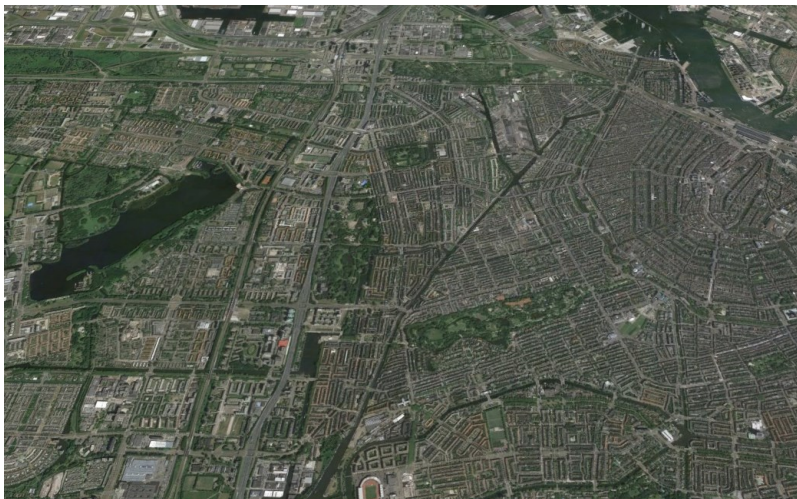


**Sloterplas: Systeemanalyse,
blauwalgbestrijding en maatregelen
KRW - Hoofdrapport**

Jasper Stroom

Datum
26 april 2016



Luchtfoto van de Sloterplassen (links) en Amsterdam (rechts) op 30 juni 2015. Bron: Google Earth.

Korte Ouderkerkerdijk 7
Amsterdam
Postbus 94370
1090 GJ Amsterdam
T 0900 93 94
F 020 608 39 00
KvK 41216593

www.waternet.nl

Colofon

Opdrachtgever

Bedrijf	Waternet
Sector	Watersysteem
Afdeling	Planvorming & Realisatie
Projectleider	Elina Bekking
Projectnummer	00.9298

Opdrachtnemer

Sector	TOP
Afdeling	Onderzoek en Advies
Projectleider	Jasper Stroom

Rapport

Rapporteur	Jasper Stroom
Kwaliteitsborger	Gerard ter Heerdt
Versie	26 april 2016
Rapportnummer	16.030304
Steekwoorden	Sloterplas; waterkwaliteit; aquatische ecologie; blauwalgbestrijding; cyanobacteriën; maatregelen; Dreissena rostriformis bugensis; quaggamossel Kaderrichtlijn Water (KRW); Zwemwaterrichtlijn (ZWR); Watergebiedsplan Nieuw-West; watersysteemherstel; watersysteemanalyse; waterbalans; fosforbelasting; biofilter; quaggafilter

Voorwoord

Er is door verschillende partijen onderzoek uitgevoerd om voor de Sloterplas (Amsterdam) maatregelen voor de Kaderrichtlijn Water te bepalen. Gedurende deze onderzoeken is de waterkwaliteit autonoom sterk verbeterd door een invasie van quaggamossels.

De deelonderzoeken zijn uitgevoerd door verschillende kennisinstituten, ingenieursbureaus en Waternet en zijn vastgelegd in memo's en rapporten. In een drietal rapporten is deze kennis bij elkaar gebracht. In deze rapporten wordt verwezen naar alle beschikbare achtergrondinformatie.

1. *Sloterplas: Systeemanalyse, blauwalgbestrijding en maatregelen KRW - Hoofdrapport*
2. *Sloterplas: Systeemanalyse, blauwalgbestrijding en maatregelen KRW - Achtergrondrapport*
3. *Quaggamossels en hun dominantie in de Sloterplas*

Voorliggend rapport betreft het (1) hoofdrapport. Het (2) achtergrondrapport met daarin analyses van meetgegevens en literatuurverwijzingen is nog niet beschikbaar. Zodra het achtergrondrapport beschikbaar is krijgt dit hoofdrapport een update met links naar het achtergrondrapport.

Samenvatting

Dit rapport heeft tot doel het ecologisch functioneren van de Sloterplas te beschrijven en maatregelen voor te stellen om in de toekomst te kunnen voldoen aan de normen voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) en, wat blauwalgen betreft, de Zwemwaterrichtlijn (ZWR).

0.1 Ecologisch functioneren

De fosforbelasting in de Sloterplas is extreem hoog en zal autonoom niet wezenlijk veranderen: $>20 \text{ mgP/m}^2/\text{d}$, terwijl voor de plas $0.5\text{--}1.1 \text{ mgP/m}^2/\text{d}$ acceptabel is. De plas heeft daardoor jarenlang een slechte waterkwaliteit gehad: bloeien van blauwalgen, troebel, geen waterplanten en een eenzijdige visstand.

Sinds 2012 zijn zoveel filtrerende quaggamossels in de plas dat het water veel helderder geworden is (Stroom 2016). Dit heeft positieve gevolgen voor het aquatische ecosysteem. De score op de fytoplanktonmaatlat is verbeterd van "matig" naar "goed" (Tabel 0-1). Er zijn weer waterplanten opgekomen, al betreft het één dominante invasieve exoot (smalle waterpest). De visstand veranderde: minder biomassa, meer individuen, waaronder veel zwartbekgrondels die prederen op quaggamossels. Ook is het aantal zwemverboden sterk gedaald.

De waterkwaliteit was in 2012-2015 echter niet goed genoeg om te voldoen aan de eisen van de KRW en de ZWR. De helderheid was nog te gering en er waren nog teveel blauwalgen. Dat kan verbeteren als het aantal mossels hoog in de waterkolom verder toeneemt. Het is echter niet bekend of autonoom de invloed van de quaggamossel zal toenemen of afnemen.

Tabel 0-1. Overzicht van de huidige KRW-scores en de te verwachten scores na maatregelen, inclusief het KRW-voorstel uit 2009. Scores: goed, matig, ontoereikend, slecht. De maatregel 1 (Vegetatie versterken) is niet meegenomen. Het effect hiervan kan nog niet berekend worden.

