



Onderzoeksplan alternatieve desinfectiemethoden voor zwembadwater

Als basis voor een praktijkonderzoek

KWR 09.067
November 2009

KWR

Watercycle Research Institute

Onderzoeksplan alternatieve desinfectiemethoden voor zwembadwater

Als basis voor een praktijkonderzoek

KWR 09.067
November 2009

Colofon

Titel

Onderzoeksplan alternatieve desinfectiemethoden voor zwembadwater. Als basis voor een praktijkonderzoek.

Projectnummer

A308264

Projectmanager

Danny Traksel

Opdrachtgever

Ministerie van VROM

Kwaliteitsborger

Patrick Smeets

Auteurs

Maarten Keuten

Frank Oesterholt

Ger Hulshof

Leo Keltjens

Dick Heederik

Ciska Schets

Verzonden aan

Ministerie van VROM

Leden van de Begeleidingscommissie (BC)

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgever van het onderzoekproject en de leden van de door hem aangestelde begeleidingscommissie (BC). Eventuele verspreiding daarbuiten vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf.

Samenvatting

De laatste jaren komen er bij het personeel en bezoekers van zwembaden regelmatig klachten voor in de vorm van huid- en slijmvliesirritaties. Het is nog niet aangetoond welke factoren verantwoordelijk zijn voor deze klachten, maar algemeen wordt aangenomen dat bepaalde ongewenste bijproducten van de desinfectie daar een rol bij spelen.

Zowel de overheid, belangenorganisaties als zwembadbeheerders zijn er van overtuigd dat er inspanningen moeten worden verricht om het aantal gezondheidsklachten bij personeel en bezoekers ten gevolge van blootstelling aan desinfectiebijproducten (DBP) te verminderen. Tegelijkertijd vinden zij dat de aanpak van dit probleem niet mag leiden tot een verminderde veiligheid als het gaat om de directe overdracht van pathogenen via het zwembadwater.

Hier ligt een uitdaging voor onderzoekers om op zoek te gaan naar een andere, innovatieve zwembadwaterbehandeling met behoud van voldoende desinfectiecapaciteit in het zwembadwater zelf, maar met een veel beperktere vorming van DBP. In een oriënterende bureaustudie uit 2007 is met behulp van een multi criteria analyse een selectie gemaakt van vijf technieken die daarvoor de meeste potentie hebben. Het ministerie van VROM wil op basis van de aanbevelingen uit het oriënterend onderzoek een praktijkonderzoek laten uitvoeren om - voor in ieder geval de vijf geselecteerde technieken - de effectiviteit en eventuele neveneffecten van de technieken vast te stellen.

Met behulp van een consortium van deskundigen is dit onderzoeksplan opgesteld dat als basis dient voor het praktijkonderzoek. Door het consortium zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Wat is het effect van optimalisatie van een bestaande zwembadwaterbehandeling, toepassing van zoutelektrolyse of verbeterde chloorbleekloogdosering op het gehalte DBP in het zwembadwater en de lucht boven het zwembad?
2. Welke verdere meetbare reductie van het gehalte DBP in het zwembadwater en de lucht boven het zwembad kan worden bereikt door het toepassen van de in deze voorstudie geselecteerde aanvullende behandelingstechnieken of combinatie van technieken in de meest optimale configuratie?
3. Wat betekent het toepassen van deze geoptimaliseerde en aanvullende behandelingsmethoden voor de desinfectiecapaciteit in het zwembadwater (depotwerking)?
4. Hoe reageert een vaste groep van respondenten (zwembadpersoneel/zwemmers) die regelmatig gebruik maakt van het onderzoeksbad op de wisselende omstandigheden tijdens het praktijkonderzoek in termen van comfortbeleving in relatie tot DBP?
5. Welke behandelingstechniek of combinatie van technieken biedt in algemene zin de beste mogelijkheden voor de reductie van DBP in zwembaden? Aspecten zoals efficiency, veiligheid, milieueffecten en operationele kosten moeten ook worden betrokken in het praktijkonderzoek maar zijn van secundair belang.

Het onderzoeksplan geeft in detail antwoord op de volgende vragen:

- Hoe moet de onderzoekslocatie worden geselecteerd?
- Welke technieken moeten worden geselecteerd voor het praktijkonderzoek?
- Hoe moet het onderzoek worden opgezet?
- Hoe moeten de meetpunten op de onderzoekslocatie worden geselecteerd?
- Welke parameters in water en lucht moeten worden geanalyseerd en met welke frequentie?

De onderzoekskosten voor uitvoering van het onderzoeksplan zijn geraamd op € 2,2 miljoen.

Het consortium heeft tijdens het opstellen van dit onderzoeksplan vastgesteld dat met betrekking tot de volgende onderwerpen - bij voorkeur vóór de start van het praktijkonderzoek - duidelijkheid moeten worden verkregen:

- Wat zijn de randvoorwaarden en ontwerpcriteria voor verbeterde dosering van chloorbleekloog?

- Is continue monitoring van de UV-absorptie toepasbaar in de zwembadpraktijk en is het daarmee een bruikbare somparameter voor het gehalte aan organische stof in het zwembadwater?
- Wat is de meest geschikte methode voor metingen van DBP in de luchtfase?
- Wat is een geschikte methode voor het (continu) monitoren van de badbelasting tijdens het onderzoek?
- Wat is de meest betrouwbare meetmethode voor de bepaling van ozon in chloorhoudend zwembadwater?

Voordat gestart kan worden met het uitvoeren van het praktijkonderzoek volgens het onderzoeksplan zoals beschreven in dit rapport, dienen de volgende stappen te worden gezet:

- Invulling geven aan de ontbrekende randvoorwaarden zoals hierboven omschreven.
- Financiering afronden voor uitvoering van het onderzoek door de opdrachtgever.
- Selectie van het onderzoeksinstituut of consortium van bedrijven (opdrachtnemer(s)).
- Selectie van de onderzoekslocatie analoog aan de adviezen in hoofdstuk 2.
- Gesprekken met de locatiebeheerder en wettelijke toezichthouder. Bespreken en vaststellen randvoorwaarden voor uitvoering met de houder van het zwembad en de wettelijke toezichthouder (betreffende provincie). Bespreken communicatieplan voor de gebruikers van het zwembad.
- Opstellen van een communicatieplan waarmee de zwemmers worden geïnformeerd over het verloop van de verschillende testen.
- Selectie van leveranciers conform hoofdstuk 3.
- Gesprekken met de leveranciers en de locatiebeheerder over inpassen van de verschillende waterbehandelingstechnieken in de bestaande waterzuivering en de noodzakelijke veiligheidsvoorzieningen.
- Opstellen van een veiligheidsprotocol en een calamiteitenplan.

Inhoud

Samenvatting	2
Inhoud	4
1 Aanleiding en doel	8
1.1 Achtergrond	8
1.2 Directe aanleiding	8
1.3 Totstandkoming van dit onderzoeksplan	9
1.4 Doel van het praktijkonderzoek	9
1.5 Onderzoeksvragen	10
1.6 Leeswijzer	10
2 Selectie van de onderzoekslocatie	12
2.1 Inleiding	12
2.2 Overzicht selectiecriteria	12
2.3 Shortlist mogelijke onderzoekslocaties	13
3 Selectie van waterbehandelingstechnieken	14
3.1 Inleiding	14
3.2 Bijstelling resultaten oriënterend onderzoek 2007	14
3.3 Inpassen van geselecteerde technieken in de waterbehandeling	14
3.4 Verschillende methoden voor het doseren van chloor	15
3.5 Invloed speelelementen	15
3.6 Testen van de combinatie VBC + UV	16
3.7 Aandacht voor nieuwe ontwikkelingen tijdens het onderzoek	17
3.8 Testen van de combinatie VBC + ozon (optioneel)	17
3.9 Testen van de combinatie VBC + AOP (optioneel)	18
3.10 Testen van de combinatie VBC + poederkool (optioneel)	19
3.11 Testen van de combinatie VBC + koolfiltratie in bypass (optioneel)	19
3.12 Selectie leveranciers	20
4 Globale opzet van het onderzoek	22
4.1 Inleiding	22
4.2 Inventarisatie bestaande situatie	22
4.3 Nulmeting	22
4.4 Optimalisatie proeflocatie	22
4.5 Implementatie technieken	23

4.6	Registratie badbelasting	23
4.7	Registratie omgevingsfactoren en bijzondere gebeurtenissen	24
4.8	Eisen bediening en beheer proefinstallaties	24
4.9	Storingen en calamiteiten	24
4.10	Enquête beleving gebruikers	25
5	Onderzoeksprogramma	26
5.1	Inleiding	26
5.2	Meetlocaties	26
5.2.1	Selectie meetlocatie	26
5.2.2	Kleur- en rookproef	26
5.3	Water	27
5.3.1	Analysepakketten	27
5.3.2	Analysemethoden	28
5.3.3	Analysefrequentie	29
5.4	Lucht	30
5.4.1	Inleiding	30
5.4.2	Routinemetingen	30
5.5	Gewenst vooronderzoek	31
6	Gedetailleerd onderzoeksplan	32
6.1	Chronologische overzicht uit te voeren testen en looptijd onderzoek	32
6.2	Generiek monitoringsprogramma	32
6.3	Overzicht analysepakketten water en lucht	32
7	Schatting onderzoekskosten	34
8	Hoe nu verder?	36
8.1	Overzicht ontbrekende randvoorwaarden praktijkonderzoek	36
8.2	Vaststellen condities voor verbeterde chloorbleekloogdosering	36
8.3	Evaluatie UV-absorptie als parameter voor continue monitoring van de organische matrix	36
8.4	Onderzoek naar meest geschikte meetmethode voor metingen in de luchtfase	36
8.5	Vaststellen methode voor registratie badbelasting	37
8.6	Vaststellen van een methode voor bepaling van ozon in chloorhoudend zwembadwater	37
8.7	Voorstel vervolgaanpak	37
8.8	De begeleidingscommissie voor het praktijkonderzoek	37
9	Literatuur	40
10	Lijst met afkortingen	42
I	Vaststellen desinfectiecapaciteit alternatieve waterbehandelingstechnieken	44
II	Toelichting selectiecriteria locatie	45

III	P&ID's van de in te zetten zuiverings-technieken	46
IV	Globale planning praktijkonderzoek	55
V	Toelichting analyse VOC in de lucht	56
VI	Overzicht analysepakketten water en lucht	58

1 Aanleiding en doel

1.1 Achtergrond

Tijdens de tweejaarlijkse Swimming Pool & Spa International Conference in maart 2009 vroeg een van de sprekers zich af of het nog wel verantwoord is om kleine kinderen en in het bijzonder kinderen met astma te laten zwemmen in een openbaar zwembad. Hiermee gaf hij treffend de paradox weer tussen de positieve gezondheidseffecten van zwemmen als sportactiviteit enerzijds (zeker voor kinderen met astma) en de negatieve gezondheidseffecten als gevolg van het inademen van irriterende, risicovolle stoffen anderzijds. De laatste jaren komen er bij het personeel en bezoekers van zwembaden regelmatig klachten voor in de vorm van huid- en slijmvliesirritaties. Het is nog niet aangetoond welke factoren verantwoordelijk zijn voor deze klachten, maar algemeen wordt aangenomen dat bepaalde ongewenste bijproducten van de desinfectie daar een rol bij spelen. Het vrij beschikbaar chloor (VBC) gaat een reactie aan met (an)organische stoffen in het water die afgegeven worden door bezoekers, speelattributen of in het bassin terecht komen via het suppletiewater. De vorming van desinfectiebijproducten is bijna niet te voorkomen. Deze desinfectiebijproducten (DBP) kunnen worden onderverdeeld in chloorstikstofverbindingen, zoals gebonden beschikbaar chloor (GBC) of chlooramines en chloorkoolstofverbindingen (halogeen-koolwaterstofverbindingen, zoals AOX) die een omvangrijke groep verbindingen vormen. Verhoogde concentraties aan DBP ontstaan door een onvolledige oxidatiereactie als gevolg van een te hoge badbelasting, een lokaal hoog VBC-gehalte of een slecht werkende zuivering.

Zowel de overheid, belangenorganisaties als zwembadbeheerders zijn er van overtuigd dat er inspanningen moeten worden verricht om het aantal gezondheidsklachten bij personeel en bezoekers ten gevolge van blootstelling aan DBP te verminderen. Tegelijkertijd vinden zij dat de aanpak van dit probleem niet mag leiden tot een verminderde veiligheid als het gaat om de directe overdracht van pathogenen via het zwembadwater. Hier ligt een uitdaging voor onderzoekers om op zoek te gaan naar een andere, innovatieve zwembadwaterbehandeling met behoud van voldoende desinfectiecapaciteit in het zwembadwater zelf, maar met een veel beperktere vorming van DBP.

1.2 Directe aanleiding

Bij de brief van 16 augustus 2007 (kenmerk: BWL/2007076643) is aan de Tweede Kamer het rapport "Oriënterend onderzoek naar desinfectietechnieken voor zwembadwater" aangeboden. Dit onderzoek is door KWR (destijds Kiwa Water Research) uitgevoerd in opdracht van het ministerie van VROM.

Het doel van dit oriënterend onderzoek was om op basis van de huidige stand van de techniek, desinfectietechnieken voor zwembadwater te selecteren en te beoordelen volgens criteria die als doel hadden om de vorming van DBP in het zwembad (water en lucht) zo veel mogelijk te beperken.

Voor het onderzoek zijn elf technieken of combinaties van technieken op basis van chloorbleekloog of een alternatief voor chloorbleekloog geselecteerd. Aan de hand van een beoordeling op acht criteria via een multi criteria analyse (MCA) zijn vijf technieken geselecteerd die de meeste potentie hebben om de vorming van DBP in het zwembadwater te beperken en tevens voldoende desinfectiecapaciteit te garanderen. Deze vijf technieken zijn:

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| • Chloorbleekloog + UV (middendruk) | score 310 punten in de MCA |
| • Zoutelektrolyse | score 305 punten in de MCA |
| • Chloorbleekloog + Ozon (in bypass) | score 295 punten in de MCA |
| • Chloorbleekloog + Poederkool | score 295 punten in de MCA |
| • Chloorbleekloog + UV (lage druk); | score 295 punten in de MCA |

Het ministerie van VROM wil op basis van de aanbevelingen uit het oriënterend onderzoek een praktijkonderzoek laten uitvoeren om - voor in ieder geval de vijf geselecteerde technieken - de effectiviteit en eventuele neveneffecten van de technieken vast te stellen. Met effectiviteit wordt in dit geval bedoeld de effectiviteit met betrekking tot vermindering van DBP én de effectiviteit met betrekking tot het realiseren van voldoende desinfectiecapaciteit in het zwembadwater om directe overdracht van pathogenen van zwemmer tot zwemmer (kruisbesmetting) te voorkomen.

1.3 Totstandkoming van dit onderzoeksplan

Als start voor de uitvoering van een praktijkonderzoek is, in opdracht van het Ministerie van VROM, in een voorstudie een gedetailleerd onderzoeksplan opgesteld. Met dit onderzoeksplan kunnen desinfectietechnieken onafhankelijk van elkaar worden onderzocht op effectiviteit (realiseren desinfectiecapaciteit en vermindering DBP) en eventuele neveneffecten. Met de vastlegging van het onderzoeksplan in dit rapport is een basis gelegd voor de start van het praktijkonderzoek.

Dit rapport is tot stand gekomen door een gezamenlijke inspanning van de volgende personen (in alfabetische volgorde):

- Dick Heederik (Universiteit Utrecht)
- Ger Hulshof (Eurofins C-Mark)
- Leo Keltjens (Aqualab Zuid)
- Maarten Keuten (TU Delft/ Hellebrekers technieken)
- Frank Oesterholt (KWR Industrie & Water)
- Ciska Schets (RIVM)
- Patrick Smeets (KWR, kwaliteitsborger)
- Danny Traksel (KWR Industrie & Water, projectmanager)

De resultaten van de voorstudie zijn besproken in een begeleidingscommissie (BC), die onder leiding stond van de opdrachtgever en die bestond uit de volgende personen (in alfabetische volgorde):

- Ton Beumer (Connerga)
- Piet Cuijpers (Provincie Utrecht)
- Chris Derksen (Hatenboer Water)
- Kitty van den Hoven (Abvakabo)
- Marcel Jagersma (NPZ-NRZ)
- Ben Kalisvaart (BestUV)
- Karel Plum (Excellent ozone systems & consultants)
- Wilfred Reinhold (VROM, opdrachtgever)
- Maarten Remmerswaal en Marianne Reedijk (Akzo Nobel)
- Jan Rullens (Infomil, SenterNovem)
- Dirk Slingerland (Provincie Zuid Holland)
- Chris van Veluwen (Sportfondsen Nederland).
- Ans Versteegh (RIVM)

1.4 Doel van het praktijkonderzoek

Het hoofddoel van het praktijkonderzoek is het vergelijken van additionele en geoptimaliseerde bestaande waterbehandelingsmethoden voor wat betreft het vrijkomen van DBP in water en lucht. Het streven is de belasting van deze producten voor het personeel en de bezoekers zo laag mogelijk te houden met behoud van de desinfectiecapaciteit in het zwembadwater zelf.

Het praktijkonderzoek houdt rekening met bestaande en nieuwe, innovatieve behandelingsconcepten voor zwembadwater die aanleiding geven tot een verminderde vorming van DBP. Milieubelasting, bouwkundige aspecten en kosten van de additionele waterbehandelingstechnieken zijn in deze fase secundair, in die zin dat daarop niet wordt geoptimaliseerd. Wel zullen energieverbruik, het verbruik van hulpstoffen en de vorming van afvalstoffen globaal in kaart worden gebracht.

1.5 Onderzoeksvragen

Voor het praktijkonderzoek zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Wat is het effect van optimalisatie van een bestaande zwembadwaterbehandeling, toepassing van zoutelektrolyse of verbeterde chloorbleekloogdosering op het gehalte DBP in het zwembadwater en de lucht boven het zwembad?
2. Welke verdere meetbare reductie van het gehalte DBP in het zwembadwater en de lucht boven het zwembad kan worden bereikt door het toepassen van de in deze voorstudie geselecteerde aanvullende behandelingstechnieken of combinatie van technieken in de meest optimale configuratie?
3. Wat betekent het toepassen van deze geoptimaliseerde en aanvullende behandelingsmethoden voor de desinfectiecapaciteit in het zwembadwater (depotwerking)?
4. Hoe reageert een vaste groep van respondenten (zwembadpersoneel/zwemmers) die regelmatig gebruik maakt van het onderzoeksbad op de wisselende omstandigheden tijdens het praktijkonderzoek in termen van comfortbeleving in relatie tot DBP?
5. Welke behandelingstechniek of combinatie van technieken biedt in algemene zin de beste mogelijkheden voor de reductie van DBP in zwembaden?

Voor de kwaliteitsborging van het onderzoek is het van belang dat er eisen gesteld worden aan het kennisniveau van de medewerkers die de (proef)installaties bedienen. Daarnaast dienen ook alle bijzondere gebeurtenissen gerapporteerd te worden in een logboek.

Milieueffecten, operationele kosten, toekomstige toepassingsmogelijkheden en extrapolatie naar andere locaties en andere soorten baden worden ook meegenomen in de uiteindelijke rapportage. Het is echter niet het doel van het praktijkonderzoek om deze aspecten te optimaliseren ten opzichte van de effectiviteit voor het reduceren van DBP.

