. Immink  
T 030-6069516  
E [jasper.immink@kwrwater.nl](mailto:jasper.immink@kwrwater.nl)

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands





## 2 Achtergrond en best practices

### 2.1 Hoe wordt standaardisatie begrepen?

Standaardisatie als concept heeft geen centraal geaccepteerde definitie. Verschillende voorbeelden van definities zijn:

- De activiteit van het vaststellen van provisies voor generiek of herhaaldelijk gebruik, met inachtneming van gevonden of verwachte vraagstukken, met als doel het bereiken van maximale orde in een gegeven context [1].
- Een standaard is een regel of norm, die door een autoriteit is opgesteld, voor het meten van kwantiteit, gewicht, omvang, waarde of kwaliteit [2].
- Het proces van het formuleren en toepassen van regels van een specifieke activiteit, om economische winst te optimaliseren, rekening houdend met functionele voorwaarden en veiligheidseisen en met de medewerking van alle betrokkenen [3].

In dit document focussen we op de standaarden die relevant zijn voor asset management professionals in de waterzuiveringstechnologie. Daarom wordt hier standaardisatie verstaan als het proces tot het komen van een standaard die geaccepteerd is binnen de organisatie (lees: waterbedrijf), en met standaard wordt bedoeld een ontwerp voor een asset (fysiek, software of proces) die binnen die organisatie formeel geaccepteerd is.

In de vak- en onderzoeksliteratuur wordt voornamelijk gefocust op werkprocessen en industriële standaarden, en minder op materiële assets. Voorbeelden van industriële standaarden zijn formele of informele afspraken tussen verschillende instanties: een bekend voorbeeld is de USB-C-standaard [4]. Een voorbeeld van gestandaardiseerde werkprocessen is een set van opeenvolgende taken of activiteiten, zoals controleprocessen of verslagleggingen [5].

In dit onderzoek zijn we geïnteresseerd om bedrijfsassets van waterbedrijven te standaardiseren, en vakspecifiek onderzoek focust hier weinig op. De reden hiervoor is dat de standaardisatie van materiële assets vaak erg vak- en bedrijfsspecifiek is, en dat het openlijk beschikbaar maken van deze informatie weinig toegevoegde waarde heeft voor de brede asset management. Daarnaast kan bedrijfsgeheim ook een barrière zijn. In dit onderzoek zijn we met name op zoek naar een methode om waterzuiveringsassets goed te kunnen standaardiseren, waarvoor we zo veel mogelijk uit de vak- en onderzoeksliteratuur putten.

### 2.2 Het komen tot een standaard

Er zijn over het algemeen twee paden waarmee een standaard wordt bereikt binnen een organisatie [6].

- **De facto of bottom-up standaardisatie**  
Bij bottom-up standaardisatie wordt door uitvoerend of inkopend personeel één asset of één proces bij voorkeur gekocht of gebruikt, welke vervolgens door de organisatiebreed wordt geadopteerd als standaard [6] [7]. De reden dat de voorkeur voor deze standaard bestaat kan veelvuldig zijn: stabiele leveranciers, past goed bij bestaande assets, of de bekendheid bij medewerkers zijn vaak aangedragen redenen [8] [9]. Een voorbeeld is het gebruik van bepaalde diameter van leidingen, wat organisatie breed wordt aangenomen als de standaard.
- **Formele of top-down standaardisatie**  
Formele standaard of top-down standaardisatie worden opgelegd door overheids- of regulerende instanties, op basis van overeengekomen, open, transparante procedures, en consensus tussen alle betrokken partijen [6]. Andere formele standaardisatie kan tot stand komen als de organisatorische of strategische laag van de

organisatie wil dat er gestandaardiseerd wordt, om wat voor reden dan ook, en dat dit aan de rest van de organisatie opgelegd wordt.

Bij een standaardisatieslag wordt vaak een tussenvorm herkend. Een de facto standaard kan de wens voor standaardisatie bij de strategische laag beïnvloeden, of de strategische laag kan te rade gaan bij de uitvoerende laag om informatie in te winnen voordat tot top-down standaardisatie wordt overgegaan. Een goed onderzoek om de kosten en baten te onderzoeken is belangrijk en staat daarom aan de voorkant van de meest succesvolle standaardisatieslagen. [7]

## **2.3 De voor- en nadelen van standaardisatie**

Het proces van standaardisatie wordt vaak vanuit verschillende oogpunten geïnitieerd, en de opbrengsten kunnen ook deels negatief zijn. Hieronder worden de meest genoemde voor- en nadelen beschreven.

### **2.3.1 Voordelen**

#### **Kostendrukkend effect**

De aanschaf van een nieuwe asset gaat vaak gepaard met een ontwerp- of onderzoeksproces om de nieuwe asset aan de eisen te laten voldoen. Met een gestandaardiseerde asset hoeft dit proces minder vaak doorlopen te worden, wat een kostendrukkend effect kan hebben [10] [11] [12].

Vaak leidt standaardisatie tot efficiënter werken, dat kosten verlaagt [13]. Daarnaast vermindert standaardisatie de kans op misverstanden – vaak omdat uitvoerend personeel minder opgeleid hoeft te worden voor specifiek assetgebruik – wat ook tijd en geld scheelt. Tenslotte kan bij bulk-aankoop vaak korting bedongen worden.

#### **Standaardisatie verlaagt risico's**

Een gestandaardiseerde asset niet elke keer uitgelegd te worden aan een uitvoerende medewerker. Indien goede instructies worden opgesteld, kan de voorspelbaarheid verbeterd worden [14]. Daarnaast kan een gestandaardiseerd asset ook voorspelbaarheid bieden: aangezien er meerdere van dezelfde assets in gebruik zijn, kunnen risico's en verwachtingen beter in kaart worden gebracht [15].

Daarnaast leiden goed uitgewerkte standaarden ertoe dat een nieuwe medewerker het werkproces snel onder de knie krijgt en sneller meedraait als volwaardig teamlid. Standaardisatie maakt het voor ervaren medewerkers bovendien gemakkelijker om hun kennis over een werkproces snel over te brengen op nieuwe medewerkers. Door te standaardiseren ontstaat er minder afhankelijkheid van een specifieke expert. Daarnaast is de overdraagbaarheid en communicatie rond een asset vaak veel eenvoudiger. Als een uitvoerend medewerker niet met een specifieke asset heeft gewerkt, maar wel met een andere uitvoering van dezelfde gestandaardiseerde asset, is de leercurve voor met betrekking tot deze asset sneller en kan de medewerker er sneller ermee aan de slag [14].

### **2.3.2 Nadelen**

#### **Kosten ontwerpproces**

Het ontwerpen van een standaard is een langdurig en intensief proces. Daarom is de vraag óf men moet standaardiseren vaak een afweging: wegen de kosten van het standaardisatieproces op tegen de verwachte baten van het beschikbaar hebben van een gestandaardiseerd assetontwerp en gestandaardiseerde assets [16]. Hier zullen we in paragraaf 2.5 uitvoeriger op in gaan.

#### **Verminderde mogelijkheid tot maatwerk leidt tot hogere kosten en risico's**

Waterzuiveringstechnologie is gebaseerd op veranderende normen en veranderend ruwwaterkwaliteit. Hierdoor is het vaak nodig dat de specifieke waterzuivering moet kunnen inspelen op onvoorziene omstandigheden, wat

aanpassingen vergt. Dit staat op gespannen voet met de wens tot standaardisatie: een gestandaardiseerd ontwerp kan alleen inspelen op veranderingen die voorzien waren tijdens het ontwerpproces [12]. Daarnaast leidt dit ook vaak tot negatieve ervaringen bij werknemers: bijvoorbeeld, als de ontworpen standaard geen ruimte laat voor ideeën en verbeteringen, kunnen werknemers teleurgesteld worden en zich niet gesterkt voelen in hun kennis en ervaring. [7]

### **Geen optimale standaard door te veel concessies**

Het komen tot een standaard is een proces waarin veel compromissen gemaakt moeten worden. Deze compromissen komen niet altijd de kwaliteit van de asset ten goede, en dat veel concessies gedaan worden voor te kleine winsten [6]. De praktijk is dat vaak een grote groep mensen wordt betrokken bij het ontwerpen van een standaard, en dat iedereen input meegenomen wordt, waardoor de kleinst gemeenschappelijke deler overblijft [17].

### **Kosten of risico voor standaardisatie als data ontbreekt**

Bij het ontwerpen van een standaard wil men van tevoren zo veel mogelijk zekerheid hebben. Risico-analyses en levenscyclusanalyses (LCA's) hebben vaak grote hoeveelheden data nodig om goed in kaart te kunnen brengen wat de assets kunnen bieden. Het vergaren, catalogiseren en beschikbaar stellen van de data is daarom van enorm belang, en is één van de centrale punten die belangrijk zijn voor het standaardiseren van een asset. Efficiënt datamanagement is een vak en onderzoeksveld op zich, en het is buiten de scope van dit onderzoek om een dieptestudie naar dit onderwerp te doen, maar het is wel van belang om zich bewust te zijn van de noodzaak voor goed gestructureerde data [18] [19].

### **Verminderd vermogen tot inspelen op toekomstontwikkelingen**

Assets verliezen door standaardisatie tot op zekere hoogte hun inspelbaarheidsvermogen op toekomstontwikkeling. Hiermee wordt bijvoorbeeld bedoeld dat technologische ontwikkeling ervoor kan zorgen dat de standaard minder efficiënt werkt dan een later ontwikkelde standaard, en dat afhankelijk van hoe snel veranderingen in een sector optreden loont het om wél of niet te standaardiseren. Voorbeelden van toekomstontwikkelingen zijn leveranciersvertragingen, toenemende energiekosten, klimaatbeleidsontwikkeling en digitaliseringsontwikkelingen. Leveranciersvertragingen en stijgende energiekosten maken sommige standaarden minder effectief. Een veranderend klimaatbeleid kan betekenen dat de chemische samenstelling van rein water niet meer toereikend kan zijn, en een nieuwe standaard ontworpen zal moeten worden. Digitalisering kan de besturing vereenvoudigen waardoor bedrijfsprocessen en monitoring van assets kan veranderen [20]. Men kan daarom niet aannemen dat een standaard vast staat in de tijd, en ontwikkelingen in de sector moeten op de voet gevolgd worden om een standaard actueel te houden.

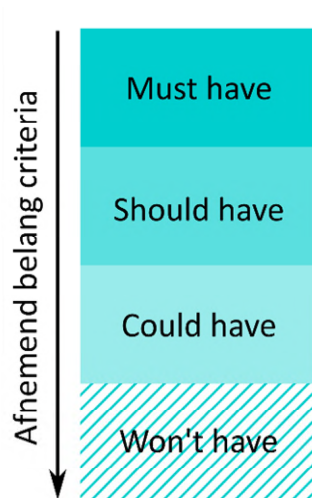
## **2.4 Belangrijke elementen van een standaardisatieproces**

Het proces tot het komen van een geaccepteerde standaard kan op oneindige manieren aangepakt worden. Hieronder beschrijven we veel voorkomende elementen van een standaardisatieproces die relevant zijn voor asset management bij waterbedrijven. Hier focussen we op elementen die in de literatuur terugkomen. Later in Hoofdstuk 4 bespreken we een aantal andere elementen, maar dan worden concrete adviezen gegeven op vraagstukken die de waterbedrijven specifiek hadden m.b.t. assetstandaardisatie.

### **Definitie van criteria voor een asset**

Vaak is te lezen dat de meest succesvolle standaardisatieprocessen beginnen met het maken van een goede lijst van ontwerpcriteria [21] [22]. Deze ontwerpcriteria zijn vaak gedefinieerd als de normen waaraan een assetontwerp moet voldoen. Eén van de eerste stappen is dan ook het vastleggen van een centraal document met ontwerpcriteria dat een handleiding vormt gedurende het gehele standaardisatieproces.

In Hoofdstuk 5 geven we een uitgebreid voorbeeld voor het maken van zo'n centraal document. Hier gaan we meer in op de methoden om dit document vorm te geven.



Figuur 1: Grafische weergave MoSCoW-methode

Een methode om het belang van een criterium in te schatten is de MoSCoW-methode, wat staat voor *Must have*, *Should have*, *Could have*, *Won't have*. Hiermee kan men een prioritering maken van verschillende ontwerpcriteria aan de hand van belang van die criteria voor de organisatie (Figuur 1).