**** De prognoses van de deelmaatlaten onder "op basis van rekenmodel" zijn gebaseerd op de prognoses voor chlorofyl-a. Zie voor verdere uitleg over deze tabel: 3.1 (toestand) en 5.2 (prognose 2021 na maatregelen).*

	toestand			prognose 2021 na maatregelen				GEP
	op basis van metingen in verschillende jaren			op basis van rekenmodel ***			obv. result. elders ****	
				KRW-2009: nutriënten	2: nutriënten; belasting van 2,0 naar 0,7	3: mossels	4: vert. mengen	
	2006	2012	2015					2027
fytoplankton*	0.41	0.69	0.62	0.59	0.76	0.62	0.61	0.60
vegetatie	0.20	0.29		0.36	0.45	0.38	0.35	0.54
macrofauna	0.21	0.46		0.35	0.40	0.36		0.50
vis	0.35	0.55**		0.42	0.43	0.42	0.47	0.51
eindscore								

0.2 Maatregelen

Alle realistisch geachte maatregelen waarmee kan worden voldaan aan de KRW- en de ZWR-doelstellingen zijn verkend. De meest kansrijke daarvan zijn:

1. Vegetatie uitbreiden/versterken. Dit betreft een onderzoeksmaatregel. De effectiviteit is vrij hoog. De kosten van eventuele uitvoeringsmaatregelen zijn nog niet uitgewerkt maar zijn substantieel.
2. Nutriëntenbelasting reduceren. De effectiviteit is zeer hoog, het heeft impact op recreatie en vismigratie en de kosten bedragen 8.2 M€.
3. Mosselpopulatie uitbreiden/versterken. Dit betreft een onderzoeksmaatregel. De effectiviteit kan hoog zijn en de kosten van hierop gebaseerde uitvoeringsmaatregelen zijn ingeschat als <1 M€.
4. Verticaal mengen. De effectiviteit voor de ZWR is hoog en kan ook hoog zijn voor de KRW. Het energieverbruik is hoog. De plas kan niet meer worden gebruikt voor de onttrekking van koelwater en de kosten bedragen 2-2.5 M€.

Over de prognose van de effecten van maatregelen in Tabel 0-1:

1. De berekeningen zijn gebaseerd op een betrekkelijk eenvoudig model dat is ontworpen voor het bepalen van de KRW-doelen, maar de resultaten zijn goed verklaarbaar.
2. De voorgestelde KRW-maatregelen uit 2009 zijn ontoereikend, omdat de restbelasting te hoog blijft.
3. Fytoplankton scoort (net) "goed" bij de maatregelen 2 t/m 4.
4. Omdat de soortenrijkdom van waterplanten bij lage nutriëntenconcentraties toeneemt, scoort de vegetatie bij maatregel 2 (nutriënten reduceren) het beste, maar het effect blijft "matig".
5. Het begroeibare areaal voor waterplanten is en blijft bij alle maatregelen in de tabel beperkend voor macrofauna en vis. Dat maakt voor alle opties de niet in Tabel 0-1 opgenomen maatregel 1 (vegetatie uitbreiden/versterken) belangrijk.

0.3 Aanbevelingen

1. Aanbevolen wordt om als KRW-maatregel in te zetten op twee sporen:
 - Maatregel 3: Mosselpopulatie uitbreiden/versterken om de plas voor de langere termijn helderder te krijgen. Dat zou kunnen door de mossels een groter ondiep areaal aan geschikt substraat aan te bieden, bij voorkeur boven de diepe delen van de plas. Hiervoor is onder andere onderzoek nodig naar de maximaal haalbare populatiegrootte van quaggamossels in de Sloterplas om een prognose te kunnen maken van de effecten op de ecologische waterkwaliteit.
 - Maatregel 1: Vegetatie uitbreiden/versterken. Als het water helder blijft door de mossels is het effectief om het begroeibare areaal op de geschiktste locaties te vergroten door delen te verondiepen. Het is nodig onderzoek te doen naar optimale locaties, diepteverdeling, invloed van de mosselpopulatie op de waterplanten en te verwachten bedekkingsgraden en soorten. Daarnaast moet worden onderzocht op welke wijze kosteneffectief kan worden verondiept.

Als meer inzicht is verkregen in de bovenstaande aspecten kan een betere prognose worden gemaakt van de te verwachten effecten op de KRW- en ZWR-

scores. Vervolgens kunnen uitvoerbare maatregelen voor de Sloterplas worden uitgewerkt.

2. Aanbevolen wordt om als ZWR-onderzoeksmaatregel in te zetten op een "quaggafilter", bestaande uit aan drijvers hangende netten met quaggamossels. Deze variant van een biofilter kan het zwemstrand extra bescherming bieden tegen horizontaal windgedreven transport en tegen de lokale productie van blauwalgen. Bovendien is dit een geen-spijtmaatregel voor de KRW, omdat ondiep substraat voor mossels wordt toegevoegd waarmee kennis en ervaring wordt opgedaan. Deze maatregel vergt nader onderzoek naar optimaal substraat in relatie tot de hydraulische weerstand en de filtratiecapaciteit van het quaggafilter.
3. Aanbevolen wordt om de monitoring en het beheer van de zwemwaterlocatie Varkensbaai af te stemmen op de mogelijke aanwezigheid van de potentieel toxische benthische blauwalg *Oscillatoria limosa*, en daarnaast te onderzoeken of de aanwezigheid van *O. limosa* gerelateerd kan zijn aan de opkomst van de quaggamossels.

Inhoud

	Samenvatting	5
0.1	Ecologisch functioneren	5
0.2	Maatregelen	6
0.3	Aanbevelingen	6
1	Inleiding	9
1.1	Doel	9
1.2	Afbakening	9
1.3	Aanpak	9
1.4	Gebiedsbeschrijving	10
2	Waterbalans en fosforbelasting	11
2.1	Methode	11
2.2	Resultaten	11
3	Ecologie en waterkwaliteit: metingen	13
3.1	KRW en ZWR	13
3.2	Fytoplankton en licht	13
3.3	Vegetatie	14
3.4	Mossels en overig macrofauna	14
3.5	Vis	14
3.6	Nutriënten	14
4	Ecologie en waterkwaliteit: hoe functioneert het watersysteem?	15
4.1	Tot 2012	15
4.2	Vanaf 2012 tot 2016	15
4.3	Prognose vanaf 2016	16
5	KRW-maatregelen en blauwalgbestrijding	17
5.1	Beschrijving van de maatregelen	17
5.2	Prognose KRW-scores per maatregel	19
6	Aanbevelingen	21
	Referenties	23

1 Inleiding

De Sloterplas voldeed in 2006 en 2012 niet aan de doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water (KRW). De Zwemwaterrichtlijn (ZWR) vereist dat zwemwaterlocaties vrij zijn van blauwalgenbloeien en in de Sloterplas werd deze ZWR-norm jaarlijks langdurig overschreden. Vooral de fosforbelasting is zeer bepalend voor de (blauw)algenbloeien en voor de ecologische toestand van de Sloterplas. Als de fosforbelasting bepaalde grenswaarden overschrijdt, zijn (blauw)algenbloeien normaliter dominant en scoren vegetatie en visstand niet goed op de KRW-maatlatten.