Door het consortium is lange tijd gediscussieerd over de wijze waarop onderzoeksvraag 3 in het praktijkonderzoek beantwoord zou moeten worden. Uiteindelijk is besloten om de desinfectiecapaciteit in het zwembadwater (depotwerking) in het praktijkonderzoek te gaan monitoren op de wijze zoals dat volgens de Nederlandse wetgeving (VROM 2001) gebruikelijk is, namelijk door meting van het VBC gehalte in combinatie met de pH (middelvoorschrift) eventueel aangevuld met meting van de redoxpotentiaal. Om toch verschillen tussen behandelingsmethoden zichtbaar te maken, kan in het reguliere meetprogramma worden gemonitord op chloorresistente micro-organismen (bijlage I). De volgende overwegingen liggen ten grondslag aan dit besluit:

- Toepassing van VBC blijft in dit onderzoek de basis voor het bereiken van voldoende desinfectiecapaciteit in het zwembadwater.
- Ten opzichte van de bestaande zwembadwaterbehandeling zal het toepassen van aanvullende zuiveringstechnologie alleen maar een verbetering geven van de depotwerking van VBC in het zwembadwater.
- Toepassen van het doelvoorschrift uit de Duitse norm DIN 19643 (4 log inactivatie van *Pseudomonas aeruginosa* binnen 30 seconden in het zwembassin) voor het vaststellen van voldoende depotwerking in het zwembad, blijkt volgens onderzoek van het RIVM in de praktijk niet uitvoerbaar (Schets en de Roda Husman, 2008).

Onder voorwaarde dat voldoende desinfectiecapaciteit behouden blijft, kan worden overwogen de ondergrens voor VBC bij toepassing van bepaalde aanvullende waterbehandelingstechnieken te verlagen tot 0,3 mg/l. Omdat de wet dit in principe niet (meer) toestaat, dient dit voornemen eerst voorgelegd te worden aan de houder van het zwembad, de wettelijke toezichthouder (provincie) en een gezondheidsdeskundige (RIVM/GGD). In een dergelijke situatie dient een uitgebreidere microbiologische monitoring meegenomen te worden. Bovendien moet er dan voldoende aandacht zijn voor de verdeling van het desinfectiemiddel, in dit geval VBC, over het zwembadwater zodanig dat er overal voldoende desinfecterend vermogen is.

1.6 Leeswijzer

Dit onderzoeksplan is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 richt zich op de selectie van de onderzoekslocatie. In dit hoofdstuk is een overzicht opgenomen van primaire eisen en secundaire eisen waaraan de onderzoekslocatie dient te voldoen, respectievelijk zoveel mogelijk dient te voldoen. In

hoofdstuk 3 is een selectie gemaakt van technieken die tijdens het praktijkonderzoek moeten worden onderzocht. Dit hoofdstuk is deels gebaseerd op de inventariserende studie (KWR 2007). Hoofdstuk 4 geeft een globale beschrijving van de onderzoeksopzet die vervolgens in hoofdstuk 5 en hoofdstuk 6 verder is uitgewerkt met een overzicht van de onderzoeksparameters en de te hanteren meetmethodes enerzijds en het gedetailleerde onderzoeksplan anderzijds. In hoofdstuk 7 is een schatting gegeven van de onderzoekskosten voor het praktijkonderzoek. Hoofdstuk 8 ten slotte geeft een overzicht van de randvoorwaarden waaraan nog moet worden voldaan alvorens het praktijkonderzoek van start kan gaan.

2 Selectie van de onderzoekslocatie

2.1 Inleiding

Op grond van de doelstelling van het praktijkonderzoek, zoals verwoord in het vorige hoofdstuk, zullen waterbehandelingsmethoden direct met elkaar worden vergeleken voor wat betreft het vrijkomen van DBP in water en lucht. Om die vergelijking mogelijk te maken is een goed gedefinieerde, weinig complexe en stabiele referentiesituatie van belang. Vandaar dat het consortium er voor kiest om het onderzoek uit te voeren op een vaste locatie en op voorhand criteria vast te stellen waaraan de onderzoekslocatie zou moeten voldoen. Die criteria zijn in dit hoofdstuk beschreven.

Tegelijkertijd ontstaat daarbij het besef dat zwembaden in de praktijk natuurlijk enorm verschillend zijn in omvang, in intensiviteit van gebruik en in complexiteit van het watersysteem en luchtsysteem. Dat maakt de extrapolatie van de resultaten van het praktijkonderzoek naar de praktijk tot een belangrijk aandachtspunt en een grote uitdaging voor de onderzoekers. Het consortium is echter van mening dat de hierboven genoemde keuze het best aansluit bij de doelstelling van dit onderzoek.

2.2 Overzicht selectiecriteria

Locale factoren hebben veel invloed op de resultaten van het praktijkonderzoek. Het is daarom belangrijk deze locale factoren gedurende het praktijkonderzoek in eerste instantie niet-variabel te maken, in tweede instantie zoveel mogelijk te beheersen en in derde instantie waar beheersing niet mogelijk is, nauwgezet te monitoren. De locale factoren kunnen verdeeld worden in vaste en variabele factoren. Vaste locale factoren zijn gebonden aan het gebouw en de regio, zoals zoninstraling, gebruikte materialen maar ook kwaliteit van het suppletiewater. Variabele locale factoren zoals badbelasting, suppletiewaterverbruik, chemicaliënverbruik maar ook lekverliezen, verdampingsverliezen, schoonmaakmethodes en -procedures kunnen door kleine aanpassingen van bouwkundige, technische of organisatorische aard beheerst worden. Er zijn selectiecriteria samengesteld voor de keuze van een onderzoekslocatie. Deze selectiecriteria zijn zo gekozen om variatie in de locale factoren tot een minimum te beperken en het praktijkonderzoek zo beheersbaar mogelijk te laten verlopen. De selectiecriteria zijn opgedeeld in primaire en secundaire eisen. Aan de primaire eisen dient voldaan te worden, aan de secundaire eisen zo veel mogelijk. Voor een toelichting op de selectiecriteria wordt verwezen naar bijlage II.

Tabel 1 : Overzicht van primaire en secundaire eisen voor de selectie van de onderzoekslocatie

Primaire eisen	Secundaire eisen
Locatie: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Binnenbad in Nederland ▪ Geen gedeeltelijke beweegbare bodem ▪ Ontbreken van recreatieve en attractieve aërosolvormende speelelementen ▪ Inhoud bassin >50 en <500 m³ 	Locatie: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Klein en overzichtelijk ▪ Afmeting bassin circa 10x25 m ▪ Voorkeur voor instructiebad, beperkt recreatief zwemmen
Waterbehandeling: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gescheiden van andere bassins ▪ Voorzien van circulatiebuffer, haarvanger, zandfiltratie ▪ Mogelijkheden voor uitbreiding met geselecteerde technieken (zowel qua installatie, als qua benodigde ruimte en toegang) ▪ Automatisch meet- & regelsysteem voor de beheersing van VBC en zuurgraad 	Waterbehandeling: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Voorkeur voor chloorbleekdosering, liever geen zoutelektrolyse ▪ Filtratie snelheid <33 m/uur ▪ Turnovertijd 2-3 uur ▪ Zandfilters geschikt voor poederkooldosering (geen RVS filters en 60 m/uur spoelcapaciteit) ▪ Monitoring chemicaliënverbruik per waterbehandelingssysteem ▪ Mogelijkheid voor loggen instellingen en meetwaardes ▪ Verticale doorstroming

Primaire eisen	Secundaire eisen
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eventueel aanwezig ureumfilter (actieve koolfilter) moet (tijdelijk) buiten werking kunnen worden gesteld.
Luchtbehandeling: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gescheiden luchtbehandeling (gecompartimenteerd) ▪ 100% buitenlucht moet mogelijk zijn, bij voorkeur continue. ▪ Geen tijdgestuurde verse lucht aanvoer 	Luchtbehandeling: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mogelijkheid voor loggen instellingen en meetwaarden ▪ Minimale instraling van de zon i.v.m. invloed op luchtcirculatie ▪ Bij voorkeur geen locatie met sterk wisselende kwaliteit van de buitenlucht (industriegebied, drukke verkeersweg)
Overige factoren: <ul style="list-style-type: none"> ▪ De wettelijke toezichthouder in de betreffende provincie van de proeflocatie dient akkoord te gaan met de uitvoer van het onderzoek op deze locatie ▪ Kennis en kunde technisch personeel 	Overige factoren: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Afschot perrons niet naar bassin toe, separate schrobgoten in verband met vermijden schrobwater in bassin

De definitieve locatiekeuze moet worden goedgekeurd door de begeleidingscommissie (BC) alvorens gestart kan worden met de verdere voorbereidingen voor het praktijkonderzoek.

2.3 Shortlist mogelijke onderzoekslocaties

In onderstaande shortlist zijn enkele zwembaden genoemd die geheel of gedeeltelijk aan bovengenoemde eisen voldoen en die zich kandidaat willen stellen als locatie waar het praktijkonderzoek wordt uitgevoerd.

- De Grote Koppel in Arnhem;
- In de Bende in Landgraaf;
- De Escamphof in Den Haag;
- Fletiomare te Utrecht (de Meern)

3 Selectie van waterbehandelings-technieken

3.1 Inleiding

De selectie van de waterbehandelingstechnieken voor het praktijkonderzoek is in eerste instantie gebaseerd op de resultaten van het oriënterend onderzoek (KWR 2007). Bij de eindpresentatie van het oriënterend onderzoek is aangegeven dat koolfiltratie, zoals deze in Nederlandse zwembaden toegepast wordt, wel eens DBP-vorming tot gevolg zou kunnen hebben. Daarnaast is in de aanloop naar deze voorstudie geopperd dat een verbeterde chloorbleekloogdosering ook onderdeel van het praktijkonderzoek zou moeten zijn. In dit hoofdstuk worden meer achtergronden gegeven voor de selectie van de technieken die in het praktijkonderzoek meegenomen moeten worden.

De 'Process & Instrumentation Diagrams' (ook wel P&ID's genoemd) van de verschillende technieken zijn opgenomen in bijlage III.

3.2 Bijstelling resultaten oriënterend onderzoek 2007

De selectie van waterbehandelingstechnieken is grotendeels gebaseerd op de resultaten van het oriënterend onderzoek (KWR 2007). In dit onderzoek is aan het criterium "neveneffecten" een relatief hoge weegfactor toegekend (30 punten uit 100). Het criterium was onderverdeeld in de subcriteria 'GBC', 'AOX' en 'overige neveneffecten'. Hierbij had AOX een relatief hoog aandeel van 15 punten (50 %). Op grond van recente publicaties kan worden geconcludeerd dat GBC wellicht meer aandacht zou moeten krijgen dan AOX. In een gevoeligheidsanalyse met de MCA-tabel uit 2007 is onderzocht wat het effect op het resultaat (de top 5) is als inderdaad het aandeel AOX wordt gevarieerd ten opzichte van GBC. Uit deze gevoeligheidsanalyse blijkt enerzijds dat de 'top 5' niet wijzigt en blijft bestaan uit dezelfde technieken. Anderzijds treedt binnen de top 5 een verschuiving op ten gunste van de combinatie met lage druk UV en (in mindere mate) de combinatie met ozon, terwijl zoutelektrolyse en de combinatie met poederkool dalen. Bij het toekennen van 15 punten aan het subcriterium GBC en 10 punten aan het subcriterium AOX ziet het rijtje technieken er bijvoorbeeld als volgt uit:

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| • Chloorbleekloog + UV (middendruk) | score 320 punten in de MCA |
| • Chloorbleekloog + UV (lage druk); | score 310 punten in de MCA |
| • Zoutelektrolyse | score 305 punten in de MCA |
| • Chloorbleekloog + Ozon (in bypass) | score 300 punten in de MCA |
| • Chloorbleekloog + Poederkool | score 295 punten in de MCA |

Op grond van deze gevoeligheidsanalyse is er dan ook geen reden om de selectie van technieken op voorhand te wijzigen.

3.3 Inpassen van geselecteerde technieken in de waterbehandeling

De 5 geselecteerde technieken worden 'ingepast' in de bestaande zwembadwaterzuivering op de geselecteerde onderzoekslocatie. Het doel van de zwembadwaterbehandeling is om fysiek gescheiden van het bassinwater zoveel mogelijk vervuilende stoffen en DBP uit het water te verwijderen. Hiertoe wordt meestal een filtratiestap toegepast waarbij - na dosering van een vlokmiddel en/of poederkool - kan worden gefiltreerd over zand, grind, actieve kool, hydroantraciet of een combinatie van die filtermaterialen. De conditie van het filter, de vulling en de wijze waarop het filter wordt bedreven, kunnen invloed hebben op de verwijdering van deze stoffen en de vorming van DBP. Om dit vast te stellen is in de onderzoeksopzet opgenomen dat vóór de start van het daadwerkelijk onderzoek op de geselecteerde onderzoekslocatie eerst de werking van de bestaande zuivering moet worden geëvalueerd en (zo nodig) geoptimaliseerd. Dit betekent dat onder andere de werking van het zandfilter en de status van het zandbed zelf moeten worden onderzocht.

3.4 Verschillende methoden voor het doseren van chloor

Kenmerkend voor de 5 geselecteerde technieken is dat ze allen uitgaan van een depotwerking in het zwembad op basis van VBC. Doseren van chloorbleekloog (natriumhypochloriet 15%) is in Nederland de meest gebruikte methode en vormt dan ook het uitgangspunt. In veel praktijksituaties zal de dosering van chloorbleekloog geoptimaliseerd kunnen worden, zodanig dat er minder DBP worden gevormd. Bij de verbeterde chloorbleekloogdosering moet worden gedacht aan dosering van verdunde chloorbleekloog in combinatie met een snellere menging van het gedoseerde chloorbleekloog en het zwembadwater. Akzo Nobel brengt al een vorm van verbeterde chloorbleekloogdosering op de markt (verdunde chloorbleekloog). Deze techniek zou voorafgaand aan het praktijkonderzoek moeten worden geoptimaliseerd (zie hoofdstuk 8).

Verder is zoutelektrolyse als één van de geselecteerde technieken ook een variant voor het doseren van chloor die tot minder vorming van DBP leidt. Bij deze variant wordt uitgegaan van toepassing van een membraancel waarbij dosering van chloorgas plaatsvindt.

Het praktijkonderzoek zal starten met het testen van drie methoden voor inbreng van chloor die zich onderscheiden in de wijze van doseren, mengen en regelen, te weten:

- De bestaande dosering van chloorbleekloog op de locatie.
- De verbeterde dosering van chloorbleekloog. Hierbij wordt in beginsel gedacht aan het toepassen van de chloorbleekloogdosering in een bypass waarbij de regeling van de doseerpomp en de menging worden geoptimaliseerd.
- Zoutelektrolyse met een membraancel waarbij dosering van chloorgas plaatsvindt.

Deze testen vinden plaats in het deelonderzoek “chloorinbreng” dat zich richt op de aanpak van het probleem bij de bron. Dit deelonderzoek moet expliciet duidelijk maken wat de verschillen zijn tussen de drie methoden met betrekking tot de vorming van DBP bij overeenkomstige desinfectiecapaciteit in het zwembad. Voor de planning van het praktijkonderzoek is het gunstig als de onderzoekslocatie geen zoutelektrolyse installatie heeft omdat dan gestart kan worden in de bestaande situatie. Indien wel een zoutelektrolyse aanwezig is, dient de situatie eerst omgebouwd te worden naar een traditionele chloorbleekloogdosering en gewacht te worden tot een nieuwe evenwichtsituatie is ontstaan, dit is afhankelijk van de verversing en kan circa 3 maanden duren.

Aandachtspunten zoutelektrolyse zijn:

- In het oriënterend onderzoek is uitgegaan van een zoutelektrolyse met een membraancel zodat de cel met een geconcentreerde pekeloplossing kan worden gevoed. De dosering die is voorzien bedraagt 10 tot 15 mg/l VBC resulterend in een concentratie in het zwembadwater van 0,5 tot 1,5 mg/l. Van belang is de keuze van het keuzezout. Verontreiniging van dit zout met bromide kan leiden tot vorming van gebromeerde DBP die over het algemeen meer carcinogeen zijn dan de gechloreerde DBP. Het is daarom van belang te weten hoeveel bromide er in het gebruikte zout aanwezig is. Daarnaast moet er gedurende het praktijkonderzoek niet gewisseld worden van zoutkwaliteit.
- Meting van het werkelijk energieverbruik.
- Afvoer van natronloog (kathodestroom).
- Afvoer van waterstofgas.

3.5 Invloed speelelementen

Een van de selectiecriteria voor de proeflocatie is het ontbreken van recreatieve en attractieve aërosolvormende speelelementen zoals whirlpool en waterspuiters. De invloed van deze componenten op vooral de luchtkwaliteit is namelijk erg groot. Om meer exacte informatie te krijgen over de invloed van bepaalde recreatieve elementen wordt gedurende enkele dagen de invloed van één of meerdere recreatieve elementen meegenomen in het onderzoek. Grofweg zijn deze elementen in drie categorieën te delen. De eerste groep heeft alleen invloed op het wateroppervlak, hieronder vallen de golfslagmachines en glijbanen. Doordat vaak het totale oppervlak van een bassin bijdraagt aan de overdracht van vluchtige componenten naar de lucht kunnen deze elementen toch een behoorlijke

invloed op de luchtkwaliteit hebben. De tweede groep brengt zwembadwater in contact met de lucht, hieronder vallen waterspuiters en watervallen. Bij deze elementen is de overdracht van vluchtige componenten van de water- naar de luchtfase het grootst, zeker als er veel kleine druppels zijn (in plaats van een enkele dikke waterstraal). En de derde categorie brengt lucht in het zwembadwater, hieronder vallen whirlpools en bruisbanken. De overdracht van vluchtige componenten van de waterfase naar de luchtfase gaat op deze wijze niet snel, maar de vluchtige componenten kunnen zich wel eenvoudig verzamelen direct boven het wateroppervlak en daar overlast veroorzaken bij de gebruikers. De verwachting is dat bij spuiters met veel kleine druppels de invloed op de luchtkwaliteit het grootst zal zijn, hoewel deze kleine druppeltjes zich niet direct in de ademzone van zwemmers bevinden. Er zijn wel kleine druppeltjes in de ademzone nabij de plek waar de betreffende waterstraal in het bassin komt. Tijdens het praktijkonderzoek zal in de zwemzaal van de proeflocatie (waarschijnlijk een instructiebad) een tijdelijke voorziening geplaatst worden. Er zal nader bekeken moeten worden welke elementen in het praktijkonderzoek meegenomen moeten worden. Dit onderzoek zal aansluitend aan het onderzoek naar de zoutelectrolyse plaatsvinden.

3.6 Testen van de combinatie VBC + UV

In dit onderzoek is het hoofddoel van toepassing van UV-behandeling vermindering van DBP. UV-behandeling wordt hier niet primair als desinfectieproces toegepast. De toepassing van UV richt zich dan ook op afbraak van chloorstikstofverbindingen en chloorkoolstofverbindingen. In algemene zin zijn daarvoor hogere stralingsintensiteiten en langere bestralingstijden noodzakelijk dan voor desinfectie.

Lage druk UV lampen (LD-UV) hebben een monochromatisch spectrum in het UV-C gebied en emitteren in dat gebied van het spectrum alleen UV-licht van 254 nm. Deze golflengte komt overeen met het absorptiemaximum van monochlooramine (MCA). LD-UV lampen kunnen de concentratie MCA lokaal dus verlagen. Door het verlagen van de concentratie MCA wordt direct ook de kans op vorming van dichlooramine en trichlooramine, door verdere substitutie met chloor, gereduceerd. Trichlooramine kan echter ook via andere reactieroutes worden gevormd uit organische C-N verbindingen zonder MCA als precursor.

Middendruk UV lampen (MD-UV) kenmerken zich door een breder, polychromatisch UV-spectrum dan LD-UV, waardoor ze - naast monochlooramine - ook in staat worden geacht om dichlooramine en trichlooramine te kunnen 'afbreken'. Echter, door toepassing van MD-UV wordt - bij golflengtes beneden 240 nm - de kans op vorming van polaire stoffen, zoals nitriet uit nitraat, verhoogd. Dit kan worden voorkomen door de toepassing van speciale kwartbuizen die lagere golflengtes eruit kunnen filteren ten koste van een gedeelte van het spectrum. Dit heeft overigens geen invloed op de afbraak van chlooramines die bij hogere golflengtes worden afgebroken.