De techniek is bedoeld om de criteria in de vier bovengenoemde groepen in te delen. Vaak zijn must-have criteria minimale wettelijke eisen, of eisen zonder welke het project als mislukt kan worden beschouwd. Voorbeelden van must-have criteria in waterzuiveringsassets zijn dat een asset de minimale wettelijk vereiste waterkwaliteit kan leveren. Een should-have criterium is een zeer gewenste functionaliteit, maar zonder deze eis is het asset nog wel werkend. Vaak zijn deze eisen de reden voor standaardisatieslagen. Een voorbeeld is dat een asset goed transporteerbaar is, waardoor deze ingezet kan worden op meerdere locaties. Vaak leidt het definiëren van een eis als should-have ervoor dat op de lange termijn dit als must-have criterium wordt herkend: de infrastructuur is nu ingericht op dit criterium, en het functioneren van de hele zuiveringslocatie kan stoppen als aan deze eis niet wordt voldaan. Een could-have criterium wordt ook wel een nice-to-have feature genoemd: eigenschappen waarvan het goed zou zijn om aan te voldoen, maar waarvan het niet problematisch is als dit niet wordt bereikt. Won't have zijn de eisen die in een project niet aan bod komen, maar in de toekomst, bij een vervolgproject, mogelijk interessant zijn.

### **RAMSHEEP en criteria identificeren**

RAMS en haar uitgebreidere versie RAMSHEEP zijn methoden om werkwijze en afspraken op het gebied van prestaties vast te leggen en risico-analyses van een assets te kwantificeren [23]. RAMS is een acroniem van Reliability, Availability, Maintainability en Safety. De methode helpt om aan de hand van deze vier asseigenschappen de prestaties te beschrijven, te bepalen en te monitoren. Vaak wordt dit uitgebreid naar de RAMSHEEP, waar Health, Environment, Economics en Politics ook worden meegenomen. De methode is bedoeld om de prestaties van een asset meetbaar te maken door de risico's van een asset goed in te schatten.

Een voorbeeld van een korte doorloop van deze methode in de ontwerpfase is als volgt. Allereerst wordt met stakeholderanalyses gedefinieerd welke eisen deze stakeholders stellen aan het te implementeren asset. Hiernaast wordt een brede data-inventarisatie uitgevoerd: welke data is beschikbaar over de asset en welke risico's kunnen we hierin definiëren? Er wordt ook een overzicht gemaakt van voorwaarden voor bediening en onderhoud. Tenslotte wordt er nagedacht over risico's in het RAMS- of RAMSHEEP-kader. Een voorbeeld: men is een

zandfiltratieketel aan het ontwerpen. Men denkt dan over elk punt in RAMSHEEP na welke risico's er liggen: bij Reliability kan men aan lekkage's denken, bij Maintainability aan toegankelijkheid van de asset zodat operators makkelijk vervangingen kunnen doen, enzovoort. De kunst van de RAMSHEEP-methode is om te focussen op de onderliggende risico's: een lekkage betekent productie- en kwaliteitsverlies, manuren en vervangend materiaal dat nodig is om de asset te repareren, en mogelijk financieel verlies door afschrijving van de asset. Bij een goede documentatie van de verschillende onderdelen in dit onderzoek kan een inschatting gemaakt worden van de risico's, en dus van de eisen die aan een asset gesteld worden. Vervolgens kan men aan de hand van de eerder besproken MoSCoW-methode inschatten hoe je de verschillende criteria categoriseert.

### **Haalbaarheidsstudies**

Bij goede standaardisatieslagen wordt regelmatig in het ontwerpproces onderzocht in hoeverre de verschillende criteria haalbaar zijn [24] [25]. Haalbaarheidsstudies kunnen op veel verschillende manieren uitgevoerd worden en de keuzes voor de specifieke uitvoering hangt af van het specifieke criterium dat onderzocht wordt.

In de waterzuivering is de haalbaarheid van een bepaalde reinwaterkwaliteit en -kwantiteit een belangrijke parameter. Dit wordt onderzocht a.d.h.v. technische en data-gedreven ervaring, input van externe experts, onderzoek n.a.v. leveranciersspecificaties en doorrekeningen vanuit massabalans- en fysisch-chemisch perspectief [26]. Het is verstandig om dat haalbaarheidsstudies uit te voeren op meerdere momenten in het ontwerpproces. Dit leidt tot robuuste en efficiënte assets en dus tot hoge kwaliteit.

Haalbaarheidsstudies hoeven niet alleen de reinwaterkwaliteit en -kwantiteit te betreffen en kunnen een goed inzicht leveren in een groot aantal criteria. Veel onderzochte voorbeelden zijn kostenramingen, leveringszekerheid en milieupact. Als voorbeeld, in het geval dat milieu-impact een grote rol speelt, is het vaak nuttig om bij elke grote stap in het ontwerpproces te onderzoeken in hoeverre die keuze impact heeft op het milieu [25].

### **Definiëren van alternatieve oplossingen**

Na elke stap in het standaardisatieproces, wordt een nieuw ontwerp of voorstel gegenereerd. Het eindresultaat wordt beter als men bij elke stap stil staat bij alternatieve oplossingen [27].

Als voorbeeld: in het geval dat een zandfilterbak wordt ontworpen met een criterium dat deze goed vervoerbaar moet zijn, wordt deze bak zó ontworpen, dat deze een breedte heeft zodat deze zonder aanvraag van convoi-exceptionnel status over de snelweg vervoerd kan worden. Na voorstel van een ontwerp waar de breedte voldoet, kan het nuttig zijn om andere materialen en producten uit te zoeken die voldoen aan dezelfde hoofdcriteria maar voor lagere kosten of met grotere robuustheid. Bij grote beslissingen kan een onafhankelijk panel de beste uit de verschillende opties kiezen [27].

### **Meenemen van een aannemer in het ontwerpproces**

Aannemers hebben mogelijk inzichten die niet helder bij het ontwerpteam of andere betrokkenen op het netvlies staan. Vaak zijn dit praktische inzichten die een grote efficiëntieverhoging kunnen bieden. Een voorbeeld is de bereikbaarheid van de asset zodat reparatie en downtime verminderd wordt.

Onderzoek heeft uitgewezen dat het zo vroeg mogelijk betrekken van een aannemer in het ontwerpproces een positieve uitwerking heeft [28] [29]. Er bestaan meerdere filosofieën hierover: de *Design-Bid-Build*-filosofie (DBB) en de *Design-Build*-filosofie (DB). DBB houdt in dat de aannemer een volledige set ontwerpen en tekeningen ontvangt, en dat bij het maken van deze documenten geen inzichten worden gevraagd bij de aannemer. Bij een DB-filosofie wordt de aannemer betrokken bij de ontwerpfasen. De verschillende filosofieën hebben verschillende voordelen: een DB-type proces heeft er baat bij dat de aannemer meedenkt over het ontwerp en zijn expertise hierover deelt. Aan de andere kant is een DBB-proces vaak een sneller proces waar de ontwerpfasen minder lang duurt. De keuze voor het proces hangt samen met belangrijk de input van de aannemer is voor de kwaliteit van de uiteindelijke asset. Tenslotte is er ook nog het *Early Contractor Involvement*-model (ECI), waar de aannemer al

betrokken wordt in de eerste DB-documenten. Over het algemeen leidt ECI tot de hoogste assetproductiviteit, en tot betere kostenraming leidt. Daarnaast heeft het in het verleden geleid tot snellere oplevertijden en betere bouwomstandigheden in dicht bebouwde gebieden [25].

## 2.5 Kostengedreven modellen voor wanneer wél of níet standaardiseren

Voor een standaardisatieslag is het goed om te onderzoeken of de kosten opwegen tegen de baten. Dit vergt een duidelijk inzicht en harde data, en met betrekking tot standaardisatie in de watersector is er slechts een beperkte hoeveelheid informatie te vinden [30]. Er zijn frameworks waarin men kan denken om een inschatting te maken. Hieronder beschrijven we enkele voorbeelden.

### Kosten-batenanalyse

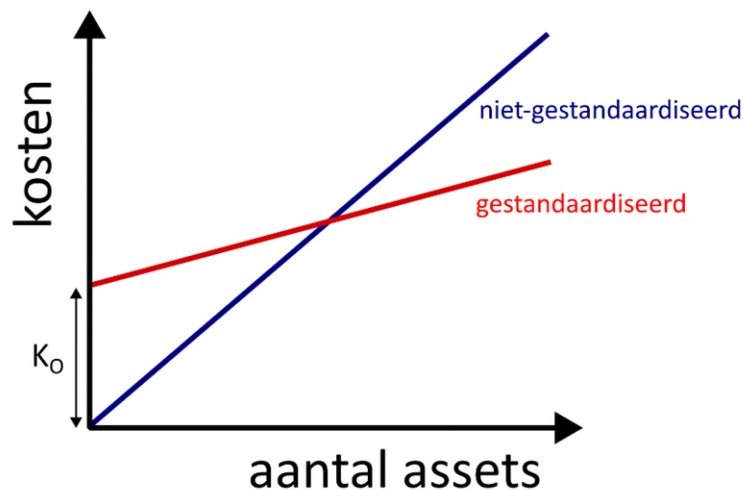
Een kosten-batenanalyse is een goede eerste stap om inzicht te krijgen in het financiële plaatje van een standaardisatieslag. Het doel van deze analyse is in te schatten of men de asset vaak genoeg gaat implementeren om een kostenbesparend effect te genereren. Men gaat ervanuit dat een standaard ontwerpen geld kost, en dat het implementeren van een standaard minder geld kost dan een volledig nieuw ontworpen asset. Door deze kosten in te schatten kan een globale schatting van de kostenbesparing gemaakt worden [31] door te bedenken dat:

$$T_{nS} = N * K_{nS}$$

Hier zijn  $T_{nS}$  de totale kosten van een asset als er niet gestandaardiseerd wordt,  $N$  is het aantal assets dat geïmplementeerd wordt, en  $K_{nS}$  zijn de kosten van een enkel asset zonder standaardisatie. In het geval dat er wél gestandaardiseerd wordt, geldt het volgende:

$$T_S = K_0 + N * K_S$$

Waar  $T_S$  de totale kosten als er wél gestandaardiseerd wordt is,  $K_0$  de kosten voor standaardontwerp, en  $K_S$  de kosten van een gestandaardiseerd asset. Dit is grafisch weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2: schematische weergave kosten/baten van assetstandaardisatie

Vervolgens kan men kijken vanaf welke hoeveelheid assets het rendabel is om te standaardiseren. Met de formules van hierboven is dat punt als volgt:

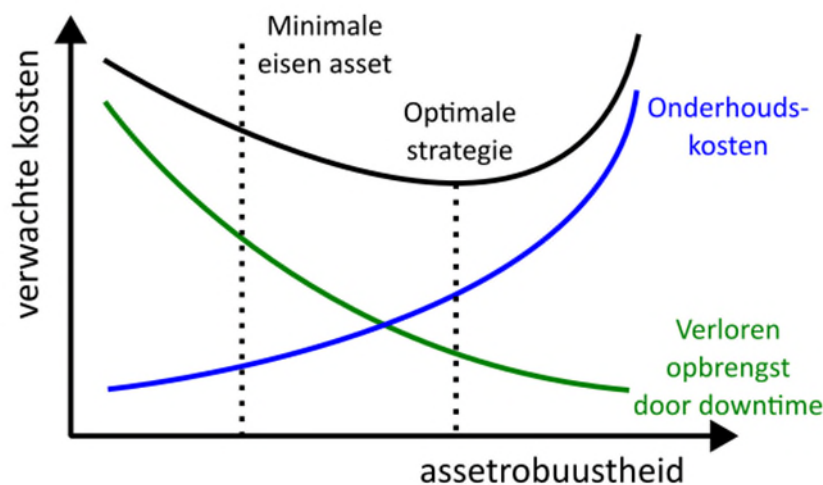
$$N(T_S = T_{nS}) = \frac{K_{nS} - K_S}{K_0}$$

In andere woorden, als de hoeveelheid assets  $N > \frac{K_{ns} - K_S}{K_O}$ , dan is de investering voor assets het waard.

Hoewel dit een versimpeling van de werkelijkheid is, en complexiteiten als CapEx/OpEx, assetrisico's en verbeteringskosten in deze versimpeling niet worden meegenomen, kan dit een nuttige manier zijn om in te schatten of een standaardisatieslag financieel aantrekkelijk is. Dit maakt de vraag datagedreven: met genoeg informatie kan men een inschatting maken van de hoeveelheid assets die gebouwd moeten worden om de investering waard te zijn.

### Risico-gebaseerde kostenmodellering

Het meenemen van de levenscyclus in een standaardontwerp is ook mogelijk. Een veelgebruikte is de Risk-Based Inspection-techniek, wat een methode is om de kosten van materiële assets over hun gehele levenscyclus in te schatten [32] [33]. Dit is een data-gestuurde techniek, waar geldt dat zo veel mogelijk data over de asset nodig is. Deze methode berust op een afweging, waar betrouwbaarheid (*reliability*) afgewogen wordt tegen onderhoudsrisico (*Risk acceptance criteria*, die betrekking hebben op het risico van personeel, milieuverontreiniging, en economisch risico), zoals geïllustreerd in Figuur 3 [32].