Om maatregelen te kunnen formuleren voor verbetering van de waterkwaliteit is in de periode 2011 tot en met de zomer van 2014 onderzoek uitgevoerd. Dit leidde tot een focus op een maatregelenpakket die de nutriëntenbelasting sterk zou reduceren.

In diezelfde periode – 2012 – is de waterkwaliteit sterk verbeterd door de opkomst van quaggamossels die het water filtreren (Stroom 2016). Dat heeft geleid tot de noodzaak om de ecologie en de waterkwaliteit in de plas opnieuw te analyseren en te beoordelen.

1.1 Doel

Dit rapport heeft tot doel het functioneren van het hydrologische en ecologische watersysteem te beschrijven in een situatie zonder en met quaggamossels. Op basis daarvan zijn maatregelen voorgesteld om in de toekomst te kunnen voldoen aan de normen van de KRW en wat blauwalgen betreft ook aan die van de ZWR.

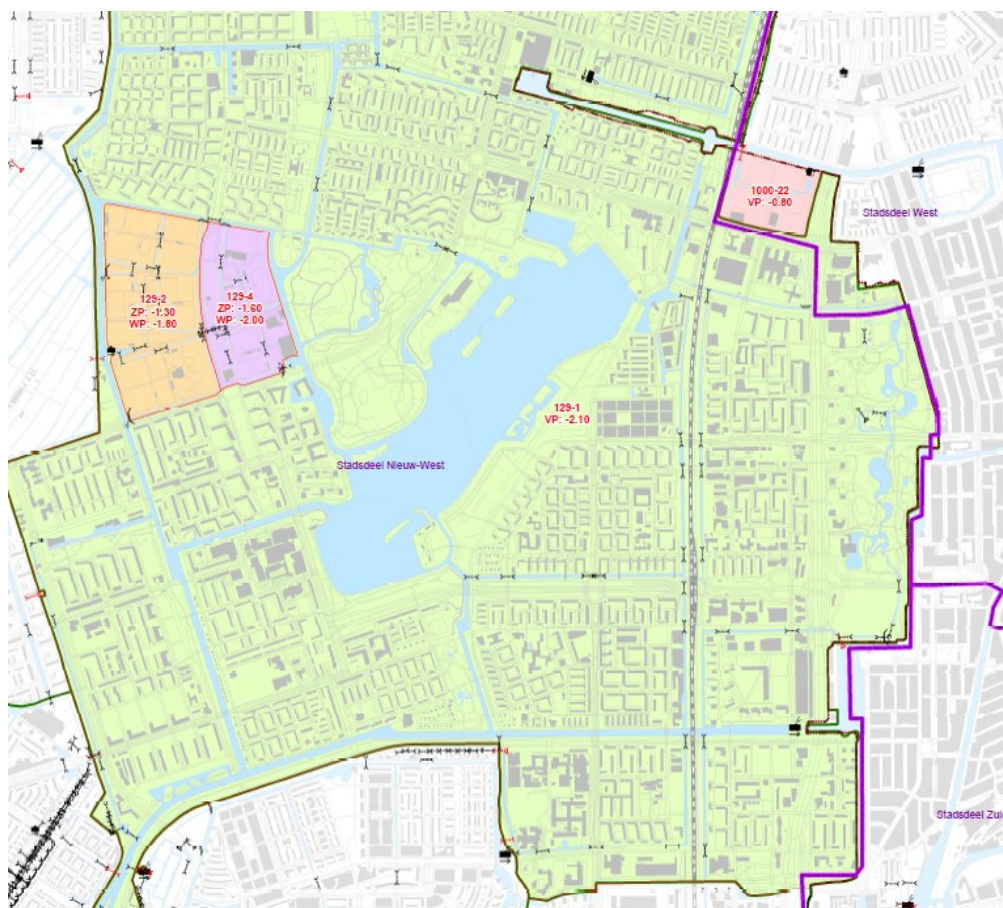
1.2 Afbakening

Voor de Sloterplas is de zwemwaterfunctie van de Varkensbaai van belang. In dit rapport wordt in de analyse en selectie van maatregelen voor de KRW wel rekening gehouden met de ZWR wat betreft blauwalgen, maar nauwelijks wat betreft fecale verontreinigingen. In het Zwemwaterprofiel van de Varkensbaai wordt integraal ingegaan op alle voorwaarden die aan zwemwateren gesteld worden.

1.3 Aanpak

Op basis van metingen en modellen is beschreven hoe de plas hydrologisch en ecologisch functioneert. De hydrologie (inclusief waterbalans) en de fosforbelasting zijn kwantitatief beschreven en vergeleken met de acceptabele belasting voor de Sloterplas (hoofdstuk 2). De waterkwaliteit en de ecologie zijn beschreven aan de hand van de KRW-maatlatten en de ecologische en fysisch-chemische monitoring (hoofdstuk 3). Op basis daarvan is samengevat hoe het watersysteem functioneert en in hoeverre in de autonome situatie kan worden voldaan aan de KRW- en ZWR-doelen (hoofdstuk 4). Beschouwd zijn alle realistische maatregelen waarmee de

waterkwaliteit structureel kan worden verbeterd en waarmee de waterkwaliteitsdoelen kunnen worden bereikt (hoofdstuk 5). Op basis hiervan zijn aanbevelingen geformuleerd (hoofdstuk 6).



Figuur 1-1. Kaart van de Sloterbinnenpolder en de Sloterplas. Met in paars de stadsdeelgrenzen.