Het vermogen van LD-UV lampen is typisch in het bereik van 4 - 120 Watt, de huidige generatie lage druk high output lampen (LD-HO) worden met vermogens tot 400 Watt geleverd. MD-UV lampen hebben een vermogen typisch tussen 400 Watt tot ruim boven de 10.000 Watt.

Bij fotolyse van chlooramines gaat het niet zozeer om de dosis (zoals bij desinfectie), maar om energie, ofwel hoeveel W per m³/uur wordt er in het water gebracht. In het algemeen is 15 - 25 W per m³/uur voldoende. Omdat MD-UV lampen een beduidend hoger vermogen hebben dan LD UV-lampen zijn er bij de keuze voor MD-UV minder lampen nodig en wordt de installatie compacter wat belangrijk kan zijn bij bestaande installaties.

Voor fotolyse van chloorkoolstofverbindingen gelden ongeveer dezelfde criteria. Omdat het complexe gechlorideerde organische verbindingen betreft lijkt MD-UV technologie hiervoor op voorhand de meest geschikte optie, te meer daar het polychromatisch spectrum meer bindingen en structuren zou kunnen beschadigen dan LD-UV. Voor de reductie van chloorkoolstofverbindingen zou daarom op voorhand worden gekozen voor MD-UV lampen en een verhoogd UV vermogen tussen de 25 - 50 W per m³/uur.

Op grond van de voorselectie is het de bedoeling om in het praktijkonderzoek zowel LD-UV als MD-UV te onderzoeken. Besloten is de volgende uitgangspunten te hanteren:

- Toepassing van zowel LD-UV als MD-UV in de hoofdstroom.

- Overwogen dient te worden of gekozen wordt voor een gelijk opgenomen elektrisch vermogen of een gelijk afgegeven UV-C vermogen per m³/uur van de LD en MD lampen.
- Toepassen van filterende kwartsbuizen, die golflengtes verantwoordelijk voor de omzetting van nitraat tot nitriet uit het spectrum filteren, als variabele in het onderzoek.
- Implementatie van UV-behandeling direct na de dosering van chloorbleekloog . Door UV-bestraling wordt een fotolytische splitsing van hypochloriet in chloor- en zuurstofradicalen bereikt. Deze radicalen reageren met water onder de vorming van hydroxylradicalen. De hydroxylradicalen kunnen oxidatiereacties aangaan met gechloreerde verbindingen.

Aandachtspunten tijdens het praktijkonderzoek:

- Meting van het werkelijk energieverbruik.
- Chloorverbruik.
- Controle op vorming (toename) THM's ten gevolge van UV-behandeling. Hiervoor zijn aanwijzingen gevonden in de literatuur (Chrobok, 2003).
- Filtratiestap na UV overwegen (i.v.m. eventuele breuk kwartsbuizen).
- Inspectieluik ('hatch') op installatie (toegang tot UV kamer).
- Reinigingsinstallatie kwartsbuizen overwegen.
- Voorkeur voor opwaartse aanstroming van de UV-kamer zodat er altijd water in blijft staan.

3.7 Aandacht voor nieuwe ontwikkelingen tijdens het onderzoek

Op het moment dat het praktijkonderzoek van start gaat kan de stand der techniek van enkele alternatieven gewijzigd zijn. Dit is niet te verwachten voor de technieken voor chloordosering en de UV-behandeling (LD- en MD), maar wel voor andere technieken zoals Advanced Oxidation Processes (AOP). Om die reden dient in het onderzoeksplan een moment te worden ingebouwd waarbij nieuwe ontwikkelingen tegen het licht worden gehouden en geoordeeld wordt of het onderzoeksplan op basis daarvan moet worden aangepast. Omdat ontwikkelingen vooral worden verwacht op het gebied van AOP, ligt dat moment logischerwijs na het testen van de verschillende methoden voor inbreng van VBC en na het testen van LD-UV en MD-UV.

Op nieuwe technologie dient het model van de Multi Criteria Analyse (MCA) uit 2007 te worden toegepast zodat gefundeerd kan worden afgewogen of het testen van de techniek zinvol is.

Het consortium heeft de omvang van het praktijkonderzoek beperkt door keuzes te maken in het aantal aanvullende technieken dat zal worden onderzocht en de onderzoektijd per techniek. Enerzijds om de kosten in de hand te houden en anderzijds om de looptijd van het totale praktijkonderzoek te beperken. Bij de planning in hoofdstuk 6 en de kosten in hoofdstuk 7 is ervan uitgegaan dat uiteindelijk drie aanvullende technieken worden meegenomen in het praktijkonderzoek. In de paragrafen 3.8 tot en met 3.10 zijn de technieken beschreven die daar – op grond van de huidige kennis - het meest voor in aanmerking komen (VBC + ozon, VBC + AOP en VBC + poederkool). Daar zou dus verandering in kunnen komen op basis van nieuwe ontwikkelingen op het gebied van zwembadwaterbehandeling ten tijde van het praktijkonderzoek. Vandaar de toevoeging 'optioneel' aan de paragraaftitels.

3.8 Testen van de combinatie VBC + ozon (optioneel)

Ozon zal worden toegepast in een deelstroom (25 %) van de hoofdstroom. Ozon is toxisch en moet daarom worden verwijderd alvorens het behandelde water wordt teruggeleid naar het zwembad. Gekozen wordt voor twee fysische verwijderingstechnieken: UV en luchtstrippen. Dit betekent dat voordat het onderzoek met ozon wordt uitgevoerd, eerst het effect van de ozonvernietigingstechniek zelf moet worden onderzocht. Toepassing van luchtstrippen (Kristensen 2009) heeft als bijkomend voordeel dat vluchtige verbindingen (bijvoorbeeld chloroform) deels worden verwijderd. In dezelfde referentie wordt ozon gedoseerd in concentraties variërend van 1,3 tot 3 mg/l. Nadeel van luchtstrippen is dat er ook veel CO₂ (lees waterstofcarbonaat) en energie verloren gaat. De voorkeur gaat hierdoor uit naar UV-behandeling voor restozonvernietiging. Glauner schrijft in zijn dissertatie (Glauner, 2007) over de effecten van oxidatie op de verlaging van DBP en precursors. Hij stelt daarbij vast dat de verwijdering van DBP zeer waarschijnlijk via reacties met OH-radicalen verloopt. Zijn conclusie is dan

ook dat de combinatie van ozon/waterstofperoxide in dat opzicht voordelen biedt boven ozon. Bij kortere contacttijden (3 minuten in plaats van minimaal 10 minuten) worden meer DBP omgezet. Aandachtspunt is wel een toename van de THM-vormingspotentiaal door een toename van de precursors als gevolg van de oxidatie. In zijn experimenten paste hij ozon toe in concentraties van 3 tot 10 mg/l en waterstofperoxide in de stoichiometrische verhouding van 1 mol H₂O₂ op 2 mol O₃.

Ontwerpparameters:

- Percentage deelstroombehandeling en contacttijd (25 % bypass; 15 minuten contacttijd).
- Contactruimte uitvoeren als meerdere in serie geschakelde reactoren zodat de contacttijd kan worden verkort tot 3 minuten.
- Dosering ozon variabel instelbaar tot 10 g/m³.
- Mogelijkheid tot dosering van waterstofperoxide voor de reactor variabel instelbaar tot 3,5 g/m³.
- Restozonvernietiger in water met UV en in lucht met actieve kool.

Aandachtspunten tijdens het praktijkonderzoek:

- Vooraf moet in overleg met de BC worden overwogen om bij de combinatie van VBC en ozon de ondergrens voor de VBC-concentratie in het zwembad te verlagen tot 0,3 mg/l, mits de verdeling van het VBC over het zwembad zodanig is dat er overal voldoende desinfecterend vermogen aanwezig is. De BC moet daarbij de overweging maken of (i) deze instelling moet worden uitgevoerd aanvullend op de combinatie met een ondergrens van 0,5 mg/l VBC (zodat het effect van ozon direct kan worden vergeleken met de andere technieken) of (ii) dat de toepassing van ozon als aanvullende waterbehandelingstechniek in de praktijk altijd leidt tot een verlaging van het gehalte aan VBC. In het eerste geval is een voorwaarde dat er extra financiële middelen beschikbaar zijn.
- Ook moet in overleg met de BC worden overwogen of gebruik gemaakt wordt van een restozonvernietiging met UV waarbij eerst de invloed van de UV gedurende 4 weken gemeten dient te worden en vervolgens (na herstel tot de referentiesituatie) de invloed van de combinatie ozon-UV. De ozondosering vindt plaats voor het zandfilter. Een groot deel van het ozon wordt dan verbruikt op het zandfilter, waarna de restozon na het zandfilter met UV vernietigd wordt. Bij AOP wordt de UV-behandeling direct achter de ozondosering geplaatst.
- De meting van ozon in de waterfase bij aanwezigheid van VBC blijkt vooralsnog niet mogelijk. De meting is overigens wettelijk verplicht voor zwembaden met ozon (VROM 2001). Het consortium adviseert om voorafgaand aan het praktijkonderzoek, uitgaande van bestaande informatie (zie paragraaf 5.3.2), uit te zoeken welke analysemethode(n) voorhanden is/zijn om ozon naast VBC te kunnen vaststellen.
- Meting van het werkelijke energieverbruik.
- Effectiviteit restozonvernietiger (metingen in water en lucht om effectiviteit vast te stellen).
- Meting van chlooraat als bijproduct van de reactie van ozon met chloor.
- Monitoring van het chloorverbruik (aanwezigheid van ozon kan leiden tot een toename van het chloorverbruik).

3.9 Testen van de combinatie VBC + AOP (optioneel)

Advanced Oxidation Processes (AOP) worden steeds vaker toegepast. Tijdens het oriënterend onderzoek kwamen deze technieken niet als veelbelovend uit de MCA, maar hierbij wordt toch een kanttekening geplaatst door het consortium. Recente buitenlandse onderzoeken van de verschillende AOP-technieken geven veelbelovende eerste resultaten. Het consortium adviseert dan ook om tenminste één AOP techniek in het praktijkonderzoek mee te nemen.

In AOP worden fysische en/of chemische technieken – of combinaties daarvan – toegepast die berusten op de oxidatieve kracht van hydroxylradicalen (·OH radicalen). De mogelijkheden voor de productie van ·OH radicalen zijn o.a.:

- Waterstofperoxide (H₂O₂) in combinatie met ozon (O₃).
- Waterstofperoxide (H₂O₂) in combinatie met UV.
- Ozon (O₃) in combinatie met UV.

- Het zogeheten Fenton proces (ijzer als katalysator in combinatie met H₂O₂).
- Katalytische AOP (met onder andere Pd of TiO₂ katalysatoren).

Ontwerpparameters:

- Afhankelijk van de geselecteerde AOP techniek.

Aandachtspunten tijdens het praktijkonderzoek:

- Afhankelijk van de geselecteerde AOP techniek.

3.10 Testen van de combinatie VBC + poederkool (optioneel)

Doseren van poederkool heeft plaats voor de (bestaande) zandfiltratie. De dosering heeft tot doel DBP door adsorptie te binden aan de poederkool, waarna de kool wordt afgevangen in het filter. De dimensionering van de poederkooldosering dient plaats te vinden volgens DIN 19643-2 (april 1997).

Ontwerpparameters:

- Toepassing voor het filter in de hoofdstroom.
- Spoelsnelheid filter van 60 m/uur moet mogelijk zijn.
- Dosering tot 3 gram/m³.
- Zeeffractie poederkool > 50 % uit deeltjes < 0,045 mm.
- Intern oppervlak > 900 m²/gram kool.

Aandachtspunten tijdens het praktijkonderzoek:

- Korrelgrootte van het bestaande zandbed moet liggen in de range van 0,71 – 1,25 mm.
- Controle van de pH na de dosering i.v.m. aanzuren poederkoolmengsel.
- Controle van het filterbed op toename van biofouling ten gevolge van de effectieve eliminatie van VBC door de poederkool.
- Monitoring van het chloorverbruik (toepassing van poederkool zal leiden tot een toename van het chloorverbruik).

3.11 Testen van de combinatie VBC + koolfiltratie in bypass (optioneel)

Actieve koolfiltratie wordt in de meeste Nederlandse zwembaden gebruikt als biologisch filter voor de verwijdering van ureum. De omzetting van ureum verloopt via ammonificatie, nitrificatie en denitrificatie tot stikstofgas (N₂) als eindproduct. De omzetting bij zwembaden is echter onvolledig waardoor in de actieve koolfilters ook reactietussenproducten zoals ammonium vrijkomen. Deze tussenproducten vormen met VBC weer nieuwe DBP. Ook voor andere organische stoffen kunnen op een vergelijkbare wijze tussenproducten in het actieve koolfilter worden gevormd.

Het is niet duidelijk wat het netto rendement van het actieve koolfilter op de waterkwaliteit van het zwembadwater is met betrekking tot DBP. Het is gebruikelijk in zwembaden om het actieve koolfilter niet regelmatig te vervangen. Dit gebeurt in de regel elke 4-6 jaar. Als de adsorptie van DBP na enkele maanden tot een jaar al verwaarloosbaar is, zal gedurende het grootste deel van de levensduur van het actieve kool een biologisch proces bepalend zijn voor de effluentkwaliteit.

Het oorspronkelijke idee was om deze combinatie ook mee te nemen in het praktijkonderzoek. De benodigde opzet voor het vaststellen van de invloed van het actieve koolfilter past echter niet bij de opzet van het praktijkonderzoek. Het effect van het actieve koolfilter zou over langere periode gemeten moeten worden en hoeft niet noodzakelijkerwijs gepaard te gaan met een uitgebreid meetprogramma. Ook verwacht het consortium dat het actieve koolfilter een negatief effect zal hebben op de verwijdering van DBP en de techniek daarmee niet past bij de doelstelling van het praktijkonderzoek, namelijk het testen van technieken voor verlaging van DBP. Wel onderstreept het consortium de noodzaak voor een onderzoek naar de effecten van deze combinatie. Zolang ureum een parameter in de Whvzbz blijft zullen ook actieve koolfilters in de zwembaden aanwezig blijven. Onderzoek naar het effect van de koolfilters

kan leiden tot een discussie over een alternatieve parameter om de badbelasting te kwantificeren, wat het oorspronkelijke doel was van ureum als parameter. Het onderzoek naar het effect van actieve koolfiltratie kan wel parallel lopen aan het praktijkonderzoek, maar dient op een ander circulatiesysteem, of een andere locatie uitgevoerd te worden.

Enkele aandachtspunten voor het onderzoek naar de invloed van actieve koolfiltratie:

- Meten van invloed biologische processen. Hierdoor is het beste om met “oude” actieve verzadigde kool te werken. Onder zwembadcondities is actieve of geactiveerde kool voor sommige DBP al na enkele maanden verzadigd, voor andere loopt het adsorptieproces wat langer door. Het verdient daarom aanbeveling om voor het actieve koolonderzoek gebruik te maken van een koolfilter dat tenminste 4 jaar in gebruik is.
- De invloed van de actieve koolfiltratie op de vormingspotentie van verschillende DBP dient in het koolonderzoek meegenomen te worden.
- Overwogen moet worden of op verschillende hoogtes in het filterbed monsterpunten worden aangebracht om de biologische omzetting beter te kunnen volgen.
- Overwogen moet worden om het effect van een verblijftijdverlenging in het actieve koolfilter op het rendement van het filter (qua ureum verwijdering en DBP productie) te bepalen.
- Om het effect van het actieve koolfilter goed te kunnen vaststellen dient aan het effluent van het koolfilter voortdurend VBC te worden toegevoegd (basischlorodosering).

3.12 Selectie leveranciers

Leveranciers die worden geselecteerd voor het praktijkonderzoek moeten aantoonbare referenties hebben op het gebied van de desbetreffende technieken bij zwembadwaterbehandeling. Deze referenties moeten een significante omvang hebben (bewijs van implementatie van hun technologie op praktijkschaal). Met de leveranciers zal worden onderhandeld over een bijdrage aan een deel van de projectkosten bijvoorbeeld de inzet van de apparatuur tegen kostprijs en/of de besteding van 'in-kind' uren ten behoeve van onderhoud en beheer van de apparatuur. Daarbij moet het uitgangspunt van openbaarheid van alle onderzoeksresultaten gehandhaafd blijven.

4 Globale opzet van het onderzoek

4.1 Inleiding

Het praktijkonderzoek zal starten met een inventarisatie van de bestaande situatie. Vervolgens zal de zogenaamde nulmeting uitgevoerd worden. Hierna wordt een optimalisatie van de bestaande situatie uitgevoerd gevolgd door een referentiemeting, die tijdens het onderzoek telkens de uitgangssituatie vormt. Vervolgens worden de verschillende technieken geïmplementeerd en de effecten nader onderzocht. Per techniek zal een interventie plaatsvinden, waarbij wordt gemonitord tot er een nieuw evenwicht bereikt is. De duur van het onderzoek naar het effect van een bepaalde interventie zal gemiddeld vier weken bedragen. Voordat gestart kan worden met een interventie moet de referentiesituatie aantoonbaar hersteld zijn. Om daadwerkelijk vast te stellen of de referentiesituatie hersteld is dient voorafgaand aan een nieuwe interventie een controlemeting van de referentiesituatie plaats te vinden gedurende 4 weken. Verwacht wordt dat een herstelperiode tenminste even lang zal zijn als de interventieperiode, met een maximum van 3 maanden (langer of korter afhankelijk van de verversingsgraad van de proeflocatie). De globale planning is in grafiekvorm opgenomen in bijlage IV.

4.2 Inventarisatie bestaande situatie

Tijdens de inventarisatie van de bestaande situatie worden alle relevante vaste en variabele gegevens, procedures en bijzonderheden van de proeflocatie vastgelegd. Dit betreft vooral de gegevens van de waterbehandeling en de luchtbehandeling. Hierbij kan gedacht worden aan pompcapaciteit en filtersnelheid, ventilatievoud, luchtverversing, gesteldheid filterbed (steekmonster), bedrijfsvoering technische installaties, setpoint instellingen water- en luchtkwaliteit, gemiddelde badbelasting (aantal personen en type belasting), (douche)gedrag bezoekers, suppletiewaterkwaliteit, schoonmaakrooster, filterspoelprocedure, schoonmaakprocedure perrons, eventueel recent aangebrachte nieuwe materialen (kan leiden tot de afgifte van stoffen) etc. Tijdens deze inventarisatie zal ook zorgvuldig naar de waterstromingen in het bassin en de luchtstromingen in de zwemzaal gekeken worden met behulp van respectievelijk een kleurproef in de watercirculatie en een rookproef in de luchtcirculatie. Aan de hand van de resultaten van de kleurproeven en rookproeven zullen de verschillende monsternamenpunten gekozen worden in water en lucht (par. 5.2.2).

Daarnaast dient er aan de hand van deze inventarisatie een optimalisatieplan te worden opgesteld. Het doel van de optimalisatie is het verbeteren van de prestatie van de verschillende componenten van de water- en luchtbehandeling om in de bestaande situatie een zo laag mogelijke concentratie DBP in water en lucht te krijgen bij voldoende desinfectiecapaciteit in het bassin. Deze optimalisatie omvat ook een richtlijn voor de bedrijfsvoering van de water- en luchtbehandeling.

4.3 Nulmeting

Voordat de optimalisatie uitgevoerd wordt, dient eerst een nulmeting uitgevoerd te worden. Het doel van deze nulmeting is het vastleggen van de water- en luchtkwaliteit in de bestaande situatie, zonder optimalisatie. Hierbij zal gedurende 4 weken de bestaande water- en luchtbehandeling, zonder wijzigingen aan de instellingen en zonder additionele technieken geanalyseerd worden. Voorafgaand aan de nulmeting wordt gedurende 2 weken alle (online) meetapparatuur en monsternamenprocedures getest en afgestemd. Tevens wordt gecontroleerd of de gevalideerde analysemethoden operationeel zijn.

