

BTO 2017.032 | Oktober 2017

BTO rapport

Risico's en
risicobeoordelings-
methodieken voor
zuiveringsinstallaties

BTO

Risico's en risicobeoordelingsmethodieken voor zuiveringsinstallaties

BTO 2017.032 | Oktober 2017

Opdrachtnummer

400554/162

Projectmanager

drs. P.G.A. (Nellie) Slaats

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Assetmanagement

Kwaliteitsborger(s)

ir. L. (Luc) Palmen, dr. ir. E.R. (Emile) Cornelissen

Auteur(s)

dr. ir. B.A. (Bas) Wols, dr. ir. C. (Cheryl) Bertelkamp, ir. R. (Ralph) Beuken

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.
Een jaar na publicatie is het openbaar.

Jaar van publicatie
2017

Meer informatie

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

Keywords

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

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



Watercycle
Research
Institute

BTO 2017.032 | Oktober 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

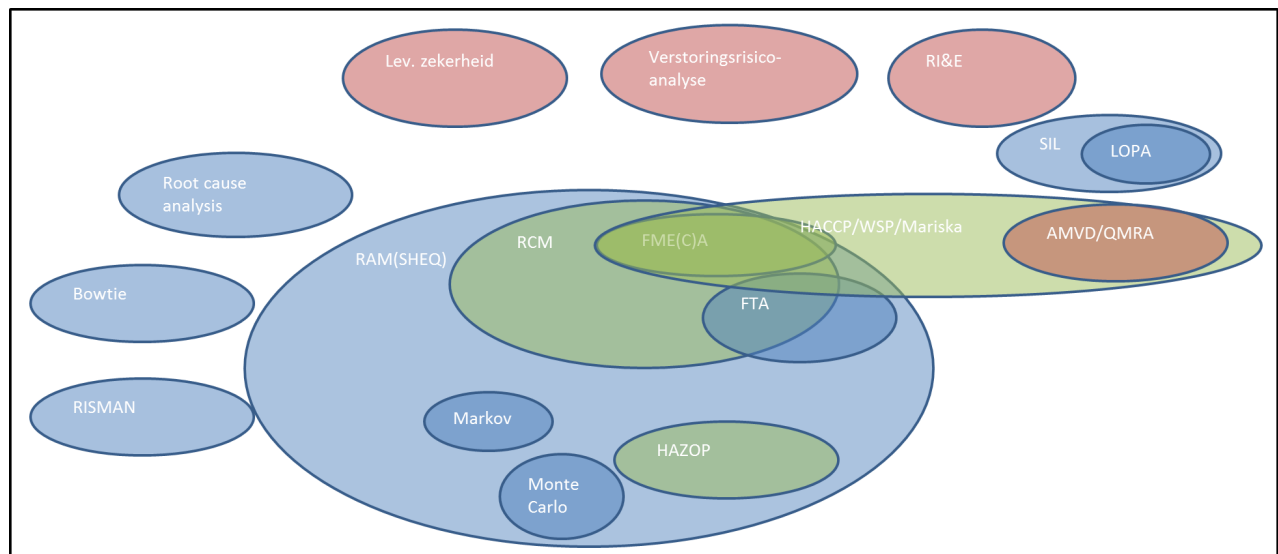
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

BTO Managementsamenvatting

Inzet risicobeoordelingsmethodieken voor zuiveringsinstallaties kan sturing op kosten en risico's verbeteren

Auteur(s) dr. ir. B.A. Wols, dr. C. Bertelkamp, ir. R. Beuken

Voor de beoordeling van risico's van zuiveringsinstallaties gebruiken waterbedrijven diverse risicobeoordelingsmethodieken. In dit onderzoek is aan de hand van literatuuronderzoek en interviews een overzicht gemaakt van de meest gebruikte risicobeoordelingsmethodieken. De uitkomsten en toepassingsmogelijkheden van twee methodieken, RCM (reliability centered maintenance) en FTA (foutenboom-analyse), zijn met elkaar vergeleken voor drie voorbeeldzuiveringen. Het risicomanagement van zuiveringsinstallaties kan verder verbeterd worden door: het op orde hebben van registraties van storingen, inspecties en assetgegevens; bruikbare informatie (zoals faalfrequenties) halen uit deze registraties om subjectiviteiten bij de uitvoering van de methodieken te verminderen; betere samenhang tussen de niveaus (van component naar productielocatie, bijv. door het koppelen van RCM en FTA); en beter onderling vergelijken van risicogroepen in de risicomatrix.



Overzicht van beschikbare risicobeoordelingstechnieken en onderlinge samenhang (rood is wettelijk verplicht en groen is veelgebruikt)

Belang: risicobenadering steeds belangrijker voor drinkwaterbedrijven

De overgang naar meer risicodenken bij de waterbedrijven past binnen de maatschappelijke trend om meer grip te willen hebben op risico's. Omdat de waterbedrijven hun risicobeoordeling steeds professioneler willen aanpakken, hebben zij behoefte aan meer inzicht in de mogelijkheden van risicobeoordelingsmethodieken. Daarnaast wordt

vanuit het perspectief van assetmanagement tegenwoordig anders naar risico's gekeken: de balans tussen prestatie, risico's en kosten (PRK) wordt daarbij meer expliciet gemaakt. Een goede beoordeling van risico's is daarbij van groot belang.

Aanpak: risicobeoordelingsmethodieken onder de loep genomen

Er is een grote verscheidenheid aan risicobeoordelingsmethodieken voor zuiveringsinstallaties beschikbaar, die elkaar ten dele overlappen. Aan de hand van interviews en literatuuronderzoek is een overzicht gemaakt van de meest gebruikte risicobeoordelingsmethodieken. Voor twee risicobeoordelingsmethodieken zijn de uitkomsten en toepassingsmogelijkheden met elkaar vergeleken voor drie productielocaties bij drie waterbedrijven.

Resultaten: lessen geleerd uit toepassing van RCM en foutenboom

Naast de wettelijke verplichte methodieken zoals Leveringszekerheid, VRA, AMVD, zijn veelgebruikte methodieken bij de waterbedrijven RCM (reliability centered maintenance), FMECA (failure mode, effects and criticality analysis) en hazard and operability (HAZOP). Met behulp van RCM kunnen onderhoudsregels opgesteld worden die rekening houden met het risico als gevolg van falen van componenten. De resultaten van een RCM-analyse (bij Vitens en WML) en een foutenboomanalyse (bij Dunea) zijn naast elkaar gelegd. Met een foutenboom kan de beschikbaarheid van de gehele productielocatie door middel van de beschikbaarheden op componentniveau bepaald worden. Uitwerking van de RCM-methodiek bij Vitens en WML laat zien dat onderhoudskosten kunnen worden verlaagd door gebruik te maken van RCM. Daarnaast kan het zinvol zijn om de resultaten van een RCM en foutenboom te koppelen. De resultaten van de foutenboom kunnen dan gebruikt worden om een betere inschatting van de risico's in de RCM te maken. Zo kan het effect worden bepaald van het falen van een component

op de totale beschikbaarheid van een productielocatie. Omdat veel van dezelfde gegevens (zoals reparatietijd, tijd tussen storingen, benodigde prestatie, leeftijd, levensduur, conditie, type onderhoud) nodig zijn voor zowel een RCM analyse als de foutenboom, kan met relatief weinig inspanning ook een foutenboomanalyse worden uitgevoerd voor een locatie waar een RCM is uitgevoerd.

Implementatie: verdere verbetering risicomanagement

Met de risicobeoordelingsmethodieken kunnen waterbedrijven hun zuiveringen beter sturen op risico's en kosten. Wel zijn er een aantal tekortkomingen in de methodieken, zoals verschillen in niveaus (van component tot productielocatie) en subjectiviteiten (bijvoorbeeld bij de inschatting van faalfrequenties, faaloorzaken, faaleffecten per risicomatrix-groep en reparatiekosten). Deze kunnen (deels) ondervangen worden door het goed inrichten van storingsregistraties, inspecties en registratie van assetgegevens. Hiermee is het ook eenvoudiger om naast een RCM-analyse een foutenboom te doen, zodat de gevolgen van uitval van een component beter kunnen worden ingeschat. Verdere verbetering is mogelijk door de manieren uit te breiden waarop de verschillende risicogroepen in de risicomatrix met elkaar te vergelijken zijn, bijvoorbeeld door moneteriseren, en dit mee te nemen in de risicobeoordelingstechnieken.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *Risico's en risicobeoordelingsmethodieken voor zuiveringsinstallaties* (BTO-2017.032).

Inhoud

Inhoud	1
1 Inleiding	2
1.1 Aanleiding	2
1.2 Doel	2
1.3 Aanpak	2
2 Risicobeoordelingstechnieken in de drinkwatersector	4
2.1 Inleiding	4
2.2 Definities	9
2.3 Algemene voor- en nadelen	10
2.4 Literatuuroverzicht risicobeoordelingstechnieken	11
2.5 Externe initiatieven risicobeoordelingstechnieken in de drinkwaterzuivering	32
3 Beknopte beschrijving van uitkomsten interviews	33
3.1 Introductie	33
3.2 Relevante ontwikkelingen bij bedrijven	33
3.3 Opinies over risicomanagement	33
3.4 Visie op kosten en risico's in de organisatie	33
3.5 Zijn risicomethodieken goed genoeg?	34
3.6 De menselijke factor	34
3.7 Verzamelen data over storings/uitval	34
3.8 Behoeftes van drinkwaterbedrijven	34
3.9 Workshop	35
4 Gebruik van toegepaste risicomethodieken	36
4.1 Inleiding	36
4.2 Uitwerking drie voorbeeldzuiveringen	36
4.3 Uitwisselbaarheid	41
4.4 Uitwerking van reinwaterpompen	43
5 Conclusies en aanbevelingen	48
5.1 Conclusies	48
5.2 Aanbevelingen	49
6 Literatuur	51
Bijlage I Interviews bij bedrijven	55
Bijlage II Uitwerking interviews	56
Bijlage III Verslag workshop	66
Bijlage IV Veelgebruikte woorden in storingsregistratie	91

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het ontwerp van zuiveringsinstallaties voor de bereiding van drinkwater is gericht op 1) een zo goed mogelijke waterkwaliteit en 2) een continue levering. Vanuit het perspectief van continue levering zijn voorzieningen ingericht om uitval te vermijden, vaak in de vorm van redundantie. Zowel voor kwaliteit als kwantiteit is er vaak sprake van overdimensionering, waarbij de risico's op uitval of niet voldoen aan waterkwaliteit zo laag mogelijk worden gehouden. Vanuit het perspectief van assetmanagement wordt tegenwoordig anders naar risico's gekeken, namelijk dat de balans tussen prestaties, risico's en kosten (PRK) meer expliciet wordt gemaakt. Hierbij wordt de prestatie en het risico direct verbonden aan bedrijfsdoelen. Daarnaast maken veel bedrijven een transitie door van bouwer naar beheerder van zuiveringsinstallaties, en daarmee is het onderhoud van de installatie een steeds belangrijker thema. Deze trends vragen om een aangepaste risicobenadering.

Waterbedrijven maken reeds gebruik van verschillende risicomethodieken om risico's in te schatten voor de gehele watervoorziening of voor onderdelen van de watervoorziening. Een deel van deze risicoanalyses zijn wettelijk verplicht (zoals een verstorings-risicoanalyse, artikel 47 van het drinkwaterbesluit) of vormen een onderdeel van de kwaliteitssystemen (zoals ISO 55000, asset management, ISO 31000 risico management). Voor de risicobeoordeling van zuiveringsinstallaties is daarnaast een groot aantal risicomethodieken beschikbaar. Voorbeelden hiervan zijn FMECA, RCM, HAZOP, RAMSHEQ, Bowtie, HACCP, Water Safety Plans, verstorings-risicoanalyse, AMVD, foutenboomanalyse. Deze methodieken belichten de risico's van zuiveringsinstallaties vanuit verschillende invalshoeken. De uitvoering van deze methodieken is kostbaar en tijdrovend, en gebeurt ook niet altijd op dezelfde manier. Waterbedrijven passen één of meerdere van deze methodieken toe op hun zuiveringsinstallatie. Inherent aan het beoordelen van risico's van de zuiveringsinstallaties, wordt een aantal van deze methodieken ook gebruikt om ontwerpen te beoordelen en de onderhoudsstrategie vast te stellen. Bijvoorbeeld (een onderdeel van) een zuiveringsinstallatie met een laag risico heeft een minder intensief onderhoudsprogramma, omdat uitval van dit onderdeel tot weinig of geen problemen leidt. Een andere factor die hierbij een rol speelt is het schaalaspect, omdat vanuit het perspectief van assetmanagement het uitvallen van een zuiveringsstation of het uitvallen van een pomp leidt tot een ander risico.

1.2 Doel

Doel van dit onderzoek is om risico's en risicobeoordelingsmethodieken voor zuiveringsinstallaties te evalueren. De resultaten en toepassingsmogelijkheden van twee risicobeoordelingsmethodieken zijn beoordeeld voor drie voorbeeldzuiveringen. De focus van het onderzoek ligt op de drinkwaterzuivering, met als laagste niveau die van de afzonderlijke apparaten en als hoogste niveau die van de zuiveringslocatie. De risicomethodieken worden geëvalueerd in het kader van toepassing op zuiveringsinstallaties, en er wordt onderzocht voor welke situaties een bepaalde risicomethodiek geschikt is en wat de zwakke punten zijn.

1.3 Aanpak

Aan de hand van literatuuronderzoek en interviews met waterbedrijven is een inventarisatie gemaakt van beschikbare en toegepaste risicobeoordelingsmethodieken voor zuiveringsinstallaties. Een overzicht van de meest relevante risicobeoordelingsmethodieken is beschreven in Hoofdstuk 2. Een korte samenvatting van de interviews is beschreven in Hoofdstuk 3. Deze resultaten zijn besproken in een workshop met de waterbedrijven. Hier zijn twee risicomethodieken gekozen om daarvan de resultaten en toepassingsmogelijkheden te evalueren in drie voorbeeldzuiveringen. De focus lag hier

met name op de onderlinge uitwisselbaarheid van de benodigde gegevens voor de risicomethodieken. De resultaten staan beschreven in Hoofdstuk 4.

2 Risicobeoordelingstechnieken in de drinkwatersector

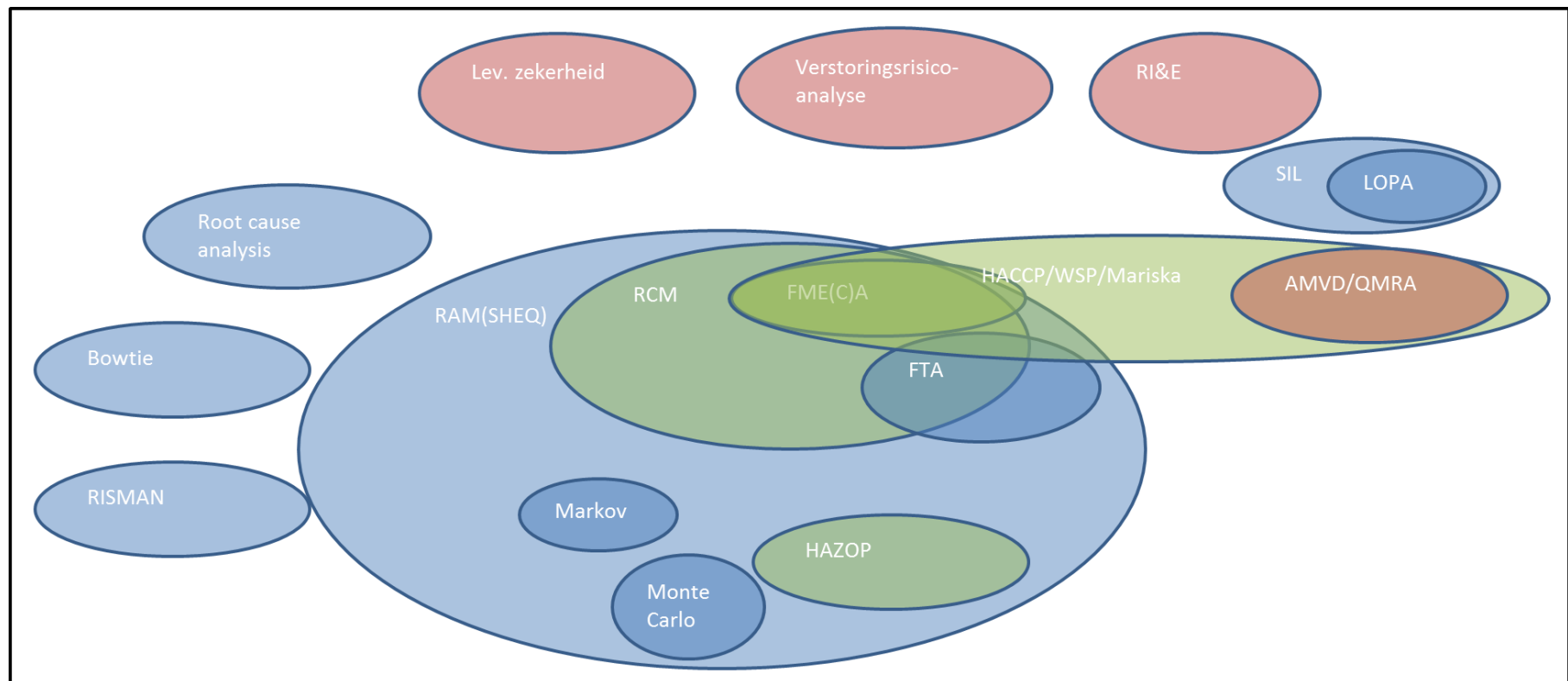
2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden diverse beschikbare risicobeoordelingstechnieken gepresenteerd. Allereerst worden er in paragraaf 2.2 een aantal begrippen gedefinieerd. Dit wordt gedaan omdat er in de literatuur vaak verwarring bestaat over wat er precies bedoeld wordt met een specifieke term en/of begrip. Paragraaf 2.3 gaat in op de algemene voor- en nadelen van het gebruik van risicobeoordelingstechnieken. Vervolgens geeft paragraaf 2.4 voor een selectie van risicobeoordelingstechnieken, die met name relevant zijn voor de drinkwaterzuivering, een beknopt literatuuroverzicht. Dit overzicht beschrijft het toepassingsgebied, hoe de methodiek werkt plus de voor- en nadelen specifiek toegespitst op die methode. Tenslotte beschrijft paragraaf 2.5 nog kort enkele externe initiatieven die lopen met betrekking tot risicobeoordelingstechnieken in de drinkwatersector.

Figuur 1 geeft een visuele weergave van de verschillende risicobeoordelingsmethodieken en de onderlinge samenhang van de onderzochte methodieken verkregen op basis van de interviews met de drinkwaterbedrijven. De verplichte risicobeoordelingsmethodieken zijn rood gekleurd en de meest gebruikte methodieken groen.

Tabel 2.1 geeft het overzicht van beschikbare risicobeoordelingstechnieken en verschillende aspecten rondom de risicobeoordelingstechnieken zoals: Is de methodiek wettelijk verplicht? Geeft de methodiek kwantitatieve output? Op welke risico's richt de methodiek zich? Op welk niveau kijkt de methodiek (bijv. bedrijfsniveau of procesniveau)? Tevens wordt aangegeven of de methodiek kwantitatief of kwalitatief is. Onder een kwantitatieve methode wordt verstaan een risicobeoordelingstechniek die uit te drukken is in een getal (bijvoorbeeld het risk priority number). Een kwalitatieve methode is een risicobeoordelingstechniek die resulteert in een prioritering van risico's (bijv. ernstig, matig, etc.). Tenslotte geeft Tabel 2.1 ook aan in welke levensfase de methodiek gebruikt kan worden (ontwerp, in bedrijf of tijdens demontage) en de vereiste capaciteit, onzekerheid en complexiteit van de methodiek.

Tabel 2.2 laat zien welke risicobeoordelingstechnieken genoemd zijn in de interviews of al worden gebruikt door de diverse drinkwaterbedrijven. De meest gebruikte methoden zijn RCM, FMECA en HAZOP.



FIGUUR 2.1 - OVERZICHT VAN DE RISICOBEOORDELINGSTECHNIKEN (ROOD = VERPLICHT, GROEN = MEEST GEBRUIKT, OP BASIS VAN INTERVIEWS WATERBEDRIJVEN)

TABEL 2.1 – OVERZICHT VAN RISICOBEOORDELINGSTECHNIKEN

Methode	Kijkt naar risico?	Wettelijk verplicht?	Kwantitatieve output?	Gericht op
Bowtie	Ja	Nee	Nee	Procesrisico's
Failure, Mode, Effects and (Criticality) Analysis (FME(C)A)	Ja	Nee	Ja	Procesrisico's
Fault Tree Analysis (FTA)	Ja	Nee	Ja	Procesrisico's
Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP)	Ja	Nee	Nee	Procesrisico's
HAZard and OPerability (HAZOP)	Ja	Nee	Nee	Procesrisico's
Layer Of Protection Analysis (LOPA)	Ja	Nee	Ja	Procesrisico's
Leveringszekerheids-analyse	Ja	Ja	Nee	Procesrisico's
Life Cycle Assessment (LCA)	Nee	Nee	Ja	Duurzaamheid
Markov-analysis	Ja	Nee	Ja	Procesrisico's
Monte Carlo analysis	Ja	Nee	Ja	Procesrisico's
Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) en Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD)	Ja	Ja	Ja	Procesrisico's microbiologische waterkwaliteit
Reliability Availability Maintainability Safety (RAMS)	Ja	Nee	Ja	Procesrisico's
Reliability Centered Maintenance (RCM)	Ja	Nee	Ja	Procesrisico's
Risico Inventarisatie & Evaluatie (RI&E)	Ja	Ja		Menselijke veiligheid
RISMAN	Ja	Nee	Nee	Project-, proces- risico's
Root Cause Analysis (RCA)	Ja	Nee	Nee	Procesrisico's
Safety Integrity Level (SIL)	Ja	Nee	Ja	Menselijke veiligheid, ICT
Value Driven Maintenance (VDM)	Nee	Nee	Ja	Financieel
Verstoringsrisicoanalyse	Ja	Ja		Procesrisico's
Water Safety Plan (WSP)	Ja	Nee	Nee	Procesrisico's

TABEL 2.1 (VERVOLG) – OVERZICHT VAN RISICOBEOORDELINGSTECHNIKEN

Methoden	Niveau	Fase	Vereiste capaciteit	Onzekerheid	Complexiteit
Bowtie	Zuiveringsproces, zuiveringsinstallatie		M	H	M
Failure, Mode, Effects and (Criticality) Analysis (FME(C)A)	Zuiveringsproces, zuiveringsinstallatie	1, 2	M	M	M
Fault Tree Analysis (FTA)	Productielocatie, zuiveringsproces	1, 2	H	H	M
Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP)	Productielocatie		M	M	M
HAZard and OPerability (HAZOP)	Zuiveringsproces, zuiveringsinstallatie	1	M	H	H
Layer Of Protection Analysis (LOPA)	Zuiveringsproces, zuiveringsinstallatie	1, 2	M	M	M
Leveringszekerheids-analyse	Bedrijfsniveau	2	M	M	L
Life Cycle Assessment (LCA)	Alle niveaus				
Markov-analyse	Productielocatie, zuiveringsproces	1, 2	H	L	H
Monte Carlo analyse	Productielocatie, zuiveringsproces	1, 2	H	L	H
Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) en Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD)	Productielocatie	1	M	M	M
Reliability Availability Maintainability Safety (RAMS)	Productielocatie, zuiveringsproces		M	M	H
Reliability Centered Maintenance (RCM)	Zuiveringsproces, zuiveringsinstallatie	1, 2	M	M	M
Risico Inventarisatie & Evaluatie (RI&E)	Bedrijfsniveau		M	M	L
RISMAN	Productielocatie, zuiveringsproces	1	M	M	L
Root Cause Analysis (RCA)	Zuiveringsproces, zuiveringsinstallatie		M	L	M
Safety Integrity Level (SIL)	Zuiveringsproces, zuiveringsinstallatie		H	M	M
Value Driven Maintenance (VDM)	Zuiveringsinstallatie				
Verstoringsrisicoanalyse (VRA)	Bedrijfsniveau		M	M	L
Water Safety Plan (WSP)	Productielocatie		M	M	M

1 = Ontwerp, 2 = In bedrijf, 3 = Demonteren, L = Laag, M = Middel, H = Hoog.

TABEL 2.2 – OVERZICHT VAN DE RISICOBEOORDELINGSTECHNIKEN **BESPROKEN** IN DE INTERVIEWS PER DRINKWATERBEDRIJF

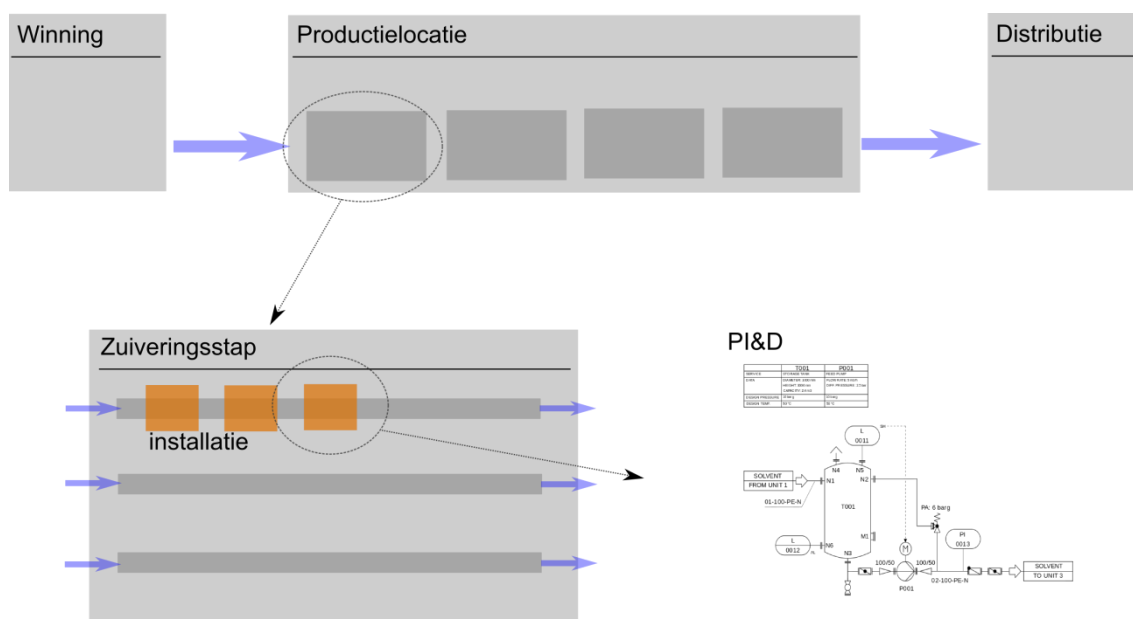
Methode	Waterbedrijf Groningen	Vitens	Waternet	PWN	Oasen	Dunea	Brabant Water	Waterleiding Maatschappij Limburg	De Watergroep
Bowtie			x			x	x		
Failure, Mode, Effects and (Criticality)Analysis (FME(C)A)	x	x	x	x	x		x	x	x
Fault Tree Analysis (FTA)						x		x	
Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP)								x	
HAZard and Operability (HAZOP)	x			x	x	x		x	x
Layer Of Protection Analysis (LOPA)						x			
Leveringszekerheidsanalyse	x	x	x	x	x	x	X	x	
Life Cycle Assessment (LCA)									
Markov analysis									
Monte Carlo analysis									
Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) en Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD)				x			X		
Reliability Availability Maintainability Safety (RAMS)			x	x		x			
Reliability centered maintenance (RCM)	x	x		x			X	x	x
Risico Inventarisatie & Evaluatie (RI&E)			x	x	x				
RISMAN	x			x				x	
Root cause analysis (RCA)				x					
Safety Integrity Level (SIL)						x	x		
Value Driven Maintenance (VDM)				x					
Verstoringsrisicoanalyse (VRA)	x	x	x	x		x	x		
Water Safety Plan (WSP)	x		x				x		x

2.2 Definities

In de risicobeoordelingsmethodieken worden verschillende parameters gebruikt. Er bestaan vaak verschillende visies over de gebruikte parameters. Precieze definities van de gebruikte parameters zijn daarom hieronder opgenomen.

Er kunnen diverse *niveaus* onderscheiden worden waarop de risicoanalyses uitgevoerd kunnen worden (zie Figuur 2.):

- Voorzieningsgebied: dit is het gebied waar vanuit meerdere productielocaties de klanten worden voorzien van hun drinkwater.
- Productielocatie: dit is een enkele productielocatie, die kan bestaan uit diverse zuiveringsstappen om het water.
- Zuiveringsstap: hierin vindt een specifiek zuiveringsproces plaats om het water te zuiveren. Deze kan bestaan uit meerdere zuiveringsinstallaties parallel of in serie.
- Zuiveringsinstallatie: een enkele zuiveringsinstallatie.
- Piping & instrumentation diagram (PI&D): dit is het laagste niveau dat onderscheiden wordt, hierin staan de losse leidingen, kleppen, pompen en instrumentatie genoemd.



FIGUUR 2.2 OVERZICHT VAN DE NIVEAU'S DIE ONDERSCHEDEN WORDEN IN DIT ONDERZOEK.

De *risicomatrix* geeft een overzicht van kansen en effecten. Voor de effecten worden verschillende risicogroepen gebruikt. Veelgebruikte groepen zijn: waterkwantiteit, waterkwaliteit, financiën, imago, milieu, veiligheid. De effecten voor de groep waterkwantiteit worden vaak uitgedrukt in OLM, ondermaatse leveringsminuten.

Met *risicokosten* worden de gevolgkosten van een bepaald risico bedoeld. Voor veel risico's is dit moeilijk te bepalen, zoals de kosten van imagoschade of het niet leveren van water. Voor financiële risico's zijn de risicokosten wel gebruikt, bijvoorbeeld de kosten om een kapotgegaan onderdeel te vervangen.