Figuur 3: Overzicht totale kosten van een asset over de hele levenscyclus

In dit framework, dat ontwikkeld is voor het managen van boorplatformen, wordt ingeschat hoe robuust een asset is als functie van de grootte van de investering. Bijvoorbeeld, hoe snel verwacht men dat een asset onderhoud nodig heeft bij de aanschaf van een goedkoop onderdeel? Hoe snel als er meer wordt geïnvesteerd in dit onderdeel? Dit kost tijd en data, en is gebaseerd op het idee dat men een aantal niveaus van assetrobuustheid kan definiëren: van weinig onderhoud en veel downtime naar veel onderhoud en weinig downtime. Voor een aantal van deze niveaus kan men dan twee zaken inschatten: hoeveel kost dit reguliere onderhoud qua vervangende materialen en manuren, en hoe lang schatten wij in dat de assets dan niet werken na behoren. Op deze manier wordt dit een optimalisatievraagstuk: bij welk niveau van onderhoud zijn de onderhoudskosten en de verliezen door downtime minimaal?

Dit framework is een zwaar data-gedreven. Het vergt diepe kennis over het specifieke asset, waar de volgende zaken in data zijn gevat:

- Kosten van vervangende onderdelen van een asset
- Gemiddelde levensduur van assetonderdeel
- Kosten van volledige inspectie van een asset
- Kosten van downtime
- Gemiddelde reparatietijd voor een asset

Omdat deze methode zoveel kennis over de asset vergt, is er twijfel of dit haalbaar is voor waterbedrijven. Het advies is dan ook om deze methode alleen uit te voeren op bestaande assets en uitgevoerde standaarden.

Er bestaan alternatieven voor deze methode. Een andere mogelijkheid is de FEL-SALDO-methode van TNO [34], en methodologieën specifiek voor levenscyclusanalyses van afvalwaterzuiveringen zijn ook te vinden [35].

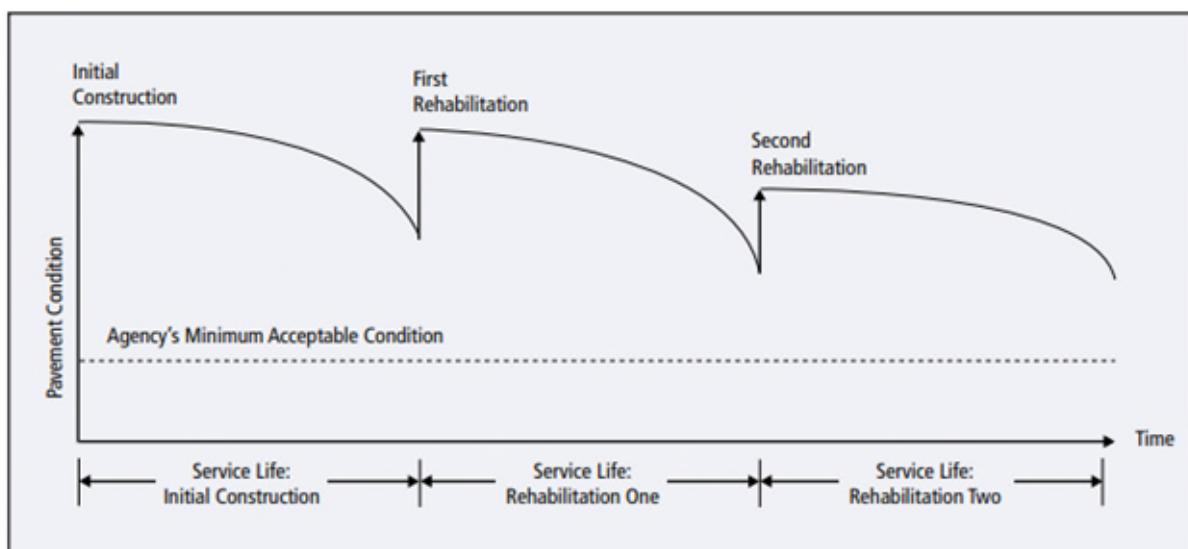
### Levenscyclus-kostenanalyse

Een levenscyclus-kostenanalyse (LCKA) is een analyse die de kosten van een asset inschat, waarbij de gehele levenscyclus van het asset wordt meegenomen. Hierin worden dus ook onderhoudskosten en andere operationele kosten meegenomen. De ISO-richtlijnen 14040 en 14041 [36] beschrijven hoe men een LCKA kan uitvoeren, dat globaal als volgt gaat.

Allereerst definieert men het doel van de LCKA: men schat in hoeveel constante operationele kosten het asset nodig zal hebben. Daarna vindt men twee alternatieven voor de betreffende asset die een vergelijkbare functie hebben: van deze worden ook de operationele kosten ingeschat.

Vervolgens kan men de periode van de LCKA vastzetten, of over welke tijdsduur de LCKA betrekking heeft. Deze moet lang genoeg zijn om voor elk alternatief tenminste één grote onderhoudsbeurt te omvatten. Hierbij kunnen de leverancier en eerdere gebruikers inzicht bieden, en anders kan praktijkervaring of beschikbare literatuur hierbij helpen.

Vervolgens kan men de “kwaliteit” op het tijdsverloop van een asset in kaart brengen. Deze is in beste staat bij oplevering, en veroudert in gebruik. Periodieke onderhoudsbeurten verbeteren de asset tot een hoger niveau. Dit wordt weergegeven in Figuur 4, waar het Amerikaanse Department of Transportation in kaart brengt hoe zij onderhoud inplannen voor hun trottoirs. Door middel van het definiëren van een minimaal acceptabele conditie en hoe snel een assetconditie achteruit gaat, kan er ingeschat worden hoe vaak onderhoud nodig is. In het geval van een complexe asset zoals een waterzuiveringsketel of volledige zuiveringslocatie is dit moeilijk in te schatten, maar het kan ook (waar mogelijk) op individueel onderdeel-niveau ingeschat worden. Een belangrijke stap is dan om de



Figuur 4: Versimpelde weergave van inschatting wanneer er onderhoud nodig is voor assets. Uit [47].



conditie van een asset vóór en ná de onderhoudsbeurt in te schatten, zodat er een inzicht kan worden verkregen voor komende assets.

Vervolgens kan men een kostenraming maken. Naast initiële constructiekosten (CapEx) en onderhoudskosten, zijn er ook andere lopende kosten. Hieronder wordt een methode aangegeven om deze te bepalen [37].

$$K_t = \frac{K_A}{N} + K_E + K_{ON} + K_{OP} - W_R$$

Hier zijn  $K_t$  zijn de totale kosten in een jaar,  $K_A$  zijn de acquisitiekosten van een asset,  $N$  is het aantal jaren dat een asset in bedrijf is,  $K_E$  zijn de energiekosten per jaar,  $K_{ON}$  zijn de onderhoudskosten van een asset voor een jaar,  $K_{OP}$  zijn de operationele kosten per jaar.  $W_R$  is de restwaarde van een asset na dat jaar. De uitdagingen in deze kostenbepalingen zijn voornamelijk als volgt:

- Financiële complexiteiten, zoals rentetarieven, inflatiepercentages en belastingtarieven [38]. Daarnaast zijn historische kosteninzichten nodig om de onderhoudskosten, inspectiekosten en reparatiekosten te voorspellen. De gegevens zijn echter vaak onbetrouwbaar en beperkt [39].
- Er is vaak niet genoeg data beschikbaar om een overwogen inschatting te maken van een kostenpost.
- Projectmanagers identificeren de kapitaalkosten van een project vaak als de totale projectkosten. De totale kosten worden echter ook beïnvloed door de manier waarop een asset worden beheerd en onderhouden+ [39]. Projectmanagers maken verkeerde keuzes op basis van de verkeerde aanname.

## 3 Case studies

In dit hoofdstuk behandelen we twee standaardisatieprocessen. Allereerst behandelen we de standaardisatieslagen die genomen zijn door Waterleidingmaatschappij Limburg, met betrekking tot hun nieuwere locaties Breehei en Grubbenvorst. Vervolgens behandelen we een standaardisatieproces in Zweden, waar de Zweedse staat enkele honderden nieuwe spoorwegbruggen bouwt in het noorden van het land. In beide gevallen is er met verschillende medewerkers gesproken en zijn inzichten verzameld hoe de standaardisatie is aangepakt en waar lessen getrokken kunnen worden.

### 3.1 WML: Breehei/Grubbenvorst

WML heeft enkele jaren geleden geïdentificeerd dat zij in de aankomende decennia meerdere nieuwe waterzuiveringslocaties willen ontwikkelen, en dat zij deze locaties graag met een standaardisatie-visie op willen zetten. Op die manier is er enkele jaren geleden een nieuwe productielocatie in Breehei opgeleverd.

Men heeft besloten om de zuiveringslocatie rond één modulair concept te ontwerpen, namelijk waterzuiveringsketels. Er zijn twee conceptketels ontworpen. Beiden weerstaan verschillende drukken en hebben een andere omtrek. Zo goed als alle zuiveringsprocessen op de locatie Breehei worden in deze zuiveringsketels gedaan, en één van de criteria van deze ketels was dat ze voor verschillende zuiveringsprocessen ingezet kunnen worden. De ketels kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden voor zandfiltratie, maar ook actieve koolfiltratie. Dit betekent dat filterzand of ander filtermateriaal eenvoudig in- en uit de filterbakken te halen moet zijn, waar tijdens het ontwerp van de zuiveringsketel (en het omringende gebouw) rekening mee gehouden moet worden.

Een ander criterium voor de zuiveringsketels was dat ze eenvoudig inwisselbaar moesten zijn. Dat wil zeggen dat ze voor verschillende zuiveringsprocessen inzetbaar zijn, en dat ze op verschillende locaties ingezet kunnen worden. Dit laatste betekent dat ze eenvoudig transporteerbaar moeten zijn (over de weg). De Nederlandse wetgeving geeft een maximale grootte van voertuigen en lading, en bij te grote lading moet een voertuig een *convoi exceptionnel*-status aanvragen. De ketel is ontworpen om niet een convoi-exceptionnel-status nodig te hebben. Ook is gekozen voor metalen zuiveringsketels, omdat deze beter transporteerbaar zijn dan betonnen bakken die vaak locatiegebonden zijn.

Een ander criterium was de waterkwaliteit die wordt afgeleverd door de waterzuiveringsketels. De procestechnologische afdeling van WML heeft in kaart gebracht wat voor watersoorten er zijn in Limburg. Met deze informatie en de beschikbare informatie over de filtermaterialen is berekend wat de hoogte zou moeten zijn van het filtermateriaal in de zuiveringsketel, en is de ketel ontworpen om deze hoeveelheid filtermateriaal te kunnen accommoderen.

Het criterium voor de outflow-aansluiting is dat zo veel mogelijk verschillende zuiveringstechnieken in de ketel toe worden te staan. Er is hier gekozen om een flensaansluiting te nemen, om uitwisselbaarheid en aansluitingen naar verschillende technieken zo veel mogelijk te faciliteren.

Met de bovenstaande criterialijst heeft de procestechnologische afdeling van WML een zuiveringsketel ontworpen. Deze is als centrale asset aangenomen, en de rest van de assets die nodig zijn om de zuiveringsinstallatie zijn ontworpen rond deze centrale asset.

Vervolgens is de rest van de benodigde assets voor de productielocatie ontworpen rond de eisen van de gestandaardiseerde waterzuiveringsketel. De leidingdiameters en materialen van het leidingwerk is

gestandaardiseerd voor optimale aansluiting op de centrale asset. Hier is ook weer rekening gehouden met transporteerbaarheid, en dat het leidingwerk is gestandaardiseerd niet alleen op Breehei maar ook op andere zuiveringslocaties. Dit om aansluiting van waterzuiveringsketels op andere locaties zo veel mogelijk te faciliteren.

Rond de ontworpen zuiveringsketel werd vervolgens het gebouw ontworpen. Een aantal criteria werden hier voor opgesteld, voornamelijk om goed aan te sluiten bij de centrale waterzuiveringsketel. Het is belangrijk om te vermelden dat Breehei een (relatief) lege locatie was, waar veel ruimte was om nieuwe gebouwen te plaatsen en waar niet tot weinig gebouwd hoefde te worden rond bestaande infrastructuur. Er is daarom besloten om een gebouw te plaatsen waar genoeg ruimte was voor een relatief grote hoeveelheid waterzuiveringsketels, tussen de 20-30. Daarnaast moest het dak van het gebouw open kunnen, zodat ketels eenvoudig uit het gebouw getakeld worden.

Er is ook gedacht aan de bereikbaarheid van de waterzuiveringsketels. Bij breuk of reparatiewerkzaamheden moet de zuiveringsketel van alle kanten toegankelijk zijn. Het gebouw is ingericht om dit te faciliteren: er zijn een aantal plekken voor zuiveringsketels met looppaden naar de verschillende openingen van de zuiveringsketel, met aansluitingen voor het leidingwerk en voor aansturingssystemen.