4.4 Optimalisatie proeflocatie

Aansluitend aan de nulmeting zal de water- en luchtbehandeling van de proeflocatie geoptimaliseerd worden. Voor de waterbehandeling betekent dit onder andere:

- Inspectie circulatiebuffers, indien nodig reinigen.
- Inspectie zandfiltratie (steekmonsters) indien nodig renoveren.

- Inspectie spoelregime, eventueel bijstellen.
- Inspectie meet- & regeltechniek, controle werking sensoren, eventueel calibratie of vervanging. Dit betreft: debietmeting, temperatuurmeting, drukmeting, niveaumeting, VBC meting, pH meting, watervolume meting (watermeters), etc.
- Inspectie doseertechniek, eventueel bijstellen frequentie en slaglengte van doseerpompen voor optimale dosering.
- Inspectie werking frequentieregelaars, eventueel aanpassen frequenties en schakeltijden.
- Inspectie injectieoosters in het bassin, eventueel – voor zover mogelijk - instellingen aanpassen.

Voor de luchtbehandeling betekent dit onder andere:

- Inspectie luchtkanalen op vervuiling.
- Inspectie filtratie (filterzakken), indien nodig vervangen.
- Inspectie meet- & regeltechniek, controle werking sensoren, eventueel calibratie of vervanging. Dit betreft: debietmeting, temperatuurmeting, drukmeting, luchtvochtigheidsmeting, etc.
- Inspectie werking frequentieregelaars, eventueel aanpassen frequenties en schakeltijden.
- Inspectie roosters (aanzuig buitenlucht, afblaas naar buiten, inblaas zwemzaal en afzuig/retour zwemzaal), eventueel – voor zover mogelijk - instelling aanpassen.

Voor de optimalisatie van de bestaande situatie dient een stelpost opgenomen te worden in de begroting van het onderzoek.

4.5 Implementatie technieken

Alle technieken dienen, zoals beschreven in hoofdstuk 3, na elkaar in hetzelfde zwembad getest te worden. De meetperiodes zullen erop gericht zijn om het effect van de techniek in een stabiele situatie vast te leggen. Dit kan een snelle daling of stijging van bepaalde DBP zijn. Tijdens eventuele ombouwactiviteiten (voor implementatie van andere technieken) dient de normale bedrijfsvoering zo min mogelijk gestoord te worden. Dit betekent dat zeker gedurende interventies de waterbehandeling niet uitgeschakeld zal worden voor het maken van aansluitingen van toekomstige interventies. Dit mag wel gedurende de herstelperiode na een interventie, of gedurende de geplande ombouwperiode alvorens een nieuwe interventie start. Bij langdurig proefdraaien van een te testen techniek dient opnieuw gewacht te worden tot de referentiesituatie hersteld is. De volgorde van inzet van de technieken in het praktijkonderzoek is al in hoofdstuk 3 beschreven. Gedurende de testperiode van de UV-technieken zal een deskstudie gericht op de meest actuele ontwikkelingen op het gebied van zwembadwaterbehandeling plaatsvinden (actuele stand der techniek). Dit zou kunnen leiden tot een wijziging in het onderzoeksprogramma. Voorgenomen wijzigingen dienen te worden voorgelegd aan de begeleidingscommissie. Bovendien zouden nieuwe technieken moeten worden getoetst volgens het model van de MCA uit 2007 zodat gefundeerd kan worden afgewogen of het testen van de technologie zinvol is. Bij de deskstudie dient tenminste gekeken te worden naar nieuwe alternatieven voor desinfectie zoals ontwikkelingen op het gebied van peroxide, het DIPool project (ontwikkeling alternatieve desinfectie aan de TU Delft) en de ontwikkelingen met de toepassing van AOP-technieken (O_3/H_2O_2 ; UV/H_2O_2 ; UV/O_3).

4.6 Registratie badbelasting

De voorkeur gaat uit naar een instructie/therapiebad met een “constante” bezoekersintensiteit. De afwezigheid van recreanten zorgt ervoor dat de vervuiling per zwemmer en het gedrag van de zwemmers door minder variabelen bepaald wordt en piekbelastingen tijdens mooi (of slecht) weer dagen uitblijven. De bezoekersaantallen dienen dagelijks bekend te zijn. Bij voorkeur worden de bezoekers automatisch geteld. In een recent Deens onderzoek (Kristensen, 2009) is dit gedaan door gebruik te maken van camera's. Uitgezocht moet worden of dit geautomatiseerd kan worden al dan niet op basis van infrarood en of dit niet in strijd is met het recht op privacy. Een mogelijk alternatief is het toepassen van sensoren (vergelijk chips bij hardlooptwedstrijden) die door de bezoekers worden gedragen. Aandachtspunt in dat geval is de vaststelling van de tijd die de bezoeker effectief in het zwembad doorbrengt. Eventuele automatische tellingen moeten steekproefsgewijs handmatig

gecontroleerd kunnen worden. De combinatie van deze automatische tellingen en een totaaltelling van verkochte kaartjes (of andere toegangscontrole) geeft een inzicht in de gemiddelde zwemduur en de badbelasting.

4.7 Registratie omgevingsfactoren en bijzondere gebeurtenissen

Kleine bijzonderheden kunnen een grote invloed hebben op de waterkwaliteit en de DBP-concentraties. Deze bijzonderheden dienen genoteerd te worden per gebeurtenis met datum en tijdstip en een korte toelichting. Er zijn twee soorten bijzondere gebeurtenissen, ten eerste de geplande, zoals schoonmaak of het zwemmen met kleding. Ten tweede de ongeplande gebeurtenissen, zoals braak-, bloed-, of fecale-incidenten. Voor de geplande bijzondere gebeurtenissen geldt dat deze meegenomen moeten worden in de planning van het onderzoek en zoveel mogelijk vermeden dienen te worden tijdens interventies. Dit wil zeggen dat gedurende de eerste 2 weken van een interventie geen geplande bijzonderheden mogen plaatsvinden. De ongeplande bijzonderheden (incidenten) dienen binnen 72 uur besproken te worden met een ad-hoc commissie (zie paragraaf 8.8). In ernstige gevallen kan besloten worden de interventie te staken en te herstarten na herstel van de referentiesituatie. Alle bijzondere gebeurtenissen dienen geregistreerd en gedocumenteerd te worden. Dit betekent dat het voorval beschreven moet worden, evenals de genomen maatregelen ter bestrijding en eventuele andere vervolgacties. Uiteraard is dit ook van toepassing op de techniek. Bijzonderheden en storingen dienen in het technisch logboek geregistreerd te worden. Dit geldt zowel voor normale dagelijkse zaken zoals filterspoelingen, reinigen haarvangers en calibratie van meetapparatuur maar ook minder frequente handelingen zoals reinigen zeefjes meet- & regeltechniek en vervangen filters luchtbehandeling.

4.8 Eisen bediening en beheer proefinstallaties

De bediening en het beheer van de proefinstallaties dient plaats te vinden door vakkundig personeel. Na een opleiding/instructie van de betreffende leverancier moet de technische dienst (TD) van de betreffende proeflocatie de dagelijkse bediening uit kunnen voeren. Ook dient er per proefopstelling een informatiemap beschikbaar te zijn waarin informatie en procedures terug te vinden zijn, evenals een logboek waarin alle bijzonderheden bijgehouden worden. Complexe werkzaamheden dienen geautomatiseerd te worden, of moeten worden uitgevoerd door medewerkers van de leverancier van de betreffende techniek. Controle en calibratie van online meetapparatuur dient plaats te vinden met gecalibreerde meetapparatuur, bij voorkeur door medewerkers van een geaccrediteerd laboratorium. Belangrijke parameters welke niet online gelogd kunnen worden dienen tenminste dagelijks vastgelegd te worden. Tijdens de interventieperiodes zal circa 5 maal (minimaal 1 maal per week) een externe servicetechnicus alle belangrijke instellingen controleren op juistheid en alle operationele proefopstellingen controleren op juiste werking. Dit zal ook gebeuren op de eerste dag van de intensieve meetcampagne tijdens de derde week van de interventie.

4.9 Storingen en calamiteiten

Indien er zich bijzondere gebeurtenissen, storingen en/of calamiteiten voordoen dient overleg plaats te vinden met een ad-hoc commissie bestaande uit enkele leden van de begeleidingscommissie (BC) (4 personen). Leidraad voor beslissingen is als volgt:

- Korte storingen (< 72 uur); onderzoek gaat ongestoord verder, interventie wordt verlengd met storingsperiode. Uitvoerige rapportage van de storing, uitgevoerde handelingen om deze te verhelpen en mogelijke gevolgen voor de resultaten van het onderzoek
- Lange storingen (>72 uur) gedurende de eerste twee weken van een interventie; in deze situatie zal na het verhelpen van de storing opnieuw gewacht moeten worden tot de referentiesituatie hersteld is. Daarna zal het onderzoek aan deze techniek opnieuw gestart moeten worden.
- Lange storingen (> 72 uur) gedurende de laatste 2 weken van interventie; in deze situatie zal in overleg met de ad-hoc commissie besloten worden hoe te handelen. De interventieperiode dient tenminste verlengd te worden met de storingsperiode en in het uiterste geval zal de interventie opnieuw uitgevoerd moeten worden.

De ad-hoc commissie zal bestaan uit een vertegenwoordiger van de wettelijke toezichthouder, een vertegenwoordiger van de onderzoekslocatie en de opdrachtgever. Eventueel aangevuld met een medewerker van de leverancier van de te testen techniek.

4.10 Enquête beleving gebruikers

Gezien de experimentele opzet van het praktijkonderzoek is dit bij uitstek geschikt om de beleving van gebruikers en badpersoneel te monitoren en aan de gebruikte technieken te relateren. Omdat bezoekers onbekend zijn met het exacte tijdstip van introductie van de techniek, en er ook een inregelfase en herstelfase is ingepland kan dit onderzoek ook enkelblind worden uitgevoerd op een manier die sterke overeenkomsten heeft met zogenaamde cross-over designs. Een dergelijke monitoring kan als zogenaamd panelonderzoek worden uitgevoerd, waarbij bij dezelfde populatie door middel van korte vragenlijsten naar klachten en subjectieve ervaring van de zwembadatmosfeer worden gevraagd. Bij aanvang van het onderzoek dient hiervoor eerst een vaste groep participanten geselecteerd te worden van voldoende omvang om voldoende onderscheidend vermogen (power) te hebben om relevant geachte toe- en afname in het voorkomen van klachten vast te kunnen stellen (totaal 100-150 participanten). Bij voorkeur wordt de vragenlijst op verschillende tijdstippen via internet afgenomen. Minimaal moeten vragen worden opgenomen naar het voorkomen van astmatische klachten (piepen op de borst, benauwdheid), klachten van de neus (rhinitis) en ogen (conjunctivitis). Zoveel mogelijk moet worden aangesloten bij onderzoeksinstrumenten die in tot nu toe gepubliceerde studies zijn gebruikt (Jacobs e.a., 2006). Zoals aangegeven zullen de vragenlijsten worden afgenomen tijdens de interventies, maar ook op tussenliggende momenten. Aandachtspunt daarbij is of de duur van de interventie voldoende lang is voor het meten van veranderingen in het klachtenpatroon. Ook dient in de nulsituatie al met deze enquêtes gewerkt te worden. Dit betekent dat de website en vragenlijsten voor dit deel van het onderzoek bij aanval van de nulmeting operationeel moet zijn. De eerste activiteit na het vaststellen van de onderzoekslocatie zal zijn het benaderen van mogelijke participanten, waarbij gestreefd moet worden naar een steekproef uit alle gebruikersgroepen van de onderzoekslocatie. De enquêtes dienen zo vastgelegd te worden, dat bekend is op welke dag en tijdstip de betreffende participant voor het laatst gezwommen heeft in het proefbassin. Van alle participanten dienen enkele algemene gegevens bekend te zijn, zoals geslacht en leeftijd. Het onderzoek moet voldoende omvangrijk zijn om een verschil in voorkomen van klachten te kunnen detecteren bij mensen met atopische luchtwegklachten (hooikoorts en astma) en mensen zonder deze klachten. Overwogen kan worden om het voorkomen van atopische gezondheidsklachten eenmalig te objectiveren door middel van serologisch onderzoek. Daarnaast moet tenminste bekend worden wat de waarnemingen van de participanten zijn met betrekking tot waterkwaliteit en luchtkwaliteit. De gegevens moeten worden geanalyseerd met voor deze proefopzet geëigende statistische technieken zoals logistische regressie analyse en GEE, voor herhaalde waarnemingen bij dezelfde persoon en correctie voor versturende variabelen (leeftijd, geslacht).

De partij die wordt belast met dit deelonderzoek moet bewezen expertise hebben op het terrein van bevolkingsonderzoek, enquêtes en gegevensverwerking (statistiek) bij zwembaden. Om te beginnen moet de geselecteerde partij op basis van zijn expertise nagaan of uitvoering van een enquête als deelonderzoek binnen de technische setting van het praktijkonderzoek haalbaar is. (De enquête als deelonderzoek moet uiteraard ondergeschikt zijn aan het praktijkonderzoek, maar dan is wel de vraag relevant of de onderzoeksperioden lang genoeg zijn voor zinvol belevingsonderzoek).

5 Onderzoeksprogramma

5.1 Inleiding

Het onderzoeksprogramma is er primair op gericht om de invloed van de verschillende technieken op de vorming en het vóórkomen van DBP zichtbaar te maken. Verder wordt het onderzoeksprogramma aangevuld met systeem- en belastingsparameters die op de vorming van DBP invloed kunnen hebben. Voor het opzetten van een geschikt onderzoeksprogramma moet met de volgende aspecten rekening worden gehouden:

- Bepaling van de locaties voor het ter plaatse analyseren van relevante parameters (on- & off-line).
- Bepaling van de locaties voor het nemen van lucht- en watermonsters voor het laboratoriumonderzoek.
- De te analyseren parameters: welke parameters zijn naar de huidige inzichten relevant en in welke pakketten zijn ze samen te vatten.
- Zijn voor de relevante parameters gevalideerde analysemethoden beschikbaar of moeten deze nog ontwikkeld worden.
- De onderzoeksfrequentie.

Hierna wordt dieper op deze aspecten ingegaan.

5.2 Meetlocaties

5.2.1 Selectie meetlocatie

Ongeacht de toegepaste waterbehandelingstechniek dient inzichtelijk te worden gemaakt welke kwaliteit zwemwater beschikbaar wordt gesteld aan de zwemmer en wat zijn/haar bijdrage is aan de vorming van DBP.

Dit betekent bemonstering van het inlaatwater en uitlaatwater van het bassin. Hiermee kan impliciet ook de werking van de gehele waterbehandelingsinstallatie worden beoordeeld.

Door de bemonstering van water te combineren met bemonstering van lucht kan de relatie worden bepaald tussen de water- en luchtkwaliteit in de zwemzaal.

Voor de beoordeling van de additionele waterbehandelingstechnieken is bemonstering gewenst van het water direct voor en direct na de betreffende techniek. Hiervoor dienen geschikte bemonsteringsvoorzieningen aanwezig te zijn. Voor de situering van de bemonsteringslocaties wordt verwezen naar de P&ID's in bijlage III.

5.2.2 Kleur- en rookproef

Zowel een kleur- als een rookproef wordt essentieel geacht voor dit onderzoek. Met behulp van een kleur- en rookproef kunnen de karakteristieken van de onderzoekslocatie in kaart worden gebracht en kan zo nodig de bestaande situatie worden geoptimaliseerd.

Door het uitvoeren van een kleurproef kan de effectiviteit van de waterverdeling in het bassin worden gecontroleerd en vastgesteld worden waar zich de meest geschikte bemonsteringslocaties in het bassin bevinden. Het kan overigens noodzakelijk blijken om bepaalde parameters van het inlaat- en uitlaatwater buiten het bassin te monitoren.

Een kleurproef moet voldoen aan de volgende randvoorwaarden:

- Vastlegging van uitvoering van de proef door middel van foto's of film en een samenvattend verslag.
- Het optreden van verkleuring op alle plekken in het bassin binnen een bepaalde tijd, bijvoorbeeld 15 minuten, hoewel dit bij kleine zwembaden ook korter kan zijn.

- Tijdens de proef mogen geen gevaarlijke situaties ontstaan voor personeel en/of gebruikers. Er mogen geen mensen in het bassin aanwezig te zijn.
- De kleurproef mag geen schade aan de regelapparatuur van het zwembad aanbrengen.
- De proef moet worden uitgevoerd tijdens normale omstandigheden, dat wil zeggen geen verlaagd circulatiedebiet. Eventuele speelelementen of attracties moeten buiten gebruik zijn.
- Voor de proef mag de concentratie vrij chloor tijdelijk verlaagd worden. Deze dient echter direct na de proef weer hersteld te worden.
- Het is niet toegestaan om hoge chloorconcentraties tijdens deze kleurproef te gebruiken zoals voorgeschreven in NEN 15288-2.
- De keuze voor de te gebruiken kleurstof is vrij onder voorwaarde dat de verkleuring goed zichtbaar is (contrasterende kleur).

Het ontwerp van een ventilatiesysteem moet zorgen voor een goede luchtcirculatie in het zwembad zodat geen 'pockets' van stilstaande lucht optreden. Met behulp van een rookproef kan de luchtcirculatie op de onderzoekslocatie worden onderzocht en zo nodig verbeterd. Daarnaast geeft de rookproef aan waar de luchtkwaliteit in de zwemzaal moet worden vastgesteld/bemonsterd.

Een rookproef moet voldoen aan de volgende randvoorwaarden:

- Vastlegging van uitvoering van de proef door middel van foto's of film en een samenvattend verslag.
- Het meten van de luchtstromingen op alle voor het praktijkonderzoek belangrijke plekken in de zwemzaal; dit zijn alle ademzones van zwemmers en personeel, nabij inlaatroosters en nabij raampartijen.
- Aandacht gaat uit naar de luchtsnelheden in kanalen en roosters ten opzichte van de ontwerpgegevens van de installatie.
- Het plaatsen van een rookpatroon in de luchtbehandelingskast heeft geen voorkeur omdat dan uit alle roosters nagenoeg tegelijk rook komt en niet op alle plekken tegelijk beoordeeld kan worden of het gegeven rookpatroon ook het gewenste is. Er kan beter gewerkt worden met een rookmachine zodat een relatief kleine rookpluim bij een rooster gebracht kan worden en per rooster een beoordeling kan plaatsvinden.
- De worp van de roosters dient in het onderzoek bekeken te worden. Koudeval nabij raampartijen kan invloed hebben op de worp, navraag dient gedaan te worden of in koude periodes (buiten temperatuur) de luchtcirculatie zich anders gedraagt. Dit is dan wel een objectieve waarneming van een zwembadmedewerker.
- Speciale aandacht gaat uit naar het luchtpatroon van de doorstroming. Er moet naar gestreefd worden om geen gelaagdheid in de zwemzaal te krijgen. De kans op gelaagdheid is het grootst bij hoge inblaastemperaturen, bijvoorbeeld in koude periodes of tijdens de opstart 's morgens vroeg. Eventueel kan een rookproef tijdens een dergelijke situatie herhaald worden om dit te verifiëren.
- De rookproef dient uitgevoerd te worden met 100% buitenlucht.

5.3 Water

5.3.1 Analysepakketten

Voor het samenstellen van de analysepakketten is gebruik gemaakt van de expertise van de leden van het consortium. Daarnaast zijn ook internationale publicaties geraadpleegd (o.a. Glauner 2007; Weaver et al, 2009) om actuele ontwikkelingen op het gebied van analyse en detectie van DBP in zwemwater te integreren in het onderzoeksprogramma.

In bijlage VI is een overzicht opgenomen van de nu relevant geachte analysepakketten. In pakket 1 en 2 is een onderverdeling aangebracht in parameters die enerzijds gerelateerd zijn aan het aantal bezoekers (belastingparameters) en anderzijds aan de gebezigde waterbehandelingstechniek en bedrijfsvoering (systeemparameters).