Prestatie is de functionele eis die aan een component wordt opgelegd. De *faalkans* is de kans dat een component niet voldoet aan zijn functie (de prestatie niet haalt). Het *effect* is het gevolg van het falen op allerlei gebieden. Het *risico* is vervolgens de faalkans vermenigvuldigd met het effect ($\text{risico} = \text{faalkans} \times \text{effect}$).

Betrouwbaarheid (R) is de waarschijnlijkheid dat een component zijn functie kan uitvoeren (voldoet aan de prestatie) onder gegeven omstandigheden gedurende een bepaald tijdsinterval ($R = 1 - \lambda$). Faalkans (λ) en beschikbaarheid hangen hiermee samen. *Faalkans*, de kans op falen van een component, kan uitgedrukt worden in mean time between failure (MTBF) [$\lambda = 1/\text{MTBF}$]. *Beschikbaarheid* is het vermogen van een component om zijn functie uit te voeren onder gegeven omstandigheden gedurende een bepaald tijdsinterval. Beschikbaarheid (A) volgt uit de MTBF en de mean time to repair (MTTR) [$A = \text{MTBF}/(\text{MTTR} + \text{MTBF})$]. De MTBF is de som van de MTTR en de MTTF (mean time to failure). *Conditie* is de technische toestand of staat waarin een component verkeert. Deze kan uitgedrukt worden in een conditiescore, bijvoorbeeld volgens NEN2767. Door de conditie van een component mee te nemen, kan een betere inschatting gemaakt worden van de faalkans van een component. *Onderhoudbaarheid* wordt in de Leidraad RAMS gedefinieerd als "De waarschijnlijkheid dat de activiteiten voor onderhoud mogelijk zijn binnen de hiervoor vastgestelde tijden, onder gegeven omstandigheden om de vereiste functie te kunnen (blijven) uitvoeren." (Bakker *et al.*, 2010). Dezelfde leidraad definieert *veiligheid* als: "Het vrij zijn van onaanvaardbare risico's in termen van letselschade aan mensen." (Bakker *et al.*, 2010).

2.3 Algemene voor- en nadelen

Het gebruik van een risicobeoordelingstechniek gaat gepaard met een aantal algemene voor- en nadelen. Deze worden hieronder kort beschreven.

Algemene voordelen van het gebruik van een risicobeoordelingsmethodiek zijn onder andere: (1) deelnemers krijgen een beter begrip van en meer kennis/kunde over de zuiveringsinstallatie, de daarbij horende potentiële risico's en mogelijke oorzaken, (2) doordat mensen uit de organisatie meer betrokken worden bij het proces, zal dit de toewijding en betrokkenheid vergroten, (3) risico's in de drinkwaterzuivering die veroorzaakt worden door systeemonderdelen worden op een systematische en grondige manier onderzocht, (4) doordat de resultaten die volgen uit een risicoanalyse altijd gedocumenteerd worden, wordt de traceerbaarheid van informatie (over mogelijke oorzaken van een functionele storing, gevolgen, in welk opzicht ze van belang zijn etc.) verbeterd (Bakker *et al.*, 2010; Kelly, 1997; Kotek *et al.*, 2012; Lewis *et al.*, 2010; Mullenger *et al.*, 2002; Mungani *et al.*, 2013; Petterson *et al.*, 2016; Rausand *et al.*, 2005; Versteegen, 2007).

Nadelen die gelden voor bijna alle risicobeoordelingsmethodieken zijn: (1) het resultaat van de risicoanalyse is sterk afhankelijk van de ervaring, kennis en capaciteiten van de deelnemers in het multidisciplinaire team (er kunnen risico's over het hoofd gezien worden, ideeën die ontstaan bij individuen na de sessies worden niet meer meegenomen, vooroordelen van deelnemers kunnen ervoor zorgen dat de echte oorzaak niet gevonden wordt), (2) deelnemers hebben mogelijk training nodig om bekend te raken met de terminologie anders kunnen er makkelijk fouten in het toepassen van de methode sluipen, (3) bij grote complexe systemen worden risicoanalyses erg uitgebreid en daarmee tijdrovend en kostbaar, (4) het kan problemen blootleggen waar een bedrijf liever niet mee wordt geconfronteerd, (5) het werken in multidisciplinaire teams kan resulteren in eindeloze discussies vanwege het feit dat er te veel disciplines in een team zitten en er onvoldoende kennis is of er tegenstrijdige belangen gelden en (6) het is nooit met zekerheid te zeggen dat er geen risico's/gevaren over het hoofd worden gezien (Baig *et al.*, 2013; Bakker *et al.*,

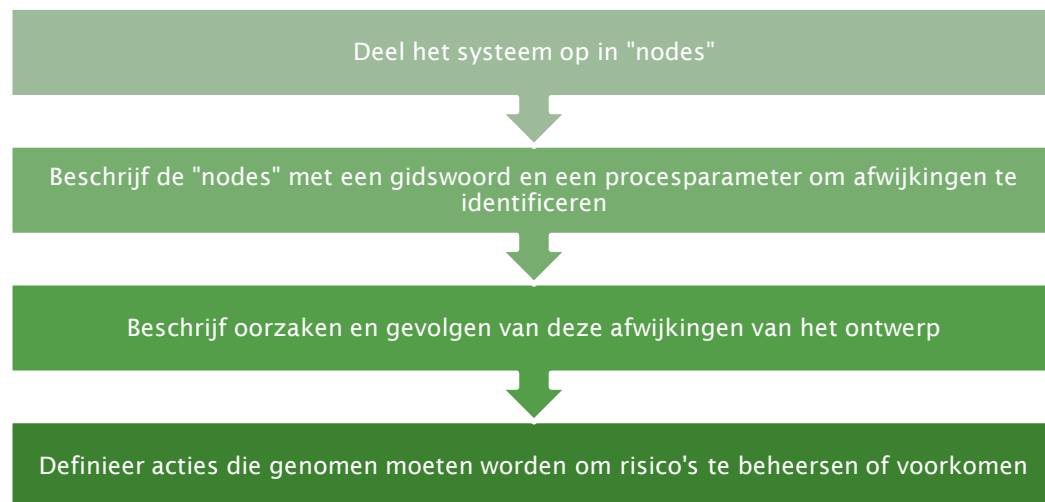
2010; Baybutt, 2015; Clemens et al., 1993; Conger, 2011; Dillen, 2012; Kotek et al., 2012; Lieverloo et al., 2005; Mungani et al., 2013; Rausand, 2005; Vonk, 2015).

2.4 Literatuuroverzicht risicobeoordelingstechnieken

2.4.1 HAZard and OPerability (HAZOP)

Een HAZard and OPerability (HAZOP) analyse probeert de risico's en operationele problemen die zich voor kunnen doen in een drinkwaterzuivering (of elke andere installatie/fabriek) in kaart te brengen. Dit gebeurt door te kijken naar de effecten die resulteren uit afwijkingen in het ontwerp/bedrijfsvoering zoals deze origineel bedoeld was (Dunjó, 2010). Het HAZOP proces wordt schematisch weergegeven in Figuur 2.3.

HAZOP is ontwikkeld in en voor de chemische industrie, maar wordt tegenwoordig ook toegepast in andere sectoren, zoals het verkeer, de medische en zonne-energie industrie (Dunjó, 2010; Pasman, 2016).



FIGUUR 2.3 – STAPPEN IN DE HAZOP ANALYSE (GALANTE ET AL., 2014)

In een brainstormsessie met een multidisciplinair team wordt het systeem (drinkwaterzuiveringsinstallatie) opgedeeld in zogenaamde "nodes". Een node is een deel van het systeem waar naar gekeken wordt, dit kan zowel een pomp zijn als een compleet zuiveringsproces. Deze nodes worden vervolgens beschreven met procesparameters (bijvoorbeeld temperatuur, debiet, druk) en gidswoorden (minder, meer, geen, omgekeerd, anders, net zoals, deel van, etc.) (Baybutt, 2015; Dunjó, 2010). Voor elke combinatie van gidswoord en procesparameter (= afwijking van origineel ontwerp/bedrijfsvoering) wordt vervolgens gekeken wat de oorzaak, het gevolg en hoe dit te voorkomen is (voorzorgsmaatregel). De afwijkingen van origineel ontwerp/bedrijfsvoering beschrijven dus de mogelijke risico's in het systeem. Deze informatie wordt verwerkt in een HAZOP werkblad (Eichleay, 2015). Een HAZOP analyse zal uiteindelijk dus resulteren in een verbeterd (aangepast) ontwerp/bedrijfsvoering.

Hieronder worden een aantal van de belangrijkste voor- en nadelen van de HAZOP analyse beschreven. Voor een uitgebreide kritische evaluatie van de HAZOP methode wordt verwezen naar "A Critique of the Hazard and Operability (HAZOP) study" van (Baybutt, 2015).

Voordelen van de HAZOP methode zijn (Antusak *et al.*, 2011; Bakker *et al.*, 2010; Galante *et al.*, 2014; Kotek *et al.*, 2012):

- Risico's worden in kaart gebracht;
- het is een systematische en uitgebreide analyse naar mogelijke gevaren/risico's die systeemonderdelen kunnen veroorzaken;
- HAZOP is een nuttige methode voor het in kaart brengen van gevaren die moeilijk te kwantificeren zijn (zoals menselijk falen);
- de methode identificeert nieuwe gevaarlijke situaties;
- HAZOP verhoogt de efficiëntie van operationele elementen;
- het is een simpele methode;
- het vormt bruikbare input voor kwantitatieve methoden zoals een foutenboomanalyse;

Nadelen van de HAZOP methode zijn (Antusak *et al.*, 2011; Bakker *et al.*, 2010; Baybutt, 2015; Galante *et al.*, 2014; Kotek *et al.*, 2012):

- risico's worden niet geprioriteerd of gekwantificeerd, is wel mogelijk door HAZOP te combineren met andere methodieken (bijv. een risicomatrix);
- het is zeer tijdrovend (en dus kostbaar) en daarom lastig toe te passen voor grote systemen waar veel informatie benodigd is (Swann *et al.* (1995) rapporteert dat voor een gemiddelde fabriek (bestaande uit 1200 onderdelen) er ongeveer 40 bijeenkomsten van 3 uur nodig zijn om een HAZOP analyse te voltooien.);
- om effectief te zijn moeten het doel en de omvang van de studie duidelijke gedefinieerd zijn en dit is vaak lastig;
- gevaren die ontstaan als gevolg van interacties tussen nodes komen niet aan het licht;
- soms worden er door teams extra gidswoorden toegevoegd aan de methode, dit moet te allen tijd voorkomen worden, omdat het tot verwarring kan leiden en dit het sterke punt van de methode (namelijk dat alle afwijkingen beschreven kunnen worden met een standaard set aan gidswoorden) ondermijnt;
- de combinatie van een gidswoord en procesparameter kan leiden tot meerdere afwijkingen, dit is niet altijd een één-op één relatie, maar wordt wel vaak zo geïnterpreteerd;
- de volledigheid van methode is niet te garanderen;
- kwantificering is niet mogelijk (tenzij gecombineerd met een risicomatrix);
- meervoudige storingen worden niet meegenomen in de analyse;
- faalmechanismes met een gezamenlijke oorzaak worden niet erkend in de analyse.

2.4.2 Failure Mode, Effects and (Criticality) Analysis (FME(C)A)

Een FME(C)A kan gebruikt worden in de ontwerpfase om potentiële faalmechanismes in een systeem in een vroeg stadium te herkennen, maar kan ook worden gebruikt om bijvoorbeeld het onderhoudsprogramma van een installatie te verbeteren. FME(C)A lijkt qua aanpak erg op HAZOP (Bakker *et al.*, 2010).

FME(C)A is ontwikkeld in het Amerikaanse leger (USA, 1980), maar wordt tegenwoordig ook in veel andere toepassingsgebieden gebruikt, zoals: bij de productie van elektronische apparaten, de bouw van civiele projecten en ook voor drinkwaterzuiveringsinstallaties (Ahmadi, 2017; MaxGrip, 2012; Méndez-González, 2017; Sydney Water, 2010).

Een FMECA kijkt naar mogelijke faalmechanismes in een installatie of proces, naar de effecten van deze faalmechanismes, de oorzaken en hoe deze faalmechanismes te

voorkomen zijn. Een FMECA is in principe hetzelfde als een FMEA, maar heeft de "Criticality Analysis" als extra toevoeging. Door middel van deze criticality analysis kunnen mogelijke faalmechanismes geprioriteerd worden. Dit kan kwantitatief, semi-kwantitatief met behulp van een risk priority number of kwalitatief met behulp van een risicomatrix (Rausand, 2005; www.weibull.com).

Voor de kwantitatieve methode wordt verwezen naar de Military Standard 1629 A (Department of defense USA, 1980).

Het risk priority number (RPN) wordt gedefinieerd als:

$$RPN = S \times O \times D$$

Waarin:

S = Severity = Ernst van het falen

O = Occurence = waarschijnlijkheid waarmee falen optreedt

D = Detection = tijd die nodig is om falen te detecteren

De drie parameters "severity", "occurence", en "detection" kunnen elk beoordeeld worden met een getal tussen de 1 en de 10 (semi-kwantitatieve analyse). Een andere mogelijkheid is het gebruik van een risicomatrix (kwalitatieve analyse).

Een risicomatrix (Figuur 2.4) plot de potentiële faalmechanismes in een tabel met op de x-as de ernst van het faalmechanisme en op de y-as de waarschijnlijkheid van voorkomen (risico = faalkans * effect). Het spreekt voor zich dat faalmechanismes die met grote waarschijnlijkheid voorkomen en grote gevolgen hebben de hoogste prioriteit hebben wat betreft corrigerende maatregelen

Frequentie/ gevolg	1 Erg onwaarschijnlijk	2 Gering	3 Af en toe	4 Waarschijnlijk	5 Veelvuldig
Katastrofisch					
Kritisch					
Groot					
Minder erg					

	Acceptabel
	Acceptabel - overweeg extra onderzoek
	Onacceptabel - maatregelen nodig om risico te reduceren

FIGUUR 2.4 – VOORBEELD VAN EEN RISICOMATRIX (GEBASEERD OP RAUSAND (2005))

Zoals beschreven in de internationale standaard van risicobeoordelingstechnieken lijkt FME(C)A in essentie erg op HAZOP, maar ze verschillen in aanpak (IEC, 2009). Met de HAZOP methode wordt eerst gekeken naar afwijkingen van het origineel bedoelde ontwerp en vervolgens wordt gekeken welke faalmechanismes deze afwijkingen kunnen veroorzaken. In een FME(C)A analyse is het startpunt het identificeren van faalmechanismes (IEC, 2009). Een ander verschil is dat FME(C)A een (semi)kwantitatieve en HAZOP een kwalitatieve methode is.

Rausand (2005) en Bakker *et al.* (2010) noemen de volgende voordelen van een FMECA:

- het is een gestructureerde en betrouwbare methode;
- de methode is gemakkelijk aan te leren;
- de aanpak maakt het mogelijk om zeer complexe systemen te analyseren;
- het vormt bruikbare input voor kwantitatieve methoden zoals een foutenboomanalyse;

Nadelen die worden genoemd zijn (Bakker *et al.*, 2010; Rausand, 2005):

- de aanpak is niet geschikt om een combinatie van faalmechanismes in kaart te brengen;
- menselijke fouten worden in de aanpak te makkelijk over het hoofd gezien;
- een kwantificering in absolute zin is niet mogelijk (wel een prioritering);
- faalmechanismes met een gezamenlijke oorzaak worden niet erkend in analyse;
- meervoudige storingen worden niet meegenomen in de analyse.

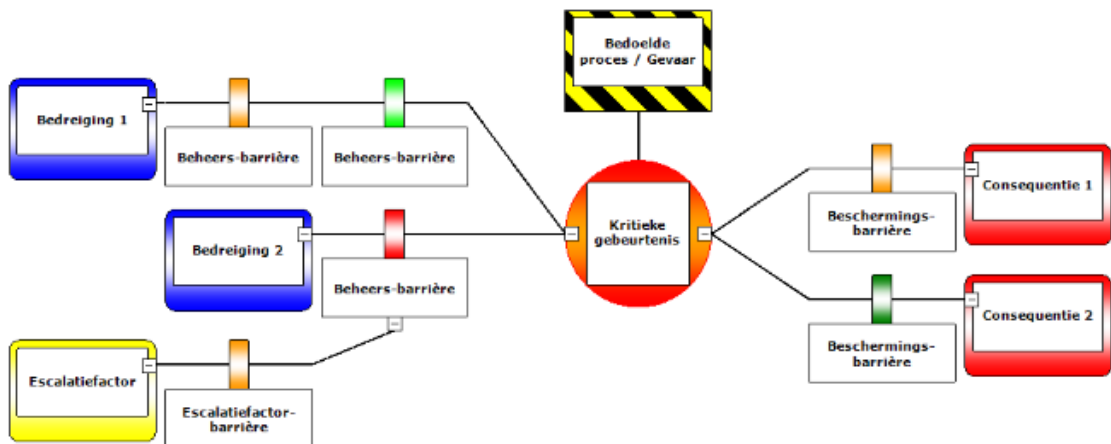
2.4.3 Vlinderdas methode (Bowtie)

De vlinderdasmethode wordt toegepast om risico's/gevaren in een installatie of proces en de hierbij behorende preventieve en risico reducerende maatregelen in kaart te brengen. In het ideale geval wordt aangetoond dat de geïdentificeerde risico's in voldoende mate worden beheerst (Lewis *et al.*, 2010).

De Bowtie is een grafische methode die het gevaar, de kritieke gebeurtenis, de bedreigingen en consequenties, en de beheers- en beschermingsbarrières overzichtelijk in één figuur weergeeft (BRWA, 2014; BowTie in de zorg, 2017). Een schematisch overzicht van de Bowtie methode wordt weergegeven in Figuur 2.5.

De vlinderdasmethode vindt zijn oorsprong in de olie-industrie (Shell), maar ook andere industrieën zoals luchtvaart, scheepvaart, chemische industrie en de zorgsector maken

tegenwoordig gebruik van deze methode (Lewis *et al.*, 2010; Bow Tie Pro Ltd, 2017; BowTie in de zorg, 2017).



FIGUUR 2.5 – SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE VLINDERDASMETHODE (BOWTIE IN DE ZORG, 2017)

Allereerst dient het *gevaar* gedefinieerd te worden. Hierna volgt de *kritieke gebeurtenis* (het midden van de vlinderdas) dat het gevaar oplevert. Vervolgens worden de *bedreigingen* geïdentificeerd die de kritieke gebeurtenis kunnen veroorzaken. Deze bedreigingen worden links van de kritieke gebeurtenis weergegeven in de vlinderdas. Vervolgens worden de *consequenties* gedefinieerd van de kritieke gebeurtenis. Deze worden rechts weergegeven van de kritieke gebeurtenis. Tenslotte worden *beheersbarrières* en *beschermingsbarrières* gedefinieerd. Beheersbarrières zijn maatregelen om te voorkomen dat bedreigingen resulteren in de kritieke gebeurtenis en bevinden zich daarom tussen de bedreigingen en de kritieke gebeurtenis. Beschermingsbarrières zijn maatregelen om de consequenties van de kritieke gebeurtenis te vermijden of in te perken. Barrières zijn natuurlijk nooit 100% effectief en dit wordt in de vlinderdasmethode aangemerkt met *escalatiefactoren*. Escalatiefactoren laten dus zien waar een barrière mogelijk zou kunnen falen. Hiervoor kunnen dan weer *escalatiefactor-barrières* worden aangemerkt.

De vlinderdasmethode kent een aantal voor- en nadelen zoals beschreven door Lewis *et al.*, (2010). De voordelen zijn:

- Het model visualiseert in één oogopslag zeer complexe systemen en dit kan de communicatie tussen de verschillende lagen in de organisatie bevorderen;
- De methode kan leiden tot een verbeterde efficiëntie in de organisatie (de vlinderdasmethode is bijvoorbeeld minder arbeidsintensief dan sommige andere risico analyse technieken, maar het kan ook leiden tot een reductie in onnodige of minder belangrijke maatregelen).

Nadelen zijn:

- Risico's zijn niet absoluut te kwantificeren;
- Relaties tussen mogelijke gevaren worden niet meegenomen in de analyse.

2.4.4 Reliability centered maintenance (RCM)

Reliability centered maintenance wordt door (Moubray, 1997) gedefinieerd als: "Een proces dat wordt gebruikt om te bepalen wat er moet gebeuren om ervoor te zorgen dat een installatie blijft doen wat haar gebruikers willen dat het doet in zijn huidige operationele

context". Met behulp van RCM kan een organisatie vaststellen wat het meest kosteneffectieve onderhoud is voor elke mogelijke storing aan een installatie (Wikipedia, 2017).

De RCM methode bestaat uit zeven basisvragen (Moubray, 1997), zoals weergegeven in Figuur 2.6. De term "functionele storing" is kenmerkend voor de RCM methodiek. Elke installatie dient een bepaalde functie te vervullen op een niveau dat acceptabel is voor de gebruiker (dit wordt ook wel het vereiste prestatieniveau genoemd). Indien deze functie niet meer vervuld kan worden op dit prestatieniveau, spreekt men van een functionele storing (Moubray, 1997).

Reliability centered maintenance heeft een preventief karakter en is in de jaren 60 ontwikkeld in de burgerluchtvaartindustrie (Mungani *et al.*, 2013). Tegenwoordig wordt RCM ook toegepast bij defensie, kerncentrales, spoorweginstallaties, (petro)chemische fabrieken en drinkwaterbedrijven (<http://www.procesverbeteren.nl>, 2017).

Allereerst worden de functies en eisen van een installatie gedefinieerd om te achterhalen op welke manieren de installatie zou kunnen falen in het vervullen van deze functie(s). Vervolgens wordt de oorzaak van een storing bepaald en daaropvolgend het gevolg van de storing. Dit gevolg wordt omschreven met behulp van waardedrijvers in onderhoud zoals beschikbaarheid, kosten, veiligheid, gezondheid en milieu en middelen. Daarnaast wordt de bedrijfseigen risico-matrix ook vaak gebruikt hiervoor. In stap 5 van de RCM methodiek wordt een prioritering aangebracht in de storingen. Tenslotte wordt gekeken wat er gedaan kan worden om een storing te voorspellen/voorkomen en wat er gedaan moet worden indien er geen geschikte proactieve taak gevonden kan worden (bijv. het ontwerp aanpassen of de storing accepteren) (Wikipedia, 2017). Vraag 3 en 4 worden uitgewerkt in een FMEA (Moubray, 1997), zie paragraaf 2.3.

Drinkwaterbedrijven gebruiken ook standaard onderhoudsstrategieën (toestandsafhankelijk onderhoud (TAO), gebruiksafhankelijk onderhoud (GAO), en storingsafhankelijk onderhoud (SAO)) om onderhoudstaken uit te voeren. Onderhoud kan preventief of curatief uitgevoerd worden. Preventief onderhoud is op te delen in gebruiksafhankelijk onderhoud en toestandsafhankelijk onderhoud. Onder curatief onderhoud valt storingsafhankelijk onderhoud. De keuze om onderhoud preventief dan wel curatief uit te voeren is afhankelijk van het type risico. Is het risico onaanvaardbaar dan zal er preventief onderhoud gepleegd moeten worden, maar is het risico wel aanvaardbaar dan kan uitgedaan worden van storingsafhankelijk onderhoud.

De RCM methodiek kent een aantal voor- en nadelen zoals beschreven door Kelly (1997), Mungani *et al.* (2013) en Vonk (2015).

De voordelen zijn:

- Kostenbesparing (het totale onderhoudswerk is minder geworden);
- Rationalisatie (omdat onderhoudstaken die niet mogelijk of onnodig zijn bij voorbaat al geschrapt worden);
- Verbetering van de installatie omdat terugkerende storingen worden geminimaliseerd en slechte onderhoudbaarheid wordt geminimaliseerd;
- Verbetering van de betrouwbaarheid en onderhoudsconcept van de installatie;
- Pro-actieve methode: ook potentiële storingen worden meegenomen.

De nadelen zijn:

- Gericht op betrouwbaarheid en niet op economische problemen;
- Resultaten zijn vaak minder snel zichtbaar dan bij bijvoorbeeld een root cause analysis (zie 2.4.8) ;



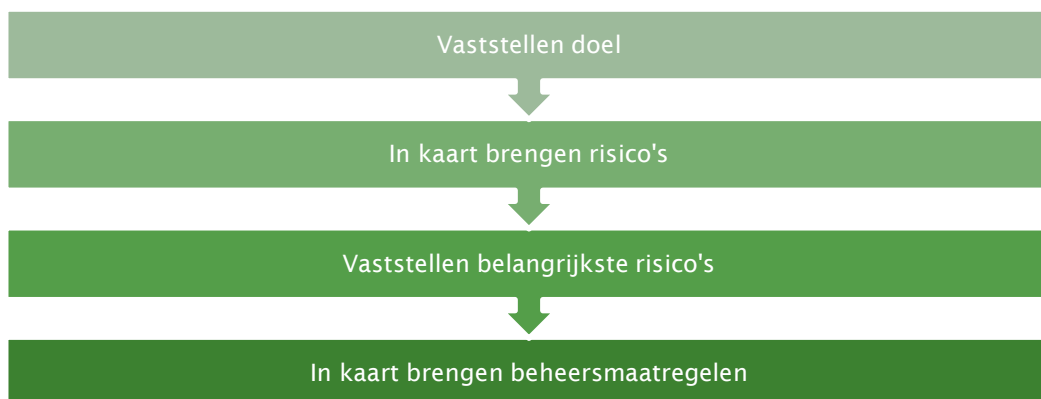
FIGUUR 2.6 – DE ZEVEN BASISVRAGEN VAN RCM

2.4.5 RISMAN

Het doel van de RISMAN methodiek (risicoanalyse) is het vergroten van het inzicht in de risico's die van belang zijn in een bepaalde organisatie of project (<http://www.riskid.nl>, 2017).

RISMAN kan worden toegepast in projecten, organisaties en programma's en wordt veel gebruikt voor risicomanagement van grote infrastructurele werken. De RISMAN methodiek is in de jaren negentig ontwikkeld door Gemeentewerken Rotterdam, ProRail, Rijkswaterstaat, Twynstra Gudde en TUDelft (<http://www.rislog.nl/risicomanagement/risman>, 2017).

De methodiek bestaat uit vier kernactiviteit weergegeven in Figuur 2.7 (www.risman.nl, 2017).



FIGUUR 2.7 – KERNACTIVITEITEN RISMAN METHODIEK (AANGEPAST VAN [WWW.RISMAN.NL](http://www.risman.nl), 2017)

Allereerst dient het doel van de RISMAN analyse te worden vastgesteld om de juiste focus en afbakening van de risicoanalyse aan te brengen. Vervolgens moeten de risico's in kaart worden gebracht en de belangrijkste risico's worden geïdentificeerd. Tenslotte moeten er beheersmaatregelen bedacht worden. Het resultaat van een RISMAN analyse is dus een lijst met risico's gerangschikt van groot naar klein met bijbehorende beheersmaatregelen. Het kiezen, implementeren en evalueren van een beheersmaatregel is dus geen onderdeel van de risicoanalyse volgens de RISMAN methodiek (<http://www.riskid.nl>).

Er bestaan twee hulpmiddelen voor de RISMAN analyse: (1) RISMAN brillen en (2) risico matrix. De RISMAN brillen helpen om de risico's vanuit diverse invalshoeken te bekijken en zo een compleet beeld te schetsen. Er worden 7 invalshoeken bekeken, namelijk: organisatorisch, financieel/economisch, politiek/bestuurlijk, technisch, juridisch/wettelijk, geografisch/ruimtelijk en maatschappelijk. De risicomatrix is eerder al toegelicht voor de FME(C)A methodiek.

De RISMAN methodiek dient herhaald te worden indien: (1) er grote veranderingen optreden in het project en (2) aan het begin van elke nieuwe projectfase (www.risman.nl, 2017).

Versteegen (2007) noemt als voordeel van de RISMAN methodiek dat het een maatschappelijk breed gedragen methode is.

2.4.6 Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP)

Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) is een risicobeoordelingstechniek die veel gebruikt wordt in de voedingsindustrie om kwaliteit en veiligheid te bewaken (Sala *et al.*, 2013).

In de jaren zestig is deze methodiek ontwikkeld door de NASA en het Amerikaanse leger omdat het onacceptabel werd geacht dat een ruimtemissie zou moeten terugkeren vanwege bedorven voedsel (Sala *et al.*, 2013). De methodiek bestaat uit zeven kernpunten die worden weergegeven in Figuur 2.8 (Sala *et al.*, 2013).

In de eerste stap vind een inventarisatie plaats van alle mogelijke risico's/gevaren in het systeem (drinkwater van bron tot kraan). Vervolgens worden kritische beheerspunten bepaald. Dit zijn punten in het systeem waar het risico beperkt of voorkomen kan worden. De volgende stap is het definiëren van kritieke grenzen per kritiek beheerspunt en bekijken hoe deze grenzen gemonitord dienen te worden. Indien een kritiek beheerspunt buiten zijn kritieke grenzen opereert, moet worden vastgesteld welke beheersmaatregelen genomen dienen te worden om de veiligheid te herstellen. Tenslotte dienen er procedures opgezet te worden die verifiëren of de HACCP methodiek effectief werkt en moeten toegepaste procedures en resultaten worden gedocumenteerd.

Mullenger *et al.* (2002) noemen onder andere de volgende voordelen:

- De methodiek heeft er toe geleid dat potentiële risico's voor de kwaliteit en levering beter kunnen worden geïdentificeerd;
- Rotatie van het personeel door de diverse HACCP sectie teams heeft geresulteerd in een kruisbestuiving van ideeën en aanpak van problemen;

Een nadeel is dat HACCP een kwalitatieve techniek is en risico's dus niet absoluut te kwantificeren zijn, tenzij HACCP wordt gecombineerd met een kwantitatieve methode (Havelaar, 1994).