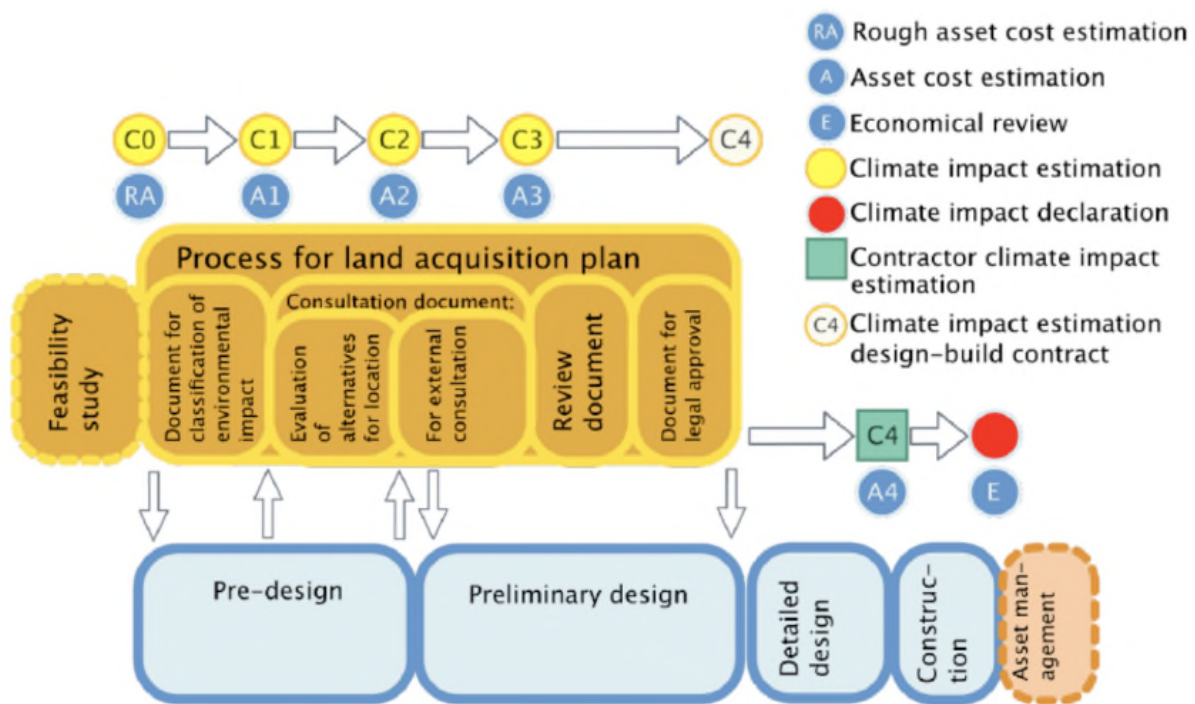
Via deze methode is de locatie Breehei opgezet, die nu enige jaren in gebruik is. Er wordt nu gewerkt aan een nieuwe locatie, de locatie Grubbenvorst. Dit moet een locatie worden waar de lessen die getrokken werden n.a.v. de locatie Breehei, worden geïmplementeerd. De locatie Breehei is goed ontvangen en er zijn geen grote fouten gevonden in de locatie. De problemen die er waren, waren voornamelijk productiefouten van de assets. Als voorbeeld, het vulsysteem was iets lager dan de overslaghoogte van verschillende filters, wat een risico kan vormen voor de pompen die het filtermateriaal aanleverden. Dit werd ruim voor ingebruikname gesignaleerd en is tijdig aangepast. Verder werd gesignaleerd dat de actuatorventielen die op de luchtcompressorinstallatie zaten, vroeg in hun levensduur gingen lekken. Hier betrof het een productiefout, en de leverancier heeft de ventielen vervangen.

Een bijkomend onverwacht voordeel is dat het een mogelijkheid schept tot experimenteren. Door de modulaire bouw van de filterketels is het makkelijk om de volgorde van de zuiveringsketels te schakelen, en verschillende filtersoorten kunnen zo eenvoudig in een andere volgorde geschakeld worden. Dit staat WML toe makkelijk verschillende scenario's te testen.

Samengevat heeft men bij WML een centrale asset uitgekozen (zuiveringsketel). Deze is ontworpen aan de hand van een aantal belangrijke criteria. Alle zaken rond deze asset zoals het gebouw en leidingwerk is ontworpen rond het ontwerp van de zuiveringsketel. De zuiveringslocatie is goed bevallen en er wordt binnenkort een nieuwe zuiveringslocatie opgeleverd met dezelfde insteek.

### **3.2 Trafikverket: spoorbruggenbouw in Noord-Zweden**

In Noord-Zweden bouwt de overheid een nieuwe spoorlijn om de steden in het noorden van het land te verbinden met het zuiden en met Finland. Dit project is opgedragen aan de Zweedse transportautoriteit Trafikverket (equivalent aan het Nederlandse Rijkswaterstaat) die hiervoor rond de 250 nieuwe spoorwegbruggen zal plaatsen in afgelegen gebied. Hiervoor wil men graag op een gestandaardiseerde manier aan de slag gaan, en de bruggen zo veel mogelijk op één manier bouwen. Er wordt onderzoek gedaan door medewerkers van Trafikverket en de technische universiteit van Göteborg (Chalmers tekniska högskola) hoe dit zo goed mogelijk aan te pakken. Er hebben interviews plaatsgevonden met medewerkers van zowel Trafikverket als Chalmers, en hieronder bespreken we het proces van bruggenontwerp door Trafikverket, en bevindingen van de beide instanties.



Figuur 5: Workflow voor de bouw van een spoorwegbrug door Trafikverket in Zweden. Figuur uit [25].

Het ontwerpproces van een spoorwegbrug is gestandaardiseerd (zoals in Figuur 5). Een treinverbinding wordt gepland tussen punt A en punt B, en een obstakel betekent dat er ergens een spoorwegbrug gebouwd moet worden. Eerst worden er verschillende locaties uitgekozen als opties om de brug neer te zetten. Voor elk van die locaties wordt een haalbaarheidsstudie uitgevoerd, waarin antwoord wordt gegeven op de volgende vragen: wat is er nodig om de bruggen te bouwen, en wat is er nodig om deze te onderhouden? Door middel van computerprogramma's worden mogelijkheden voor elk van deze locaties doorgerekend, en het is haalbaar om alle verschillende mogelijkheden voor spoorwegbruggen door te rekenen. Dit is ook waar digitalisering het meest waardevol is: een goed 3D-model kan veel inzicht verschaffen en praktische problemen vroeg inzichtelijk maken en zo voorkomen. De beste locatie wordt gekozen aan de hand van haalbaarheidscriteria t.o.v. kosten en ecologische haalbaarheid, die vastgelegd zijn in wetgevende kaders.

Vervolgens wordt het beste ontwerp voorgelegd aan verschillende ontwikkelaars, die allen kunnen aanbieden met kosten. De aannemer die de beste prijs en laagste ecologische impact belooft, wordt gekozen om de bouw uit te voeren. De gekozen aannemer kan vervolgens nog input geven op het ontwerp, en details kunnen in dit stadium nog verder uitgewerkt worden.

In Zweden moeten grote infrastructurele projecten ook door democratische stemming goedgekeurd worden. Het ontwerp moet bij de desbetreffende gemeente aangeleverd worden, die een informatieavond moet organiseren en waar een stemming gedaan moet worden om het plan goed te keuren. Pas na deze stemming kan er officieel een contract gesloten worden tussen Trafikverket en een aannemer. Vervolgens kan er begonnen worden met de bouw en oplevering van de spoorwegbrug. Over het algemeen wordt dit uitgevoerd door meerdere aannemers, er is niet maar één aannemer die een groot aantal spoorwegbruggen ontwikkelt.

Hoewel Trafikverket probeert de aannemers aan te sturen op gestandaardiseerd design, liggen hier een aantal praktische problemen op de loer. Een van de grootste obstakels is het feit dat een aannemer wel een ontwerp aanneemt als project, maar deze toch nog op eigen manier implementeert met eigen materialen. Dit betekent dat Trafikverket wel in haar ontwerpen veel standaardiseert, maar dat bouwmaterialen en details tussen verschillende

bruggen sterk kan verschillen. In de praktijk is het zo dat bruggen gestandaardiseerd zijn als ze door dezelfde aannemer zijn opgeleverd, maar bruggen van verschillende aannemers kunnen onderling veel verschillen. Onderzoekers bij Chalmers proberen dit te overbruggen door brugsegmenten te standaardiseren: ontwerpen van pilaren en constructieplaten worden vanuit Trafikverket aangeboden aan aannemers die daar dan ook gebruik van maken. Er wordt wel vaak gemerkt dat een aannemer liever met materialen werkt waar diegene al eerder mee heeft gewerkt, maar Trafikverket

Trafikverket probeert dus vaak aannemers te overtuigen van het belang van standaardiseren. Hoewel aannemers over het algemeen hierin meegaan, wordt het ontwerpproces door Trafikverket zelf gedaan en hebben aannemers hier niet de capaciteit voor. Daarnaast is ontwerp bij bruggenbouw een relatief goedkoop proces. Dit komt doordat een ontwerper een enorm grote hoeveelheid brugontwerpen kan uitproberen met modelberekeningen, en kwantitatief kan worden bepaald welke de beste is. Echter, standaardisatievoordelen die vooral voor de asset management (onder de jurisdictie van Trafikverket, niet de aannemer) van belang zijn komen minder naar voren: eenvoudiger aanschaf van reserveonderdelen en overzichtelijker onderhoud zijn belangrijker voor de asset manager van Trafikverket dan voor de aannemer die de brug heeft opgeleverd. Dit betekent dat een aannemer weinig drijfveer heeft om standaardonderdelen te gebruiken.

Een opvallende ontdekking is dat het tijdens de ontwerpfase betrekken van een aannemer als voordeliger en kwaliteitsverbeterend wordt gezien, maar dat de voorkeur intern bij Trafikverket toch vaak wordt gegeven om ze later bij het ontwerpproces te betrekken. Uit ervaring en in de literatuur was gebleken dat een Early Contractor Involvement-model het meest succesvol was, maar toch werd een Design-Build-model als meer plezierig ervaren. [25] Dit had ermee te maken dat het een sneller proces was, en dat het betrekken van een aannemer vaak leidt tot veel vertragingen in het ontwerpproces.

Een praktisch advies voor standaardisatieslagen is korte lijntjes tussen ontwerpers en aannemers. Een vaak voorkomend probleem is dat ontwerpers regelmatig tekeningen maken gedetailleerde specificaties, wat de aannemers veel werk en moeite kost. Deze specificaties blijken dan achteraf absoluut niet nodig, en een hoop moeite zou bespaard kunnen blijven.

Samenvattend heeft Trafikverket een duidelijke procedure voor het opleveren van een spoorbrug, waar de aannemer een gedetailleerd brugontwerp aanlevert en dit dan oplevert. Trafikverket probeert de aannemers zo veel mogelijk te laten standaardiseren. De aannemers doen dit ook vaak intern, maar onderling delen aannemers geen standaardontwerpen. Om dit toch te faciliteren biedt Trafikverket brugonderdelen aan om standaardisatie zo veel mogelijk te faciliteren.

## 4 Praktische adviezen en aandachtspunten

In dit hoofdstuk geven we praktische adviezen voor het ontwerpen van gestandaardiseerde waterzuiveringsassets. We bespreken hier zeven punten die door de waterbedrijven tijdens besprekingen naar boven zijn gekomen, waar specifieke interesse in was; of naar voren zijn gekomen tijdens de interviews. Hier gaan we in op specifieke punten en vatten de onderzoeksbevindingen gericht samen. Let wel dat elk van deze vragen een onderzoek op zichzelf zou kunnen omvatten, en dat we ons in dit rapport beperkt houden tot de bevindingen die het meest relevant zijn voor waterbedrijven.

### 4.1 Schaal van de standaardisatie

Waterbedrijven in Nederland verschillen sterk qua grootte en mogelijkheid tot groeien. Terwijl grotere waterbedrijven de capaciteit hebben om meerdere zuiveringsinstallaties te bouwen in de nabije toekomst, is dit minder het geval voor de kleinere waterbedrijven. Daarom is een standaardisatieproces niet altijd relevant voor alle assets binnen alle waterbedrijven.

Voor het bepalen of standaardisatie in capaciteitsverhoging nuttig is voor het specifieke waterbedrijf, is het nuttig om dit te bekijken vanuit een kostenperspectief. In paragraaf 2.5 worden enkele methoden genoemd waarmee men kan inschatten vanaf wanneer een standaardisatieproces voordelig kan zijn. Door de kosten van het standaardisatie-ontwerpproces in te schatten in combinatie met de baten per asset, kan bepaald worden hoeveel assets aangeschaft moeten worden voordat het kostentechnisch voordelig wordt om een standaardisatieslag uit te voeren.