Bij de keuze van de diverse parameters zijn onder andere de volgende overwegingen gebruikt:

- Bij de selectie van verbindingen is, voor zover bekend, rekening gehouden met ongewenste eigenschappen van die verbindingen voor de mens zoals de mate van irritatie, gezondheidsbedreiging en toxiciteit.
- De beschikbaarheid van geschikte analysetechnieken speelt in eerste instantie geen rol bij de keuze van de verbindingen.
- De microbiologische parameters koloniegetal 37°C, *Legionella* en *Pseudomonas aeruginosa* zullen periodiek worden onderzocht om een indruk te krijgen van de bacteriologische kwaliteit van het zwemwater en mogelijke besmettingen in (delen van) de waterbehandelingsinstallatie.
- Bij een VBC concentratie van > 0,5 mg/l wordt aangenomen dat de desinfectiecapaciteit in het bassin voldoende is. Bij een lagere concentratie VBC is onderzoek naar de desinfectiecapaciteit in het bassin noodzakelijk.
- Organische halogeenstikstofverbindingen en halogeenkoolstofverbindingen komen voor in het zwemwater en in de lucht van de zwemzaal. De invloed van de te onderzoeken technieken op de vorming van deze stoffen moet worden vastgelegd. De methode om deze stoffen in de lucht te kwantificeren staat echter nog ter discussie.
- De toxiciteit van organische halogeenstikstofverbindingen lijkt groter dan die van de halogeenkoolstofverbindingen.
- Cyanogeenchloride, dichloormethylamine en dichlooracetonitril zijn vluchtige stikstofbevattende organische verbindingen die nadelig kunnen zijn voor de mens. Deze verbindingen zijn aangetoond in zwemwater. Mogelijk zijn deze verbindingen ook met MIMS (par. 5.4.2) te analyseren.
- Halo-azijnzuren zijn polaire verbindingen die zich in het zwemwater kunnen ophopen en in relatie worden gebracht met huidirritatie.
- Chloralhydraat, dichlooraceton, trichlooraceton en chloorpicrine zijn aangetoond in zwemwater en zijn mogelijk in lage concentraties nadelig voor de gezondheid. Nagegaan dient te worden of er een geschikte analysetechniek voorhanden is.

Mocht er door voortschrijdend inzicht behoefte ontstaan om de analysepakketten te wijzigen, dan zal dit na overleg met de begeleidingscommissie zo spoedig mogelijk worden uitgevoerd. Het uitgangspunt is te allen tijde zo efficiënt mogelijk om te gaan met het beschikbare budget met behoud van de kwaliteit van het onderzoeksprogramma.

5.3.2 Analysemethoden

De analysemethoden die in het laboratorium en lokaal (veldmetingen) worden uitgevoerd, conformeren zich zo veel mogelijk aan de meest actuele NEN en/of ISO-normen. Daarnaast dienen de methoden te zijn gevalideerd voor de matrix zwemwater. Eventuele huismethoden dienen aantoonbaar gelijkwaardig te zijn aan voornoemde normen en geaccrediteerd te zijn voor de matrix zwemwater (daarbij dient te worden opgemerkt dat een volledige validatie van een 'in-house' methode volgens geldende ISO-normen een tijdrovende activiteit is). In bijlage VI is een overzicht opgenomen van de analysemethoden die nu beschikbaar zijn.

De laboratoria die de analyses gaan uitvoeren dienen geaccrediteerd te zijn door de Raad voor Accreditatie (RvA) voor zowel de monsternamen als het wettelijke verplichte Bhv-bz-onderzoek en een aantoonbare meerjarige ervaring op dat gebied te hebben. Verder is het van belang dat betrokken monsternemers en adviseurs van de laboratoria voldoende kennis bezitten van enerzijds de conventionele zwemwaterbehandelingen en anderzijds de in het onderzoek te testen additionele waterbehandelingsmethoden. Te allen tijde moet er een relatie gelegd kunnen worden tussen de analysesresultaten en het functioneren van de zwemwaterbehandelingsinstallaties.

De analyse van GBC als somparameter voor anorganische en organische chlooramines met DPD-FAS titratie, is voor dit onderzoek een grove parameter. Differentiatie naar di- en trichlooramine verdient sterke aanbeveling. Hiervoor is mogelijk de MIMS methode bruikbaar (zie hiervoor ook de toelichting onder par. 5.4.2). Indien de MIMS methode beschikbaar komt dan wordt zowel DPD-FAS titratie als MIMS uit gevoerd, zodat resultaten onderling kunnen worden vergeleken.

Indien gebruik gemaakt wordt van geautomatiseerde meetsystemen, dienen deze periodiek te worden getoetst aan geaccrediteerde veld- of laboratoriumanalyses.

Gezocht wordt naar een geschikte parameter om de 'organische' vervuiling continu te monitoren. Het bepalen van het UV-absorptiespectrum levert een soort 'vingerafdruk' op van de organische bestanddelen in het water, waarbij een hoge UV-absorptie wijst op een hoge reactiviteit van de organische verbindingen (dubbele bindingen, aromatische ringen) met chloor. Het zou een methode kunnen zijn die inzicht geeft in veranderende samenstelling van de organische matrix in het water tijdens het onderzoek. De methode is echter nog in ontwikkeling en zou om die reden voorafgaand aan het praktijkonderzoek moeten worden geëvalueerd op toepasbaarheid voor het onderzoek (zie hoofdstuk 8).

Voor een aantal parameters zijn (nog) geen analysemethoden en/of normen beschikbaar voor de matrix zwemwater. Door middel van een validatieonderzoek dient de geschiktheid te worden aangetoond alvorens deze worden toegepast.

Speciale aandacht vereist de analyse van ozon in chloorhoudend zwemwater. Bijlage IV van het Bhvz schrijft voor deze analyse de NEN 6495, 1^e druk 1984 voor. Deze NEN beschrijft een fotometrische bepaling van het gehalte ozon in water. Chloordioxide en chloor storen de bepaling omdat ze ook de indicator (indigosulfonaat) oxideren. Deze storing zou op te heffen zijn door chloor met barnsteenzuur te laten reageren.

Hach heeft een analysemethode met AccuVac ampullen "Indigo Method 8311". Volgens Hach is een reagens toegevoegd dat de aanwezigheid van chloor in het monster maskeert. Dat reagens blijkt malonzuur te zijn. Duitse literatuur bevestigt dat, ondanks deze maskering, rekening moet worden gehouden met een resteffect van chloor (Hoigné *et al.*) Daarnaast heeft ook onderzoek door de Taakgroep A6 van KAAP¹ in de jaren 90 aangetoond dat de storing van chloor door barnsteenzuur of malonzuur slechts gedeeltelijk wordt weggenomen Met praktijkwater (drinkwater) bleek de maskering van chloor met malonzuur zelfs helemaal niet te werken. De taakgroep concludeerde dan ook dat de indigomethode niet toepasbaar is bij aanwezigheid van chloor. Strikt genomen is de matrix drinkwater niet gelijk aan die van zwemwater, maar het benadrukt dat nader onderzoek naar een geschikte analysemethode voor ozon in chloorhoudend zwemwater noodzakelijk is voorafgaand aan de start van het praktijkonderzoek (zie hoofdstuk 8).

5.3.3 Analysefrequentie

Vergelijking van de verschillende technieken is slechts mogelijk als de systeem- en belastingsparameters zo min mogelijk variatie vertonen. Waar mogelijk dient daarom gebruik gemaakt te worden van continue monitoring, bij voorkeur online en via internet toegankelijk. Parameters zoals zuurgraad, VBC, GBC, temperatuur, redox-waarde en het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) komen hiervoor in aanmerking. Indien VBC/GBC tegelijkertijd online met sensor en via bemonstering en analyse in het laboratorium worden bepaald, moet rekening worden gehouden met een systematische afwijking tussen de resultaten van beide bepalingsmethoden.

Voor de beoordeling/optimalisatie van het zandfilter en de vlokmiddeldosering kan de troebelheid van het effluent van het filter volcontinu worden bewaakt.

Vooralsnog wordt bij de projectplanning uitgegaan van een gemiddelde controletermijn van een maand om ieder van de drie chloordoseertechnieken en de additionele waterbehandelingstechnieken te testen. In deze periode van een maand zal in week drie een intensieve meetcampagne worden gehouden van minimaal één dag, maar bij voorkeur 2 tot 3 dagen.

Behoudens de intensieve meetcampagne zullen de basisparameters (pakket 1 exclusief troebelheid en waterstofcarbonaat) driemaal per week worden gemeten op twee locaties (in- en uitlaat bassin). Bij het testen van een additionele waterbehandelingstechniek, zal het onderzoek worden uitgebreid met specifieke analysepakketten direct voor en na de interventie van de techniek. Ook hier wordt een frequentie van driemaal per week noodzakelijk geacht.

¹ KAAP = Kontaktgroep Analyses Anorganische Parameters (destijds een Kiwa kontaktgroep).

Tijdens de intensieve meetcampagne worden er om het uur gedurende 10 uur monsters genomen bij de inlaat en uitlaat van het bassin.

Gelijktijdig wordt ook de lucht in de zwemzaal intensiever bemeten. De intensieve meetcampagne wordt uitgevoerd om een indruk te krijgen van de invloed van de badbelasting op de snelheid van het ontstaan van DBP. In het bijzonder de relatie bezoekersaantallen → toename gehalte organisch stof → toename gehalte AOX → toename gehalte THM's krijgt in deze fase aandacht.

Mocht er door voortschrijdend inzicht behoefte ontstaan om de analysefrequentie te wijzigen, dan zal dit na overleg met de begeleidingscommissie zo spoedig mogelijk worden uitgevoerd. Het uitgangspunt is te allen tijde zo efficiënt mogelijk om te gaan met het beschikbare budget met behoud van de kwaliteit van het onderzoeksprogramma.

5.4 Lucht

5.4.1 Inleiding

Op dit moment bestaat nog discussie over de te meten stoffen in de lucht. Trichlooramine is duidelijk met effecten op de luchtwegen geassocieerd, maar een verkenning van alle mogelijk luchtwegirriterende stoffen heeft niet plaatsgevonden omdat de focus op astma en luchtwegirritatie pas van de laatste jaren is (Weisel et al., 2009). In het verleden ging meer aandacht uit naar de koolwaterstoffen en de daarmee geassocieerde (andere) gezondheidsrisico's. Daarnaast bestaat twijfel over de nu beschikbare meetmethoden. De veelgebruikte methode van Hery (1995) om trichlooramine in de lucht te meten, is zeer waarschijnlijk niet specifiek en meet vermoedelijk het totaal van anorganische chlooramines in de lucht. Daarom wordt als alternatief wel MIMS ("Membrane Introduction Mass Spectrometry") (Shang & Blatchley, 1999; Li & Blatchley 2007) genoemd, maar een vergelijking van methoden heeft nog niet plaatsgevonden. Op het moment van het schrijven van dit voorstel kon nog geen keuze voor een methode worden gemaakt, omdat een vergelijking van beide methoden nog niet voorhanden is. Voor een van beide methoden zal een keuze gemaakt moeten worden dan wel voor een eventuele andere gevalideerde methode.

5.4.2 Routinemetingen

De luchtkwaliteit wordt gedurende iedere nieuwe experimentele periode gedurende een maand gemeten. Dit zijn routinemetingen die gedurende het programma worden uitgevoerd. De variatie in de concentratie van verbindingen in de lucht is normaliter groot. Daarom moeten DBP zeker gedurende 10 dagen worden gemeten, bij voldoende variatie in bezoekersaantallen en meteorologische condities (in verband met de variatie in ventilatie). Het ventilatievoud in de ruimte moet ook meerdere keren worden vastgesteld. Voor de metingen van de luchtkwaliteit worden bij voorkeur 8-uurs metingen genomen, maar minimaal 4 uur om geringe fluctuaties in concentratie uit te middelen. De metingen moeten in ieder geval worden gericht op chlooramines. Hiervoor bestaan meerdere analytische methoden, de in de literatuur beschreven methode van Hery (Hery, 1995) en de MIMS methode ("Membrane Introduction Mass Spectrometry") (Shang & Blatchley, 1999). Afhankelijk van de gekozen analytische methode wordt de meetduur bijgesteld of worden sequentieel meerdere metingen uitgevoerd om tot eenzelfde middelingstijd te komen. Eventueel kan er voor gekozen worden om andere parameters dan trichlooramine mee te nemen zoals chloorkoolwaterstoffen.

Parallel aan de luchtmetingen moeten klimaatfactoren worden gemeten (temperatuur, luchtvochtigheid, instraling, ventilatievoud) alsook de bezettinggraad van het zwembad. Synchroon aan de luchtmetingen moet een reeks parameters worden vastgesteld die de waterkwaliteit beschrijven. Aan de hand hiervan kan onderzocht worden hoe de luchtkwaliteit samenhangt met de waterkwaliteit en andere factoren. Dit levert informatie op die voor interventies rond de luchtkwaliteit van belang zijn.

Ook dienen kortdurende metingen te worden uitgevoerd, samenhangend met waterkwaliteit. Op 2-3 dagen moeten kortdurende metingen worden uitgevoerd om variatie binnen een dag vast te stellen. Deze metingen moeten parallel geschieden aan vergelijkbare metingen in waterkwaliteit. Omdat het spectrum van verontreinigende stoffen in de lucht kan variëren afhankelijk van de desinfectiemethode in deze studie en in de Nederlandse situatie niet goed is gedocumenteerd, is het wenselijk op beperkte schaal het gehele spectrum in de lucht te meten.

Dit geldt in het bijzonder voor de chloorkoolwaterstoffen die ook met gezondheidseffecten (andere dan astma) zijn geassocieerd. Deze metingen kunnen parallel aan de kortdurende metingen worden uitgevoerd met behulp van MIMS of GCMS.

5.5 Gewenst vooronderzoek

Bij het opstellen van het onderzoeksplan is duidelijk geworden dat voor een aantal relevant geachte parameters nog geen gevalideerde onderzoeksmethode beschikbaar is. Daarom wordt uitdrukkelijk voorgesteld een pilotstudie uit te voeren, voorafgaand aan het praktijkonderzoek om tot een keuze voor o.a. de meetmethode voor trichlooramine in de lucht te komen (zie paragraaf 8.4) en overige relevante parameters in de waterfase.

6 Gedetailleerd onderzoeksplan

6.1 Chronologische overzicht uit te voeren testen en looptijd onderzoek

In bijlage IV is de onderzoeksplanning schematisch weergegeven. Het betreft de planning van het praktijkonderzoek zoals het consortium dat voor ogen heeft. Uit de planning kan een totale looptijd voor het onderzoek van ruim 2 jaar worden afgeleid.

6.2 Generiek monitoringsprogramma

Een nadere toelichting en overzicht van het monitoringsprogramma in water en lucht is terug te vinden in bijlage V van dit rapport.

6.3 Overzicht analysepakketten water en lucht

In bijlage VI is een overzicht gegeven van de verschillende analysepakketten van water en lucht. Per analysepakket zijn de parameter en de analysemethodes aangegeven.

De basisparameters zijn de parameters uit het wettelijk verplichte pakket, dat wil zeggen pakket 1, met uitzondering van troebeling en waterstofcarbonaat.

7 Schatting onderzoekskosten

In onderstaande tabel is een schatting gegeven van de onderzoekskosten voor dit project. Het betreft een globale schatting waaraan geen rechten kunnen worden ontleend.

In de kostenschatting is uitgegaan van de onderzoeksplanning in bijlage IV, dat wil zeggen onderzoek naar de verschillende methoden voor chloorinbreng, onderzoek met MD-UV en LD-UV en onderzoek met drie aanvullende waterbehandelingstechnieken. Verder is de schatting gebaseerd op uurtarieven en tarieven voor analyses die gelden in 2009. De werkelijke kosten zullen voor een groot deel worden bepaald door de nog te selecteren onderzoekslocatie, de te selecteren waterbehandelingstechnieken en de noodzakelijke analysefrequentie die uiteindelijk pas tijdens uitvoering van het onderzoek zal blijken.

De onderzoeksbudgetten die nodig zijn om te kunnen voldoen aan alle randvoorwaarden voor het uitvoeren van het praktijkonderzoek (zie hoofdstuk 8) zijn niet meegenomen in deze raming.

Totale besteding uren voor onderzoeksteam (uitvoeren onderzoek, voorbereiden vergaderingen, disseminatie van kennis)	€ 325.000,-
Totale besteding voor analyses tijdens het onderzoek	€ 1.560.000,-
Stelpost voor inbouw en demontage installaties	€ 40.000,-
Stelpost voor huur installaties	€ 35.000,-
Stelpost voor onderhoud en beheer installaties	€ 25.000,-
Stelpost voor optimalisatie van de bestaande hardware op de onderzoekslocatie (bijvoorbeeld renovatie zandfilter)	€ 40.000,-
Stelpost voor bouwkundige aanpassingen van de onderzoekslocatie	€ 15.000,-
Stelpost voor vergoeding onderzoekslocatie (extra grondstoffenverbruik, extra energieverbruik, extra waterverbruik, extra personeelskosten)	€ 50.000,-
Stelpost rook- en kleurproeven voor vaststellen van water en luchtstromingen respectievelijk in en boven het zwembad.	€ 5.000,-
Stelpost kosten gebruik meetapparatuur	€ 10.000,-
Onvoorzien posten (5 %)	€ 105.000,-
Totaal geraamde onderzoekskosten (afgerond)	€ 2.210.000,-

8 Hoe nu verder?

8.1 Overzicht ontbrekende randvoorwaarden praktijkonderzoek

Wat weten we nog niet om met het praktijkonderzoek te kunnen starten? Wat zouden we nog wel moeten weten? Ofwel wat moet nog worden uitgezocht voordat kan worden gestart met het praktijkonderzoek. Bij het opstellen van dit onderzoeksplan zijn vijf onderwerpen naar voren gekomen. In de paragrafen 8.2 tot en met 8.6 zijn ze nader uitgewerkt.

8.2 Vaststellen condities voor verbeterde chloorbleekloogdosering

Voorgesteld wordt om voorafgaand aan het praktijkonderzoek de volgende activiteiten uit te voeren:

- Inventarisatie van de ervaringen met de dosering van ter plaatse verdund chloorbleekloog waaronder de activiteiten van Akzo Nobel op dit gebied.
- Vaststellen welke aanvullende optimalisaties nog moeten worden uitgevoerd.
- Vaststellen van de randvoorwaarden en ontwerpcriteria voor verbeterde chloorbleekloogdosering ten behoeve van het praktijkonderzoek.

8.3 Evaluatie UV-absorptie als parameter voor continue monitoring van de organische matrix

UV-absorptiemeting is een 'somparameter' voor organische stof, die in aanmerking komt voor continue monitoring tijdens het onderzoek. In een vooronderzoek zou de toepasbaarheid van UV-absorptiemetingen voor continue monitoring van de organische matrix moeten worden geëvalueerd op basis van literatuurgegevens en interviews met kennisdragers gevolgd door een beperkt onderzoek in een praktijksituatie. In dat onderzoek zou de relatie tussen de gebruikelijke parameters voor organische stof (KMnO₄-verbruik, DOC) en UV-absorptie moeten worden onderzocht.

8.4 Onderzoek naar meest geschikte meetmethode voor metingen in de luchtfase

Het reproduceerbaar vaststellen van DPB in de lucht in een gechloord zwembad is lastig. Voorgesteld wordt om voor de start van het onderzoek een project uit te voeren waarbij voor de omgevingslucht de voor de onderzoeksvraag meest geschikte meetmethode in de lucht wordt bepaald en de geselecteerde meetmethode wordt gevalideerd door het vaststellen van de prestatiekenmerken. Op basis van literatuurgegevens gaat het hierbij voor halogeenkoolstofverbindingen om de afweging tussen de toepassing van MIMS (Shang & Blatchley, 1999) of de algemeen voor deze stoffen gebruikte GCMS methode. Voor stikstofhalogeenvverbindingen gaat het bij de metingen in de omgevingslucht om de klassieke methode volgens Hery (Hery et al., 1995) en MIMS (Shang & Blatchley, 1999). Aandachtspunt is dat de analyse altijd geschiedt na een concentratiestap; in het algemeen is deze concentratiestap stofselectief en leidt tot een over de tijd gemiddeld gehalte, geconcentreerd gedurende een bepaalde tijd. Vanwege de omvang van het voorgestelde onderzoek naar alternatieve desinfectietechnieken is een selectie van de beste gevalideerde analysemethode vooraf zinvol.