FIGUUR 2.8 – DE ZEVEN STAPPEN VAN DE HACCP ANALYSE (AANGEPAST UIT (SALA *ET AL.*, 2013; WIKIPEDIA, 2017)

2.4.7 Water Safety Plan

Als sinds 2000 voeren Nederlandse drinkwaterbedrijven microbiologische risicoanalyses uit die gebaseerd zijn op wat nu wordt verstaan onder het WSP (van Lieverloo *et al.*, 2005). Het doel van een WSP is het garanderen van veilig drinkwater voor de consument (niet alleen op microbiologisch vlak, maar ook chemisch). Daarnaast dient het plan ook als verantwoording naar Inspectie Leefomgeving en Transport en laat het de consument zien dat het drinkwaterbedrijf er alles aan heeft gedaan om de veiligheid van het water te garanderen (Smeets *et al.*, 2013).

Een Water Safety Plan (waterveiligheidsplan) wordt in tegenstelling tot sommige andere risicobeoordelingstechnieken alleen toegepast bij drinkwaterbedrijven. Grootste risico's uit de WSPs kunnen als input dienen voor de verstoringsrisicoanalyse (VRA). De VRA kijkt bedrijfsbreed naar bedreigingen voor de drinkwatervoorziening op een hoger niveau dan het WSP.

In de derde editie van de "Guidelines for Drinking-Water Quality" uitgegeven door de World Health Organization in 2004 staat een beschrijving van het Water Safety Plan (WHO, 2004). Een Water Safety Plan (waterveiligheidsplan) is een inventarisatie van de belangrijkste gevaren en risico's die zich voor kunnen doen voor de gehele drinkwaterzuivering van bron tot tap. Getracht wordt deze risico's te voorkomen of te verminderen door middel van beheersmaatregelen. Hiermee is het plan dus een preventieve aanpak in tegenstelling tot de van oudsher toegepaste monitoring van het eindproduct. Deze laatste methode heeft als groot nadeel dat het drinkwater mogelijk al besmet bij de klant arriveert tegen de tijd dat dit kan worden vastgesteld (het effect heeft zich dan al voorgedaan). Het WSP is afgeleid van de HACCP methode die veel gebruikt wordt in de voedselindustrie (zie 2.7 HACCP).

Een uitgebreide beschrijving voor het uitvoeren van een WSP wordt gegeven in het "Water Safety Plan Manual" van de World Health Organization (Bartram *et al.*, 2009). Hieronder zullen slechts de belangrijkste aspecten en voor- en nadelen kort worden samengevat.

Figuur 2.9 laat de verschillende stappen zien waaruit een WSP bestaat zoals beschreven in Bartram *et al.* (2009).

Allereerst wordt er een multidisciplinair team samengesteld bestaande uit bijvoorbeeld een manager, procestechnoloog, hydroloog, distributie expert, operator, locatiebeheerder, microbioloog en toxicoloog (Smeets *et al.*, 2013). De volgende stap is een beschrijving van het watervoorzieningssysteem. Een hulpmiddel hierbij is het maken van een stroomschema (flow diagram). Ook moet hierin staan welke kwaliteit water er geleverd dient te worden en aan wie. Vervolgens dienen alle mogelijke risico's in kaart te worden gebracht. Risico's dienen geprioriteerd te worden met behulp van een risicomatrix (waarin kansen en gevolgen zijn uitgezet). Door middel van de prioritering is het mogelijk een onderscheid te maken tussen de belangrijke en minder belangrijke risico's. De grens hiervoor wordt meestal arbitrair gekozen. Voor de belangrijke risico's worden dan beheersmaatregelen voorgesteld.

De risico's dienen dan opnieuw vastgesteld te worden, met en zonder beheersmaatregel om de effectiviteit van een beheersmaatregel te bepalen. Validatie van de beheersmaatregel is eigenlijk het leveren van bewijs van de effectiviteit van zo'n maatregel. Dit kan met behulp van monitoren of bijvoorbeeld door het te onderbouwen met literatuurstudies. Resultaat van deze stap is dus ook een lijst met mogelijke risico's die niet voldoende gereduceerd of voorkomen worden.

De risico's die niet voldoende gereduceerd of voorkomen kunnen worden (met een hoge prioriteit), worden in het verbeterplan beschreven samen met nieuw bedachte maatregelen. Voor elke maatregel wordt een verantwoordelijk persoon aangewezen en een tijdsbestek gedefinieerd waarin de nieuwe maatregel moeten worden geïmplementeerd. Er dient een monitoringsprogramma opgezet te worden voor het bepalen van de effectiviteit van de beheersmaatregelen. Indien de beheersmaatregelen buiten hun operationele bereik vallen dient dit te worden aangepakt met een corrigerende actie. Tenslotte dient gecontroleerd te worden of het WSP effectief genoeg is (bijv. door middel van monitoring, interne/externe audits en klanttevredenheid).

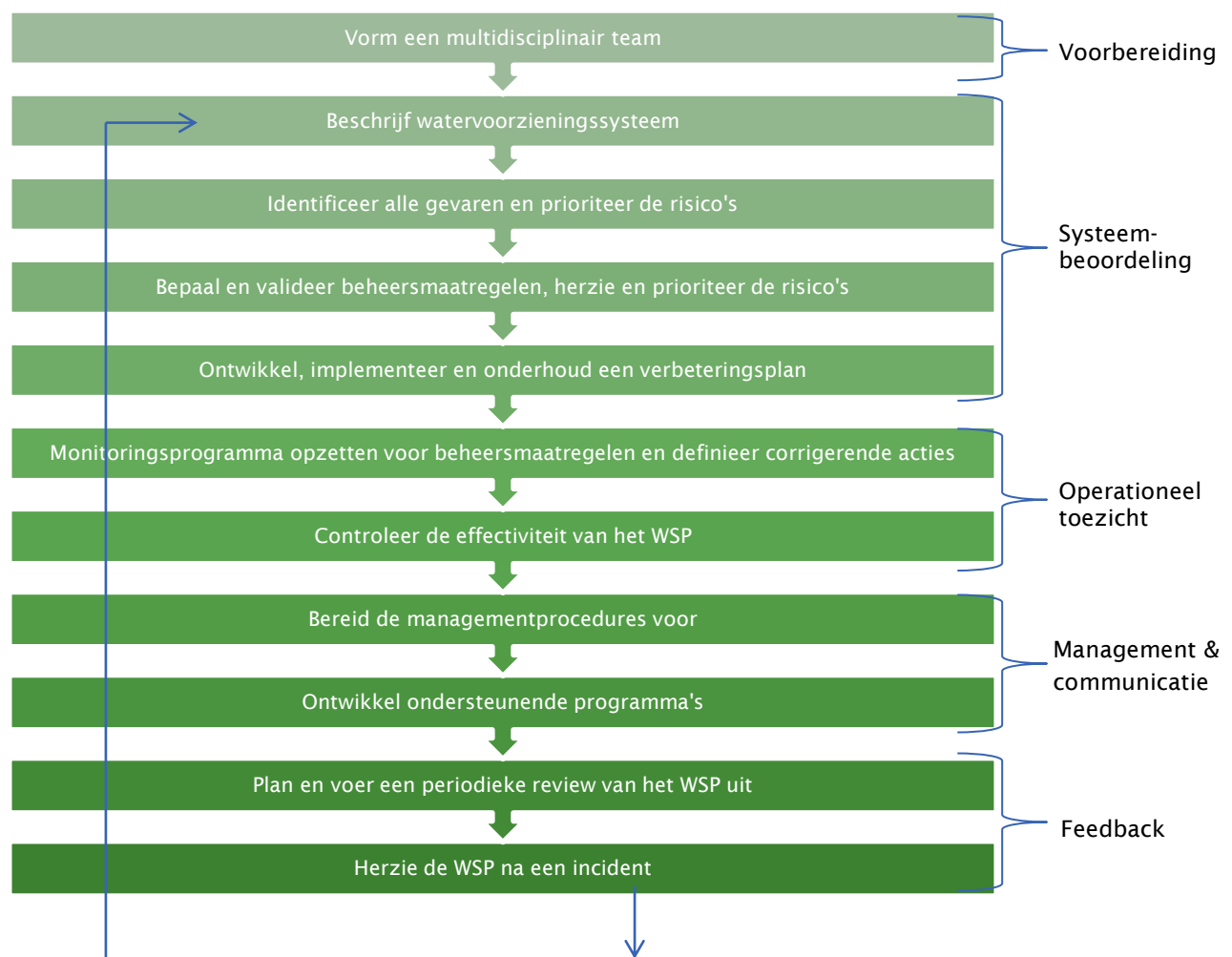
De managementprocedures (ook onderdeel van het WSP) geven een beschrijving van hoe de drinkwaterzuivering dient te werken onder normale condities en wat te doen bij een calamiteit. Ondersteunende programma's (bijvoorbeeld training personeel, maar ook onderzoeksactiviteiten) worden opgezet om ervoor te zorgen dat het WSP goed wordt ingebed in de organisatie van een drinkwaterbedrijf. Het is belangrijk het WSP up-to-date te houden en opnieuw te evalueren na het optreden van een calamiteit.

Voordelen van een WSP zijn (Davison *et al.*, 2005; van Lieverloo *et al.*, 2005; Smeets *et al.*, 2013):

- Het levert een systematische en gedetailleerde beoordeling en prioritering op van gevaren en een overzicht van de bijbehorende beheersmaatregelen voor het complete drinkwatersysteem;
- Kijkt naar zowel microbiologische als chemische aspecten;
- Het zorgt voor een georganiseerd en gestructureerd systeem waardoor de kans op falen ten gevolge van bijvoorbeeld veranderingen in of afwezigheid van het management of vergrijzing van de organisatie geminimaliseerd worden;
- Voorziet in plannen in het geval van een ramp;
- Laat aan klanten zien dat er alles aan wordt gedaan om veilig drinkwater te produceren;
- Kan leiden tot mogelijke besparingen (bijv. doordat er minder (microbiologische) analyses nodig zijn);
- Doordat er wordt uitgegaan van een preventieve aanpak komen de nadelen ten aanzien van het testen van alleen het eindproduct te vervallen;
- Vermijden van tegenstrijdige beslissingen;
- Het voorkomt dubbel werk;
- Het draagt bij aan een continue verbetering van het proces.

Mogelijke nadelen zijn dat (van Lieverloo *et al.*, 2005; Smeets *et al.*, 2013):

- het opzetten van een WSP veel tijd kost;
- het documentatiesysteem voor WSP in veel gevallen nog niet in directe verbinding staat met andere gebruikte databases waardoor veel handmatig input is vereist;
- Niet alle experts zijn nodig in elke fase van het inventariseren en scoren van risico's, dit kan leiden tot tijdverspilling van mensen;
- Soms kennis ontbreekt over kansen en effecten van bepaalde risico's.

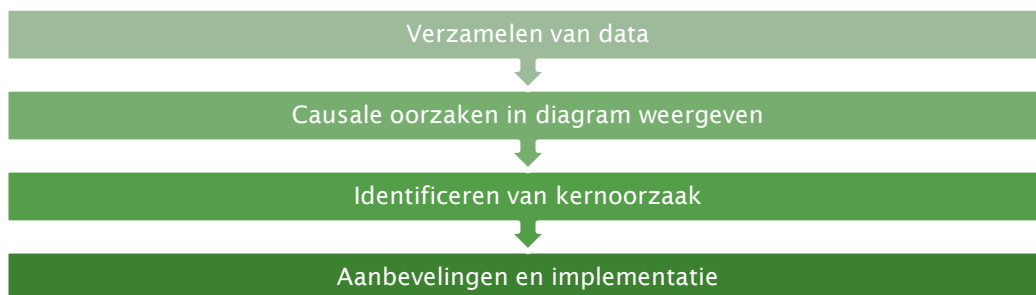


FIGUUR 2.9 – TE VOLGEN STAPPEN IN EEN WATER SAFETY PLAN (AANGEPAST UIT (BARTRAM ET AL., 2009)

2.4.8 Root cause analysis (RCA)

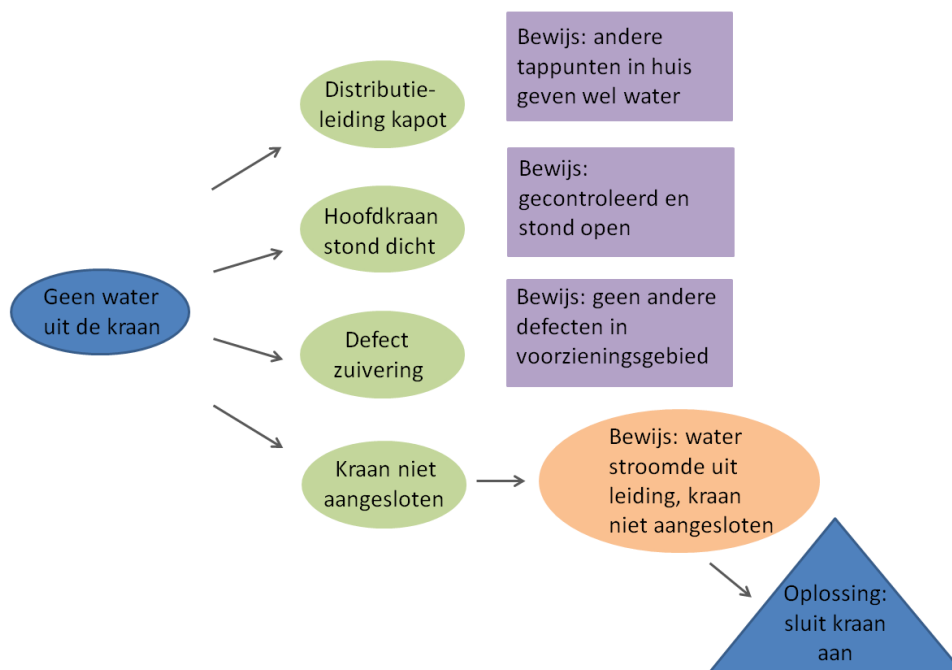
De root cause analysis is een analyse om de kernoorzaak, van een probleem, near-miss, incident of ongeluk dat al heeft plaatsgevonden, vast te stellen. Op deze manier wordt er getracht een oplossing voor dit probleem te vinden, maar tegelijkertijd ook geprobeerd om dit soort incidenten te voorkomen in de toekomst. De analyse bestaat uit vier stappen zoals beschreven door Rooney *et al.*, (2004) en weergegeven in Figuur 2.10.

De root cause analysis methode vindt zijn oorsprong in de petrochemische, nucleaire en ruimtevaart industrie, maar wordt tegenwoordig ook toegepast in de medische zorg en industrie- en dienstensector (van Hees, 2017).



FIGUUR 2.10 – DE VIER BASISSTAPPEN IN EEN ROOT CAUSE ANALYSIS (ROONEY *ET AL.*, 2004)

Op basis van de verzamelde data kunnen causale oorzaken worden aangewezen. Dit zijn oorzaken die het incident hadden kunnen voorkomen of het effect ervan significant verminderen indien zij uitgeschakeld zouden zijn (Rooney *et al.*, 2004). Wanneer de causale oorzaken bekend zijn, wordt door middel van een “root-cause-map” de kernoorzaak geïdentificeerd. Ter illustratie geeft Figuur 2.11 een voorbeeld van een root-cause-map voor het incident “geen water uit de kraan”. Vervolgens worden aanbevelingen gedaan door middel van een rapportage en worden de gevonden oplossingen geïmplementeerd.



FIGUUR 2.11 – VOORBEELD ROOT-CAUSE-MAP VOOR INCIDENT “GEEN WATER UIT DE KRAAN”

Voordelen van de root-cause-analysis zoals gepresenteerd door Conger (2011) zijn:

- maakt onderscheid tussen symptomen en kernoorzaken van het probleem;
- relatief goedkoop;
- een methode gebaseerd op feiten;
- draagt mogelijke oplossingen aan voor problemen.

Nadelen zijn (Conger, 2011; Vonk, 2015):

- vaardigheden opgedaan door deelnemers in de ene sessie zijn niet één-op-één vertaalbaar naar andere sessie;
- de methode is reactief, het incident heeft zich al voorgedaan (tenzij de near-misses met RCA worden geanalyseerd, dit resulteert al in een verbetering nog voordat het incident zich heeft voorgedaan);
- de methode biedt oplossing voor specifiek deel van het systeem.

2.4.9 Fault Tree Analysis (FTA)

Het doel van de fault tree analysis (of foutenboomanalyse) is het inventariseren van faalmechanismen die de ongewenste “top-gebeurtenis” kunnen veroorzaken (Ericson, 2000). De foutenboomanalyse is een deductieve methode (van algemeen naar specifiek) die van boven naar beneden werkt. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld FMEA een inductieve methode (van specifiek naar algemeen) waarbij van onder naar boven wordt gewerkt en alle mogelijke faalmechanismen worden geïnventariseerd (Ericson, 2000). De FTA methode kan zowel kwalitatieve als kwantitatieve informatie geven.

De foutenboomanalyse is in 1962 ontwikkeld door Bell Telephone Laboratories voor de Amerikaanse luchtmacht, maar wordt tegenwoordig ook gebruikt in de kernenergie, chemische en procesindustrie, farmaceutische industrie, en petrochemische industrie (Dillen, 2012; IAM, 2016; Wikipedia, 2017).

Allereerst wordt er een ongewenste "top-gebeurtenis" gedefinieerd. Vanuit deze "ongewenste top-gebeurtenis" wordt door middel van "EN", "OF", "inhibit", "priority AND", en "exclusive OR" poortjes gezocht naar de hoofdoorzaken voor dit falen.

Ericson (2000) en Dillen (2012) beschrijven de volgende voordelen van de foutenboomanalyse:

- het visuele karakter;
- het is makkelijk te leren en uit te voeren;
- het modelleert complexe systemen op een manier die makkelijk te begrijpen is;
- het is een waarschijnlijkheidsmodel;
- het is wetenschappelijk verantwoord;
- foutenbomen kunnen waardevol zijn zelfs als de informatie incompleet is;
- het is een bewezen techniek;
- het is minder arbeidsintensief dan bijvoorbeeld FMEA.

Nadelen zijn (Baig *et al.*, 2013; Clemens *et al.*, 1993; Dillen, 2012):

- het is vaak moeilijk de kans op een ongewenste gebeurtenis te bepalen (kennis ontbreekt);
- het deels falen van componenten wordt niet meegenomen (het onderdeel faalt of niet);
- combinaties van ongewenste topgebeurtenissen worden niet meegenomen in de analyse (wel combinaties van verschillende oorzaken).

2.4.10 Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) en Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD)

Het doel van een QMRA is het geven van een antwoord op de vraag: is het drinkwater microbiologisch veilig?

Eén van de eerste studies die Quantitative Microbial Risk Assessment voor drinkwater noemt, is gepubliceerd in 1991 (Pettersen *et al.*, 2016; Regli *et al.*, 1991). De QMRA-methode bestaat uit vier belangrijke stappen: (1) probleemformulering, (2) blootstelling beoordeling, (3) effect beoordeling en (4) risicokarakterisatie (Medema *et al.*, 2006; Pettersen *et al.*, 2016). QMRA analyses kunnen uitgevoerd worden voor bestaande drinkwaterzuiveringsinstallaties, maar ook voor nog te bouwen zuiveringen (Medema *et al.*, 2006).

Een schematische weergave van de QMRA analyse wordt weergegeven in Figuur 2.12 (Medema *et al.*, 2006). Voor een uitgebreide beschrijving van QMRA wordt verwezen naar Medema *et al.*, (2006) en Pettersen *et al.*, (2016), hieronder worden de stappen slechts beknopt toegelicht.

In de eerste stap (probleemdefinitie) wordt een beschrijving gegeven van het gehele systeem van bron tot aan de kraan. Daarnaast wordt er een set index micro-organismes gekozen (die representatief zijn voor een set van ziektes) en worden de risico's in kaart gebracht (bijv. besmetting van de bron of besmetting van water door een niet werkende disinfectiestap). In de tweede stap "exposure assessment" wordt gekeken wat de concentratie van de index micro-organismes is in het bronwater, in hoeverre deze verwijderd worden in de drinkwaterzuiveringsinstallatie, of er mogelijk herbesmetting plaatsvindt tijdens opslag en distributie en hoe veel drinkwater er geconsumeerd wordt. Op basis hiervan kan bepaald worden wat de dosis is van de index micro-organismes die een persoon binnenkrijgt. De "effect assessment" kijkt naar de relatie tussen de dosis en daarmee samenhangende

gezondheidseffecten (kans op infectie). Hiervoor zijn verschillende modellen beschikbaar. De aannames en limitaties van modellen dienen goed gekend te zijn om de verschillen in uitkomst (bij gebruik van diverse modellen) goed te kunnen interpreteren. In de laatste stap "risk characterization" zal op basis van stap 2 en 3 berekend worden hoe groot de verschillende risico's zijn. Aangezien de informatie uit stap 2 en 3 meestal niet wordt uitgedrukt in één waarde, maar in een reeks, moeten risico's ook over deze gehele reeks worden berekend. Dit wordt in een Monte Carlo analyse gedaan (CAMRA, 2017). Tevens dient er inzicht gegeven te worden in de variabiliteit en onzekerheid van deze risico's (bijv. met behulp van een gevoeligheidsanalyse).

QMRA is dus een risicobeoordelingstechniek net zoals bijvoorbeeld de risicomatrix en/of sanitaire inspecties (Pettersson *et al.*, 2016). QMRA is een kwantitatieve methode, gebaseerd op wetenschappelijk bewijs en daarmee nauwkeuriger dan de risicomatrix welke gebaseerd is op expert judgement (Pettersson *et al.*, 2016). Hoewel er in de QMRA alleen gekeken wordt naar microbiologische risico's, volgt de risicobeoordeling van chemische risico's min of meer dezelfde lijn. Voor deze laatste wordt alleen meer gebruik gemaakt van epidemiologische studies of dierproeven (indien deze onbekend zijn, wordt er gekeken naar een signaleringswaarde of threshold of toxicological concern (TTC)) om waterkwaliteitsnormen uit af te leiden. Die worden vervolgens vergeleken met de concentraties die in de bron of het drinkwater worden gedetecteerd (Medema, 2017).

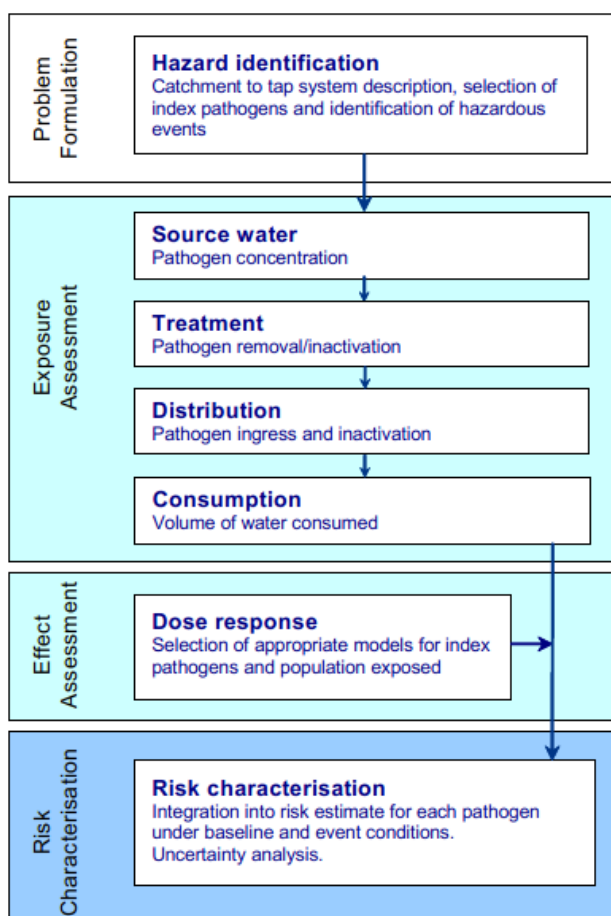
Voordelen van de QMRA zoals beschreven door Pettersson *et al.*, (2016) zijn:

- het is een transparante en objectieve methode gebaseerd op bewijs;

Nadelen zijn (Pettersson *et al.*, 2016):

- de methode vereist meer kennis en middelen dan bijvoorbeeld een risicomatrix;
- data betreffende het voorkomen van pathogenen, transport van pathogenen in het milieu en de verwijdering in drinkwaterzuiveringsprocessen is schaars.

De Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater is de Nederlandse uitwerking van de QMRA en moet aan kunnen tonen dat het infectierisico kleiner is dan 1 infectie per 10.000 personen per jaar (Smeets *et al.*, 2013). Het is een in Nederland verplichte analyse voor drinkwaterbedrijven die drinkwater produceren uit oppervlaktewater of uit bronnen die onder invloed kunnen staan van oppervlaktewater, zoals beschreven in De Roda Husman *et al.* (2005). Een uitgebreide beschrijving over hoe de AMVD exact uitgevoerd dient te worden staat gerapporteerd in De Roda Husman *et al.* (2005).

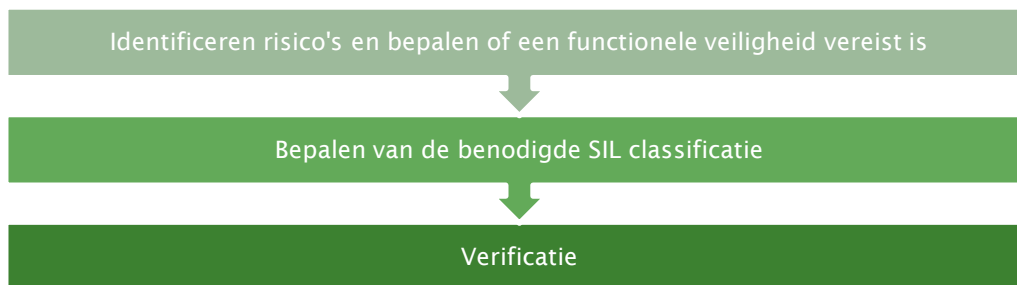


FIGUUR 2.12 – SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE VIER BASISSTAPPEN IN EEN QMRA (MEDEMA *ET AL.*, 2006)

2.4.11 Safety Integrity Level (SIL)

De betrouwbaarheid van elektrische, elektronische en programmeerbare elektronische systemen kan worden geclassificeerd door middel van een SIL niveau (meestal niveau 1 tot en met 4). Hierbij geldt dat een hoog SIL niveau (niveau 4) betekent dat de betrouwbaarheid van dit specifieke apparaat heel groot moet zijn (omdat de risico's heel groot zijn) waardoor de kans op falen dus heel klein moet zijn. Een lage SIL classificatie (niveau 1) betekent dat de betrouwbaarheid van dit systeem lager mag zijn, omdat de risico's minder groot zijn in het geval van uitval of incorrect functioneren.

De SIL methodiek wordt gebruikt in de procesindustrie, nucleaire industrie, transportsector, machine productie en in de medische sector. Er zijn drie belangrijke stappen te onderscheiden in de SIL methodiek, zie Figuur 2.13.



FIGUUR 2.13 – DE DRIE BASISSTAPPEN VAN DE SIL METHODIEK ([HTTP://WWW.DELTA-PI.NL/SAFETY-INTegrity-LEVEL-ANALYSE-SIL-ANALYSE](http://www.delta-pl.nl/safety-integrity-level-analysis-sil-analysis), 2017)

Het proces start met het identificeren van de risico's en het bepalen of een functionele veiligheid ("beschermen tegen gevaren veroorzaakt door incorrect functioneren") vereist is. Het identificeren van de risico's gebeurt meestal door het uitvoeren van een HAZOP of FMECA. In stap 2 wordt gekeken welke SIL classificatie vereist is voor de verschillende risico's. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen apparaten die meer dan 3 keer per jaar worden gebruikt en apparaten die minder dan 1 keer per jaar worden gebruikt.

Het bepalen van de juiste SIL classificatie kan door middel van een aantal methodes: (1) gemodificeerde HAZOP, (2) veiligheidslagenmatrix, (3) alleen-gevolgen methode, (4) foutenboomanalyse, (5) layer of protection analysis (LOPA), (6) risicomatrix, of (7) een risicograaf (Centre for Chemical Process Safety, 1993; Dowell III, 1998; Gulland, 2004; Instrument Society of America, 1996).

Tenslotte moet er door middel van verificatie vastgesteld worden of de genomen maatregelen (implementatie van functionele veiligheid) ook effectief zijn (wordt er aan de vereiste veiligheid voldaan?).

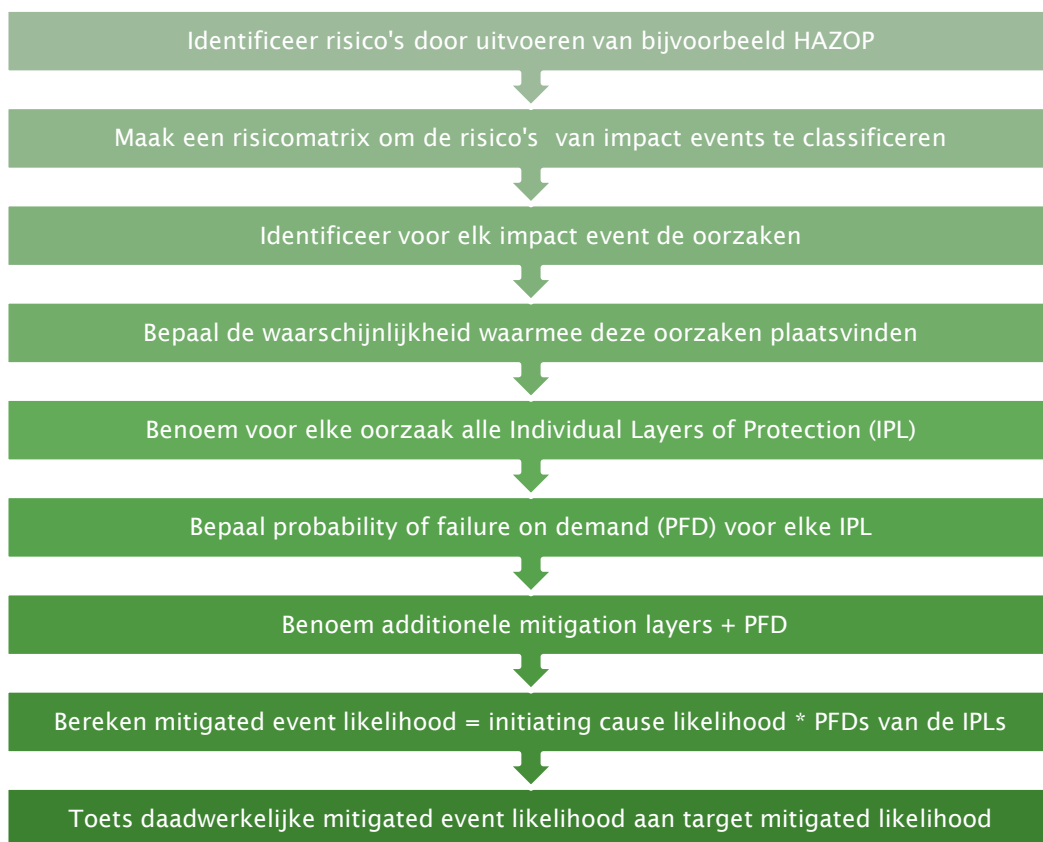
SIL kan bestaan uit vele combinaties van technieken, namelijk een methode om risico's te identificeren (bijv. HAZOP of FMECA) en een methode om de SIL classificatie te bepalen (bijv. foutenboomanalyse, LOPA of een risicomatrix). Elk van deze methodieken heeft zijn eigen voor- en nadelen. Zie daarvoor de andere secties (HAZOP = sectie 2.4.1, FME(C)A = sectie 2.4.2, foutenboomanalyse = sectie 2.4.9, LOPA = sectie 2.4.12).