Een waterbedrijf kan zo inschatten hoe financieel nuttig het is om een standaardisatieslag uit te voeren, wat voornamelijk afhangt van de schaal van de kosten per asset. Zodra een asset veelvuldig aangeschaft zal worden, wordt het nuttig om te standaardiseren. Daarom is het voor kleinere waterbedrijven beter om kleinere assets te standaardiseren: denk hier aan een waterpomp of een set leidingen. Voor grotere waterbedrijven, die meerdere grotere assets verwachten te implementeren, zal het sneller voordelig worden om op grotere schaal te standaardiseren. Grote waterbedrijven zullen bijvoorbeeld eerder waterzuiveringsketels of gehele zuiveringslocaties kunnen standaardiseren.

Het is belangrijk om te noemen dat kostenbesparing niet de enige drijfveer tot standaardisatie is. Als vereenvoudiging voor nieuwe werknemers of kennisvergaring drijfveren zijn tot standaardisatie, kunnen waterbedrijven besluiten eerder tot standaardisatie over te gaan, ook al wordt de standaard niet vaak geïmplementeerd.

Een belangrijke opmerking is dat de Nederlandse waterbedrijven verdergaand met elkaar samenwerken, waar ook profijt van gewonnen kan worden. Het is zeker voor de kleinere waterbedrijven interessant om samen te werken met een ander waterbedrijf om samen tot een gestandaardiseerd ontwerp te komen. De grootste voordelen zijn hier kostenbesparing en kennisdeling: de verschillende waterbedrijven kunnen profiteren van elkaars inzichten en allebei een standaard verkrijgen waarvoor de kosten gedeeld worden.

### 4.2 Levenscyclusanalyses

Vaak komt ook naar voren dat bij standaardisatie van het ontwerp niet alleen aan de beginfase van het asset gekeken moet worden, maar dat bij het ontwerp al aan de gehele levenscyclus wordt gedacht. Dit kan deels worden gedaan door het goed kwantificeren van een criterialijst met behulp van de RAMSHEEP-methode

(paragraaf 2.4). Op deze manier kan men goed in zicht brengen wat de risico's zijn voor het asset, voornamelijk als men focust op de operatie- en onderhoudsfases van het standaard.

Kosten in de operationele fase liggen voornamelijk bij kosten voor energie en chemicaliën, onderhoud, reparatie en vervangende onderdelen. Ook kost downtime geld door verloren productie, en kunnen verbeteringen en upgrades worden doorgevoerd. De eerste stap is dan ook een goed inzicht krijgen in deze kosten. Deze kosten kunnen overzichtelijk in kaart worden gebracht met de methoden die besproken zijn in paragraaf 2.5.

Tijdens de ontwerpfase kan men inspringen op punten waar men verwacht veel kosten te hebben liggen. Verwacht men veel kosten te hebben aan onderhoud, kan men tijdens de ontwerpfase hierop voorbereiden door te investeren in robuuste onderdelen, door een voorraad aan te leggen, en toegankelijke assets te bouwen waar reparateurs eenvoudig toegang tot hebben. Is dit minder belangrijk, dan kan er bespaard worden op onderdelen en toegankelijkheids-ontwerp.

Samengevat zou een concreet advies zou hier als volgt zijn: maak een criterialijst aan de asset en een lijst met risico's. Met modellen en met alle beschikbare data (paragraaf 2.5) wordt ingeschat hoeveel de operationele kosten van een asset zullen zijn. Dan kan per criterium worden geschetst hoeveel operationele kosten het kost om een risico te verkleinen, en kunnen overwogen keuzes worden gemaakt.

### **4.3 Centraal organiseren en multidisciplinair ontwerpen bespreken**

Tijdens het onderzoek is meermalens naar voren gekomen dat input van brede inzichten leiden tot een beter ontwerp. Operators, managers en ingenieurs hebben allen een eigen beeld van een waterzuiveringsasset, en ieder heeft goede inzichten die meegenomen moeten worden voor het uiteindelijke standaardontwerp. Daarom wordt het vaak genoemd dat in het asset-ontwerpproces breed medewerkers meegenomen moeten worden. Hier moet wel gedacht worden aan problemen met concessies, genoemd in paragraaf 2.3.2.

Het wordt daarom aangeraden om één of weinig centrale standaardisatie-officers aan te stellen, die medewerkers breed meeneemt in de besluitvorming van standaardisatie. Deze persoon wint breed informatie en advies in, legt ontwerpen voor bij verschillende groepen, en heeft het budget en de criterialijst goed in blik. Deze persoon besluit dan, aan de hand van de ingewonnen informatie, welke implementatie voor te gaan. Deze persoon hoeft zo minder compromissen te sluiten in een grote groep, terwijl toch de kennis van de organisatie mee wordt genomen.

### **4.4 Periodiek heroverwegen van een asset**

Normaliter wordt een ontworpen standaard periodiek heroverwogen. Op deze manier kunnen nieuw verworven inzichten op een goede manier ingebouwd kunnen worden in het standaardontwerp.

Een belangrijke onderzoeksvraag is hier hoe vaak men moet heroverwegen. Een te frequente heroverweging is zonde van de tijd die erin geïnvesteerd wordt, omdat er dan weinig verschil wordt bewerkstelligd. Aan de andere kant is een te infrequente heroverweging ook niet goed, omdat er dan niet goed ingesprongen kan worden op de ontwikkelingen die er in de samenleving en op technologisch niveau plaatsvinden. In feite is er niet een generiek optimum aan te wijzen voor alle assets, omdat technologische complexiteit, grootte, hoeveelheid implementaties en andere zaken allemaal een rol spelen in hoe frequent de heroverweging van een assetontwerp moet zijn.

Een advies zou zijn om een veelgebruikte periodiciteit aan te houden van 1 of 2 jaar. In het geval dat een asset in deze periode veel geïmplementeerd zal worden, dan kan men overwegen vaker te heroverwegen. Bij een asset dat in deze periode slechts weinig wordt geïmplementeerd, kan men minder vaak heroverwegen.

Een ander punt om bewust van te zijn, is dat er mogelijk tijdens de bouwfase van een asset een nieuwe standaard uitkomt: hier is het dan aan te raden om door te gaan met de bestaande bouw en pas bij een volgend asset de nieuwere versie te implementeren.

De hoeveelheid aanpassing per heroverweging is goed om te balanceren. De nieuwere standaard mag niet te veel af mag wijken van de oude: behuizingen, leidingwerk en ander materiaal is aangepast op de al bestaande assets. Op het moment dat je radicaal je asset verandert, moet je ook andere assets gaan heroverwegen. Aan de andere kant kan een te kleine verandering ook weinig effect bewerkstelligen. Hier moet een optimum in gevonden worden, wat vaak een proces van trial-and-error is.

Tenslotte is bij waterzuivering de influentwaterkwaliteit nog niet altijd duidelijk tijdens de assetontwerpfase. Daarom kan er dan nog niet altijd tijdens de ontwerpfase ingespeeld worden op de toekomstige problemen. Een frequentere heroverweging in de beginfase kan hierbij een uitkomst bieden: de eerste aantal iteraties snel uitvoeren na initiële tests, mogelijk gecombineerd met een update van de asset. Dit kan gecombineerd worden met een pilot-uitvoering, maar dit geeft niet altijd de antwoorden die nodig zijn, waardoor een schaal-test toch nodig zal zijn.

#### **4.5 Data-beschikbaarheid, en wat voor data dan?**

Tot nu toe hebben we het vaak gehad over leren van ervaring en data en data-gedreven ontwerpen. Drie belangrijke punten waarop data inzicht kan bieden zijn kostenramingen, risico-analyses en waterkwaliteit. Echter, data-beschikbaarheid en voornamelijk wélke data relevant is, is niet triviaal. Hieronder bespreken we welke data nuttig is voor standaardisatie van assets.

Kosten zijn vaak minder overzichtelijk dan verwacht, zelfs al is een vergelijkend asset eerder aangeschaft. Aannemers bieden vaak geen offerte aan waar de kosten van elk onderdeel specifiek worden uitgelicht, en installatiekosten zijn een inschatting van de manuren die eraan kwijt zijn. Dat betekent dat zelfs in het geval in het recente verleden een vergelijkbaar asset is aangeschaft, niet een complete dataset voor de kosten beschikbaar is, zelfs al is deze aanschaf goed gedocumenteerd. Het is daarom belangrijk alle beschikbare documentatie goed te archiveren. Offertes, facturen en catalogi zijn hierin van groot belang, en elke relevante kostenraming kan relevant zijn.

Een ander punt waar data van onmisbare waarde kan zijn is bij risico-analyses. Men wil altijd een goede inschatting maken van hoe frequent een asset zal falen, en dit kan alleen met historische data van de leverancier of het waterbedrijf zelf. Dit vereist een goede lange-termijndocumentatie, omdat assets vaak infrequent en onvoorspelbaar falen. Data over historische reparatiemomenten en een brede inventarisatie bij verschillende leveranciers hebben veel waarde voor het inschatten van risico's.

Tenslotte is data onmisbaar op het gebied van waterkwaliteit. Procesoperators sturen op de chemische en biologische waterkwaliteit, die op een groot aantal punten in de waterzuiveringstrein worden gemeten. Ook hier valt veel te winnen, en digitalisering kan behulpzaam zijn bij het optimaliseren van chemicalieverbruik, optimaal procestechnologisch gebruik en het ontwerpen van de optimale asset. Een advies is daarom om regelmatig de waterkwaliteit te meten en goed te documenteren, zodat ontwikkelingen in waterkwaliteit in kaart kunnen worden gebracht. Hiermee kan goed in kaart worden gebracht hoe goed assets opereren, en kunnen de assetstandaarden optimaal verbeterd worden in heroverwegingsmomenten.

#### **4.6 ICT-standaardisatie**

ICT-infrastructuur is ook een te standaardiseren asset. Hierbij kan men denken aan het standaardiseren van werklaptops met standaard-programma's geïnstalleerd, maar ook aan besturingssoftware van assets. Men kan dit



snel over het hoofd zien, en een asset manager kan hier ook goed een standaardisatieslag in maken. Het voordeel is dat dit veel breder is onderzocht en uitgevoerd dan waterzuiveringsassets, door de veel bredere toepassing van ICT-assets. Een advies is om veelvuldig gebruikte ICT-infrastructuur ook te standaardiseren. Een voorbeeld is om computers en besturingssoftware te standaardiseren, wat tot kostenbesparingen leidt voor organisaties over de gehele linie [7].

#### **4.7 Centreren van standaardisatieslagen rond één centraal asset**

Een succesvolle manier om te standaardiseren is om uit te gaan van één standaardasset, en de rest van de assets te ontwerpen rond dat centrale asset. Dit is gebeurd door WML in Breeheide beschreven in paragraaf 3.1. Hier was men een waterzuiveringsinstallatie aan het ontwikkelen, welke focust op zandfiltratie. Er is eerst een standaard voor een zuiveringsketel voor zandfiltratie ontwikkeld aan de hand van een aantal criteria. Vervolgens heeft men het leidingwerk, het gebouw eromheen, de aansturing en aansluitingssoftware ontworpen rond die centrale waterzuiveringsketel. Dit proces was overzichtelijk en heeft geleid tot een succesvolle standaardisatieslag. Het advies is dan ook om zo veel mogelijk rond één centraal asset te standaardiseren.

Echter, dit werkt het beste als er gefocust kan worden op één centraal asset. In het geval dat er meerdere assets ontwikkeld worden die allemaal van belang zijn, wordt dit proces complexer. Oplossingen zijn bijvoorbeeld om de verschillende centrale assetstandaarden in serie te ontwikkelen, ofwel de één na de ander. De behoeften van het zojuist ontworpen asset worden dan criteria van het volgende asset. Dit heeft als grote nadeel dat het een erg langdurig proces wordt. Een hybride vorm is om één centraal assetstandaard te ontwikkelen, en andere standaarden daarna in parallel te ontwikkelen. Dit geeft mogelijke samenwerkingsproblemen met latere assets, maar kan nog steeds verbeterend werken. Het advies blijft echter om zo veel mogelijk rond één asset te standaardiseren.

## 5 Uitvoering van een standaardisatieproces

In dit hoofdstuk bespreken we concrete stappen om een standaardisatieproces uit te voeren. Het stappenplan is een voorstel aan de hand van de informatie die in dit rapport te vinden is.

We beginnen met het definiëren van criteria aan een waterzuiveringsasset. Deze lijst geldt als cruciaal document voor de rest van het standaardisatieproces. Vervolgens geven we een checklist voor de standaardisatie-officier van de meest belangrijke keuzes voor het proces. Daarna geven we een flowchart waarmee men een standaardisatieproces uitvoerig en gestructureerd kan uitvoeren. Tenslotte bespreken we enkele voorbeelden van hoe men een proces kan versimpelen voor eenvoudiger en goedkopere standaardisatieprocessen.