1.4 Gebiedsbeschrijving

De Sloterplas is een in 1955 gegraven zandwinplas en ligt midden in een netwerk van stadsgrachten in de Sloterbinnen en Middelveldse gecombineerde polders (oftewel Sloterbinnenpolder, SBI) in Amsterdam. Het gewonnen zand is gebruikt voor het bouwrijp maken van de rest van de polder. De deklaag (veen en klei) is gebruikt voor de aanleg van de parken rondom de plas. Lange tijd heeft een zuiveringsinstallatie op de plas geloosd. De plas heeft een oppervlakte van 0.92 km² en is gemiddeld/maximaal 15.8/36.7 m diep. In totaal bevat de plas 12.9 Mm³ water, waarvan 43% behoort tot het epilimnion¹ en 57% tot het hypolimnion. De polder SBI heeft een vast streefpeil van -2.1 m NAP.

¹ In de zomer ontstaat in diepe plassen een thermische gelaagdheid, waarbij de bovenlaag (epilimnion) warm wordt en de onderlaag (hypolimnion) koud blijft. Deze lagen lopen in elkaar over in de spronglaag (metalimnion), die zich in de Sloterplas op ongeveer 8-10 m diepte bevindt. In de winter is het water in de plas volledig gemengd.

2 Waterbalans en fosforbelasting

2.1 Methode

Op basis van literatuur en een vergelijking met andere diepe plassen is een acceptabele fosforbelasting bepaald waarbij blauwalgenbloeien uitblijven. Deze is vergeleken met de som van de externe en de interne totale fosforbelasting op de Sloterplas. Twee benaderingen zijn gebruikt om de *externe* fosforbelasting op de Sloterplas te kwantificeren:

- De eerste is gebaseerd op een waterbalans die het gevolg is van diverse lozingen en onttrekkingen van en naar de polder. Hierdoor stroomt water (met nutriënten) de plas in en uit. De waterbalans van de Sloterplas is berekend op dagbasis met een eendimensionaal (1D) hydraulisch model (Sobek) van de gehele SBI. Dit levert een wateruitwisseling tussen plas en stadsgrachten. Op basis van deze berekende wateruitwisseling en de fosforconcentraties van de verschillende bronnen is de externe fosforbelasting op de plas berekend. De fosforconcentraties van bronnen zijn afkomstig van de monitoring van het hemelwaterstelsel, de omringende parken en de stadsgrachten.
- De tweede benadering van de externe belasting betreft de windgedreven wateruitwisseling tussen de plas en de rest van de polder. Deze "windklots" genereert een uitwisseling tussen de plas en de voedselrijke stadsgrachten, die niet met dezelfde 1D-modelopzet kan worden bepaald. Daarom is deze uitwisseling met een 3D-model (Delft3D) gekwantificeerd. Op basis van die uitwisseling en oppervlaktewaterconcentraties is een fosforbelasting berekend.

De *interne* fosforbelasting als gevolg van chemische nalevering vanuit de diepe waterbodem is berekend op basis van de samenstelling de onderwaterbodem en data-analyse van het oppervlaktewater.

2.2 Resultaten

De gemiddelde netto wegzijging uit de plas is berekend op 5.1 mm/d, waarbij op geen enkele locatie water de plas in kwelt. De rest van de polder heeft een wegzijging van 0.1 mm/d. Vanuit het noordoosten komt veel water de plas in dat afkomstig is van de Amsterdamse stadsboezem (via de Cramersluis). De Osdorpergracht in het zuidwesten levert in de zomer veel water terwijl in de winter via die route juist veel water wordt afgevoerd richting de Akersluis. Directe neerslag is naast de stadsgrachten de tweede belangrijke bron. De hydraulische verblijftijd (berekend als quotiënt van volume/debiet) is 1.7 jaar. Ongeveer elke 5 jaar zal het water voor 95% verversd zijn.

De totale acceptabele fosforbelasting voor de Sloterplas is 0.5-1.1 mgP/m²/d. De externe belasting als gevolg van lozingen en stromingen bedraagt 14 mgP/m²/d. De windklots genereert 8 mgP/m²/d. De nalevering van de diepe waterbodem is berekend als 2-3 mgP/m²/d gedurende vier zomermaanden. De plas heeft dus een extreem hoge fosforbelasting. De externe belasting is voornamelijk het gevolg van de uitwisseling met het grachtenwater van het omringende stedelijke water. De interne belasting is het resultaat van decennia aan oplading met fosfor en van de

ongunstige chemische samenstelling van de waterbodem voor het binden van fosfor. Aangezien het water in de plas tijdens de periode van interne nalevering gestratificeerd is, blijft de interne fosfaatbelasting onder de spronglaag. Deze nutriënten komen pas in het volgende groeiseizoen beschikbaar in de bovenlaag, nadat het water in de plas in de winter volledig gemengd is geweest.

3 Ecologie en waterkwaliteit: metingen

In hoofdstuk 4 wordt het ecologische systeemfunctioneren van de Sloterplas besproken. Hier, in hoofdstuk 3, staan de bouwstenen daarvoor: de gemeten belangrijkste waterkwaliteitsvariabelen, beschouwd over de periode 2003-2015².

3.1 KRW en ZWR

De periode waarin zwemverboden vanwege blauwalgen aan de orde zijn is gedaald van 6-12 weken per jaar³ naar 2-4⁴ weken in 2012-2014 en één week in 2015. De plas scoorde in 2006 op alle KRW-deelmaatlaten onvoldoende. In 2012 scoorden vegetatie en macrofauna nog onvoldoende. Voor 2015 is alleen de maatlat van fytoplankton berekend en deze scoorde, net als in 2012, "goed".

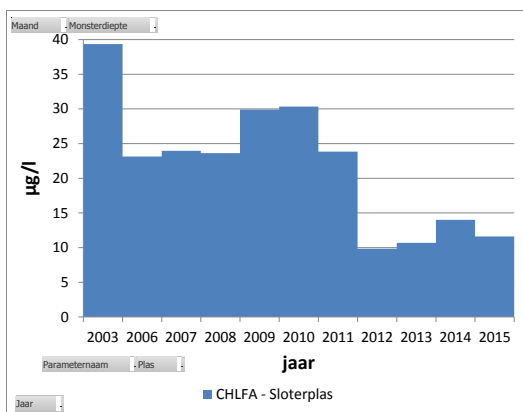
Tabel 3-1. Overzicht van de KRW-scores -2006, 2012 en 2015. Scores: **goed**, **matig**, **ontoereikend**, **slecht**.