2.4.12 Layer Of Protection Analysis (LOPA)

Het doel van LOPA is het aanbrengen van één of meerdere onafhankelijke veiligheidslagen (IPLs) in een systeem/proces om ervoor te zorgen dat de kans dat er zich een ongewenste gebeurtenis voordoet aanvaardbaar laag is.

LOPA is ontwikkeld in de jaren 90 in Amerika en een standaard voor deze methodiek is uitgegeven door het Center of Chemical Process Safety (CCPS) (Pietersen, 2009; Willey, 2014). LOPA wordt gebruikt door onder meer bedrijven als BP en Dow (Pietersen, 2009).

De LOPA methodiek kan onderdeel zijn van de SIL analyse (zie sectie 2.4.11). LOPA is een semi-kwantitatieve methode die zowel voor projecten als voor processen gebruikt kan worden en wordt meestal in teamverband uitgevoerd (Summers, 2003). LOPA bestaat uit een aantal basis stappen, zoals weergegeven in Figuur 2.14 (Dowell III, 1998).



FIGUUR 2.14 – DE STAPPEN VAN DE LOPA METHODIEK

De LOPA methodiek borduurt voort op een risico-inventarisatie zoals bijvoorbeeld HAZOP. Uit de HAZOP analyse volgt een risicomatrix waaruit het risico voor elke oorzaak-gevolg combinatie bepaald kan worden. De gevolgen die geïdentificeerd zijn in de HAZOP worden geclassificeerd op basis van ernst van de gevolgen (ook wel “impact events” genoemd). Voor elk “impact event” (=gebeurtenis) worden de oorzaken geïdentificeerd en de waarschijnlijkheid waarmee deze oorzaken voorkomen geschat.

Vervolgens worden individual layers of protection (IPLs) (ook wel maatregelen) benoemd voor elk impact event en wordt hiervan ook de “probability of failure on demand (PFD)” bepaald. PFD wordt gedefinieerd als de kans dat een veiligheidsfunctie (IPL) niet beschikbaar is in het geval daar aanspraak op wordt gedaan (Braband et al., 2009).

De PFD kan bepaald worden aan de hand van vergelijking 1:

$$PFD = \frac{\lambda T}{2} = \frac{T}{2 \cdot MTTF} \quad \text{Vg. 1}$$

Waarin:

PFD	=	Probability of Failure on Demand	[-]
T	=	test interval	[T]
λ	=	faalfrequentie (= aantal keer falen / totale operationele tijd)	[T ⁻¹]
MTTF	=	Mean Time To Failure (= gemiddelde tijd tot aan falen)	[T]

Daarnaast worden er ook nog additionele risico beperkende maatregelen opgesomd die de risico's weliswaar niet volledig afwenden maar wel deels kunnen reduceren. Ook van deze additionele risico beperkende maatregelen wordt de PFD bepaald.

Tenslotte wordt de kans van optreden van het scenario/gebeurtenis berekend door de waarschijnlijkheid van de 'initiating cause' (=oorzaak) te vermenigvuldigen met de PFDs van de IPLs. Indien de kans dat dit scenario optreedt kleiner is dan het acceptatiecriterium, is de taak van het beperken van de risico's volbracht. Indien de kans dat dit scenario optreedt groter is dan het acceptatiecriterium, ontstaat er een "gat". Dit "gat" is dan gelijk aan het benodigde SIL niveau (zie 2.12). In dit geval dienen er extra risico beperkende maatregelen te worden geïmplementeerd, zoals bijvoorbeeld een extra IPL of een aanpassing in het ontwerp.

Voordelen van de LOPA methodiek zijn (Basu, 2016; Gulland, 2004; Summers, 2003):

- De methodiek kan in alle fases van een project/proces gebruikt worden zoals ontwerp, beheer, en demontage;
- LOPA focust zich op scenario-gerelateerde risico's wat inhoudt dat deze methodiek veiligheidsproblemen kan identificeren die met andere kwalitatieve methodieken niet opduiken in de analyse;
- Het geeft preciezere oorzaak-gevolg relaties dan met een risicograaf of risicomatrix
- LOPA kan tegenstrijdige uitkomsten die ontstaan bij het gebruik van kwalitatieve risicoanalyses met elkaar in overeenstemming brengen;
- LOPA kan de effectiviteit van IPLs bepalen en geeft ook alternatieven. Hierdoor is een kosten/baten-analyse mogelijk van de diverse alternatieven voor het beperken van het bestudeerde risico;
- LOPA kan voor zowel een grove indicatie als preciezere analyse gebruikt worden, de methode bevindt zich tussen de kwalitatieve en kwantitatieve methodes;
- De methode houdt in de analyse rekening met de implementatie van risico beperkende maatregelen;
- De onzekerheid over het overgebleven risico kan gereduceerd worden waardoor de methode minder conservatief is;

Nadelen zijn (Basu, 2016; Gulland, 2004):

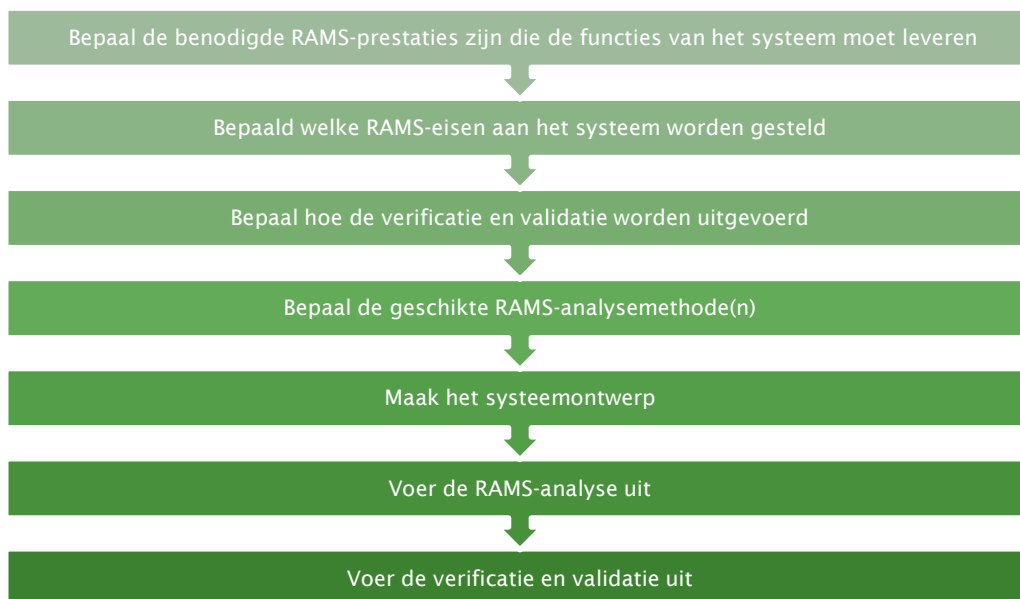
- De methode kost veel meer tijd dan bijv. een risicograaf;
- LOPA is moeilijker om uit te voeren in teams, en minder visueel dan andere methodes;

- Het is geen methode om mogelijke risico's te identificeren. LOPA bouwt juist voort op methodes die dit wel kunnen zoals HAZOP, FMECA etc.;
- LOPA kan niet altijd worden toegepast, met name lastig voor grote complexe systemen;
- Criteria voor het te tolereren risico moeten voorafgaand aan de LOPA analyse vastgesteld worden. Als deze criteria veranderen kan dit leiden tot inconsistenties;
- Getallen die gegenereerd worden in LOPA zijn niet precies in kwantitatieve termen (het is semi-kwantitatieve methode);
- Risico's gebaseerd op LOPA kunnen alleen vergeleken worden indien dezelfde methode en risicocriteria gebruikt zijn.

2.4.13 Reliability Availability Maintainability Safety (RAMS)

RAMS wordt in Nederland voornamelijk gebruikt voor grote industriële installaties en infrastructurele werken met het doel de kwaliteit (betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en veiligheid) te verhogen. Indien naast de hiervoor genoemde aspecten ook naar bijvoorbeeld gezondheid (Health), milieu (Environment) en kosten (Costs) wordt gekeken gaat het om RAMSHEC of in het geval van beveiliging (Security), gezondheid (Health), milieu (Environment) economie (Economics) en politiek (Politics) om RAMSSHEEP.

Rijkswaterstaat heeft een leidraad ontworpen voor de RAMS methodiek waarin de aanpak uitgebreid wordt beschreven (Bakker *et al.*, 2010). Kort samengevat bestaat de RAMS methodiek uit 7 hoofdstappen weergegeven in Figuur 2.15 zoals beschreven in Bakker *et al.*, (2010).



FIGUUR 2.15 – DE ZEVEN HOOFDSTAPPEN UIT DE RAMS-METHODIEK

In stap 1 wordt de prestatie die het (deel)systeem moet leveren gedefinieerd (bijvoorbeeld: het infectierisico van een productielocatie mag niet meer dan 1 infectie op 10.000 personen per jaar zijn). Vervolgens wordt in stap 2 deze prestatie vertaald naar kwalitatieve of kwantitatieve eisen. Deze eisen kunnen vastgelegd zijn in de wet of door middel van een beslisboom bepaald worden (Bakker *et al.*, 2010). Door de RAMS-invloed en RAMS-kwetsbaarheid te bepalen kan een risicomatrix worden samengesteld. De risico's met een hoge invloed en kwetsbaarheid dienen met kwantitatieve eisen beschreven te worden, terwijl

voor de risico's met lage invloed en kwetsbaarheid kwalitatieve eisen voldoende zijn (aangezien het voor deze laatste categorie minder erg is als het risico niet exact bepaald kan worden). Indien de RAMS-eisen bekend zijn, kan bepaald worden hoe de verificatie ("is het zuiveringsproces juist ontworpen en gebouwd?") en validatie ("is het juiste zuiveringsproces gebouwd?") uitgevoerd dient te worden (Bakker *et al.*, 2010). Vervolgens dient de meest geschikte RAMS-analysemethode gekozen te worden. Het gaat hierbij om kwalitatieve methodes zoals HAZOP en FME(C)A of kwantitatieve methodes zoals foutenboomanalyse of Markov-analyse. De juiste analysemethodiek wordt gekozen op basis van geldende wet- en regelgeving en indien dit niet beschikbaar is op basis van een beslismodel zoals beschreven in de Leidraad RAMS (Bakker *et al.*, 2010).

Er bestaan verschillende RAMS-analysemethoden zoals: expert judgement, FME(C)A, HAZOP en de foutenboomanalyse. Afhankelijk van de gebruikte methode gelden verschillende voor- en nadelen (zie andere secties: HAZOP = sectie 2.4.1, FME(C)A = sectie 2.4.2, foutenboomanalyse = sectie 2.4.9).

2.5 Externe initiatieven risicobeoordelingstechnieken in de drinkwaterzuivering

Naast dit BTO-onderzoek naar risico's van zuiveringsinstallaties, lopen er ook andere gezamenlijke onderzoeken van de waterbedrijven met betrekking tot risico en zuiveringsinstallaties. Samen met het RIVM is recent in het kader van risicoanalyses en risicomanagement (RA/RM) een onderzoek afgerond naar het gebruik van waterveiligheidsplannen (Water Safety Plans) door de drinkwaterbedrijven (H.H.J.L. van den Berg *et al.*, RIVM rapport 2017-0036). Hieruit volgt dat in Nederland alle stappen van het waterveiligheidsplan worden uitgevoerd. De Nederlandse waterbedrijven vullen de RA/RM activiteiten op vergelijkbare wijze in. Verschillen worden voornamelijk veroorzaakt door verschillen in drinkwaterbronnen. Aandachtspunten zijn verdere samenwerking en meer aandacht voor integraal risicomanagement in het bedrijf.

Daarnaast is door een aantal waterbedrijven (PWN, Brabant Water, Oasen en Evides Industriewater) en RHDHV een begin gemaakt met het opzetten van een gezamenlijke storingendatabase van storingen in zuiveringsinstallaties (Adaquata).

3 Beknopte beschrijving van uitkomsten interviews

3.1 Introductie

Om een beeld te krijgen van de ervaringen die drinkwaterbedrijven hebben met risicobeoordelingstechnieken en waar de (onderzoeks)behoeften liggen, zijn met 9 drinkwaterbedrijven (WML, Oasen, PWN, Vitens, Waterbedrijf Groningen, Waternet, Brabant Water, Dunea en De Watergroep) interviews gehouden. Dit hoofdstuk geeft een beknopte beschrijving van de belangrijkste uitkomsten van deze interviews. Een overzicht van de geïnterviewde personen, de gebruikte vragenlijst en een uitgebreidere rapportage van de interviews wordt gegeven in Bijlage I en II.

3.2 Relevante ontwikkelingen bij bedrijven

Op basis van de interviews zijn een aantal relevante ontwikkelingen geïdentificeerd. Zo zijn er wettelijke verplichtingen bijgekomen. Naast de leveringszekerheid, dienen nu ook een VRA (verstoringsrisicoanalyse), RI&E (Risico Inventarisatie en -Evaluatie, Arbo) en QMRA uitgevoerd te worden door de drinkwaterbedrijven. Daarnaast wordt in de maatschappij steeds meer gekeken naar risico's en hoe je deze kunt reduceren. Drinkwaterbedrijven willen mee in deze trend om risico's aantoonbaar te maken. Risicomanagement dient aan te sluiten op de bedrijfsstrategie. Daarnaast is een professionalisering gaande in het risicomanagement (denk aan ISO, documentatie, standaardisatie). Tevens is meer aandacht voor de kosten in relatie tot de risico's. Een laatste relevante ontwikkeling is de vergrijzing/afslanking bij drinkwaterbedrijven. Hierbij wordt de vraag gesteld of vergrijzing/afslanking (uittreden kennis) zou kunnen leiden tot een verandering in risico's?

3.3 Opinies over risicomanagement

Alle drinkwaterbedrijven noemen de grote verscheidenheid aan beschikbare risicobeoordelingstechnieken en het feit dat er veel overlap bestaat tussen de diverse methodieken. Een ander belangrijk punt is dat een groot deel van input voor deze methodieken subjectief is (denk aan de multidisciplinaire teams, waarbij een ander team tot een mogelijk andere uitkomst komt), maar ook lastig te kwantificeren. Tevens zijn veel van de te voorspellen situaties hypothetisch en resultaten niet te valideren. Daarnaast is het uitvoeren van een risicoanalyse vaak zeer tijdsintensief (bijvoorbeeld 26 sessies (x 4 uur met 5 personen) + voorbereiding en uitwerking (80 uren)) voor een enkel productiestation om de RCM analyse uit te voeren). Ook zijn de parameters niet of lastig te kwantificeren (uitval bijvoorbeeld wel, maar waterkwaliteit niet). Tenslotte vereist risicomanagement het denken op verschillende niveaus: uitval kan plaatsvinden op niveau van een productielocatie, installatieniveau of componentniveau; er is veel redundantie, dus storen leidt niet altijd tot uitval. Een risicobeoordelingsmethodiek houdt lang niet altijd rekening met de onderlinge samenhang tussen componenten op de verschillende niveaus. In het huidige onderzoek wordt er gekeken tot op het niveau van locatie, en dus niet op het niveau van voorzieningsgebied waarbij locaties met elkaar verbonden zijn.

3.4 Visie op kosten en risico's in de organisatie

De visie op kosten en risico's in de organisatie kunnen zeer uiteen lopen voor bijvoorbeeld de mensen op de werkvloer en de directie. In het extreme geval: daar waar de directie het moeilijk vindt om grip te krijgen op de bedrijfsvoering en kosten ("werkvloer houdt kennis

bij zich en werpt problemen op”), is de werkvloer van mening dat een kostenverlaging leidt tot onaanvaardbare risico's (“is risicomangement een manier van de directie om te bezuinigen?”). Om deze visies meer op een lijn te krijgen zou er betere en duidelijke communicatie binnen de organisatie moeten plaatsvinden en zou het beleid breed uitgedragen moeten worden. Dit vereist ook een “cultuurverandering” naar meer risicodenken in de organisatie. Bedrijven merken dat dit steeds meer het geval is, dit proces gaat echter langzaam.

3.5 Zijn risicomethodieken goed genoeg?

Belangrijke aspecten/vragen die genoemd zijn in de interviews zijn:

- Omvat een risicobenadering de relevante aspecten om een kostenbesparing te onderbouwen? (maintainability, duur van uitval, impact van redundantie, relatie storingen en beschikbaarheid, beschrijven waterkwaliteit).;
- Het is onmogelijk alle (combinaties van) ongewenste gebeurtenissen te voorspellen (unknowns unknowns);
- Zijn risico's afdoende te begrijpen, te modelleren en kwantificeren?
- Hoe kan een organisatie de bedrijfswaarden vertalen in drempelwaarden? (Wat is groen of rood in de matrix? Hoe dienen verschillende aspecten gewogen te worden? Hoe zijn de verschillende aspecten in de risicomatrix te vergelijken?)
- Hoe stem je een bottom-up aanpak (zoals de RCM methodiek) af op een top-down aanpak (zoals de VRA) en pas je het toe in het assetmanagementbeleid?
- Is een risicoanalyse voldoende betrouwbaar om ontwerp/onderhoudsregels aan te passen?

3.6 De menselijke factor

Een belangrijk aspect dat in bijna elk interview terugkwam was de menselijke factor. Deze menselijke factor leidt tot subjectiviteit in de uitkomst van een risicobeoordelingsmethodiek. Gebruik maken van expert judgement is noodzakelijk voor een aantal aspecten zoals: schematiseren zuiveringsstation, methodiek van risicoproces, input van scenario's en drempelwaarden, interpretatie van data (faalfrequenties, kosten, etc.), validatie van resultaten, en impact van maatregelen. Grote vragen die hier een rol spelen zijn: (1) hoe waarborg je de kwaliteit van inputdata?, (2) hoe motiveer je mensen blijvend goed te registreren?, (3) hoe te documenteren voor vervolgactie?, (4) is uniforme begripsvorming mogelijk? (wanneer is pakking defect?: als deze zweet of als er water uitspuist?). Mogelijke oplossingen voor het (deels) reduceren van de subjectiviteit zijn bijvoorbeeld: het gebruiken van een ervaren moderator, interviewtechnieken, checklists, of standaardisatie.

3.7 Verzamelen data over storingen/uitval

Drinkwaterbedrijven verzamelen onderhoud- en storingsdata, maar momenteel worden deze nog niet gebruikt als input voor de risicobeoordelingstechnieken. Registreren van onderhoud- en storingsdata op een uniforme wijze, zodanig dat het gebruikt kan worden voor het genereren van kennisregels is moeilijk. Er loopt momenteel wel een initiatief omtrent dit onderwerp, namelijk Adaquata. Dit is een initiatief van RHDHV voor onder andere PWN, Brabant Water, Oasen en Evides Industriewater. Het doel van dit initiatief is te komen tot standaard MTBF (mean time between failure) voor standaard componenten in de zuivering op basis van storingsdata van pompstations.

3.8 Behoeftes van drinkwaterbedrijven

Veel genoemde behoeftes die genoemd zijn in de diverse interviews zijn:

- Hoe omgaan met verschillende beschikbare risicobeoordelingsmethodieken?

- Welke kennisregels kunnen uit de faaldata gehaald worden? Op welke manier moet dit geregistreerd worden om goede uitkomsten te krijgen?
- Hoe de verschillende niveaus (pompstation/installatie/component, top-down versus bottom-up, integrale aanpak) te verbinden?
- Wat is het verband tussen beschikbaarheid en leveringszekerheid?
- Hoe om te gaan de menselijke factor? (bijvoorbeeld objectiveren met behulp van faaldata?)
- Wat kunnen we leren van de toegepaste risicobehoordelingsmethodieken? Hoe kunnen we de resultaten veralgemeniseren voor andere productielokaties?
- Wat is de relatie tussen onderhoud, risico en kosten (life-cycle costs)?

3.9 Workshop

Tijdens een workshop met de waterbedrijven in november 2016 (voor het verslag zie Bijlage III) is met elkaar een keuze gemaakt hoe de uitwerking in de voorbeeldzuiveringen in te vullen (zie Hoofdstuk 4).

4 Gebruik van toegepaste risicomethodieken

4.1 Inleiding

Aan de hand van drie voorbeeldzuiveringen met vergelijkbare zuiveringsprocessen is onderzocht in hoeverre de gebruikte risicomethodieken vertaalbaar zijn naar andere locaties. De onderzochte locaties zijn Susteren (WML), La Cabine (Vitens) en Bergambacht (Dunea). Voor deze locaties zijn respectievelijk een FMECA, RCM of FTA reeds uitgevoerd. Op basis van deze analyses is het onderhoudsprogramma vastgesteld of aangepast. In het onderzoek is bekeken welke aspecten van de analyses zelf en analyseresultaten gebruikt kunnen worden voor de andere locaties (uitwisselbaarheid). Hierbij is per methodiek een overzicht gemaakt van benodigde onderdelen (gegevens en variabelen). Daarbij is het interessant om te onderzoeken in welke mate de toepassing van de risicomethodiek tot andere onderhoudsregels leidt. Een extra vraag is daarbij hoe aanvullend de technieken zijn ten opzichte van elkaar?. Als een FMECA reeds is uitgevoerd, hoeveel moeite kost het dan om op dezelfde productielocatie een RCM of FTA uit te voeren? Daarnaast is onderzocht of voor de uitgewerkte voorbeelden op basis van beschikbare input en resultaten een relatie gelegd kan worden tussen onderhoud, risico en kosten (over de levenscyclus).

4.2 Uitwerking drie voorbeeldzuiveringen

In Tabel 4.1 staan per beschouwde locatie de bron en zuiveringsstappen. Voor de locatie van WML en Vitens is de bron grondwater en worden dezelfde zuiveringsprocessen gebruikt. Bij Dunea is de bron oppervlaktewater en gaat het om een voorzuivering, die net zoals bij WML en Vitens een snelfiltratiestap bevat.

TABEL 4.1 OVERZICHT ZUIVERINGSLOKATIES VOOR DE DRIE BEDRIJVEN

	WML	Vitens	Dunea
Locatie	Susteren	La Cabine	Bergambacht
Bron	Grondwater	Grondwater	Oppervlakte water
(Zuiverings)processen	Winning - filters (voor en na) - reinwaterkelder - hoge druk pompen	Winning - filters - reinwaterkelder - hoge druk pompen	Winning - transport - snelfilters - transport naar duinen

4.2.1 Niveaus

Componenten zijn losse assets in de zuivering, zoals een pomp of leiding, welke allemaal gekenmerkt zijn in de P&ID's (piping and instrumentation diagram). Dit is het laagste niveau waarop de risicoanalyses worden uitgevoerd. Een specifieke zuiveringsinstallatie bestaat uit meerdere componenten. Een productielocatie bestaat uit meerdere zuiveringsinstallaties parallel (zelfde zuiveringsproces) en in serie (van hetzelfde zuiveringsproces of verschillende zuiveringsprocessen achter elkaar), zie hoofdstuk 0. In een voorzieningsgebied kunnen meerdere productielocaties staan, die in sommige gevallen de waterlevering van elkaar kunnen overnemen.

4.2.2 Methodieken

Zowel WML als Vitens heeft RCM toegepast (FMECA is een onderdeel van RCM). Bij Dunea is er specifiek gekeken naar een foutenboomanalyse (FTA). De foutenboom maakt onderdeel uit van een betrouwbaarheidsanalyse (de RA van de RAMS). Voorafgaand aan de foutenboom is bij Dunea ook een RCM-light (De eerste 4-5 stappen van RCM, zonder de optimalisatiestappen) uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn weer gebruikt in de foutenboom. De doelen voor het uitvoeren van de methodieken zijn voor Vitens en WML erg gelijk: inzichtelijk maken van potentiële risico's (voor alle groepen van de risicomatrix) en onderhoudsregels beoordelen of verbeteren. Daarnaast wil men ook om meer risico-denken in de organisatie introduceren en meer sturen op de prestaties, risico's en kosten (PRK). Het gaat hier om risico's die samenhangen met de eigen bedrijfsvoering, geen externe risico's die een waterbedrijf zelf niet in de hand heeft (zoals het neerstorten van een vliegtuig). Dunea gebruikt de foutenboom met name om de betrouwbaarheid inzichtelijk te maken en het groot onderhoud te plannen (inclusief kosten en risico's). Onder groot onderhoud verstaat Dunea aanpassingen aan componenten om de levensduur te verlengen. Het groot onderhoud wordt maximaal twee keer over de levensduur uitgevoerd voordat overgegaan wordt op vervanging.

Bij WML is de methode uitgewerkt in Powersuite, een softwarepakket dat speciaal ontwikkeld is voor RCM en FMECA. Vitens en Dunea hebben de analyses uitgewerkt in Excel. De inspanning die nodig is om de methodiek uit te voeren is groot: er is een groot aantal sessies nodig met meerdere experts om alle assets langs te lopen. Bij Vitens is de inspanning lager dan bij WML, omdat een deel van de componenten is meegenomen (voornamelijk primaire assets voor het produceren van water).

TABEL 4.2 OVERZICHT GEBRUIKTE METHODIEKEN

Methodieken	WML FMECA	Vitens RCM	Dunea FTA
Doel	RCM, niet officieel al deze punten Potentiele risico's inzichtelijk maken; beoordelen effectiviteit/kwaliteit onderhoudsregels; risico-denken introduceren in de organisatie	Potentiele risico's inzichtelijk maken; onderhoudsregels beoordelen/aanpassen; sturen op PRK	Betrouwbaarheidsanalyse RA (MS) Betrouwbaarheid inzichtelijk maken; Groot onderhoud plannen binnen aanvaardbare risico's (beschikbaarheid) en kostenplanning in beeld
Software	Powersuite	Uitgewerkt in Excel	Uitgewerkt in Excel
Inspanning	26 sessies (x4 uur met 5 personen) + voorbereiding, uitwerking (80 uren)	13 sessies (x4 uur met 7 personen) + voorbereiding, uitwerking (86 uren)	

4.2.3 Risicomatrix

In de RCM methodiek wordt gebruik gemaakt van de risicomatrix. De basis hiervan is de risicomatrix op bedrijfsniveau. Bij alle drie de bedrijven zijn de onderdelen van de risicomatrix vergelijkbaar: kwaliteit, kwantiteit, veiligheid, financiën, reputatie/imago, milieu.

Bij Vitens zijn deze onderdelen nog verder onderverdeeld. Bij WML is de risicomatrix op de aspecten kwantiteit en financiën vertaald van bedrijfsniveau naar operationele waarden op niveau van de productielocatie (dit komt neer op het delen door een factor 20). Bij Vitens is het idee om in de toekomst meer vanuit een risicoprofiel van een productielocatie te denken en hiervoor prestatie-eisen op te stellen. Dit vraagt echter om een doorvertaling van de prestatie-eis van de productielocatie naar componentniveau.

4.2.4 Uitvoering van methodiek en decompositieniveau

De werkwijze bij Dunea is anders dan die bij Vitens en WML, omdat de methodiek verschilt. Alle bedrijven werken met componenten, waarvan de decompositie op het hetzelfde niveau is uitgevoerd, namelijk die van de P&ID's. Er zit wel verschil in de componenten die worden meegenomen, zo beperkt Vitens zich alleen tot de componenten die primair betrokken zijn bij de waterproductie. Hierdoor heeft Vitens rond de 100 componenten (waarbij de parallelle componenten slechts 1 keer zijn geteld), terwijl WML boven de 1000 componenten heeft (waarbij de parallelle componenten elk afzonderlijk zijn meegeteld). Dunea zit ook rond de 100 componenten. Het aantal faaloorzaken is een factor 1.5-2 hoger dan het aantal componenten, omdat sommige componenten meerdere faaloorzaken kunnen hebben. Vaak worden componenten op het gebied van bouwkunde of procesautomatisering niet meegenomen.