Gedurende deze fase worden over een periode van 15 dagen metingen uitgevoerd met de MIMS, GCMS en Hery methode. De metingen worden onder verschillende bezettinggraden van het bad uitgevoerd zodat de concentratie sterk varieert en een correlatiestudie kan worden uitgevoerd. Ook wordt met deze metingen het gehele stoffenspectrum in kaart gebracht. Aan de hand hiervan kunnen correlaties worden onderzocht tussen de verschillende gemeten componenten zodat eventueel een keuze kan worden gemaakt tussen een aantal relevante merkers van de (complexe) mengselblootstelling. Aanvullend wordt een discriminantanalyse uitgevoerd om clustering van verschillende stoffen te onderzoeken.

Tegelijkertijd wordt van een groot aantal gemeten verbindingen die in het lage mg/m³ gebied meetbaar zijn het toxicologisch profiel onderzoek met een snelle literatuur search in internationale databases (Toxline, PUBMED). Zo kunnen de verbindingen die voor effecten op de gezondheid potentieel relevant zijn worden geselecteerd en wordt een voorstel gedaan voor de uiteindelijke meetinspanning voor het vervolg van de studie. De intentie is om metingen voor een zeer beperkt aantal luchtverontreinigende stoffen in het vervolg uit te voeren (<5) die samen een voldoende beeld geven van de luchtkwaliteit.

8.5 Vaststellen methode voor registratie badbelasting

Tijdens het praktijkonderzoek is een goede registratie van de gebruikers van het zwembad van essentieel belang in verband met het vaststellen van de gemiddelde zwemduur en badbelasting. De voorkeur gaat uit naar een automatische registratie van de badbelasting (die steekproefsgewijs wordt gecontroleerd door tellingen met de hand).

In een onderzoek voorafgaand aan het praktijkonderzoek dienen de verschillende mogelijkheden voor de automatische registratie van de badbelasting te worden geïnventariseerd, geëvalueerd en zo nodig uitgetest. Op dit moment wordt bijvoorbeeld gedacht aan registratie via infrarood camera's of registratie via het gebruik van sensoren/chips die door de gebruiker wordt gedragen.

8.6 Vaststellen van een methode voor bepaling van ozon in chloorhoudend zwembadwater

Op basis van de informatie over de analyse van ozon zoals omschreven in paragraaf 5.3.2 en actuele informatie moet voorafgaand aan het praktijkonderzoek worden nagegaan wat de meest betrouwbare methode is voor de bepaling van ozon naast chloor in zwembadwater.

8.7 Voorstel vervolgaanpak

Voordat gestart kan worden met het uitvoeren van het praktijkonderzoek volgens het onderzoeksplan zoals beschreven in dit rapport, dienen de volgende stappen te worden gezet:

- Invulling geven aan de ontbrekende randvoorwaarden zoals beschreven in de paragrafen 8.2 tot en met 8.6.
- Financiering afronden voor uitvoering (opdrachtgever).
- Selectie van het onderzoeksinstituut of consortium van bedrijven (opdrachtnemer(s)).
- Selectie van de onderzoekslocatie analoog aan de adviezen in hoofdstuk 2.
- Gesprekken met de locatiebeheerder en wettelijke toezichthouder. Bespreken en vaststellen randvoorwaarden voor uitvoering met de houder van het zwembad en de wettelijke toezichthouder (betreffende provincie). Bespreken communicatieplan voor de gebruikers van het zwembad.
- Opstellen van een communicatieplan waarmee de zwemmers worden geïnformeerd over het verloop van de verschillende testen.
- Selectie van leveranciers conform hoofdstuk 3.
- Gesprekken met de leveranciers en de locatiebeheerder over inpassen van de verschillende waterbehandelingsstechnieken in de bestaande waterzuivering en de noodzakelijke veiligheidsvoorzieningen.
- Opstellen van een veiligheidsprotocol en een calamiteitenplan.

8.8 De begeleidingscommissie voor het praktijkonderzoek

Voor de begeleiding van het praktijkonderzoek dient een commissie te worden geformeerd waaraan ten minste de volgende personen deelnemen:

- Opdrachtgever (ministerie van VROM);
- Vertegenwoordigers van andere partijen die een financiële bijdrage leveren aan het onderzoek;
- Opdrachtnemer(s);
- Vertegenwoordiger van de onderzoekslocatie;

- Vertegenwoordiger van de wettelijke toezichthouder;
- Vertegenwoordiger van het RIVM;
- Vertegenwoordiger van het Nationaal Platform Zwembaden/NRZ;
- Vertegenwoordiger van Aqua Nederland namens de leveranciers;
- Vertegenwoordiger van een werkgeversvereniging/vakbond;
- Ten minste twee onafhankelijke experts op het gebied van zwembadwaterbehandeling en luchtbehandeling in zwembaden.

Voor onverwachte problemen tijdens het onderzoek die een snelle interventie vereisen, is het advies om vanuit de BC een ad-hoc team te benoemen, dat ten minste bestaat uit een vertegenwoordiger van de wettelijke toezichthouder, een vertegenwoordiger van de onderzoekslocatie en de opdrachtgever. Dit team moet beslissingsbevoegdheid krijgen volgens een van te voren toegekend mandaat. Het ad-hoc team wordt door de opdrachtnemer geraadpleegd in acute situaties die de voortgang van het onderzoek in de weg staan en die een snelle interventie vereisen.

9 Literatuur

Armstrong B., Strachan D. *Asthma and swimming pools: statistical issues*. Occup Environ Med 2004;61:475-476.

Bernard A., Carbonnelle S., Michel O., et al. *Lung hyperpermeability and asthma prevalence in schoolchildren: unexpected associations with the attendance at indoor chlorinated swimming pools*. Occup Environ Med 2003;60:385-394.

Schets, C. en De Roda Husman, A.M. RIVM. *Evaluatie van de werkbaarheid en meetbaarheid van doelvoorschriften*. 23 september 2008.

DIN 19643-2 (April 1997). *Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser. Teil 2. Verfahrenscombination: Adsorption – Flockung – Filtration – Chlorung*.

DVGW (1997 A): *Ermittlung von Trihalogenmethanbildungspotential von Trink-, Schwimmbecken- und Badebeckenwässern*. DVGW-Arbeitsblatt W 295, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

Font-Ribera L., Kogevinas M., Zock J.P., Nieuwenhuijsen M.J., Heederik D., Villanueva C.M. *Swimming pool attendance and risk of asthma and allergic symptoms in children*. Eur Respir J. 2009 May 14. [Epub ahead of print]

Hery M., Hecht G., Gerber J.M. et al. *Exposure to chloramines in the atmosphere of indoor swimming pools*. Ann Occup Hyg 1995;39:427-439.

Hoigné J., Bader H. *Bestimmung von Ozon und Chlordioxid in Wasser mit der Indigo-Method*. Vom Wasser, 1981, vol. 55, p. 261 – 179.

Jacobs JH, Spaan S, van Rooy GB, Meliefste C, Zaat VA, Rooyackers JM, Heederik D. *Exposure to trichloramine and respiratory symptoms in indoor swimming pool workers*. Eur Respir J 2007; 29:690-698

Kristensen G.H., Klausen M.M., Andersen H., Arvin E., Albrechtsen H.J., Erdinger L., Lauritsen F. *Full scale test of UV-based water treatment technologies at Gladsaxe Sportcentre - with and without advanced oxidation mechanisms*, 3rd Pool & Spa conference London 2009

Chrobok, K. *Desinfektionsverfahren in der Schwimmbeckenwasseraufbereitung unter besonderer Berücksichtigung des Elektrochemischen-Aktivierungs-Verfahrens zwecks Verbesserung der Beckenwasserqualität*. Dissertation. Bremen 2003.

KWR rapport 07.023. *Oriënterend onderzoek naar desinfectietechnieken voor zwembadwater*. Mei 2007. Onderzoek in opdracht van het ministerie van VROM.

Ministerie van VROM, *Wet hygiene en veiligheid Badinrichtingen en Zwemgelegenheden*, 2001

Shang C., Blatchley III E.R. *Differentiation and Quantification of Free Chlorine and Inorganic Chloramines in Aqueous Solution by MIMS*. Environ. Sci. Technol. 1999, vol.33, 2218-2223.

Glauner, T. *Aufbereitung von Schwimmbeckenwasser – Bildung und Nachweis von Desinfektionsnebenprodukten und ihre Minimierung mit Membran- und Oxidationsverfahren*. Dissertation. Karlsruhe 2007.

Weisel C.P., Richardson S.D., Nemery B., Aggazzotti G., Baraldi E., Blatchley E.R 3rd, Blount B.C., Carlsen K.H., Eggleston P.A., Frimmel F.H., Goodman M., Gordon G., Grinshpun S.A., Heederik D., Kogevinas M., LaKind J.S., Nieuwenhuijsen M.J., Piper F.C., Sattar S.A. *Childhood asthma and environmental exposures at swimming pools: state of the science and research recommendations*. Environ Health Perspect. 2009;117:500-7.

WHO, *Guidelines for safe recreational-water-environment*. Volume 2. Swimming pools, spas and similar recreational-water environments. World Health Organization, Geneva, 2000.

Weaver, W.A., Jing Li, Yuli Wen, Jessica Johnston, Michael R. Blatchley, Ernest R. Blatchley III. *Volatile disinfection by-products analysis from chlorinated indoor swimming pools*, Water Research, 2009, vol. 43, 3308-3318.

10 Lijst met afkortingen

AOP	Advanced Oxidation Process
AOX	Adsorbeerbaar organisch gebonden halogeenkoolwaterstoffen
BC	Begeleidingscommissie
DBP	Desinfectiebijproducten
DOC	Dissolved organic carbon
GBC	Gebonden beschikbaar chloor, Som van de hoeveelheid chloorstikstofverbindingen in het zwembadwater. GBC heeft ook een desinfecterende werking. Formeel is het de fractie die pas na toevoeging van jodide reageert met DPD-reagens in de bepaling volgens NEN-EN-ISO 7393-1 onder vorming van een roodgekleurde verbinding.
GCMS	Gas Chromatography-Mass Spectrometry
H ₂ O ₂	Waterstofperoxide, oxiderende verbinding die in combinatie met ozon of UV zorgt voor de vorming van hydroxyl-radicalen
LD	lage druk (UV-lampen)
LD-UV	UV technologie met lage druk lampen (monochromatisch spectrum)
MCA	Multi criteria analyse
MD	middendruk (UV-lampen)
MD-UV	UV-technologie met middendruk lampen (polychromatisch spectrum)
MIMS	Membrane Introduction Mass Spectrometry
Pd	Palladium katalysator voor AOP
RVS	Roestvast staal
THM	TriHaloMethanen. Desinfectiebijproduct. Som van de concentraties chloroform, dichloorbroommethaan, dibroomchloormethaan en bromoform.
TiO ₂	Titaniumoxide als katalysator voor AOP
UV	Ultraviolette straling
VBC	Vrij beschikbaar chloor, aanwezig in de vorm van onderchlorigzuur, hypochloriet-ion of opgelost chloorgas. Formeel is het de fractie, die in afwezigheid van jodide, direct reageert met DPD-reagens in de bepaling volgens NEN-EN-ISO 7393-1
VOC	Vluchtige organische koolwaterstoffen
Whvzbz/Bhvzbz	Wet hygiëne en veiligheid badinrichtingen en zwemgelegenheden/Besluit hygiëne en veiligheid badinrichtingen en zwemgelegenheden .

I Vaststellen desinfectiecapaciteit alternatieve waterbehandelingstechnieken

Desinfectie van zwembadwater door middel van chemische of fysische processen heeft tot doel de ingebrachte micro-organismen af te doden, onschadelijk te maken of af te vangen om zo microbiologisch veilig zwembadwater te verkrijgen. Toepassing van chemische desinfectiemiddelen kan echter leiden tot de vorming van ongewenste bijproducten doordat de desinfectantia reageren met andere chemicaliën en organische stoffen in het water. De alternatieve technieken die in het praktijkonderzoek getest worden, zijn voor de desinfectie van het zwembadwater allemaal primair gebaseerd op VBC; andere componenten worden toegevoegd om gevormde DBP af te breken (UV) of weg te vangen (poederkool) dan wel de vorming van DBP te voorkomen (ozon, zoutelektrolyse). Toepassing van de aangepaste zuiveringstechnieken heeft theoretisch een verbetering van de depotwerking van chloor in het zwembadwater tot gevolg.

Wanneer het doel is om de alternatieve technieken qua desinfectiecapaciteit te vergelijken met de huidige praktijk van zwembadwaterbehandeling, kan in alle gevallen volstaan worden met de controle van het gehalte VBC in combinatie met monitoring van de pH en het meten van de wettelijk voorgeschreven bacteriologische indicator parameters. Echter, er zijn pathogene (ziekteverwekkende) micro-organismen die in meerdere of mindere mate resistent zijn tegen chloor en derhalve (veel) minder goed worden afgedood door chloor dan de bacteriologische indicator parameters, met een mogelijk gezondheidsrisico voor zwemmers als gevolg. Het betreft hier onder andere de parasitaire protozoa *Cryptosporidium* en *Giardia* en enkele chloorresistente virussen en bacteriën. Het is zinvol om vast te stellen of de alternatieve technieken beter of slechter in staat zijn om deze micro-organismen te elimineren, en het gezondheidsrisico in positieve of negatieve zin te beïnvloeden. Deze informatie kan het meest betrouwbaar verkregen worden door de pathogenen aan de waterstroom toe te voegen en de concentratie in het zwembadwater voor en na in werking stelling van de alternatieve technieken vast te stellen. Het is echter duidelijk dat een dergelijke aanpak in een in bedrijf zijnd zwembad niet opportuun is. Het is eveneens mogelijk een aantal relevante pathogenen op te nemen in het monitoringsprogramma en de aanwezigheid van deze pathogenen in het zwembadwater vast te stellen tijdens de verschillende interventies. Er dient echter rekening mee gehouden te worden dat de inbreng van deze pathogenen plaatsvindt door de zwemmers en volstrekt niet te voorspellen is; het aantreffen van deze pathogenen zal veelal een toevalstreffer zijn. Het is goed mogelijk dat de beoogde pathogenen niet tijdens elke interventie worden aangetroffen, waardoor niet voor alle alternatieve technieken de gewenste informatie verkregen zal worden.

Tevens moet in ogenschouw genomen worden dat pathogenen vaak in lage concentraties in het water voorkomen, waardoor de toe te passen analysemethoden tijdrovend en duur zijn. De inspanning van het meten van pathogenen zal kostbaar zijn, terwijl het onzeker is of de beoogde resultaten worden verkregen. Wanneer echter wel regelmatig pathogenen worden aangetroffen, levert het monitoringsprogramma waardevolle informatie op. Het al dan niet opnemen van deze metingen moet daarom met de opdrachtgever worden afgestemd.

II Toelichting selectiecriteria locatie

Eisen locatie

Het onderzoek dient plaats te vinden in een Nederlands zwembad (binnenbad). Bij voorkeur een klein overzichtelijk zwembad zodat bijvoorbeeld eenvoudig geteld kan worden hoeveel bezoekers er gelijktijdig in het water aanwezig zijn, en ook het implementeren van de verschillende technieken niet onnodig kostbaar wordt door grote installaties.

Eisen waterbehandeling

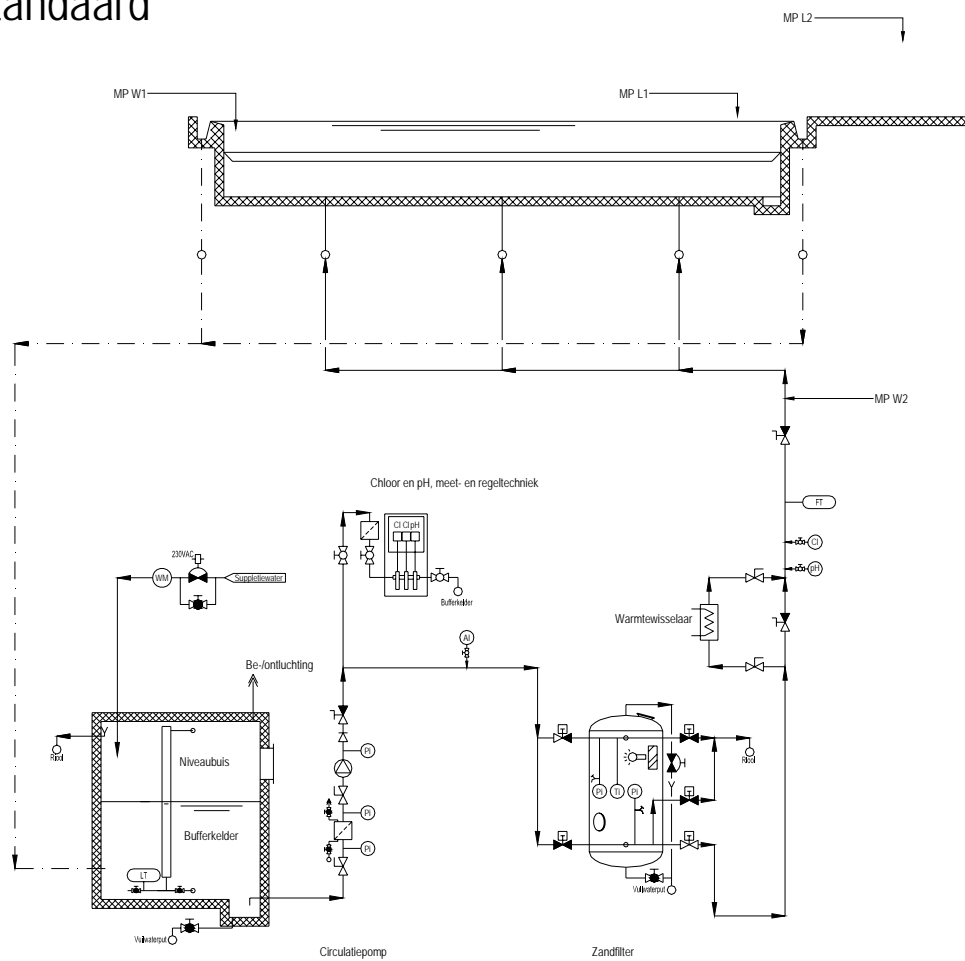
De waterbehandeling moet gescheiden zijn van eventuele andere waterbehandelingen op deze locatie. Minimale onderdelen van de waterbehandeling zijn circulatiebuffer, haarvanger, zandfiltratie (≤ 33 m/uur), waarbij de zandfiltratie geschikt moet zijn voor poederkooldosering. De waterbehandeling moet uitgebreid kunnen worden met de te onderzoeken technieken, hiervoor dient voldoende techniekruimte beschikbaar te zijn. De turnover van het bassin bij voorkeur 2-3 uur. Het chemicaliën gebruik moet eenvoudig dagelijks gevolgd kunnen worden, bv door middel van niveauaanduiding.

Eisen luchtbehandeling

De luchtbehandeling van de betreffende zwemzaal dient eveneens volledig gescheiden (gecompartimenteerd) ten opzichte van andere zwemzalen of ruimtes te zijn. De luchtbehandeling moet op 100% buitenlucht kunnen functioneren. De standen van de verversing (buitenlucht aandeel) moet continue (dus niet tijdgemiddeld) op een minimale waarde ingesteld kunnen worden, en gelogd. Ook moet de totale ventilatie hoeveelheid, evenals parameters zoals luchttemperatuur en luchtvochtigheid gelogd kunnen worden. Bij de keuze van de onderzoekslocatie moet aandacht worden gegeven aan mogelijke beïnvloeding van de kwaliteit van de buitenlucht door specifieke activiteiten in de directe omgeving (bijvoorbeeld bepaalde industrie, drukke verkeerswegen e.d.). Een locatie met een vaak wisselende kwaliteit van de buitenlucht als gevolg van externe factoren is minder gewenst.