### 5.1 Definiëren van criteria

Eén van de meest belangrijke punten is het definiëren van de criteria waaraan een ontwerp moet voldoen. Het vastleggen van een centraal document met ontwerpcriteria dat een handleiding vormt gedurende het gehele standaardisatieproces kan je dan ook vaak terugvinden in succesvolle standaardisatieslagen.

Hieronder geven we een uitgebreid voorbeeld van belangrijke criteria van waterzuiveringsassets als een waterzuiveringsketel. Allereerste bespreken we wettelijke kwalitatieve en kwantitatieve eisen, waarna we op andere criteria in gaan. Andere criteria kunnen geïdentificeerd worden door gebruik te maken van de RAMSHEEP-methodiek, en deze criteria delen we vervolgens in met de MoSCoW-methode. Het overzicht is te vinden in tabel 2, en hieronder zullen we op elk criterium kort ingaan.

Let erop dat dit overzicht niet alle mogelijke criteria omvat. Het is van belang dat voor elke waterzuiveringsasset individueel een goede inschatting van criteria gemaakt wordt.

#### 5.1.1 Wettelijke eisen

Allereerst bekijken we welke wettelijke eisen we aan moeten voldoen. De waterwetgeving omvat bijvoorbeeld regels aangaande drinkwaterkwantiteit en -kwaliteit, waterbronnen en leveringszekerheid.

##### Watervraag

Om zeker te zijn dat het asset aan alle verwachtingen kan voldoen wordt de begrote waterleveringscapaciteit van een asset vaak geijkt op de piekfactor: de dagelijkse watervraag is niet constant over het jaar, maar zal seizoensafhankelijke trends en pieken vertonen. Om deze pieken op te kunnen vangen, wordt voor het ontwerp van winning en zuivering de gemiddelde dagelijkse watervraag vermenigvuldigd de piekfactor. Deze is gedefinieerd als de hoogste watervraag gedurende de afgelopen 10 jaar, gedeeld door de gemiddelde dagelijkse watervraag over diezelfde periode. Piekfactoren zijn meestal van orde grootte 1,5, maar verschilt sterk per winning afhankelijk van de piekwatervraag in het voorzieningsgebied. Deze watervraag (ook wel 'maximum dag' genoemd) wordt als maatgevend aangehouden. [40]

Omdat de waterleveringscapaciteit en voornamelijk waterzekerheid wettelijk vastgelegd zijn, delen we deze eis via de MoSCoW-methode in als een **must-have**.

##### Levering- en bedrijfszekerheid

Ook voor incidentele uitval zijn wettelijke eisen vastgelegd, onder andere in het Drinkwaterbesluit. [41] Hierin is vastgelegd dat de grote drinkwaterbedrijven binnen 24 uur na incident minstens 75% van de capaciteit op een

maximum-dag kan leveren. [42] Het is echter moeilijk hierop te anticiperen, aangezien storingen inherent onvoorspelbaar zijn. Reserveonderdelen of -assets kunnen een mogelijkheid zijn, maar zijn vaak erg duur. Omdat deze eis ook wettelijk vastgelegd is, delen we dit ook in als **must-have**. Echter, grote overcapaciteit creëren kan ook gezien worden als een **should-have**.

### Kwaliteitseisen bij winning

De kwalitatieve eisen voor winning (oppervlaktewater, grondwater en oevergrondwater) staan beschreven in het document *“De kwaliteit van bronnen van drinkwater in Nederland”*. [43] Meer gedetailleerde beschrijvingen zijn te vinden in bijvoorbeeld het Besluit kwaliteitseisen en monitoring water (BKMW, o.a. bijlage I-III), de Drinkwaterregeling (Bijlage V), de Kaderrichtlijn Water en het Infiltratiebesluit uit 1993.

Ook deze criteria zijn **must-have**.

### Waterkwaliteit

De wettelijke eisen voor geproduceerd drinkwater zijn opgenomen in het Drinkwaterbesluit. Hierin staan de gezondheidkundige eisen (o.a. chemisch en microbiologisch), bedrijfstechnische eisen (o.a. fysisch-chemisch), en organoleptische/esthetische eisen (kleur, smaak, geur) vastgesteld.

In het geval dat het betreffende asset een volledige waterzuiveringstrein is, is het van belang om een goede inschatting te maken van de reinwaterkwaliteit die de waterzuiveringstrein gaat opleveren. Als het een kleiner asset betreft, zoals een enkele zuiveringsketel, moet men goed in kaart brengen wat men verwacht van deze ketel. Als voorbeeld, een zandfilter moet kunnen voldoen aan haar grotere geheel in de waterzuiveringstrein, en bijvoorbeeld ijzer goed uit de watermatrix kunnen filteren.

Ook deze criteria zijn **must-have**.

### Materiaalgebruik

Naast kwaliteitseisen aan het water bij de drinkwaterproductie worden er ook wettelijk eisen gesteld aan de materialen die voor productie gebruikt worden. De regelingen voor bijvoorbeeld chemicaliegebruik zijn hierin vastgelegd. [44]

De materialen die voor productie van drinkwater gebruikt worden, moeten verder voorzien van een certificering, uitgevoerd door certificatie-instelling Kiwa. Bij deze certificering gaat het erom dat producten of materialen die in contact (kunnen) komen met (warm) drinkwater geen stoffen afgeven die schadelijk zijn voor de gezondheid of een negatief effect hebben op de waterkwaliteit. Op de website Praktijkcodes Drinkwater wordt een overzicht gegeven van alle normen die momenteel gelden voor drinkwaterwinning. [45]

Weer zijn deze criteria een **must-have**.

## 5.1.2 Niet-wettelijke criteria

### RAMSHEEP-inschatting

De RAMSHEEP-methode is een goede manier om na te denken over mogelijke criteria en bijbehorende risico's. Deze methode helpt om in een bepaald patroon risico's en criteria in te schatten en minder zaken over het hoofd te zien.

In een niet-specifieke volgorde, op **Onderhoudbaarheid**-vlak willen we zorgen voor leveringszekerheid. Dit betekent dat we onderhoud en reparateurs willen faciliteren in hun werkzaamheden, en het asset van alle kanten goed bereikbaar maken. Op dit punt is leverancierszekerheid ook van belang, zo snel mogelijk weer op goed niveau te komen. Op **Economisch**-vlak zijn kosten en het voldoen aan het budget een belangrijke. Op **Politiek/Omgevings**-vlak zien we dat de watervraag mettertijd groeit, waarvoor ook inschattingen gemaakt moeten worden. Op het punt **Omgeving** is ook CO<sub>2</sub>-uitstoot belangrijk. Tenslotte is op **beschikbaarheids**-vlak het interessant om een asset eenvoudig transporteerbaar te maken, om capaciteit op verschillende locaties te kunnen vergroten.

## Kosten

Voor veel waterbedrijven zijn de kosten één van de belangrijkste overwegingen voor de aanschaf van waterzuiveringsassets. Vaak wordt dit met een toegestaan budget bereikt, waaraan voldaan moet worden. Het belang van dit criterium hangt erg af van de organisatie en het bepaalde asset: met lage kosten kán er ingeboet worden aan leveringszekerheid en andere risico's. Aan de andere kant heeft een organisatie niet altijd voldoende financieel draagvlak. Over het algemeen kan dit criterium als **should-have** ingeschat worden, maar dit kan naar boven en naar beneden geschaald worden afhankelijk van de situatie.

## Toekomstige watervraag

De drinkwaterbedrijven moeten voorbereid zijn op een mogelijke toenemende watervraag in de toekomst, en het is moeilijk te voorspellen hoe die watervraag gaat veranderen. De Vewin-prognose van 2017 [46] heeft onderschat hoeveel de watervraag zou groeien in de daarop volgende jaren. De actuele stijgingen in het watergebruik door de warmte en extreme droogte in de afgelopen en door de coronamaatregelen in 2020, waren in 2017 niet voorzien. Ook de afnemen van het waterverbruik in 2022 – 2023 door de stijging van de gasprijs was niet voorzien in de prognose van 2022. Voor asset managers van waterbedrijven is zes jaar een korte periode, en nieuwe assets zijn ontworpen om langer dan zes jaar te kunnen voldoen aan de watervraag. Het hebben van een zekere marge is vanuit leveringszekerheid een wettelijke eis, maar het nemen van een ruimere marge voor overproductie van belang, en is dit criterium een **should-have**.

## Toegankelijkheid voor onderhoud

In vele gesprekken met waterbedrijven is het naar voren gekomen dat de fysieke bereikbaarheid van een asset, d.w.z. de toegankelijkheid van een zuiveringsasset door reparateurs vanuit alle kanten, van groot belang is voor de snelle reparatie van een asset. Dit betekent dat in de ontwerpfase goed nagedacht moet worden over de vorm van een asset en de bouwconstructie om het asset heen. Afhankelijk van het belang is dit een **should-have/could-have**.

## CO<sub>2</sub>-uitstoot

CO<sub>2</sub>- wordt op vele verschillende punten gegenereerd. De materialen waarmee het asset wordt gemaakt, in het geval dat chemische reacties bij het zuiveringsproces gebeuren, bij bouw, onderhoud en transport, en nog meer punten. Zeker in verband met CO<sub>2</sub>-wetgeving (nu en in de toekomst) is het goed om hier ook een goed beeld van te hebben. Afhankelijk van het belang die de organisatie geeft aan CO<sub>2</sub>-reductie en hoeveel CO<sub>2</sub>-uitstoot verwacht wordt bij dit asset, is dit criterium een **should-have/could-have**.

## Leverancierszekerheid

Vaak wordt bij een asset gekozen voor een leverancier die ook vervangend materiaal kan leveren in het geval dat het asset dat nodig heeft. Deze supply chain kan door vele verschillende oorzaken onderbroken worden, waardoor vervangende onderdelen lange levertijden hebben (of niet meer beschikbaar zijn). Dit is daarom belangrijk, maar niet cruciaal. Het wordt ingedeeld als **could-have**.

## Transporteerbaarheid

Bij gestandaardiseerde assets is er de wens om dit asset breed inzetbaar te hebben, mogelijk ook op andere locaties. Dit kan betekenen dat assets getransporteerd moeten kunnen worden. Hierom kan er nagedacht worden om het formaat van het asset relatief klein te houden, waardoor het bijvoorbeeld over de snelweg getransporteerd mag worden. Dit is een mooi **could-have** criterium.

### 5.1.3 Overzicht criterialijst

| Criteria                            | MoSCoW-indeling   | Opmerkingen                              |
|-------------------------------------|-------------------|------------------------------------------|
| <b><u>Wettelijke eisen</u></b>      |                   |                                          |
| Directe watervraag                  | Must have         | Piekfactor van 10 jaar                   |
| Leverings- en bedrijfszekerheid     | Must have         | Voldoet aan drinkwaterbesluit artikel 52 |
| Winning                             | Must have         | Binnen wettelijke kaders                 |
| Waterkwaliteit                      | Must have         | Binnen wettelijk en wenselijke kaders    |
| Materiaalgebruik                    | Must have         | Binnen wettelijke kaders                 |
| <b><u>Niet-wettelijke eisen</u></b> |                   |                                          |
| Kosten                              | Should have       | Afhankelijk van wensen organisatie       |
| Toekomstige watervraag              | Should have       | Afhankelijk van verwachting organisatie  |
| Toegankelijkheid voor onderhoud     | Should/could have | Afhankelijk van asset                    |
| CO <sub>2</sub> -uitstoot           | Should/could have | Afhankelijk van wensen organisatie       |
| Leverancierszekerheid               | Could have        | Afhankelijk van leverancier              |
| Transporteerbaarheid                | Could have        | Afhankelijk van toepassing               |

## 5.2 Belangrijkste zaken in checklist-vorm

Hier bespreken we de meest impactvolle keuzes die een standaardisatie-officier in het standaardisatieproces uitvoert. Hiermee kunnen de belangrijkste stappen in een standaardisatieproces al bereikt worden.

- **Wel of niet standaardiseren**  
Maak allereerst de keuze óf er wel gestandaardiseerd moet worden. Maak hiervoor een voor- en nadelenlijst (paragraaf 2.3), een globaal kostenmodel (paragraaf 2.5) en schat in of de schaal van het asset klein genoeg is voor standaardisatie binnen de organisatie (paragraaf 4.1).
- **Ontwerpen rond één centraal asset**  
Kies een centraal asset uit. Maak eerst een standaardontwerp voor dit asset, en bouw vervolgens de rest van de assets rond deze centrale asset (paragrafen 3.1 en 4.7).
- **Meenemen levenscyclusanalyses en data-analyses**  
Bepaal of en in hoeverre voor te sorteren op operationele kosten en onderhoud tijdens de levenscyclus van de asset (paragrafen 2.5 en 4.2). Neem de keuzes mee in de criterialijst.
- **Criterialijst**  
Maak een criterialijst met belangrijke criteria aan het te ontwerpen asset (paragrafen 2.4 en 5.1).
- **Organiseren van het standaardisatie-team**  
Stel een standaardisatie-officier aan die het overzicht houdt over het standaardisatieproces en keuzes maakt tijdens het proces. Deze persoon betreft medewerkers en aannemers waar nodig (paragraaf 2.3.2 en 4.3).