Bij Dunea wordt per component de verwachte beschikbaarheid berekend op basis van de leeftijd, levensduur, faalfrequentie, conditie (volgens NEN 2767) en reparatietijd (MTTR). Vervolgens worden de componenten in de foutenboom met elkaar gecombineerd om de beschikbaarheid van het hele systeem te bepalen. Bij Vitens en WML blijft de analyse op componentniveau. Voor ieder component wordt de prestatie, faaloorzaak, kans op falen (optreden van storingsen), en de effecten die optreden bij falen bepaald. De prestatie kan bijvoorbeeld het behalen van een bepaalde capaciteit van een pomp zijn. Veel componenten hebben een wel/niet prestatie: de component werkt wel of niet. Het ophalen van de prestatie binnen de organisatie vraagt bij alle bedrijven wel om een inspanning, omdat dit bijvoorbeeld vastgelegd is in oude documenten. Nadat per component een risico is ingeschat, worden maatregelen opgesteld om falen te verminderen: afhankelijk van het risico is dit een bepaald onderhoudsprogramma (storingsafhankelijk onderhoud – SAO, gebruiksaafhankelijk onderhoud – GAO, toestandsafhankelijk onderhoud – TAO, wettelijk verplicht onderhoud – W&R, uitvoeren van testen – FT, of herontwerp). Bij WML wordt voor iedere faaloorzaak het effect aan de hand van de 5 onderdelen van de risicomatrix gescoord, waarvan vervolgens een gewogen gemiddelde score wordt berekend. Op deze manier kunnen de faaloorzaken onderling vergeleken worden en geprioriteerd. Vitens doet dit niet, maar deelt de gevolgen van falen in verschillende categorieën in: heimelijk falen, veiligheid & milieu, bedrijfsgevolgen (kwaliteit en kwantiteit) en niet-bedrijfsgevolgen. Alleen voor de gekozen categorie wordt dan een risico ingeschat. In sommige gevallen zijn de gevolgen uitgedrukt in een OLM, in andere gevallen zijn ze meer kwalitatief. Voor de betrouwbaarheidsanalyse bij Dunea worden de resultaten van een eerder uitgevoerde RCM gebruikt om het type onderhoud te bepalen, dit bepaalt namelijk ook de faalfrequentie en conditie. Daarnaast wordt het gevolg van falen uitgedrukt in reparatietijd, wat gebruikt wordt in de beschikbaarheidsberekening.

Bij de analyse is bij alle bedrijven uitgegaan van een max-dag situatie. Dit geeft een bovengrens aan de risico's, omdat falen vaak niet op een max-dag optreedt. Bij Dunea zijn er ook studies uitgevoerd naar het verband tussen beschikbaarheid en benodigde capaciteit (bijv. bij 60%, 80% van max-dag).

De kosten zijn teruggerekend naar gemiddelde jaarlijkse kosten.

4.2.5 Benodigde gegevens

Tabel 4.3 geeft een overzicht van de benodigde gegevens. Voor de drie methodieken zijn veel dezelfde basisgegevens nodig. Voor de RCM methodiek is de conditie, leeftijd en levensduur niet nodig. In eerste instantie heeft Vitens deze t.b.v. de RCM methode ook niet meegenomen, in een zelfde analyse op een andere locatie doen ze dit momenteel wel. De MTBF intervallen zijn wel gebruikt, maar dan ingeschat op basis van expert judgement. Voor de foutenboom zijn de faaloorzaken van individuele componenten niet nodig, net zoals acties om falen te voorkomen. Dit gebruikt Dunea overigens wel in het periodieke onderhoudsmodel. De risicomatrix is ook niet nodig voor de foutenboomanalyse.

TABEL 4.3 OVERZICHT BENODIGDE GEGEVENS PER METHODIEK GEBRUIKT BIJ DE DRIE BEDRIJVEN

	WML (RCM)	Vitens (RCM)	Dunea (FTA)
Decompositie	✓	✓	✓
Risicomatrix (vertaald naar operationele waarden)	✓	✓ bedrijfswaarde-matrix	✗
Benodigde prestaties van componenten	✓	✓	✓
MTBF intervallen van componenten geschat	✓	✓	✓ theoretische op basis van conditieverloop vgl. NEN2767
MTBF intervallen van componenten op basis van faaldata	✗ (nice to have)	✗	✗
Conditie van componenten	✗ (nice to have), ✓ in de toekomst	✗ niet meegenomen, later wel	✓ op basis van NEN2767 (inspectie/verouderingskromme)
Faalkansen	✓	✓	✓ theoretische op basis van conditie
Leeftijd en levensduur van componenten	✗ (nice to have)	✓ later wel (theoretische levensduur)	✓ theoretische levensduur
Faaloorzaken	✓	✓	✗
Gevolg van falen (per functieplaats)	✓	✓	✓
Kosten van onderdelen (materieel, uren), onderhoudskosten, inspectiekosten	✓	✓	✓
MTTR van componenten	✓	✓	✓
Onderscheid type onderhoud (SAO, GAO, TAO, testen, inspecties, herontwerp, etc.)	✓	✓	✓

4.2.6 Gebruik faalgegevens

Geen van de bedrijven maakt gebruik van faalgegevens (registratie van storingen) om een nauwkeurigere inschatting te krijgen van bijvoorbeeld de MTBF (mean time between failure).

Deze zijn nu ingeschat op basis van expert judgement. Echter, de kwaliteit en de kwantiteit van de data en de analyse hiervan is onvoldoende om hier betrouwbaar MTBF's uit te krijgen.

4.2.7 Redundantie

In de zuivering is meestal veel redundantie ingebouwd. Het effect hiervan wordt in de foutenboomanalyse volledig doorgerekend. In de RCM uitgevoerd door WML en Vitens is hier rekening mee gehouden door het risico van redundante componenten op nul te zetten. Als er bijvoorbeeld 4 componenten parallel lopen en er maar 3 nodig zijn om de maximale capaciteit te halen, is het risico op het onderdeel kwantiteit nul, waarbij dan wel rekening wordt gehouden met effecten zoals spoelen van de filters.

4.2.8 Benodigde vaardigheden en kennis

Voor de toepassing van de methodieken is in het algemeen kennis van reliability engineering en onderhoudsconcepten nodig. Een facilitator met kennis van de methodiek is nodig om de groepsessies voor te bereiden en te leiden. Daarnaast is er onder meer expertkennis nodig over de werking van de installaties, het proces, redundantie, faaloorzaken en faalkansen, conditie van de assets, buffertijd (hoe lang kan een station nog leveren bij uitval), reparatiekosten, inzicht in spareparts en levertijden. Daarnaast noemt Vitens nog specifiek gewenste vaardigheden (die nu nog niet zijn gebruikt): databewerking voor optimalisatie van onderhoud en kennis van het voorzieningsgebied (om het geheel te overzien).

4.2.9 Beperkingen

Een overzicht van de beperkingen van de methoden staan in Tabel 4.4.

TABEL 4.4 OVERZICHT MET BEPERKINGEN PER METHODIEK ZOALS GEBRUIKT BIJ DE BEDRIJVEN

WML (RCM)	Vitens (RCM)	Dunea (FTA)
- Falen gebeurt meestal niet op de max-dag - Risicocategorieën worden niet allen financieel uitgedrukt	- Doorrekening naar kosten? Dit wordt in de toekomst beter meegenomen - Geen gebruik gemaakt van risicocategorieën. Dit is later wel gedaan. - Subjectiviteiten om MTBF's te bepalen (geen data voorhanden om dit te bepalen) - Optimalisatie zonder goede data niet mogelijk - Rol van productiebedrijf in het voorzieningsgebied - Conditie van de asset is niet meegenomen, later wel	- Er wordt geen rekening gehouden met capaciteit per installatie - Inschatting conditie, faalfrequentie is moeilijk. - Kosten moeilijk in beeld te krijgen (nu vervangingskosten, kosten groot onderhoud) - Niet alles in beeld (PA, energievoorziening) - Waterkwaliteit wordt niet meegenomen

4.2.10 Subjectiviteiten

De bedrijven onderkennen dat de methodieken veel subjectiviteiten bevatten. De belangrijkste zijn: inschatting van de MTBF's, faaloorzaken, kans op falen, inschatting van de faaleffecten, gevolgen per risicomatrix-groep, reparatiekosten. Voor WML geldt ook nog de manier waarop de risicogetallen per risicogroep worden gecombineerd. Gebruik maken van normen zoals de NEN 2767 en gestandaardiseerde regels kan een aantal subjectiviteiten worden verminderd (al blijven de keuzes voor de standaardisatie ook weer subjectief). Dunea heeft geprobeerd subjectiviteiten te verminderen door met een groep van 6 man onderhoudscategorieën te maken, en vervolgens door verschillende mensen voor eenzelfde

categorie een programma te laten maken volgens een vast schema en dit onderling te vergelijken.

4.2.11 Onderhoudsregels

Alle bedrijven hebben a.h.v. het risico uit de RCM het type onderhoud bepaald: SAO, GAO, TAO, testen (FT), W&R. De onderhoudsregels volgens uit de RCM zijn anders dan de standaard onderhoudsregels die gehanteerd werden. Uit de FTA volgen geen onderhoudsregels.

4.2.12 Relatie onderhoud/risico/kosten en doorvertaling naar levensduur

WML heeft de kosten van drie soorten onderhoudsprogramma's doorgerekend: weinig onderhoud, onderhoud zoals het nu gebeurt en optimaal onderhoud volgens RCM. Hierin zijn ook risicokosten meegenomen. De risicokosten betreft hier de kosten om gefaalde componenten te vervangen, niet de doorvertaling van de andere risicogroepen uit de risicomatrix naar kosten. Het onderdeel vervanging vormt het grootste gedeelte van de kostenpost. Optimalisatie van het onderhoudsprogramma verlaagt de jaarlijkse onderhoudskosten, maar op de totale kosten is dit bedrag vrij beperkt.

Vitens heeft gekeken naar kostenbesparing door het aanpassen van het standaard onderhoudsprogramma naar een programma volgens uit de RCM. Dit leidt tot lagere onderhoudskosten. De terugverdientijd ten opzichte van het uitvoeren van de RCM analyse komt hiermee op 4-5 jaar. Het vergroten of verkleinen van de risico's en gevolgkosten van de risico's zijn hierin niet meegenomen.

Dunea berekent de betrouwbaarheid (risico op aspect levering), dit wordt niet doorvertaald naar kosten. Een belangrijke vraag hierbij voor Dunea is ook: welke kosten neem je precies mee?

Een volledige afweging van de PRK (prestatie-risico-kosten) wordt op dit niveau door de bedrijven niet gedaan.

WML en Vitens hebben de methodiek niet doorvertaald naar de levensduur van de assets (veranderen van levensduur als gevolg van onderhoudsprogramma). Bij Dunea is de methodiek gebruikt voor het plannen van groot onderhoud. Hier wordt rekening gehouden met levensduur (afname van de conditie over de tijd en het verlengen van de levensduur door twee momenten van groot onderhoud te plannen). Op deze manier kunnen kosten en beschikbaarheid gedurende de levensduur bepaald worden.

4.3 Uitwisselbaarheid

Er is onderzocht in welke mate de gebruikte gegevens uitwisselbaar zijn tussen locaties en/of methodieken. Dit is van belang omdat de methodieken erg tijdrovend kunnen zijn, en door gebruik te maken van de uitwisselbaarheid van gegevens kunnen de methodes sneller uitgevoerd worden en kan de subjectiviteit verlaagd worden. Er is gekeken naar twee soorten uitwisselbaarheid:

1. Uitwisselbaarheid van gegevens van dezelfde locatie naar een andere methode.

De benodigde basisgegevens voor de RCM en FTA zijn grotendeels gelijk. Met de gegevens die gebruikt zijn voor de RCM kan ook een FTA worden uitgevoerd. Alleen het systeem (onderlinge verbanden tussen de componenten) moet dan nog ingevoerd worden in een rekenprogramma om een FTA uit te voeren. De inschatting is dat de meeste tijd benodigd is

om de gegevens op componentniveau te verkrijgen, welke al bekend zijn als er eerder al een RCM is uitgevoerd. De uitbreiding naar een FTA kost daarmee relatief weinig inspanning.

Daarnaast kunnen de resultaten van een RCM en FTA gekoppeld worden voor dezelfde locatie. Het type onderhoud dat volgt uit de RCM wordt al gebruikt in de foutenboom om de faalkansen te bepalen. Omgekeerd kunnen de resultaten van de foutenboom weer gebruikt worden om een betere inschatting van de risico's in de RCM te maken: zo kan het effect van het falen van een component op de beschikbaarheid van een productielocatie bepaald worden. De beschikbaarheid is een risicoscore op het niet leveren.

2. Uitwisselbaarheid van gegevens van een methode naar een andere locatie binnen of buiten het bedrijf.

De vraag die hierbij speelt is in welke mate de gebruikte gegevens van componenten (faalkansen, faaloorzaken, effecten, gevolgen, etc.) generiek zijn. Dit zal ten dele het geval zijn, echter er zullen ook altijd locatie specifieke elementen in zitten. Tabel 4.5 geeft hiervan een overzicht. Uiteindelijk zal er nog steeds een flinke inspanning nodig zijn om dezelfde methode op een andere locatie toe te passen, maar de inspanning zal niet lineair verlopen met het aantal locaties/componenten omdat bepaalde generieke zaken overgenomen kunnen worden. Daarnaast kan door het generiek maken van zaken de subjectiviteit worden verlaagd.

TABEL 4.5 OVERZICHT VAN UITWISSELBAARHEID VAN DE GEBRUIKTE GEGEVENS IN DE METHODIEKEN

Benodigde gegevens	Generiek te maken (locatie-onafhankelijk) voor dezelfde componenten	
Decompositie		Dit bepaalt de te beschouwen componenten voor een locatie
Risicomatrix (vertaald naar operationele waarden)		
Benodigde prestaties van componenten	 	Wel voor componenten met prestaties wel/niet
MTBF intervallen van componenten geschat	 	Ten dele, kan afhangen van gebruik en belasting (bijv. waterkwaliteit)
MTBF intervallen van componenten op basis van faaldata	 	Ten dele, kan afhangen van gebruik en belasting (bijv. waterkwaliteit)
Conditie van componenten		Zal per locatie verschillen, conditiebepaling kan wel generiek zijn
Faalkansen	 	Ten dele, kan afhangen van gebruik en belasting (bijv. waterkwaliteit)
Leeftijd en levensduur van componenten	 	Ten dele, kan afhangen van gebruik en belasting (bijv. waterkwaliteit)
Faaloorzaken	 	Dit zal voor een deel generiek zijn, maar kan ook afhangen van locatiespecifieke kenmerken.
Gevolg van falen (per functieplaats)		
Kosten van onderdelen (materieel, uren), onderhoudskosten, inspectiekosten		
MTTR van componenten	 	Zal afhangen van beschikbare reserve-onderdelen, of onderhoud uitbesteed wordt.
Onderscheid type onderhoud (SAO, GAO, TAO, testen, inspecties, herontwerp, etc.)		Dit zal afhangen van het uiteindelijke risico van een component, kan verschillen per locatie.

4.4 Uitwerking van reinwaterpompen

De onderhoudsregels en storingsgegevens van reinwaterpompen van WML, Vitens en Dunea zijn verzameld. Een overzicht is weergegeven in Tabel 4.6. WML en Vitens hebben de beschikbare / geregistreerde gegevens van al hun reinwaterpompen gegeven, en Dunea de gegevens op productielocatie Scheveningen. De 8 pompen op locatie Scheveningen zijn 7 jaar oud en hebben nog geen storingsgegevens gehad. Het onderhoudsprogramma bij alle bedrijven is ingesteld volgens het gebruiksafhankelijk onderhoud (GAO), waarbij periodieke controles en periodiek onderhoud plaatsvindt op basis van een vaste periode (maandelijks inspecties en jaarlijkse inspecties/onderhoud). Het gebruiksafhankelijk onderhoud wordt vaak gecombineerd met toestandsafhankelijk onderhoud (TAO), waarop op basis van inspecties wel of niet aanvullende onderhoudstaken worden uitgevoerd. De bedrijven voeren vergelijkbare inspecties uit, zoals afwijkend geluid, hoge temperatuur, lekkages etc. Op detailniveau zitten er kleine verschillen tussen de omschrijvingen. De jaarlijkse onderhoudsbeurt bestaat uit het smeren van de lagers (indien van toepassing), controle van de frequentie omvormer. Vitens controleert dan ook de visuele instelling van de thermische beveiliging.

TABEL 4.6 OVERZICHT VAN REGISTRATIE EN ONDERHOUDSPROGRAMMA VAN REINWATERPOMPEN

	Dunea	WML	Vitens
Component	Reinwaterpomp	Reinwaterpomp	Reinwaterpomp
Bedrijf	Dunea	WML	Vitens
Productielocatie	Scheveningen	alle locaties	alle locaties
Registratie van signalen	Toerental (N) Stroom (I) Vermogen (P) Trips (uitval door storing)	Toerental (N) Stroom (I) Trips (uitval door storing) In-/ uit bedrijf	Toerental (N) Stroom (I) Vermogen (P) Trips (uitval door storing)
	Draaiuren Starts (aantal start / stops)	Draaiuren Starts (aantal start / stops)	Draaiuren Starts (aantal start / stops)
Monitoring van	Uitgaand debiet Druk header Niveau reinwaterkelder	Uitgaand debiet Druk header Niveau reinwaterkelder	Debiet Druk Niveau reinwaterkelder
Elementen in assetregister	Bouwjaar Theoretische levensduur Vervangingswaarde Jaar van groot onderhoud Onderhoudscategorie MTBF MTTR	Bouwjaar Merk Type	Inventarisnr. (tagnaam) Producent Type, Serienummer Prod.compon.nr Bouwjaar Capaciteit Werkdruk/ Opvoerhoogte Vermogen/Stroom/Spanning Toerental Bijzonderheden
Inspectiefreq.	Maandelijks	Maandelijks	Per ronde [hoe vaak?]
Inspectie	Afwijkend geluid Temperatuur (< 60 C)	Afwijkend geluid Visuele inspectie Temperatuur	Afwijkend geluid lagers Visuele inspectie Reservepomp enkele omwentelingen om de as

	Controle op lekkages Controle op smering van de lagers	Controle op lekkages	draaien Controle manometers Inspectie as afdichting, keerklep, sperwater
Onderhoud [jaarlijks]		Inspectie zoals boven Smeren lagers indien van toepassing Controle frequentie omzetter Controle seal of stopbuspakking op lekkages, indien nodig bijstellen Controle op horizontale en verticale speling tussen koppelingen en rubbers indien aanwezig	Smeren lagers, indien van toepassing Controle visuele instelling thermische beveiliging Controle frequentie omvormer



FIGUUR 4.1 VOORBEELD REINWATERPOMP DUNEA IN SCHEVENINGEN

Vergelijkbare signalen (toerental, vermogen, start/stops etc.) van de reinwaterpompen worden geregistreerd bij de bedrijven (Tabel 4.6). De elementen die opgeslagen worden in het assetregister verschillen m tussen de drie bedrijven. Zo slaat Dunea ook diverse onderhoudsgegevens op, en slaat Vitens ook gegevens over de prestaties van de pompen op (capaciteit, opvoerhoogte).

4.4.1 Storingsregistratie

Vitens en WML hebben storingsregistratie aangeleverd van de reinwaterpompen. Bij Vitens zijn zowel de ingeplande opdrachten (i.v.m. reguliere onderhoudsprogramma) als de spontane storingen aangeleverd, en daarnaast ook storingen op andere pompen. Alleen de spontane storingen op reinwaterpompen zijn meegenomen in de analyse. WML heeft 158 storingen op 150 pompen vanaf 2012 aangeleverd, Vitens 534 storingen op 233 reinwaterpompen vanaf 2008. Deze gegevens zijn uit SAP gehaald, het ERP systeem dat gebruikt wordt ter ondersteuning van alle bedrijfsprocessen. De ingeplande onderhoudsregels zijn eruit gehaald. Velden die geregistreerd worden zijn onder meer:

- Datum en tijd van het begin en eind van de storing
- Locatie, functieplaats, etc.
- Probleemgroep (elektrotechnisch, procesautomatisering, werktuigbouwkundig)
- Omschrijving en storingsoorzaak
- Categorieën met gevolgen (alleen bij WML): klein, matig, groot, extern
- Gevolgen voor waterkwaliteit en waterkwantiteit (alleen bij Vitens): binnen of buiten de eis.

Voor de storingsoorzaak wordt bij WML gekozen uit een aantal standaardvelden. Bij Vitens zijn het vrije teksten, die in een ander invulveld verder gespecificeerd kunnen worden. Om uit de storingsgegevens een MTBF te halen, is het van belang dat de storingsdata van goede kwaliteit is. Dit betekent dat alle storingen geregistreerd moeten worden op dezelfde manier en dat op alle locaties dezelfde definitie van storing wordt gehanteerd (de ene operator zal bij het zweten van een afdichting eerder van een storing spreken dan een ander). Daarnaast moet er voldoende data zijn om een nauwkeurige voorspelling van de MTBF te krijgen, d.w.z. meerdere storingen van hetzelfde type aan dezelfde asset. Een complicatie hierbij is dat de MTBF ook kan verschillen afhankelijk van de onderhoudsstrategie en/of waterkwaliteit.

TABEL 4.7 PARAMETERS VAN DE REINWATERPOMPEN DIE NODIG ZIJN IN EEN RISICOBEOORDELINGSMETHODIEK

	Dunea	WML	Vitens
Aantal pompen beschouwd	8	150	890
Gemiddelde leeftijd [jaar]	7	hangt van locatie af (data niet direct beschikbaar)	
Onderhoudsstrategie	GAO	TAO + GAO	TAO voor verzorgend onderhoud
Gem. draaiuren per jaar	4500	hangt van locatie en reservestelling af	hangt van locatie en reservestelling af
MTBF [uur]	8500 volgens fabrikant	onvoldoende data beschikbaar	onvoldoende data beschikbaar
MTTR [uur]	8 volgens fabrikant	0,25-0,5 uur per pomp per jaar voor GAO	2,05
Theoretische levensduur [jaar]	30	25-30 (economisch, theoretisch meer!)	
Groot onderhoud frequentie [jaar]	10	15	
Duur van groot onderhoud [maand]	1-2	niet bekend	
Storingsfrequentie [1/pomp/jaar]	- (geen storingen geweest)	0,20	0,05

Op basis van de storingsgegevens van Vitens en WML is een storingsfrequentie berekend (zie Tabel 4.7). Verdere specificatie naar type pomp, waterkwaliteit is niet gemaakt, omdat deze gegevens niet voorhanden waren. De gemiddelde storingsfrequenties van heel Vitens en WML verschillen. Dit komt neer op een MTBF van eens in de 4-5 jaar voor WML en eens in de 20 jaar voor Vitens. De berekende MTBF ligt hiermee een stuk hoger dan die door Dunea gebruikt wordt (8500 uur opgegeven door de fabrikant, wat neerkomt op ongeveer eens in de 2 jaar bij 4500 draaiuren per jaar). Overigens heeft Dunea in 7 jaar nog helemaal geen storingen gehad in de 8 pompen, zodat de MTBF in werkelijkheid veel hoger ligt.

Uit de storingsgegevens van Vitens zijn ook reparatietijden gehaald. Deze liggen gemiddeld op 2 uur. Dit is minder dan de opgegeven tijd bij Dunea, maar dit gaat om een specifieke handeling (vervangen van een seal), terwijl het bij Vitens om allerlei verschillende storingen kan gaan.

De verdeling per type storing is weergegeven in Tabel 4.8. Bij Vitens is dit pas goed geregistreerd vanaf oktober 2015. Hierin zijn duidelijke verschillen te zien, Vitens registreert veel meer storingen op de procesautomatisering.

TABEL 4.8 VERDELING NAAR TYPE STORING AAN HD POMPEN

	Vitens	WML
Elektrotechnisch	27%	73%
Procesautomatisering	57%	7%
Mechanisch/Werktuigbouwkundig	16%	2%
Procestechnisch/overig	-	18%

4.4.2 Gevolgen van storingen

Bij Vitens zijn maar 35 van de 534 storingen dermate ernstig dat dit leidt tot problemen m.b.t. waterkwaliteit of waterkwantiteit. Bij WML wordt onderscheid gemaakt in klein, matig en groot gevolg en extern. Het grootste gedeelte is klein (~60%) en matig (~37%) en slechts een fractie groot of extern.

4.4.3 Oorzaak van storingen

Bij WML worden een aantal oorzaakcategorieën omschreven: storing of veroudering, externe oorzaken, bedieningsfout, ontwerpfout, onderhoudsfouten. Verreweg de meeste storing zitten in de categorie storing of veroudering. Nadere specificatie van deze generieke categorie zou een beter beeld kunnen geven van de storingsoorzaken. Bij Vitens is storingsoorzaak een vrij in te vullen veld. Er zijn drie vrij in te vullen velden: omschrijving, storingsoorzaak en lange tekst feiten. Uit al deze drie valt informatie over de storingsoorzaak te halen. De meest voorkomende woorden zijn geteld, waarbij de voor de hand liggende woorden en nietszeggende woorden (zoals bijvoeglijke naamwoorden, pomp, storing etc.) geschrapt zijn. Veelgenoemde woorden bij omschrijving zijn: bewaking, commando, druk, regelaar, freq, getript, lekkage, vacon, keerklep. Bij storingsoorzaak wordt verder genoemd: onbekend, commando, thermisch, getript. In het aanvullende tekstveld wordt naast de in de andere velden genoemde woorden ook nog vaak genoemd: reset, (frequentie)regelaar, ventilator, spanningsdip, motor, lekkage, foutmelding, afsluiter. Veel storingen hebben dus te maken met bewaking/commandobewaking (gerelateerd aan procesautomatisering), frequentieregelaars, mechanische problemen met de keerklep, motor of ventilator, thermische problemen, lekkages, spanningsdippen.

4.4.4 Aanbevelingen storingsregistratie

Een goede storingsregistratie is van belang om de parameters MTBF en MTTR beter te kwantificeren. Daarnaast kan het inzicht geven over storingsoorzaken en gevolgen, en de effectiviteit van de gebruikte onderhoudsstrategieën.

Voor een goede interpretatie van de storingsregistratie is het van belang overal in het bedrijf op uniforme wijze de storingen te registreren. Naast de al genoemde invulvelden is het ook handig om aan te geven welk onderdeel er precies stoort. Voor de invulvelden kan het beste

gewerkt worden met vooraf ingevulde keuzevelden. Deze keuzevelden moeten echter wel voldoende specifiek gemaakt worden. Daarnaast is het van belang om te zorgen voor een goede koppeling met het assetregister, zodat naast gemiddelde storingsfrequenties, ook meer specifieke storingsfrequenties bepaald kunnen worden, bijvoorbeeld per type/merk pomp, per locatie of per type onderhoudsstrategie.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Waterbedrijven gebruiken diverse risicomethodieken voor de drinkwaterzuivering en hanteren allemaal soortgelijke risicogroepen (kwaliteit, kwantiteit, kosten, imago, veiligheid, milieu) in de zogenoemde risicomatrix. Daarnaast worden de risicomethodieken gebruikt om het onderhoudsprogramma op zuiveringsinstallaties vast te stellen of te verbeteren.

In dit rapport is een overzicht gegeven van verschillende risicobeoordelingsmethodieken voor zuiveringsinstallaties op basis van literatuuronderzoek en interviews bij waterbedrijven. Veelgebruikte methodieken bij de waterbedrijven zijn: RCM (reliability centered maintenance), FMECA (failure mode, effects and criticality analysis) en hazard and operability (HAZOP). Deze methodieken zijn voor de waterbedrijven een waardevolle toetsing van het ontwerp en leidt in sommige gevallen ook tot aanpassingen van het ontwerp om risico's te verkleinen. RCM wordt door veel bedrijven nu ook gebruikt voor bestaande zuiveringen in de beheerfase om het onderhoudsprogramma te verbeteren, en daarmee risico's en/of kosten te verkleinen. Een aantal bedrijven heeft daarnaast ervaring opgedaan met technieken zoals Bow-tie, RAMS (reliability, availability, maintenance, safety) en foutenboom om voor een specifieke zuivering de risicoanalyse verder uit te diepen.

Een veelgenoemde tekortkoming van de risicomethodieken is de subjectiviteit welke ten dele ondervangen kan worden door gebruik te maken van (i) een ervaren moderator, (ii) checklists en stroomdiagrammen, (iii) vaststaande normen of (iv) eenzelfde risicoanalyse uitgevoerd door een andere groep experts. Daarnaast kan de subjectiviteit verkleind worden door met behulp van data sommige parameters (zoals storingsfrequenties, reparatietijden) te bepalen. Nu wordt dit vaak ingeschat op basis van de ervaring van de experts of gegevens van de fabrikant, wat kan leiden tot onnauwkeurige gegevens en daarmee een minder goede risicobeoordeling. Waterbedrijven erkennen dit, maar de kwaliteit en/of kwantiteit van de storingsgegevens is vaak onvoldoende, en analyses van storingsgegevens kunnen ingewikkeld zijn.

Uitvoering van de risicomethodiek is tijdrovend (en daarmee kostbaar). Voorbeelden bij Vitens en WML laten wel zien dat deze inspanning terugverdiend kan worden doordat de methodiek het onderhoudsprogramma efficiënter kan maken. Een andere tekortkoming is dat risico's vaak niet onafhankelijk zijn, en dat stapelen van risico's kan optreden. Het verschil in niveaus bij de risicobeoordelingsmethodieken speelt daarbij een rol (niveau van een productielocatie, installatieniveau of componentniveau). Deze niveaus zijn onderling met elkaar verbonden, waarbij veelal redundantie is ingebouwd. De meeste methodieken beschouwen het systeem op componentniveau (niveau van de PI&D's – piping- en instrumentatiediagrammen). Bij de invulling wordt door de experts impliciet wel rekening gehouden met de diverse niveaus en redundantie, dit volgt echter niet automatisch uit de meeste methodieken. In de RAMS analyse kan dit wel, door met behulp van een foutenboom bijvoorbeeld de uitval op componentniveau te vertalen naar het niveau van de hele productielocatie.

Waterbedrijven maken met behulp van de resultaten van de risicomethodieken (nog) geen volledige afweging van de prestaties-risico's en kosten (PRK). Hiervoor zouden ten eerste de

diverse risicogroepen in de risicomatrix gemonetariseerd moeten worden en zal ingeschat moeten worden of het risico opweegt tegen de kosten die nodig zijn om het risico te vermijden. Vanwege de complexiteit, het gebruik van kwalitatieve gegevens en onderlinge verbondenheid van de verschillende niveaus is dit een moeilijke opgave. Op component- of installatieniveau wordt nu vaak bekeken of een bepaald risico wel of niet aanvaardbaar is, op basis waarvan acties ondernomen worden. Een risico is onaanvaardbaar als een bepaalde grens in één of meerdere groepen van de risicomatrix wordt overschreden.