* De toestand voor fytoplankton is gebaseerd op alleen chlorofyl-a (het zogenaamde "beheerdersoordeel").
** Score wijkt af van de KRW-rapportage (geel). Dit betreft waarschijnlijk een fout in de landelijke toetsing.

	toestand		
	op basis van metingen in verschillende jaren		
	2006	2012	2015
fytoplankton*	0.41	0.69	0.62
vegetatie	0.20	0.29	
macrofauna	0.21	0.46	
vis	0.35	0.55**	
eindscore			

3.2 Fytoplankton en licht

In de periode 2003-2011 bedroeg de zomergemiddelde (maanden 4-9) chlorofyl-a-concentratie 28 µg/l tegen 11 µg/l in 2012-2015 (zie Figuur 3-1). Ook het zomerse doorzicht is met 32% toegenomen naar 3.0 m. In de zomer zijn de verschillen het grootst. Tot 2012 was vrijwel altijd sprake van een dominantie door blauwalgen vanaf juli of eerder. Het betrof veelal de filamenteuze stikstoffixerende blauwalgen (zie 4.1 voor uitleg) *Anabaena* (en in het verleden ook *Aphanizomenon*), naast *Microcystis*. Deze genera zijn potentieel toxisch, en vooral *Microcystis* en *Anabaena* kunnen hardnekkige drijfblagen vormen. Vanaf 2012 trad een beperkte blauwalgendominantie pas op in augustus, na een toename van groenalgen en pH. In 2015 is de potentieel toxische benthische alg *Oscillatoria limosa* is waargenomen in de plas, ook bij de zwemlocatie Varkensbaai.



Figuur 3-1. Zomergemiddeld chlorofyl-a per jaar.

² Het jaar 2015 is niet op alle aspecten kwantitatief meegenomen, maar lijkt geen afwijkend beeld te vertonen ten opzichte van 2012-2014.

³ De waarschuwingen, negatieve zwemadviezen en zwemverboden bij elkaar opgeteld, in de periode 2008-2011.

⁴ Gerekend zonder de doorspoelmaatregel die vanaf 2013 wordt uitgevoerd bij de Varkensbaai.

3.3 Vegetatie

Door de steile oevers van de diepe Sloterplas is het begroeibaar areaal (waar voldoende licht bij de waterbodem kan komen voor vegetatieontwikkeling) relatief gering. Bovendien worden delen door bomen beschaduwd, heeft golfslag een negatieve invloed en kan door de grote aantallen brasem en karper (3.5) vraat en opwoeling van waterplanten aan de orde zijn. Tot en met 2011 zorgden de grote hoeveelheden algen voor weinig licht op de bodem, zodat vegetatie zich nauwelijks kon vestigen. In 2006 en 2009 was de bedekking laag respectievelijk afwezig. In 2012 was de plas helderder en was de (relatieve) bedekkingsgraad opgelopen naar 18%. Dit betrof vrijwel alleen *Elodea nuttallii* (smalle waterpest), een snelgroeiende invasieve exoot, die kenmerkend is voor voedselrijk water.

3.4 Mossels en overig macrofauna

Tijdens de KRW-bemonstering in 2012 werden, in tegenstelling tot in 2006, veel quaggamossels aangetroffen. In juni 2015 werden tot 12.5 meter diepte (= 49% van het plasareaal) gemiddeld 5500 /m² quaggamossels aangetroffen van gemiddeld 12.9 mm lengte. Andere soorten levende mossels zijn nauwelijks (0.2%) aangetroffen (Stroom 2016). De lage KRW-scores in 2006 en 2012 werden onder andere veroorzaakt door de geringe diversiteit en kwaliteit van de overige macrofauna.

3.5 Vis

De vispopulatie is in de periode 2006-2012 qua biomassa gehalveerd van 64 kg/ha naar 30 kg/ha (exclusief karpers). Het aantal stuks/ha nam juist met 59% toe, vooral door een toename van juvenielen. In de plas was ongeveer 100 kg/ha karper aanwezig. Brasem was dominant, naast blankvoorn, baars, snoekbaars en karper. In 2012 was de aanwezigheid van de zwartbekgrondel nieuw en lijkt nadien sterk toe te nemen. Vooral zwartbekgrondel en blankvoorn zijn soorten die op mossels foerageren.

3.6 Nutriënten

Als gevolg van de altijd zeer hoge fosforbelasting (2.2) zijn de fosforconcentraties altijd hoog (0.32 mgP/l, zomergemiddeld) geweest. Opgelost orthofosfaat is op geen enkel moment limiterend voor algengroei (minimaal 0.11 en zomergemiddeld 0.23 mgP/l). In de zomer is de orthofosfaatconcentratie bij de waterbodem hoger dan in de rest van de plas (tot 1 mg/l) als gevolg van de fosfaataflevering (interne belasting) van de waterbodem. Opgelost anorganisch stikstof (ammonium, nitraat) is in juni-september regelmatig lager dan de rapportagegrenzen. Vooral in 2012-2014 was er een aantal juni- en julimaanden waar de ammonium- en/of nitraatconcentraties wel hoger waren dan de rapportagegrenzen (tot maximaal 0.6 mgN/l nitraat).

4 Ecologie en waterkwaliteit: hoe functioneert het watersysteem?

4.1 Tot 2012

Tot 2012 werd de waterkwaliteit bepaald door extreem hoge fosforbelastingen en –concentraties met veel (blauw)algen als gevolg. Dit verklaart de lage KRW-scores. De concentraties opgelost anorganisch opgelost stikstof (ammonium en nitraat) waren veelal laag, wat de consequente (co-)dominantie van stikstoffixerende genera zoals *Anabaena* en *Aphanizomenon* in de blauwalgpopulatie verklaart (3.2). Bij gebrek aan opgelost anorganisch stikstof kunnen stikstoffixerders namelijk in het water opgelost atmosferisch stikstof (stikstofgas, N_2) gebruiken om te groeien. Andere (blauw)algen zoals *Microcystis* kunnen dit niet. Bij lage beschikbaarheid van opgelost anorganisch stikstof in het water hebben de stikstoffixerders dus een concurrentievoordeel ten opzichte van andere (blauw)algen en kunnen ze dominant worden. Stikstof speelde zo een belangrijke rol in de blauwalgensamenstelling.

In termen van Ecologische Sleutelfactoren (ESF): ESF 1 (in- en externe belasting) stond op rood. Er groeiden veel (blauw)algen. Hierdoor stond ook ESF 2 (licht) op rood, waardoor er geen waterplanten groeiden. Zonder waterplanten stond ook ESF 4 (habitatgeschiktheid) op rood ten koste van de diversiteit aan macrofauna en vis.