- **Oplossingen voor elk criterium**  
Schets een (of meerdere) oplossingen per criteria in de criterialijst om dat criterium te bereiken (paragraaf 2.4).
- **Bespreek criteria en oplossingen breed**  
Bespreek elk van de oplossingen met een breed aantal medewerkers, om alternatieve en betere oplossingen in te winnen (paragraaf 2.4 en 4.3).
- **Heroverwegingsperiode**  
Besluit hoe frequent het assetontwerp heroverwogen zal worden (paragraaf 2.4 en 4.4).

### 5.3 Stappenplan voor standaardisatie

In deze paragraaf beschrijven we een voorbeeld van een standaardisatieproces, en lichten we de verschillende stappen toe. We behandelen alleen de grote lijnen, en gedetailleerdere aanbevelingen zijn in hoofdstukken 2, 3 en 4 van dit rapport te vinden. Het voorbeeldproces is weergegeven in Figuur 6. Deze procedure is totstandgekomen naar aanleiding van lessen getrokken uit het onderzoek, een proces voor het ontwerpen van waterputten in een recent KWR-rapport [40], en de ontwerpprocedure voor spoorwegbruggen zoals in paragraaf 3.2 en figuur 5.

Het is goed om vooraf te noemen dat dit een uitvoerig standaardisatieproces is, wat niet altijd haalbaar is voor alle waterbedrijven van elk formaat. In paragraaf 5.4 zullen we enkele punten bespreken waarin hier ingekort kan worden, waarmee bedrijven met een kleiner financieel draagvlak ook standaardisatieprocessen kunnen uitvoeren.

Daarnaast is het goed om vooraf over teamsamenstelling te spreken. Zoals besproken in paragraaf 4.3 gaan we uit van één centrale standaardisatie-officier die het gehele proces coördineert. Deze persoon moet een goed inzicht in procestechnologie en ingenieurschap hebben, maar moet ook kunnen communiceren tussen verschillende partijen, overzicht kunnen houden en in kunnen zien wat de verschillende partijen als voorstel hebben. Deze persoon is eindverantwoordelijke voor de beslissingen die gemaakt worden.

#### Stap 1: Ontwerpcriteria

Het standaardisatieproces begint met het definiëren van de ontwerpcriteria. Een uitvoerig voorbeeld is te vinden in paragraaf 5.1.

#### Stap 2: Locatieanalyse

Vervolgens zijn er twee mogelijke stappen, afhankelijk of men met een “lege weide” begint en niet hoeft inpassen binnen bestaande assets, of dat men bestaande assets verbetert of inbouwt rond bestaande assets. In het geval dat er begonnen wordt zonder bestaande bouw is het van belang om de bronkwaliteit en de locatie goed in kaart te brengen, voor het ondersteunen van verdere tekeningen en beslissingen. In het geval dat bestaande bouw wordt verbeterd, moeten knelpunten binnen de bestaande bouw worden gedefinieerd. Dit kan heel breed zijn, en voorbeelden zijn te weinig ruimte, verouderde leidingaansluitingen of zelfs het niet mogen aanpassen van het pand door monumentale status. Het is hier van belang om geen koppeling te maken aan de ontwerpcriteria, en ook om nog niet aan mogelijke oplossingen te bedenken. Dit is belangrijk om een zo objectief mogelijke analyse te maken.

#### Stap 3: Oplossingskeuze

Dan kan men voor elk criterium een oplossing bedenken. Dit kan gedaan worden door een optie uit de literatuur of ervaring te pakken (voorbeeldcriterium: goede DOC-verwijdering; voorbeeldoplossing: we passen coagulatie-flocculatie toe), maar ook door bekende en bestaande oplossingen aan te passen aan de huidige situatie (voorbeeldcriterium: verlaging van de hoge ijzerconcentratie; voorbeeldoplossing: snel zandfiltratie toepassen met een lang zandbed).

### **Stap 3a: Haalbaarheidsstudie/medewerkersstudie**

Vervolgens wordt een haalbaarheidsstudie uitgevoerd. Dit is in feite een onderzoek waar de huidige bestaande plannen en oplossingen worden onderzocht: in hoeverre werken de bedachte oplossingen voor het desbetreffende criterium, en in hoeverre zijn deze oplossingen praktisch haalbaar. Men kan hiervoor bij leveranciers of medewerkers zijn, maar een literatuuronderzoek kan ook helpen. Een medewerkerstoetsing is een type haalbaarheidsstudie, waar de huidige oplossingen worden voorgelegd aan een breed aantal collega's, en hun opmerkingen en inzichten worden meegenomen.

Aan de hand van de haalbaarheidsstudie en medewerkerstoetsing wordt dan een nieuwe versie van de plannen en oplossingen opgesteld.

### **Stap 4: Bouwkundig ontwerp**

Met een getoetste lijst van oplossingen kan een bouwkundig ontwerp worden opgesteld. Hier wordt de lijst van oplossingen in grote lijnen in de vorm van één asset gegoten: geen detailontwerp, maar bijvoorbeeld een ontwerp waar de grootte, de materiaalkeuze of de globale vorm van de asset wordt getekend. Dit document is vooral bedoeld als een indicatie voor een gedetailleerder ontwerp: een aannemer, ontwerper of procestechnoloog kan aan de hand van dit document een gedetailleerd ontwerp maken, maar specifieke keuzes over vorm of aansluitingen hoeven nog niet te worden beschreven.

### **Stap 4a: Haalbaarheidsstudie/medewerkersstudie**

Weer wordt een haalbaarheidsstudie of medewerkerstoetsing uitgevoerd. Bekijk of alle criteria worden behaald en of de oplossingen allemaal worden meegenomen. Is dit niet het geval, moet de keuze goed worden toegelicht. Let er bij medewerkeronderzoeken op dat zo min mogelijk concessies worden gedaan aan de ontwerpcriteria. Tenslotte is het ook nuttig om in dit proces al de aannemer mee te nemen in het proces. Deze kan vaak al nuttige bijdragen leveren aan het bouwkundig ontwerp.

### **Stap 5: Gedetailleerd ontwerp**

Aan de hand van het bouwkundig ontwerp kan een gedetailleerd ontwerp worden gemaakt. Hierin worden gedetailleerde specificaties uitgewerkt, en alles wat nodig is beschreven om het asset te bouwen. Dit kan door ontwerpers maar ook door aannemers gedaan worden. Waar mogelijk is het wenselijk dat de aannemer dit doet, omdat deze het beste inzicht heeft op kostenbesparing, optimaal materiaalgebruik en beschikbaarheid. Ook kan hiermee miscommunicatie en spanning tussen ontwerpers en uitvoerders worden voorkomen (paragraaf 3.2). Als dit niet mogelijk is, kunnen procestechnologen of andere ontwerpers deze stap ook uitvoeren.

### **Stap 5a: Haalbaarheidsstudie/medewerkersstudie**

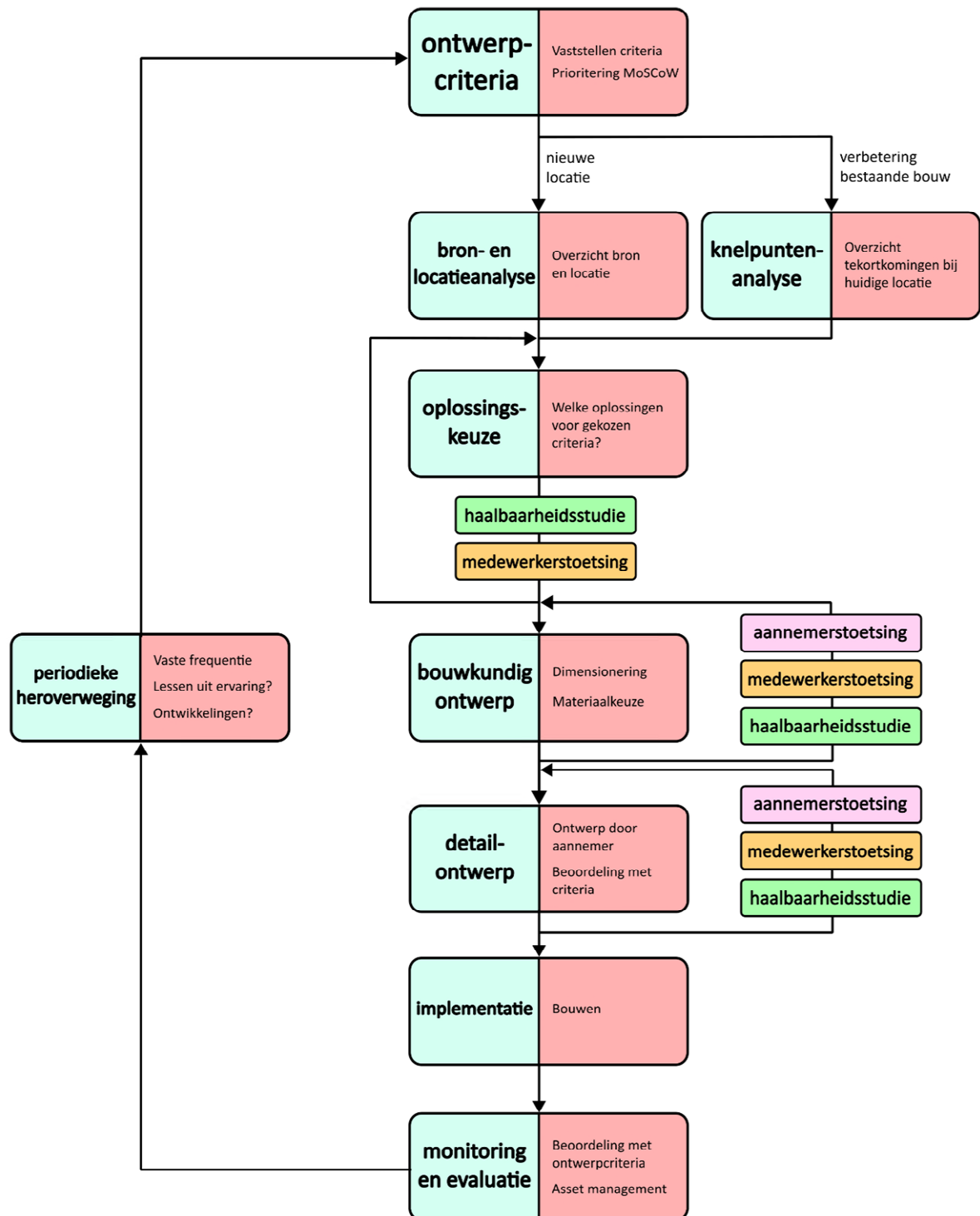
Dit uiteindelijke, gedetailleerde document moet ook getoetst worden voor zijn haalbaarheid en breed bij medewerkers worden neergelegd voor inzichten. In het geval dat het ontwerp niet door een aannemer is ontworpen, is een aannemerstoetsing ook nuttig.

### **Stap 6: Bouwfase**

Vervolgens kan men beginnen met de bouwfase. Hier is documentatie van belang: welke gebeurtenissen beïnvloeden het bouwproces en welke problemen zijn gevonden, en welke oplossingen zijn daarvoor geïmplementeerd. Dit goed documenteren helpt problemen voorkomen bij de volgende bouwfase. Ditzelfde geldt voor de beheer/assetmanagementfase, waar data over assetproblemen en reparaties van groot belang zijn voor toekomstige risico-analyses. Ook moet men de criterialijst, de bron- en locatiekeuzes, de bouwkundige tekening en het gedetailleerde ontwerp goed documenteren.

### **Stap 7 → 0: Heroverweging**

Tenslotte moet periodiek een heroverweging worden gedaan van de gedocumenteerde standaarden. De frequentie hiervan wordt besproken in paragraaf 4.4.



Figuur 6: flowchart ontwerpstandaardisatieproces



## 5.4 Opmerkingen voor een minder uitgebreid proces

Het bovenstaande proces is bedoeld om een complete procedure te zijn, waar een optimaal standaardontwerp uit komt. Deze procedure is langdurig, en zeker de medewerkersstudies en aannemerstoetsingen kunnen veel tijd kosten. Daarnaast kost het betrekken van vele personen veel manuren, wat een standaardisatietraject een dure aangelegenheid maakt. Hieronder worden een aantal voorstellen gedaan die dit traject draagbaarder maken. Dit boet wel in op kwaliteit.