Het proces, de inspanningen en resultaten van een RCM analyse zijn met elkaar vergeleken bij Vitens en WML, evenals een foutenboomanalyse bij Dunea. Veel van dezelfde gegevens zijn voor zowel de RCM analyse als de foutenboom nodig, zodat met relatief beperkte aanvullende inspanning ook een foutenboom uitgevoerd kan worden op een locatie waar een RCM is uitgevoerd. Daarnaast kan het zinvol zijn om de resultaten van een RCM en foutenboom te koppelen. De onderhoudsstrategie volgt vaak al uit een verkorte RCM, wat vervolgens in de foutenboom wordt gebruikt om de faalkansen te bepalen. Omgekeerd kunnen de resultaten van de foutenboom weer gebruikt worden om een betere kwantitatieve inschatting van de risico's in de RCM te maken. Zo kan het effect van het falen van een component op de totale beschikbaarheid van een productielocatie bepaald worden. De beschikbaarheid is dan een risicoscore op het niet leveren van water.

5.2 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gedaan voor het gebruik van risicobeoordelingsmethodieken in de bedrijfsvoering:

- Uit de voorbeelden in het rapport blijkt dat kostenbesparingen op onderhoud mogelijk zijn met risicobeoordelingsmethodieken zoals RCM door de componenten met een laag risico minder onderhoud te geven. Voor een beter zicht op kostenbesparingen dienen de risicokosten op alle aspecten van de risicomatrix in kaart gebracht te worden (monetariseren) en meegewogen worden in de risicobeoordelingsmethodiek.
- Binnen het bedrijf is het van belang om de gegevens uniform te registreren, en daarbij tevens de afstemming met andere bedrijven te zoeken om op dezelfde uniforme manier te registreren. Doordat meer en nauwkeurigere gegevens beschikbaar zijn, kunnen de risicoanalyses nauwkeuriger gekwantificeerd worden en worden subjectiviteiten (zowel in de registratie als bij het toepassen van de methodiek) verkleind. Te denken valt aan de (verbetering van de) registratie van:
 - Storingen op componentniveau, zorg voor eenduidige invulvelden, zorg dat de data op orde is, en zorg voor een koppeling met het assetregister.
 - Inspecties van zuiveringsinstallaties. Vraag hierbij is: wat moet je precies allemaal registreren en hoe leg je dit uniform vast?
 - spareparts (reserveonderdelen), inzicht in kritische onderdelen van spareparts (beschikbaarheid en hoeveelheid) en courantheid (mate van verhandelbaarheid)
 - assetregister met voldoende gegevens (info assets, leeftijd, theoretische levensduur, conditie, onderhoudsprogramma, faalfrequentie, reparatietijd, etc.), zorg voor een goede koppeling met de bovengenoemde registraties.
- Op locaties waar een RCM is uitgevoerd is het met relatief beperkte inspanning mogelijk om een foutenboom uit te voeren. Hiermee kan een betere inschatting gemaakt worden van het risico op een hoger niveau (bijv. beschikbaarheid hele productielocatie).
- Aanmaken van een catalogus met gegevens van generieke assets. Het gaat dan om gegevens die gebruikt worden in de risicobeoordelingsmethodieken (faaloorzaken,

faalfrequenties, gevolgen van falen, reparatietijden, levensduur, etc.). Veel dezelfde componenten worden op verschillende locaties toegepast. Door gebruik te maken van een catalogus hoeven bepaalde gegevens niet telkens opnieuw bepaald te worden en kan een risicobeoordelingsmethodiek sneller uitgevoerd worden.

- Gedurende de uitvoering van het project bleek dat de waterbedrijven behoefte hebben aan een 'community of practice' op het gebied van risicobeoordelingen van zuiveringsinstallaties.

De volgende aanbevelingen worden gedaan voor verder onderzoek:

- Zijn de risicogroepen uit de risicomatrix ook te vertalen naar kosten, oftewel het monetair maken van de risicomatrix (ook op het lagere niveau van installaties of componenten). Welke kosten neem je precies mee in een kostenbeschouwing?
- Meenemen van waterkwaliteit in de analyses, bijvoorbeeld de MTBF (mean time between failure) afhankelijk maken van waterkwaliteit, en de waterkwaliteit meenemen in beschikbaarheidsberekeningen.
- De beschikbaarheid vertalen naar OLM (ondermaatse leveringsminuten), zodat beter een beschikbaarheidseis opgelegd kan worden aan een installatie of productielocatie. Omgekeerd kunnen de gevolgen van falen van een component vertaald worden naar OLM.
- Onderzoek naar de invloed van de benodigde productiecapaciteit in de risicobeoordelingsmethodieken (de risico's op uitval zijn voor een gemiddelde dag doorgaans lager dan voor een max-dag).
- Optimalisatie van onderhoudskosten: kosten onderhoud, beschikbaarheid en risicokosten berekenen over de jaren, afhankelijk van de conditie en faalkans die verandert over de tijd voor ieder component. Met optimalisatietechnieken is het dan mogelijk om een optimale verdeling van onderhoudskosten (met name groot onderhoud) over de levensduur te verkrijgen.
- Opzetten van gemeenschappelijke storingsdatabase (bijv. Adaquata), aan welke eisen moet de database voldoen om betrouwbare analyses te kunnen uitvoeren. Hiermee kan een betere inschatting gemaakt worden van faaloorzaken, faalfrequenties, reparatietijden, etc.
- Onderzoek naar de afhankelijkheid van risico's en risico-oorzaken in een beoordelingsmethodiek, en op welke manier hier rekening mee te houden (bijvoorbeeld in de foutenboom). Dit is van belang, omdat bij calamiteiten er vaak meerdere componenten falen, waarbij er mogelijk een afhankelijkheid hiervan over het hoofd is gezien.

6 Literatuur

- Ahmadi, M., Behzadian, K., Ardeshir, A., Kapelan, Z. (2017). Comprehensive risk management using fuzzy FMEA and MCDA techniques in highway construction projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(2), 300-310.
- Antusak, M., et al. (2011). Some Risk Assessment Methods and Examples of their Application. In PIARC Technical Committee C.3 Managing operational risk in national and international road operations (Ed.), *Managing Operational Risk in Road Organization*.
- Baig, A. A., et al. (2013). Reliability Analysis Using Fault Tree Analysis: A review. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 4(3), 169-173.
- Bakker, J., et al. (2010). Leidraad RAMS Sturen op prestaties van systemen. Tilburg: Rijkswaterstaat Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Bartram, J., et al. (2009). Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers. Geneva: World Health Organization.
- Basu, S. (2016). *Plant Hazard Analysis and Safety Instrumentation Systems*: Academic Press.
- Baybutt, P. (2015). A critique of the Hazard and Operability (HAZOP) study. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 33, 52-58.
- BowTie in de zorg, <http://www.bowtieindezorg.nl/kenniscentrum/8-de-bow-tie-methode>, bezocht op 24 Maart 2017
- Bow Tie Pro Ltd (2017). http://www.bowtiepro.com/bowtie_history.asp, bezocht op 27 Maart 2017
- BRWA (2014). Understanding the Policy Context for Source Water Protection in the Battle River and Sounding Creek Watersheds (pp. 42): BRWA Planning Document.
- Braband, J., vom Hövel, R., Schäbe, H. (2009) Probability of Failure on Demand – The Why and the How, SAFECOMP 2009, LNCS 5775, pp. 46-54
- CAMRA, Centre for Advancing Microbial Risk Assessment (2017). Quantitative Microbial Risk Assessment Retrieved 5 Mei, 2017
- Center for Chemical Process Safety (CCPS), Guidelines for Safe Automation of Chemical Processes. American Institute of Chemical Engineers, New York, 1993.
- Clemens, P. L., et al. (Producer). (1993, 2-5-2017). Fault tree analysis 4th edition.
- Conger, S. (2011). *Process Mapping and Management*. New York: Business Expert Press.
- Damikouka, I., et al. (2007). Application of HACCP principles in drinking water treatment. *Desalination* 210, pp. 138-145
- Davison, A., et al. (2005). *Water Safety Plans Managing drinking-water quality from catchment to consumer*. (WHO/SDE/WSH/05.06). Geneva, Switzerland.
- Department of defense USA (1980). Military standard 1629A - Procedures for performing a failure

mode, effects and criticality analysis.

De Roda Husman, A. M., et al. (2005). Inspectierichtlijn Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater Artikelcode: 5318: VROM-inspectie.

Dillen, J. (2012). *Risicobeoordeling* (Volume 12006 van Arbeidsbescherming: veiligheid met kennis van zaken). Belgium: Wolters Kluwer.

Dowell III, A. M. (1998). Layer of protection analysis for determining safety integrity level. *ISA Transactions* 37, 155-165.

Dunjó, J., Fthenakis, V., Vílchez, J.A., Arnaldos, J. (2010). Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. *Journal of Hazardous Materials*, 173, 19-32.

Eichleay. (2015). Process Hazard Analysis (PHA) Study, San Jose - Santa Clara Regional Wastewater Facility Digester & Thickener Facilities Upgrade Project.

Ericson, C. A. (Producer). (2000). Fault Tree Analysis.

Galante, E., et al. (2014). Risk Assessment Methodology: Quantitative HazOp. *Journal of Safety Engineering* 3(2), 31-36.

Gulland, W. G. (2004). Methods of Determining Safety Integrity Level (SIL) Requirements - Pros and Cons.

Havelaar, A.H. (1994). Application of HACCP to drinking water supply. *Food Control, Volume 5, Number 3*, pp. 145-152

<http://www.delta-pi.nl/safety-integrity-level-analyse-sil-analyse> (2017). Safety Integrity Level bezocht op 11 Mei 2017

<http://www.procesverbeteren.nl> (2017). Introductie Reliability Centered Maintenance, bezocht op 24 April 2017, from <https://www.procesverbeteren.nl/RCM/RCM.php>

<http://www.rislog.nl/risicomanagement/risman> (2017), bezocht op 24 April 2017

IAM. (2016). Lifecycle Delivery Reliability Engineering 16 Version 1.1

IEC. (2009). Risk management - Risk assessment techniques FINAL DRAFT *IEC/FDIS 31010*.

Instrument Society of America (ISA); Application of Safety Instrumented Systems to the Process Industries, ANSI/ISA-S84.01-1996. Instrument Society of America, Research Triangle Park, NC, 1996

Kelly, A. (1997). *Maintenance Strategy*: Elsevier Science.

Kotek, L., et al. (2012). HAZOP study with qualitative risk analysis for prioritization of corrective and preventive actions. *Procedia Engineering, 20th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2012, 25-29 August, Prague, Czech Republic*, 42, 808-815.

Lewis, S., et al. (2010). *Lessons Learned from Real World Application of the Bow-tie Method*. Paper presented at the 6th Global Congress on Process Safety, San Antonio, Texas.

MaxGrip. (2012). Optimalisatie van Onderhoud - Onderhoud op basis van risico Suppletiepompstation Gouda: Oasen.

Medema, G. (2017). Personal communication.

Medema, G., et al. (2006). QMRA: its value for risk management.

Méndez-González, L. C., Ambrosio-Lazaro, R., Rodríguez-Borbon, I., Alvarado-Iniesta, A. (2017). Failure mode and effects analysis of power quality issues and their influence in the reliability of electronic products. *Electrical Engineering*, 99(1), 93-105.

Moubray, J. (1997). *Reliability-centered Maintenance*. New York: Industrial Press Inc.

Mungani, D. S., et al. (2013). Maintenance approaches for different productions methods. *South African Journal of Industrial Engineering*, 24(3), 1-13.

Pasman, H. J., Rogers, W.J. (2016). How can we improve HAZOP, our old work horse, and do more with its results? an overview of recent developments. *Chemical Engineering Transactions*, 48, 829-834.

Petterson, S., et al. (2016). Quantitative microbial risk assessment: application for water safety management. Geneva, Switzerland: WHO.

Pietersen, C. M. (2009). *De twee grootste industriële rampen met gevaarlijke stoffen, 25 jaar later* Gelling Publishing.

Rausand, M. (Producer). (2005). Chapter 3 System Analysis - Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis.

Regli, S., et al. (1991). Modeling the Risk From Giardi and Viruses in Drinking Water. *Journal American Water Works Association*, 83(11), 76-84.

Rooney, J. J., et al. (2004). Root Cause Analysis For Beginners. *Quality Progress*, 45-53.

Sala, L., et al. (2013). An approach to the analysis of the critical control points of the Costa Brava water reclamation facilities. *Water Practice & Technology*, 8(3-4), 448-456.

Smeets, P., et al. (2013). Water Safety Plans in Nederland - Ervaringen van waterbedrijven. *BTO 2013.026*.

Summers, A. E. (2003). Introduction to layers of protection analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 104, 163-168.

Swann, C. D., et al. (1995). Twenty-five years of HAZOPs. *J. Loss Prev. Process Ind.*, 8(6), 349-353.

van der Berg, L. Friederichs, J.F.M. Versteegh, P. Smeets, A.M. de Roda Husman (2017), Risicoanalyse en risicomanagement van drinkwaterproductie in Nederland RIVM Rapport 2017-0036, RIVM.

van Hees, R. (2017). Root Cause Analysis Retrieved 4 May, 2017, from <http://rootca.weebly.com/de-zes-stappen.html>

van Lieverloo, J. H. M., et al. (2005). Water Safety Plans Voorstel voor beleid en implementatie. *KWR 05.025*.

Versteegen, J. (2007). *Managen van onzekerheden*: Uitgeverij Van Gorcum.

Vonk, R. (2015). *Onderhoudswaarde verhogen via RCM of RCA... Wat gaat het worden?* Paper presented at the Service & Maintenance Congres '15 Strategie - Optimalisatie - IT, Breda.

Water, S. (2010). Procedure Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA).

WHO. (2004). Guidelines for Drinking-water Quality Third edition Volume 1 Recommendations (Vol. 1). Geneva, Switzerland.

Wikipedia (2017). Reliability centered maintenance, bezocht op 24 April 2017, https://nl.wikipedia.org/wiki/Reliability_centered_maintenance

Wiley, R. J. (2014). Layer of Protection Analysis. *Procedia Engineering*, 84, 12-22.

www.risman.nl (2017), bezocht op 24 April 2017.

www.weibull.com (2017), bezocht op 10 Augustus 2017.

Bijlage I Interviews bij bedrijven

Om een beeld te krijgen van de huidige omgang van bedrijven met risico's en risicomethodieken bij zuiveringsinstallaties zijn interviews uitgevoerd met betrokkenen van drinkwaterbedrijven. Onderstaande interviews hebben plaatsgevonden:

Drinkwaterbedrijf	Datum	Gesproken met
WML	14-6-2016	Geert Linssen, Joris Bouma
Oasen	7-7-2016	Bert Vonk, Peter van der Vlies
PWN	8-8-2016	Ron Blok, Ingrid Bonnet
Vitens	9-8-2016	Annelore de Groot en Geerhart Brons
Waterbedrijf Groningen	11-8-2016	Bernard Enthoven, Carla Melessen, Gerard Wubbels
Waternet	15-8-2016	Geert Jan van Heck
Brabant Water	16-8-2016	Patrick van der Wens
Dunea	5-9-2016	Angela Puts, Cees Lavooij
De Watergroep	16-9-2016	Rika Jenne en Kaat Blockx

Onderstaande vragen zijn gehanteerd voor het structureren van het interview.

1. Welke projecten in kader van risico's zuivering worden uitgevoerd? Hoe zijn deze projecten verankerd in de organisatie?
2. Bent u bekend met de ronde tafel?
3. Welke risico's worden geïdentificeerd in de drinkwaterzuivering?
4. Hoe worden risico's gedefinieerd in de drinkwaterzuivering? Onvoldoende water of water van te lage kwaliteit?
5. Hoe worden kansen en gevolgen bepaald: als numerieke waarde, gekwantificeerd?
6. Worden risico's continu of periodiek gemonitord en hoe?
7. Wat wordt er nu gedaan om risico's te beperken?
8. Welke risicobeoordelingsmethodieken worden momenteel toegepast in de drinkwaterzuivering en wat zijn hierbij de belangrijkste overwegingen? Ervaringen verleden?
9. Waar zijn beperkingen van deze methodieken?
10. Wat zijn de moeilijkheden/tekortkomingen van de methodieken op dit moment?
11. Wat zijn belangrijke aspecten/criteria voor het drinkwaterbedrijf in het kader van risicomethodieken waar aan gedacht moet worden? Zijn er bepaalde eisen waaraan een risicomethodiek moet voldoen?
12. Wat zijn de behoeftes? Welke methodieken oppakken in dit project?
13. Nog onderzoeksvragen voor huidig project?
14. Meedoen aan uitwerken voorbeeldzuivering in dit project?
15. Combineren van risico's?

Bijlage II Uitwerking interviews

Om een beeld te krijgen van de huidige omgang van bedrijven met risico's en risicomethodieken bij zuiveringsinstallaties zijn interviews uitgevoerd met betrokkenen van drinkwaterbedrijven, zie Bijlage I

II – 1 De ronde tafel

De ronde tafel risicomanagement is een breed overleg met risicospecialisten van de waterbedrijven, die twee keer per jaar bijeenkomt. Ook bekend als de leerlijn risicomanagement in het kader van assetmanagement. De meeste geïnterviewden zijn hiermee niet bekend. Enkele geïnterviewden (Oasen, PWN, Vitens, WbG) kennen andere medewerkers binnen hun bedrijf die hierbij betrokken zijn of zijn hierin zelf betrokken.

II – 2 Risico's in de organisatie: hoe wordt hier mee omgegaan en lopende projecten op dit gebied

Door de respondenten zijn onderstaande projecten/initiatieven genoemd:

- **Assetmanagement voor het zuiveringsinstallaties:** WML voert een Nulmeting uit in het kader van ISO 55000 (interviews van directeur tot procesoperator). Vitens heeft een strategisch programma asset management waarmee men elke vijf jaar onderhoudsplannen wil actualiseren. Vanwege capaciteitsproblemen vindt dit nu alleen nog plaats bij nieuwbouwprojecten. Om dit te professionaliseren, werkt Vitens aan het opstellen van standaard onderhoudsregels. Er is een onderliggend document (PO plannen) waarbij op niveau van procesonderdelen en equipments interviews worden gehouden. In een volgende stap wil men kijken of er kostenbesparingen mogelijk zijn als op geaccepteerde onderdelen het risico omhoog gaat.
- **Uitvoeren van bedrijfsbreed AM/RM:** WML geeft aan dat dit nog vooral wordt gedaan op basis van ervaring en nog niet bedrijfsbreed en planmatig. Zij verwachten hier verbeterlagen te halen op het gebied van kosten en effectiviteit. Daarnaast is dit ook van belang als overtuigingsinstrument. Het is de ervaring dat operators vaak alles bij hetzelfde willen houden. Oasen wil risicomanagement organisatie breed opzetten, waarbij risicomanagement integraal onderdeel wordt van de organisatie. BW geeft aan dat er vaak nog verkokerd wordt gewerkt. Hoe integreer je alle verschillende risicoanalyses in voorbereidingsfase en hoe kunnen verschillende onderwerpen zoals waterkwaliteit, kwantiteit, arbo en milieu in een analyse worden geïntegreerd. Daarnaast is er ook aandacht nodig voor de verankering van risicomanagement in de organisatie. Afstemming is niet altijd optimaal. Dunea: Risicomanagement moet een integraal onderdeel van het bedrijf zijn en een continu proces. De voorschriften van ISO 31.000 en PAS55 worden gevolgd. Dunea hanteert een risicoregister (volgens ISO31.000) waarin jaarlijks risico's worden opgesomd. Deze kunnen ingediend worden door de medewerkers, en worden ook uitgevraagd bij de managers. Tevens kunnen risico's die uit de methodieken volgens (VRA, HAZOP) etc. opgenomen worden in het register. De risico's in het register zijn geëvalueerd en gescoord t.o.v. de risico-matrix. De Watergroep heeft geen aparte afdeling asset management. De Watergroep heeft een risicobeheerder, die als het ware het hele risico-universum in de gaten houdt. Hij

gebruikt ook de resultaten van de waterveiligheidsplannen. Groepen **risico's** m.b.t.: Technisch, Mensen, Extern (bijv. beschikbaarheid bronnen, klimaat).

- RIVM, Waterkwaliteit (RIVM): opdracht om RA/RM vanuit EU Drinkwaterrichtlijn te vertalen naar aanpak in NL. Dit gaat met name om hoe de waterbedrijven water safety plans invullen.
- **Adaquata**: PWN: project van RH-DHV is in ontwikkelingsfase. PWN is bij dit project betrokken, zolang het nuttig is voor haar. PWN betreurt het dat niet alle bedrijven en KWR hieraan meedoen. WbG: Adaquata is database waar MTBF in staan voor generieke zuiveringen. Waternet: Storing aan pomp zegt niet zo veel over uitvallen van functie. Het is de vraag hoe toepasbaar dit is. BW: Van vijf bedrijven zijn verstoringsdata opgehaald. Relevante vragen zijn: wat zou er functioneel in zo een database moeten zitten en hoe kan ontwerp goedkoper als je meer op risico's baseert. Een locatie bij Brabant Water is opnieuw door DHV ontworpen. Dit leidde tot besparingen en een minder redundant ontwerp. Gedachte alles moet minder redundant, leidde tot ondermaats ontwerp van locatie (piekfactor 1.3 terwijl 1.7 gegeven moest worden). Dus minder redundant is beetje doorgeslagen naar de verkeerde kant.
- Risicomatrix voor integrale risicoafweging: (PWN berekent hier de risicoreductiebijdrage van een beheermaatregel).
- AMVD, leveringsplan en VRA zijn wettelijk verplicht
- Bestuurlijk overleg: Bijvoorbeeld met waterschappen over het schoon houden van de bron (oppervlaktewater) en ook zorgen voor bewustwording, bijvoorbeeld over effecten van lozen van glyfosaat door boeren.

II – 3 Ervaringen met risicoanalysemethoden

Gemaakte opmerkingen over methoden (soms productnamen):

- Lev. Zek.: dit is een risicoanalyse die wettelijk verplicht is. BW: Responstijd erg lang 24 uur. Bedrijfseisen voor beschikbaarheid zijn veel strenger.
- RISMAN: risicoanalyse tijdens het ontwerpproces. WML heeft dit uitgevoerd. Eerst risico's in kaart brengen, dan beheersmaatregelen bedenken. Bedrijfswaarde risico inschatten van 0 tot 5, ongewogen maal kans en dan initieel risico berekenen. Daarnaast ook een rest risico, delta kosten/delta risico geeft meest effectieve maatregel. De vraag is of het nodig is om een RISMAN voor elke locatie doen of zijn er generieke risico's te definiëren?
- FME(C)A: WML voert dit uit voor enkele pompstations. Vitens hanteert hiervoor nu RCM. Vitens heeft met deze methodiek veel ervaring opgedaan. De ervaring is dat deze aanpak te weinig specifiek is voor een bepaalde situatie en te veel leidt tot standaardonderhoudregels. Dit heeft erin geresulteerd dat op basis van interviews de standaardonderhoudsregels specifiek gemaakt zijn voor bepaalde locatie. In veel gevallen is de onderhoudsfrequentie aangepast op basis van een analyse van MTBF. Waternet: FMECA wordt toegepast voor en tijdens de bouw. Verstoringsrisicoanalyse, leveringszekerheidsanalyse leveren input, bijv. elektriciteit valt uit wat is het effect? In 2003 voor het eerst gekeken met FMECA naar onderhoud, veel op basis van verstoringen (eigen database opgezet). Nog steeds heel veel uit de hoofden van mensen. Storingsdata is vanaf 2005 vastgelegd. De ervaring is dat er steeds meer op het juiste onderhoudsniveau is uitgeschreven, maar dat ook nog ook nog veel grof wordt geboekt, zodat het niet op componentniveau is toe te passen. Over algemeen voert Waternet FMECA's zelf uit. Dit leidt tot veel discussie, wat objectiviteit verbetert. Ook omdat data steeds meer op orde is neemt de objectiviteit toe. PWN voert een FMECA uit bij het ontwerp en afwegingen over levensduurverlenging.

BW: de ervaring dat men vaak verstrikt raakte in begripsvorming: Hoe beoordeel je risicobeheermaatregelen: preventief of curatief of maatregel op maatregel. Voorkeur gegeven aan Bowtie. FMECA wordt nog gebruikt bij renovatie. Dan FMECA voor uitval in combinatie met WSP voor waterkwaliteit.

- HAZOP: WbG: is vooral een denkoefening op basis van een bestaand ontwerp. Wat zijn de gevolgen als dit. Dunea: Dunea maakt een HAZOP en koppelt deze direct met de risicomatrix door alle situaties van de HAZOP in de risicomatrix te plaatsen.
- APMC: komt te vervallen liever RCM gebruiken
- RCM: Vitens wil deze methode nu gaan toepassen. Hiervoor is een pilot uitgevoerd. De resultaten hiervan blijken niet tot grote verschillen te leiden met de standaard onderhoudsregels. Punt van aandacht blijft de grote mate van subjectiviteit die ten grondslag ligt aan de frequenties voor inspectie en onderhoud. WbG geeft aan dat RCM te veel tijd vergt en daardoor niet uitvoerbaar is. RCM is een bottom-up methode. BW: geeft verbeteringen voor onderhoudsmanagement. Conclusie verbeteringen voor 1 locatie, zijn vaak toepasbaar op meerdere locaties. PWN gebruikt RCM voor complexe nieuwe zuiveringssystemen (zoals Andijk 3).
- RATIO: is een root cause analyse
- VDM: Value Driven Maintenance, Criticaliteitsanalyse: gevolgschade en schade gebeurtenis zelf. Criticaliteitsanalyse kijkt welke componenten wel of niet kritisch zijn.
- RIE: wettelijk verplichte risico inventarisatie voor veiligheid personeel.
- Waterveiligheidsplan.
- AMVD: Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater, wettelijk verplicht
- Verstoringsanalyse (VRA), wettelijk verplicht: Voor Vitens speelt de vraag hoe data hiervoor te interpreteren. BW: wel uitgevoerd, maar op hoog abstractieniveau. Analyse is niet uitgevoerd op niveau van beheer en projecten
- SIL (Safety Integrity Level, zodat niet gehacked kan worden, ICT), Dunea: SIL is met name gericht op mensveiligheid, Dunea past dit toe op een aantal locaties. Dit is een vrij strenge methodiek die leidt tot zware beveiligingsmaatregelen die ook weer moeten worden nageleefd en ook duur zijn door de gebruikte componenten.
- MARISKA: in gebruik door WbG voor het uitvoeren van risicoanalyses./ Elke vijf jaar vindt een technologische analyse plaats: langetermijn evaluatie van de prestatie van die specifieke zuivering. Deze is breder en gedetailleerd dan WSP.
- LCA: Beschouwing in de breedte en diepte over levenscyclus. Top-down en goede aanvulling op RCM.
- FTA: foutenboom, wordt vaak niet gedaan. Kan een onderdeel zijn van RAM. WbG niet gedaan
- RAM: Waternet: van elke zuivering maken. In eerste instantie gedaan op basis van data en kennis van mensen. Vaak is er wel informatie over de frequentie van uitvallen maar niet over de duur van uitval. Daardoor is de beschikbaarheidsanalyse (availability) niet goed te maken. BW: beschikbaarheidsanalyse hier is nog veel te leren. Bijvoorbeeld hoe vertaal je eisen beschikbaarheid van een station naar beschikbaarheid per installatie. In de RAMSHEQ zit al heel veel gecombineerd, bijv. FMECA, HAZOP, RCM, FTA kunnen allemaal een onderdeel zijn van de RAMS. PWN heeft RAM uitgevoerd in een pilot om redundantie te bepalen en verantwoorden.
- Bowtie: BW dit is de laatste tijd wel gebruikt. De bowtie zoals gebruikt bij BW is erg visueel en geeft daardoor beter onderscheid tussen kansen en effecten

Belangrijkste risicobeoordelingsmethodieken voor De Watergroep zijn: waterveiligheidsplannen en waterleveringsplannen. Er wordt geen gebruik gemaakt van FMECA, HAZOP, RCM, etc. Doen ze voor zowel zuiveringen, wingebieden als distributie. Voor

zuiveringen gaat dit om 75 installaties. Voor iedere installatie worden risico's opgesteld en deze worden gescoord d.m.v. een 5x5 matrix (kans*gevolg). Deze matrix is afgesproken in AquaFlanders (gezamenlijk overlegorgaan Vlaamse waterbedrijven). Risico's die gescoord zijn in de matrix, kunnen afhankelijk van de score groen, geel (?), oranje of rood zijn. Als ze rood zijn, moeten er maatregelen genomen worden. Om de 6 jaar wordt opnieuw de risicomatrix opgesteld. De Watergroep is de afgelopen 2 jaar bezig om de risicomatrices voor het eerst op te stellen. De Watergroep heeft de WHO richtlijnen voor Water Safety Plans gevolgd en vertaald naar de eigen situatie. Dit is besproken met de VMM (die de plannen moet controleren). Een QMRA (of AMVD) is geen onderdeel van het waterveiligheidsplan.

Voor het opstellen van de waterveiligheidsplannen gaat Kaat (De Watergroep) ter plaatse langs bij het zuiveringsstation en zit ze gezamenlijk met verschillende mensen om de risico's te benoemen en de kansen en gevolgen in te schatten. Als een risico rood is worden maatregel opgesteld en naar de desbetreffende provinciale directie doorgestuurd. Centrale directie ziet erop toe dat de maatregelen worden uitgevoerd. Ingrijpende maatregelen (hoge kosten) worden eerst in het managementteam van de centrale directie besproken. Recent voorbeeld is een centrale toegangsbeveiliging die overal hetzelfde is.

Kwantiteit (De Watergroep): de kwantiteit wordt beoordeeld in de waterleveringsplannen (wettelijke verplichting), hierin zit de koppeling met uitval van installaties. De kwantiteit zit meer in de effect kant van de waterveiligheidsplannen (grote installaties hebben een groter effect).

Ervaring van Vitens en Dunea is dat er veel redundantie aanwezig is bij zuiveringsinstallaties.

Ervaring WML: FMECA is 70-80% hetzelfde als RCM. FMECA meer voor onderhoud, HAZOP ontwerpproces, HACCP meer op waterkwaliteit.