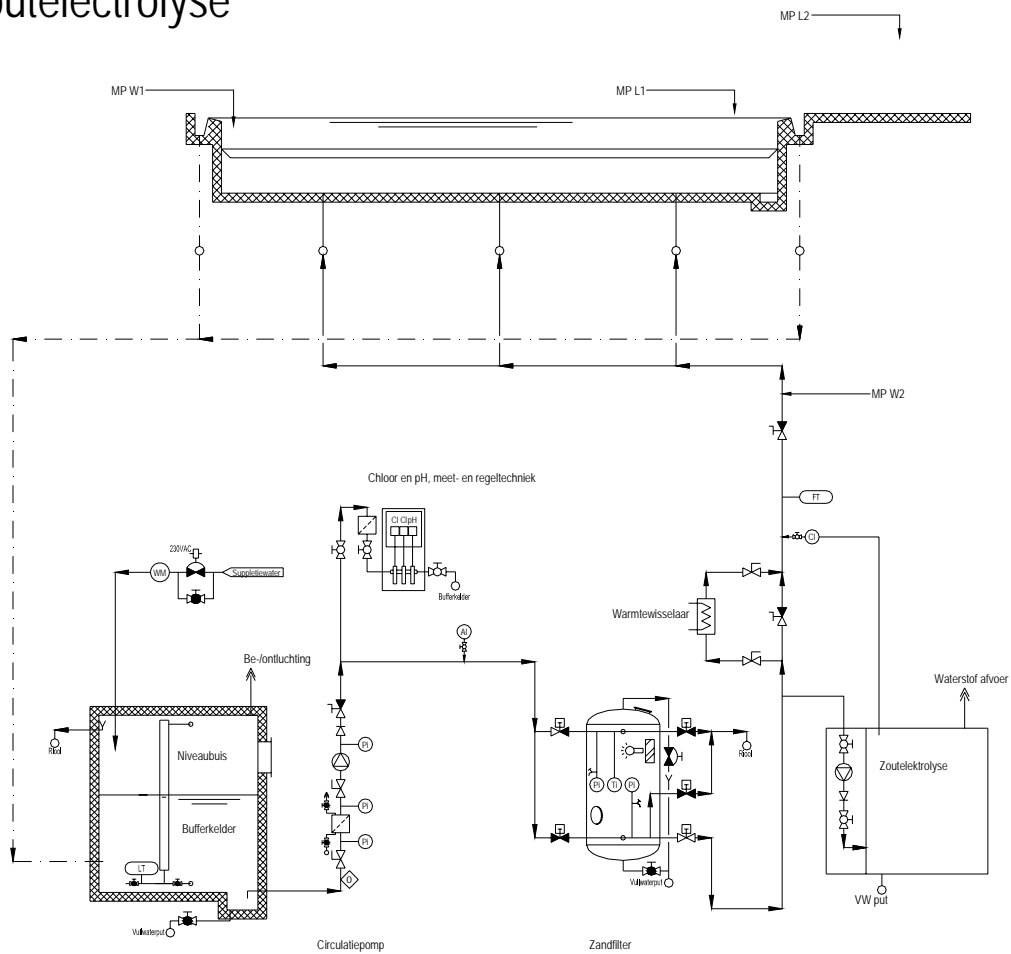
III P&ID's van de in te zetten zuiverings- technieken

Standaard



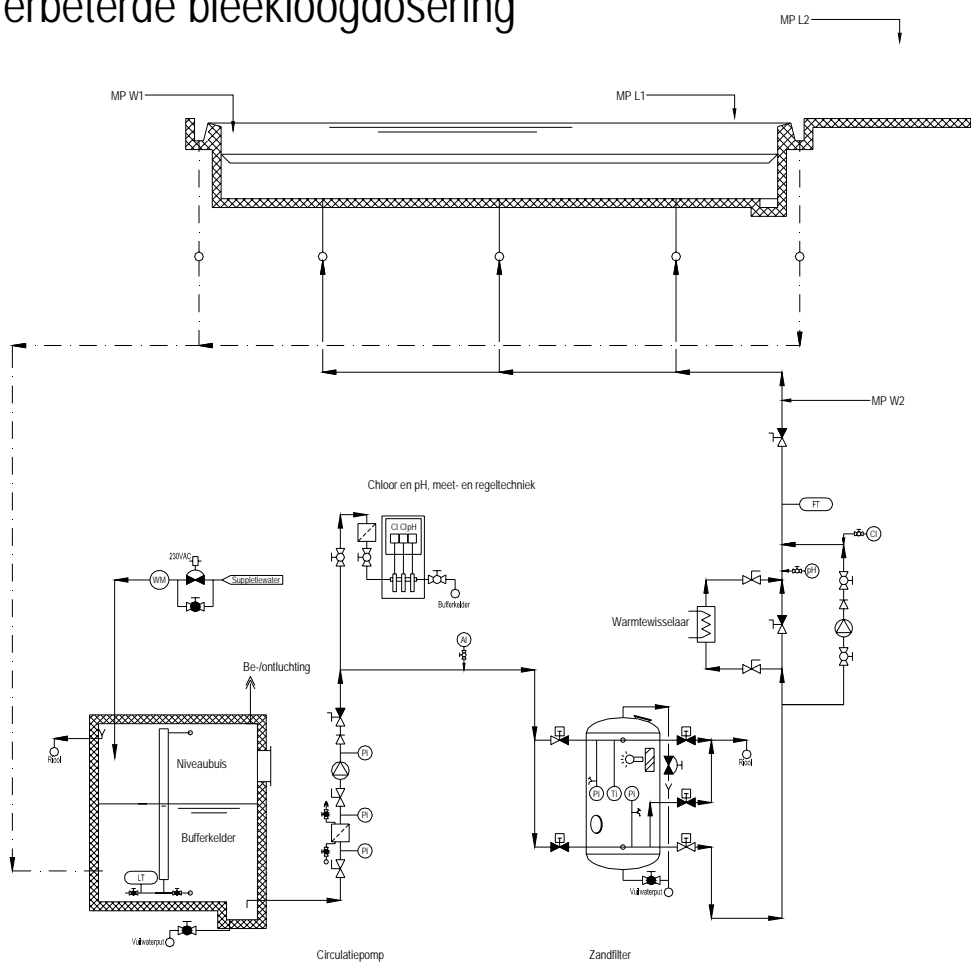
MP W1: monsterpunt zwembadwater uitlaat bassin op ongunstige plek (0,2 m uit kant en 0,2 m beneden waterniveau)
 MP W2: monsterpunt zwembadwater inlaat bassin, afhankelijk van parameter in bassin of in persleiding
 MP L1: monsterpunt zwembadlucht 0,2m boven waterniveau
 MP L2: monsterpunt zwembadlucht 1,5m boven perron niveau

Zoutelectrolyse



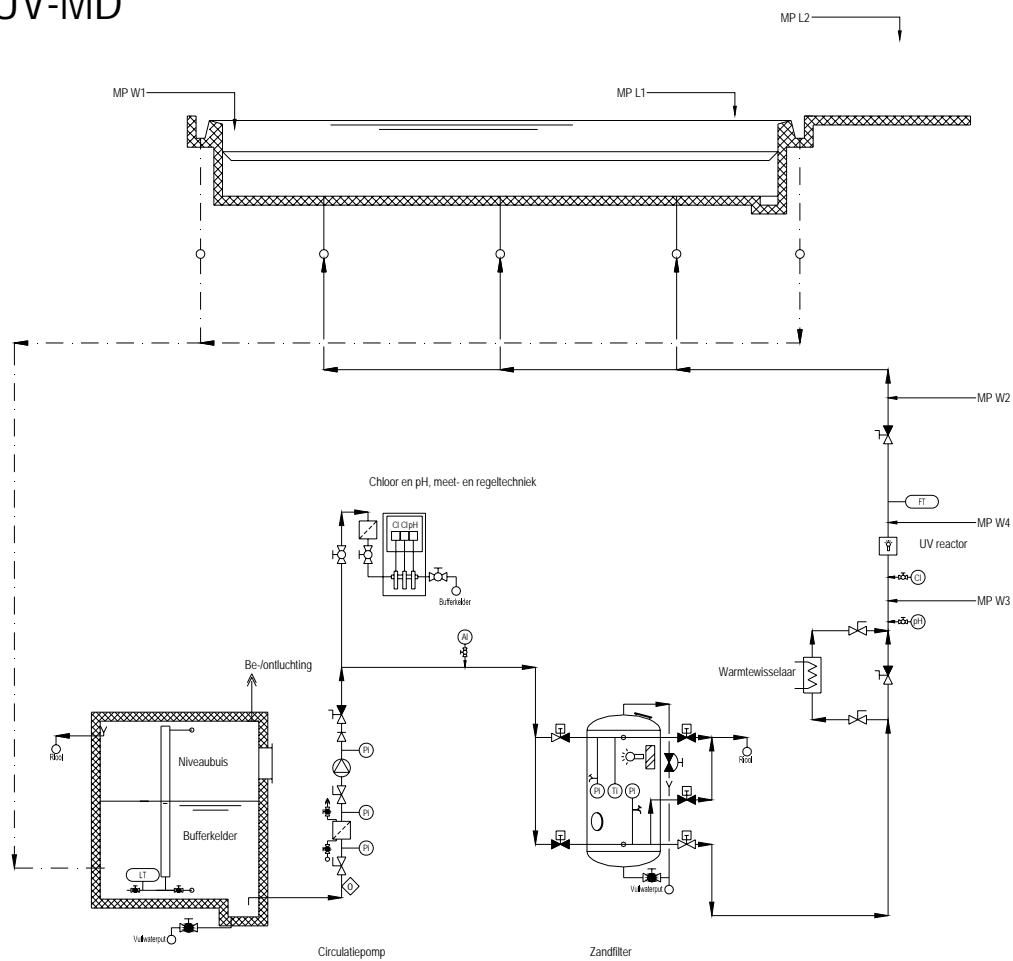
MP W1: monsterpunt zwembadwater uitslaat bassin op ongunstige plek (0,2 m uit kant en 0,2 m beneden waterniveau)
 MP W2: monsterpunt zwembadwater inlaat bassin, afhankelijk van parameter in bassin of in persleiding
 MP L1: monsterpunt zwembadlucht 0,2m boven waterniveau
 MP L2: monsterpunt zwembadlucht 1,5m boven perron niveau

Verbeterde bleekloogdosering



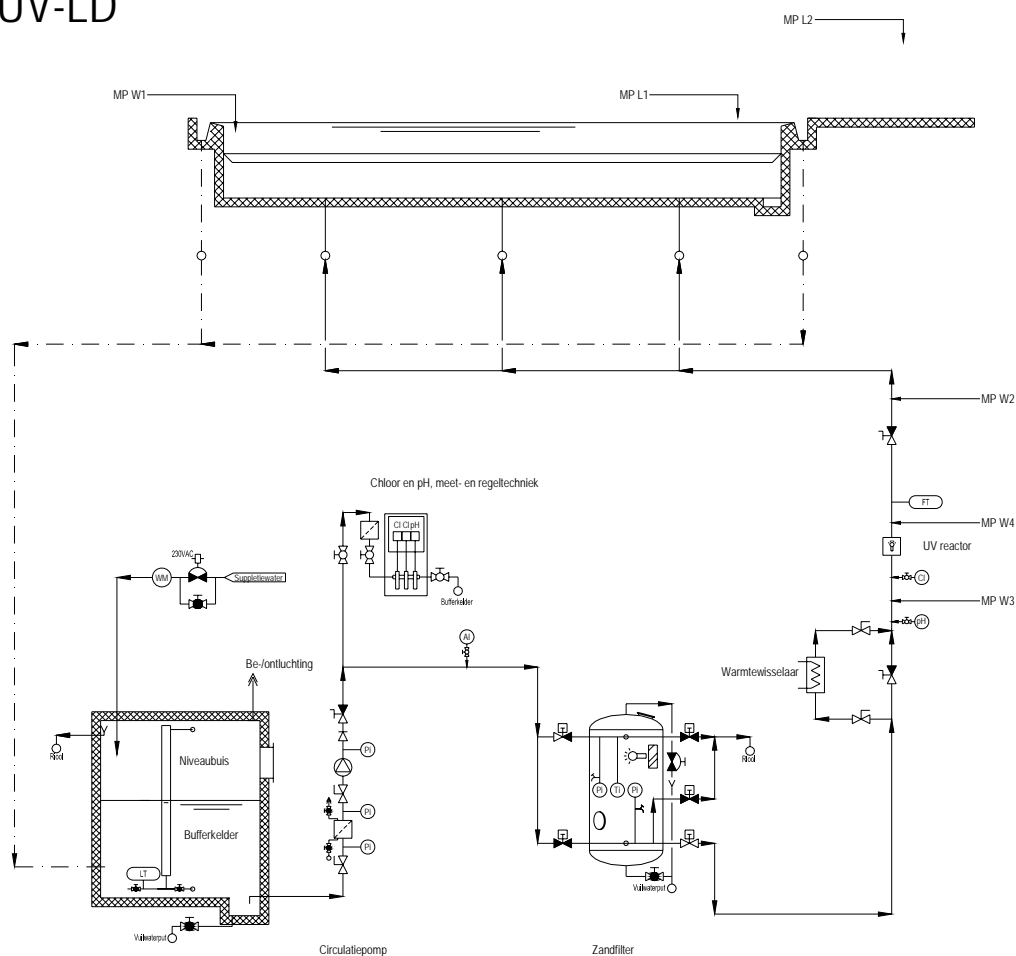
MP W1: monsterpunt zwembadwater uitlaat bassin op ongunstige plek (0,2 m uit kant en 0,2 m beneden waterniveau)
 MP W2: monsterpunt zwembadwater inlaat bassin, afhankelijk van parameter in bassin of in persleiding
 MP L1: monsterpunt zwembadlucht 0,2m boven waterniveau
 MP L2: monsterpunt zwembadlucht 1,5m boven peiron niveau

UV-MD



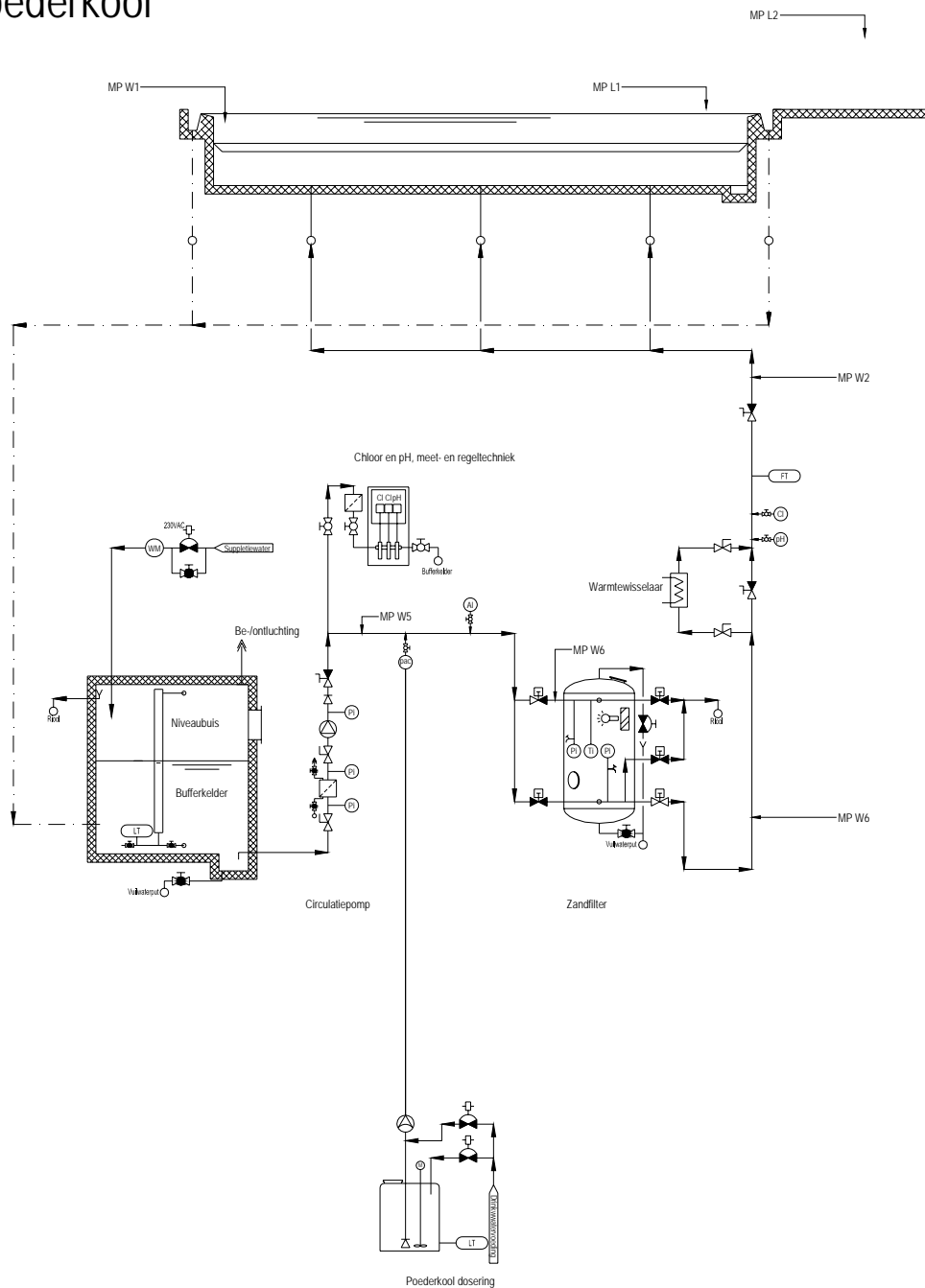
MP W1: monstervpunt zwembadwater uitlaat bassin op ongunstige plek (0,2 m uit kant en 0,2 m beneden waterniveau)
 MP W2: monstervpunt zwembadwater inlaat bassin, afhankelijk van parameter in bassin of in perleiding
 MP W3: monstervpunt zwembadwater inlaat UV reactor
 MP W4: monstervpunt zwembadwater inlaat uitlaat UV reactor
 MP L1: monstervpunt zwembadlucht 0,2m boven waterniveau
 MP L1: monstervpunt zwembadlucht 1,5m boven perron niveau