Allereerst kunnen de haalbaarheid- en medewerkersstudies meerdere keren per stap uitgevoerd worden. Elke iteratie geeft minder en minder kwaliteitsverbetering, dus slechts éénmaal uitvoeren is vaak al een goede keuze. Haalbaarheidsstudies en medewerkersstudies zijn van groot belang, en kunnen een goed inzicht bieden in de kwaliteit van het uiteindelijke asset. Echter, met alleen een medewerkerstoetsing kan men al een eind komen. Dit vervangt geen haalbaarheidsstudie met criterialijst, maar geeft toch een goed inzicht.

Men zou ook kunnen overwegen om de bouwkundige tekening en de gedetailleerde tekening in één stap te doen. Dit is een risico, omdat er nu geen toetsingsstap bestaat tussen bouwkundige en gedetailleerde tekeningen. In het geval van fouten kan het zijn dat het hele proces weer opnieuw moet, wat veel tijd kost.

Eén van de langst durende stappen zijn het betrekken van meerdere medewerkers. Hier kunnen twee gevaren optreden: het lang duren om iedereen bij elkaar te krijgen, of het lang zoeken naar compromissen met vele betrokken mensen. Het eerste kan voorkomen worden door de standaardisatie-officier met één of een klein groepje personen tegelijk af te laten spreken, zodat geen grote meetings gepland hoeven te worden. De tweede kan voorkomen worden door de beslisvaardigheid centraal bij de standaardisatie-officier te houden. Dit gaat wel ten koste van ideeën inwinnen van een breed scala aan medewerkers.

Tenslotte is het altijd mogelijk om de frequentie van het standaardisatieproces te verlagen. Een lage frequentie betekent minder meegaan met technologische en wetgevende ontwikkelingen, en betekent dat men ook minder snel kan leren van ervaringen die opgedaan zijn met bestaande standaarden. Echter, het proces hoeft minder vaak doorlopen te worden.

## 6 Conclusies

In dit rapport worden de mogelijkheden van verdergaande standaardisatie van assets voor waterzuivering en winning verkend. Hierbij werd er gefocust op het standaardiseren van veelvuldig gebruikte assets in de waterzuivering.

Er is een literatuuronderzoek uitgevoerd in de wetenschappelijke- en vakliteratuur, dat standaardisatie als onderzoeksveld samenvat. Daarnaast zijn twee case studies onderzocht waar standaardisatie op verschillende manieren is uitgevoerd. Dit betreft één studie bij WML, waar men assets in een waterzuiveringslocatie heeft gestandaardiseerd en de locatie heeft gebouwd rond deze gestandaardiseerde assets. De tweede case study is een onderzoek naar spoorbrugbouw in Zweden, waar door middel van standaardisatie en andere efficiëntieverhogende methoden wordt gekeken hoe men zo goed mogelijk deze bruggen kan opleveren.

Verder in het rapport bespreken we een reeks punten die ter sprake zijn gekomen in het vooronderzoek, waar de zuiveringsbedrijven specifiek interesse in hadden. Tenslotte wordt een concreet stappenplan gemaakt van hoe men standaardisatie efficiënt en volledig aan kan pakken.

Tijdens dit onderzoek zijn een aantal punten naar boven gekomen die van belang zijn voor waterbedrijven die willen standaardiseren. Eén van de belangrijkste punten is dat het van groot belang is om een centraal document aan te leggen met eisen aan het te standaardiseren asset, wat als leidraad door het standaardisatieproces loopt. Daarnaast is het van belang om één of een kleine groep besluitvormers aan te stellen rond het proces, om verwatering van de asseteffectiviteit te voorkomen. Ook is het van belang om vroeg een aannemer in te schakelen, omdat diegene op praktisch niveau goede inzichten kan bieden. Tenslotte worden onderzoeksvragen besproken zoals (i) kunnen waterbedrijven van elk formaat baat hebben bij standaardisatie; (ii) hoe vaak zou men een ontworpen standaard moeten heroverwegen; (iii) wanneer en hoe moeten welke medewerkers betrokken worden bij het standaardisatieproces; (iv) hoe kan men goed een inzicht krijgen in de kosten en de baten van een gestandaardiseerd asset; en (v) welke data is nodig om goed inzicht te kunnen krijgen in gestandaardiseerde assets.

## 7 Bibliografie

- [1] R. M. van Wessel, *Realizing business benefits from company IT standardization*, Den Haag: Tilburg Universiteit, 2008.
- [2] Merriam-Webster, „Merriam-Webster woordenboek,” 2023. [Online]. Available: <https://www.merriam-webster.com/dictionary>.
- [3] I. S. O. (ISO), „NEN-ISO 55000,” NEN-ISO, 2018.
- [4] E. Commission, „One common charging solution for all,” 2014. [Online]. Available: [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/electrical-and-electronic-engineering-industries-eei/radio-equipment-directive-red/one-common-charging-solution-all\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/electrical-and-electronic-engineering-industries-eei/radio-equipment-directive-red/one-common-charging-solution-all_en).
- [5] B. Münstermann en T. Weitzel, „Bamberg Presentation Library,” 2008. [Online]. Available: <https://fis.uni-bamberg.de/entities/publication/cb0fab52-265d-4c38-9664-e24c3a2bf420/details>.
- [6] P. Belleflamme, „Coordination on formal vs. de facto standards: a dynamic approach,” *European Journal of Political Economy*, pp. 153-176, 2002.
- [7] H. J. de Vries, „Standardization - Mapping a Field of Research,” in *The Standards Edge*, Ann Arbor, Bolin Communications, 2002.
- [8] B. McKendrick, „Asset management standards & practice,” *IET Professional Development Course on Railway Signalling and Control Systems (RSCS 2010)*, 2010.
- [9] Y. C. Wijnia en P. M. Herder, „The state of Asset Management in the Netherlands,” in *4th World Congress on Engineering Asset Management*, Athens, 2009.
- [10] A. G. F. Gibb en F. Isack, „Client drivers for construction projects: implications for standardization,” *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2001.
- [11] V. W. Y. Tam, C. M. Tam, S. X. Zeng en W. Ng, „Towards adoption of prefabrication in construction,” *Building and environment*, pp. 3642-3654, 2007.
- [12] C. L. Pasquire en A. Gibb, „Considerations for Assessing the Benefits of Standardisation and Pre-Assembly in Construction,” *Journal of Financial Management of Property and Construction*, pp. 151-161, 2002.
- [13] I. Alsayouf, M. Alsuwaidi, S. Hamdan en M. Shamsuzzaman, „Impact of ISO 55000 on organisational performance: evidence from certified UAE firms,” *Total Quality Management & Business Excellence*, pp. 134-152, 2021.
- [14] Deloitte, „Asset management: A risk based approach,” 2015.
- [15] N. Bevan en M. McLeod, „Usability measurement in context,” *Behaviour & Information Technology*, pp. 132-145, 1994.
- [16] SwainSmith, „Whitepaper: Improve Return on Assets (RoA) by Standardizing Asset Management Operations,” 2020. [Online].
- [17] P. A. David, „Some new Standards for the Economics of Standardization in the Information Age,” in *Economic Policy and Technological Performance*, Cambridge University Press, 2009, pp. 206-239.
- [18] M. Avin, M. Lin en D. Hargreaves, „Understanding data management in asset management: a survey,” in *Proceedings of the 3rd World Congress on Engineering Asset Management and Intelligent Maintenance Systems Conference (WCEAM-IMS 2008)*, London, 2008.
- [19] C. J. Roberts, E. A. Pärn, D. J. Edwards en C. Aigbavboa, „Digitalising asset management: concomitant benefits and persistent challenges,” *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, pp. 152-173, 2018.

- [20] J. Woodhouse, „Standards in asset management: PAS 55 to ISO 55000,” *Infrastructure Asset Management*, pp. 57-59, 2014.
- [21] P. M. Herder en M. P. C. Weijnen, „Quality criteria for process design in the design process — industrial case studies and an expert panel,” *Computers & Chemical Engineering*, pp. 513-520, 1998.
- [22] R. Kuijper en D. Bezemer, „Standardization of condition assessment methodologies for structures,” in *Life-Cycle of Engineering Systems*, Crc Pr I LLC, 2016, pp. 669-674.
- [23] RIVM, „[https://www.leidraadse.nl/assets/files/downloads/Publicaties/leidraad\\_rams\\_-\\_sturen\\_op\\_prestaties\\_van\\_systemen.pdf](https://www.leidraadse.nl/assets/files/downloads/Publicaties/leidraad_rams_-_sturen_op_prestaties_van_systemen.pdf),” Drukkerij Gianotten, Tilburg, 2010.
- [24] Trafikverket, „Klimatkrav i planläggning byggskede underhåll och på teknisk godkänt järnvägsmateriel,” 2023. [Online]. Available: <https://trvdokument.trafikverket.se/fileHandler.ashx?typ=showdokument&id=b073cf67-ab21-487d-80a9-b9d4b90385d1>.
- [25] J. Lagerqvist, Improving productivity in design and construction of bridges, Göteborg: Chalmers Reproservice, 2023.
- [26] A. S. Goffi, F. Trojan, J. D. de Lima, M. Lizot en S. S. Thesari, „Economic feasibility for selecting wastewater treatment systems,” *Water Science and Technology*, pp. 2518-2531, 2018.
- [27] S. Spivak en C. Brenner, Standardization Essentials: Principles and Practice, London: CRC Press, 2001.
- [28] F. Antonsson, D. Lindvall, J. Lagerqvist en R. Rempling, „Optimal time for contractors to enter infrastructure projects,” *Procedia Computer Science*, pp. 990-998, 2022.
- [29] F. Rahmani, „Challenges and opportunities in adopting early contractor involvement (ECI): client’s perception,” *Architectural Engineering and Design Management*, pp. 1-2, 2021.
- [30] H. E. Crabtree en M. R. Rowell, „Standardisation of Small Wastewater Treatment Plants for Rapid Design and Implementation,” *Water Science and Technology*, pp. 17-24, 1993.
- [31] C. Han, J. Y. Lu, K. Lewis en M. van der Velden, „Standardisation of ITS technology asset management datasets,” ARRB Group Limited, Sydney, 2019.
- [32] W. Moore, M. Arai, P. Besse, R. Birmingham, E. Bruenner, Y. Chen, J. Dasgupta, P. Friis-Hansen, H. Boonstra, L. Hovem, P. Kiujala, J. McGregor, E. Rizzutto, A. Teixeira, V. Zanin en K. Yoshida, Design principles and criteria, 2006.
- [33] D. Straub, J. Goyet, J. D. Sorensen en M. H. Faber, „Benefits of Risk Based Inspection Planning for Offshore Structures,” in *25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Hamburg, 2006.
- [34] TNO, „TNO.nl,” 2019. [Online]. Available: [https://www.tno.nl/downloads/def\\_lucht\\_f16\\_levenscycluskostenanalyse\\_s050140.pdf](https://www.tno.nl/downloads/def_lucht_f16_levenscycluskostenanalyse_s050140.pdf).
- [35] P. Rathore, D. J. Killedar, D. Parde en A. Sahare, „Life cycle cost analysis of wastewater treatment,” *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, p. 012006, 2022.
- [36] ISO, „ISO 14040-14041,” 2019.
- [37] S. Rahman en D. Vanier, „Life cycle cost analysis as a decision support tool for managing municipal infrastructure,” in *CIB 2004 Triennial congress*, Toronto, 2004.
- [38] M. A. El-Haram, S. Marenjak en M. W. Horner, „Development of a generic framework for collecting whole life cost data in the building industry,” *Journal of Quality in Maintenance information*, pp. 144-151, 2002.
- [39] B. Ellis, Life Cycle Cost, 2007.
- [40] M. L. van der Schans en M. A. Meerkerk, „Putten en puttenvelden ten behoeve van Drinkwater,” KWR, 2019.
- [41] Rijksoverheid, „Drinkwaterbesluit,” 2023.
- [42] K. H. Poortema en J. H. G. Vreeburg, „Aanbevelingen voor de leveringszekerheid van drinkwatersystemen,” Vewin, 1994.
- [43] S. Kools, A. van Loon, R. Sjerps en L. Rosenthal, De kwaliteit van bronnen van drinkwater in, KWR, 2019.

- [44] Rijksoverheid, „Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening,” Rijksoverheid, Den Haag, 2017.
- [45] KWR, „Praktijkcodes Drinkwater,” 2023. [Online]. Available: <https://www.praktijkcodesdrinkwater.nl/>.
- [46] VEWIN, „Drinkwaterstatistieken,” 2017.
- [47] A. Pasha, A. Mansourian en M. Ravanshadnia, „A hybrid fuzzy multi-attribute decision making model to select road pavement type,” *Soft Computing*, pp. 24-1, 2020.