4.2 Vanaf 2012 tot 2016

In de periode 2012-2015 was de fosforbelasting vrijwel onveranderd gebleven. De randvoorwaarden voor (blauw)algenbloeien (temperatuur, licht, nutriënten) waren nog steeds onverminderd aanwezig. De populatie quaggamossels was echter sterk uitgebreid. In 2015 had de quagga-populatie een omvang van 5500 stuks/m² op de met mossels bedekte oppervlakte (49% van de totale plasoppervlakte) en was in staat om in 4-10 dagen het epilimnionvolume (zomer) en het plasvolume (winter) te filtreren (Stroom 2016). Hierdoor zijn de forse blauwalgenbloeien van vóór 2012 sterk afgenomen en is de Sloterplas in één jaar helderder geworden met minder fytoplankton (chlorofyl-a). Rond die periode⁵ zijn ook de vegetatie (hogere bedekkingsgraad) en de vispopulatie (lagere biomassa, meer juvenielen, opkomst van de zwartbekgrondel) wezenlijk veranderd.

Stikstof bleef in deze periode waarschijnlijk een belangrijke rol spelen omdat quaggamossels *Microcystis*kolonies minder goed kunnen verwerken, maar wel *Anabaena* en *Aphanizomenon*. Het kan zijn dat gebrek aan opgelost anorganisch stikstof de bloeien van *Microcystis* onderdrukte, en de quaggamossels vooral de productie van *Anabaena*, *Aphanizomenon* en overige algen weggraasde (Stroom 2016).

⁵ Ecologische variabelen worden niet jaarlijks en in niet altijd in hetzelfde jaar gemeten.

Blauwalgenbloeien bleven niet helemaal uit. In 2012-2015 bloeiden blauwalgen in augustus. In 2012-2014 werden ze in juli voorafgegaan door groenalgen. Het betrof veel lagere blauwalgconcentraties dan voorheen, maar de concentraties liepen op tot boven de ZWR-norm (12.5 µg/l). Het ligt voor de hand dat de watertemperaturen en de daaraan gekoppelde groeisnelheden van (blauw)algen in juli en augustus zo hoog waren dat de graas door mossels de algengroei nog maar deels kon onderdrukken.

De predatiedruk door watervogels (vooral duikeenden en meerkoeten) en vissen (vooral zwartbekgrondels en blankvoorns) is niet gekwantificeerd maar was naar verwachting niet heel hoog (Stroom 2016). De op mossels foeragerende zwartbekgrondel volgt de expansie van de quaggamossel en was in 2012 een nieuwe soort in de Sloterplas.

In termen van ESF: ESF 1 stond nog steeds op rood, maar dankzij de quaggamossels ESF 2 niet. Er was dus voldoende licht voor waterplanten, met positieve gevolgen voor macrofauna en vis.

4.3 Prognose vanaf 2016

Aan de nutriëntenbelasting zal autonoom niets veranderen. De fosforbelasting en -concentraties blijven hoog. Een stabiele quaggapopulatie van voldoende omvang is daarom van belang om de huidige ecologische kwaliteit van de plas te behouden of te verbeteren. Echter, de populatie van een invasieve soort zoals de quaggamossel groeit vaak de eerste jaren, om vervolgens instabiel te worden. Voedselgebrek en de opkomst van predatoren of parasieten kunnen (de groei van) de populatie weer doen afnemen. Diepe plassen kunnen een relatief hoge mosselbiomassa herbergen en een sterke afname of ineenstorting van de quaggapopulatie wordt niet verwacht, wat niet wil zeggen dat dit in de Sloterplas niet kan plaatsvinden. Ook onduidelijk is of de quaggapopulatie in de Sloterplas zijn maximale omvang al heeft bereikt of dat er nog ruimte is voor verdere groei. De delen waar de plas diep is kunnen als kraamkamer fungeren voor (blauw)algenbloei omdat daar vanwege die grotere diepte geen directe invloed van de quaggamossels is. Het kan zijn dat deze kraamkamer zoveel (blauw)algen kan leveren dat een maximale uitbreiding van de quaggamossels op het beschikbare ondiepe substraat niet genoeg is om de waterkwaliteit verder te verbeteren.

5 KRW-maatregelen en blauwalgbestrijding

5.1 Beschrijving van de maatregelen

Van de onderzochte maatregelen is een aantal als onrealistisch afgefallen. Dit betreft een aantal direct tegen blauwalgen gerichte maatregelen: het uitvlokken en laten sedimenteren, het oxideren met peroxide en kapot trillen met ultrasoon. Vier maatregelen worden beschouwd als realistisch:

1. Vegetatie uitbreiden/versterken. Dit betreft een maatregel die aanvullend kan zijn naast de andere genoemde maatregelen. Het voor ondergedoken waterplanten begroeibare areaal in de plas is beperkt vanwege de steile oevers. Door het ondiepe areaal te vergroten kan, ook bij het doorzicht in 2012-2015, de hoeveelheid waterplanten worden uitgebreid. Een toename van het totale begroeide areaal zal de visstand verbeteren: meer plantminnende soorten (waaronder piscivoren), meer zuurstoftolerante soorten en minder brasem. Deze maatregel zal ook leiden tot een verbetering van de macrofaunapopulatie. De effectiviteit van deze maatregel hangt af van (1) het doorzicht in de plas en (2) de nutriëntenstatus. Als het doorzicht laag is (veel algen) zal de bedekking met vegetatie laag blijven en dan is deze maatregel zinloos. In 2012-2015 was het doorzicht redelijk hoog en onder die omstandigheden is deze maatregel kansrijk. Hoge nutriëntenconcentraties in water en substraat leveren een vegetatie op met meer biomassa en een lagere soortendiversiteit dan lage nutriëntenconcentraties. De Sloterplas is wat dat betreft atypisch omdat niet verwacht wordt dat de nutriëntenbelasting en -concentraties zullen veranderen. De fosforconcentraties zijn zeer hoog maar de stikstofconcentraties niet. Tot welke vegetatiesamenstelling dit zal leiden kan worden onderzocht. Om de invloed van vegetatie te versterken is het nodig de locaties en diepten te bepalen waar met de geringste hoeveelheid ingebracht materiaal de het grootste areaal en de meest diverse onderwatervegetatie kan worden gerealiseerd. Bovendien moet rekening gehouden worden met aaneengesloten mosselbanken als mogelijke beperkende factor voor het kiemen van vegetatie. De kosten moeten nog nader worden uitgewerkt maar zijn substantieel. Verondieping duurt enige jaren en gaat gepaard met overlast. In de eindsituatie zal weinig overlast worden ervaren als geen groot areaal te ondiep water ontstaat waarin de recreatievaart vastloopt in waterplanten.
2. Nutriëntenbelasting reduceren. De aanpak van het minimaliseren van de fosforbelasting op de plas is uitgewerkt inclusief *businesscase*, haalbaarheidsonderzoek en risico-inventarisatie. Het bestaat uit een aantal deelmaatregelen:
 - a. Hydrologische isolatie van de plas. Hierbij worden de stadsgrachten afgekoppeld door de aanleg van dubbele stuwen met sluisfunctie in de hoofdwatgangen, plus enkele stuwen of overhalen in kleinere watgangen. Daarnaast moeten in enkele hemelwaterstelsels drempels worden opgenomen om kortsluitstroming van gracht naar plas te voorkomen.