UV-LD



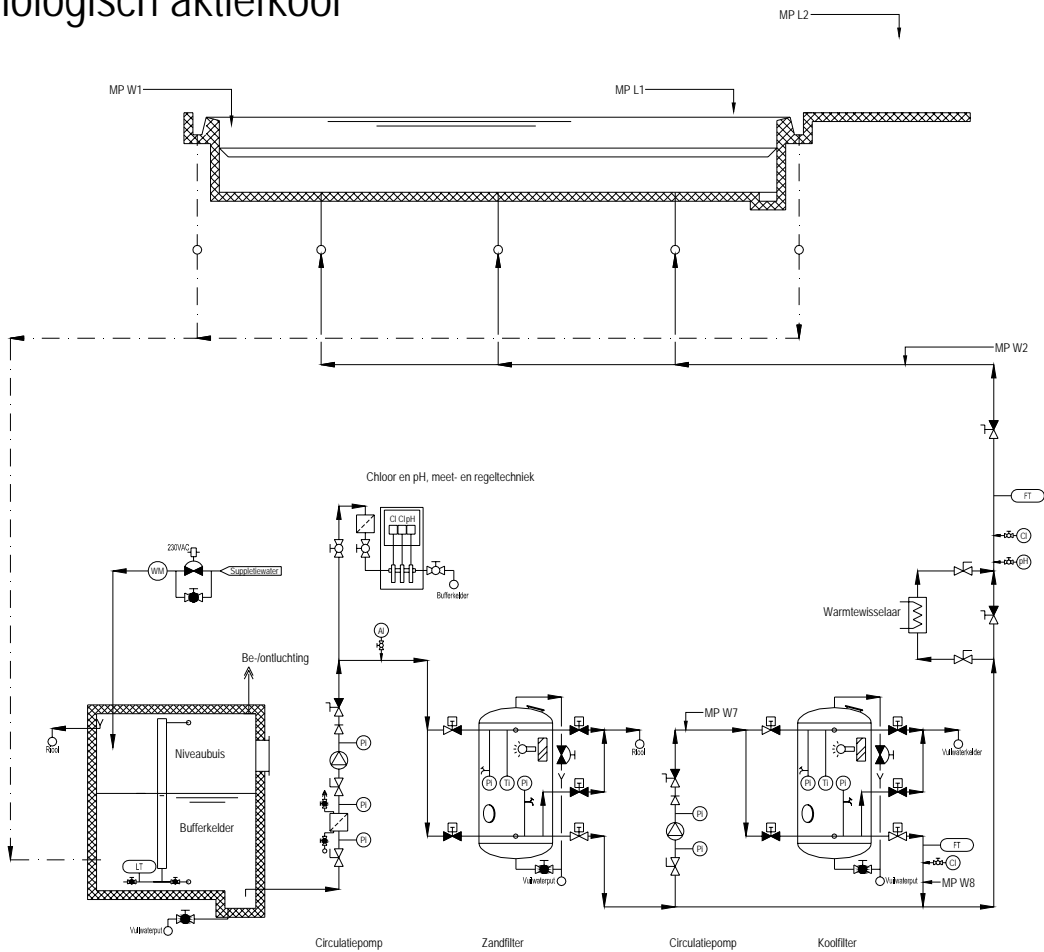
- MP W1: monsterpunt zwembadwater uitlaat bassin op ongunstige plek (0,2 m uit kant en 0,2 m beneden waterniveau)
- MP W2: monsterpunt zwembadwater inlaat bassin, afhankelijk van parameter in bassin of in persleiding
- MP W3: monsterpunt zwembadwater inlaat UV reactor
- MP W4: monsterpunt zwembadwater inlaat uitlaat UV reactor
- MP L1: monsterpunt zwembadlucht 0,2m boven waterniveau
- MP L1: monsterpunt zwembadlucht 1,5m boven perron niveau

Poederkool



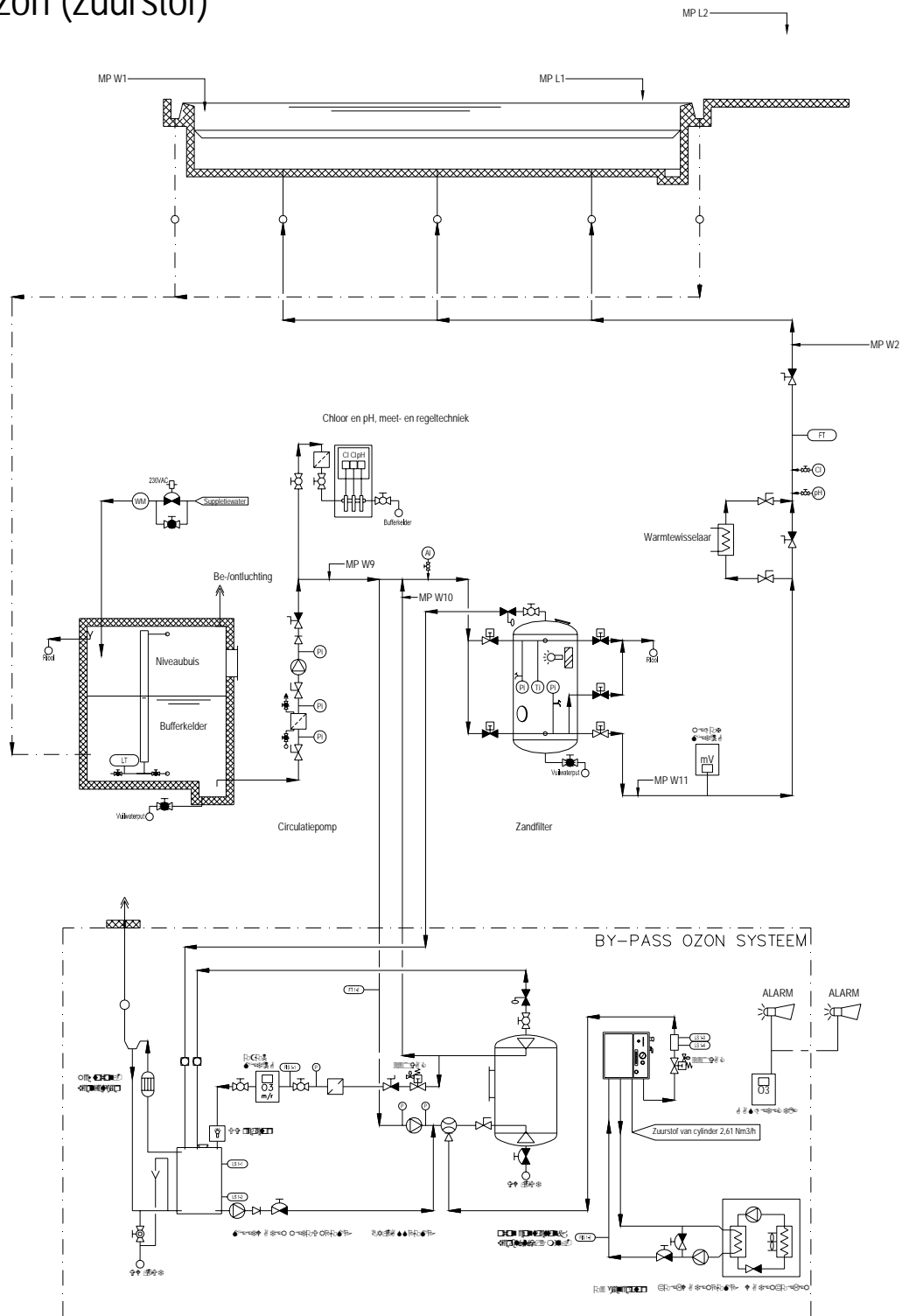
- MP W1: monsterepunt zwembadwater uitlaat bassin op ongunstige plek (0,2 m uit kant en 0,2 m beneden watervniveau)
- MP W2: monsterepunt zwembadwater inlaat bassin, afhankelijk van parameter in bassin of in persleiding
- MP W5: monsterepunt zwembadwater voor dosering poederkool
- MP W6: monsterepunt zwembadwater afhankelijk van filtratie voor of na filtratie
- MP L1: monsterepunt zwembadlucht 0,2m boven watervniveau
- MP L1: monsterepunt zwembadlucht 1,5m boven perron niveau

Biologisch actiefkool



MP W1: monsterpunt zwembadwater uitlaat bassin op ongunstige plek (0,2 m uit kant en 0,2 m beneden waterniveau)
 MP W2: monsterpunt zwembadwater inlaat bassin, afhankelijk van parameter in bassin of in persleiding
 MP W7: monsterpunt zwembadwater inlaat koolfiltratie
 MP W8: monsterpunt zwembadwater uitlaat koolfiltratie na basischlorosering
 MP L1: monsterpunt zwembadlucht 0,2m boven waterniveau
 MP L1: monsterpunt zwembadlucht 1,5m boven peillon niveau

ozon (zuurstof)



- MP W1: monstervpunt zwembadwater uitlaat bassin op ongunstige plek (0,2 m uit kant en 0,2 m beneden waterniveau)
- MP W2: monstervpunt zwembadwater inlaat bassin, afhankelijk van parameter in bassin of in persleiding
- MP W9: monstervpunt zwembadwater voor ozon dosering
- MP W10: monstervpunt zwembadwater na ozon dosering, voor menging met hoofdstroom
- MP W11: monstervpunt zwembadwater na ozon verwijdering
- MP L1: monstervpunt zwembadlucht 0,2m boven waterniveau
- MP L1: monstervpunt zwembadlucht 1,5m boven perron niveau

V Toelichting analyse VOC in de lucht

(1) MIMS (membraan-introductie massaspectrometer)

MIMS is een MS met directe sampling inlaat waarbij vluchtige organische koolwaterstoffen (VOC) in de lucht door een dun synthetisch membraan (silicone-based polymere) diffunderen naar de ionenbron van de massaspectrometer. Met behulp van MS kunnen VOC zowel worden gedetecteerd, geïdentificeerd als gekwantificeerd. Een MIMS kan in verschillende configuraties worden gebruikt:

- Directe sampling (DS-MS) van lucht/water zonder gebruik van GC; voor sampling van water is wel een apart inlaat-systeem (membraan / purge&trap) noodzakelijk om de VOCs uit de waterfase in de luchtfase te krijgen. In deze configuratie worden VOC puur op basis van het massaspectrum geïdentificeerd en gekwantificeerd.
- Gaschromatografie in combinatie met massaspectrometrie (GC/MS); door middel van een "sample-loop" wordt een bepaalde hoeveelheid lucht in het GC-systeem geïnjecteerd. Identificatie/kwantificatie vindt plaats op basis van de gaschromatische scheiding en het massaspectrum van de verschillende VOC. Voor de waterfase is een apart inlaatsysteem noodzakelijk.
- GC/MS m.b.v. voorconcentratie en thermische desorptie (ATD-GC/MS); in plaats van een "sample-loop" wordt een bepaalde hoeveelheid lucht door een adsorptiebuisje (TENAX, actieve kool) geleid waarbij de VOC worden afgevangen. Door middel van thermische desorptie komen de VOC in het GC/MS systeem terecht. Voor de waterfase is een apart inlaat-systeem noodzakelijk. In deze configuratie zijn lage detectielimieten haalbaar.

Een MIMS kan worden gebruikt in de SCAN-mode of SIM-mode (selective ion mass). In de SIM-mode is de gevoeligheid ca. 2-10 keer hoger. Voor water liggen de detectielimieten (limits of detection, LOD's) in de buurt van de 0.5-1 ppb (ca. 1 µg/l) en in lucht liggen de LOD's in de buurt van de 50-100 ppb (ca. 100 µg/m³), afhankelijk van de specifieke stof, de MS-mode en de samplingtijd. In de directe sampling mode (DS-MS) is de gevoeligheid van het systeem ca. 1 ppm.

Voordelen:

- on-site meting
- directe/continue meting
- stof-specifiek

Nadelen:

- beperkte gaschromatografische scheiding
- hogere detectielimieten
- enkelvoudig inzetbaar op locatie

(2) Methode van Hery (trichlooramine)

De sampling gaat uit van een filtercassette. De chlooramines worden afgevangen op een filter dat vooraf is gedrenkt in een oplossing van natriumcarbonaat en arseentrioxide. Op het filter ontstaan 2 chemische reacties:

- afbraak van chlooramines tot ammonia en hypochloriet (bij hoge pH)
- reductie van hypochloriet tot chloride door driewaardig arseen

Na sampling wordt de op het filter aanwezige chloride gedesorbeerd met behulp van gedestilleerd water. De oplossing wordt vervolgens geanalyseerd met behulp van ionchromatografie (IC). De concentratie aan trichlooramine wordt berekend uit de hoeveelheid chloride in de oplossing.

Om aerosolen met opgelost chloride af te vangen wordt het filtersysteem voorzien van een teflon filter. Ook is het mogelijk om voor het filter een buisje te plaatsen met silicagel geïmpregneerd met sulfaminezuur.

Doordat in tegenstelling tot trichlooramine, mono- en di-chlooramines en hypochloriet goed oplosbaar zijn in een sulfaminezuur-oplossing worden deze verbindingen door de geïmpregneerde silicagel afgevangen. De opgeloste chloorverbindingen kunnen tevens als somparameter worden bepaald met behulp van ionchromatografie (IC).

De detectielimiet is ongeveer 1-3 µg per filter, dat wil zeggen dat bij een bemonsteringstijd van ca. 2 uur bij 1 liter/min de methode een LOD heeft van ca. 10 µg/m³. De methode is niet continue, dat wil zeggen dat een gemiddelde concentratie wordt verkregen over de bemonsteringstijd. De bemonstertijd kan variëren van een paar uur tot een volledige dag.

De methode is niet specifiek voor trichlooramine. Alle anorganische chlooramines en sommige organische chlooramines worden met behulp van het reagens gereduceerd tot chloride. Goed in water oplosbare chlooramines (zoals mono- en dichlooramine) worden door middel van het teflonfilter of de geïmpregneerde silicagel reeds afgevangen. In hoeverre de overige vluchtige organische chlooramines een verstoring geven op het resultaat valt niet goed in te schatten.

Voordelen:

- lage detectielimiet
- in meervoud inzetbaar

Nadelen:

- niet stofspecifiek
- indirecte meting

(3) TENAX adsorptiebuizen in combinatie met ATD-GC/MS

De meest gebruikte samplingmethode voor VOC (o.a. halogeenkoolstofverbindingen) gaat uit van een actieve bemonstering met behulp van Tenax-GR adsorptiebuizen. Na monsterneming worden de adsorptiebuizen thermisch gedesorbeerd met behulp van een ATD (automatische thermische desorptie). De gedesorbeerde componenten worden in-line geanalyseerd met behulp van GC/MS. Identificatie van componenten vindt plaats op basis van retentietijd en massaspectrum. Gehalten worden berekend op basis van een externe standaard.

Met behulp van Tenax-GR kan maximaal 1 liter lucht worden bemonsterd, dit houdt in dat bij een debiet van 20-50 ml/min maximaal 20-30 minuten kan worden bemonsterd. Bij langere bemonsteringstijden ontstaat doorslag van VOC. De methode is zeer gevoelig met detectielimieten in de buurt van de 0.1 - 1 µg/m³.

Voordelen:

- lage detectielimiet
- in meervoud inzetbaar
- stofspecifiek

Nadelen:

- indirecte meting
- begrensde bemonsteringstijd (20-30 minuten)

NB: Voor chloorhydraat, broomhydraat, chloorpicrine en broompicrine is nog onzeker of ze met Tenax kunnen worden bemonsterd. Als alternatief adsorptiemiddel kan XAD worden gebruikt, waarna een extractie volgt met een organisch oplosmiddel (bijvoorbeeld ethylacetaat). Waarschijnlijk dienen chloorhydraat en broomhydraat voorafgaand aan de analyse gemethyleerd te worden.

VI Overzicht analysepakketten water en lucht

pakket 1: Whvbz water		
Parameters		Analysemethode
1A: Belastingsparameters		
Vrij Beschikbaar chloor	VBC	NEN-EN-ISO 7393 1 of 2
Gebonden Beschikbaar Chloor	GBC	NEN 6494, 1e druk 1984
Ureum		NEN-EN-ISO 8467, 1e druk 1995
Kaliumpermanganaatverbruik	KMnO ₄	
1B: Systeempparameters		
Zuurgraad	pH	NEN-ISO 10523:2008
Troebelingsgraad bij uitlaat		NEN-EN-ISO 7027
Waterstofcarbonaat	HCO ₃ ⁻	
1C: Microbiologische parameters		
Koloniegetal 37°C	Kol 37	NEN-EN-ISO 6222

pakket 2: Zuivering water		
Parameters		Analysemethode
2A: Belastingsparameters		
VBC		On-line electrode
GBC		On-line electrode
Dissolved organic carbon	DOC	
Kalium	K ⁺	
2B: Systeempparameters		
Zuurgraad	pH	On-line electrode
Geleidingsvermogen	EGV	Mogelijk on-line
Chloride	Cl ⁻	Ionchromatografie
Bromide	Br ⁻	Ionchromatografie
Sulfaat	SO ₄ ²⁻	Ionchromatografie
Nitraat	NO ₃ ⁻	Ionchromatografie
Redox		On-line electrode
Natrium	Na ⁺	ICP
Calcium	Ca ²⁺	ICP
Magnesium	Mg ²⁺	ICP
Aluminium	Al ³⁺	ICP
Troebelheid effluent filter		On-line
Temperatuur		On-line electrode
2C: Microbiologische parameters		
Pseudomonas aeruginosa		NEN 6573/A1
Legionella		NEN 6265:2007
Faecale streptococci		NEN-EN-ISO 7899-1

pakket 3: THM + AOX water		
Parameters		Analysemethode
Chloroform	TCM	
Broomdichloormethaan	BDCM	Headspace + GC-ECD/MS
Dibroomchloormethaan	DBCM	
Bromoform	TBM	
AOX	AOX	ISO 9562:2004

pakket 4: THM in lucht		
Parameters		Analysemethode
Chloroform Broomdichloormethaan Dibroomchloormethaan Bromoform	TCM BDCM DBCM TBM	Adsorptie aan actieve kool, elutie met 3-phenoxy-benzylalkohol en analyse met headspace en GC-ECD/MS

pakket 5: Chloor-stikstof verbindingen water		
Parameters		Analysemethode
Monochlooramine Dichlooramine Trichlooramine Cyanogeenchloride Dichloormethylamine Dichlooracetonitril Dibroomacetonitril	NH ₂ Cl NHCl ₂ NHCl ₃ CNCl CH ₃ NCl ₂ CNCHCl ₂ CHBr ₂ CN	MIMS DPD/FAS non specific Hery et al non specific GC-ECD GC/MS MIMS MIMS MIMS

pakket 6: Chloor-stikstof verbindingen lucht		
Parameters		Analysemethode
Trichlooramine Cyanogeenchloride Cyanogeenbromide Dichloormethylamine Dichlooracetonitril Dibroomacetonitril	NHCl ₃ CNCl CNBr CH ₃ NCl ₂ CNCHCl ₂ CHBr ₂ CN	Hery et al non specific GC-ECD GC/MS GC-ECD GC/MS MIMS MIMS MIMS

pakket 7: Halo-azijnzuren (HAA) water		
Parameters		Analysemethode
Monochloorazijnzuur Dichloorazijnzuur Trichloorazijnzuur Broomchloorazijnzuur Broomdichloorazijnzuur Dibroomchloorazijnzuur Monobroomazijnzuur Dibroomazijnzuur Tribroomazijnzuur		GC-ECD/MS

pakket 8: Neutraal gehalogeneerde DBP		
Parameters		Analysemethode
Chloralhydraat Dichlooraceton Trichlooraceton Chloorpicrine	CCl ₃ CH(OH) ₂ CHCl ₂ COCH ₃ CCl ₃ COCH ₃ CCl ₃ NO ₃	

pakket 9: Extra parameters test UV LD & MD		
Parameters		Analysemethode
Nitriet	NO_2^-	Ionchromatografie
Nitraat	NO_3^-	Ionchromatografie
Distikstofmonoxide (lachgas)	N_2O	
Ammonium	NH_4^+	
Waterstofcarbonaat	HCO_3^-	
Monochlooramine	NH_2Cl	MIMS
Dichlooramine	NHCl_2	DPD/FAS non specific
Trichlooramine	NHCl_3	Hery et al non specific
UV scan (200 – 500 nm)		

pakket 10: Extra parameters test O_3 / H_2O_2		
Parameters		Analysemethode
Formaldehyd	CH_2O	GC-ECD/MS
Glyoxal	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$	GC-ECD/MS
Rest ozon water	O_3	Nader te bepalen ivm aanwezigheid VBC niet uitvoerbaar
Rest ozon lucht	O_3	Nader te bepalen

pakket 11: Extra parameters test PAC		
Parameters		Analysemethode
DOC (filtraat)		
Troebelheid effluent filter		On-line
Verkieming effluent filter		

pakket 12: Suppletiewater		
Parameters		Analysemethode
EGV		
DOC		
KmnO_4 -verbruik		
Overige afhankelijk van watersamenstelling en variaties daarin		

pakket 13: Chloordosering		
Parameters		Analysemethode
Chloriet	ClO_2^-	Ionchromatografie
Chloraat	ClO_3^-	Ionchromatografie
Bromaat	BrO_3^-	Ionchromatografie
Dichlooroxide	Cl_2O	-

pakket 14: Chloorresistente microorganismen		
Parameters		Analysemethode
Adenovirussen		Cellweek
Verschillende virussen		PCR
Cryptosporidium/Giardia		Filtratie/immunofluorescentie/microscopie