Dunea merkt op dat er aandacht ligt op risicomethodieken en veel minder op wat de risico's zijn van de waterbedrijven. Het zou goed zijn als gecontroleerd wordt of de risico's die in diverse deelterreinen en met specifieke methodieken worden geanalyseerd, alle bedrijfsrisico's dekken of dat er risico's over het hoofd gezien worden.

Mogelijke beheermaatregelen voor het verlagen van risico zijn: vermijden, negeren/accepteren, beheersen, reserveren in geval van optreden risico, verschuiven (leg het risico bij derden neer (aannemer of verzekering).

Welke technologische zaken worden genoemd die een relatie hebben met risicoanalyse?

- Is het nodig om beluchting te verbeteren met als doel een betere werking van actief kool?
- Wat is optimale regeneratieperiode voor actief kool?
- Welke processen spelen in een mengbekken, wat is het effect op de zuiveringsstappen, wat zijn de beste parameters om prestatie/waterkwaliteit te bewaken, hoe zet je beluchting in?
- Hoe kom je tot een beter ontwerpproces, waarbij risico's in de beheerfase beter in beeld komen. Zijn fouten te voorkomen door collegiale of externe toetsing?
- Zijn er verbeteringen mogelijk bij het leveren van producten. In hoeverre zijn de aangeboden spec's ook realiseerbaar in de praktijk? Het zou goed zijn als de fabriekskeuring (FAT) gevolgd wordt door een praktijkkeuring (SAT)

Waternet: er is vanuit de wetgeving steeds meer verplichting om risicoanalyses uit te voeren: verstoringsanalyse, leveringszekerheid analyse, water safety plans. RI&E's

Onderhoud wordt onderscheid gemaakt tussen vervangen, (groot) onderhoud en regulier onderhoud. Voor regulier onderhoud houdt Dunea de richtlijnen van de leverancier aan. Dit onderhoud wordt niet aangepast a.g.v. de storingsregistratie. Dunea probeert de koppeling te maken tussen conditieniveau & storingen naar beschikbaarheid en vervolgens naar de risicomatrix.

Dunea maakt zelf nog geen analyses van storingen. Het is de vraag op welk niveau gegevens te registreren en op te slaan. Te hoog/abstract levert geen kennis op, te laag is onbeheersbaar. Daarnaast wil Dunea graag gebruik maken van databases van de industrie op het gebied van installaties.

Door bedrijven zijn onderstaande activiteiten genoemd om risico's te beperken:

- Vitens: RCM wordt uitgevoerd in de **ontwerpfase**. Een vast onderdeel is de reparatietijd bij uitval en de vraag in hoeverre andere productielocaties de vraag bij uitval kunnen opvangen. Ook maakt onderhoudbaarheid (kun je er goed bij) steeds meer deel uit van het ontwerpproces. Daarnaast worden nieuwe dingen bekeken, bij voorbeeld door 3D simulaties van nieuw te bouwen locaties, waarmee je met een 3D bril het ontwerp kan controleren.
- WbG: een van de manieren om risico's te beperken is om **scherpere normen te hanteren** dan noodzakelijk. Hiermee wordt falen eerder geregistreerd en wordt 'veilig ontworpen', dus wel redundant.
- WML definieert middels FMECA preventieve onderhoudstaken voor specifieke faaloorzaken. Dit wordt als nuttig maar ook als tijdsintensief bestempeld.
- Waternet: Deels opgevangen met een goed onderhoudsplan door redundant te ontwerpen.
- De Watergroep: Opstellen van activiteiten vooral op basis van ervaringen, niet gestructureerd aangepakt. Het plan bestaat om ervaringen van operators beter vast te leggen en te standaardiseren tot verifieerbare ontwerp- en onderhoudsregels. Hierbij zullen ook de richtlijnen uit eerdere waterveiligheidsplannen worden meegenomen.

II – 4 Risico's in de drinkwaterzuivering: identificatie en definitie

Waternet, BW en Vitens refereren hier aan de **risicomatrix** en de effecten die hier genoemd zijn: te weten Kwantiteit, kwaliteit, veiligheid, milieu en kosten. Waternet en BW noemen hier ook imago. Ook WbG noemt de risicomatrix, hoewel die nog in de kinderschoenen staat. PWN noemt hier verschillende domeinen: leveringszekerheid, waterkwaliteit, veiligheid, imago (extern)/omgeving, vergunningen (extern), contractueel, financieel, programmatisch/PM aspecten, planning, techniek, vakmanschap/kennis, milieu, onderhoudbaarheid/beschikbaarheid equipment). PWN merkt op dat het kwantificeren van risico's met betrekking tot kwaliteit lastig zijn.

Voor Oasen speelt de uitdaging rondom de '**verassingsvrije** en onberispelijke' productie van drinkwater. De vraag die hier bij hoort is hoe dit te **kwantificeren** door doelen meetbaar te maken via KPI's. De vraag is wat de bandbreedtes zijn waarbinnen de bedrijfsvoering dient te geschieden en of je een alarmwaarde kan opstellen. Daarnaast spelen er vragen hoe bijvoorbeeld de afstemming mogelijk is tussen ontwerp en onderhoud en tussen kosten en prestatie. Oasen heeft hier ook een ambitie opgesteld, namelijk om over 5 jaar op een bepaalde schaal op niveau 4 (van 5) te zijn, nu is dat niveau 2.

Met oog op de perceptie van risico's merkt Waternet op dat drinkwaterbedrijven erg risicomijdend zijn, wat logisch is gezien hun maatschappelijke rol. Een belangrijk risico dat

Waternet omschrijft is dat er van productielocaties **weinig gegevens zijn voor wat betreft de moment van aanleg, staat van onderhoud en levensduur van componenten**. De benodigde investeringen zijn daardoor moeilijk in te schatten. Waternet is een project gestart voor het in kaart brengen van de technische levensduur. Er is een Quick FMECA voor verschillende locaties (drinkwater en afvalwater) om te kijken wat de belangrijkste kennislacunes zijn.

Er is een groot aantal verschillende **risicoanalysetechnieken** die elk hun eigen toepassing hebben, bijvoorbeeld op basis van de asset levenscyclusfase (e.g. voorontwerp, bestek, definitief ontwerp, gebruik, bouw, opleveren/overdracht, modificatie, beheer/onderhoud/revisie, etc.). RISMAN is bijvoorbeeld technieken om projectrisico's te beheersen. Andere technieken zoals FMEA en RCM richten zich op de risico's van het product. Een globaal **overzicht** bestaat wel, maar is nog niet voldoende uitgewerkt.

Waternet geeft aan dat de relatie **risico versus kosten** nog niet echt is bekeken. Er is nu veel aandacht voor inhaalacties voor achterstallig onderhoud. Sturen op kosten vindt nog beperkt plaats. De hoogste kosten zijn gerelateerd aan onderhoud van gebouwen en niet zo zeer aan de installaties zelf.

II – 5 Kansen en gevolgen: kwalitatief of kwantitatief bepaalt?

De kansen en gevolgen in de risicomatrix worden in veel gevallen **kwalitatief uitgedrukt** in klassen. Gevolgen zijn niet goed te kwantificeren. Bij onder andere BW worden kosten aan effectcategorieën toegekend, wat kan helpen voor het verder rekenen aan risico's. Hiermee is een vergelijking mogelijk van verschillende soorten risico's. De bedragen worden echter geschat, er is dus geen sprake van gemengd kwalitatieve kwantitatieve aanpak.

Verstoringen (uitval) worden bijgehouden in een database. Deze worden onder andere gebruikt voor de **OLM analyse**. Storingen op componentniveau vindt niet (beperkt) plaats. Om dit op te zetten zijn duidelijke afspraken nodig en in de praktijk is dit vaak lastig, ook binnen een bedrijf.

Bedrijven streven er naar om de kansen in de risicomatrix kwantitatief te bepalen. Oasen gebruikt faalkansen op componentniveau die in sommige gevallen worden verstrekt door leveranciers.

Waternet geeft aan dat de **leveringszekerheidsanalyse een gelegenheid biedt voor het kwantitatief uitvoeren van een risicoanalyse**. De kans op uitval voor een installatie in zijn geheel is echter nog niet goed in beeld. Het effect van uitval van een productiestation uitgedrukt in de omvang van een leveringsonderbreking is hiermee goed te bepalen. Vaak is onbekend hoe lang een onderbreking heeft geduurd, waardoor de onderbreking moeilijk is te vertalen naar OLM.

Voor Vitens geldt dat het lastig is een analyse op te stellen die geldt voor alle pompstations die onderling **grote verschillen** kennen. Hoe kun je de uitval van een pompstation **doorvertalen** naar een naar lager component niveau. Vitens heeft het gehele voorzieningsgebied ingedeeld in 11 clusters. In een cluster kunnen tot tien pompstations opereren. In het geval van een calamiteit in een cluster nemen andere pompstations dit over. Dit kan leiden tot zeer complexe situaties, met name als er sprake is van een keten van risico's.

Het vullen van risicomatrix wordt omschreven als een ingewikkeld proces, waarbij bedrijven afhankelijk zijn van de kwaliteiten van de facilitator, met name op het gebied van doorvragen.

Bedrijven onderkennen dat **kwalitatieve oordelen subjectief** zijn. In de praktijk blijkt ook dat er **grote verschillen optreden tussen de risicowaardering** van dezelfde onderdelen door verschillende personen. Dit geldt ook voor experts.

Bedrijven geven aan dat er geen heilig geloof moet zijn in risicoanalyses. Omdat risico's zo moeilijk zijn te wegen en te kwantificeren, moeten de resultaten overeenstemmen met het expert oordeel. Tevens geldt dat een **risicoanalyse moeilijk is te valideren**. De input is subjectief, de onderlinge wegeningen zijn dat ook en de toetsing vindt ook op subjectieve gronden (expertoordeel) plaats.

In andere sectoren zoals in de luchtvaart zijn bedrijven wettelijk verplicht faaldata aan te leveren. Dit geldt niet voor drinkwaterbedrijven. PWN heeft de **OREDA database** voor de olie- en gasindustrie gebruikt om onderhouds- en faaldata te gebruiken voor pompen in de zuiveringsinstallatie. Het bleek **moeilijk** te zijn deze data te vertalen naar de drinkwaterpraktijk.

De ervaring is dat factoren die verband houden met menselijke ingrepen of de organisatie van grote invloed zijn op risico's. Dit maakt het kwantificeren van risico's ingewikkeld.

II – 6 Monitoring risico's: periodiek of continu?

Bedrijven geven aan dat risicobeoordelingen vooral plaatsvinden bij **nieuwbouwprojecten** of bij grote modificaties. Veel bedrijven, bijvoorbeeld Vitens, hebben de ambitie om regelmatig meer gedetailleerde risicoanalyses te maken. Dit wordt echter door de **grote inspanning** niet uitgevoerd. Minder gedetailleerde analyses zoals de leveringszekerheidsanalyse worden wel periodiek uitgevoerd, elke vier jaar. Dat zal binnenkort ook gaan gelden voor WSP'en.

Het bewaken van de prestatie met als doel om risico's tijdig te vermijden vindt plaats op een aantal waterkwaliteitsparameters en op uitval van componenten (storingsdatabase). De ervaringen met de **huidige storingsdatabases zijn in het algemeen negatief**. WML geeft aan dat de storingen worden gemeld maar dat de bruikbaarheid beperkt is. Dit betekent dat er wel kwalitatieve oordelen mee mogelijk zijn ter ondersteuning van bijvoorbeeld FMECA-analyses, maar dat er geen betrouwbare statistiek op mogelijk is.

PWN geeft echter aan dat zij onderhoudsplannen heeft die jaarlijks worden gereviewed. Het verdient de voorkeur als dit zou plaatsvinden op basis van betrouwbare statistiek. De eigen storingsregistratie is hiervoor te onbetrouwbaar. **Informatie over faalkansen van leveranciers is beperkt beschikbaar** omdat zij terughoudend zijn in het aanleveren hiervan. Ook geldt dat de leverancier het toepassingsgebied niet kent, waardoor er geen standaard waarden (MTBF's) valt te geven.

Waternet voert FMECA's uit voor installaties. De **onderhoudsintervallen zijn gebaseerd op drie pijlers: registraties van onderhoud, regelgeving en garantietermijnen leveranciers**. Hieruit volgt bijvoorbeeld dat pompen eens per 10 jaar gerenoveerd worden. Dit is echter gebaseerd op een **zeer gedateerde bedrijfsrichtlijn**. Waternet geeft aan dat het definiëren van onderhoud aan deelprocessen verbetering behoeft. Omdat de processen niet eenduidig zijn gedefinieerd (waar begint en eindigt een proces) is het lastig om onderhoud hierop af te stemmen.

II – 7 Welke risicobeoordelingstechnieken worden momenteel toegepast en wat zijn de beperkingen van deze methodieken?

Door bedrijven worden de volgende nadelen genoemd van de gehanteerde risicomethodieken:

- Het uitwerken van de methodieken tot op componentniveau is erg **bewerkelijk** (WML, Dunea)
- De beoordelingen zijn niet gebaseerd op de praktijk maar op **hypothetische situaties** (WML). De methoden gaan er van uit dat je alle ongewenste gebeurtenissen kan voorspellen, dat is niet het geval (Oasen).
- Het is lastig hoe om te gaan met de **verschillende niveaus**. Er is een technische faalkans op componentniveau, maar wat is de kans op uitval van een unit of een productiestation (WML, Vitens, Dunea).
- Er is vooral aandacht voor **geïsoleerde situaties** en niet voor onderlinge verbanden. Voorbeeld het oververhitten van een pomp omdat een klep niet sluit (WML).
- De **menselijke factor**:
 - Subjectiviteit van expert judgement (WML, Vitens, WbG, PWN, Dunea)
 - Uniforme begrippen binnen en buiten een organisatie, bijvoorbeeld pakking is kapot als die zweet of water er uit spuit (PWN)
 - Belangen en angst: operators overbodig door verdergaande automatisering (WML)
 - Correct en consequent nemen van alle stappen (Waternet)
 - hoe motiveer je mensen om goed te registreren (PWN)
 - Hoe leg je overwegingen van een oordeel vast, zodat je die bij een volgende actie weer ter beschikking hebt (Dunea)
- Er is een **beperkte beschikbaarheid van gegevens**. Onder andere de reparatietijd wordt niet bijgehouden (Waternet).
- **Combinatie van verschillende risico's** is niet mogelijk (Viten, Waternet).
- Veel overlap tussen diverse methoden, wat leidt tot inefficiency, bij voorbeeld bij WSPs en FMECA (Waternet).
- Mbt de **systeemgrens**, onduidelijk of je ook gebouwen meeneemt, niet primair maar wel een grote kostenpost in onderhoud (Waternet).
- **Hoe veranderen risico's** als een organisatie verandert, bij voorbeeld bij afslanking of vergrijzing (PWN)?
- Hoe omgaan met **beveiligingsmiddelen**? Dit zijn onderdelen waarvan je pas ziet dat ze storen als je ze nodig hebt, bij voorbeeld een overdrukventiel (PWN).
- De Watergroep is bezig om de waterveiligheidsplannen te standaardiseren/objectiveren. Dit maakt het proces efficiënter en vermindert subjectiviteiten (omdat de provinciale directies vrij autonoom zijn, ontstaan er verschillen per provinciale directie. Men wil ook voorkomen dat ze de risicobeoordelingen laten kleuren door mogelijke maatregelen, waar ze eigenlijk geen zin in hebben). Hiervoor is een algemene lijst van risicogebeurtenissen per zuiveringsinstallatie opgesteld. Met behulp van een beslisboom worden de scores van de risico's opgesteld. In deze beslisboom zitten risico-cijfers van te voren al ingebakken (bijv. aantal punten voor kans als een beluchtingsgebouw wel of niet afgesloten is). Dit komt binnenkort beschikbaar als applicatie. De resultaten van de nieuwe manier met de beslisboom kwamen voor een voorbeeldinstallatie goed overeen met de resultaten van de oude manier. Conditie van de installatie, inspecties/controles en genomen acties, online metingen wil De Watergroep ook nog meenemen in de risicobeoordeling. Er wordt momenteel een inventarisatie gemaakt van de installaties m.b.t.: leeftijd/staat, ontwerpparameters (t.o.v. huidig gebruik), procesvoering.

II – 8 Belangrijke aspecten/criteria/eisen voor het toepassen van een risicobeoordelingstechniek en waar liggen de onderzoeksbehoeftes?

Door bedrijven wordt genoemd:

- Hoe breng je **samenhang tussen methodieken**, kunnen technieken gecombineerd worden, welke techniek past het beste bij welk abstractieniveau, is er een methode handboek waar abstracte concepten praktisch worden beschreven (Oasen, PWN, WbG, Waternet, BW)
- Risicomethodieken zijn zeer **tijdsintensief**. Hoe kun je hier efficiënt mee omgaan, hoe vertaal je analyse resultaten naar vergelijkbare installaties, hoe kun je veralgemeniseren/verbijzonderen? (Oasen) Is het nodig om FMECA voor alle locaties te doen (WML)?
- Hoe kom je tot een ideaal **gestandaardiseerd ontwerp** dat is afgestemd op de PRK-matrixen die een goede balans vormt tussen risico's en kosten (DWG).
- Ervaringen delen en komen tot een algemene lijst met **risico's voor iedere zuiveringsinstallatie** en gezamenlijk toekennen van **risicogetallen** (DWG).
- **Risico inbedden in bedrijfsvoering**:
 - Top down relaties: Hoe verhouden bedrijfsdoelen/ Bedrijfswaarden zich tot risico's op diverse niveaus (PWN)?
 - Bottom-up relaties: Analyses als FMECA en VRA kijken geïsoleerd naar kans en effect van falen. Er is geen beeld wat dit betekent voor de levering aan de klant. Het meeste falen heeft effect voor de klant (WbG, Waternet, BW).
 - Vergelijkbaar relatie LCA (top down, systeemniveau) en RCM (Bottom-up, componentniveau) (WbG).
- Hoe om te gaan met **faaldata**? kun je faaldata uitwisselen? Is er een andere/aanvullende methode op Adaquata, (PWN)? hoe kun je zo veel mogelijk informatie halen uit bestaande databases, hoe interpreteren we de vrije invoervelden (opmerkingen) (Vitens, DWG). Data-opslag van faalgegevens van installaties en storingsanalyse (Dunea). Is er een generieke storingsregistratie mogelijk (DWG)
- Hoe krijgen we inzicht in de **menselijke factor bij het analyseren** van risico's, is dit uit te sluiten of te verbeteren, hoe veel data heb je nodig (PWN, Vitens, WbG, Waternet, DWG)?
- Hoe krijgen we inzicht in de **menselijke factor bij het uitvoeren** van acties (onderhoud en calamiteit), is er voldoende overzicht, wat als iemand verkeerd handelt (Waternet)?
- Wat is de relatie tussen **onderhoud, risico en levenscycluskosten**. Wat is het optimum, in hoeverre kun je teruggaan in onderhoud zonder dat dit tot kosten op langere termijn of hoger risico leidt (WML, Oasen, Waternet)? Wat is de impact van onderhoud (intensiteit van onderhoud) op prestatie en risico? (Vitens, prioriteit, Waternet). Idee Vitens: Vergelijk twee locaties met verschillende onderhoudsplannen op basis van de VRA en kijk of daar verschillende risicoprofielen uitkomen.
- **Leveringszekerheidsmethodiek uitbreiden met een FMEA** (PWN). **Beschikbaarheid en leveringszekerheid**, hoe verhouden die twee zich tot elkaar (BW)?
- Hoe kun je risico's van bovengrondse en ondergrondse infrastructuur met elkaar in samenhang beschouwen. Is nu nog te complex, maar wel een wens om dit uit te werken (Vitens).
- Hoe geef je invulling aan **RAM**, m.n. voor wat betreft de **reparatietijd, tijd van uitval en beschikbaarheid**. Hoe kun je deze aspecten vaststellen/registreren (Waternet)
- Risicoanalyses gaan vaak uit van een conservatieve situatie, zoals uitval op de max dag, hoe realistisch is dat (WML)? Ben je bewust dat je risico's/veiligheden **stapelt** en hoe ga hoe daarmee om?
- **Risicoperceptie**: wat is rood en groen in de matrix en hoe kun je dat onderbouwen (WbG)?

- Hoe kunnen **risicobeoordelingen geïntegreerd worden in onderhoudswerkzaamheden** (DWG).
- Wat is het **effect van een beheermaatregel**, ook op de langere termijn. In hoeverre wordt een risico gereduceerd en impliceert een maatregel geen ander risico. Ooit zijn lucht microfilters toegepast nav Tsjernobyl. Nu blijkt dat deze verstopten met schimmels of niet meer goed functioneren. Hoe hiermee om te gaan (BW).
- Is er een kans op **overautomatiseren**, waarbij er zoveel wordt geautomatiseerd dat niemand meer overzicht heeft en zelfstandig kan ingrijpen(PWN)?

II – 9 Bereidheid om mee te doen met het uitwerken van een voorbeeldzuivering in dit project

Door WML, WbG, Vitens, Waternet is aangegeven dat zij in principe mee willen werken aan een uitwerking voor een **voorbeeldzuivering**. Hiervoor is nog nadere uitwerking nodig. WbG noemt aanhaken op **ontwikkelingen** bij De Groeve of bij bestaande onthardingsinstallaties een optie. Voor Waternet geldt dat een vervolg dient aan te sluiten op de acties die lopen in het kader van **RAM** (Reliability, Availability, Maintainability) en beschikbaarheid. Graag dan ook aandacht voor **modelleren**.

II – 10 Combineren van risico's?

Bedrijven besteden in hun analyses in het algemeen **geen aandacht aan combinatie van risico's** (te weten het gelijktijdig optreden van twee onafhankelijke ongewenste gebeurtenissen). De meeste methodieken zijn hier ook niet op ingericht. Ook geven bedrijven aan dat het objectief en meetbaar vaststellen van enkelvoudige risico's een uitdaging is. Opgemerkt wordt dat in de huidige situatie de kans op een ongewenste gebeurtenis klein is en dat de kans op het optreden van twee gebeurtenissen als zeer klein wordt geacht (oa Oasen). Opgemerkt wordt ook dat volgens de Drinkwaterwet het optreden van twee soorten uitval als een ramp wordt bestempeld en dat daarvoor geen richtlijnen worden gegeven.

Waternet noemt in dit verband het optreden van een storing tijdens een periode van onderhoud. Hierop wordt geanticipeerd door geen preventief onderhoud uit te voeren tijdens bepaalde piekleveringen. De vraag is of dit wenselijk is en of dit het systeem niet kwetsbaar maakt. Tevens noemt Waternet grootschalige problemen die op meerdere locaties ingrijpen. Bijvoorbeeld een dataprobleem (hack) die de uitval van meerdere componenten veroorzaakt. Overigens komt dit aspecten in de VRO wel aan bod.

Dunea merkt op dat het combineren van risico's gebeurt in de RAMS-analyse, maar dat dit vooralsnog niet wordt opgepakt. Het is verstandiger om eenvoudig te beginnen en later mogelijk complexiteiten toe te voegen.

II - 11 Overig

Brabant Water

Je zou eigenlijk een community of practice willen hebben voor risicomanagement (net als de kostenstandaard DHV/Royal Haskoning). Niet wetenschappelijk maar heel praktisch.

Bijlage III Verslag workshop

Datum: 29 november 2016

Aanwezig: Bert Vonk (Oasen), Rika Jenne (De Watergroep), Kaat Blockx (De Watergroep), Geert Jan van Heck (Waternet), Ariadne Doll (Waternet), Wim van Bakel (Waternet), Geerhart Brons (Vitens), Annelore de Groot (Vitens), Gerrard Wubbels (WLN), Patrick van der Wens (Brabant Water), Ingrid Bonnet (PWN), Peter van de Vlies (Oasen), Geert Linssen (WML), Joris Bouma (WML), Cees Lavooij (Dunea), Bernard Enthoven (W. Groningen), Ralph Beuken (KWR), Patrick Smeets (KWR), Luc Palmen (KWR), Bas Wols (KWR).

Inleiding

In het kader van het BTO project risico en risicobeoordelingsmethodieken voor zuiveringsinstallaties is op 29 november 2016 een workshop met de waterbedrijven gehouden. Hierbij waren Vitens, Dunea, PWN, Brabant Water, Waternet, Waterbedrijf Groningen, WLN, WML, Oasen en De Watergroep aanwezig. Dit project heeft als doel om risico's en risicobeoordelingsmethodieken voor een zuiveringsinstallatie te evalueren en uit te werken voor twee voorbeeldzuiveringen. Tijdens de workshop zijn de resultaten van de eerste fase van het onderzoek teruggekoppeld en is in overleg met de waterbedrijven het vervolg vormgegeven.

Verslag workshop

Na een korte introductieronde, geeft Bas Wols een overzicht van het projectplan.

Vervolgens geeft Ralph Beuken een terugkoppeling van de interviews. N.a.v. de presentatie van Ralph wordt opgemerkt dat discipline een belangrijke factor is om subjectiviteit te verminderen. PWN merkt op over Adaquata dat de business case erg lastig is. De deelnemende bedrijven registreren de storingen op hun eigen manier. Uit de business case volgt niet eenduidig dat een uniforme registratie leidt tot grote voordelen m.b.t. onderhoudskosten of verlaging van risico's. In de olie- en gasindustrie werkt een uniforme database (Oreda database) wel goed, wellicht omdat hier risico's beter af te meten zijn in geld (wellicht minder redundantie zodat er een directer effect is van falen van componenten¹). Waternet merkt op dat ze met een analyse bezig zijn om de impact van het falen op leveringszekerheid in kaart te brengen.

Patrick Smeets geeft een terugkoppeling van de opdracht van RIVM om de praktijk van risicomanagement van de waterbedrijven in beeld te brengen, gericht op water safety plans (WSP) en waterkwaliteit. WSP kunnen ook breder getrokken worden dan alleen waterkwaliteit, maar waterkwaliteit is vaak wel de focus. PWN merkt op dat ze de gezondheidsgegevens wel eens gecontroleerd hebben in relatie tot waterkwaliteit. Hieruit volgde geen verband tussen

¹ Veiligheid is ook een belangrijke driver is, kans en impact van ongelukken zijn veel groter bij Olie&Gas dan in water

waterkwaliteit en optreden van extra ziektes. Door de strenge eisen die NL gelden voor waterkwaliteit is dit ook niet te verwachten, en daarnaast worden niet alle ziektes even goed geregistreerd.

Bas Wols geeft kort vier gemeenschappelijke vervolgrichtingen aan, die uit de interviews naar voren zijn gekomen:

1. Verband tussen beschikbaarheid en leveringszekerheid
2. Lessons learned / veralgemeniseren resultaten
3. Relatie onderhoud, risico en kosten (life cycle costs), twee voorbeeldzuiveringen kijken naar verschil in onderhoudsprofiel, risico en kosten.
4. Uitwerken en gebruik faaldata, objectiveren 'human factor'

Vitens vraagt wat wordt bedoeld met beschikbaarheid en leveringszekerheid?

Beschikbaarheid is de tijd dat een installatie niet gebruikt wordt, dit is een combinatie van falen (faalfrequentie) en reparatietijd. De begrippen beschikbaarheid en betrouwbaarheid worden regelmatig door elkaar gebruikt en moeten bij een vervolg goed gedefinieerd worden. Voor leveringszekerheid heb je wettelijke eisen² echter bedrijven hebben vaak eigen eisen die strenger zijn (bijv. Waternet stelt dat uitval van een pompstation (Leiduin, Weespkarospel) mag op een waarschijnlijkheid van eens per 100 jaar voor een duur van max 4 uur, waarbij de contractuele verplichtingen aan PWN nagekomen moeten kunnen worden. In de wettelijke eis leveringszekerheid is geen uitval frequentie opgenomen. Leveringszekerheid van een voorzieningsgebied wordt teruggerekend naar leveringszekerheid van een productielocatie en is daarmee een robuustheidseis voor de architectuur. Daarnaast kan op basis van prestatie-eisen voor klanten per productielocatie een maximale OLM-eis geformuleerd worden.

In de discussie wordt bij ieder bedrijf nagevraagd waar de meeste interesse ligt (tussen haakjes de voorkeursrichting):

- WML (2): op 3 locaties zijn uitgebreide analyses (FMECA's) uitgevoerd. Vraag voor WML is: wat levert het op? Kun je de resultaten van de FMECA's eenvoudig kopiëren naar andere locaties?
- Oasen (3): life cycle begint al bij het ontwerp, de onderhoudsregels gedurende de levensloop moeten gebaseerd zijn op de ontwerpeisen (voor zowel nieuwbouw als renovatie/revamp).
- DWG (2/3): In België zijn WSP verplicht. DWG is bezig met een objectiveringsslag. Het veralgemeniseren en objectiveren van de WSP naar 80 locaties. Dit is met name gericht op waterkwaliteit. Hierbij wordt een risico-matrix gebruikt die opgesteld is vanuit expert judgement uit de praktijk. Daarnaast zijn ze bezig met inventariseren en uniformiseren van onderhoudsfrequenties.
- Dunea (3): Dunea heeft een assetregister opgebouwd met onderhoudsplannen. Er zijn verschillende soorten onderhoud (toestandsafhankelijk onderhoud, periodiek onderhoud, functioneel kijken, etc). Risico is ook weer gekoppeld aan beschikbaarheid voor Katwijk, Bergambacht. Dit kan met behulp van decompositie (foutenboom) worden doorgerekend.

² Bij uitval voor een periode langer dan 24 uur van een element moet het bedrijf in staat zijn om op basis van de max dag 75% van de daghoeveelheid te leveren binnen alle zwaartepunten van verbruik (cluster van 2000 aansluitingen).