- b. Vermindering van de belasting door suppletiewater, door het op diepte te suppleren van gedefosfateerd stadsgrachtenwater.
- c. Vermindering van de belasting vanuit de omringende parken, door te defosfateren en op diepte te.
- d. Minimalisering van de fosfaatnalevering door de waterbodem, door fosfaten te fixeren met poly-aluminiumchloride (PAC).
- e. Vermindering van de directe belasting vanuit hemelwaterstelsels. Dit betreft een onderzoeksmaatregel voor een enkele locatie.

De kosten bedragen 8.2 M€ aan investeringen. De recreatievaart zal enige overlast ervaren. De uitwisseling van vis met de stadsgrachten zal afnemen. Bij de werkzaamheden worden chemicaliën gebruikt. Voor de defosfateringen worden innovatieve technieken gebruikt die vrijwel onzichtbaar kunnen worden weggewerkt in de omringende parken. Uitgezocht moet worden wat de invloed is van de PAC-behandeling op het benthische milieu (inclusief mossels). De kans op het behalen van KRW- en zwemwaterdoelstellingen wordt, in combinatie met maatregel 1, ingeschat als hoog, omdat de belasting op het epilimnion kan worden teruggebracht naar 0.4-0.7 mgP/m²/d. Essentieel is dat de stuwen en sluizen naar behoren functioneren.

3. Mosselpopulatie uitbreiden/versterken. De opkomst van quaggamossels heeft aangetoond dat mossels een zeer positieve factor zijn voor de waterkwaliteit, al wordt tot en met 2015 nog niet voldaan aan de KRW- en ZWR-doelstellingen. De stabiliteit van de mosselpopulatie, en dus de kans op het behoud of het verbeteren van de huidige waterkwaliteit, is echter niet zeker. Belangrijk is om de draagkracht van de Slotterplas voor quaggamossels te kennen. De draagkracht is de maximale populatie quaggamossels die de plas kan huisvesten. Deze wordt beïnvloed door voedselaanbod, predatiedruk en beschikbaar substraat. Er moet een prognose worden gemaakt van de resulterende mossel- en (blauw)algenconcentratie, van de invloed van predatoren, van de status van de overige KRW-variabelen en van de stabiliteit van de eindsituatie. Dit betreft een onderzoeksmaatregel. Afhankelijk van de resultaten van dat onderzoek kan het een nuttige en uitvoerbare maatregel blijken te zijn om geschikt substraat uit te breiden. Vanwege de kraamkamerfunctie van het diepe midden van de plas lijkt het effectief juist daar ondiep substraat (bijvoorbeeld aan drijvers) aan te brengen.

De kosten worden ingeschat als <1 M€ aan investeringen. Recreanten kunnen enige overlast ervaren als er ook op het water en in de bovenste meters van de waterkolom iets wordt aangelegd. De kans op het volledig voldoen aan de KRW en de ZWR, ook in combinatie met maatregel 1, is onzekerder dan in maatregel 2 aangezien de invasie van de

Quagga: bestrijden, tolereren of versterken?

De quaggamossel is sinds 2004 aanwezig in Nederland, en sinds 2007 in Amsterdam. Landelijk wordt uit gegaan van het 'nee, tenzij'-principe als het gaat om het actief uitzetten van quaggamossels. Dit is van belang omdat quaggamossels in staat zijn het ecosysteem sterk te veranderen en de populatie zeer dominant kan worden. In de Slotterplas betreft de invasie een autonome ontwikkeling. Maatregelen om de quagga's te verwijderen zijn niet realistisch: zeer ingrijpend en zeker in een diepe plas veelal zeer moeilijk uitvoerbaar. De aanwezigheid van de quaggamossel is een feit en tot op heden is de invloed op de waterkwaliteit grotendeels positief: het water wordt helderder, blauwalgenbloeien nemen af en de KRW- en ZWR-doelen komen dichterbij.

quagga's een recente ontwikkeling betreft en de nutriëntenbelasting hoog blijft. Het ondersteunen van exoten in hun groei kan weerstand oproepen. De quaggamossel heeft zich in de plas autonoom sterk verspreid en realistische maatregelen om de populatie relevant te kunnen verlagen zijn niet voorhanden (zie kader). In deze optie wordt getracht optimaal gebruik te maken van de autonome ontwikkeling.

4. Verticaal mengen. Door de waterkolom verticaal te mengen neemt door lichtlimitatie en verdunning de (blauw)algenbiomassa bovenin de waterkolom drastisch af. Een (veelbeproeft) luchtmenger of een aantal bellenpompen wordt geïnstalleerd, aangedreven door perslucht. De kosten bedragen 2-2.5 M€ (variant luchtmenger). Het energieverbruik is hoog. Het is als gevolg van de menging niet meer rendabel de plas in de toekomst als koelwater gebruiken ten behoeve van CO₂-reductie. De kans dat de ZWR-doelstellingen worden gehaald is zeer hoog. Het halen van de KRW-doelstellingen is, ook in combinatie met maatregel 1, minder zeker vanwege de blijvend hoge nutriëntenbelasting, net als bij maatregel 3.