- Waternet (1): Waternet berekent vanuit een bedrijfseis van leveringszekerheid aan de klant (1/100 jaar 4 uur uitval) terug naar de productielocatie. Voor iedere productielocatie is dan een risicomatrix beschikbaar. Vervolgens willen ze dit terugrekenen naar installatieniveau, zodat de beschikbaarheid per installatie bepaald kan worden.
- Vitens (1): ze zijn zelf bezig met vervolgrichting 2/3/4, daarom voorkeur voor 1. Vitens heeft geen risicomatrix per productielocatie, en weet ook niet wat de beschikbaarheidseis is voor een asset. Met betrekking tot richting 3, hierin is ook de zachte kant van life cycle management interessant, hoe breng je dit over in de organisatie. En daarnaast is het moneteriseren van het risico ook interessant (harde kant).
- Brabant Water (2): delen van ervaringen/kennis is belangrijk, een platform om kennis uit te wisselen is hiervoor meer geschikt dan een rapport. Concreet idee van Brabant Water is om absoluutfiltratie te pakken en de PRK (en nut en noodzaak) van dit proces uit te pluizen. Bij de andere bedrijven speelt dit minder, en wordt er vooral naar onderhoud hiervan gekeken.
- PWN (2): PWN is vooral benieuwd wat geleerd kan worden van andere bedrijven en hoe dit gebruikt kan worden ter verbetering van het onderhoud. Onderzoek (1) heeft PWN al gedaan op pompstation Hoofddorp. Dit is erg veel werk en toen is besloten om dit niet op andere lokaties te doen. 4 wordt al gedaan met Adaquata.
- WBG (2/3): en dan met name richting 3, namelijk gericht op de hoofddoelstelling en subdoelstellingen van AM. Beschikbaarheid speelt hier ook een rol, niet alleen kwantitatief maar ook kwalitatief.

De voorkeur van de meeste bedrijven ligt op onderzoek 2 en 3. Het is dan het meest voor de hand liggend om te beginnen met 2. Het idee is om op basis van 3 lokaties waarvoor een risicomethodiek al is uitgewerkt verder te gaan:

- Stap 1: Technisch vertalen: welke algemene zaken kan ik uit de uitgebreide analyses halen en vertalen naar andere lokaties? Met welke variabelen (variabelen die bepalen of methodiek A voor locatie X vertaalbaar is naar locatie Y) kan ik dat doen (waarbij dit –indien mogelijk – verder gaat dan de voor de hand liggende variabelen zoals faalfrequentie en faaleffect). Wat leer ik van de uitgebreide analyses?
- Stap 2: Kan op basis van de uitgewerkte voorbeelden een relatie gelegd worden tussen onderhoud, risico en kosten (over de levenscyclus)?

Vervolg

N.a.v. de discussie tijdens de workshop heeft KWR het vervolg iets verder uitgewerkt:

Drie voorbeeldzuiveringen met vergelijkbare zuiveringsprocessen zullen als basis gebruikt worden (gedacht wordt aan Schinveld (grondwaterstation), een grondwaterstation van Vitens en Bergambacht (voorzuivering)). Voor deze locaties zijn FMECA/RCM/FTA reeds uitgevoerd. Op basis van deze analyses is het onderhoudsprogramma vastgesteld of aangepast. In het onderzoek zal bekeken worden welke aspecten van de analyses zelf en analyseresultaten gebruikt kunnen worden voor andere lokaties. Hierbij wordt per methodiek/locatie een overzicht gemaakt van benodigde onderdelen (gegevens en variabelen). Te denken valt aan:

- Decompositie, beschrijving, assetregistratie
- Faaldata van componenten
- Uitval van een (deel) installatie
- Onderhoudsactiviteiten en onderhoudsintervallen
- Beschikbaarheid

- Onderdelen van een foutenboom
- Levensduren componenten

Door drie soortgelijke locaties te beschouwen kan de uitwisselbaarheid van deze aspecten direct getest worden van de ene locatie op de andere locatie. Daarbij is het interessant om te onderzoeken in welke mate dit tot andere onderhoudsregels leidt. Extra vraag is ook hoe aanvullend de technieken zijn. Als de een FMECA hebt uitgevoerd, hoeveel moeite kost het dan om van hetzelfde PS een RCM of FTA te maken en in hoeverre zijn deze gegevens uitwisselbaar? Afhankelijk van de informatie die uit de analyses wordt gehaald, zal vervolgens onderzocht worden of op basis van de uitgewerkte voorbeelden een relatie gelegd worden tussen onderhoud, risico en kosten (over de levenscyclus).

Risico's voor zuiveringsinstallaties

Workshop

Bas Wols, Luc Palmen, Cheryl Bertelkamp

Programma

- 9.30 Introductie, voorstelronde (presentatie Bas)
- 9.45 Overzicht projectplan (presentatie Bas)
- 10.00 Terugkoppeling interviews/literatuurstudie (presentatie Ralph)
- 10.20 RIVM studie (Patrick)
- 10.40 Pauze
- 11.00 Discussie vervolgrichting/onderzoeksvragen (presentatie Bas, discussieleider: Luc)
- 12.00 Lunch



Risico's voor
zuiveringsinstallaties

Projectplan

Bas Wols, Luc Palmen, Cheryl Bertelkamp

KWR Watercycle Research Institute

Bas Wols (bas.wols@kwrwater.nl)

Bridging science to practice

Aanleiding en doel

- Overdimensionering in de zuivering, slimmer/slanker ontwerpen
- Vanuit perspectief van AM wordt anders gekeken naar risico, nml. balans PRK
- Onderhoudbaarheid van een installatie is een belangrijk thema geworden
- Risicobeoordeling is een belangrijk onderdeel van HLS managementsystemen
- Er bestaan veel soorten risicobeoordelingsmethodieken, waterbedrijven gebruiken verschillende methodieken

Doel: evaluatie risico's en risicobeoordelingsmethodieken voor een zuiveringsinstallatie, uitgewerkt voor twee voorbeeldzuiveringen.

Lopende initiatieven

- Waterkwaliteit (RIVM): opdracht om RA/RM vanuit EU Drinkwaterrichtlijn te vertalen naar aanpak in NL
- Ronde tafel risicomanagement (breed) met risicospecialisten van de waterbedrijven
- Adaquata (RHDHV + aantal waterbedrijven): opzetten storingsdatabase + business case

Betrokkenheid waterbedrijven

- Input vanuit de interviews
- Prioriteren en selecteren, onderzoek naar specifieke aspecten in gezamenlijk overleg (**vandaag**)
- Uitwerking twee voorbeeldzuiveringen gezamenlijk (bij voorkeur aansluiten bij lopende initiatieven)

Activiteiten

Inventarisatie en selectie methodieken:

- Literatuuronderzoek risicomethodieken (RCM, FMECA, HAZOP, RAMSHEQ, HACCP, WSP, AMVD, ...)
- Inventarisatie van risico's die in principe spelen in de zuivering
- Interviews bij de waterbedrijven
- Inventarisatie van hiaten m.b.t. risico's
- Beoordeling methodieken op een aantal criteria, prioriteren en selecteren
- Schaalgrootte

Na selectie 2-3 methodieken:

- Uitwerking in twee voorbeeldzuiveringen
- Onderzoek naar specifieke aspecten in de risicomethodiek (afhankelijk van gekozen methodiek en uitwerking)
- Subjectiviteiten signaleren en waar mogelijk een objectivering voorstellen
- Aanbevelingen voor het gebruik van risicomethodieken in de zuivering
- Rapportage

Activiteiten

Inventarisatie en selectie methodieken:

- Literatuuronderzoek risicomethodieken (RCM, FMECA, HAZOP, RAMSHEQ, HACCP, WSP, AMVD, ...)
- Inventarisatie van risico's die in principe spelen in de zuivering
- Interviews bij de waterbedrijven
- Inventarisatie van hiaten m.b.t. risico's
- Beoordeling methodieken op een aantal criteria, prioriteren en selecteren
- Schaalgrootte

Status

✓

✓, op hoofdgroepen (geen detaillijst)

✓

✓, overzicht

Lijst gemaakt, selectie op basis van behoeftes uit interviews en discussie vandaag

Meegenomen per methodiek, onderlinge samenhang mogelijk onderdeel van vervolg

Risico's voor zuiveringsinstallaties

Terugkoppeling interviews en literatuurstudie

Bas Wols, Cheryl Bertelkamp, Ralph Beuken

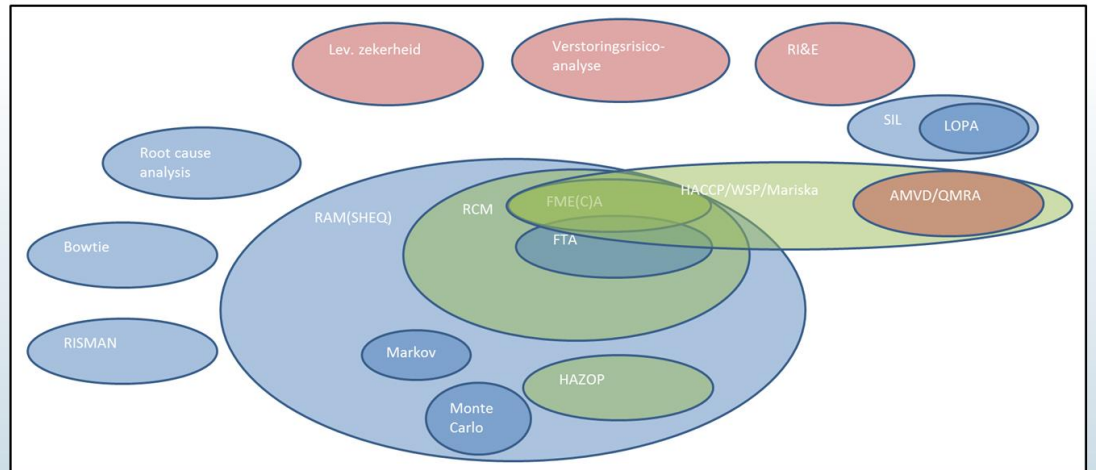
Interviews met 9 bedrijven

Drinkwaterbedrijf	Datum	Gesproken met
WML	14-6-2016	Geert Linssen, Joris Bouma
Oasen	7-7-2016	Bert Vonk, Peter van der Vlies
PWN	8-8-2016	Ron Blok, Ingrid Bonnet
Vitens	9-8-2016	Annelore de Groot en Geerhart Brons
Waterbedrijf Groningen	11-8-2016	Bernard Enthoven, Carla Melessen, Gerard Wubbels
Waternet	15-8-2016	Geert Jan van Heck
Brabant Water	16-8-2016	Patrick van der Wens
Dunea	5-9-2016	Angela Puts, Cees Lavooij
De Watergroep	16-9-2016	Rika Jenne en Kaat Blockx

Centrale vragen

1. Welke **projecten** in kader van risico's zuivering worden uitgevoerd? Hoe zijn deze projecten verankerd in de organisatie?
2. Bent u bekend met de ronde tafel?
3. Welke **risico's** worden geïdentificeerd in de drinkwaterzuivering?
4. Hoe worden risico's gedefinieerd in de drinkwaterzuivering? Onvoldoende water of water van te lage kwaliteit?
5. Hoe worden **kansen en gevolgen bepaald**: als numerieke waarde, gekwantificeerd?
6. Worden risico's continu of periodiek **gemonitord** en hoe?
7. Welke **risicobeoordelingsmethodieken** worden momenteel toegepast in de drinkwaterzuivering en wat zijn hierbij de belangrijkste overwegingen? Ervaringen verleden?
8. Wat zijn **beperkingen** van deze methodieken?
9. Wat zijn **belangrijke aspecten/criteria** voor het drinkwaterbedrijf in het kader van risicomethodieken waar aan gedacht moet worden? Zijn er bepaalde eisen waaraan een risicomethodiek moet voldoen?
10. Wat zijn de **behoeftes**? Welke methodieken oppakken in dit project?
11. **Combineren** van risico's?
12. Nog **onderzoeksvragen voor huidig project**?
13. Meedoen aan uitwerken **voorbeeldzuivering in dit project**?

Methodieken, in gebruik bij drinkwaterbedrijven



Interviews: relevante ontwikkelingen bij bedrijven

- (Nieuwe) wettelijke verplichtingen
 - Naast leveringszekerheid, ook VerstoringsRisicoAnalyse, RI&E (arbo), QMRA
- Aandacht voor maatschappelijke risico's (externe analyse)
- Risicomanagement aansluiten op bedrijfsstrategie
- Professionalisering risicomanagement: ISO, documentatie, standaardisatie
- Aandacht voor kosten en de relatie met risico's
- Vergrijzing en uittreding van kennis
- Veiligheidsdenken → risicodenken → multidisciplinair risicodenken

Interviews: Opinies over risicomanagement

- Veel technieken met veel overlap
 - Van checklists voor ontwerp of onderhoud t/m kwantitatieve modellen
- Veel input is subjectief, lastig te kwantificeren/modelleren
- Veel te voorspellen situaties zijn hypothetisch (stel dat ... en dat ...)
- Resultaten zijn niet te valideren
- Risicoanalyse is zeer tijdsintensief
- Uitval is te kwantificeren, waterkwaliteit vaak niet
- Denken op verschillende niveaus:
 - Uitval van een productielocatie / installatie / component
 - Redundantie
 - Storen versus uitval

Interviews: Illustraties

Oasen:	• Hoe vertalen we de visie 'Verassingsvrije en onberispelijke levering' naar kwantificeerbare analyses en drempelwaarden?
WML:	• Uitgebreide RCM uitgevoerd op PS Schinveld, kan dit verbreed worden naar andere PS's?
Vitens:	• Wat is de kans op uitval van een geheel PS? • Is het mogelijk te komen tot standaard onderhoudsregels voor een groot aantal PS's?
Dunea	• Te hoog abstractieniveau: geen focus/nut • Te laag abstractieniveau: duur en onbeheersbaar

Visie op kosten en risico's in de organisatie

- **Directie versus werkvloer (extreme gedachten)**
 - werkvloer: kostenverlaging leidt tot onaanvaardbare risico's
 - "Is risicomanagement een manier van de directie om te bezuinigen?"
 - Directie: moeilijk grip te krijgen op bedrijfsvoering en kosten
 - "Werkvloer houdt kennis bij zich en werpt problemen op"
- **Organisatie: uitdagingen communicatie en een breed uitgedragen beleid**
- **Cultuurverandering naar meer risicodenken**

Zijn risicomethodieken goed genoeg?

- **Omvat een risicobenadering de relevante aspecten om kostenbesparing te onderbouwen?**
 - Maintainability / Duur van uitval / Impact van redundantie / Relatie storingen en beschikbaarheid / beschrijven waterkwaliteit
- **Je kan niet alle (combinaties van) ongewenste gebeurtenissen voorspellen (unknown unknowns)**
- **Zijn risico's afdoende te begrijpen, te modelleren en te kwantificeren?**
- **Hoe kan een organisatie de bedrijfswaarden vertalen in drempelwaarden?**
 - Wat is groen of rood in de matrix, en hoe verschillende effecten te wegen?
- **Hoe stem je een bottom-up aanpak (RCM) af op een top-down aanpak (VRA) en pas je het in in assetmanagementbeleid?**
- **Risicoanalyse voldoende betrouwbaar om ontwerp / onderhoudsregels aan te passen?**

De menselijke factor

- Expert judgement is noodzakelijk voor:
 - Schematiseren PS
 - Methodiek van risicoproces
 - Input van scenario's en drempelwaarden
 - Data: Faalfrequenties, kosten, ...
 - Validatie van resultaten
 - Impact van maatregelen
- Hoe waarborg je kwaliteit van inputdata?
- Hoe motiveer je mensen blijvend goed te registreren?
- Hoe te documenteren voor vervolgactie?
- Is uniforme begripsvorming mogelijk?
 - Wanneer is pakking defect als deze zweet of als water er uitspuit?

Oplossingen:

- Ervaren moderator
- Interviewtechnieken
- Checklists
- Standardisatie
- ...

Verzamelen data over storingen/uitval

- Bedrijven verzamelen onderhoud- en storingsdata
- Combineren en genereren kennisregels is moeilijk
- Adaquata: initiatief van RHDHV voor PWN/BW/PWN/EIW/WbG/...
- Doel verzamelen van storingsdata van PS's om te komen tot standaard MTBF voor standaard zuiveringen
- Business case is/wordt gemaakt

Veel genoemde behoeften uit interviews

- Hoe omgaan met verschillende methodieken (handboek, combinaties)?
- Uitwerken en gebruik van faaldata?
- Verschillende niveau's, hoe deze te verbinden?
 - PS/installatie/component, top-down versus bottom-up, integrale aanpak
- Wat is verband tussen beschikbaarheid en leveringszekerheid?
- Hoe omgaan met human factor, objectiveren (bijv. met faaldata)
- Lessons learned / veralgemeniseren resultaten
- Relatie onderhoud, risico en kosten (life cycle costs), kijken naar verschil in onderhoudsprofiel, risico en kosten

Patrick Smeets, KWR 28-11-2016 1

RA/RM van drinkwater in Nederland

Onderzoek voor Ministerie I&M door RIVM en KWR

Patrick Smeets (KWR),
Harold vd Berg, Lieke Friederichs, Ans Versteegh en Ana Maria de Roda Husman (RIVM)

KWR Watercycle Research Institute

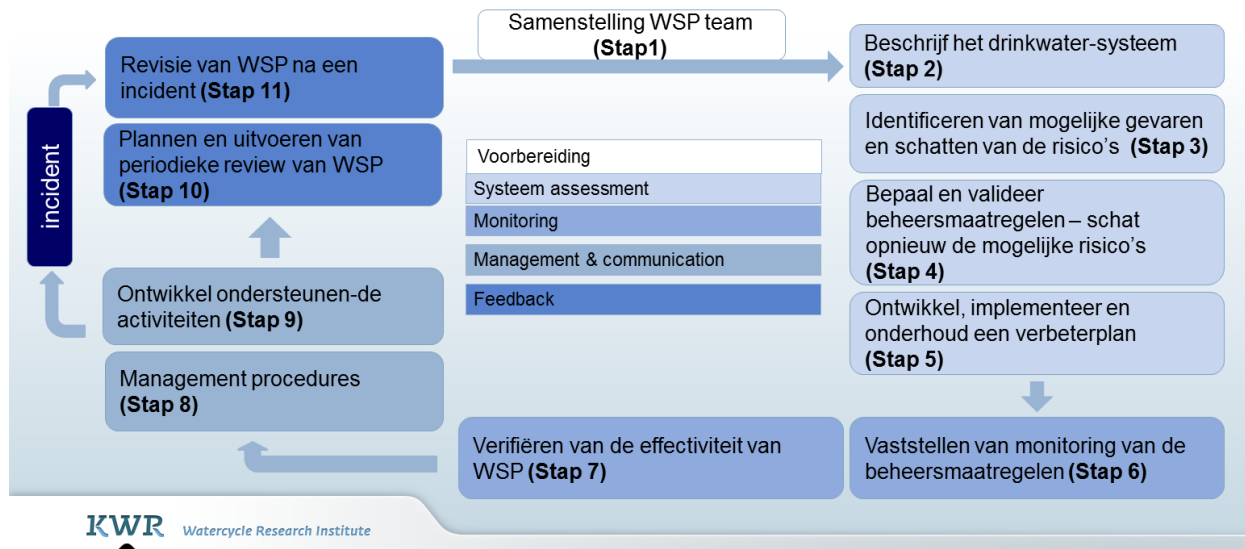
Patrick Smeets, KWR 28-11-2016 2

Internationaal raamwerk 'safe drinking water'



Waterveiligheidsplan Water Safety Plan (WHO-IWA)

[WHO, 2012]

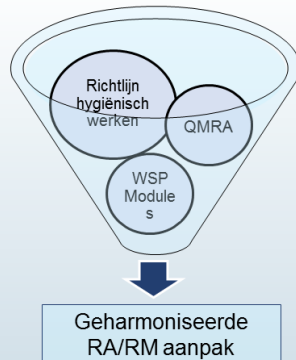


Aanleiding

1. Het aantal landen met een WSP aanpak in nationale wetgeving neemt toe
2. Nederland heeft een lange traditie van een risico-gebaseerde aanpak van bron tot tap – die sterk lijkt op de WSP benadering
Er zijn zeer veel RA/RM activiteiten
 - het geheel wordt zelden waterveiligheidsplan genoemd
 - er is geen overzicht van verschillende RA/RM praktijken
3. Herziening van Annex II en III van de EU DWD (EG nr. 1787/2015)
 - Risicogebaseerd monitoren toegestaan

Doel van het project

RA/RM aanpak in Nederland voor water-KWALITEIT



Bottom-up approach

1. Inventarisatie van alle RA/RM activiteiten die door de drinkwater-bedrijven worden uitgevoerd
2. Interviews met drinkwaterbedrijven
3. Overzicht van alle RA/RM activiteiten – in relatie met waterveiligheidsplan
4. Ontwikkelen van een geharmoniseerde aanpak voor RA/RM



Stap 1: Samenstelling RA/RM team

- Multidisciplinaire teams
- Afhankelijk van onderwerp/insteek
- Soms externe adviseur voor proces of expertise

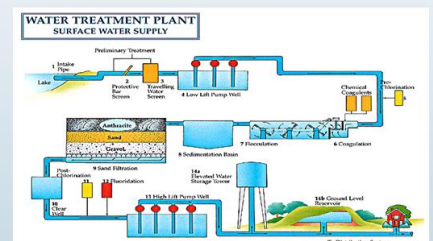


<https://www.asme.org/career-education/articles/team-building/teaching-teamwork-to-engineers>

Stap 2: Beschrijving van het drinkwatersysteem

Alle drinkwaterbedrijven hebben een systeembeschrijving van bron tot kraan:

- Up-to-date
- Verschillende registratiesystemen
- Soms koppeling bron tot kraan



<http://cof-cof.ca/surface-water-treatment-plant-flow-diagram/>

Stap 3: Identificeren van mogelijke gevaren en schatten van de risico's



http://bch.cbd.int/cpb_art15/training/module3.shtml

Alle bedrijven gebruiken meerdere wettelijke verplichtingen en bedrijfseigen instrumenten om risico's te identificeren

Risicoanalyses spelen in toenemende mate een rol bij investeringsplannen (10/10)

Documentatie van geïdentificeerde risico's:

- Één centrale database (3/10)
- Verschillende bestanden en systemen (7/10)

Bij **alle bedrijven** worden de risico's geprioriteerd, verschillende methoden / wegingsfactoren

Stap 4: Bepaal en valideer beheersmaatregelen

- Alle drinkwaterbedrijven hebben zuivering en procedures als belangrijke beheersmaatregelen
- Validatie door trendanalyse en (proef)onderzoek

Stap 5: Ontwikkel, implementeer en onderhoud een verbeterplan

Bij **de helft van de drinkwater-bedrijven** (5/10) worden alle verbeter-plannen (en acties) gekoppeld.
Van bedrijven die verbeterplannen niet koppelen is dit wel de intentie.

Stap 6: Monitoring van de beheersmaatregelen

Alle drinkwaterbedrijven monitoren van bron – kraan:

- wettelijk verplicht meetprogramma
- bedrijfseigen meetprogramma (online monitoring en trendanalyses)
- Vastlegging in verschillende systemen (LIMS, GIS, SCADA)

Bij **alle drinkwaterbedrijven** zijn procedures voor corrigerende maatregelen vastgelegd op basis van:

- procesbesturing
- waterkwaliteit (bron, zuivering, distributie)
- klachten



Foto: monstername waterkwaliteitsbepaling



Foto: visuele inspectie

Stap 7: Verifiëren van de effectiviteit van RA/RM

Wordt door **alle bedrijven** onderzocht middels wettelijke verplichtingen (AMVD, waterkwaliteitsmetingen) en bedrijfseigen instrumenten.

Bij **geen drinkwaterbedrijf** vindt verificatie van de effectiviteit plaats met behulp van volksgezondheidsdata.

De huidige wettelijke meetinspanning wordt niet door alle bedrijven gezien als de meest kosteneffectieve en meest inzicht gevende manier. Een minderheid geeft aan (3/10) dat het huidige meetprogramma een goed beeld geeft als verificatie.

Stap 8: Management procedures

Alle bedrijven geven bekendheid aan procedures door middel van:

- Opleidingen / cursussen
- Oefeningen
- Intranet / communicatie

Stap 9: Ontwikkel ondersteunende activiteiten

- Publiekscampagnes
- cursussen voor aannemers
- klanttevredenheidsonderzoek

Stap 10: Plannen en uitvoeren van periodieke review van RA/RM

Bij **alle bedrijven** worden interne als externe audits uitgevoerd voor risicobeheersing en management.

- ISO 9001 en 14000
- Raad van Accreditatie audits
- ILT reality checks

**RA/RM audit**

Kennisuitwisseling met andere bedrijven wordt door **alle bedrijven** belangrijk gevonden. **Twee** bedrijven geven aan dat audits alleen zinvol zijn als er iets aanvullends geleerd kan worden. Integratie met bestaande audits is daarvoor nodig.

Geharmoniseerde RA/RM aanpak - certificering

Geen van de bedrijven is voor een RA/RM certificering

**Stap 11: Revisie van RA/RM na een incident of calamiteit**

- (calamiteiten) procedures zijn voorgeschreven.
- crisis/calamiteiten management vastgelegd.
- Incidenten en verstoringen worden geregistreerd, geëvalueerd en waar nodig aangepast

Conclusies

Bewustwording Risicomanagement is zeer hoog bij de drinkwaterbedrijven

- Voortdurende samenwerking voor verbetering van RA/RM
- Initiatieven voor integraal risicomanagement

Alle 11 stappen (zoals omschreven in een waterveiligheidsplan) worden door alle drinkwaterbedrijven uitgevoerd door de huidige activiteiten

- + Beschreven in wetgeving, richtlijnen of bedrijfsspecifieke procedures
- + Grote overlap in de activiteiten
- Enkele verschillen tussen drinkwaterbedrijven
- Mogelijk enkele kleine verbeteringen

IenM gebruikt de resultaten voor de agenda met de sector rond het ontwikkelen van een geharmoniseerd aanpak op basis van de huidige activiteiten, **in combinatie met integraal risicomanagement**

Met dank aan

1. Ministerie van Infrastructuur en Milieu
2. Alle drinkwaterbedrijven:





Risico's voor zuiveringsinstallaties

Vervolgrichtingen

Bas Wols, Luc Palmen, Ralph Beuken

Randvoorwaarden

Vanuit projectplan

- Gericht op waterzuivering
- Uitwerking/verdieping 2-3 methodieken
- Uitwerking a.h.v. voorbeeldzuiveringen
- Rekening houden met subjectiviteiten
- Verbanden tussen schaalgroottes (bv. installatie → productielocatie)

Vervolgrichtingen

1. Verband tussen beschikbaarheid en leveringszekerheid
2. Lessons learned / veralgemeniseren resultaten
3. Relatie onderhoud, risico en kosten (life cycle costs), twee voorbeeldzuiveringen kijken naar verschil in onderhoudsprofiel, risico en kosten.
4. Uitwerken en gebruik faaldata, objectiveren 'human factor'

1. Verband tussen beschikbaarheid en leveringszekerheid

- Wat zegt de beschikbaarheid van een zuiveringsinstallatie over de leveringszekerheid van een productielocatie/pompstation?
- Leveringszekerheid wordt uitgedrukt in OLM van een productielocatie
- Verband OLM en beschikbaarheid
- Onderdeel van RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety), gebruik makend van FTA/block diagrams
- Relatie met redundantie
- Uitwerken voor zuivering van Waternet (Aansluiting werk student)

2. Lessons learned / veralgemeniseren resultaten

- Veel uitgebreide risicostudies zijn uitgevoerd op lokaties
- Vooral gericht op FMECA, RCM
- Wat kunnen we hiervan leren?
- Hoe kunnen we dit gebruiken om resultaten te veralgemeniseren voor andere lokaties.
- Uitwerken voor bijvoorbeeld pompstation Schinveld (WML)

3. Relatie onderhoud, risico en kosten (life cycle costs)

- Relatie onderhoud & risico
- Relatie risico & kosten
- Preventief en curatief onderhoud
- Afhankelijk van ontwerp en onderhoudsplan loopt het verband tussen kosten en uitval/beschikbaarheid/OLM anders.
- Uitwerken voor twee voorbeeldzuiveringen Vitens kijken naar verschil in onderhoudsprofiel, risico en kosten.

4. Uitwerken en gebruik faaldata, objectiveren 'human factor'

- Veel faaldata wordt verzameld
- Hoe om te gaan met informatie uit 'subjectieve' tekstvakken?
- Er kan beter gebruik maken van de beschikbare faaldata, bijvoorbeeld voor:
 - Objectiveren: vergelijken met uitkomsten van experts
 - Kan het onderhoudsprogramma geoptimaliseerd worden met analyses van faaldata?
- Uitwerken voor Vitens data (veel gegevens van veel zuiveringen)
- Aansluiting bij Adaquata (hoe?)

Bijlage IV Veelgebruikte woorden in storingsregistratie

In de storingsdata van Vitens worden vrije invulvelden gebruikt voor de omschrijving van de storing, de storingsoorzaak en veld voor lange tekst met feiten. Voor zover een veld is ingevuld, zijn hieronder de meest gebruikte woorden weergegeven. Hierbij zijn nietszeggende woorden of voor de hand liggende woorden verwijderd.

Veld omschrijving

(in totaal 534 storingen waarvoor dit veld is ingevuld)

Bewaking	22
Druk	18
commando	18
comm	16
commandobewaking	9
reservoir	7
regelaar	7
flow	7
freq	6
lucht	6
droog	5
getript	4
opjager	4
lekkage	4
vacon	4
keerklep	4

Veld storingsoorzaak

(in totaal 126 storingen waarvoor dit veld is ingevuld)

onbekend	11
comm	6
defect	5
bewaking	4
verbruik	4
thermisch	4
getript	4
zetten	3
commando	3

Veld lange tekst feiten

(in totaal 435 storingen waarvoor dit veld is ingevuld)

druk	30
bewaking	29
defect	24
reset	21
commando	19
gereset	15
vast	13
comm	12
freq	12
melding	12
flow	12
regelaar	11
frequentieregelaar	10
water	10
commandobewaking	10
lucht	9
contact	8
thermisch	8
ventilator	7
spanningsdip	7
hand	7
defecte	7
getript	7
resetten	6
keerklep	6
gezet	6
opir	6
software	5
frequentie	5
motor	5
lekkage	5
afsluiter	5
afwijkingsbewaking	5
foutmelding	5
zetten	5