5.2 Prognose KRW-scores per maatregel

Tabel 5-1. Overzicht van de te verwachten scores na maatregelen, inclusief het KRW-voorstel uit 2009. Scores: **goed**, **matig**, **ontoe-rekend**, **slecht**. De berekende effecten van maatregel 3 (Mossels versterken) zijn gebaseerd op de concentratie chlorofyl-a in 2015.

* De toestand voor fytoplankton is gebaseerd op alleen chlorofyl-a (het zogenaamde "beheerdersoordeel").

*** De prognoses van de deelmaatlaten zijn gebaseerd op de prognoses voor chlorofyl-a. Het effect is bepaald met hetzelfde model als de doelaflading (ter Heerdt 2010), dat de effecten eerder onderschat dan overschat (persoonlijke mededeling G. ter Heerdt).

**** Het effect is bepaald door te vergelijken met andere verticaal gemengde plassen en hun ecologische toestand (ter Heerdt and van Alphen 2012).

	prognose 2021 na maatregelen				GEP
	op basis van rekenmodel ***			obv. result. elders ****	
	KRW-2009: nutriënten	2: nutriënten; belasting van 2,0 naar 0,7	3: mossels	4: vert. mengen	
					2027
fytoplankton*	0.59	0.76	0.62	0.61	0.60
vegetatie	0.36	0.45	0.38	0.35	0.54
macrofauna	0.35	0.40	0.36		0.50
vis	0.42	0.43	0.42	0.47	0.51
eindscore					

Tabel 5-1 geeft de prognose van de te verwachten KRW-scores per maatregel weer. Maatregel 1 (Vegetatie versterken) is niet meegenomen, omdat het effect hiervan nog niet kan worden berekend. Ook is de prognose van de oorspronkelijke KRW-maatregelen uit 2009 opgenomen.

- De voorgestelde KRW-maatregelen in 2009 waren ontoereikend, omdat de restbelasting te hoog bleef.
- Fytoplankton scoort goed bij de maatregelen 2 t/m 4.

- Omdat de hoeveelheid en soortenrijkdom van waterplanten bij lage nutriëntenconcentraties toeneemt, scoort vegetatie bij maatregel 2 (nutriëntenbelasting reduceren) het hoogst maar nog steeds “matig”.
- Het begroeibare oppervlak is en blijft bij alle maatregelen in de tabel beperkt. Belangrijk is dat, ondanks het geringe begroeibare oppervlak, vegetatie toch goed kan scoren, omdat de diversiteit en de bedekkingsgraad (relatief ten opzichte van het begroeibare areaal) bepalend zijn. Een groter areaal waterplanten kan ook de scores voor macrofauna en vis verbeteren. Dat maakt voor alle opties de niet in Tabel 5-1 opgenomen maatregel 1 (vegetatie uitbreiden/versterken) belangrijk.

6 Aanbevelingen

1. De nutriëntenmaatregel (2) is voor het bereiken van de KRW-doelstellingen optimaal, maar is veel kostbaarder dan de alternatieven. Verticaal mengen (4) is niet duurzaam. Aanbevolen wordt om voor de KRW in te zetten op twee sporen:
 - Maatregel 3: Mosselpopulatie uitbreiden/versterken om de plashelderder te krijgen, ook voor de langere termijn. Er mist kennis om nu een prognose te kunnen maken van de autonome ontwikkeling. Nodig is om de maximale mosselpopulatie in de Sloterplas (draagkracht) en de waterkwaliteit en de ecologie die daarbij horen, te bepalen. Daarbij is het nodig te onderzoeken hoe deze draagkracht zo volledig en langdurig mogelijk kan worden benut. In de rapportage “Quaggamossels en hun dominantie in de Sloterplas” is dit nader uitgewerkt (Stroom 2016).
 - Maatregel 1: Vegetatie uitbreiden/versterken. Als het water helder blijft door de mossels is het zinnig het begroeibare areaal op de geschiktste locaties te vergroten door delen te verondiepen. Hoewel de stikstofconcentraties vrij laag zijn, zal door de blijvend hoge fosfaatbelasting en -concentraties de soortendiversiteit waarschijnlijk lager zijn dan na een drastische nutriëntenreductie. De maximale diepte waar waterplanten worden verwacht moet worden bepaald. De dichtheden, diepteverdeling en diversiteit die na het verondiepen worden verwacht moeten worden onderzocht. Ook is meer kennis wenselijk van de invloeden van dichte mosselbedden en graas door watervogels en vis op de ontwikkeling van waterplanten. Verondiepen is kostbaar. Onderzocht moet worden hoe, waar en waarmee verondiepen de hoogste kosteneffectiviteit oplevert.

Als meer inzicht is verkregen in de bovenstaande aspecten kan een betere prognose worden gemaakt in hoeverre kan worden voldaan aan de KRW en de ZWR (wat betreft blauwalgen). Vervolgens kunnen uitvoerbare maatregelen voor de Sloterplas worden uitgewerkt en gevalideerd op effectiviteit.
2. Aanbevolen wordt om als ZWR-onderzoeksmaatregel in te zetten op een “quaggafilter”, bestaande uit aan drijvers hangende netten met quaggamossels. Deze variant van een biofilter kan het zwemstrand extra bescherming bieden tegen horizontaal windgedreven transport en lokale productie van blauwalgen. Bovendien is dit een geen-spijt maatregel voor de KRW, omdat ondiep substraat voor mossels wordt toegevoegd waarmee kennis en ervaring wordt opgedaan. Deze maatregel vergt nader onderzoek naar optimaal substraat in relatie tot de hydraulische weerstand en de filtratiecapaciteit van dit quaggafilter. In het rapport “Quaggamossels en hun dominantie in de Sloterplas” is dit nader uitgewerkt (Stroom 2016).
3. Daarnaast moet worden voorkomen dat overlast ontstaat door de neveneffecten van de autonome ontwikkeling en van eventuele maatregelen. De potentieel toxische benthische alg *Oscillatoria limosa* is

waargenomen in de plas, ook bij de zwemlocatie Varkensbaai. Deze kan zeer gevaarlijk zijn voor kinderen en huisdieren. Aanbevolen wordt wat betreft beheer en monitoring van de zwemwaterlocatie rekening te houden met benthische algen. Ook wordt aanbevolen te onderzoeken of de aanwezigheid van *O. limosa* gerelateerd kan zijn aan de opkomst van de quaggamossels.

Referenties

Stroom JM (2016) Quaggamossels en hun dominantie in de Sloterpas. Waternet, Amsterdam

